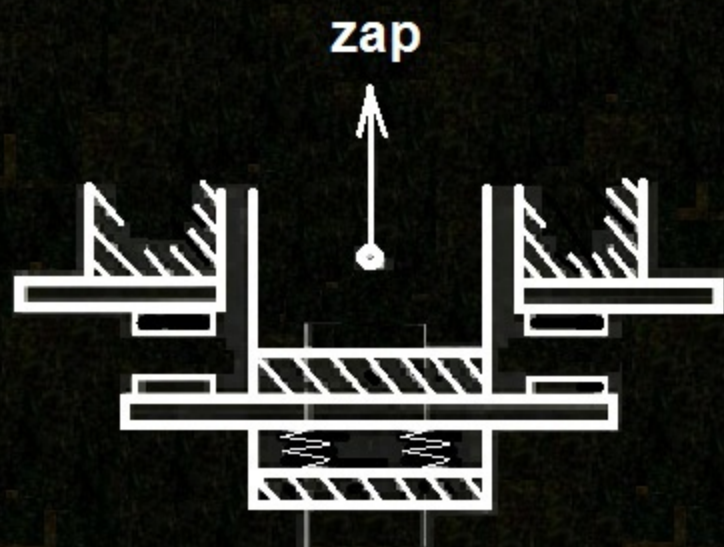


Elektrické stroje a přístroje

II. Elektrické přístroje

RUDOLF MRAVEC

SNTL



Ing. RUDOLF MRAVEC



ELEKTRICKÉ STROJE A PŘÍSTROJE

II. Elektrické přístroje

Schválilo ministerstvo školství České socialistické republiky dne 17. března 1978, č. j. 7 182/78-211 jako učební text pro 4. ročník SPŠE studijního oboru 26-61-6. Zařízení silnoproudé elektrotechniky

**Střední průmyslová
škola elektrotechnická,
Brno, Lenineva 40**

PRAHA 1979

SN TL — NAKLADATELSTVÍ TECHNICKÉ LITERATURY

Publikace seznamuje se základními principy působení spínacích přístrojů a se základními konstrukčními součástmi elektrických přístrojů. Postupně jsou probrány spínače nn, stykače, jističe, pojistky, spínače vn a vvn,bleskojistky, elektromagnety, spouštěče a regulátory.

Kniha je určena žákům středních průmyslových škol elektrotechnických silnoproudého směru.

Redakce elektrotechnické literatury — hlavní redaktor
Ing. Adolf Klímkov, CSc.

© Ing. Rudolf Mravec, 1976

Translation © Doc. Ing. Vladimír Suchánek, CSc., 1979

PŘEDMLUVA

Kniha je druhým dílem trojdílné učebnice a je věnována elektrickým přístrojům. Popsány jsou zde přístroje nn, vn a vvn, pojistky, svodiče přepětí, elektromagnety a reostaty. Vzhledem ke stanovenému rozsahu knihy není zde vyčerpána celá problematika konstrukce elektrických přístrojů. Její náplň je volena tak, aby žáky seznámila se základními otázkami především spínací techniky, uvedla základní pojmy a definice ve smyslu našich platných norem a na vybraných ukázkách našich i zahraničních výrobků předvedla konkrétní konstrukční řešení. Mezi těmito ukázkami jsou i některé starší příklady, na nich pak vyniknou pronikavé změny, k nimž došlo v posledních letech v oblasti konstrukce elektrických přístrojů.

Funkce nových spínacích přístrojů je někdy tak složitá a důmyslná, že je nemožné ji stručným popisem dostatečně vysvětlit. V takovém případě je třeba k vysvětlení během vyučování použít model příslušného přístroje, který spolu s náčrtem v knize pomůže činnost a důmyslnost pochopit.

Jednotlivé přístroje nejsou uváděny osamocně, ale i se zřetelem k jejich začlenění do elektrické soustavy vzhledem k jejich vlastnímu provozu. To proto, že většina absolventů elektrotechnických průmyslových škol se s nimi dříve setká spíše jako uživatelé než konstruktéři.

Autor

$$I_n = \frac{U_i}{r_c} \quad | F_{\sigma} = \frac{\Delta P_{Fe}}{U_i} \quad R_{Fe} = \frac{U_i}{I_n} = \frac{\Delta P_{Fe}}{I_n^2}$$

$$\cos \phi_k = \frac{P}{Z} \quad Z = R + jX_G \quad \cos \phi = \frac{P_{200}}{U_{200} I_{200}}$$

$$Z = \frac{U_{200}}{I_{200}} \quad \frac{X_G}{100} \quad \cos \phi = \frac{P_{200}}{U_{200} I_{200}} \quad R = \frac{\Delta P_{Fe}}{I_n^2} = 1,2 \cdot 10^{-3}$$

$$X_G = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

OBSAH

PŘEDMLUVA	5
1. SPÍNACÍ TECHNIKA	11
1.1. Rozdělení spínacích přístrojů	11
1.2. Umístění spínacích přístrojů v elektrické soustavě a jejich schémata	13
1.3. Spínací pochody	17
1.3.1. Zapínání a vypínání	17
1.3.2. Zkratový proud	21
1.3.3. Vypínací výkon	24
1.3.4. Zhášení elektrického oblouku	25
1.3.5. Tvary kontaktů	29
1.3.6. Materiál kontaktů	31
1.3.7. Stykový odpor	32
1.3.8. Oteplení kontaktů	33
1.3.9. Svaření kontaktů	34
1.4. Přehled vlastností vypínačů	35
1.5. Elektrodynamické síly	37
2. ZÁKLADNÍ STAVEBNÍ ČÁSTI ELEKTRICKÝCH PŘÍSTROJŮ	40
2.1. Přehled	40
2.2. Izolační části	40
2.2.1. Používané izolanty	40
2.2.2. Zásady izolačního návrhu	42
2.2.3. Průchodky a podpěrné izolátory	42
2.3. Mechanismy a pohony elektrických přístrojů	45
2.3.1. Příslušenství mechanismů	45
2.3.2. Způsoby ovládní	45
2.3.3. Aretační mechanismy	48
2.3.4. Volnoběžky	48
2.3.5. Vybavovací mechanismy	49
2.3.6. Strojní pohony	52
a) Elektromagnetické pohony	52
b) Tlakovzdušné pohony	52
c) Motorové pohony	54
d) Pružinové pohony	54
e) Hydraulické pohony	56
2.3.7. Blokovací mechanismy	58
3. SPÍNACÍ PŘÍSTROJE NN	60
3.1. Význam	60
3.2. Pákové vypínače a přepínače s nožovými kontakty	60
3.3. Kloubové spínače	65
3.4. Spínače s kartáčovými kontakty	66

3.5.	Stiskací vypínače	67
3.5.1.	Stiskací vypínače s nožovými kontakty	69
3.5.2.	Stiskací vypínače s můstkovými kontakty a obráceným smyslem ovládání	69
3.5.3.	Ovládací tlačítka	69
3.6.	Válcové spínače	71
3.7.	Váčkové spínače	75
3.8.	Komůrkové a paketové spínače	77
3.9.	Rtutové spínače	79
3.10.	Koncové spínače	80
3.11.	Mikrospínače	81
3.12.	Kontroléry a ovládače	83
4.	STYKAČE	89
4.1.	Definice a rozdělení	89
4.2.	Zhášení oblouku	91
4.3.	Konstrukční části stykačů	91
4.3.1.	Hlavní kontakty	91
4.3.2.	Pomocné kontakty	91
4.3.3.	Zapínací cívka	92
4.3.4.	Tepelná relé	92
4.4.	Vzduchové stykače na střídavý proud	93
4.5.	Olejoyé stykače	98
4.6.	Stykače na stejnosměrný proud	99
4.7.	Ovládání stykačů	100
5.	JISTIČE A CHRÁNIČE	104
5.1.	Základní pojmy	104
5.2.	Druhy jističů	107
5.3.	Jednofázové soklové jističe	107
5.4.	Trojfázové vzduchové stykače	110
5.5.	Moderní způsoby tepelného jištění	115
5.6.	Chrániče	116
6.	RELÉ	120
6.1.	Definice a rozdělení	120
6.2.	Příklady provedených relé	121
6.3.	Tepelné jističí relé	125
7.	POJISTKY	127
7.1.	Působení pojistky	127
7.2.	Pojistky nn	130
7.3.	Pojistky vn	130
7.4.	Zvláštní použití pojistek	131
7.4.1.	Odpojovací pojistky	131
7.4.2.	Pojistkové vypínače	132
7.4.3.	Univerzální vypínací a jističí přístroje (UNISPÍNÁČ)	134
8.	SVODIČE PŘEPĚTÍ	135
8.1.	Druhy přepětí a koordinace izolace	135
8.2.	Konstrukce svodičů přepětí	137

9.	SPÍNACÍ PŘÍSTROJE NN, VN a VVN	141
9.1.	Odpojovače	141
9.1.1.	Odpojovače vn	141
9.1.2.	Odpojovače vvn	146
9.1.3.	Úsečníky	146
9.2.	Odpínače	147
9.3.	Olejoyé vypínače	151
9.3.1.	Význam a konstrukce	151
9.3.2.	Působení	153
9.3.3.	Tlaková zhášecí komora	154
9.3.4.	Ovládání	156
9.4.	Expanzní vypínače	159
9.5.	Máloolejoyé vypínače	163
9.5.1.	Význam a konstrukce	163
9.5.2.	Máloolejoyé vypínače vn	164
9.5.3.	Máloolejoyé vypínače vvn	166
9.6.	Tlakovzdušné vypínače	167
9.6.1.	Význam a princip	167
9.6.2.	Provedení nástěnného tlakovzdušného vypínače vn	168
9.6.3.	Tlakovzdušné vypínání s odporovým zhášením	172
9.6.4.	Tlakovzdušné vypínače vvn	174
9.7.	Magnetické vypínače	178
9.8.	Vypínače s fluoridem sírovým	178
9.9.	Vakuové vypínače	183
9.10.	Výbušné vypínače	184
9.11.	Spínače s polovodičovými součástkami	187
9.12.	Rychlovypínače	187
9.13.	Schéma ovládání výkonového vypínače	193
10.	ZKOUŠENÍ SPÍNACÍCH PŘÍSTROJŮ	194
10.1.	Druhy zkoušek	194
10.2.	Zkoušky mechanické	195
10.3.	Zkouška oteplením	195
10.4.	Zkouška napětím	196
10.5.	Zkouška zkratové odolnosti	196
10.6.	Zkouška zapínací a vypínací schopnosti	197
10.7.	Syntetické zkoušky	199
11.	ELEKTROMAGNETY	201
11.1.	Význam a rozdělení	201
11.2.	Přitažlivá síla elektromagnetu	201
11.2.1.	Přitažlivá síla stejnosměrného elektromagnetu	201
11.2.2.	Přitažlivá síla při nehomogenní vzduchové mezeře	205
11.2.3.	Přesný výpočet přitažlivé síly	206
11.2.4.	Tažná síla jednofázového elektromagnetu	210
11.2.5.	Přitažlivá síla trojfázového elektromagnetu	213
11.2.6.	Závit nakrátko	214
11.3.	Břemenové elektromagnety	215
11.4.	Elektromagnetické upínací desky	217
11.5.	Elektromagnetické třídíče	217
11.6.	Elektromagnetické spojky	219
11.7.	Brzdové elektromagnety	221
11.7.1.	Druhy a vlastnosti	221
11.7.2.	Popis stejnosměrného brzdového elektromagnetu	224

11.7.3.	Popis trojfázového brzdového elektromagnetu	226
11.8.	Ovládací elektromagnety	228
11.9.	Elektromagnetické ventily	228
11.10.	Supravodivé elektromagnety	229
12.	SPOUŠTĚČE A REOSTATY	232
12.1.	Rozdělení a druhy	232
12.2.	Konstrukce spouštěčů a reostatů	233
12.3.	Rotorové spouštěče kroužkových motorů	235
12.3.1.	Průběh spouštění	235
12.3.2.	Určení velikosti spouštěčeho odporu	239
12.3.3.	Odstupňování spouštěčeho odporu	241
12.3.4.	Postup návrhu	242
12.4.	Spouštěče stejnosměrných motorů	252
12.5.	Derivační reostaty	253
12.5.1.	Derivační budič reostat pro řízení otáček	253
	a) Matematické řešení	253
	b) Grafické řešení	255
	c) Dimenzování	256
12.5.2.	Derivační budič reostat pro řízení napětí dynama	256
	Literatura	257

$Z_A \cdot I_{AA} = Z_B \cdot I_{AB}$
 $V_{AK} = Z_K \cdot I_{AK}$
 $S_A = S_B + S_C$
 $S_X = \frac{S}{\frac{Z_A}{Z_X} + \frac{Z_B}{Z_X} + \frac{Z_C}{Z_X}} = \frac{S \cdot Z_X}{Z_A + Z_B + Z_C}$

1. SPÍNACÍ TECHNIKA

1.1. ROZDĚLENÍ SPÍNACÍCH PŘÍSTROJŮ [1]

Spínače jsou elektrické přístroje, jimiž se spínají elektrické obvody.

Spínáním se rozumí:

- a) zapínání,
- b) vypínání,
- c) přepínání,
- d) připojování,
- e) odpojování,
- f) přepojování,
- g) odpínání.

Podle toho rozlišujeme:

- a) vypínače — spínače k zapínání a vypínání provozních, ponejvíce jmenovitých proudů,
- b) výkonové vypínače — vypínače schopné bez poškození vypínat i zkratové proudy,
- c) přepínače — spínače pro přepínání elektrických obvodů při zatížení,
- d) odpojovače — spínače pro zapínání a vypínání obvodů bez proudu,
- e) přepojovače — spínače pro přepojování obvodů bez proudu,
- f) odpínače — odpojovače schopné zapínat a vypínat proudy v rozsahu vypínací schopnosti uvedené na štítku.

Samočinné vypínače jsou upraveny tak, že spínají (zpravidla vypínají) bez zásahu obsluhy tehdy, jestliže se dosáhne předem nastavené velikosti provozní veličiny. Nejčastěji jsou upraveny tak, že samočinně vypínají po dosažení nastavené velikosti proudu (nadproudové samočinné vypínače).

POZNÁMKA. V oblasti techniky vysokého napětí se pojmem vypínač rozumí zpravidla vypínač výkonový

Podle velikosti napětí proti zemi jsou spínače:

- a) na malé napětí (mn) — do 50 V,
- b) na nízké napětí (nn) — do 300 V,
- c) na vysoké napětí (vn) — do 72,5 kV (ČSN 35 4200),

- d) na velmi vysoké napětí (vvn) — nad 72,5 kV,
- e) na zvlášť vysoké napětí (zvn) — nad 1000 kV.

Podle funkce jsou spínače:

- a) hlavní — zařazené v obvodech hlavního proudu,
- b) pomocné — zařazené v pomocných obvodech, tzn. ovládacích a signalizačních.

Podle počtu pólů jsou spínače:

- a) jednopólové,
- b) několikapólové, nejčastěji trojpólové.

Spínače nn rozdělujeme na:

1. *Nožové* — pohyblivý kontakt má tvar nože zasouvaného do pevného kontaktu nebo tvoří dva paralelní nože obepínající v zapnuté poloze pevný kontakt.

2. *Kartáčové* — pohyblivý kontakt má tvar kartáče vytvořeného listovým svazkem tenkých plechů a dosedajícího na ploché pevné kontakty.

3. *Pákové* — název původních nejjednodušších nožových nebo kartáčových spínačů, jejichž pohyblivé kontakty jsou spojeny izolační příčkou a ovládané společnou rukovětí.

4. *Kloubové* — určené pro montáž za panelem rozváděče a ovládané kloubovým mechanismem z přední strany rozváděče.

5. *Stiskací* — s posuvným pohybem spínacího ústrojí, které se ovládá ručně stisknutím nebo vytažením stiskacího knoflíku.

6. *Válcové* — pohyblivé kontakty jsou tvořeny segmenty, umístěnými na válcové ploše, na níž dosedají pružící pevné kontakty (palce).

7. *Váčkové* — s kontaktním ústrojím, ovládaným vhodně tvarovanými váčkami.

8. *Paketové* — se spínacím ústrojím uloženým v uzavřených izolačních komůrkách, samostatně pro každý pól.

9. *Rtuťové* — pevné kontakty se spojí pohybem rtuti ve vzduchoprázdné skleněné nádobce, jež se naklání cizím ovládacím mechanismem.

10. *Koncové* — ovládané pohybujícím se ústrojím, jež dosáhlo nastavené koncové plochy; zvláštním případem je odstředivý spínač, působící při dosažení nastavených otáček.

11. *Tlakové* — ovládané tlakem kapaliny nebo plynu.

12. *Kontroléry* — řídicí spínače, jejichž různě upravené kontaktní ústrojí postupně spíná proudové obvody v žádaném pořadí.

13. *Stykače* — spínače, jež v jediné spínací poloze, obvykle v zapnutém stavu, jsou drženy cizí silou, např. elektromagnetem.

14. *Jističe* — samočinné nadproudové vypínače sloužící ke spínání a zároveň i jistění elektrických obvodů, ovládané volnoběžkou.

15. *Chrániče* — ochranné vypínače, které zabezpečují ochranu před nebezpečným dotykovým napětím.

V této publikaci nejsou uvedeny různé typy instalačních spínačů.

Spínače vn rozdělujeme na:

1. *Odpojovače*,
2. *odpínače*,
3. *výkonové vypínače*, které podle způsobu zhášení oblouku mohou být:

- a) olejové,
- b) expanzní,
- c) máloolejové,
- d) tlakovzdušné,
- e) magnetické,
- f) plynotvorné,
- g) tlakoplynové, (hasivem je fluorid sírový SF₆),
- h) vakuové,
- i) výbušné.

Zvláštní skupinu tvoří

- j) rychlovypínače na stejnosměrný proud.

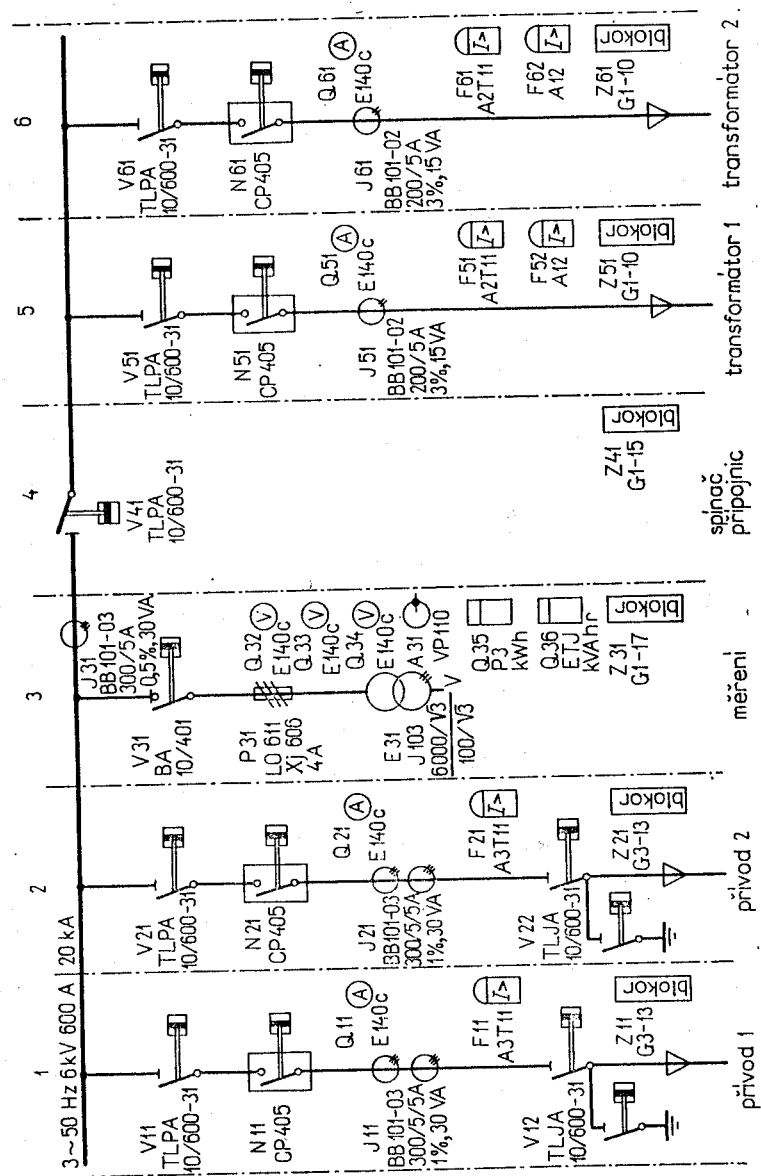
1.2. UMÍSTĚNÍ SPÍNACÍCH PŘÍSTROJŮ V ELEKTRICKÉ SOUSTAVĚ A JEJICH SCHÉMATA

Schématu spínacích přístrojů, jakož i jiných elektrických zařízení, se kreslí podle příslušných norem [2; 3; 4; 5].

Umístění spínačů v elektrické soustavě vysvětluje obr. 1 a 2. Na obr. 1 je jednopólové přehledové schéma rozvodny 6 kV; význam jednotlivých značek je v textu pod obrázkem.

Na obr. 2 je příklad obvodového schématu ovládaní s vyznačením silových a ovládacích obvodů. Označení spojů je potenciální — spoje se stejným potenciálem jsou označeny stejným číslem. Pro montáž je výhodnější schéma doplnit přesně číslovanými svorkami řadových svorkovnic a přístrojů.

V následujících tabulkách 1, 2 a 3 je porovnáno nové značení vodičů, svorek a fází podle přepracované ČSN 34 0160 se starým



Obr. 1. Přehledové schéma rozvodny 6 kV

N — výkonové vypínače, V — odpojovače, J — měřicí transformátory proudu, Q — měřicí přístroje, F — nadproudová ochranná relé, E — měřicí transformátory napětí, Z — ovládací a blokovací tlakovzdušná souprava, P — pojistky

značením, které zatím (vzhledem k výrobním lhůtám učebnice) v obrázcích zůstalo.

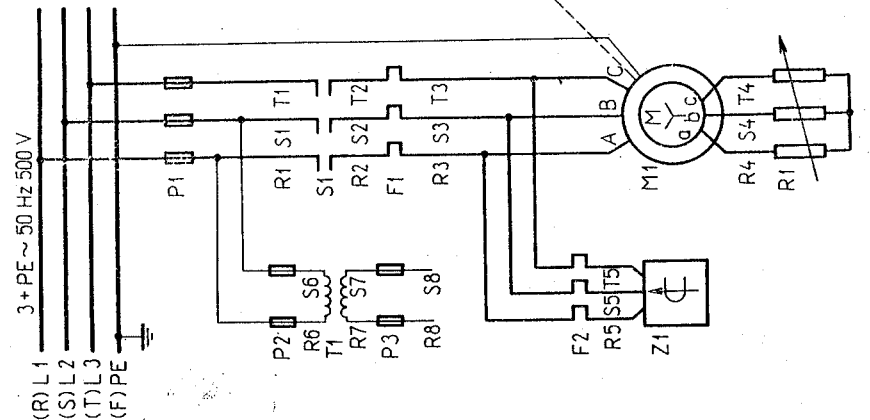
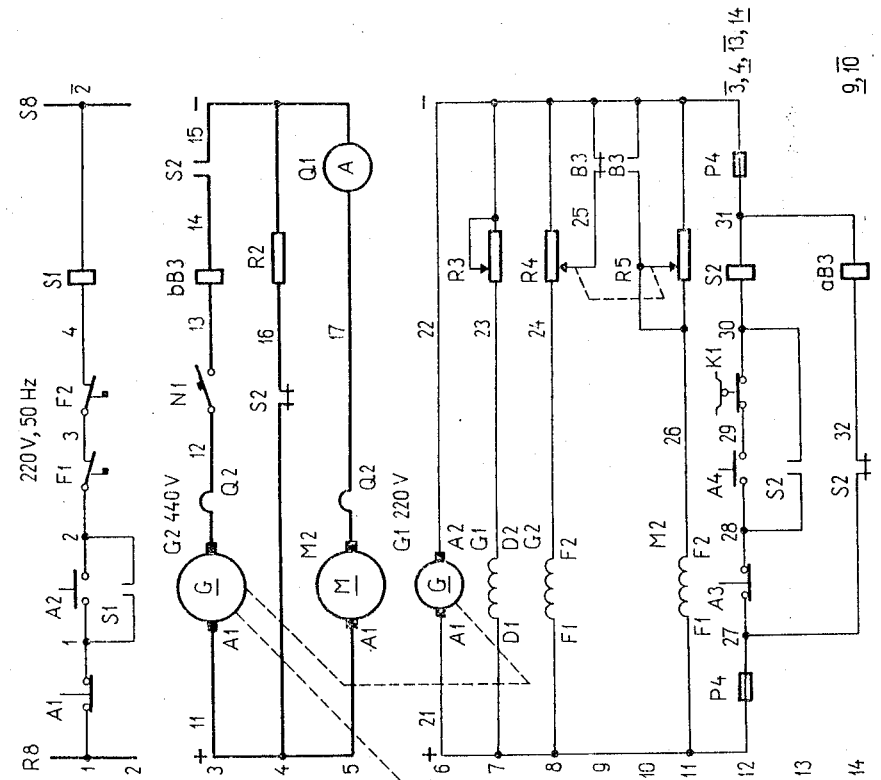
Tabulka 1. Písmenové označení vodičů

Vodič	Označení vodiče	
	nové (IEC)	staré
Střídavá rozvodná soustava vodič 1. fáze vodič 2. fáze vodič 3. fáze střední vodič	L1 L2 L3 N	R S T N
Stejnoseměrná rozvodná soustava vodič kladného pólu vodič záporného pólu střední vodič	L+ L- M	+ - N
Uzemňený ochranný vodič Neuzemňený ochranný vodič Nulovací vodič Pracovní uzemňovací vodič Vodič k odrušené (bezšumové) zemi	PE PU PEN E TE	F F Nn

Tabulka 2. Značení svorek trojfázových elektrických předmětů

Svorka elektrického předmětu	Písmenové označení	
	nové (IEC)	staré
pro 1. fázi pro 2. fázi pro 3. fázi střední vodič	U V W N	A B C N
ochranná svorka uzemňovací svorka odrušená (bezšumová) svorka ukostřovací	PE E TE MM	*)

*) Označení jen grafickými značkami podle ČSN 34 5550



Tabulka 3. Označení svorek střídavých spínačích přístrojů

Svorky	Označení							
	nové (IEC)				staré			
přívodní (směrem ke zdroji)	U1	V1	W1	N1	A1	B1	C1	N1
k připojení vývodů ke spotřebiči	U2	V2	W2	N2	A2	B2	C2	N2

1.3. SPÍNACÍ POCHODY

1.3.1. Zapínání a vypínání

Spínacími pochody [6] se rozumí především zapínání a vypínání elektrického oblouku.

Při zapínání nevznikají větší problémy, pokud nejde o zapínání značně velkých proudů a proudů kapacitních. Značně velké proudy vyvolávají značné dynamické síly, které ztěžují důkladné sepnutí kontaktů. Při zapínání kapacitních proudů dlouhé kabelové nezátížené sítě vznikají přepětí způsobující přeskoky.

Při vypínání se impedance obvodu zvětšuje na nekonečnou hodnotu v poměrně krátkém čase. To je přechodný jev s mnoha dalšími důsledky, které ovlivňují konstrukci vypínače.

Je to především *přepětí*, které vzniká časovou změnou proudu a jeho velikost je dána vztahem

$$u_1 = L \frac{di}{dt} \quad (1)$$

Jeho velikost závisí tedy na indukčnosti vypínaného obvodu a na rychlosti vypínání

U běžných vypínačů nn na stejnosměrný proud dosahuje přepětí až desetinásobku jmenovitého napětí, u střídavého proudu méně. Při vypínání v sítích vn dosahuje nejvýše dvojnásobku jmenovitého napětí.

Velmi značná přepětí vznikají při vypínání nezátížených transformátorů, neboť transformátor naprázdno představuje velkou indukčnost. Např. u transformátoru o výkonu 20 MVA je při napětí

Obr. 2. Obvodové schéma pohonu vrátku s potenciálním označením spojů
M — motory, G — dynama, P — pojistky, T — transformátory, S — stykače,
F — ochranné tepelné relé, B — pomocné relé, A — ovládací tlačítka, K — koncový vypínač, Q — ampérmetr, Z — brzdivý elektromagnet



110 kV² proud naprázdno jen asi 2 A, ale jeho přerušením může vzniknout za jistých okolností přepětí až 380 kV.

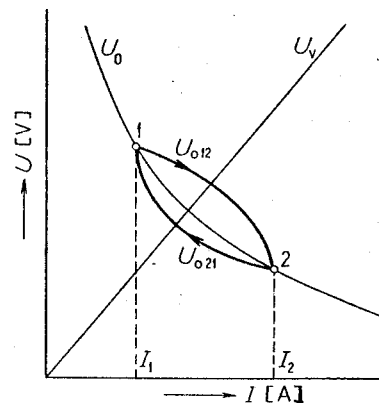
Přepětí způsobují přeskoky na vypínači nebo na vedení a především jsou příčinou vzniku oblouku mezi kontakty vypínače.

Ve spínací technice se obloukem nazývá vodivá dráha mezi kontakty při vypínání, vytvořená rozžhavenými částicemi kontaktového materiálu. Vznikne tehdy, jestliže gradient elektrického pole přestoupí určitou velikost, která závisí na druhu plynu mezi kontakty, na jeho teplotě a tlaku.

Gradient oblouku je asi:

- 10 až 20 V/cm pro klidný vzduch,
- až 200 V/cm pro foukaný vzduch,
- 70 až 100 V/cm pro klidný olej,
- až 200 V/cm pro stříkající olej.

Pro vedení proudu v oblouku neplatí Ohmův zákon. Podle Ohmova zákona je proud, např. v kovovém vodiči, přímo úměrný napětí (přímka U_v na obr. 3).



Obr. 3. Charakteristika elektrického oblouku
 U_v — napětí na kovovém vodiči, U_0 — napětí na oblouku (statická charakteristika), U_{012} — napětí na oblouku při zvětšujícím se proudu, U_{021} — napětí na oblouku při zmenšujícím se proudu (U_{012} , U_{021} — dynamická charakteristika)

Napětí na ustáleném oblouku se s vzrůstajícím proudem zmenšuje podle čáry U_0 , která je tzv. *statickou charakteristikou oblouku*. Velikost napětí U_0 závisí na chlazení. Čím lépe se oblouk chladí, tím se z něho odvádí větší výkon, a tím je napětí U_0 větší. Z toho plyne, že při určitém napětí mezi kontakty je možné oblouk uhasit jeho ochlazením.

Jestliže se proud procházející obloukem mění mezi dvěma hodnotami ($I_1 - I_2$), probíhá napětí na oblouku podle čar U_{012} a U_{021} , které udávají tzv. *dynamickou charakteristiku oblouku*. Vodivost

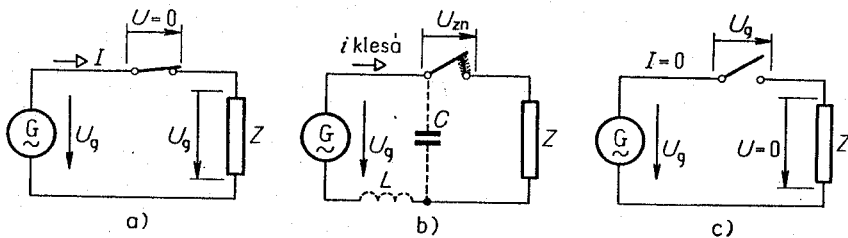
dráhy oblouku závisí na velikosti proudu. Při zvětšování proudu z hodnoty I_1 na hodnotu I_2 ($I_2 > I_1$) je tato vodivost závislá na menším proudu I_1 — je menší a napětí oblouku (U_{o12}) je větší. Naopak při zmenšování proudu ($I_2 < I_1$) závisí vodivost na větším proudu I_2 a napětí (U_{o21}) je menší.

Při oblouku vzniká nárazová a tepelná ionizace prostředí, takže prostor mezi kontakty se stává vodivým a oblouk se může trvale udržet. K tomu přispívá i ionizace kovových par, vznikajících natavením kontaktů teplem oblouku. Kromě toho oblouk sám je zdrojem ultrafialového záření, které dále ionizuje okolí a může být příčinou přeskočení oblouku na sousední kontakty.

Oblouk namáhá vypínač tepelně. Svou vysokou teplotou natavuje kontakty, vyvolává rozstříkávání kovu do okolí a může zapříčinit svaření kontaktů. Delším působením může porušit i ostatní části vypínače.

Aby účinky oblouku byly co nejmenší, musí se rychle uhasit. Doba hoření oblouku závisí na mnoha okolnostech. Velmi těžko se zhasí oblouk u stejnosměrného proudu. U střídavého proudu je zhasení snadnější, neboť v okamžiku průchodu proudu nulou oblouk vždy zhasne. Zda se v další půlvině opět zapálí, závisí na deionizaci prostoru mezi kontakty (vzrůst elektrické pevnosti) a na tzv. zotaveném napětí.

Zotaveným napětím U_{zn} nazýváme napětí, které se objeví na kontaktech vypínače okamžitě po přerušení proudu (obr. 4).



Obr. 4. Napětí na vypínači během vypínání

a) v zapnuté poloze, b) během hoření oblouku, c) ve vypnutém stavu

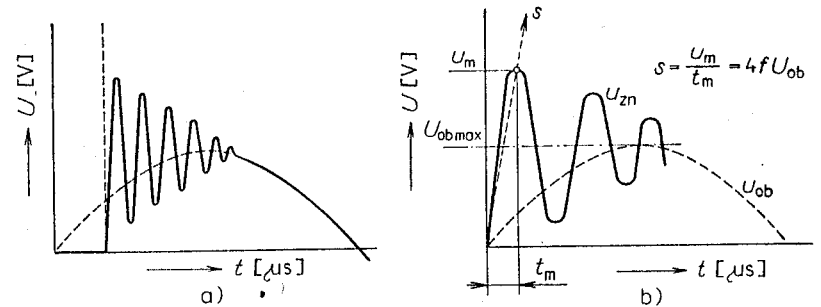
V zapnutém stavu je na vypínači nulové napětí. Proud v obvodu je dán napětím generátoru U_g a impedancí obvodu Z . Při vypínání vznikne oblouk a mezi kontakty začne napětí vzrůstat z nuly na velikost napětí generátoru, které na nich bude po skončení vypínání.

Tento vzrůst probíhá oscilačně. Vlivem indukčnosti a kapacity obvodu vzniknou v obvodu vlastní kmity, které se sečítají se sinu-

sovým napětím zdroje (sítě), takže průběh zotaveného napětí při hoření oblouku je velmi nepravidelný (obr. 5a).

Zotavené napětí se skládá z obnoveného napětí u_{ob} a z přechodné složky napětí.

Obnovené napětí má kmitočet sítě a vyjadřuje se efektivní hodnotou. U trojfázových vypínačů vyjadřuje napětí mezi fázemi. Závisí na jmenovitém napětí sítě a na jejím uspořádání (kompenzace, zemnění).



Obr. 5. Zotavené napětí

a) příklad skutečného průběhu, b) ideální průběh zotaveného napětí zkušebního obvodu

Přechodná složka je oscilační s jedním nebo s několika kmitočty, popřípadě aperiodická. Závisí nejen na vlastnostech sítě, ale je ovlivněna i vlastnostmi vypínače.

Skutečný, značně nepravidelný průběh zotaveného napětí se pro potřeby zkušební techniky idealizuje, např. podle obr. 5b.

Charakteristické parametry jsou:

a) strmost zotaveného napětí

$$S = \frac{u_m}{t_m} \quad [\text{V}/\mu\text{s}] \quad (2)$$

kde u_m je vrcholová hodnota zotaveného napětí,
 t_m doba, za kterou se dosáhne vrcholové hodnoty,

b) překmit

$$p = \frac{u_m}{U_{ob \max}} \quad (3)$$

kde $U_{ob \max}$ je vrcholová hodnota obnoveného napětí,

c) vlastní kmitočet

$$f = \frac{10^3}{2t_m} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad [\text{kHz}] \quad (4)$$

který závisí na indukčnosti a kapacitě obvodu.

Průběh zotaveného napětí podstatně ovlivňuje spolehlivou činnost vypínačů vn a zejména vvn.

Vzrůstá-li po vypnutí zotavené napětí rychleji než dielektrická pevnost prostoru mezi kontakty, oblouk se po průchodu proudu a po krátkém zhasnutí opět i několikrát za sebou zapálí.

Kmity zotaveného napětí (250 až 200 000 Hz) mohou způsobit tak dlouhé hoření oblouku, že vypínače se jeho účinkem poškodí dřívě, než oblouk zhasne.

Oscilace zotaveného napětí mohou být vyvolány i malými kapacitami vedení a strojů, které se nabíjejí na vysoké napětí.

Kmity zotaveného napětí můžeme utlumit zhášecími odpory, zapojenými do obvodu při vypínání.

Vypínač je nejvíce namáhán při vypínání zkratového proudu, který při zkratu prochází obvodem a dosahuje značných velikostí. Omezuje ho jen impedance vedení k místu zkratu. Těžkostí při jeho vypínání způsobuje kromě jeho velikosti i to, že má téměř indukční charakter ($\cos \varphi \doteq 0,15$).

1.3.2. Zkratový proud [7; 8]

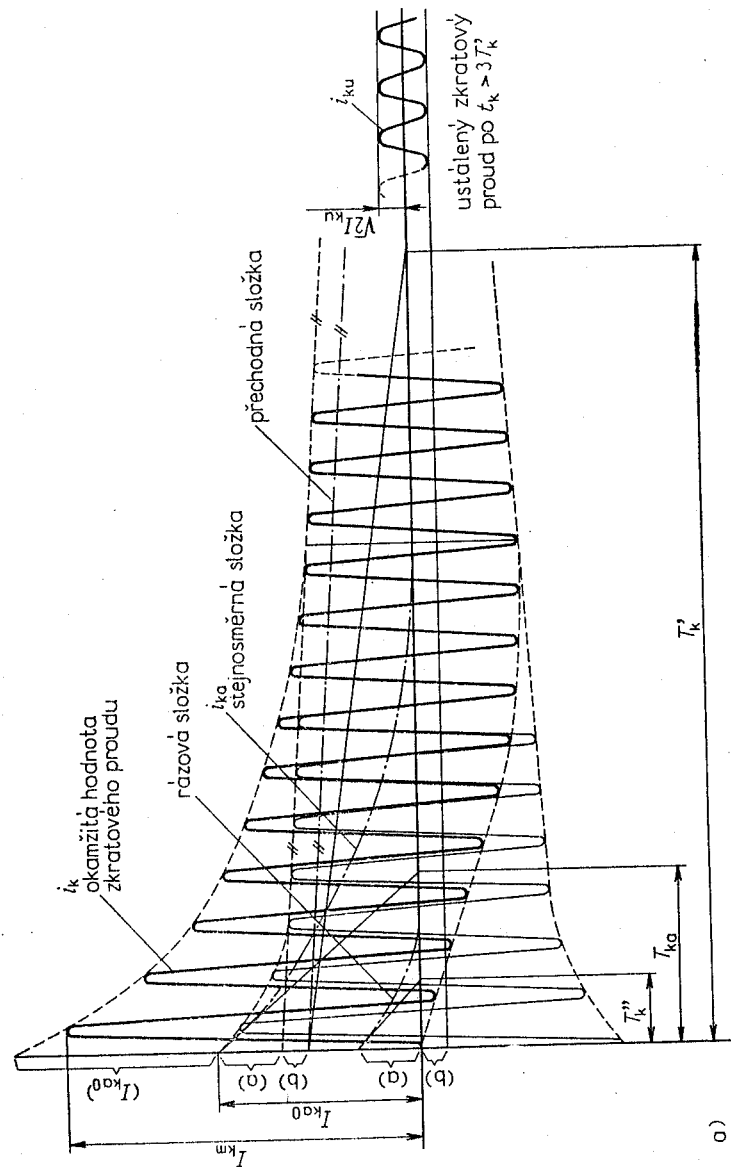
Zkratem se rozumí vzájemné vodivé spojení různých fází elektrizační soustavy v daném místě, v soustavě s uzemněným uzlem též spojení fáze ze zemí.

Během zkratu prochází obvodem zkratový proud [7; 8]. Jeho velikost a časový průběh je určen napětím zdroje, impedancí obvodu a okamžikem vzniku. Na okamžiku vzniku závisí, zda je průběh zkratového proudu souměrný nebo nesouměrný.

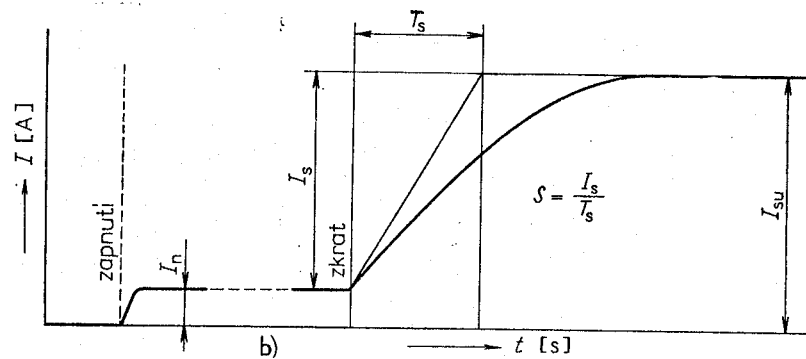
Nesouměrný průběh zkratového proudu se skládá ze složky střídavé a stejnosměrné (obr. 6a).

Střídavá složka zkratového proudu se dá rozdělit na:

- rázovou složku, exponenciálně klesající s časovou konstantou T''_k ,
- přechodnou složku, exponenciálně klesající s časovou konstantou T'_k ,
- ustálenou složku i_{ku} se stálou amplitudou.



Obr. 6a. Typický nesouměrný průběh zkratového proudu
 I_{km} — dynamický (rázový) proud, I_{k0} — amplituda stejnosměrné složky,
 I_{ku} — efektivní hodnota ustáleného zkratového proudu



Obr. 6b. Průběh stejnosměrného proudu při zkratu

Stejnoseměrná složka zkratového proudu i_{ka} exponenciálně klesá s časovou konstantou T_{ka} . Stejnoseměrná složka je nulová tehdy, dojde-li ke zkratu v okamžiku, kdy je napětí maximální.

Ostatní důležité hodnoty zkratového proudu jsou:

Ustálený trvalý zkratový proud I_{ku} , který se rovná efektivní hodnotě ustálené složky zkratového proudu (po zaniknutí všech přechodných složek), v praxi uvažujeme po čase t_k větším než $3T'_k$. Je dán napětím a impedancí obvodu.

Počáteční stejnosměrná složka zkratového proudu I_{ka0} .

Dynamický (nárazový) proud I_{km} , daný vrcholovou hodnotou první půlvlny zkratového proudu. Určuje míru mechanického namáhání vypínače a všech zařízení, jimiž prochází.

Ekvivalentní (tepelný) zkratový proud I_{ke} , rovnající se trvalému fiktivnímu proudu, který během trvání zkratu vyvine stejné množství tepla jako odpovídající zkratový proud. Podle něho musí být tepelně dimenzována ostatní zařízení, jimiž zkratový proud prochází.

Vypínací proud, který prochází vypínačem v okamžiku odtržení kontaktů. Uvažuje se jen vypínací proud souměrný, daný efektivní hodnotou vypínacího proudu I_{sym} (viz odst. 1.3.3).

Zbytkový proud, který prochází vypínačem krátkou dobu po zhasnutí oblouku tím, že ionizace prostoru mezi kontakty nezmizí okamžitě.

Průběh stejnosměrného proudu při zkratu je na obr. 6b.

Proud se od okamžiku zkratu zvětšuje exponenciálně až do ustálené hodnoty I_{su} , která je dána napětím a činným odporem obvodu.

Časová konstanta narůstání proudu T_s závisí na indukčnosti

obvodu a může být dost velká. Mírou narůstání proudu je strmota daná poměrem

$$S = \frac{I_s}{T_s} \quad [\text{A s}^{-1}] \quad (5)$$

Speciální vypínače na stejnosměrný proud (tzv. rychlovypínače) jsou upraveny tak, že jejich vybavovací spoušť reaguje ne na velikost zkratového proudu, ale na jeho strmotu. Tím se dosáhne toho, že vypínač vypíná ještě dříve, než zkratový proud dosáhne maximální hodnoty.

1.3.3. Vypínací výkon

Vypínače se vyrábějí pro různá jmenovitá napětí a proudy. Napětí určuje izolaci a proud průřezy vodivých částí.

Vypínací schopnost vypínače se vzrůstajícím fázovým posunem se zmenšuje. Výrobce udává jmenovitá hodnota proudu spínače platí obvykle pro účinník rovnající se jedné. Proud při jiném účinníku je menší a výrobce ho oznámí, např. údajem v katalogu.

U vypínačů vn a vvn, které kromě jmenovitého proudu vypínají i zkratový proud, udává se kromě napětí a jmenovitého trvalého proudu i jeho tzv. vypínací výkon.

Vypínací výkon vypínače je dohodnutou veličinou, která je vyjádřena součinem

$$P_{sk} = \sqrt{3} U_{ob} I_{sym} \cdot 10^{-6} \quad [\text{MVA}; \text{V}, \text{A}] \quad (6)$$

kde U_{ob} je sdružená hodnota obnoveného napětí trojfázové soustavy, I_{sym} vypínací souměrný proud.

Vypínací výkon vypínače nesmí být menší než zkratový výkon sítě v místě, v němž je vypínač zapojen.

Na příslušný zkratový výkon sítě musí být dimenzované nejen vypínače, ale i všechna ostatní elektrická zařízení (odpojovače, měřicí transformátory, přípojnice rozvodny apod.). Podle něho jsou dimenzovány tepelně i mechanicky.

Zkratové proudy při určitém mechanickém napětí závisejí na uspořádání sítě, vlastnostech zdrojů a na místě zkratu, proto je nutné i při stejných jmenovitých napětích a proudech vyrábět vypínače s různým vypínacím výkonem.

U nových konstrukcí vypínačů se vypínací schopnost udává jmenovitým souměrným vypínacím proudem v kiloampérech.

U spínačů musíme rozlišovat *vypínací schopnost* a *zkratovou odolnost*. Oba parametry nemusí být totožné.

1.3.4. Zhášení elektrického oblouku

Aby mezi dvěma kontakty mohl vzniknout oblouk, musí být mezi nimi jisté minimální napětí, které závisí na jejich materiálu. Při mezním nebo menším napětí můžeme vypínat i velmi značné proudy bez oblouku a bez jiskření s minimálním zdvihem kontaktů.

Podobně oblouk nevznikne ani při vyšším napětí, jestliže vypínaný proud nepřekročí jistou mezní hodnotu, závislou na materiálu a napětí.

Tyto minimální proudy jsou důležité při navrhování reléových kontaktů, od nichž se vyžaduje velká spolehlivost.

V silnoproudých obvodech je téměř vždy značná indukčnost, a proto při jejich vypínání vzniká pravidelně oblouk.

Délka, na kterou se může oblouk natáhnout, závisí na indukčnosti, na rychlosti oddalování kontaktů a na velikosti vypínaného proudu. Délka oblouku určuje hlavní rozměry vypínače.

Abychom mohli vypínací dráhy zkrátit, a aby vznikající tepelná energie byla co nejmenší, je třeba hoření oblouku zkrátit umělým zhášením. Vypínací čas však nemůžeme zkracovat libovolně, neboť při velmi rychlém přerušení proudu vznikají značná přepětí, která ohrožují izolaci přístroje. Proto nemůžeme použít výkonových vypínačů s intenzívním hašením oblouku při vypínání stejnosměrného proudu, který má při hoření téměř stálou velikost a nezhasíná jako oblouk u střídavého proudu.

U stejnosměrného proudu můžeme hašení oblouku urychlit masivní konstrukcí kontaktů, jejich dobrým chlazením, natažením oblouku na velkou délku a především elektromagnetickým vyfukováním.

Výkonové vypínače s cizím zhášecím prostředkem můžeme použít jen pro vypínání střídavého proudu.

Zhášení oblouku můžeme urychlit:

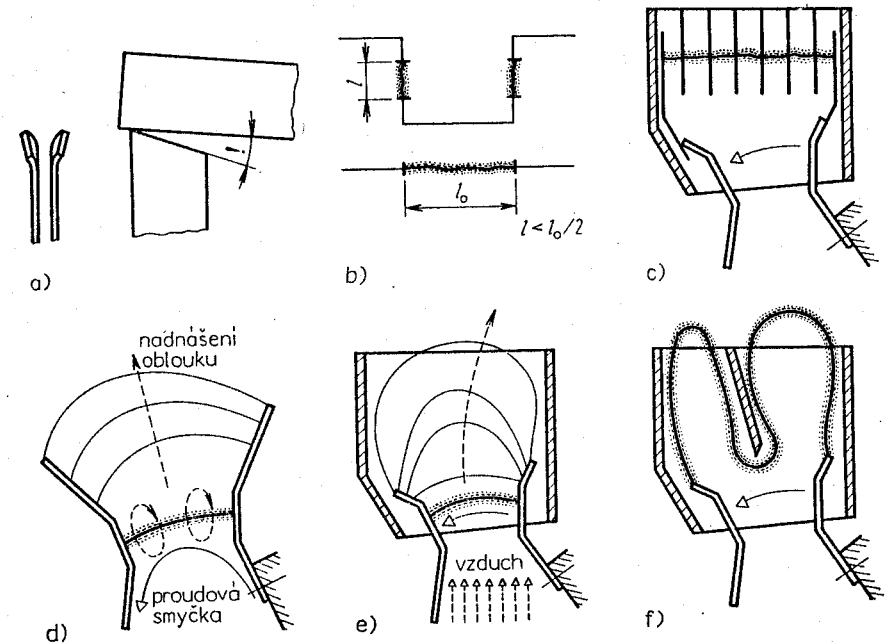
- zvětšením vypínací rychlosti — mžikové vypínání,
- vhodnou úpravou kontaktů,
- několikanásobným přerušením proudu,
- dělením oblouku,
- vlastním vyfukováním,
- magnetickým vyfukováním,
- cizím zhášecím prostředkem.

a) Zvětšení vypínací rychlosti. U nízkonapětových vypínačů se vypínací rychlost zvětší tak, že pohyb vypínací pásky nebo tlačítka se na kontakty nepřenáší přímo, ale prostřednictvím silných pružin. Ty se nejdříve napnou a jen při dostatečném tlaku prudce oddálí kontakty od sebe. Tím je zaručena potřebná vypínací

rychlost bez ohledu na obsluhu. Takové vypínání se nazývá mžikové. Mžikově je možné i zapínat.

U vypínačů na vysoké napětí vypíná obvykle vypínací pružina, která se napne při zapínání a vhodný západkový mechanismus ji udržuje v zapnuté poloze.

b) Úprava kontaktů. Stačí na hašení oblouku spolu s dostatečnou vypínací rychlostí u vypínačů na nízké napětí pro menší proudy. Například u nožových kontaktů se kontaktní pera v horní části rozšíří, takže oblouk se na nich roztrhává a rychle zhasne (obr. 7a). Vhodným úkosem per je zaručeno, že oblouk vznikne právě v místě, kde jsou od sebe nejvíce vyhnuty.



Obr. 7. Úpravy pro urychlení zhášení oblouku

a) rozšíření kontaktních per, b) přerušení na dvou místech, c) dělení oblouku, d) vlastní vyfukování, e) zhášecí komůrka, f) zhášecí komůrka s roztržovačem

c) Několikanásobné přerušení. Přerušením proudu na několika místech spojených v sérii se velmi zkrátí potřebné vypínací vzdálenosti a vypínací rychlosti. Dvojitě přerušení proudu (obr. 7b) se používá např. u běžných typů stykačů. Moderní konstrukce používají až čtyřnásobné přerušení.

d) Dělení oblouku. Oblouk se rozdělí na několik obloučků za sebou tak, že se vhodnou úpravou kontaktů vytlačí mezi kovové elektrody, umístěné mezi pevným a pohyblivým kontaktem (obr. 7c). Tím se zvýší napětí potřebné pro udržení oblouku a při daném napětí oblouk rychleji uhasne.

e) Vlastní vyfukování. Vhodně volenou dráhou pohyblivého kontaktu se z oblouku a kontaktů vytvoří proudová smyčka; dynamickými účinky se oblouk mírně prohne směrem nahoru (obr. 7d) a magnetické pole se ve spodní části zesílí. Silnější pole vytlačí střed oblouku do slabšího pole nad ním, oblouk se ještě více prohne a vyfukovací účinek vlastního magnetického pole se dále zvětšuje. Prohnutím oblouku se jeho dráha prodlužuje, a proto oblouk rychleji uhasne.

Hasicí účinek se zvětší chlazením oblouku zhášecí komůrkou z keramické hmoty, která obklopuje kontakty (obr. 7e). Stěny komůrky, které jsou ve styku s obloukem, mu odnímají tepelnou energii, a tím urychlují jeho deionizaci. Prodlužování oblouku podporuje i tepelný tah, který vzniká v komůrce.

Délku oblouku účinně prodlouží jeden nebo několik roztríšťovačů (hřebínků), upravených podle obr. 8f.

Keramická zhášecí komůrka zároveň znemožňuje přeskok oblouku mezi póly a neživými částmi.

Poškozené komůrky je nutné ihned vyměnit, neboť v mnoha případech poškozená komůrka je příčinou vážných poruch.

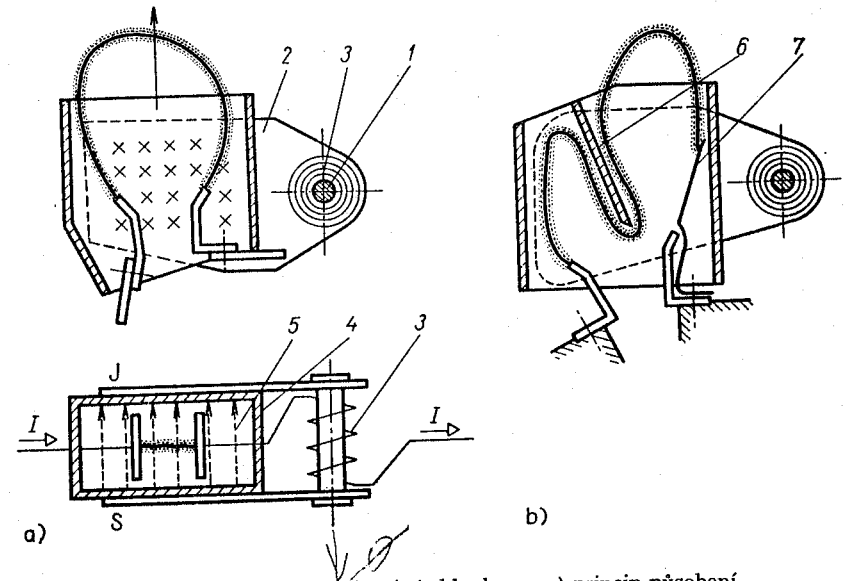
Velmi účinná je často používaná deionová zhášecí komůrka, která je popsána v kap. 5.

f) Magnetické vyfukování. Je to velmi účinné zhášení, kterého se používá především u takových vypínačů, které musí mít z konstrukčních důvodů krátké vypínací dráhy. Při vypínání stejnosměrného proudu je to jediný vhodný prostředek urychlující zhasnutí oblouku.

Keramická zhášecí komůrka je po obou vnějších stranách sevřena dvěma plechovými póly, které jsou spojeny ocelovým jádrem (obr. 8). Na jádře je vyfukovací (zhášecí) cívka, zapojená do série s kontakty, takže jí prochází vypínaný proud. Ten vybudí v cívice magnetické pole, jehož indukční čáry se uzavírají mezi oběma póly napříč zhášecí komory, tedy kolmo ke směru hořícího oblouku.

Oblouk tak hoří v magnetickém poli, a proto na něj působí síla, jejíž smysl můžeme určit pravidlem levé ruky. Při správném zapojení cívky (obr. 8a) směřuje síla nahoru a vhání oblouk do zhášecí komůrky. Jeho hašení urychlí roztríšťovač nebo kovová mřížka. Použitím zhášecí cívky se vypínací dráha zkrátí na 5 až 10 %. Vyfukovací cívka správně působí jen při vypínání proudů, které jsou stejné nebo větší než jejich jmenovitý proud. Při vypínání menších proudů

je její vyfukovací účinek nedostatečný a kontakty se mohou opalovat. Proto je třeba jmenovitý proud vyfukovacích cívek vždy vhodně navrhnout a nebývá vždy shodný se jmenovitým proudem vypínače.



Obr. 8. Magnetické vyfukování oblouku — a) princip působení, b) funkce opalovacího kontaktu

1 — jádro zhášecí cívky, 2 — plechový pól, 3 — vyfukovací cívka, 4 — zhášecí komůrka, 5 — indukční čáry vyfukovacího pole, 6 — roztríšťovač oblouku, 7 — opalovací kontakt

K vyfukování oblouku se používá i pevný permanentní magnet, který má tu výhodu, že stejně působí při každém proudu (obr. 85b).

Abychom prodloužili životnost kontaktů, bývá pevný kontakt opatřen opalovacím kontaktem (obr. 9b), který můžeme po opálení vyměnit. Tento kontakt je konstruován tak, že se oblouk na něj během vyfukování přenes, a tím odlehčí hlavní kontakt od tepelného namáhání.

g) Zhášení cizím zhášecím prostředkem. Používá se u vypínačů pro vysoké napětí a střídavý proud.

Celková doba hoření oblouku závisí na rychlosti deionizace prostředí po krátkodobém zhasnutí oblouku při průchodu proudu nulou. V klidném prostředí trvá tato deionizace poměrně dlouho (0,1 až 0,3 s), takže oblouk by se 5 až 15krát za sebou znovu zapálil.

Vypínač má však uhasit oblouk za 0,02 až 0,1 s, aby při daných rozměrech vypínače byl jeho vypínací výkon větší. Proto je třeba deionizaci uměle urychlit.

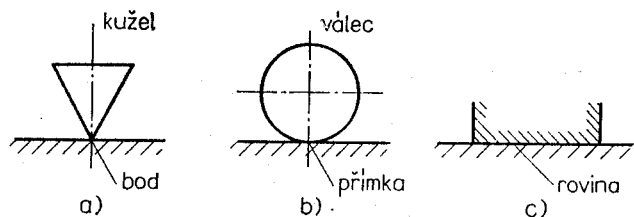
Urychlení deionizace lze dosáhnout různými hasivy:

- α) olejem,
- β) vodou,
- γ) stlačeným vzduchem,
- δ) elektronegativním plynem, např. SF₆.

1.3.5. Tvary kontaktů

Kontakty tvoří hlavní část každého spínače. Přestože mají různé konstrukční tvary, vlastní styk, v němž dochází k přechodu proudu, může být jen:

- a) bodový (obr. 9a),
- b) přímkový (obr. 9b),
- c) plošný (obr. 9c).



Obr. 9. Druhy styků — a) bodový, b) přímkový, c) plošný

Bodový styk má malý přechodový odpor, neboť při malé stykové ploše v něm vznikají velké tlaky, které zaručují čistý kovový styk. Jsou však nestálé, a proto se málo používají.

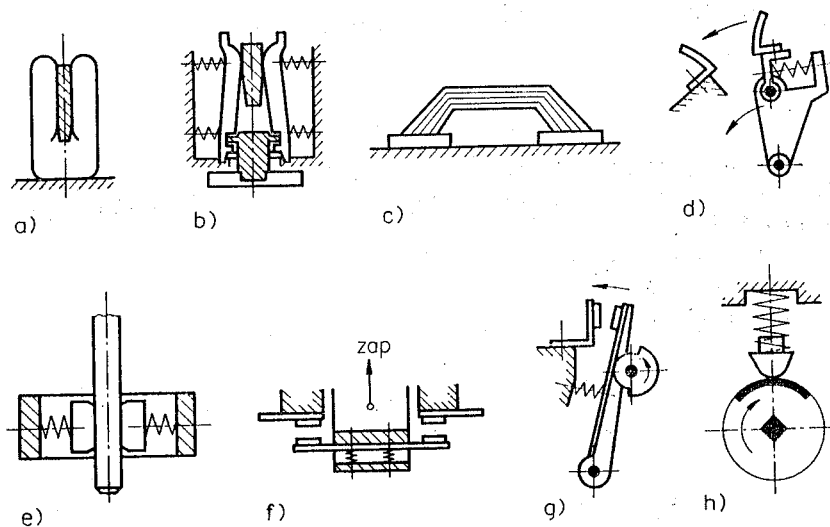
Přímkový styk je stálejší, odolnější proti otlacení, a proto se používá velmi často. Aby byl zaručený, musí být jeden kontakt (obvykle pohyblivý) uložený výkyvně.

Plošný styk je nejjednodušší, ale dá se velmi těžko uskutečnit. I když jsou kontakty výkyvné, nezaručí dosednutí na celé ploše. Jejich přechodový odpor je větší, neboť kontaktní tlak působí na větší ploše.

Plošné nožové kontakty běžných vypínačů považujeme za přímkové.

Podle konstrukce a uspořádání jsou kontakty:

- a) nožové (obr. 10a) — pohyblivý kontakt má tvar plochého nože, zasouvaného do párového pevného kontaktu; používají se u vypínačů pákových, olejových, starších stiskacích a u odpojovačů,
- b) lamelové (obr. 10b) — nožový kontakt se zasouvá do pevného kontaktu složeného z několika samostatně odpružených lamel,



Obr. 10. Konstrukce kontaktů — a) nožový, b) lamelový, c) kartáčový, d) palcový, e) tulipánový (růžicový), f) můstkový, g) kladívkový, h) válcový

c) kartáčové (obr. 10c) — pohyblivý kontakt je složen z plechových listů; dnes se už nepoužívají,

d) palcové (obr. 10d) — mají dva palce, které se při spínání po sobě mírně odvalují, a tím se i očisťují; používají se zejména u stykačů,

e) růžicové nebo tulipánové (obr. 10e) — odpružené lamely pevného kontaktu jsou uspořádány do kruhu a mezi ně se zasouvá pohyblivý válcový svorník,

f) můstkové (obr. 10f) — pohyblivý kontakt představuje můstek který dosedá na dvojici pevných kontaktů; používá se u stykačů, zvláště u olejových,

g) kladívkové (obr. 10g) — tvoří je kontaktní dvojice; jejíž pohyblivý kontakt je ovládán vačkou a dopadá na pevný kontakt jako kladívko,

h) válcové (obr. 10h) — odpružený palec pevného kontaktu se dotýká kluzného kontaktu, který je umístěn na otočné válcové ploše.

1.3.6. Materiál kontaktů

Od kontaktů se vyžaduje:

- a) trvalý průchod jmenovitého proudu v zapnuté poloze,
- b) odolnost proti účinkům oblouku při vypínání zkratových proudů,
- c) mechanická pevnost.

Materiály vyhovující prvnímu požadavku musí být dobře elektricky vodivé, musí dobře odvádět teplo vznikající na přechodovém odporu a musí odolávat korozivnímu účinku prostředí. Korozí odolávají nejlépe drahé kovy (Au, Pt, Ag). Zlato a platina mají velký měrný odpor a jsou drahé, takže se pro výrobu kontaktů nehodí. Vyhovuje tedy jen stříbro.

Nejlepší tepelnou a elektrickou vodivost mají měď, hliník a stříbro. Hliník se pro jeho mechanické vlastnosti a značné okysličování na kontakty nehodí.

Je zřejmé, že na kontakty, které mají trvale vést proud, je nevhodnější stříbro a po něm měď.

Nejběžnějším kontaktním materiálem je tedy tvrdá měď nebo polotvrdá měď. Není sice odolná proti korozí, ale vrstva kyslíčnicku se při obvyklých úpravách kontaktů dá samočinně odstraňovat (nožové kontakty, palce s odvalováním). Tam, kde je kontakt tvořen čelným stykem, není měď vhodná. Nevýhodou mědi je, že oblouk způsobuje její rozstříkování. Vznikající perličky mědi nepříznivě působí při dalším zapínání.

Kromě mědi se používá i bronz a mosazi. Bronz je vhodný pro výrobu dobře pružících listů pro kartáčové kontakty a pro odlévání složitých tvarů. Mosazi se využívá pro její dobré mechanické vlastnosti (odolnost proti otěru, snadná obrobitelnost).

Stříbro velmi dobře odolává korozí, povrchová vrstva kyslíčnicku nezhoršuje vodivost. Proto je vhodné pro výrobu kontaktů s čelním stykem, např. můstkových.

Samotné těleso kontaktu bývá měděné, ze stříbra je jen místo vlastního styku. Spojení se provede buď dokonalým připájením, nebo plátováním. Menší stříbrné kontakty mají tvar nýtu na měděné podložce.

Drahé kovy (Au, Pt) se používají jen pro velmi malé proudy, zejména tam, kde záleží na čistotě spoje a na spolehlivosti provozu (kontakty relé).

Aby materiál odolával účinkům oblouku, musí mít vysoký bod tavení. Vysoký bod tavení mají z vodivých materiálů wolfram, molybden a uhlík. Jejich společnou nevýhodou je velký měrný odpor.

Neexistuje tedy univerzální materiál, který by vyhovoval všem podmínkám.

Proto se donedávna volilo takové řešení, že tam, kde velmi záleželo na odolnosti proti opalování, používalo se dvou kontaktních systémů. Jedním (Cu, Ag) se proud vedl v zapnutém stavu a na druhém systému se oblouk zhasel.

Slitiny těchto materiálů, které mají dobré kontaktní vlastnosti se nedají použít, neboť legováním se značně zhoršuje elektrická vodivost.

Řešením jsou dnešní moderní kontakty vyrobené práškovou metalurgií ze spěkaných kovů. Jsou to mechanicky vytvořené směsi neslévatelných kovů, které se obvykle skládají ze dvou složek: ze složky vodivé (Ag, Cu) a ze složky zvětšující odolnost proti účinkům oblouku (např. wolfram, nikl, kysličník kademnatý, grafit apod.).

Kontaktní tělísko vyrobené práškovou metalurgií se zpravidla připevňuje na měděný nosič. Spojení musí být dokonalé, aby se jím nezvětšoval přechodový odpor. Spojení může být zhotoveno mechanickým připevněním, pájením a svařením.

Při výrobě přístroje pro velmi značné proudy se začínají uplatňovat kontakty z tekutých kovů. Kromě dříve používané rtuti, jejíž páry jsou jedovaté, jsou dnes k dispozici snadno tavitelné nejjedovatější a dobře vodivé slitiny, např. galia s indiem (bod tavení nižší než 30 °C). Jestliže je jejich bod tavení vyšší než teplota okolí, udržují se v tekutém stavu přidávným ohříváním.

K ohřátí můžeme s výhodou využít tepla vznikajícího průchodem proudu přes kontakt.

Schéma uspořádání spínače s tekutým kontaktem je na obr. 11.

1.3.7. Stykový odpor

Stykový odpor je charakteristickým údajem každého kontaktu. Vzniká v místě přechodu z materiálu jednoho na materiál druhého kontaktu. I zdánlivě rovinné plochy kontaktů nedosedají na sebe dokonale, ale v mnoha mikroskopických výstupcích, které jsou do sebe zatlačovány (obr. 12). Proud také musí procházet menším průřezem, tedy větším odporem.

Stykový odpor se kromě toho ještě zvětšuje vrstvami nevodivých kysličníků, které vznikají atmosférickou korozí.

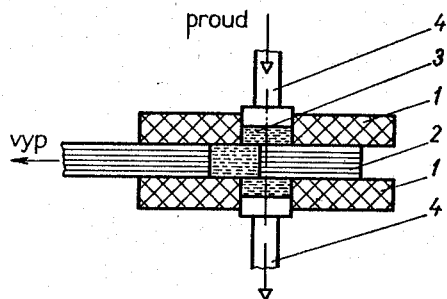
Velikost stykového odporu R_s závisí na druhu styku, materiálu a na kontaktním tlaku (síle) F .

Podle Cigánka platí

$$R_s = \frac{k_m}{I^n} \quad [\Omega; N] \quad (7)$$

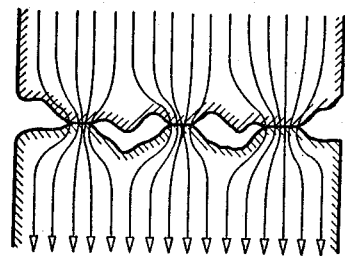
kde n je konstanta závislá na materiálu (0,85 pro měď; 0,5 pro stříbro),

k_m konstanta závislá na materiálu a stavu povrchu kontaktů.



Obr. 11. Spínač s tekutým kontaktem

1 — pevná izolační část, 2 — pohyblivá izolační část, 3 — tekutý kovový kontakt, např. slitina paladia s indiem, 4 — přívody



Obr. 12. Vznik stykového odporu

Velikost stykového odporu studených kontaktů zjištěná měření na spínačích v provozu je uvedena na obr. 13.

Je vidět, že stykový odpor můžeme zmenšit zvětšením kontaktní síly, která způsobí větší deformaci elementárních přechodových míst, zvětšení jejich průřezu a rozmačkání oxidačních vrstev.

Zvětšeným kontaktním tlakem se ale zvětšuje mechanické opotřebení a zkracuje se životnost spínače.

1.3.8. Oteplení kontaktů

Průchodem proudu I stykovým odporem R_s vzniká úbytek napětí

$$\Delta U_s = IR_s \quad (8)$$

jehož velikost nesmí překročit jisté maximální dovolené hodnoty a Joulový ztráty

$$P_j = I^2 R_s \quad (9)$$

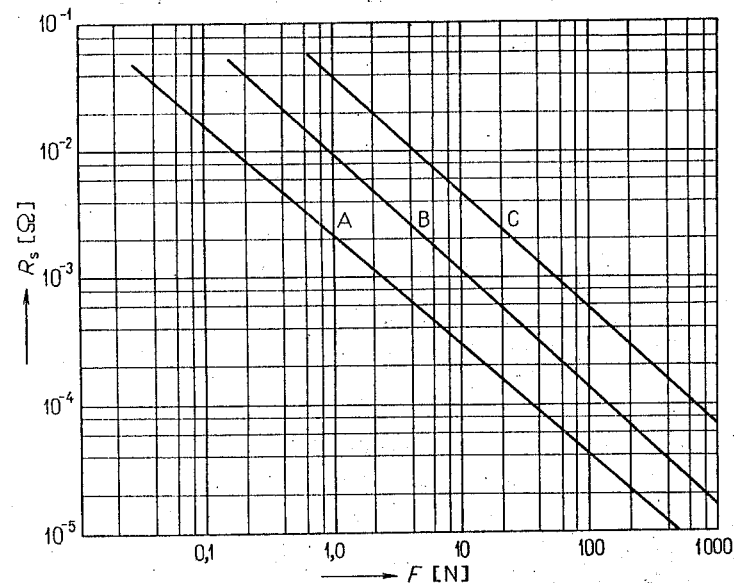
jimiž se místo styku ohřívá.

Oteplení místa styku vzhledem k ostatní hmotě kontaktů závisí na velikosti přechodového úbytku napětí a je podle Holma dáno vztahem

$$\Delta \vartheta_s = \frac{\Delta U_s^2}{8\lambda \varrho} \quad [K; V, W m^{-1}K^{-1}, \Omega m] \quad (10)$$

kde ϱ je měrný odpor materiálu kontaktů,

λ měrná tepelná vodivost materiálu kontaktů (pro měď je $\lambda = 384 W m^{-1}K^{-1}$, pro stříbro $\lambda = 418 W m^{-1}K^{-1}$).



Obr. 13. Stykový odpor studených měděných kontaktů v závislosti na kontaktním tlaku — A — nové, čisté kontakty, B — často spínané kontakty, C — málokdy spínané kontakty

1.3.9. Svaření kontaktů

Z rovnice (10) je vidět, že čím větší je přechodový úbytek napětí ΔU_s , tím vyšší je oteplení místa styku. Při určitém úbytku napětí může toto oteplení dosáhnout teploty tavení kovu, což vede ke svaření kontaktů.

Svaření kontaktů může nastat zejména při zkratu, jestliže zkratový proud trvá delší dobu. Udává se, že při svaření měděných

a stříbrných kontaktů je zapotřebí energie 200 J. Maximální možný stykový odpor, při němž průchodem proudem nakrátko I_k v čase t_k ještě nedojde ke svaření kontaktů, vychází z podmínky

$$\Delta P_j t_k = I_k^2 R_s t_k \leq 200$$

$$R_{s \max} \leq \frac{200}{I_k^2 t_k} \quad (11)$$

Oteplení spínače za provozu je vyvoláno trvalým proudem, který jím prochází.

Vypínač, jako každý jiný přístroj zapojený v elektrizační soustavě, musí však vydržet i tepelné namáhání kratkodobým proudem, který jím prochází při zkratu.

Vypínače vn a vvn musí po dobu 1 s vydržet namáhání proudem, který je roven alespoň jmenovitému souměrnému vypínacímu proudu. Krátkodobé proudy jiného trvání se dají určit z podmínky

$$I^2 t_k = \text{konst} \quad (12)$$

která platí do doby $t_k = 5$ s.

Vypínače nových konstrukcí musí mít dovolenou dobu zkratu minimálně 2 s při jmenovitém vypínacím proudu.

1.4. PŘEHLED VLASTNOSTÍ VYPÍNAČŮ

Od vypínače požadujeme:

1. Spolehlivé spínání, s vyloučením odskakování kontaktů. O odskakování hovoříme tehdy, nastane-li trvalý styk několikanásobným spojením a rozpojením těsně po sobě.

2. Energické uhašení oblouku v přiměřeně krátkém čase.

3. Udržení izolační vzdálenosti ve vypnutém stavu. Jestliže ji vypínač sám nemůže zabezpečit, předradí se mu odpojovač.

4. Bezpečný provoz bez ohrožování okolí a obsluhy.

5. Vyloučení větších přepětí.

6. Schopnost vydržet bez poškození tepelné a dynamické namáhání největším dovoleným zkratovým proudem.

7. Vyloučení samovolného vypínání působením zkratového proudu.

Charakteristické veličiny vypínačů vn a vvn jsou:

nejvyšší napětí, při kterém může vypínač pracovat bez poškození, jmenovitý proud,

jmenovitý kmitočet,
jmenovitý spínací cyklus,
jmenovité zotavené napětí,
jmenovitý vypínací proud, popř. vypínací výkon,
jmenovitý zapínací proud,
krátkodobý proud.

Zkratovou odolnost charakterizuje krátkodobý proud jedno-
sekundový, popř. dvousekundový (odst. 1.3.9) a jmenovitý zapínací
proud. Tento proud musí být podle ČSN 35 4200 nejméně $1,8 \sqrt{2}$ krát
větší než jmenovitý vypínací proud. To znamená, že vypínač (vn
a vvn) musí zabezpečit spolehlivé zapnutí i do zkratu.

Vypínač musí spolehlivě vypnout i tzv. blízký zkrat (zkrat
v blízkosti napájecího zdroje).

Bez revize mají vypínače vypínat 10 zkratů s plným vypínacím
proudem a 20 zkratů s polovičním vypínacím proudem.

Selhání vypínače může být:

1. tepelné,
2. dielektrické,
3. mechanické.

Asi 80 % poruch má příčinu v mechanických vlastnostech. Jme-
novitý spínací cyklus bez opětovného zapínání je

O — t — CO — t — CO

kde O je vypnutí,

CO zapnutí, po němž ihned bez úmyslného zdržení následuje
vypnutí,

t doba 180 s.

Pro vypínače s opětovným zapínáním platí navíc ještě cyklus

O — @ — CO

kde @ je nejkratší bezproudová (mrtvá) doba při opětovném zapí-
nání.

Opětovným zapínáním (OZ), kterým bývají vybaveny vý-
konové vypínače venkovních sítí vn a vvn, se v případě vzniku
oblouku na vedení (atmosférická přepětí, spadlá větev stromu, letící
pták atp.) toto samočinně krátkodobě odpojí od zdroje a v zápětí
opětovně zapne. Tím vzniklý oblouk v místě poruchy zhasne a síť
se nadále udrží v provozu. Krátkodobé přerušování proudu (např. na
0,2 až 0,3 s nijak neovlivní její chod, ale můžeme jím odstranit
80 až 90 % všech poruch na vedení, které bez OZ mají za následek
dlouhodobé přerušování dodávky elektrické energie.

Opětovné zapínání je ovládáno zvláštním reléovým zařízením.

1.5. ELEKTRODYNAMICKÉ SÍLY

Elektrodynamické síly jsou síly vznikající průchodem proudu blízkými vodiči.

Mezi dvěma rovnoběžnými dlouhými vodiči vzdálenými od sebe o a , kterými procházejí stejnosměrné proudy I_1 a I_2 působí na délku l elektrodynamická síla

$$F = 2 \frac{l}{a} I_1 I_2 \cdot 10^{-7} \quad [\text{N}; \text{m}, \text{A}] \quad (13)$$

Je-li smysl proudů souhlasný, jsou vodiče přitahovány k sobě, při nesouhlasných směrech se vodiče od sebe odpuzují.

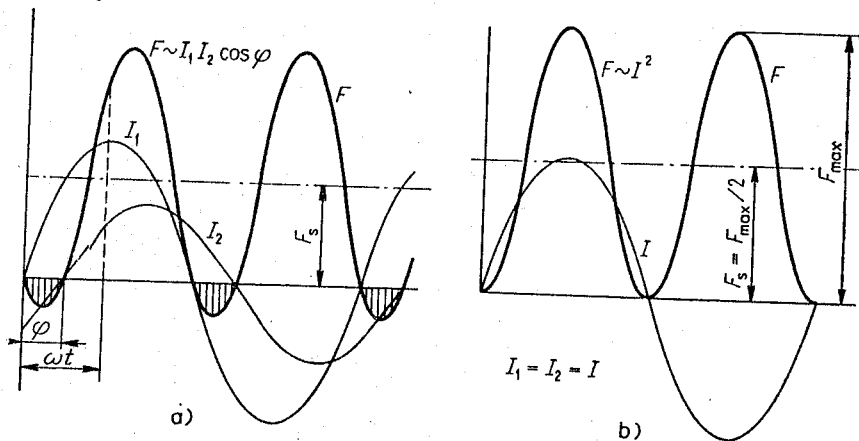
Bude-li vodiči procházet stejný proud ($I_1 = I_2 = I$), je elektrodynamická síla úměrná druhé mocnině proudu

$$F = 2 \frac{l}{a} I^2 \cdot 10^{-7} \quad [\text{N}; \text{m}, \text{A}] \quad (14)$$

Je-li proud střídavý, kmitá síla dvojnásobným kmitočtem a její velikost závisí i na fázovém posunu (obr. 14a).

Okamžitá hodnota síly

$$F = 2 \frac{l}{a} i_1 i_2 \cdot 10^{-7} = 2 \frac{l}{a} I_{1\text{max}} \sin \omega t \cdot I_{2\text{max}} \sin (\omega t - \varphi) \cdot 10^{-7}$$



Obr. 14. Průběh elektrodynamických sil — a) rovnoběžnými vodiči procházejí proudy o různé velikosti, b) rovnoběžnými vodiči procházejí stejné proudy

Její střední hodnota

$$F_s = \frac{1}{T} \int_0^T F_t dt = 2 \frac{l}{a} I_1 I_2 \cos \varphi \cdot 10^{-7} \quad (15)$$

kde $I_1 I_2$ jsou efektivní hodnoty proudů.

Prochází-li vodiči stejný proud I , je $\varphi = 0$, $\cos \varphi = 1$ (obr. 15b) a síla

$$F = 2 \frac{l}{a} I^2 \cdot 10^{-7} \quad [\text{N}; \text{m}, \text{A}] \quad (16)$$

Prochází-li třemi rovnoběžnými vodiči trojfázový proud, působí na jednotlivé vodiče v každém okamžiku různé síly s různým průběhem.

Kmitání síly kmitočtem $2f$ vyvolá kmity vodičů, např. volných vedení, přípojníc v rozváděcích a rozvodnách. Důležité přitom je, aby tyto kmity nebyly v rezonanci s vlastním kmitočtem vodičů, jinak je působením rezonance výsledné namáhání vodičů podstatně větší.

Výpočet vlastního kmitočtu různě uspořádaných vodičů je ve speciální literatuře.

Za normálního provozu, pokud vodiči prochází jmenovité proudy, jsou elektrodynamické síly zpravidla zanedbatelně malé. Uplatní se však při zkratech, kdy jimi procházejí proudy mnohonásobně větší. Pro dimenzování vodičů je rozhodující maximální síla, odpovídající dynamickému nárazovému proudu I_{km}

$$F_{\text{max}} = 2 \frac{l}{a} I_{\text{km}}^2 \cdot 10^{-7} \quad [\text{N}; \text{m}, \text{A}] \quad (17)$$

Její účinek je zesílen tím, že působí po velmi krátký čas a má charakter dynamického rázu.

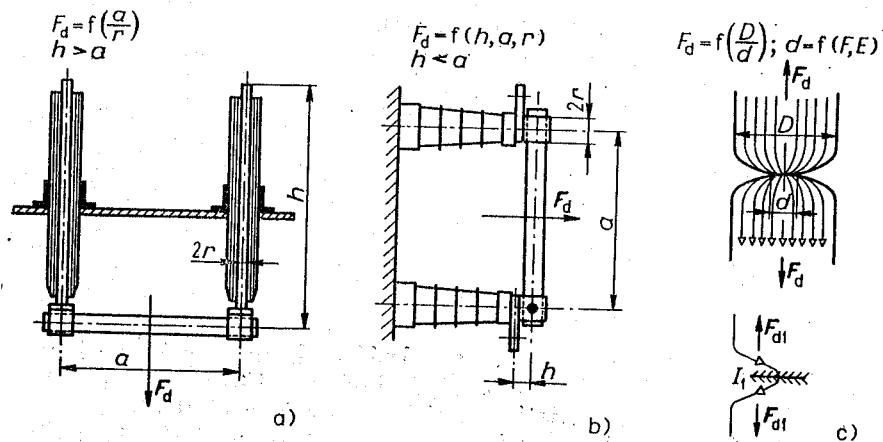
Na tuto sílu musí být mechanicky dimenzovány všechny části, na něž dynamické síly přímo i nepřímo působí (vodiče, podpěrné izolátory, průchodky, kontakty apod.).

Elektrodynamické síly vznikají nejen mezi rovnoběžnými vodiči, ale působí i na samostatný vodič, jestliže ten mění svůj směr nebo jestliže vytváří smyčku.

Elektrodynamické síly se zvláště uplatní:

- u kontaktů olejových vypínačů (obr. 15a),
- u kontaktů odpojovačů (obr. 15b),

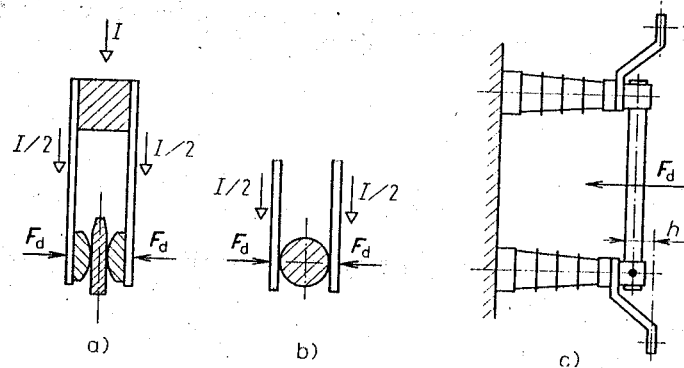
v obou případech se mohou kontakty při zkratech působením elektrodynamických sil otevřít a proti tomu musí být mechanismus spínače vhodným způsobem zabezpečen,



Obr. 15. Působení elektrodynamických sil — a) na kontakty olejového spínače, b) na kontakty odpojovače, c) na čelní a palcové kontakty

c) při čelních a palcových kontaktech (obr. 16c), kdy vznikají tyto síly působením magnetických polí zakřivených proudových čar a způsobují odpuzování kontaktů, stěžují zejména zapínání do zkratu.

Vhodnou úpravou spínacích částí se dají elektrodynamické síly využít právě k účelnému zvětšení kontaktního tlaku (síly) při zkratu (obr. 16a, b) nebo se dá změnit jejich účinek tak, že působí např. směrem do zapnuté polohy (obr. 16c).



Obr. 16. Využití elektrodynamických sil při zkratu

2. ZÁKLADNÍ STAVEBNÍ ČÁSTI ELEKTRICKÝCH PŘÍSTROJŮ

2.1. PŘEHLED

Hlavní části přístrojů jsou:

1. Části tvořící proudovou dráhu. U spínačů je tím hlavním určujícím prvkem kontakt. (Podrobné řešení této problematiky je obsahem předmětu „Části elektrických strojů a přístrojů“.)

Součástí proudové dráhy jsou přívody. Podle umístění jsou přístroje:

- s předním přívodem,
 - se zadním přívodem.
- Části izolační.
 - Spínací mechanismy.

4. Kryty. Slouží k ochraně samotného přístroje před vlivem okolí a zároveň k ochraně před nebezpečným dotykem. Druhy krytů elektrických přístrojů jsou v ČSN 35 3002.

Doporučené druhy krytů jsou:

IP 00, IP 10, IP 11, IP 20, IP 22, IP 23, IP 40, IP 43, IP 44, IP 65, IP 66, IP 67, IP 68.

První číslo udává stupeň ochrany před vniknutím cizích předmětů, druhé číslo stupeň ochrany před vniknutím vody (viz I. díl). Zvláštní skupinu tvoří přístroje nevýbušné.

2.2. IZOLAČNÍ ČÁSTI

2.2.1. Používané izolanty

K izolaci se v elektrických přístrojích používají:

- pevné izolanty,
- kapalné izolanty,
- plynné izolanty.

Pevné izolanty mechanicky spojují a současně elektricky oddělují části, mezi nimiž je napětí.

Používá se tvrzený papír a tvrzená tkanina, keramické hmoty — zvláště porcelán, lisované izolanty různého původu, slída, azbest, sklo a v posledních letech čím dál tím více lité epoxidové pryskyřice, které se velmi dobře osvědčují jako izolanty i konstrukční materiály.

Zatím nejsou vhodné pro venkovní použití, neboť se slunečním zářením znehodnocují. Jako plnivo se při odlévání používá především mletý tavený křemen, ale i mletý porcelán, křemenný písek, hlinka apod.

Z pevných izolantů se vyrábějí:

konstrukční části spínačů nn,

kryty přístrojů,

konstrukční části spínačů vn a vvn, sloužící k odizolování živých částí od země, mezi sebou a současně k ochraně vnitřních spínačích částí před venkovním prostředím,

podpěrky pro vodiče a kontakty,

průchodky.

Kapalné izolanty — nejčastěji izolační (transformátorové) oleje, slouží k odizolování živých částí proti sobě, přičemž se dosáhne zmenšení potřebných izolačních vzdáleností, v některých slouží i k chlazení (regulátory, spouštěče), dále pak k ochraně kontaktů před atmosférickou korozí a u některých typů spínačů ke zhášení oblouku, popř. i k zajištění izolace mezi kontakty ve vypnutém stavu.

Charakteristickým údajem izolačních olejů je jejich elektrická pevnost, udávaná v kilovoltech na 3 mm nebo v kilovoltech na centimetr. Pevnost nového oleje musí být nejméně 60 kV/3 mm, za provozu může klesnout na hodnotu, kterou udává výrobce příslušného přístroje.

Plynné izolanty, používané v elektrických přístrojích jsou:

a) vzduch za normálního tlaku,

b) stlačený vzduch,

c) fluorid sírový (SF_6).

Stlačený vzduch slouží ke zhášení oblouku, přičemž SF_6 , jehož izolační pevnost je 2,3 až 2,5krát větší než vzduchu, umožňuje velmi podstatné zmenšení izolačních vzdáleností (zapouzdřený rozvodny).

Elektrická pevnost plyných izolantů závisí na tlaku, tvaru elektrod a na jejich vzdálenosti.

2.2.2. Zásady izolačního návrhu

U přístrojů nn není izolační návrh problémem. Obvykle se zřetelem k mechanickým požadavkům je pevný izolant dostatečně dimenzován, než si to elektrické namáhání vyžaduje.

Při návrhu přístrojů vn a vvn se musí však vycházet právě z elektrického namáhání. Jím jsou určeny:

vzdálenosti,

tvar a uspořádání proudových cest,

tvar a uspořádání ostatních živých a neživých kovových částí, druh a rozměry použitého izolantu, tvar izolačního tělesa.

Podkladem pro návrz izolace (dielektrický návrh) je řešení elektrického pole. Metody řešení elektrických polí jsou uvedeny ve speciální literatuře.

Kromě vlastního elektrického namáhání musí být řešena i odolnost izolantu proti povrchovému přeskoku.

Přeskokové napětí závisí na:

a) permitivitě izolantu,

b) vodivosti povrchu,

c) tvaru povrchu, který ovlivňuje usazování povrchových nábojů.

Vodivost povrchu je velmi ovlivněna vlastnostmi ovzduší. Jak postupně narůstá znečišťování ovzduší, tak se zvětšují problémy se znečišťováním povrchu izolátorů, zejména u vvn.

Aby byl izolant co nejlépe využit, má být elektrické pole v něm co nejvíce homogenní. To znamená, že musíme vyloučit uspořádání elektrod soustavy hrot—deska, u níž dochází v okolí hrotu k velkému zhušťování silových čar elektrického pole, a tím ke zvětšení elektrického namáhání.

2.2.3. Průchodky a podpěrné izolátory

U průchodků se dá příznivého elektrického namáhání dosáhnout:

a) stínicí objímkou (obr. 17a),

b) předsunutou elektrodou (obr. 17b),

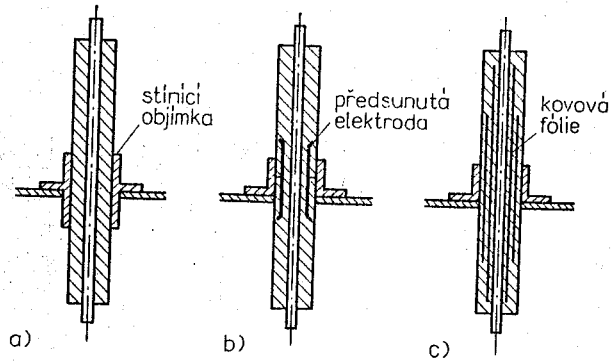
c) kondenzátorovým uspořádáním (obr. 17c).

POZNÁMKA. Aby se vyloučilo nepříjemné sršení, ke kterému na těchto průchodkách dochází už při jmenovitém napětí, musí být kovové víčko vodivě potenciálně propojeno s vodičem. Toho se dosáhne buď spojením víčka s pásem příšroubovaným lankem, nebo spirálou holého drátu vloženou do dutiny průchodky tak, že se současně dotýká obou víček, procházejícího vodiče i povrchu vnitřní dutiny, která je opatřena nastříkaným kovovým povlakem.

U podpěrných izolátorů se dá namáhání zmenšit vhodným tvarem izolátorového tělesa a úpravou zatmelených kovových částí.

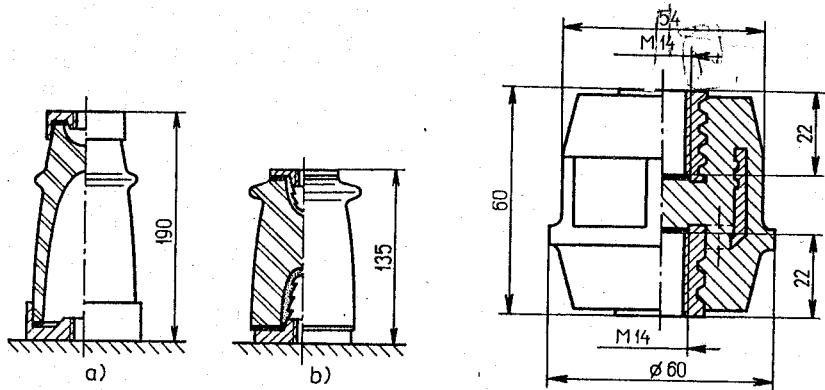
Na obr. 18 je příklad zmenšení výšky podpěrného izolátoru při stejném napětí, dosažené tzv. vnitřním tmelením a novým uspořádáním spodní a horní kovové připevňovací objímky.

Na obr. 19 je příklad moderního podpěrného izolátoru z lité pryskyřice s předsunutou elektrodou.



Obr. 17. Zmenšení dielektrického namáhání průchodek

a) stínící objímka, b) předsunutá elektroda, c) kondenzátorová průchodka



Obr. 18. Zmenšení výšky podpěrného izolátoru vnitřním tmelením a úpravou kovových upevňovacích objímek

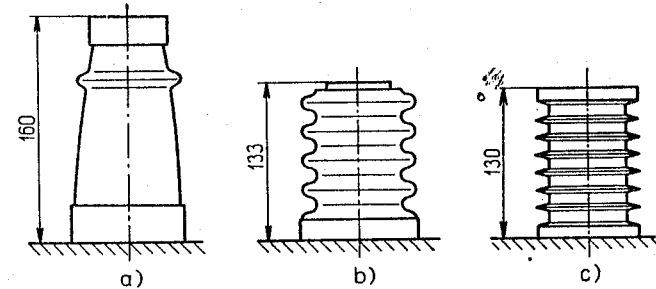
a) původní typ podle ČSN 34 8008, b) nový typ

Obr. 19. Podpěrný izolátor z epoxidové pryskyřice s předsunutou elektrodou, dielektrická pevnost 27 kV, 50 Hz, zatížení v tahu 27 kN, zatížení v ohybu 160 N m (Manufakture des Alpes Francaises)

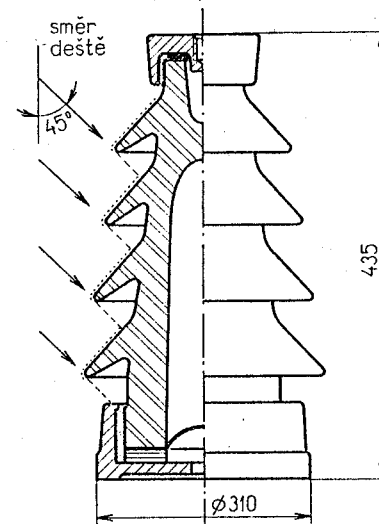
Proti účinkům zaprášení a znečištění jsou zvlášť odolné nové typy průchodek a podpěrných izolátorů s vroubkovaným povrchem. Velmi výhodné tvary žeber se dají dosáhnout u epoxidových izolátorů, které jsou vzhledem k porcelánovým i v jiných směrech výhodnější.

Porovnání rozměrů je na obr. 20.

Izolátory pro venkovní prostředí musí být na povrchu opatřeny stříškami, které prodlužují přeskovou dráhu, a tím zvyšují přeskové napětí.



Obr. 20. Porovnání rozměrů podpěrných izolátorů 10 kV — a) klasická porcelánová podpěrka podle ČSN 34 8008, b) porcelánová vroubkovaná podpěrka, c) epoxidová vroubkovaná podpěrka



Obr. 21. Venkovní porcelánová podpěrka typu SSVB 35 pro 35 kV

čárkovaně — vzduchové vzdálenosti 176 mm, tečkovaně — mokré vzdálenosti 270 mm

Za deště klesá tzv. měrné přeskokové napětí z hodnoty 2,5 kV/cm na 1,5 kV/cm. Při stejném napětí by měl mít tedy izolátor větší délku. Vhodně tvarované stříšky zvětší odolnost izolátoru proti povrchovému přeskoku i při původní délce (obr. 21).

2.3. MECHANISMY A POHONY ELEKTRICKÝCH PŘÍSTROJŮ

2.3.1. Příslušenství mechanismů

Mechanismy přístrojů umožňují jejich ovládání při splnění různých speciálních požadavků a zabezpečení jejich požadované polohy (aretačí).

K mechanismům přístrojů patří:

- a) ovládací mechanismy,
- b) aretační mechanismy,
- c) volnoběžky,
- d) vybavovací mechanismy,
- e) blokovací mechanismy.

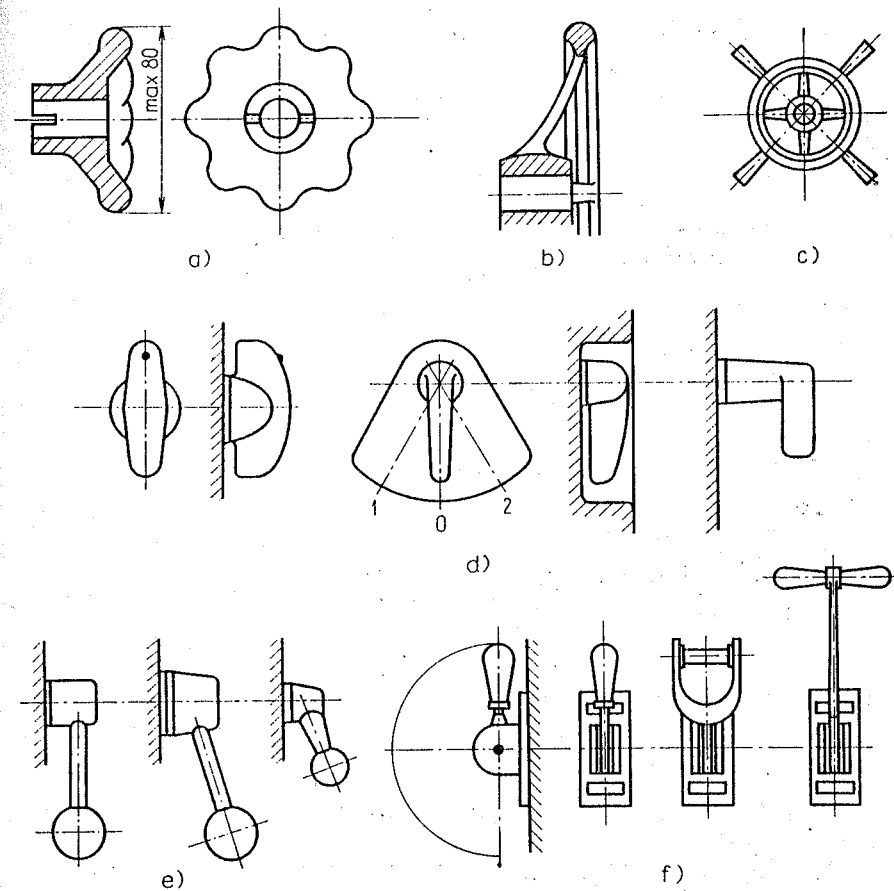
2.3.2. Způsoby ovládání

Ovládání může být:

- a) přímé — zpravidla ruční (nožní), bez cizího zdroje mechanické energie,
- b) nepřímé, strojní, prostřednictvím cizího zdroje mechanické energie; zpravidla jde o ovládání dálkové ze vzdálenějšího stanoviště obsluhy.

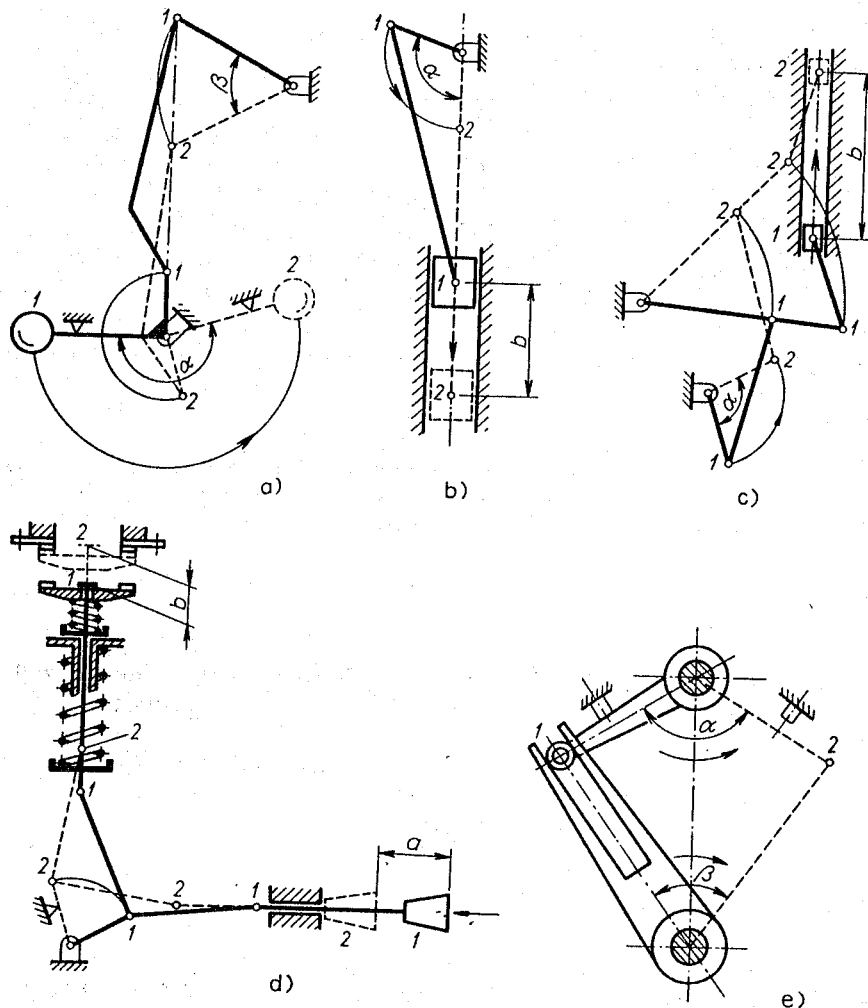
Pro ruční ovládání se používají:

- a) ruční kolečka z izolantu, pro ovládání menších přístrojů jen jednou rukou (do průměru 80 mm), obr. 22a,
- b) ruční kolečka pro obě ruce, pro dosažení větších momentů, obr. 22b,
- c) kormidlová kola pro dosažení největších momentů (obr. 22c),
- d) rukověti kohoutkové (obr. 22d),
- e) ovládací páky s koulí (obr. 22e),
- f) ovládací páky sklopné (obr. 22f),
- g) ovládací tlačítka,



Obr. 22. Přímé ruční ovládací přístroje — a) ruční kolečko z plného izolantu, b) kovové kolečko pro obě ruce, c) kormidlové kolo pro velké momenty, d) kohoutkové rukověti, e) ovládací kulové páky, f) ovládací sklopné páky

- h) kloubové mechanismy pro přenášení pohybů v jedné rovině:
 - α) pro změnu pohybu otáčivého na otáčivý (obr. 23a),
 - β) pro změnu pohybu otáčivého na přímočarý (obr. 23b),
 - γ) na změnu pohybu přímočarého na otáčivý (obr. 23c),
 - δ) na změnu pohybu přímočarého na přímočarý (obr. 23d),
- i) kulisové mechanismy (obr. 23e),
- j) ozubené převody pro přenášení pohybu v různých rovinách,
- k) řetězové převody.



Obr. 23. Kloubové mechanismy — a) změna otáčivého pohybu na otáčivý, b) změna otáčivého pohybu na přímočarý, c) změna přímočarého pohybu na otáčivý pohyb, d) změna přímočarého pohybu na přímočarý, e) kulisový mechanismus

Strojové ovládání může být

- a) elektromagnetické,
- b) tlakovzdušné,
- c) motorové,

- d) pružinové (akumulační — stradačové):
 - α) s ručním napínáním,
 - β) elektromotorické,
 - γ) pneumatické,
- e) hydraulické.

Podle rychlosti pohybu může být ovládání:

- a) pomalé — kontakty sledují pohyb pohonu,
- b) mžikové — kontakty zapínají a vypínají rychle, např. prostřednictvím napnutých zapínacích a vypínacích pružin.

U vypínačů vn a vvn jsou tyto pružiny napínány strojním pohonem a jsou vždy připraveny k zapůsobení. U spínačů nn s ručním ovládáním je rychlý pohyb kontaktů zabezpečen tak, že se ručním pohonem zpočátku napíná příslušná ovládací pružina. Její síla se přenese na kontakty až když je dostatečně velká.

U některých druhů strojních pohonů uskutečňuje mžikové zapnutí jejich vlastní energie (pohony elektromagnetické, hydraulické a tlakovzdušné pohony tlakovzdušných vypínačů).

2.3.3. Aretační mechanismy

Úlohou aretačních mechanismů je zabezpečování žádaných poloh spínacích a řídicích přístrojů. Působí zpravidla na principu rohatky a západky.

Aretace může být tvrdá nebo měkká. Její charakteristika závisí na profilu rohatky a na tlaku aretačních pružin.

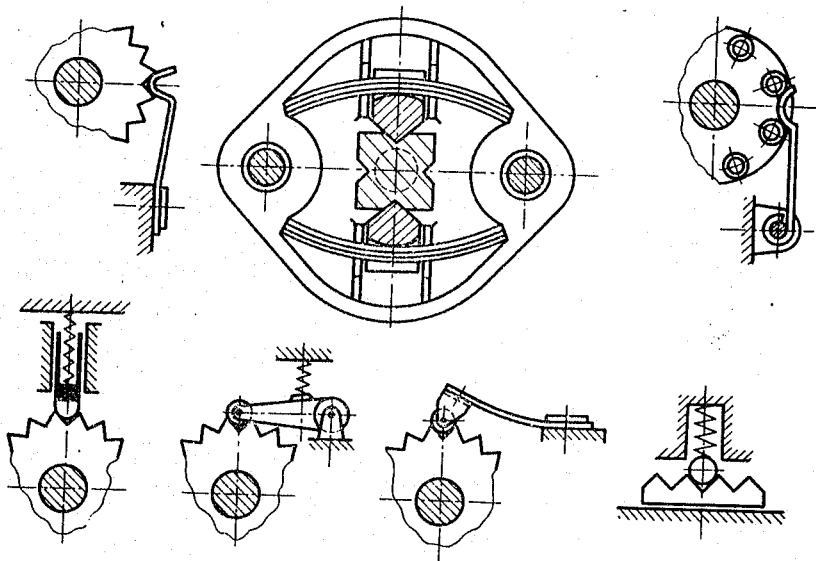
Příklady jsou uvedeny na obr. 24.

2.3.4. Volnoběžky

Samočinné spínací přístroje a především vypínače vn a vvn, které musí samočinně vypínat v závislosti na nastavených velikostech proudu, popř. i napětí, musí mít mezi ovládacím mechanismem a kontaktní soustavou volnoběžku.

Úlohou volnoběžky je:

1. přenášet pohyb ručního nebo strojního pohonu na kontakty,
2. držet v napnuté poloze vypínací pružiny, které obstarávají mžikové vypnutí,
3. uvolnit pružiny a způsobit vypnutí po zapůsobení vybavovacího ústrojí,



Obr. 24. Příklady aretačních mechanismů

4. umožnit samočinné vypnutí i během trvání zapínacího impulsu, jestliže způsobí vybavovací spouště, např. při zapínání výkonového vypínače do zkratu.

Základní konstrukce volnoběžek může být dvojitá:

1. Volnoběžky využívající vzpěry a táhla, skloubené do sebe před nebo za jejich mrtvou polohou (příklad je uveden při popisu jednopólových jističů na obr. 86),

2. volnoběžky využívající soustavy skloubených západek (příklad je uveden při popisu olejového vypínače na obr. 127).

2.3.5. Vybavovací mechanismy [9; 10; 11]

Výkonové vypínače vn a vvn se zpravidla zapínají dálkově ovládacím tlačítkem nebo ovládacím přepínačem. Kontakt ovládacího prvku uvolní energii pro pohon kontaktů do zapnuté polohy. Způsob závisí na druhu pohonu.

Zapínací energií pohonu se zpravidla napnou vypínací pružiny, které drží v napnutém stavu západka vybavovacího mechanismu (volnoběžky). Vypínač vypne uvolněním západky. Uvolnění západky může způsobit:

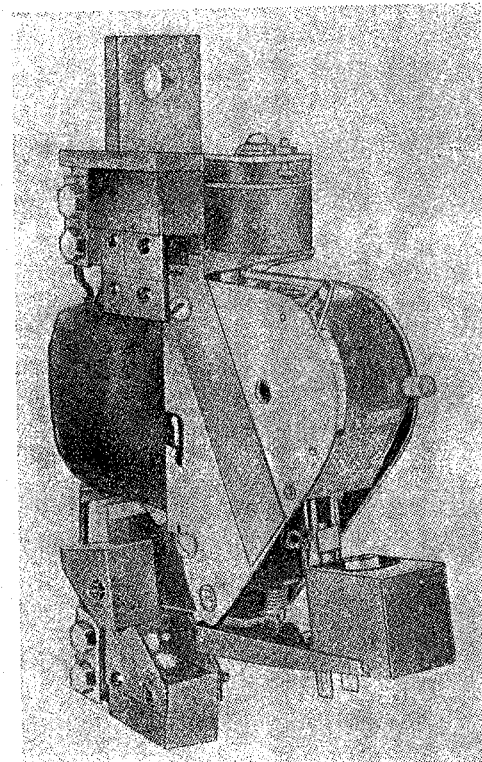
- a) vypínací elektromagnet (vypínací spoušť),
- b) mechanický vybavovač.

Vypínací elektromagnet dostává impuls vypínacím tlačítkem, ovládacím přepínačem (provozní vypnutí). Mechanický vybavovač umožňuje místní nouzové vypnutí (při poruše v ovládacích obvodech) nebo při revizi.

Samočinné vypnutí nastane tehdy, dosáhne-li proud procházející vypínačem nastavené hodnoty. Pro samočinné vypnutí se používají:

a) Nadproudová ochranná relé — jsou napájena z měřicích transformátorů proudu a vypnutí způsobí tak, že elektricky zapínají vypínací spoušť.

b) Primární nadproudové spouště. Jsou to elektromagnetické přístroje, zapojené přímo do primárního obvodu tak, že jimi prochází plný proud. Tento proud napájí vlastní elektromagnetický systém. Po dosažení nastavené velikosti proudu způsobí kotvíčka



Obr. 25. Primární nadproudová spoušť typu RDT pro máloolejové vypínače (Energoinvest Sarajevo, licence francouzské firmy Delle)

tohoto systému mechanicky, prostřednictvím izolačního táhla, na vybavovací západku vypínače.

Každou nadproudovou spoušť můžeme nastavit na určitý proud v určitém rozsahu jmenovitého proudu spouště.

Spouště bývají polozávislé. To znamená, že do určité velikosti proudu vypínají s časovým zpožděním, závislým na velikosti přetížení, a od určité velikosti nadproudu vypínají mžikově. Charakteristiku zpoždění můžeme nastavením spouště též ovlivnit.

Na obr. 25 je primární nadproudová spoušť typu RDX, která zpožděně vypíná do velikosti proudu $4I_n$, při přetížení nad tuto velikost vypíná mžikově. Hraniční proud je možné nastavit i v rozsahu 120 až 200 % jmenovitého proudu spouště.

c) Důležité vypínače mají i podpětovou spoušť. Je to elektromagnet, připojený např. na napětí pomocných (ovládacích a ochranných) obvodů. Působí na západku vybavovacího mechanismu tak, že umožní zapnutí vypínače jen tehdy, je-li na něm plné napětí (s určitou dovolenou tolerancí, např. —20 %).

Jestliže se napětí na podpětové spoušti za provozu ztratí, např. při závadě v ovládacích obvodech, západka se uvolní a vypínač samočinně vypne. Tím je vypínač (a jím spínané zařízení) chráněn před havárií, ke které by mohlo dojít při náhodném zkratu, který by nebyl pro závalu v ovládacích obvodech včas vypnut.

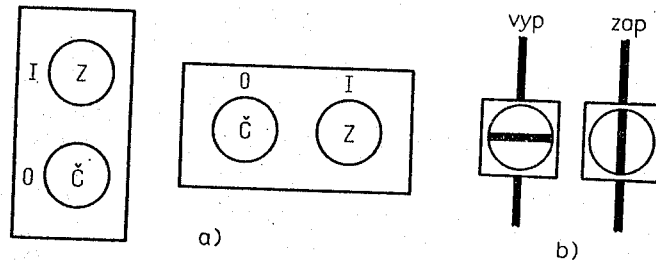
Jestliže má vypínač podpětovou spoušť, provozní vypnutí se způsobí úmyslným přerušením jejího obvodu vypínacím tlačítkem nebo řídicím.

POZNÁMKA. Pro označení stavu vypínačů, jakož i příslušných ovládacích prvků, se používá těchto značek:

pro zapnutí — značka I nebo zkratka ZAP,
pro vypnutí — značka 0 nebo zkratka VYP.

Stav vypínače signalizují barvy:

zelená — stav vypnutý (bezpečný),
červená — stav zapnutý (nebezpečný).



Obr. 26. Prostorová úprava ovládacích tlačítek a řídicí

ALE POZOR! Jestliže se pro ovládání používají tlačítka, je jejich funkce barevně značena takto:

zapínací tlačítko — zeleně,

vypínací tlačítko — červeně.

Prostorová úprava tlačítek je na obr. 26a.

Poloha ovládacích řídicí je na obr. 26b.

2.3.6. Strojní pohony

a) Elektromagnetické pohony

K vyvolání zapínacího pohybu kontaktů se zde využívá přitažlivé síly elektromagnetu. Používají se pro ovládání:

1. Elektromagnetických stykačů — elektromagnet je na střídavý nebo stejnosměrný proud — podle toho, na jaký proud je stykač konstruován, jde o menší přístroje, u kterých elektromagnet nepůsobí žádné problémy.

2. Větších typů jističů, které mají být dálkově ovládnuty — elektromagnet bývá na stejnosměrný proud, ale napájí se ze střídavé sítě přes pomocný usměrňovač.

3. Vypínačů vn menších rozměrů a s krátkou kontaktní dráhou, jsou nejčastějším pohonem stejnosměrných rychlovypínačů; jsou napájeny z akumulátorové baterie 110 V nebo ze střídavé sítě 220 V přes vhodně dimenzovaný pomocný usměrňovač.

Větší elektromagnetické pohony se nepoužívají, neboť zatěžují napájecí baterii proudovými nárazy.

b) Tlakovzdušné pohony

U tlakovzdušných pohonů se využívá pro ovládání energie stlačeného vzduchu vyráběného ve zvláštní kompresorové stanici. Jmenovité tlaky bývají podle velikosti 0,5; 1,2; 1,6; 2,0 a 3,2 MPa.

Jsou výhradním pohonem tlakovzdušných vypínačů vn a vvn, u nichž stlačený vzduch je zároveň hasicím prostředkem. U ostatních typů vypínačů se v poslední době omezují a jsou nahrazeny moderními pohony pružinovými.

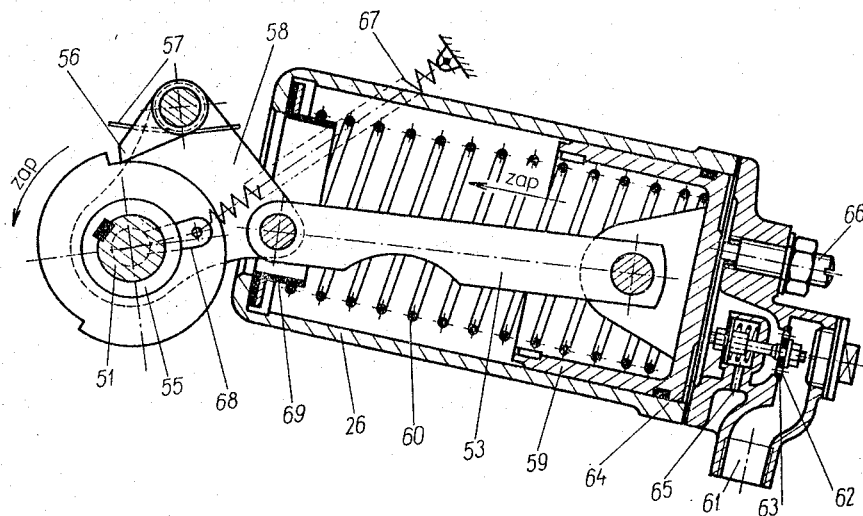
Příklad tlakovzdušného pohonu ČKD určeného pro ovládání máloolejových vypínačů, je na obr. 27.

Na ovládacím hřídeli je naklínován unášecí talíř 55 s ozuby, do nichž zapadá tlakem pružiny 57 západka 56. Západka je umístěna na převodové páce 58, která je volně otočná na hřídeli 51.

Ve válci 26 je píst 59, spojený ojnicí s převodovou pákou. Do základní polohy ho tlačí vratná pružina 60.

Otevřením přívodu vzduchu začne vzduch proudit hrdlem 61 a malými pomocnými otvory 62 v talíři ovládacího ventilu 63 do

prostoru nad pístem. Jestliže je západka 56 zaklíněna do talíře 55 a je-li vypínač vypnut, nestačí toto malé množství vzduchu zatlačit píst, a proto tlak ve válci stoupá. Tím se vytlačí membrána pojistného ventilu 64 a nadzdvihne talíř ovládacího ventilu 63. Stlačený vzduch ze zásobníku vnikne plným proudem do válce a stlačí jeho píst proti tlaku pružiny 60. Pohybem pístu se unášecí talíř spolu s ovlá-



Obr. 27. Tlakovzdušný pohon ŮKD pro máloolejové vypínače

51 — ovládací hřídel vypínače, 53 — ojnice pohonu, 55 — unášecí talíř zapínacího mechanismu, 56 — západka, 57 — pružina západky, 58 — převodní páka, 59 — píst, 60 — vratná pružina pístu, 61 — přívodní hrdlo, 62 — pomocné otvory, 63 — talíř hlavního ovládacího ventilu, 64 — membrána, 65 — odvodušňovací otvor, 66 — šroub dorazu, 67 — vratná pružina unášecího talíře, 68 — vratná páka

dacím hřídelem 51 natočí vlevo a pomocí nezakreslených zapínacích pružin dojde k mžikovému zapnutí. Přitom se současně napnou vypínací pružiny, které dále v zapnuté poloze drží mechanismus volnoběžky.

Po zapnutí se píst tlakem pružiny 60 vrátí zpět do základní polohy, přičemž vzduch z válce uniká do ovzduší hlavním ventilem. Podobně vratná pružina 67 natočí pomocí páky 68 unášecí talíř vpravo a připraví mechanismus pro další zapnutí.

Kdyby se stlačený vzduch vpustil do válce při zapnutém vypínači nebo kdyby západka 56 nezapadla do unášecího talíře, začal by se píst i při malém množství vzduchu ve válci pohybovat, tlak by v něm nestoupal a hlavní ventil by se neotevřel. Tímto uspořádáním je pohon chráněn před nárazem na zapínací hřídel.

Přívod vzduchu je ovládán elektromagnetickým ventilem. Popis konstrukce je v čl. 11.9.

Příklad tlakovzdušného pohonu tlakovzdušného vypínače, u něhož tento pohon zajišťuje zapnutí i vypnutí, je v odst. 9.6.2.

Tlakovzdušné pohony odpojovačů jsou s dvojitým pohybem pístku, který odpojovač zapíná i vypíná. Spínání není mžikové.

c) Motorové pohony

Pomocný motor, dimenzovaný na krátkodobé zatížení, působí prostřednictvím vhodně upravených převodů a volnoběžky na pohybový kontaktní mechanismus. Pro zmírnění nárazů při rozběhu a brzdění bývá do převodu zařazena kluzná spojka.

Motor bývá stejnosměrný nebo střídavý jednofázový. Zapíná se prostřednictvím pomocného ovládacího obvodu. Těsně před dosažením konečné polohy kontaktů přeruší koncový pomocný spínač obvod a mechanická brzda motor ubrzdí.

U nás jsou motorovým pohonem vybaveny olejové vypínače vn. S typovým označením M 30 - I je vyrábí n. p. E.J.F. Brno.

d) Pružinové pohony

K rychlému mžikovému zapnutí využívají energie napnuté zapínací pružiny. Pružina se může napínat:

- a) ručně,
- β) elektromotoricky,
- γ) pneumaticky.

a) *Ruční napínání pružinový pohon* se používá jen u menších a ne často ovládaných vypínačů.

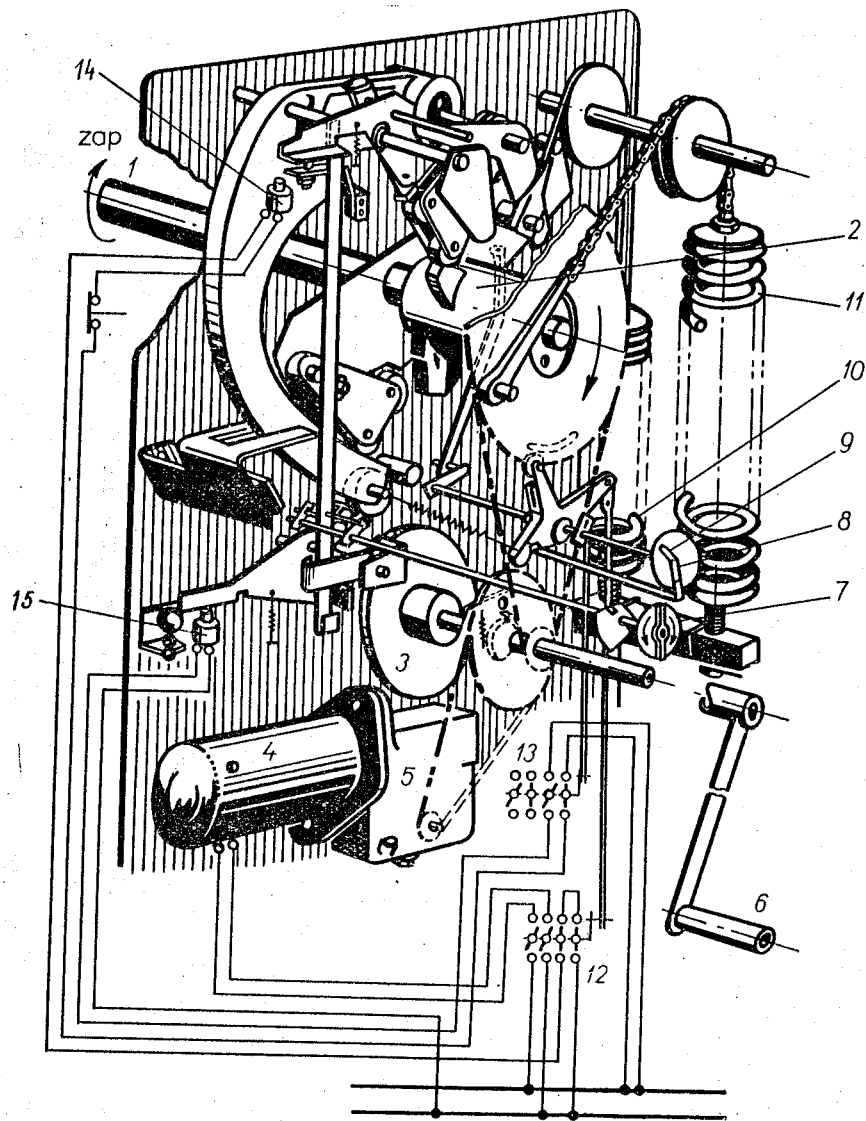
β) *Zapínací pružina* se nejčastěji napíná elektromotorkem. Ten bývá zpravidla napájen přímo ze sítě 220 V, 50 Hz, takže není potřeba žádný další zdroj energie. Proto se tímto pohonem v poslední době nahrazují dřívější tlakovzdušné pohony vypínačů vn.

Pomocné obvody motorku jsou zapojeny tak, že po každém zapnutí se jím pružiny okamžitě napnou. Vypínač je tak připraven k nejbližšímu zapnutí, které je tak možné i při ztrátě pomocného napětí pro napájení motorku.

Novově je možno napnout pružinu klikou. Při jejím použití se nesmí obsluha dostat do blízkosti částí pod napětím.

Na obr. 28 je pohled na pružinový elektromotorický pohon typu BLRM, určený pro ovládání nejnovějšího typu máloolejového vypínače (E.J.F. Brno, n. p.).

γ) Tam, kde je v rozvodně k dispozici stlačený vzduch, může být elektrický motor pružinového pohonu nahrazen *pneumatickým*

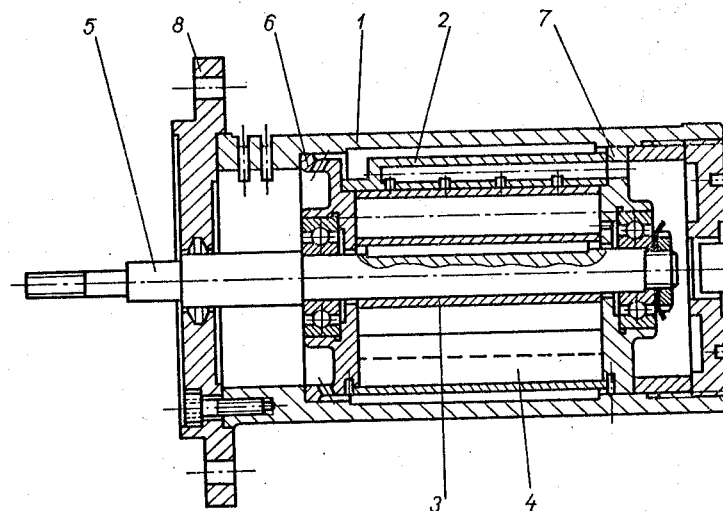


Obr. 28. Pružinový akumulční pohon typu BLRM máloolejových vypínačů typu HG (EJF Brno, n. p., licence Delle)

1 — hřídel vypínače, 2 — hřídel zapínací pružiny, 3 — setrvačnick, 4 — pohonný elektrický motorek nebo pneumatický motorek, 5 — převodová skříň, 6 — klika nuzového ručního napínání pružiny, 7 — ovládací přepínač, 8 — ukazovatel stavu zapínací pružiny, 9 — ukazovatel stavu vypínače, 10 — vypínací pružina, 11 — zapínací pružina, 12 — koncový vypínač motorku, 13 — pomocný spínač vypínače, 14 — zapínací cívka, 15 — vypínací cívka

lamelovým motorem, který spolu s ovládacím elektromagnetickým ventilem tvoří pneumatickou pružinovou jednotku.

Pneumatický lamelový motor — vzduchová turbína (obr. 29) — se skládá ze statoru, rotoru s hřídelem a hnacími lamelami, vstupního a výfukového čela, krytu a příruby. Příruby a hřídele pneumatických



Obr. 29. Pneumatický lamelový motorek pro pružinové pohony

1 — těleso motorku, 2 — stator, 3 — rotor, 4 — lamela, 5 — hřídel, 6 — výfukové čelo, 7 — vstupní čelo, 8 — příruba

motorů jsou stejné jako u elektromotorků, takže stejný pružinový akumulční pohon může být vybaven elektrickým nebo pneumatickým motorem.

Pneumatický motor se otáčí tlakem vzduchu působícím na jeho otáčející se lamely.

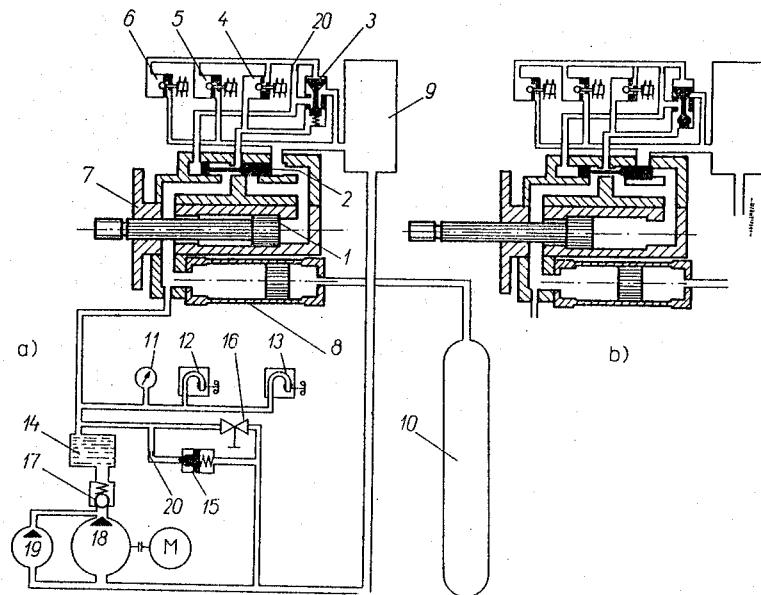
e) Hydraulické pohony

Hydraulické pohony se začínají v poslední době používat u velkých vypínačů vvn, kde by klasické typy pohonů vycházely značně velké. Vyznačují se malými rozměry, které umožňuje vysoký pracovní tlak kapaliny, obvykle oleje (7 až 30 MPa). Je možné jimi dosáhnout značných spínacích rychlostí (nad 10 m/s). Umožňuje to zásoba tlakové energie, akumulovaná v předávném plynovém (např. vzduchovém) zásobníku. Olejové čerpadlo nedodává tlakový olej pro pohyb mechanismu přímo, ale svojí činností udržuje jen olej a plyn

v akumulátoru trvale pod stejným tlakem. Po otevření ovládacího elektromagnetického ventilu začne na olej, proudící do pracovního válce, působit tlak stlačeného plynu. Jeho účinkem dostane poměrně malé množství oleje v rozvodu velkou rychlost, potřebnou pro rychlé sepnutí.

Na obr. 30 je uspořádání hydraulického pohonu s plynovým akumulátorem pro ovládání vypínačů s fluoridem sírovým firmy BBC.

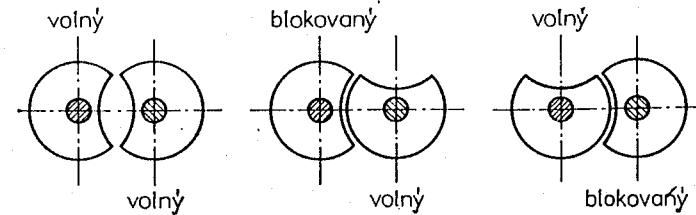
Průtok řídí zesilovací ventil, ovládaný tlakem oleje (velké ovládací síly), který v žádaném směru přepouští méně dimenzované elektromagnetické ventily. Během zapnutého stavu je pracovní válec trvale pod tlakem. Vypíná se tak, že zesilovací ventil spojí prostor válce s podtlakovým válcem a pokles tlaku, působící na velkou plochu pracovního pístu, vyvolá jeho pohyb do vypnuté polohy.



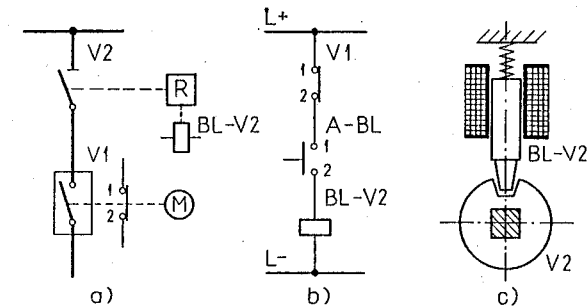
Obr. 30. Hydraulický pohon firmy BBC pro vypínač plněný SF₆, 72 až 765 kV, 5000 A, vypínací proud 50 kA — a) vypnutý stav, b) zapnutý stav
 1 — pohonný píst, 2 — hlavní ventil, 3 — zesilovací ventil, 4 — magnetický ventil ZAP, 5 — magnetický ventil VYP, 6 — magnetický ventil VYP, 7 — válec pohonu, 8 — vysokotlaký zásobník, 9 — nízkotlaký zásobník, 10 — přídavná plynová bomba, 11 — tlakoměr, 12 — tlakový spínač pro olejové čerpadlo, 13 — tlakový spínač pro blokování vypínače, 14 — filtr, 15 — přetlakový ventil, 16 — ruční ventil, 17 — zpětný ventil, 18 — olejové čerpadlo s motorem, 19 — ruční čerpadlo, 20 — olona

2.3.7. Blokovací mechanismy

Blokovací mechanismy se používají tam, kde je spínání jednoho přístroje podmíněno stavem druhého přístroje. Blokují se např. dva stejné spínače proti nežádoucímu paralelnímu chodu, odpojovače na vypnutý stav výkonového vypínače, zemnicí nože vývodového odpojovače na vypnutý stav jeho hlavních kontaktů apod.



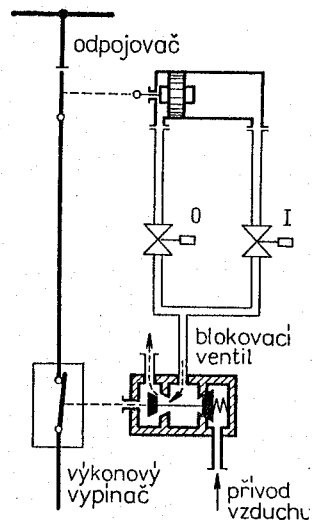
Obr. 31. Mechanické blokování dvou hřídelů



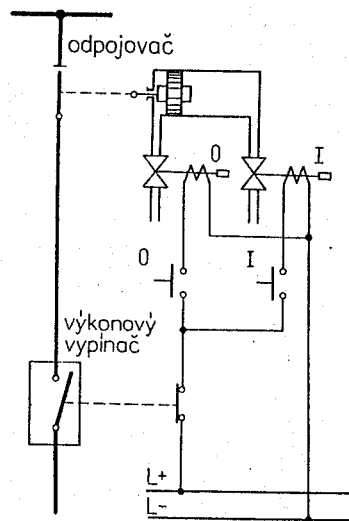
Obr. 32. Příklad elektrického blokování pohonu odpojovače — a) silové schéma, b) schéma ovládacího obvodu, c) mechanické provedení
 BL — cívka blokovacího elektromagnetu, A-BL — tlačítko elektromagnetu

Blokování může být:

- mechanické (obr. 31),
- elektrické (obr. 32),
- pneumatické (obr. 33),
- elektropneumatické (obr. 34),
- pneumatikomechanické; využívá soustavu blokovacích pra-



Obr. 33. Pneumatické blokování odpojovače. Při zapnutí výkonového vypínači uzavře blokovací ventil přívod vzduchu do válce odpojovače a jeho prostor spojí s venkovní atmosférou.



Obr. 34. Elektropneumatické blokování prostřednictvím blokovacích kontaktů v ovládacích obvodech.

vítek, které se pohybují spolu s kontaktním systémem; svými výřezy odkrývají tlačítko jen toho spínače, kterým je možné právě manipulovat.

EJF Brno, n. p. u nás vyrábí jednotný systém pro blokování a ovládání odpojovačů v rozvodnách vn a vvn pod názvem BLOKOR.

3. SPÍNACÍ PŘÍSTROJE NN

3.1. VÝZNAM

Spínací přístroje nn [12] jsou funkčně i konstrukčně nejjednoduššími elektrickými přístroji, ale svým významem tuto jednoduchost značně převyšují. Kontaktní chyba jednoduchého ovládacího spínače dokáže vyřadit z provozu i velké a důmyslné zařízení. Proto se na celém světě věnuje účelné a moderní konstrukci spínačů velká pozornost.

Na obr. 35 jsou ukázky dvou historických konstrukcí vypínačů nn. Jejich porovnáním s následujícími příklady konstrukcí můžeme demonstrovat pokrok ve funkci účelnosti a technologické jednoduchosti i v tomto (nejednou neuznávaném) oboru.

3.2. PÁKOVÉ VYPÍNAČE A PŘEPÍNAČE S NOŽOVÝMI KONTAKTY

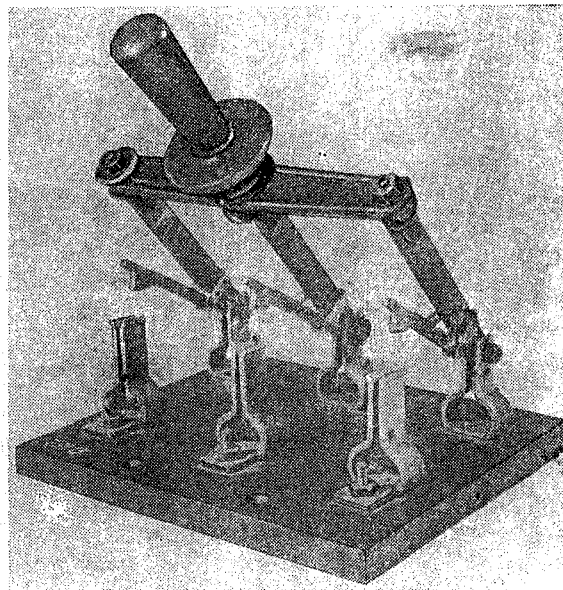
Název vystihuje tvar kontaktů a způsob jejich ovládání [13, 14]. Typická ukázka jednoduchého nožového vypínače s momentovým vypínáním je na obr. 36. Jde o vypínač n. p. SEZ Krompachy, 500 V, 100 A, vyráběný před dvaceti lety.

Základní deska je z tvrzeného papíru. Měděná kontaktní pera mají zářezy, jimiž se vytvoří samostatné pružící pásy, široké asi 10 mm. K základní desce jsou připevněny jedním šroubem. Druhý šroub slouží jako přívod a zabezpečuje pera proti pootočení.

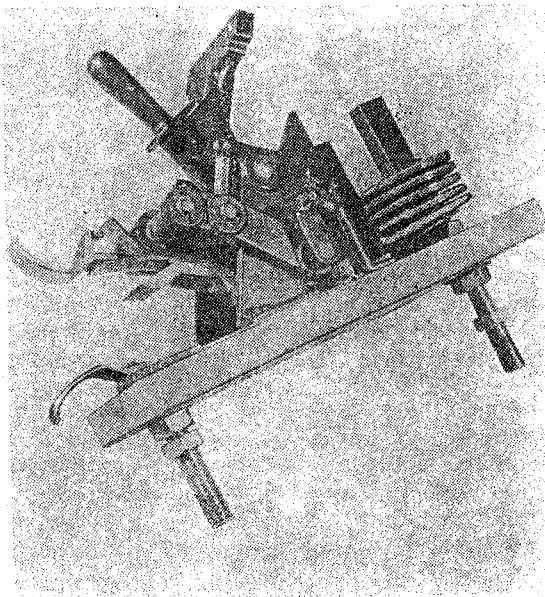
Přední kontaktní pero je vhodně sešíkmeno a nahore roztaženo. To umožní snadnější vklouznutí nože do záběru a zhasnutí oblouku při vypnutí. Zadní kontaktní pero má trubkový nýt, tvořící čep pro kontaktní nože, které mají jednoduchý tvar, aby se daly vyrábět stříháním z pásů.

Všechny tři nože jsou vybaveny otvory, jimiž prochází spojovací tyč chráněná papírovou izolací. Svým osazeným koncem zapadá po obou stranách vypínače do plechových kulis s výřezem. Kulisy jsou spojeny s litinovou rukovětí, upravenou z bezpečnostních důvodů po straně vypínače.

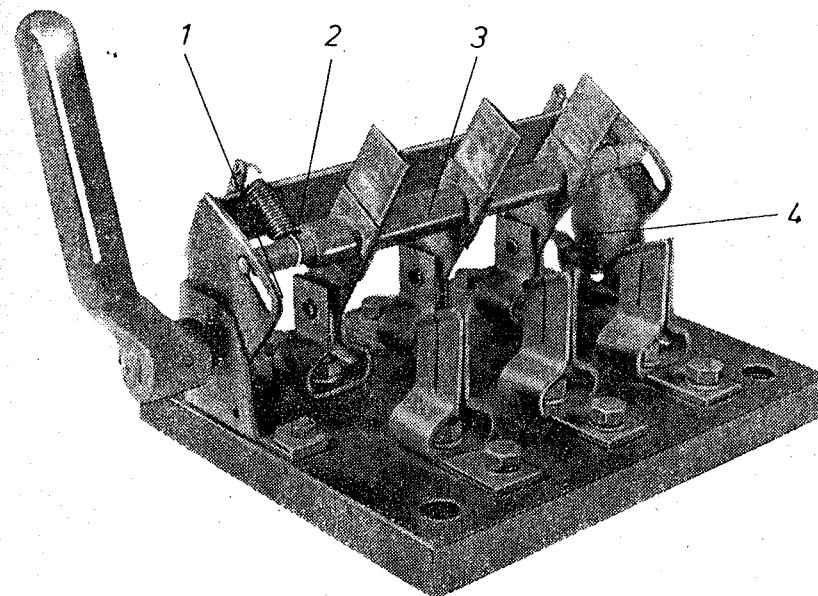
Obr. 35. Příklady původních, dnes už nepoužívaných konstrukcí spínačů na a) nožový vypínač s opalovacími kontakty, uložený na břidlicové desce, b) vypínač s kartáčovými kontakty, uložený na mramorové desce



a)



b)



Obr. 36. Pákový vypínač 100 A, SEZ Krompachy, n. p.

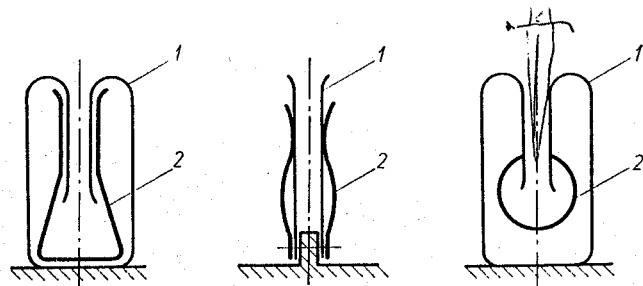
1 — plechová kulisa s výřezem, 2 — vypínací pružina, 3 — izolovaná tyč, 4 — aretace

Mezi spojovací tyčí a kulisami jsou dvě silné pružiny. Při vypínání se pohybem rukověti uvedou do pohybu obě postranní kulisy. Nože zůstávají zasunuty mezi kontaktními pery. Přitom se obě pružiny napínají tak dlouho, dokud v kulise nenarazí na osazený konec spojovací tyče. Dalším pohybem rukověti a kulisy se začnou kontaktní nože vysouvat, a klesne-li tření mezi nimi a kontaktními pery, vypínací pružiny je vytrhnou a vypnutí se uskuteční mžikově.

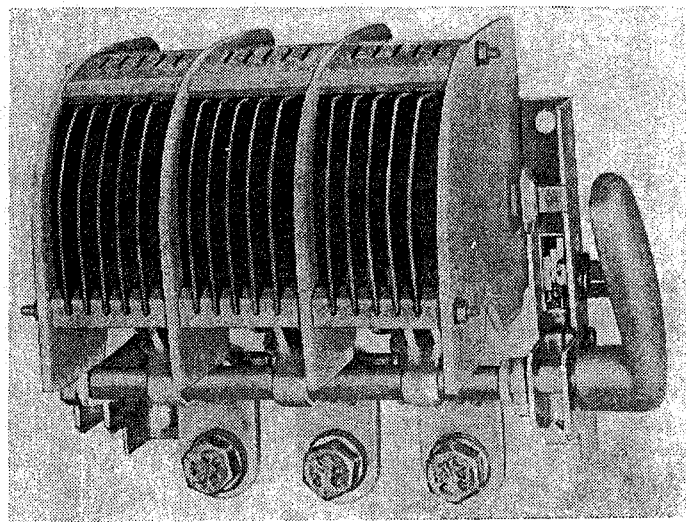
Vypnutá poloha je aretována vhodně vypnutým ocelovým perem.

Pákové vypínače se dnes už málo používají, neboť dostatečně nevyhovují bezpečnostním předpisům. Používají se jen jako odpojovače v laboratořích apod. Aby byl mezi kontakty malý přechodový odpor, musí být mezi nimi velké kontaktní tlaky, jimž odpovídá tření mezi nožem a kontaktním perem, takže k ovládnutí takového vypínače je potřebná velká síla. Proto se pákové vypínače nehodí k častému spínání strojů. Dnes jsou nahrazeny výhodnějšími a modernějšími (vypínače stiskací, válcové, vačkové aj.).

Měděné kontaktní pero není vždy schopno při požadované pružnosti vyvolat dostatečně velký kontaktní tlak. V takovém případě je třeba tento tlak zvětšit přidavným ocelovým perem podle obr. 37.



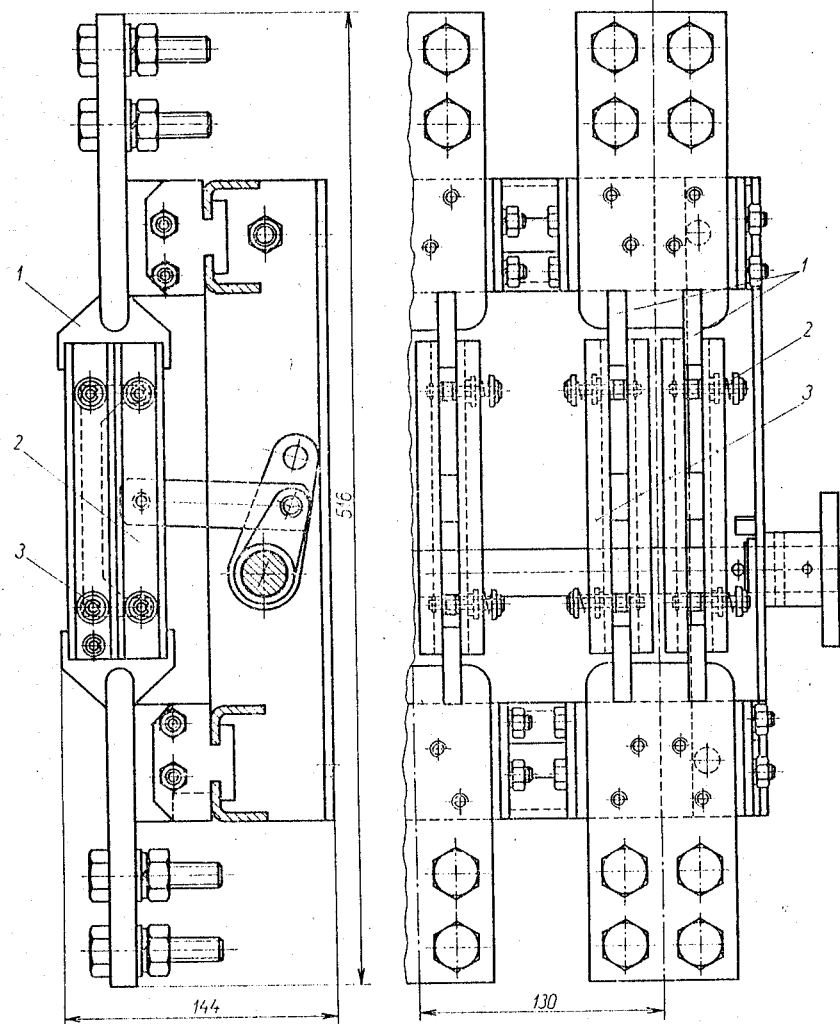
Obr. 37. Přídavná ocelová pera měděných pérových kontaktů
1 — měděné kontaktní pero, 2 — ocelové přídavné pero



Obr. 38. Novější konstrukce pákového vypínače se zhašecími komorami (AEG-Telefunken)

Modernější pákový vypínač se zhašecími komůrkami, které zabírají přeskoku mezi póly (obr. 38). Nožové kontakty mají i moderní odpojovače nn, určené pro velké jmenovité proudy.

Na obr. 39 je trojpólový odpojovač n. p. SEZ Krompachy na 500 V, 2800 A s dvojitými nožovými kontakty na každém pólu. Jeden kontakt tvoří dvojice pohyblivých nožů 2, zasouvaná na výčnělek pevného kontaktu 1. Osa nožů je v ose přívodů, takže otvírání nožů elektrodynamickými silami při zkratu je vyloučeno. Dvojitý nůž okolo pevného kontaktu naopak využívá těchto sil ke zvětšení kontaktního tlaku.



Obr. 39. Trojpólový nožový odpojovač nn typu 0—203, 500 V, 2000 A, SEZ Krompachy

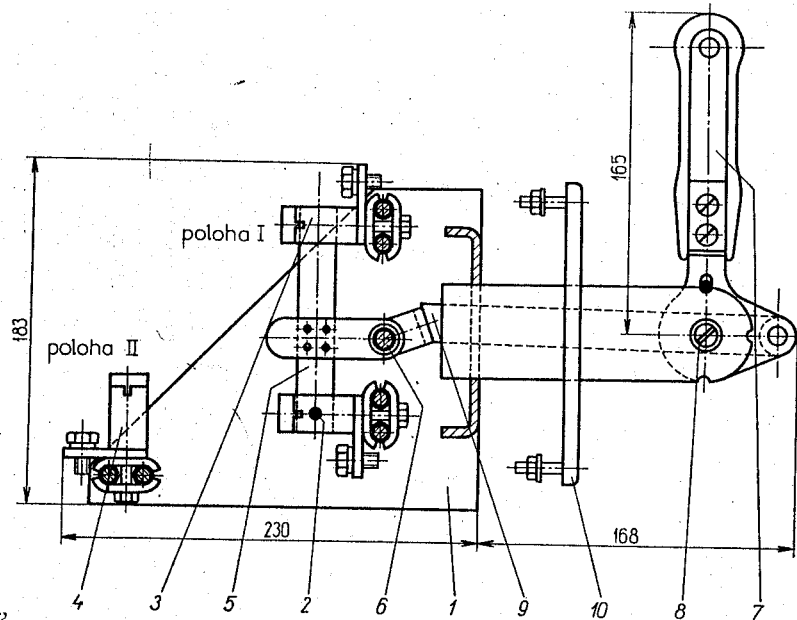
1 — dvojitý pevný kontakt, 2 — paralelní nůž, 3 — kontaktní pružina

3.3. KLOUBOVÉ SPÍNAČE

Kloubové spínače (vypínače a přepínače) se používají pro montáž na rozváděč s pohonem z jeho přední strany. Vlastní spínač je za panelem rozváděče, na panelu je jen ovládací rukověť s ozdobnou maskou.

Můžeme je použít především k odpojování a přepojování bez proudu. Pracovní proudy je možné spínat jen do velikosti vypínacího proudu udaného výrobcem. Bývá vždy menší než jmenovitý proud spínače.

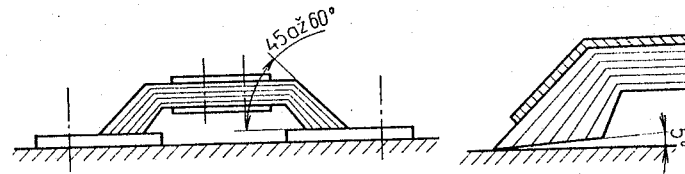
U nás se vyrábějí kloubové spínače typu VK 11 až 64, 500 V, 100 až 600 A s vypínacím proudem 50 až 100 A (SEZ Krompachy, n. p.). Kloubové přepínače podobné konstrukce mají označení PK. Na obr. 40 je kloubový přepínač PK 13 (500 V, 100 A).



Obr. 40. Kloubový přepínač PK 13, 500 V, 100 A, SEZ Krompachy n. p.
 1 — základ, 2 — otočný bod kontaktního nože, 3 — pevný kontakt polohy I, 4 — pevný kontakt polohy II, 5 — přepínací nůž, 6 — unášecí tyč tří pólů, 7 — ovládací páka, 8 — otočný čep ovládací páky, 9 — páka kloubového mechanismu, 10 — krycí maska pro panel rozváděče

3.4. SPÍNAČE S KARTÁČOVÝMI KONTAKTY

Používají se zejména pro velké proudy. Kartáčový kontakt tvoří svazek tenkých plechů z tvrdé mědi nebo pružinového bronzu, ohnutý ke stykové ploše v úhlu 45° až 60° (obr. 41). Aby každý plech samostatně pružil, je styková plocha svazku proti ploše pevného kontaktu zabroušena v úhlu asi 5° . Přechodový odpor kartáčového kontaktu je velmi malý, neboť každý list představuje jeden samo-



Obr. 41. Kartáčové kontakty — a) jednoduchý kontakt s měděnými listy, b) kontakt s přídatným ocelovým perem

statný přímkový kontakt s určitým přechodovým odporem, závislým na kontaktní síle. Výsledný přechodový odpor je dán paralelním zapojením všech dílčích odporů, takže při větším počtu listů je malý.

Jestliže samotné měděné plechy nestačí k vyvolání příslušného tlaku, přiloží se k nim přídatný ocelový list podle obr. 41b. Kartáčové kontakty musí držet v zapnuté poloze vhodný pákový mechanismus.

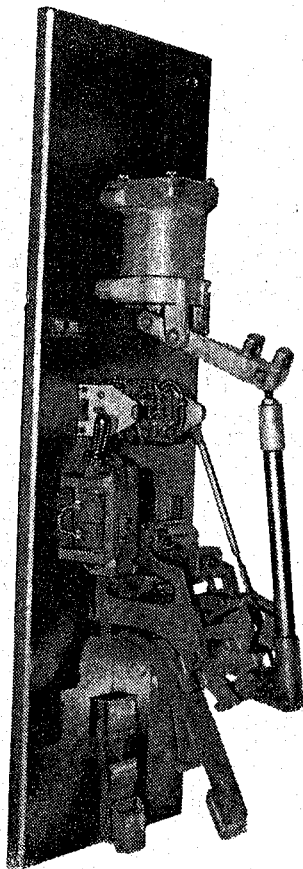
Kartáčové kontakty se nesmí v provozu opalovat, neboť by nedosedaly přesně na stykovou plochu. Musí být proto vždy vybaveny účinnými opalovacími kontakty, které se rozpojí teprve když jsou hlavní kontakty od sebe dostatečně vzdáleny.

Pro jejich mnohé nevýhody jsou kartáčové kontakty dnes jen málo používány. U nás jimi byly vybaveny např. výkonové vzduchové vypínače typu CL na stejnosměrné i střídavé proudy do jmenovité hodnoty 16 000 A (obr. 42).

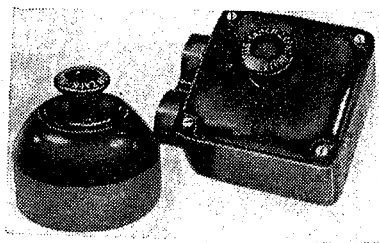
Používají se ještě ve starších trakčních měničnách pro napájení elektrických tratí městské dopravy.

Nevýhody kartáčových kontaktů:

1. Materiál se ztrátovým teplem ohřívá a ztrácí pružnost.
2. Listy se při opalování svařují a nezaručují tak přesné dosednutí.
3. Obtížná oprava.
4. Zdlouhavá výroba s dodatečným namáhavým ručním opravováním.



Obr. 42. Dvoupólový vzduchový vypínač ČKD typu CI. 2000/I s kartáčovými kontakty a so vzduchovým pohonem. Opalovací kontakty jsou uhlíkové



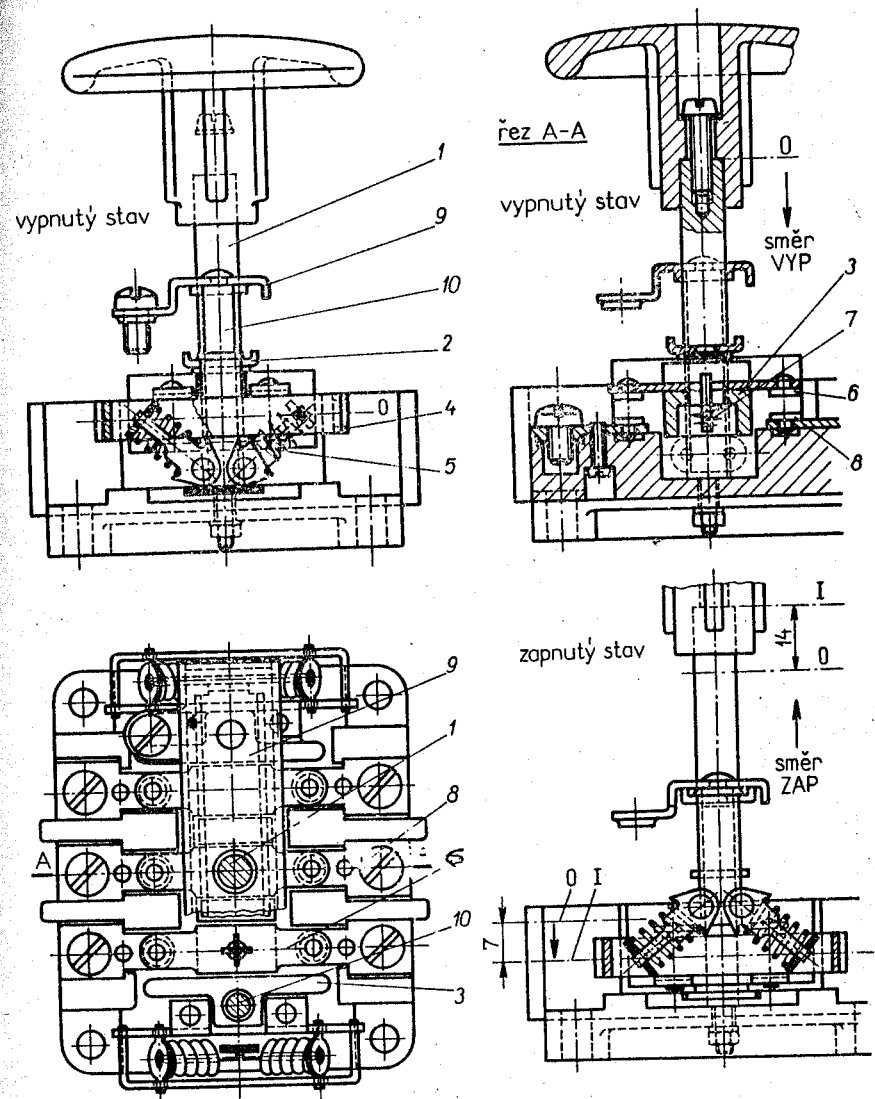
Obr. 43. Stiskací vypínače s můstkovými kontakty a s obráceným směrem ovládní, 16 A, 250 A, Elektro Praga, n. p., Jablonec nad Nisou

3.5. STISKACÍ VYPÍNAČE

Stiskací vypínače slouží k častému spínání světelných, tepelných a motorových obvodů do jmenovitého proudu 60 A při napětí do 500 V. Pohyb kontaktů je přímočarý, ovládný tlakem nebo tahem za ovládací knoflík.

Rozlišujeme dva typy těchto vypínačů:

1. S nožovými kontakty — tahem vypínají, tlakem zapínají.
2. S můstkovými kontakty — s tzv. obráceným směrem ovládní; tahem zapínají, tlakem vypínají.



Obr. 44. Stiskací vypínač 25 A, 380 V s obráceným směrem ovládní
 1 — ovládací tlačítko s knoflíkem, 2 — plechový nosič, 3 — izolační most s pohyblivými kontakty, 4 — držák ovládacích pružin, 5 — pružinový ovládací mechanismus, 6 — pohyblivý kontakt, 7 — kontaktní pružina, 8 — pevný kontakt s přípojovací svorkou, 9 — plechový držák, 10 — vodící svorník

3.5.1. Stiskací vypínače s nožovými kontakty

Jejich nevýhodou je poměrně velká síla potřebná k vypnutí. Dnes se už nevyrobějí, namontované jsou ještě ve starších zařízeních.

3.5.2. Stiskací vypínače s můstkovými kontakty a obráceným smyslem ovládání

Byly vyvinuty v o. p. ČKD a zavádějí se místo nožových stiskacích vypínačů, neboť nemají jejich nevýhody. Konstruované jsou tak, že se tahem zapínají a stlačením vypínají (obr. 43). Vyrábějí se v různých úpravách pro proudy 6, 16, 25 a 60 A.

Detail spínacího mechanismu je na obr. 44.

Spodek vypínače je z lisovaného izolantu. V komůrce z izolantu je spínací můstek, který nese spínací pásky, opatřené dvěma měděnými a stříbrem plátovanými kontakty. Mžikový přeskok můstku při spínání je vyvolán systémem dvou pružin a pák, otočně spojených s můstkem. Pohyblivé a výkyvně uložené kontakty dosedají v zapnuté poloze na dvojici stejně provedených kontaktů.

Při ověřovacích zkouškách nevykazoval spínač ani po 150 000 vypnutích žádné stopy opálení a opotřebení.

3.5.3. Ovládací tlačítka

Ovládací tlačítka [15] jsou jednoduché spínače, používané k ručnímu ovládání pomocných ovládacích a signalizačních obvodů (např. stykačů). Skládají se z vyměnitelných částí, ze kterých je možné sestavit různé kombinace.

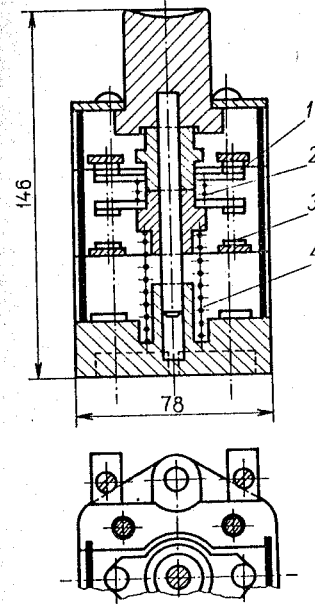
Jejich kontakty jsou buď zapínací (pracovní), nebo rozpínací (klidové). Počet a druh kontaktů se udává zlomkem. Např. zlomek $2/1'$ znamená, že tlačítkový ovládač má dva zapínací a jeden rozpínací kontakt.

Zapínací tlačítka mají knoflík zelený, vypínací červený, přepínací tlačítka mají knoflík černý.

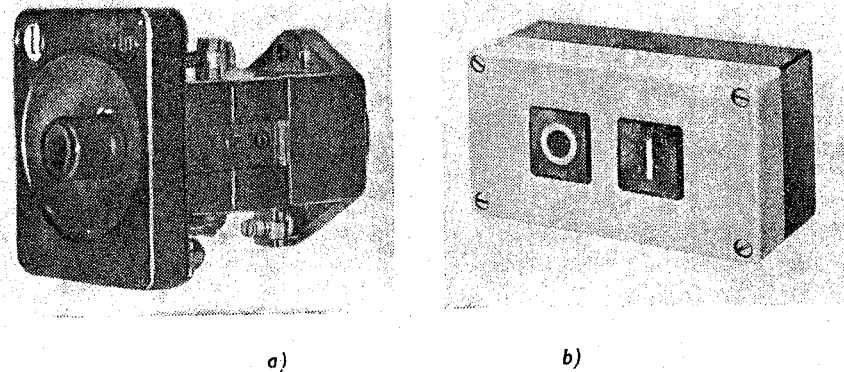
Řez ovládacím tlačítkem 1/1 základního typu D 6 u (6 A, 380 V), je na obr. 45. Má odolné stříbrné kontakty, odpružené dvěma pružinami. Provedení s čelní deskou z lisovaného izolantu je na obr. 46a, úprava dvojtlačítka (AEG) je na obr. 46b.

Na obr. 47 jsou příklady konstrukce tlačítkových ovládačů s centrálním upevněním typu 236, které využívají kontaktní systém tlačítek základního typu D 64. Ovládané mohou být tlačítkem,

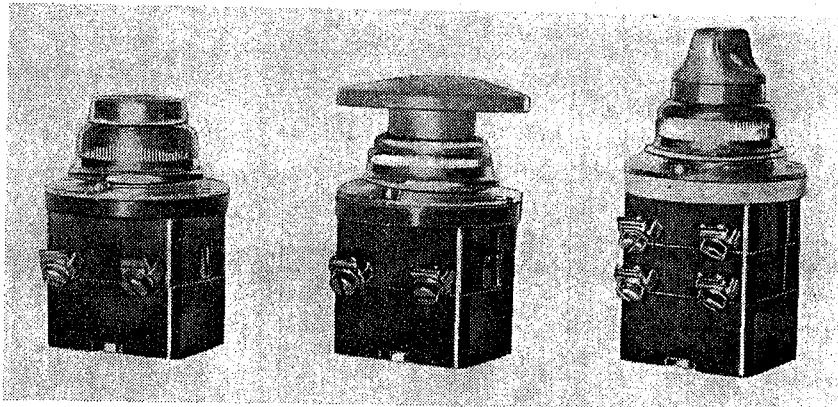
otočným knoflíkem nebo zámkem s klíčem (pro zabezpečení před nežádoucí manipulací). Ovládací knoflík může být nahrazen signální čočkou náležité barvy, takže ovládač slouží současně k ovládání i ke světelné signalizaci stavu. Nejnovějším výrobkem je stavebníková řada ovládacích tlačítek a signálků typu T 6.



Obr. 45. Vestavné ovládací tlačítko 1/1 typu D6u
1 — rozpínací kontakt, 2 — kontaktní pružina rozpínacího kontaktu, 3 — zapínací kontakt, 4 — kontaktní pružina zapínacího kontaktu



Obr. 46. a) Ovládací tlačítko 1/1 s čelní deskou z lisovaného izolantu, b) ovládací dvojtlačítko AEG

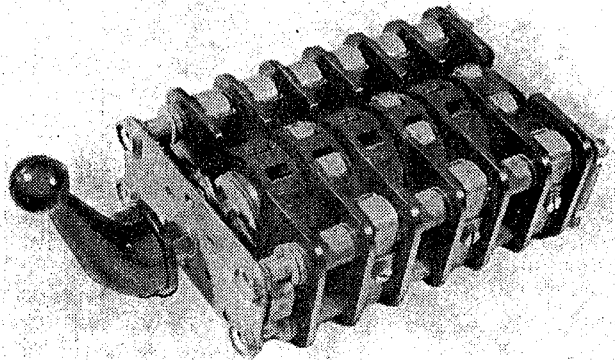


Obr. 47. Tlačítkové ovládače s centrálním upevněním a) s normálním tlačítkem, b) s hříbovým tlačítkem, c) s otočným kohoutkem

3.6. VÁLCOVÉ SPÍNAČE

Používají se tam, kde je potřeba velmi častého spínání, tedy např. při ovládání obráběcích strojů.

Mají odpružené nepohyblivé kontaktní palce a měděné válcové segmenty, izolované připevněné na otočném válci z izolantu.



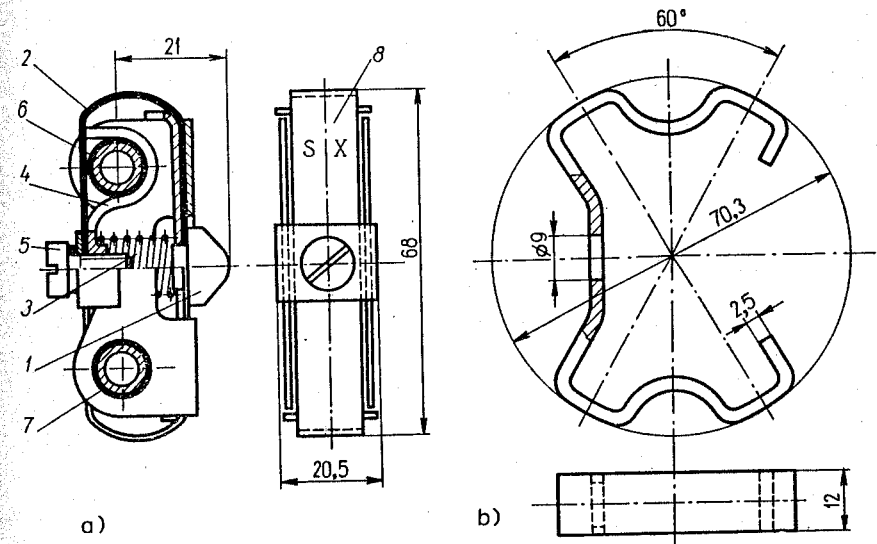
Obr. 48. Vestavný válcový vypínač V60R, 60 A, 500 V, SEZ Krompachy, n. p.

Nejúspěšnější konstrukci válcového vypínače představuje typ VR, vyráběný v n. p. SEZ Krompachy (obr. 48).

Konstrukce je stavebnicová, takže ze stejných součástí je možné sestavit libovolné kombinace vypínačů a přepínačů. Všechny díly jsou technologicky účelně navrženy a dají se jednoduše sériově vyrábět. Odpad materiálu je nepatrný.

Hlavní části vypínače jsou:

- kontaktní pevný palec,
- otáčivý válec složený z izolačních válečků a vodivých segmentů,
- aretační zařízení,
- stahovací konstrukce.



Obr. 49. Části válcového vypínače V60R — a) kontaktní palec, b) základní tvar segmentového kontaktu

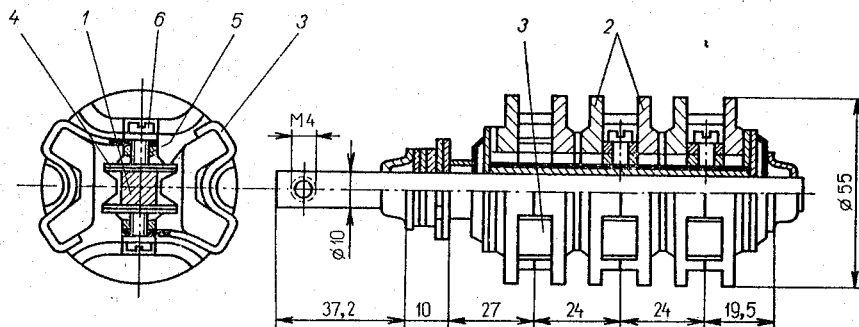
- palec, 2 — pružný přípojný pás, 3 — tlačná pružina, 4 — ocelová vložka, 5 — svorka, 6 — nosný svorník, 7 — papírová trubka, 8 — označení svorky

Palec (obr. 49) je vyroben z profilové mědi 1 a je přinýtován k pružnému měděnému pásu 2, který jednak zaručuje jeho dokonalé vychýlení, jednak slouží jako přívod proudu od přívodní svorky. Pohyblivý palec zaručuje přímkový styk při každém opotřebení kontaktů. Kontaktní tlak vyvolává tlačná pružina 3, vložená mezi

palec a ocelovou vložku 4. Ve vložce je vyříznut závit M6 pro šroub svorky. Svorka 5 je řešena tak, že umožňuje jednoduché připojení vodiče do průřezu 25 mm².

Mezi jednotlivé palce jsou vloženy bakelitové mezistěny, zne-
možňující přeskok mezi kontaktními palci.

Palec i bakelitové mezistěny jsou nasunuty na nosné svorníky 6, izolované trubkami z tvrzeného papíru 7. V pružném připojovacím pásu 2 je vyraženo označení svorky 8.



Obr. 50. Sestava otočného válce pro vypínač V60R

1 — čtyřhranný hřídel, 2 — dvojice bakelitových válečků, 3 — vodivý segment, 4 — upevňovací gumoidové pásy, 5 — vnitřní spojka, 6 — šroubové spojky

Sestava válce je na obr. 50. Na čtyřhranném hřídeli 1, který nemusí být izolován, jsou nasunuty dvojice izolačních kotoučů 2. V každé dvojici je uložen vhodně tvarovaný segmentový kontakt 3. Kotouče jsou na hřídeli pružně připevněny pomocí gumoidových pásů 4, které tlumí nárazy při spínání. Vodivé segmenty jednotlivých pólů jsou podle potřeby navzájem propojeny. Propojení se provede spojkami 5, k nimž se segmenty připojí šrouby 6.

Na konci hřídele je vyříznut závit M4 pro šroub, kterým se po-
jistí rukověť vypínače.

Základní tvar segmentového kontaktu je na obr. 49b. Z něho je možné vhodným zkrácením odvodit jiné tvary potřebné pro různé kombinace spínačů. Jedna změna spínací polohy odpovídá úhlu 60°.

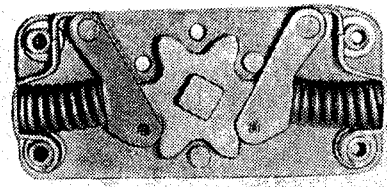
Kontakt je vyroben z polotvrdého plochého dynamového pásu jednoduchým lisováním v jediném přípravku, bez odpadu.

Kombinace palce z tvrdé mědi a otočného kontaktu z polotvrdé mědi zmenšuje tření při zachování dobrých elektrických i mechanických vlastností.

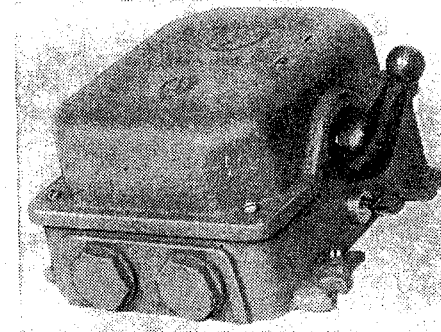
Aretační zařízení zajišťuje spínač v každé poloze a umožňuje

jeho momentové ovládní. Skládá se z hvězdy o šesti zubech, která je nasazena na čtyřhranný konec otočného hřídele, a z kladek připevněných otočně na jednoramenných pákách. Aretační tlak vyvolávají dvě spirálové pružiny, opírající se o aretační páky (obr. 51).

Stahovací konstrukci tvoří dvě ocelové desky a čtyři průběžné stahovací svorníky. Úprava přední desky je na obr. 48. Má čtyři otvory pro šrouby M6, jimiž se spínač připevňuje na panel nebo do spínací skříně. Na vyčnívající konec otočného hřídele se nasadí ovládací rukověť z lisovaného izolantu.



Obr. 51. Aretační mechanismus válcového vypínače V60R



Obr. 52. Válcový vypínač v litinové skříně V 25 LZ s uzamykatelnou nulovou polohou

Na zadní desce je uzemňovací šroub a štítek.

Stahovací systém je vyřešen tak, že umožňuje pohodlnou výměnu poškozených kontaktů.

Základní konstrukce válcového spínače typu VR je vestavná. Tento spínač můžeme použít např. pro zabudování přímo do kostry obráběcího stroje. Pro montáž na panel rozváděče je opatřen čelní deskou.

Spínače používané v prašném prostředí a v těžkém provozu se montují do litinových nebo plechových skříní, v nichž mohou být umístěny i pojistky.

Na obr. 52 je válcový přepínač v litinové skříně s uzamykatelnou nulovou polohou.

Popsaný válcový spínač se vyrábí pro proudy 25, 40, 60 a 100 A v těchto provedeních:

- a) jednoduchý vypínač,
- b) reverzační přepínač,

- e) přepínač Y/D,
- d) přepínač Y/D reverzační,
- e) přepínač počtu pólů (Dahlander),
- f) síťový přepínač.

3.7. VAČKOVÉ SPÍNAČE

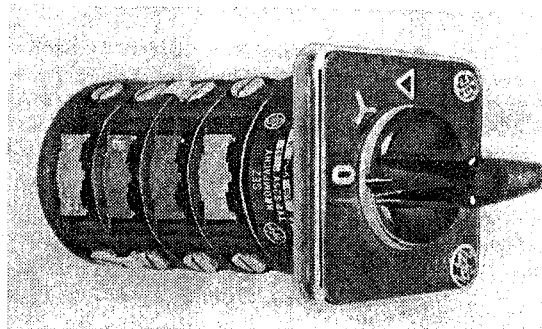
Vačkové spínače (vypínače a přepínače) mají kontaktní ústrojí ovládané vačkami. Každá spínací dvojice má jeden kontakt pevný, jeden pohyblivý. Vačkami se tyto kontakty buď rozpojují, nebo spojují. Užívají se tam, kde se vyžaduje velmi velká mechanická a elektrická odolnost (obráběcí stroje, stavební stroje, textilní stroje) a tam, kde se žádá rozsáhlý ovládací a signalizační program. Jejich typickou vlastností je poměrně malá ovládací síla, a proto se s výhodou používají jako vačkové ovládače pro různá elektrická zařízení. Jsou stavebnicové konstrukce, takže ze základního typu spínacího typu spínacího ústrojí je možné úpravou vaček dosáhnout požadovaných programů.

Pro dosažení velké elektrické odolnosti mají vždy stříbrné kontakty.

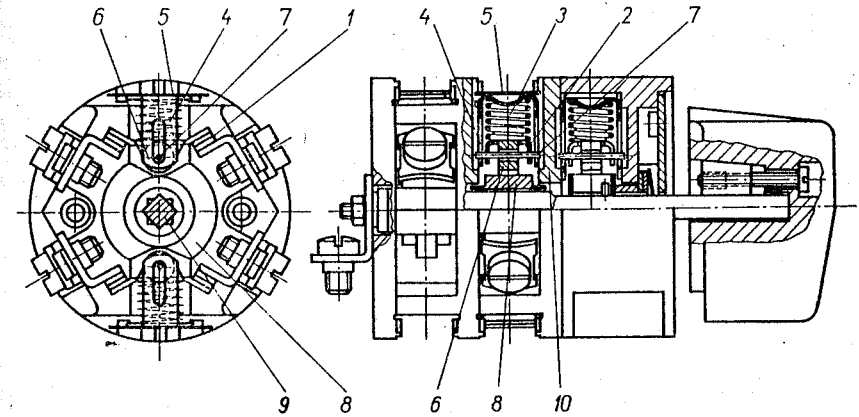
U nás se nyní vyrábějí tři druhy moderních a úspěšných vačkových spínačů:

1. Vačkové spínače typu S10V, S25V a S63V (10, 25, 63 A při 500 V), vyvinuté a vyráběné v SEZ Krompachy (obr. 53). Sestava vačkového spínače s vyznačeným kontaktním systémem je na obr. 54.

Pevné kontakty z elektrovedné mědi 1 jsou opatřeny navařenou čtvercovou kontaktní stříbrnou ploškou. Pohyblivý kontakt 2 je



Obr. 53. Vačkový spínač typu S25V, SEZ Krompachy, n. p.



Obr. 54. Sestava vačkového spínače 25 SV

1 — pevný kontakt s přívodní svorkou, 2 — můstkový pohyblivý kontakt, 3 — kontaktní pružina, 4 — pouzdro pohyblivého kontaktu, 5 — opěrný plíšek pružiny, 6 — kladička pohyblivého kontaktu, 7 — osička, 8 — vačka, 9 — čtyřhranný hřídel, 10 — mezistěna

můstkový se dvěma stříbrnými kontaktními ploškami. Kontaktní tlak vyvolává tlačná pružina 3, opírající se o dno plechového pouzdra 4 a spolu s ním o opěrný plíšek 5. Kontaktní můstek je opatřen kladičkou 6 a spolu s ní je prostřednictvím osičky 7 upevněn v plechovém pouzdru 4. Jeho pružný pohyb proti tlaku pružiny umožňuje kulisový výřez, v němž je osička s kladkou uložena. Žádaný pohyb kontaktního můstku do vypnuté polohy obstarává vhodně tvarovaná vačka 8 z izolantu, nasazená na čtyřhranný hřídel 9.

Spínač je složen z potřebného počtu samostatných kontaktních systémů, oddělených izolačními mezistěnami 10.

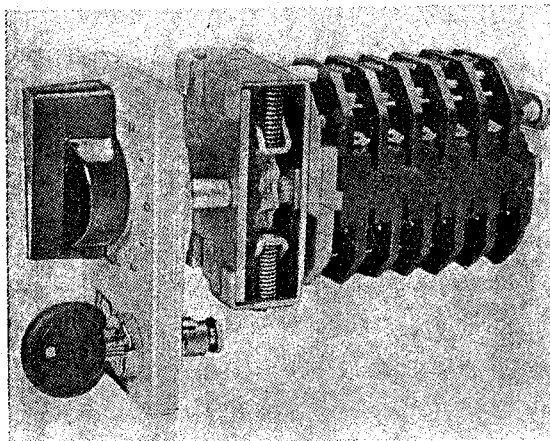
Vačkové spínače tohoto typu se dodávají buď jako vestavné (PO), nebo pro montáž na panel rozváděče s čelní deskou (P1), popř. v zavřeném provedení s krytím IP 54.

2. Vačkové spínače typu NUK (obr. 55), vyvinuté a vyráběné v n. p. EJF Brno uhrazují starší konstrukce vačkových spínačů typu KSP 15, UK 6 a VK 15.

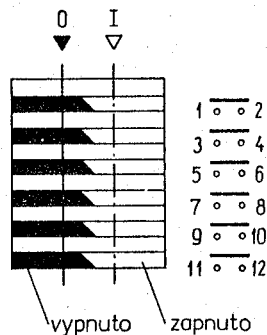
Spínač se vyrábí v různých spínacích kombinacích, jichž může být podle výrobce několik tisíc, maximálně může obsahovat až 48 spínacích jednotek.

Na obr. 56 je příklad schématu spínání, kreslený způsobem předepsaným výrobcem.

3. Vačkové spínače typu BACO, vyráběné pro proudy 10, 16, 32, 63 a 125 A Výrobním družstvem invalidů OBZOR v Gottwaldově, v licenci francouzské firmy BACO.



Obr. 55. Vačkový spínač typu NUK 16, 16 A, 500 V, 50 Hz, EJF Brno, n. p.



Obr. 56. Příklad schématu spínání vačkového spínače NUK 16

3.8. KOMŮRKOVÉ A PAKETOVÉ SPÍNAČE

Komůrkové spínače mají spínací ústrojí uloženo v uzavřených izolačních komůrkách tak, že jednotlivé póly jsou od sebe vzájemně odděleny.

Používají se ke spínání silových a ovládacích obvodů.

Komůrky jsou upraveny vedle sebe a stáhnuty dvěma průběžnými svorníky.

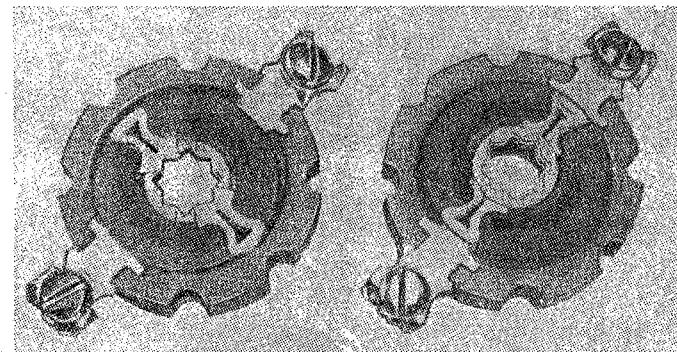
Otočný hřídel prochází jednotlivými komůrkami a jsou na něm připevněny otočné kontakty všech pólů. Každý pól vypíná na dvou místech. Pevné kontakty se podle potřeby navzájem propojí.

Příklad uspořádání komůrky je na obr. 57, příklad komůrkového spínače typu UA, 500 V, 25 A (EJF Brno, n. p.) je na obr. 58.

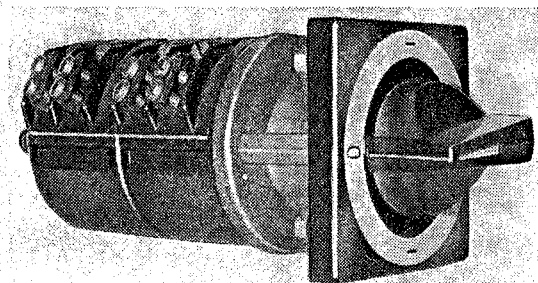
Paketovými spínači se nazývají také stavebnicově řešené komůrkové spínače, jejichž komůrky můžeme (podle žádaného spínacího programu) s libovolným počtem skládat.

Nejčastější jsou paketové spínače upraveny jako mnohopólové ovládací a návěstní přepínače, sloužící ke spínání ovládacích a signalizačních obvodů.

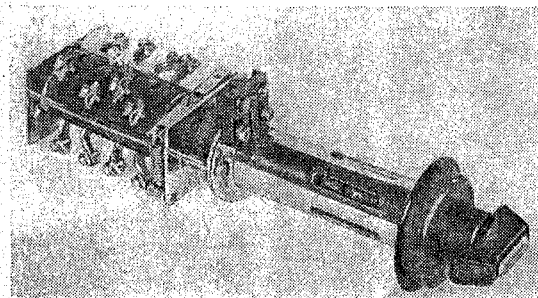
Na obr. 59 je příklad nejběžnějšího typu ovládacího a návěstního přepínače (ovládacího říditka) typu ONPP (ZPA Čakovice, n. p.). Prosvětlená rukověť slouží pro světelnou signalizaci stavu ovládacího zařízení.



Obr. 57. Uspořádání spínací komůrky 1. omorového spínače fy Siemens, NSR



Obr. 58. Komůrkový spínač UA, 25 A, 500 V, EJF Brno, n. p.



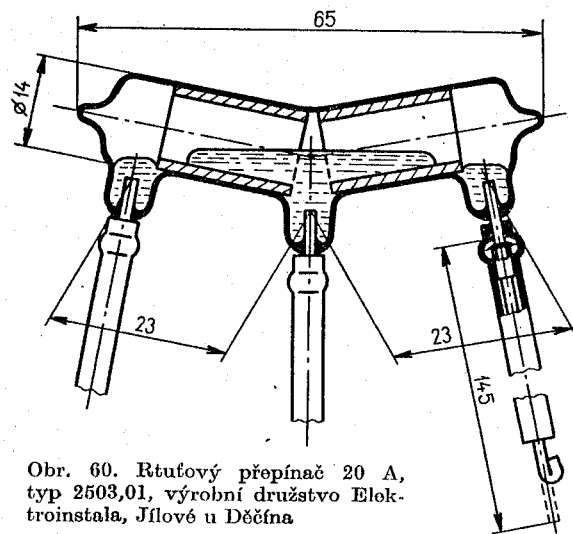
Obr. 59. Ovládací a návěstní paketový přepínač ONPP se světelnou rukověťí, ZPA Čakovice

3.9. RTUŤOVÉ SPÍNAČE

Rtuťové spínače mají elektrody zatavené do skleněné vakuové baňky naplněné určitým množstvím čisté rtuti. Nakláněním baňky se elektrody spojí nebo rozpojí, popř. přepojí.

Jejich výhody jsou:

- a) malý přechodový odpor,
- b) bezhlučný chod,
- c) malé rozměry (maximálně 80 mm) i při velkých proudech (až 40 A),
- d) malé ovládací síly,
- e) snadná vyměnitelnost,
- f) vyloučení oxidace kontaktů,
- g) spolehlivost při častém spínání.



Obr. 60. Rtuťový přepínač 20 A, typ 2503,01, výrobní družstvo Elektromstava, Jílové u Děčína

Jmenovité proudy rtuťových spínačů platí pro střídavý proud, při stejnosměrném proudu je možné je zatížit jen polovičním proudem.

Spínače pro větší proudy mají baňku zevnitř vyloženou keramickou vložkou.

Rtuťové spínače se používají tam, kde vyžadujeme nepatrnou ovládací sílu nebo kde by jiné vypínače trpěly korozí.

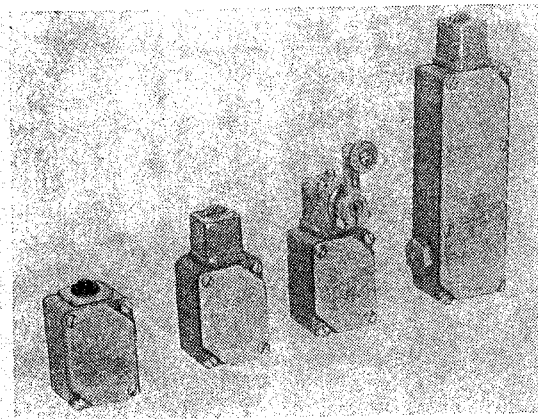
K jejich naklánění se obvykle používají malé elektromagnety; rtuťové spínače jsou upevněny na jejich kotvičce.

Na obr. 60 je rtuťový spínač na 20 A. Z baňky je vyčerpán vzduch a je naplněna vodíkem o tlaku asi 90 kPa.

3.10. KONCOVÉ SPÍNAČE

Koncové spínače [16] jsou mechanicky ovládané vypínače, které slouží k ohrazení krajních poloh dráhy pohybujících se částí stroje. Používají se u jeřábů, výtahů, obráběcích strojů, pro pohon stavidel, výrobních pásů apod.

Po dosažení krajní polohy vypnou buď hlavní proud motoru, nebo pomocný ovládací obvod stykače. K vypnutí trojfázového motoru stačí dvoupólový vypínač, k vypnutí pomocného proudu stačí vypínač jednopólový.

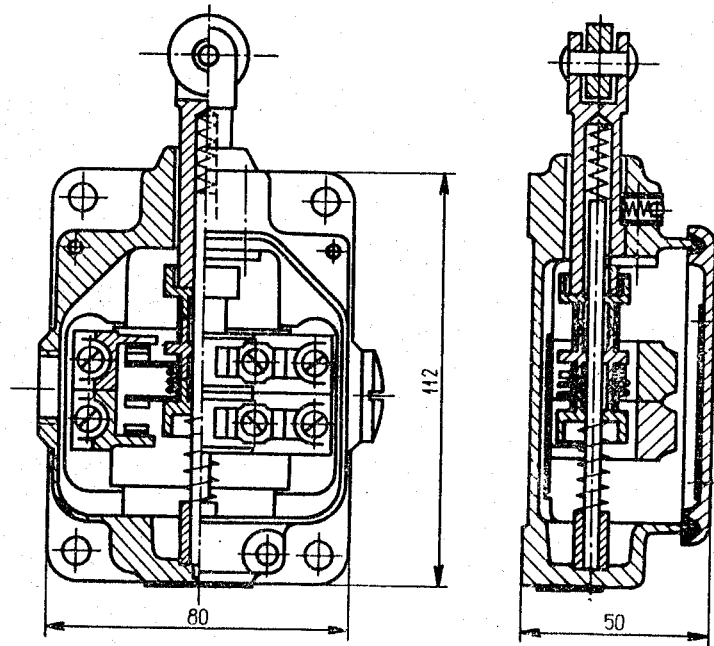


Obr. 61. Koncové spínače typu KS 6

Podle pohonu jsou koncové vypínače (obr. 61):

1. Pákové — vypínací páka s kladkou je ovládána kulisou po vyblíbné části zařízení.
2. Vřetenové — na vřetenu se závitem se posouvá matice mezi dvěma přestavitelnými narážkami; používají se např. u jeřábů, kde zajišťují koncové polohy háku.
3. Tlačítkové — s posuvným pohybem osy spínacího ústrojí, pro ovládání pomocných obvodů (obr. 62).

Koncové vypínače musí mít určitý mrtvý chod, který dovolí pohyb ovládací páky bez zapůsobení na jejich kontaktní systém.



Obr. 62. Konečný tlačítkový vypínač UEr 10 G pro ovládání pomocných obvodů

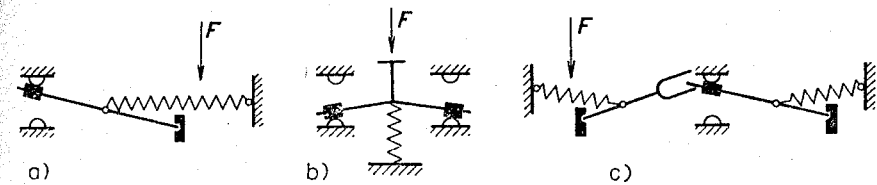
3.11. MIKROSPÍNAČE

Mikrospínače [17] jsou moderním typem moderních spínačů, které se vyznačují velmi malou ovládací dráhou, velkou přesností, velmi rychlým mžikovým spínáním, dostatečným kontaktním tlakem a velkou trvanlivostí (až $10 \cdot 10^6$ změn polohy při počtu spínání až 150 za minutu). Používají se v automatických zařízeních, kde je k dispozici malá ovládací síla (např. malý zdvih), a tam, kde se žádá přesná opakovatelnost předem nastaveného cyklu. Zvláště se hodí k ovládání regulačních, měřicích a řídicích přístrojů.

Používají se např. pro bezpečné řízení obráběcích strojů, počítání vykonaných operací, samočinné třídění apod.

Možné systémy mikrospínačů jsou:

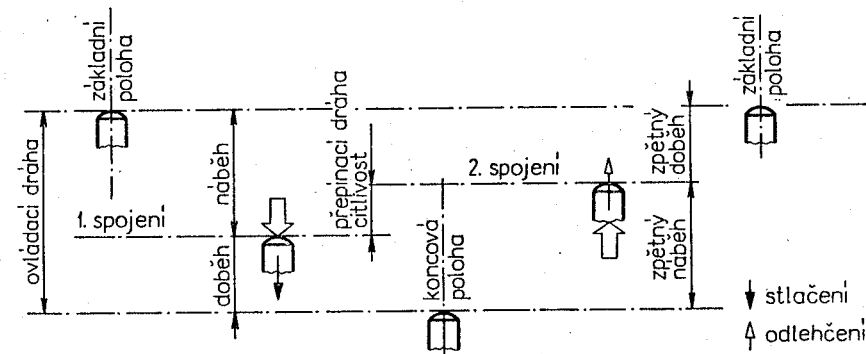
- s jedním přerušením (obr. 63a),
- se dvěma přerušenými (obr. 63b),
- s kaskádovou úpravou (obr. 63c).



Obr. 63. Systémy mikrospínačů — a) s jedním přerušením, b) se dvěma přerušenými, c) kaskádovou úpravou

V každém případě se přepínání kontaktů uskutečňuje napnutím ovládací pružiny. Tak se v ní akumuluje určitá energie, která se při přechodu mrtvým bodem mechanismu uvolní a zabezpečí mžikové přepnutí kontaktů.

Složitější kaskádová úprava mechanismu se dělá jen tehdy, je-li potřebné na minimum zkrátit dobu trvání mrtvé polohy (při velmi malé náběhové rychlosti ovládacího zařízení — asi $2 \mu\text{m/s}$).

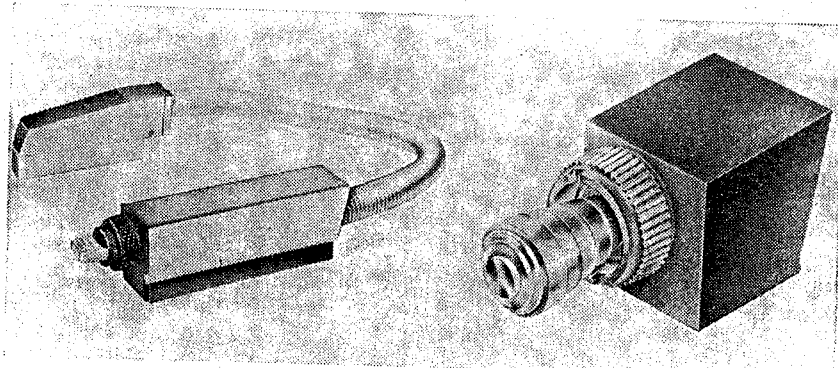


Obr. 64. Charakteristika ovládání mikrospínačů

Charakteristika ovládání mikrospínačů je na obr. 64. Citlivost (přepínací dráha), kterou se rozumí nejkratší dráha ovládací části, omezená sepnutím v jednom smyslu ovládání a sepnutím v opačném smyslu ovládání, bývá u našich mikrospínačů 0,12 až 0,25 mm, Ovládací síla bývá podle typu 4 až 40 N.

POZNÁMKA. Pro samočinné ovládání složitých strojů byly vyvinuty mikrospínače s citlivostí až 0,001 mm!

Mikrospínače jsou kontaktním prvkem i moderních miniaturních ovládacích přepínačů sloužících k ovládání pomocných a řídicích



Obr. 65. Miniaturní ovládací mikrospínač, ZPA Čakovice, n. p.

obvodů nn. Soustava mikrospínačů je ovládána různě tvarovanými vačkami na aretovaném otočném hřídeli (obr. 65).

3.12. KONTROLÉRY A OVLÁDAČE

Kontroléry [18; 19; 20] jsou řídicí přístroje s kontaktním ústrojím, jímž se postupně, v jeho jednotlivých polohách, spínají různé proudové obvody v předem určeném pořadí.

Užívají se k řízení motorů v těžkých provozech (jeřáby, rypadla, těžní stroje, elektrická vozidla).

Podle uspořádání jsou kontroléry:

- a) válcové,
- b) vačkové.

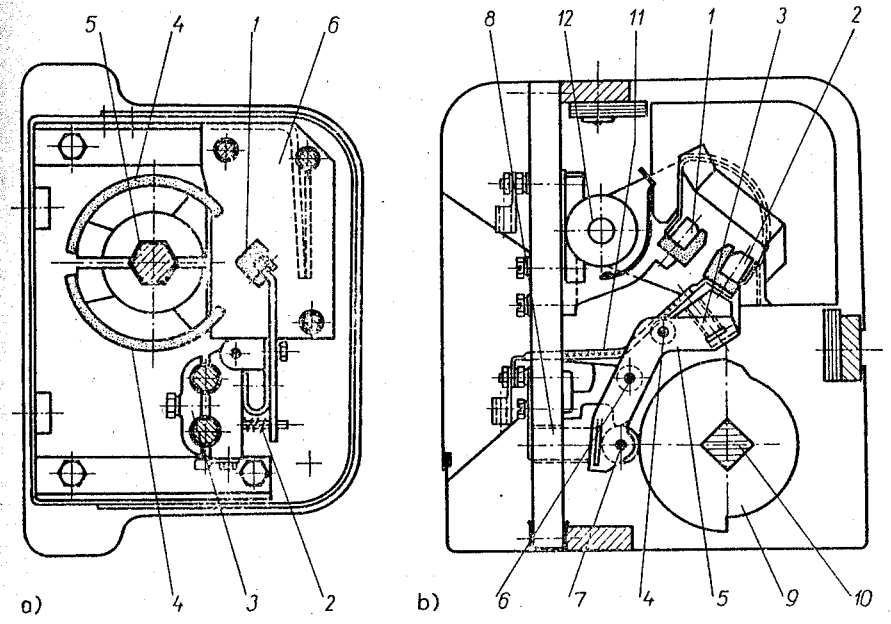
Válcový kontrolér (obr. 66a) má pohyblivé kontakty ve tvaru vodičových segmentů upravených na otáčivém válci a řadu pevných odpružených kontaktních palců, které při otáčení válce na segmenty nabíhají. Požadovaný spínací program se nastaví různými délkami vodičových segmentů a jejich účelným propojením.

Válec kontroléru je aretován v každé poloze, nulová poloha je aretována výrazněji.

Válcové kontroléry mohou být vzduchové nebo olejové.

Nejsou-li kontakty vybaveny přídavným zařízením pro zhášení oblouku, nehodí se pro spínání velkých výkonů a nemůžeme je použít pro řízení stejnosměrných motorů.

Váčkový kontrolér (obr. 66b) má kontaktní ústrojí vytvořeno řadou



Obr. 66. Uspořádání kontaktů kontrolérů

a) válcový kontrolér

1 — pevný kontakt, 2 — kontaktní pružina, 3 — dvojice nosných izolovaných svorníků, 4 — vodičové válcové segmenty, 5 — ovládací hřídel, 6 — izolační zhášecí komůrky

b) vačkový kontrolér

1 — pevný kontakt, 2 — pohyblivý kontakt s výkyvným nosičem, 3 — kontaktní pružina, 4 — otočný čep výkyvného nosiče pevného kontaktu, 5 — ovládací páka pohyblivého kontaktu, 6 — otočný čep ovládací páky, 7 — kladka, 8 — tlačná pružina, 9 — ovládací vačka, 10 — průběžný ovládací hřídel, 11 — přívod k pohyblivému kontaktu, 12 — vyfukovací oivka

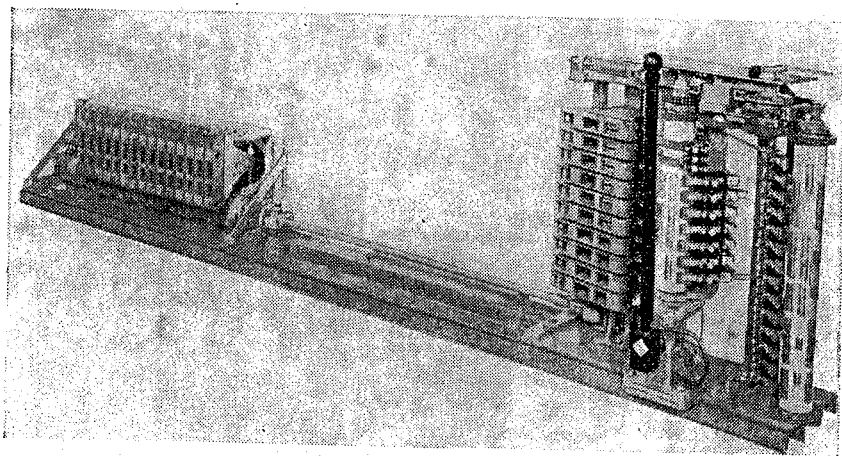
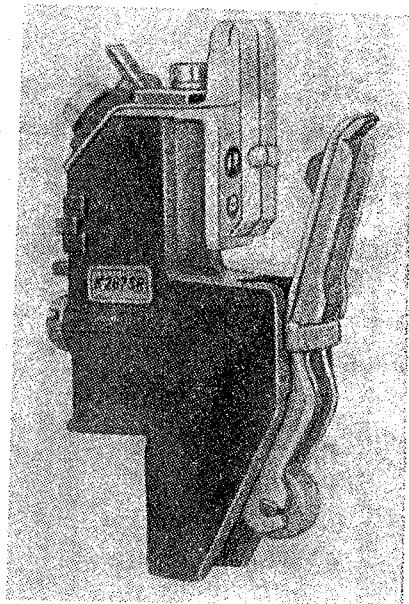
kladivových kontaktních dvojic, které se ovládají vačkami vhodného tvaru upravenými na otáčivém hřídeli. Novější kontroléry mají kontakty upraveny tak, že kontaktní pružina je tlačí do zapnuté polohy a vačka je vypíná. To umožňuje vypnutí i svařených kontaktů.

Příklad moderního řešení spínacího prvku s dvojitým kontaktem pro vačkový trakční kontrolér je na obr. 67.

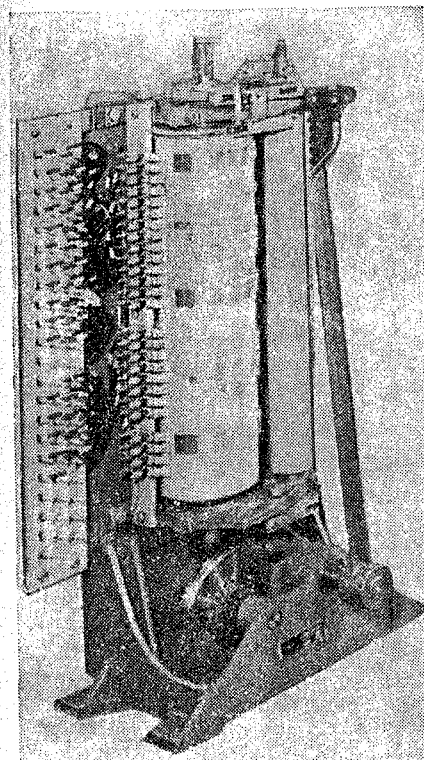
Váčkové kontroléry mají kontakty odděleny zhášecími komorami (např. deionovými) a pro stejnosměrný proud mají i účinné elektromagnetické vyfukování oblouku.

Na obr. 68 je moderně řešený trakční válcový kontrolér určený pro řízení čtyř trakčních motorů tramvaje.

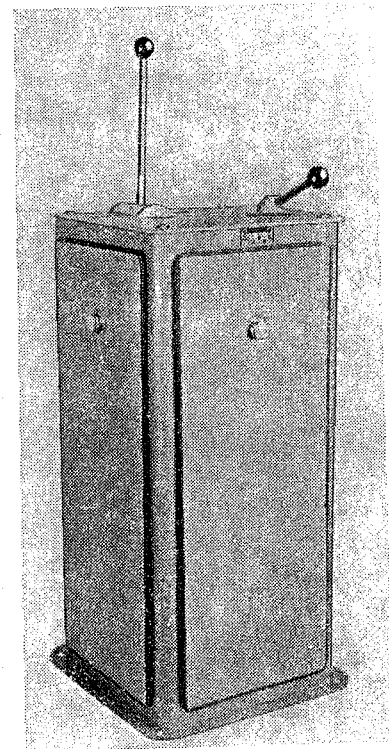
Obr. 67. Moderní spínací prvek s dvojitým kontaktem pro trakční kontrolér, firma Siemens



Obr. 68. Trakční vačkový kontrolér pro řízení čtyř motorů tramvaje, 4×70 kW, 600 V, firma Kiepe, NSR



a)



b)

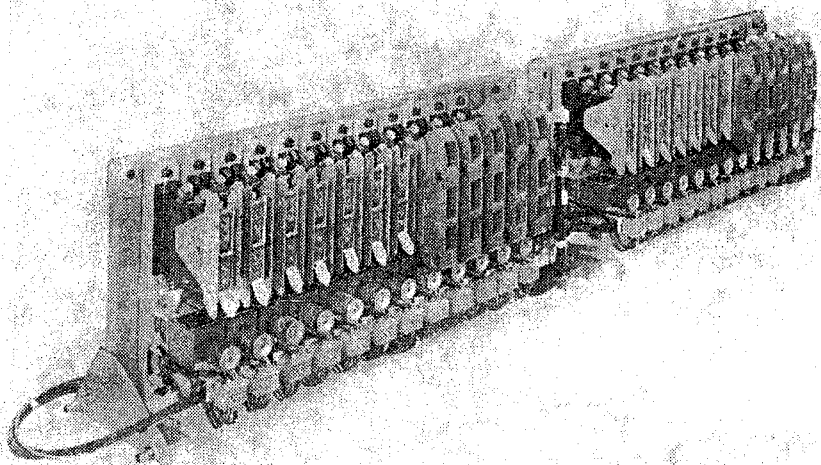
Obr. 69. a) Válcový trakční ovládač, firma Kiepe, NSR, b) vačkový ovládač RUR 40, EJF Brno, n. p.

Trakční kontroléry elektrických lokomotiv bývají ovládány dálkově elektrickým nebo pneumatickým krokovým motorem.

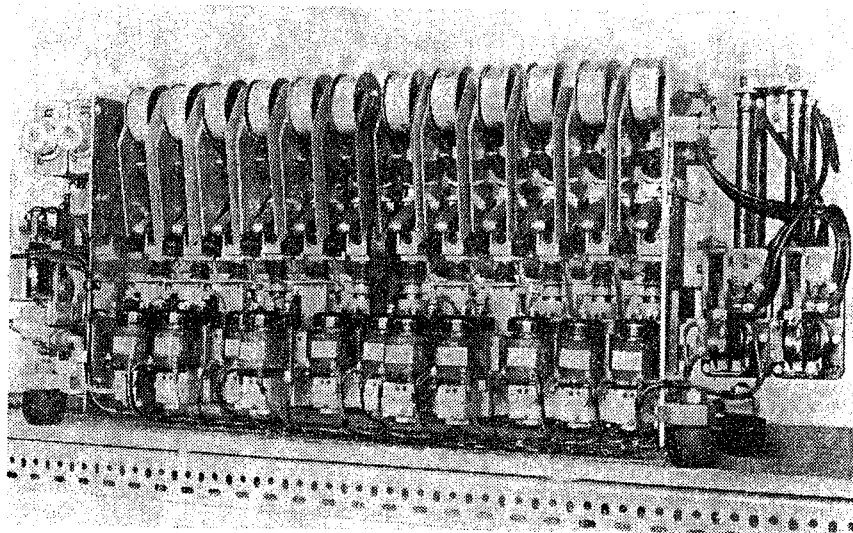
Motory větších výkonů se neovládají přímo kontrolérem, neboť pro jeho obsluhu by byla potřebná příliš velká síla (velké proudy, velké kontaktní tlaky). Ovládají se soustavou stykačů, jejichž zapínací obvody se přepínají menším ovládačem.

Ovládače jsou opět buď válcové (obr. 69a), nebo vačkové (obr. 69b); ty se používají nejčastěji.

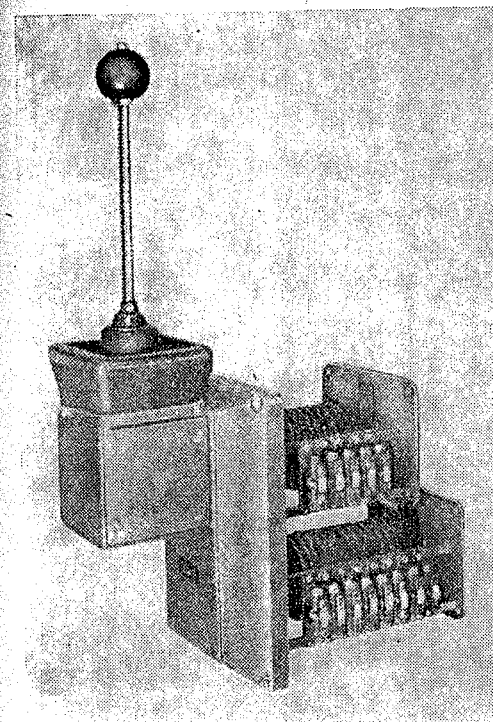
Uspořádání skupiny ovládacích stykačů řízených ovládačem je na obr. 70a. Stykače jsou zpravidla elektromagnetické. Jen ve speciálních trakčních zařízeních i tlakovzdušné s elektromagnetickými ventily (obr. 70b).



Obr. 70a. Skupina elektromagnetických stykačů řízená ovládačem



Obr. 70b. Skupina tlakovzdušných stykačů řízených ovládačem



Obr. 71. Ovládač se sympatiickým řízením, firma Klöckner-Moeller, NSR

Pro současné řízení několika motorů se používají spřažené ovládače ovládané jedinou pákou — sympatické řízení (obr. 71). Tak můžeme např. u jeřábů současně ovládat motor pro zdvihání břemen i motor pro pojezd kočky.

Aby ovládací síly ovládače byly co nejmenší a neunavovaly obsluhu, ovládají se ty kontakty, které se za provozu už nespínají, samostatným přepínačem.

POZNÁMKA. Odporů, které jsou potřebné pro řízení motorů, bývají uspořádány ve zvláštních skříních.

4. STYKAČE

4.1. DEFINICE A ROZDĚLENÍ

Stykače [21] jsou takové spínače, které mají aretovanou jen jednu polohu (obvykle vypnutou) a ve druhé poloze je musí držet cizí síla. Používají se pro velmi časté spínání (až 3000 za hodinu) a pro dálkové a automatické ovládání.

Podle přídržné síly rozeznáváme stykače:

- elektromagnetické (nejčastější),
- vačkové (používané u kontrolérů),
- pneumatické (tam, kde jde o velké spínací síly a rychlosti, elektrické dráhy, stykače vn apod.).

Obvykle se pod pojmem stykač rozumí stykač elektromagnetický. Proud se přerušuje ve vzduchu nebo v oleji a podle toho jsou stykače:

- vzduchové,
- olejové.

Podle druhu proudu jsou stykače:

- na proud střídavý,
- na proud stejnosměrný.

Podle funkce se stykače rozdělují na:

- zapínací — u nichž se tahem elektromagnetu hlavní kontakty rozpínají,
- rozpínací — používají se jen zřídka.

Podle četnosti spínání a životnosti patří stykače do šesti tříd, podrobnosti viz ČSN 35 4150.

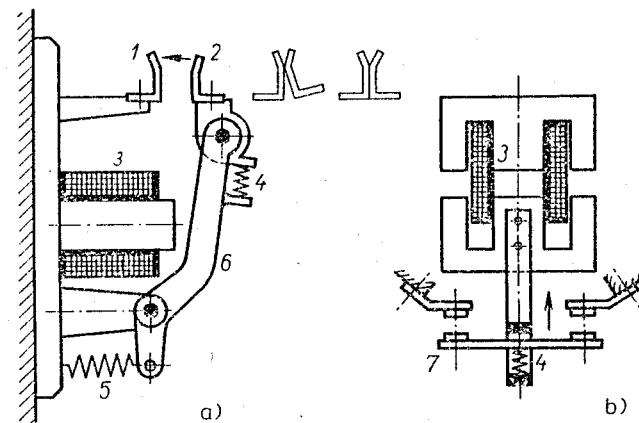
Stykače musí mít ploché palcové nebo můstkové kontakty, aby se daly snadno spínat bez tření malými silami.

Schematické uspořádání elektromagnetického stykače je na obr. 72.

Na obr. 72a je uspořádání vzduchového stykače. Zavedením proudu do zapínací cívky elektromagnetu se přitáhne jeho kotva, která je spojena s pohyblivým kontaktním palcem. Kotva je otočná kolem pevného bodu. Pohyblivý kontakt je výkyvně uložen na kotvě a do krajní polohy ho tlačí kontaktní pružina. Při zapínání se kontakty nejdříve stlačí v horní části a dalším pohybem kotvy a tlakem

kontaktní pružiny se začnou po sobě odvalovat. V konečném sepnutém stavu se kontakty stýkají v dolní části. Odvalováním se čistí a zbavují oxidační vrstvy.

Přerušením proudu v obvodu zapínací cívky kotva elektromagnetu odpadne tahem zpětné pružiny a stykač vypne. Přitom se kontakty opět odvalují po sobě tak, že přerušeni proudu nastane na jejich horní části a kontakty déle vydrží.



Obr. 72. Uspořádání elektromagnetického stykače — a) vzduchový stykač, b) olejový stykač

1 — pevný kontakt, 2 — pohyblivý kontakt, 3 — zapínací cívka, 4 — kontaktní pružina, 5 — vratná pružina, 6 — kotva elektromagnetu, 7 — kontaktní můstek

Pohyblivý kontakt je s pevnou svorkou spojen pružným měděným pásem nebo lankem.

Na obr. 72b je uspořádání olejového stykače, u něhož se proud přerušuje vždy na dvou místech pomocí můstku, který spojuje dva pevné kontakty. Kontakty jsou pod magnetem upraveny tak, že do vypnuté polohy jsou tlačeny vlastní tíhou. Výhodou tohoto uspořádání je, že nemá otočné části. V poslední době se dvojitě přerušeni proudu zavádí i u vzduchových stykačů, neboť kontakty jsou kratším hořením oblouku méně namáhány.

4.2. ZHÁŠENÍ OBLOUKU

Spínací dráhy stykačů jsou poměrně krátké, takže jejich konstrukce musí zaručit bezpečné zhasnutí oblouku.

a) Vzduchové stykače na střídavé napětí do 250 V nemusí mít vyfukovací cívku, pokud nevypínají větší proudy než $1,1 I_n$.

Zhášení oblouku zajistí keramická zhášecí komora s jedním nebo i s několika roztržšťovači.

b) Olejové stykače zhášejí oblouk olejem.

c) Stykače na stejnosměrný proud musí mít vyfukovací cívku. Mohou být bez ní, jestliže přerušují proud nejvýše $0,1 I_n$. Zhášení olejem nemůžeme používat, neboť dlouhotrvajícím obloukem se olej značně opaluje.

Jmenovitý proud vyfukovací cívky je třeba volit podle velikosti předpokládaného vypínaného proudu a nemusí být vždy shodný s jmenovitým proudem stykače. U stykačů na velké proudy se může stát, že malé vypínací proudy nedokáží vypnout a poškodí se. Kritický proud udává výrobce v katalogu.

Moderní typy používají proto ke zhášení oblouku permanentní magnety, které působí stejně při každém proudu (např. polské stykače vn typu SO).

4.3. KONSTRUKČNÍ ČÁSTI STYKAČŮ

4.3.1. Hlavní kontakty

Stykače musí mít ploché palcové nebo můstkové kontakty, aby se mohly spínat bez tření, malými silami.

Podle funkce hlavních kontaktů jsou stykače:

a) zapínací — u nichž se tahem elektromagnetu hlavní kontakty zapínají,

b) rozpínací — u nichž se tahem elektromagnetu hlavní kontakty rozpínají — používají se jen zřídka.

Moderní stykače mají obvykle kontaktní plochy zhotovené ze stříbra.

4.3.2. Pomocné kontakty

Kromě hlavních kontaktů jsou stykače vybaveny jedním nebo několika pomocnými kontakty, které slouží k ovládní, blokování a signalizaci.

Podle funkce jsou:

- zapínací (pracovní)
- rozpínací (klidové).

Jejich počet se udává zlomkem, např. zlomek $1/2$ udává, že stykač má jeden pomocný kontakt zapínací a dva kontakty rozpínací.

Zatížitelnost pomocných kontaktů udává výrobce, bývá 6 až 10 A, podle velikosti stykače.

4.3.3. Zapínací cívka

Zapínací cívky elektromagnetických stykačů mohou být na napětí 48, 120, 220, 380 a 500 V při 50 Hz a pro stejnoměrné napětí 24, 110, 220 V. Pro trojfázovou síť je nejlépe použít cívku pro napětí 220 V, která se zapojí mezi fázi a nulovací vodič. Cívky na malé napětí nejsou spolehlivé, protože jejich přitažlivá síla může poklesnout vlivem úbytku napětí na pomocných kontaktech ovládacích obvodů tak, že stykač samovolně vypne. Jsou však předepsány pro zařazení na jeřábech.

Cívka je navržena tak, aby působila i při změnách napětí rozsahu od +10 do -15 %. Při nižším napětí je tah malý a kontakty se chvějí. Úplný odpad kotvy při sníženém napětí není jednoznačný, a proto cívku stykače nemůžeme považovat za cívku nulovou, jak se to někdy chybně udává.

Cívky našich stykačů mohou být na základě zvláštní objednávky vybaveny pomocným vinutím na napětí 2,5 V, jímž se napájí signalizační žárovka 3,5 V.

U stykačů nad 200 A je proud zapínací cívky velký, a proto se zapíná pomocným stykačem na 15 A.

Připojením cívky na střídavé napětí vzniká proudový náraz, neboť její indukčnost je při oddálené kotvě malá. Přitažením kotvy se indukčnost zvětší a proud se zmenší. Abychom tyto proudové nárazy u velkých stykačů vyloučili, zhotovují se jejich zapínací cívky na stejnosměrný proud a napájejí se ze sítě přes polovodičový usměrňovač. V takovém případě může být jádro masívní a jeho konstrukce jednodušší.

4.3.4. Tepelná relé [22; 23]

Stykač není zařízen pro samočinné vypínání zkratového proudu. Proto musí mít vždy předřazený tavné pojistky dimenzované podle jmenovitého proudu a podle druhu zapínaného spotřebiče. Pojistky

však vypínají jen při několikanásobku jmenovitého proudu, a tedy nechrání před účinkem dlouhotrvajícího přetížení.

Proto se stykače vybavují nadproudovým tepelným relé.

Tepelné relé je tvořeno dvojkovým článkem, vyhříváným přímo průchodem hlavního proudu nebo nepřímo odporovým článkem, který se na něj izolovaně navine. Při déle trvajícím zatížení se dvojkov ohřeje, prohne a svým průhybem rozpojí obvod zapínací cívky stykače. Čas, za který stykač vypne, závisí na velikosti přetížení. Při velkém přetížení vypne dříve, při malém přetížení později. Tepelné relé představuje proudově závislou ochranu. Její charakteristika musí odpovídat charakteristice chráněného spotřebiče.

Po zapůsobení tepelného relé můžeme stykač zapnout asi po jedné minutě stlačením zvláštního tlačítka.

Každé relé je možné seřídit v rozsahu $\pm 20\%$. Je třeba ho nastavit přesně na jmenovitý proud chráněného spotřebiče. Výrobce udává maximální dovolený proud pojistky, která smí být pro dané relé předřazena.

Některá novější tepelná relé nejsou už regulovatelná, ale jsou seřízena přesně na jmenovitý proud, odpovídající celé řadě obvyklých jmenovitých výkonů.

Tepelné relé chrání trojfázový motor i proti déletrvajícimu chodu na dvě fáze.

Při velmi těžkém rozběhu chráněného motoru můžeme charakteristiku tepelného relé zpomalit použitím pomocných proudových transformátorů.

Konstrukce tepelných relé je uvedena v čl. 6.3.

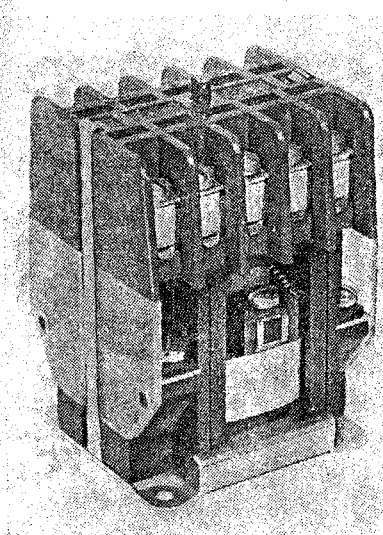
POZNÁMKA. Podle názvoslovné normy ČSN 34 5128 se stykač s tepelným relé nazývá stykačový jistič. Název však není vžitý.

4.4. VZDUCHOVÉ STYKAČE NA STŘÍDAVÝ PROUD

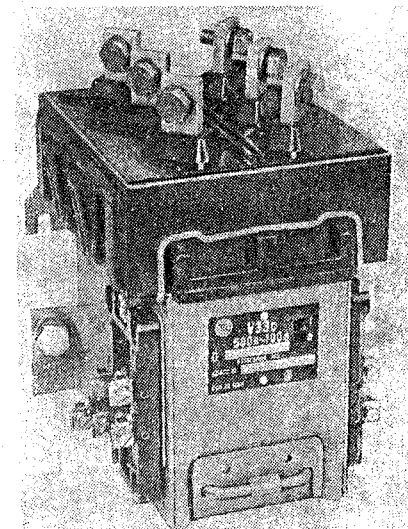
Vyrábějí se v n. p. Elektropřístroj Modřany v těchto druzích:

Starší typy

VM 4 — 4 A	V 33c — 100 A, obr. 73b, 75
VM 10 — 6 A	V 43c — 160 A
V 16 M — 16 A, obr. 73a	VH 250 — 250 A, obr. 74, 76
V 03 c — 25 A	V 43a — 400 A
V 13 c — 40 A	V 53a — 600 A
	HBS 1000 — 1000 A

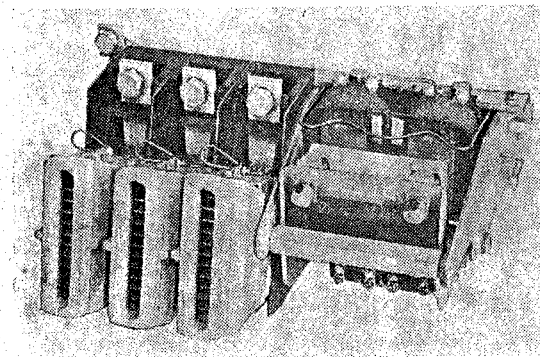


a)



b)

Obr. 73. a) Vzduchový stykač V16M, 16 A, 500 V, Elektropřístroj Modřany, n. p., b) vzduchový stykač typu V 33c, 100 A, 500 V, Elektropřístroj Modřany, n. p.



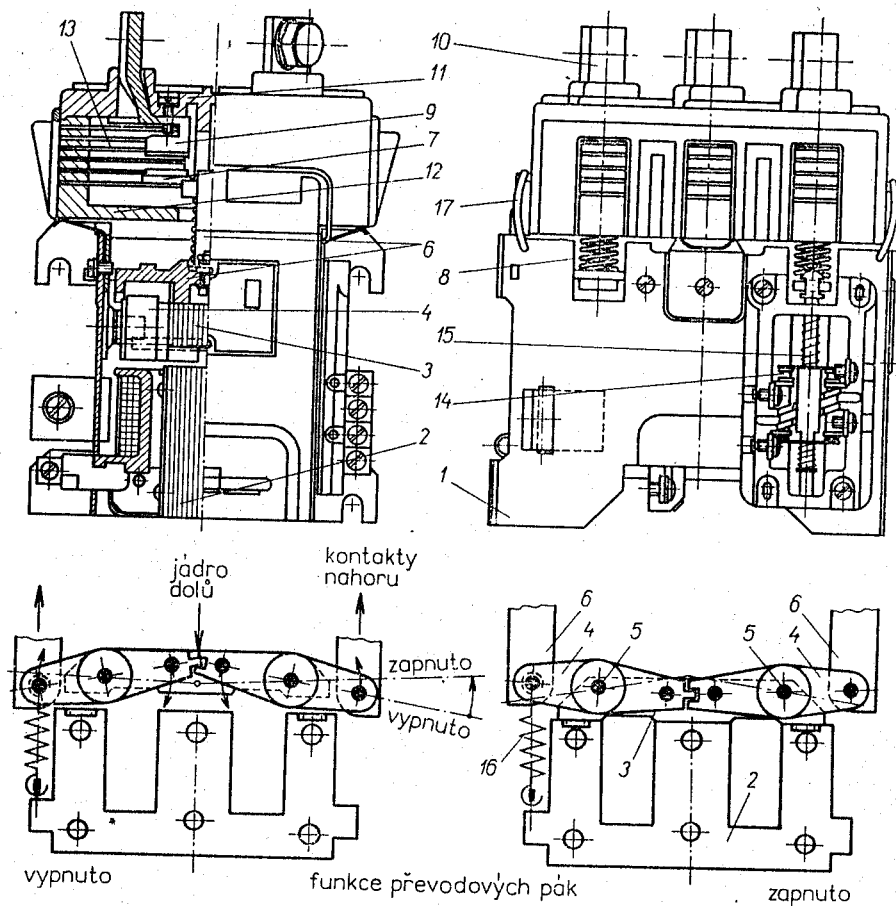
Obr. 74. Vzduchový stykač VH 250, 250 A, 500 V, pro těžké provozy, Elektropřístroj Modřany, n. p.

Výhledové typy

VK 6 — 6 A	V 33 D — 100 A
V 25 M — 25 A	V 43 D — 160 A
V 13 D — 40 A	

Sestavení vzduchového stykače V 33c je na obr. 75.

Stykač je moderní a úsporné konstrukce, s malou spotřebou vodivého materiálu. Je vestavěn do plechového rámu 1, jímž se připevňuje na daný základ (např. na stykačový rošt v rozváděči). Ve spodní části rámu je upevněno jádro elektromagnetu 2 s cívkou



Obr. 75. Sestava vzduchového stykače typu V 33e, 100 A, 500 V

1 — plechový rám, 2 — pevné jádro magnetu s cívkou, 3 — pohyblivá kotva, 4 — převodová páka, 5 — otočný čep převodové páky, 6 — nosič pohyblivých kontaktů, 7 — můstkový pohyblivý kontakt, 8 — kontaktní pružina, 9 — pevný kontakt s přívodní svorkou, 10 — přípojovací svorka, 11 — horní část zhášecí komory, 12 — výsuvná část zhášecí komory, 13 — zhášecí kovové hřebínky, 14 — soustava pomocných kontaktů, 15 — ovládací izolační tyč pomocných kontaktů, 16 — vratná pružina, 17 — drátěný držák kontaktní komory

v kostře z lisovaného izolantu. Pohyblivá kotva 3 je spojena po každé straně s dvojicí do sebe skloubených pák 4, otočných kolem čepů 5, uchycených v kostře stykače. Působením těchto pák se ovládá izolační nosič pohyblivých kontaktů 6. Mechanismus je nastaven tak, že při přitahu kotvy směrem dolů — k jádru pohybuje se nosič s kontaktním můstkem 7 nahoru a propojí dvojici pevných masivních kontaktů 9, jejichž těleso vytváří zároveň i přívodní pás s přípojovací svorkou 10. Kontaktní tlak zabezpečuje pružina 8. Celkově má stykač tři hlavní kontakty se třemi kontaktními pružinami. Pohyblivé i pevné kontakty mají naplátovány stříbrné kontaktní destičky.

Zhášení oblouku mezi kontakty nastává v komoře, jejíž horní — pevnou část tvoří izolační těleso 11 s přichycenými pevnými kontakty. Komoru uzavírají dvě postranní výsuvné části 12, v nichž je samostatně pro každý pól zalisována soustava plechových deionizačních hřebínků 13.

Po každé straně stykače je jedna soustava pomocných kontaktů 1/1, ovládaná pohyblivým nosičem 6 prostřednictvím ovládací izolační tyče 15.

Zpětný pohyb kotvy a pohyblivých kontaktů obstarává dvojice postranních vratných pružin 16.

Horní část kontaktní komory je s tělesem stykače spojena dvěma drátěnými držáky 17. Boční výsuvné části kontaktní komory s deionizačními hřebínky umožňují lehký přístup ke kontaktům při jejich revizi.

Sestavení vzduchového stykače VH 250 je na obr. 76. Je určen pro velmi těžké provozy v dolech, hutích apod. (tzv. hutní stykač).

Pevný elektromagnet 1 je upevněn v kostře stykače a je opatřen dvěma cívkami. Pohyblivá kotva 2, jejíž nárazy tlumí tlumič 3, ovládá kyvný hřídel 4, který obstarává pohyb kontaktů prostřednictvím unášeče 5.

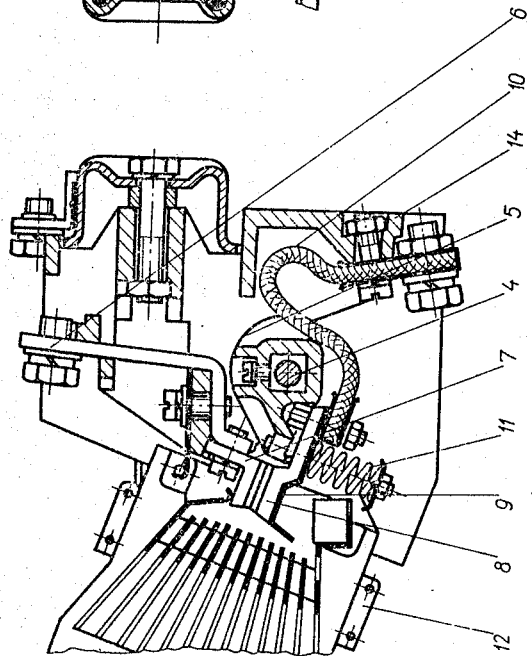
Pevný měděný palcový kontakt 7 s naplátovanou kontaktní destičkou z AgCd je nesen masivním přírodním pásem 6. Pohyblivý kontakt 8 je opatřen opalovacím rohem 9 a s přívodní svorkou stykače je spojen ohybným přívodním pásem 10. Kontaktní tlak vyvolává pružina 11.

Na kontakty každého pólu je nasunuta keramická zhášecí komůrka 12 s ocelovými roztržšťovači (obr. 74).

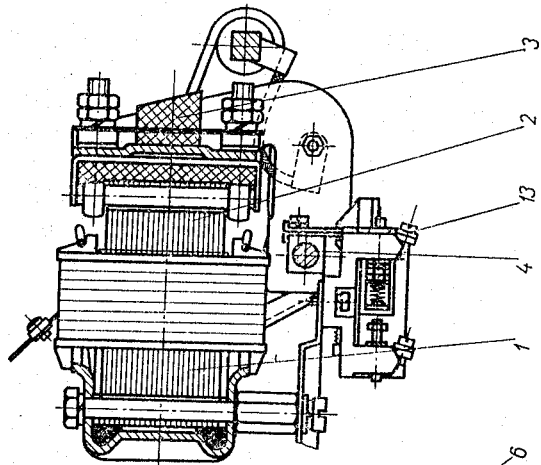
Pomocné kontakty 13 (2×1/1) jsou přímo ovládány kyvným hřídelem.

Základ stykače tvoří pouzdro z lisovaného izolantu 14.

řez kontaktním systémem



řez elektromagnetem



Obr. 76. Sestava vzduchového stykače VH 250, 250 A, 500 V

1 — jádro elektromagnetu, 2 — kotva elektromagnetu, 3 — těleso, 4 — kyvný hřídel s ramenem, 5 — unášec, 6 — přírodní pás pevného kontaktu, 7 — povný kontakt, 8 — pohyblivý kontakt, 9 — opalovací roh, 10 — přírodní pás, 11 — pružina, 12 — zřásecí komora, 13 — pomocné kontakty, 14 — pouzdro

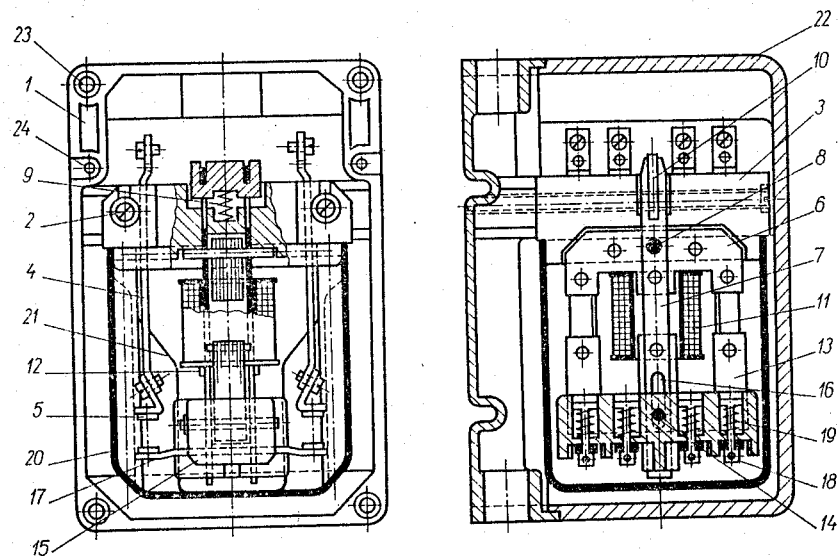
4.5. OLEJOVÉ STYKAČE

Mají kontakty i elektromagnet ponořeny do nádoby s transformátorem olejem, který má několik funkcí:

- zháší elektrický oblouk tím, že ho ochlazuje odparným teplem,
- zvětšuje izolační pevnost — umožňuje menší izolační vzdálenosti,
- tlumí nárazy při spínání,
- chrání kontakty před korozívním vlivem okolí.

Kontaktní systém je můstkový, umístěn vždy u dna olejové nádoby, aby se spálené částice na něm usazovaly a neznečisťovaly vlastní přístroj.

Na obr. 77 je malý olejový stykač starší konstrukce. U nás se olejové stykače používají velmi málo. Nejčastěji jsou upraveny jako reverzační přepínače nebo samočinné přepínače Y/D.

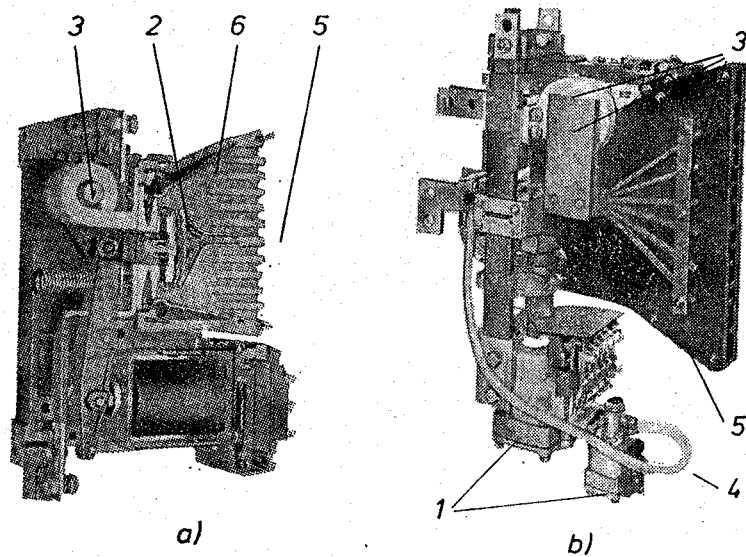


Obr. 77. Malý čtyřpólový olejový stykač

1 — bakelitový základ, 2 — upevňovací šrouby, 3 — izolační těleso, 4 — přírodní pásy, 5 — pevné stříbrné kontakty, 6 — pevná část jádra, 7 — vodící postraníe, 8 — upevňovací kolík, 9 — přítlačná pružina, 10 — pojistný plech, 11 — cívkva, 12 — příchytné kolíky cívkvy, 13 — pohyblivá kotva, 14 — upevňovací kolík, 15 — izolační kontaktní těleso, 16 — výřez ve vodičích pásech, 17 — spojovací můstky, 18 — upevňovací plech, 19 — kontaktní pružina, 20 — nádoba na olej, 21 — distanční žebra, 22 — víko, 23 — otvory pro upevnění víka, 24 — otvory pro upevnění stykače

4.6. STYKAČE NA STEJNOSMĚRNÝ PROUD

Jsou jednopólové až trojpólové a vždy mají vyfukovací cívku s masívní zhášecí komorou. Kontakty jsou značně dimenzovány, aby vydržely zvětšené namáhání dlouho hořícím stejnosměrným obloukem. Běžné stykače na střídavý proud se nesmí použít na proud stejnosměrný. Zaváděním stejnosměrného proudu do techniky ponohů se rozšiřuje jejich použití a zvětšují se nároky na ně kladené.

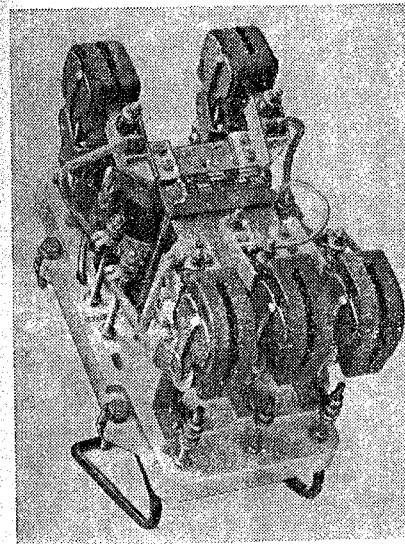


Obr. 78. Moderní trakční stykače na stejnosměrný proud — a) elektromagnetický stykač fy Siemens, b) tlakovzdušný stykač fy Oerlikon
1 — ovládací válec s tlakovzdušným ventilem, 2 — kontaktní systém, 3 — elektromagnetické vyfukování, 4 — přídatné tlakovzdušné vyfukování, 5 — zhášecí komora, 6 — opalovací kontakty

Stykače na stejnosměrný proud se často používají v elektrické trakci, kde slouží k řízení trakčních motorů. Jsou ovládané elektromagneticky nebo pneumaticky, prostřednictvím vačkového hřídele (obr. 78).

V oblasti stejnosměrného proudu jsou u nás nejrozšířenější stykače typu SE (600 V, 25 až 600 A), vyvířené v n. p. Elektropřístroj Modřany a dnes vyráběné polskými závody (obr. 79).

Obr. 79. Dvoupólový stejnosměrný stykač polské výroby, typ SE 122 P



47. OVLÁDÁNÍ STYKAČŮ

Elektromagnetické stykače se ovládají zapínáním a vypínáním proudu v obvodu zapínací cívky. To je možné různými způsoby:

- a) ručně,
- b) dálkově,
- c) automaticky.

Nejjednodušší je schéma zapojení stykače bez tepelného relé, ovládaného trvalým kontaktem.

Stykač je tak dlouho zapnut, pokud se obvod vypínání cívky nepřeruší, např. tlačítkem.

Místo ručně ovládaného tlačítka může být v zapínacím obvodu zařazen např. tlakový nebo plovákový spínač, kterým se stykač automaticky zapíná a vypíná podle stavu hladiny nebo tlaku v nádrži.

Nejobvykleji se stykač ovládá dvojtlačítkem, které umožňuje dálkové ovládání. To je výhodné zejména proto, že u něj není třeba vést přívodní vedení značného průřezu pro motor až k místu ze kterého se ovládá, takže je možné volit ovládací místo tam, kde je to pro obsluhu nejvýhodnější. Obsluha motoru je pohodlnější, rychlejší a přispívá ke zvýšení produktivity práce.

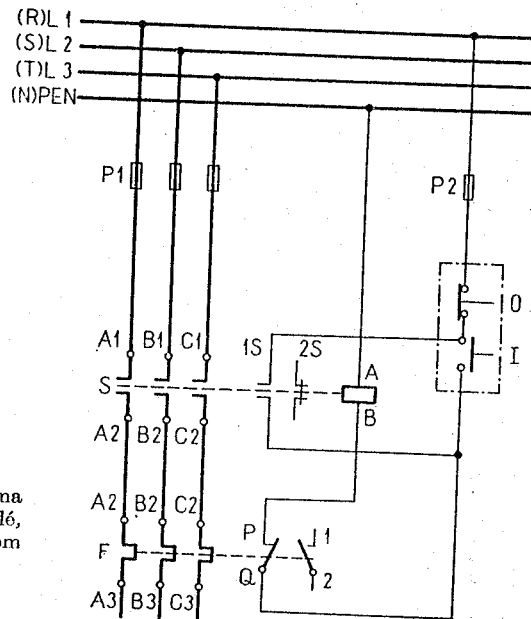
Schéma dvojtlačítkového ovládání stykače s tepelným relé je na obr. 80.

Obvod zapínací cívký AB je připojen na fázové napětí sítě, jsou v něm do série zapojeny dvě ovládací tlačítka (I, O) a rozpínací kontakt tepelného relé PQ.

Stlačením tlačítka I se obvod cívký uzavře a elektromagnet spojí kontakty stykače. Aby stykač zůstal trvale v zapnuté poloze i po uvolnění zapínacího tlačítka, je přimostěn pomocným, tzv. přídržným kontaktem (1S).

Vypíná se stlačením rozpínacího tlačítka O.

Při přetížení vypne stykač samočinně působením tepelného relé, které rozpojí ovládací obvod cívký.



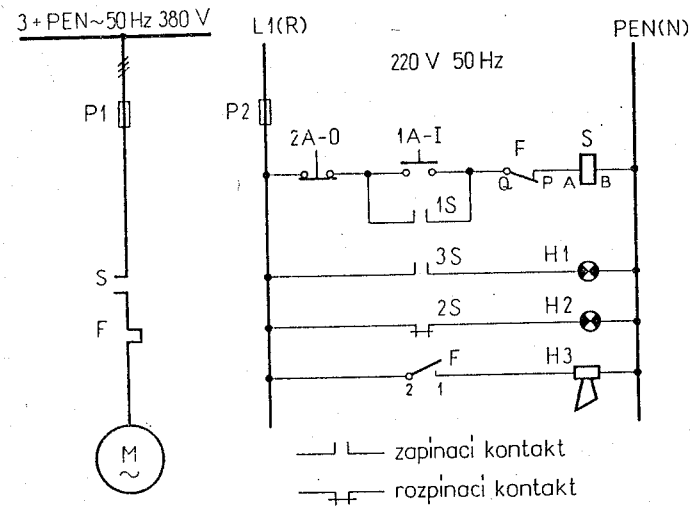
Obr. 80. Naukové schéma stykače s tepelným relé, ovládaného dvojtlačítkem s přídržným kontaktem

Do zapínacího obvodu je možné zapojit několik tlačítek, jimiž můžeme v případě nebezpečí vypnout stykač z několika míst (do-pravní pásy), nebo koncové spínače, které zajišťují např. nastavení krajní polohy jeřábu.

Pomocné kontakty můžeme použít pro blokování nebo k signalizaci stavu dvěma žárovkami. Na obr. 81 je obvodové schéma zapojení stykače ovládaného dvojtlačítkem, se signalizací stavu dvěma žárovkami. Zelená signalizuje vypnutý stav, červená zapnutý.

Ovládací cívký stykačů pro velké proudy se zapínají menším pomocným stykačem.

Stykač je nevhodný tam, kde není odborná obsluha, neboť na něm nelze zvenku poznat, zda je zapnutý nebo vypnutý, což může být příčinou úrazu.



Obr. 81. Obvodové schéma stykače ovládaného dvojtlačítkem, se signalizací stavu dvěma žárovkami

P1 — pojistky motoru, S — stykač, F — tepelné relé, M — motor, 2A — vypínací tlačítko, H1 — červená signální žárovka, H2 — zelená signální žárovka, H3 — signální houkačka, 1S, 3S — zapínací pomocné kontakty stykače, 2S — rozpínací pomocný kontakt

Z několika stykačů je možné sestavovat různé stykačové kombinace:

- reverzační,
- brzdové,
- automatické přepínače Y/D, automatické rotorové spouštěče,
- přepínače počtu pólů apod.

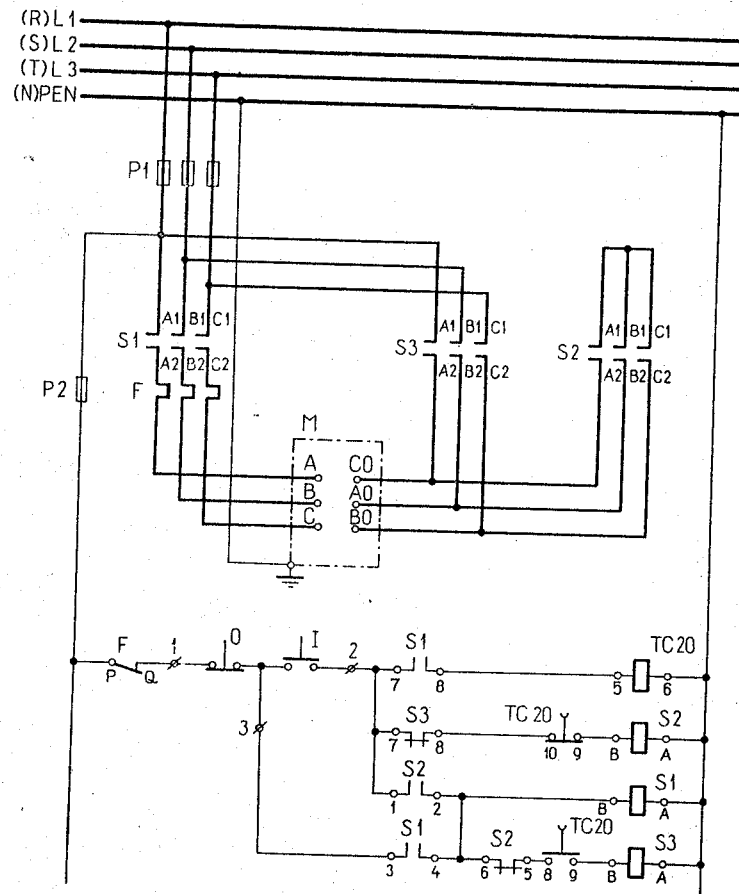
Příklad zapojení stykačového přepínače Y/D je na obr. 82.

Bezpečnostní pravidla pro zapojování stykačů:

- Cívký je třeba volit na fázové napětí.
- Tlačítka zapojit do fázového vodiče a cívký trvale spojit s nulovacím vodičem. Cívký je potom ve vypnutém stavu bez napětí. Při opačném zapojení by se mohla cívký náhodným zemním spojením samovolně zapnout a způsobit nežádoucí zapojení stykače.

3. Vypínací tlačítko není vhodné dávat do obvodu přídržného kontaktu (jak se to často ve schématech kreslí), neboť potom není možné stykač vypnout v případě svaření kontaktů zapínacího tlačítka.

4. Při ovládání na velké vzdálenosti je třeba počítat i s kapacitním proudem, neboť jeho vlivem by mohla zůstat cívka zapnutá i při rozpojeném obvodu.



Obr. 82. Stykačová kombinace přepínače Y/D pro spouštění indukčního motoru s kotvou nakrátko

F — nepřímé tepelné relé, vyhřívané pomocí proudových transformátorů,
TC 20 — časové relé

5. JISTIČE A CHRÁNIČE

5.1. ZÁKLADNÍ POJMY

Jističe [24, 25] jsou samočinné nadproudové vypínače, určené ke spínání a jištění elektrických obvodů, popř. i k jejich ochraně.

Úlohou jištění je zabránit škodám na elektrickém zařízení vlivem nežádoucích provozních poměrů.

Jištění se dá zabezpečit pojistkami nebo spouštěmi.

Pojistky jistí především proti zkratovému proudu, proti přetížení chrání nedokonale. Jsou probrány v kap. 7.

Spoušť je takový prvek samočinného vypínače, který při abnormálních provozních stavech (např. při nadproudu) způsobí jeho samočinné vypnutí mechanickým způsobem — uvolněním volnoběžky (neboť tepelné relé stykače působí elektricky).

Nadproudová spoušť je:

1. Elektromagnetická (zkratová) — chrání před účinky zkratového proudu, vypíná bez časového zpoždění.
2. Zpožďovací (proti přetížení) — chrání před dlouhodobým přetížením, vypíná s jistým zpožděním.

Elektromagnetická zkratová spoušť se skládá z cívky, kterou prochází buď plný proud hlavního obvodu (přímá spoušť), nebo proud odebíraný z pomocného přístrojového transformátoru, kterým prochází hlavní proud (nepřímá spoušť). Při zkratovém proudu (5 až $16 I_n$) vypne v době od $0,1$ až $0,2$ s.

Zpožďovací nadproudová spoušť může být:

- a) tepelná,
- b) kataraktová.

Jiné druhy (např. s hodinovým strojkem) se u jističů nepoužívají.

a) *Tepelná nadproudová spoušť* je provedena stejně jako tepelné relé pro zajištění ve spojení se stykači. Pásek dvojkovu je vyhříván buď přímo hlavním proudem, nebo odporovým vyhřívacím drátem napájeným proudem z pomocného proudového transformátoru. Časové zpoždění zabezpečuje dvojkov svou charakteristikou. Při menším proudu se ohřívá méně a vypnutí způsobí za delší dobu a naopak.

Vlastnosti tepelné spouště závisí na vnější teplotě. Jen speciální kompenzované soustavy dvojkových prvků jsou nezávislé na teplotě.

b) *Kataraktová spoušť* je elektromagnetická s hydraulickým zpožděním. Kotva elektromagnetu působí na píst ve válci olejového tlumiče (obr. 89).

Válce kataraktových spouští se plní silikonovým olejem, takže charakteristika je nezávislá na vnější teplotě.

Jističe mají dva druhy nadproudových spouští:

a) elektromagnetickou zkratovou spoušť spojenou s tepelnou nadproudovou spouští,

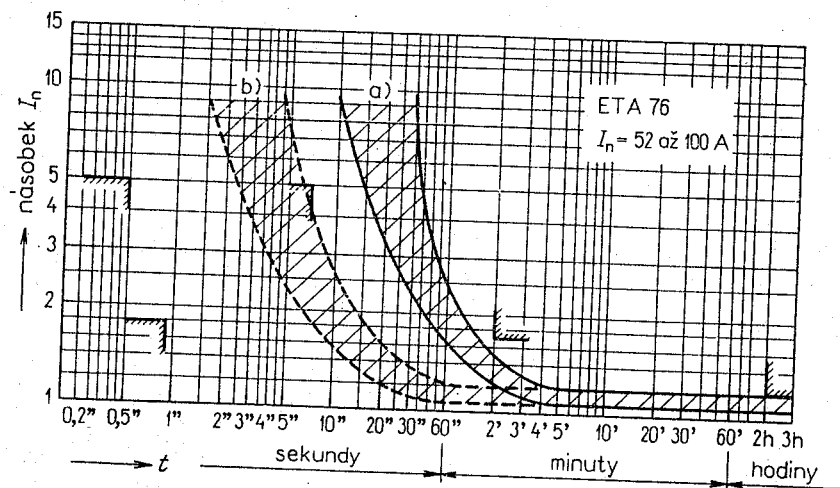
b) kataraktovou, která má zkratovou i nadproudovou zpožděnou spoušť spojenou v jeden celek.

POZNÁMKA. V hovorové řeči se užívá názvu „zkratová spoušť“, tj. nadproudová elektromagnetická spoušť chránící před zkratem a „nadproudová spoušť“, tj. spoušť s časovým zpožděním chránící před přetížením a „kataraktová jistič“, tj. jistič s elektromagnetickou spouští doplněný hydraulickým zpožděním.

Obecně mohou být nadproudové spouště:

a) *závislé* — doba vybavení je nepřímo úměrná proudu; při nadproudu vypínají tím dříve, čím je proud větší,

b) *nezávislá* — doba vybavení nezávisí na velikosti proudu; při každém nadproudu vypínají za stejný, předem nastavený čas;



Obr. 83. Vypínací charakteristika spouště typu ETA 76 pro jmenovitý proud $I_n = 52$ až 100 A, používaná v jističích AMT — a — za studeného stavu, b — při pracovní teplotě. V charakteristice je vyznačen rozptyl a hraniční hodnoty předepsané normou

c) *polozávislé* — do určité velikosti proudu působí závisle, při větších proudech nezávisle.

Závislost doby (po níž dojde k vypnutí) na velikosti zatížení udává *charakteristika spouště*. Na obr. 83 je vypínací charakteristika jističe AMT (spoušť typu ETA 76).

Charakteristika spouště má být přizpůsobena oteplovací křivce chráněného zařízení. Rozlišujeme dva základní typy:

1. *Charakteristika motorová*

- a) pomalá,
- b) rychlá.

2. *Charakteristika vedení*

Podle těchto charakteristik jsou také jističe motorové a jističe vedení.

Základní průběh jednotlivých charakteristik je předepsán v ČSN 35 4171 ČSN 35 4172.

Například u motorových jističů nad 100 A musí nadproudová a zkratová spoušť působit takto:

Při přetížení proudem:

$1,05I_n$ nesmí vypnout do 2 h,

$1,20I_n$ musí vypnout do 2 h,

$1,50I_n$ musí vypnout při lehkém a středním rozběhu do 2 min, při těžkém rozběhu do 4 min,

$7I_n$ musí vypnout:

- a) při lehkém rozběhu v rozmezí 1 až 4 s,
- b) při středním rozběhu v rozmezí 4 až 10 s,
- c) při těžkém rozběhu do 10 s,

(8 až 16) I_n musí vypnout do 0,1 s.

Nadproudové spouště se buď dají v jistém rozsahu svého jmenovitého proudu nastavit, nebo jsou nenastavitelné. Jmenovitý proud nenastavitelných spouští je třeba volit podle jmenovitého proudu chráněného zařízení.

POZNÁMKA. Jističe nahrazují pojistky až do své vlastní zkratuvedornosti. Je-li zkratový proud větší než dovolený vypínací proud jističe, musí se mu pojistky předat.

Kromě nadproudových spouští mohou mít jističe ještě spoušť na podpětí (nulovou cívku). Je to v podstatě elektromagnet s cívkou připojenou k síti; vypíná jistič při poklesu napětí pod 65 až 35 % a nesmí dovést jeho zapnutí, pokud napětí nedosáhne alespoň 75 % jmenovité hodnoty.

5.2. DRUHY JISTIČŮ

Jističe mohou být:

a) Vzduchové — oblouk mezi kontakty vzniká ve vzduchu, k jeho hašení se nejčastěji používá deionová zhášecí komora.

b) Olejové — oblouk se zháší působením oleje; používají se jen zřídka.

Jističe na stejnosměrný proud musí mít vždy vyfukovací cívku.

Podle počtu pólů jsou jističe:

- a) jednopólové,
- b) trojpólové.

Jednopólové jističe se používají k jištění jednofázových vedení a spotřebičů. Jsou buď závitové a je možné je zašroubovat do pojistkového spodka, nebo jsou zhotoveny jako tzv. soklové jističe (pojistkové automaty).

Jističe do 25 A se nazývají drobnými jističi.

Zapínání jističů je:

- a) ruční — nejčastější způsob,
- b) strojní — elektromagnetické, tlakovzdušné nebo pružinové elektromotorové.

V každém případě se jistič ovládá prostřednictvím volnoběžky, na niž působí všechny spouště.

Jističe se nehodí k častému splnění.

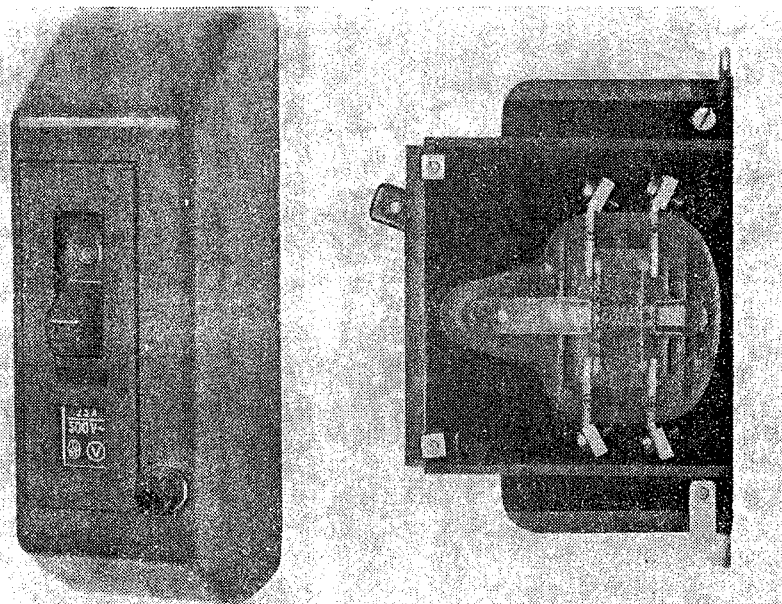
Větší jističe určené k dálkovému ovládní se zapínají elektromagneticky. Dálkové vypínání umožňuje zvláštní vypínací cívka na činný proud, popř. spoušť na podpětí — vypíná se rozpínacím tlačítkem (kontaktem).

Tyto jističe mohou mít místo tepelné nadproudové spouště tepelné relé s pomocným kontaktem. Tak jsou např. konstruovány naše jističe typu VMT.

5.3. JEDNOFÁZOVÉ SOKLOVÉ JISTIČE

Soklové jističe typu IJV — pro jištění vedení (6, 10, 15, 20, 25 A) a typu IJM — pro jištění motorů (0,3 až 25 A) u nás vyrábí SEZ Krompachy n. p. (obr. 84).

Jističe mohou mít pomocný kontakt — 4 A, 250 V, 50 Hz (typ IJVs, IJMs — obr. 84 vpravo).



Obr. 84. Soklový jistič typu IJV-P2 a IJVs-PO s pomocnými kontakty, SEZ Krompachy, n. p.

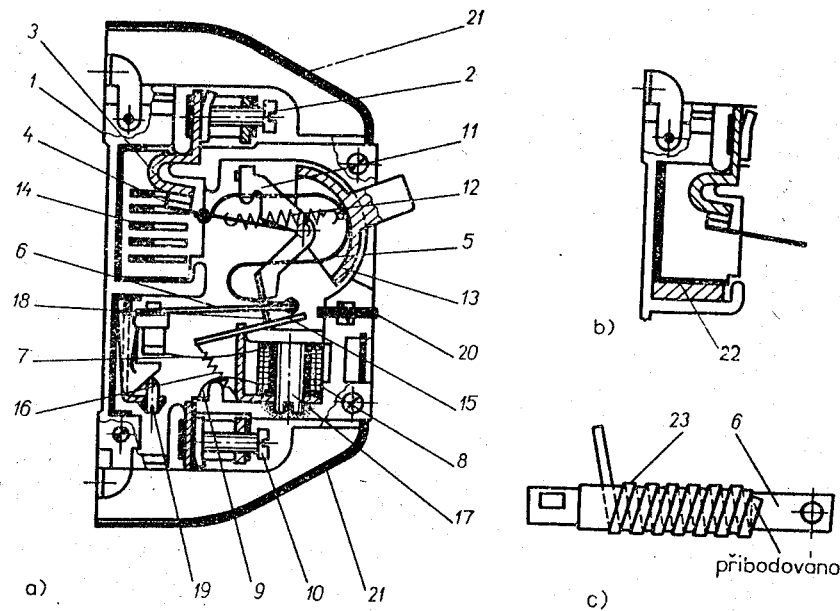
Mají malou šířku, takže je můžeme pohodlně montovat do souvislých řad buď na panel (provedení s krytem, P2), nebo za panel rozváděče (provedení bez krytu PO). Dodávají se v plechových nebo litinových skříňkách, používaných v jednoduchých domovních instalacích.

Řez jednopólovým jističem IJV — M, P 1 je na obr. 85. Obvod proudu tvoří v zapnutém stavu horní přívodní svorka 2, pevný kontakt 3, pohyblivý kontakt 4, převodní pružný pás 5, dvojkovový pásek tepelné spouště 6, cívka zkratové spouště 8 (s přívody 7 a 9) a spodní přívodní svorka 10.

Jističe na střídavý proud mají zhášecí komůrku s ocelovými tříštíci oblouku 14, jističe na stejnosměrný proud používají pro vyfukování oblouku miniaturní permanentní magnet 22 (obr. 85b). Tepelná spoušť má při větších proudech dvojkov vyhřívaný nepřímo odporovým drátem 23 (obr. 85c).

Tepelná a zkratová spoušť působí na mechanismus jednoduché volnoběžky (obr. 86).

Na obr. 86a je jistič ve vypnutém stavu. Zapínací páčka 13 je



Obr. 85. Řez jednofázovým soklovým jističem typu IJV-M, P1 — a) jistič na střídavý proud, b) jistič na stejnosměrný proud, c) úprava nepřímo vyhřívaného dvojkovu 1 — bakelitové těleso, 2 — horní přívodní svorka, 3 — pevný kontakt, 4 — pohyblivý kontakt, 5 — pružný převodní pás, 6 — pásek z dvojkovu, 7 — přívod k cívce zkratové spouště, 8 — oívka zkratové spouště, 9 — odvod z cívky, 10 — spodní přívodní svorka, 11 — nosič pohyblivého kontaktu, 12 — kontaktní pružina, 13 — zapínací páčka s ovládacím kloubem, 14 — zhášecí komůrka, 15 — kotvička zkratové spouště, 16 — pružinka kotvičky, 17 — jádro zkratové spouště, 18 — páčka volnoběžky, 19 — stavěcí šroub tepelné spouště, 20 — návěstní jazýček, 21 — bakelitové příložky, 22 — permanentní vyfukovací magnet jističe na stejnosměrný proud, 23 — vyhřívací drát dvojkového pásku

otočná kolem bodu A (obr. 86b). Nosič pohyblivého kontaktu 11 je otočný kolem bodu B, na druhé straně je upevněn v bodu C tak, že páčka 18, pevně spojená s nosičem 11, se opírá o kotvičku spouště 15 v mělké jamce (obr. 86b). Pohyblivý kontakt 4 (detail na obr. 86b nahore) je opřen o výřez v nosiči a kontaktní pružina 12 ho táhne do vypnuté polohy, v níž se opírá o vymezení náliček základního tělesa.

Vtlačení ovládací páčky nahoru (směrem D) projde kontaktní pružina mrtvou polohou a při dalším pohybu překlopí pohyblivý kontakt do zapnuté polohy (směrem E), vyznačené na obr. 86b.

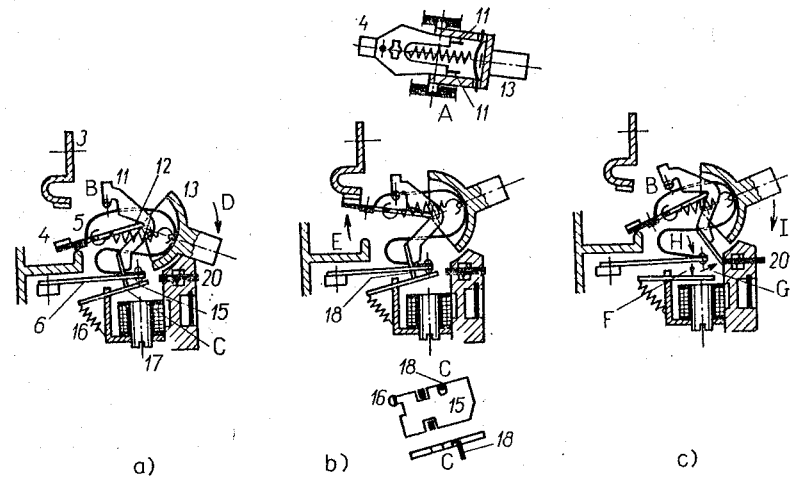
Samočinné vypnutí způsobí kotvička zkratové spouště, přitáhne-li se směrem F. Tím se páčka 18 uvolní z jamky C (směr G) a celý nosič pohyblivého kontaktu se tahem kontaktní pružiny otočí

kolem bodu B a pohyblivý kontakt přeskočí do vypnuté polohy, vyznačené na obr. 86c. Stejný účinek vyvolá dvojkovový pásek 6, vyhne-li se po oteplení směrem H.

Samočinné vypnutí opticky signalizuje návěstní jazýček 20, který proti tlaku pružinky vytlačí z tělesa jističe páčka 18.

Po samočinném vypnutí je možné jistič zapnout až po předběžném stlačení zapínací páčky 13 dolů (směrem I). Tím se páčka volnoběžky 18 opět zaklesne v jamce kotvičky (bod C) a celý mechanismus je připraven k další činnosti (obr. 86a).

POZNÁMKA. Ze tří jednofázových jističů spojených společným vybavovačem vznikne trojfázový jistič (ITV, ITM).



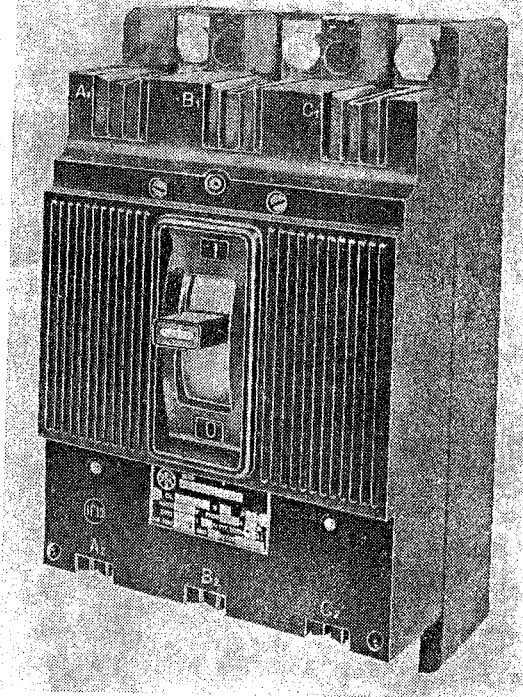
Obr. 86. Princip působení pákové volnoběžky a nadproudových spouští — a) stav VYP, b) stav ZAP, c) jistič vypadl působením spouště

JISTIČE

5.4. TROJFÁZOVÉ VZDUCHOVÉ STYKAČE

Zhášení oblouku u vzduchových trojfázových jističů obstarává deionová zhášecí komora. Skládá se ze série ocelových plechů opatřených vhodně tvarovaným výřezem a upevněných mezi drážky z keramického materiálu. Výřezy jsou v komoře upraveny tak, že při vypínání jimi musí pohyblivý kontakt procházet. Oblouk, který při vypínání vznikne, plechy zmagnetuje a působením takto vybuzeného magnetického pole je vtahován do plechových mezer komory. V ní se ochlazuje, tříští a uhasí.

Obr. 87. Vzduchový troj-
fázový jistič J2MRU50,
OEZ Letohrad, n. p.



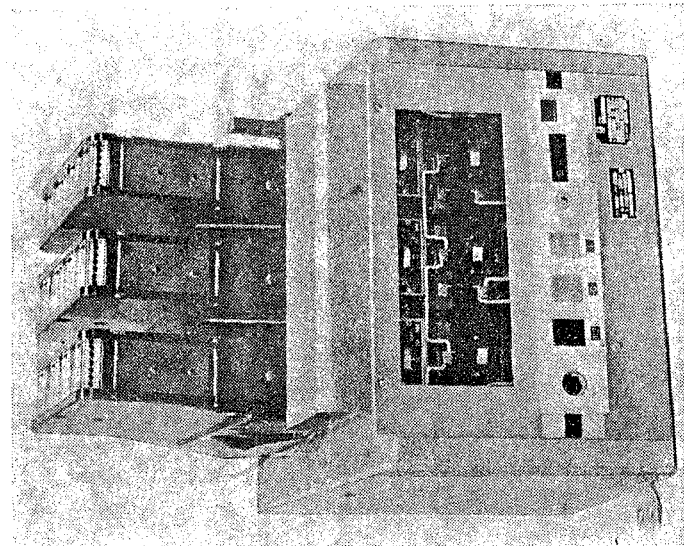
Vtáhnutím oblouku do zhášecí komory se dosáhne dobré izolace proti okolnímu mechanismu (malé rozměry jističe) a vyloučí se opalování kontaktů.

Přehled u nás vyráběných vzduchových jističů:

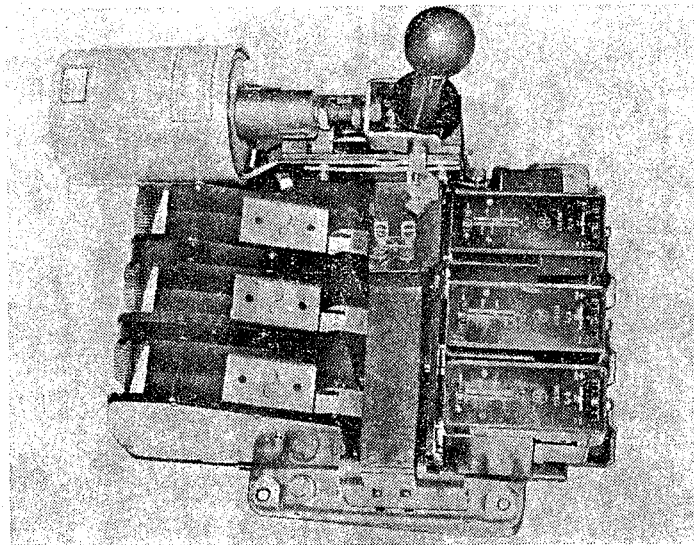
OEZ Letohrad, n. p., jmenovité napětí 500 V
 JIK 50, 25 A, nadproudová spoušť kataraktová
 J2MR 50, 100 A, nadproudová spoušť kataraktová
 J2MRU 50, 200 A, nadproudová spoušť kataraktová (obr. 87)
 J2U 50, 200 A, elektromagnetická a tepelná spoušť
 J2V 50, 400 A, elektromagnetická a tepelná spoušť
 J2X 50, 600 A, elektromagnetická a tepelná spoušť
 AMT, 100, 200, 400, 600 A, střídavý proud (obr. 88a), elektromagnetická a tepelná spoušť

EJF Brno, n. p.

VMT — 600, 1000, 2000, 3000 A; 600 V, 50 Hz, se zkratovou a tepelnou spouští

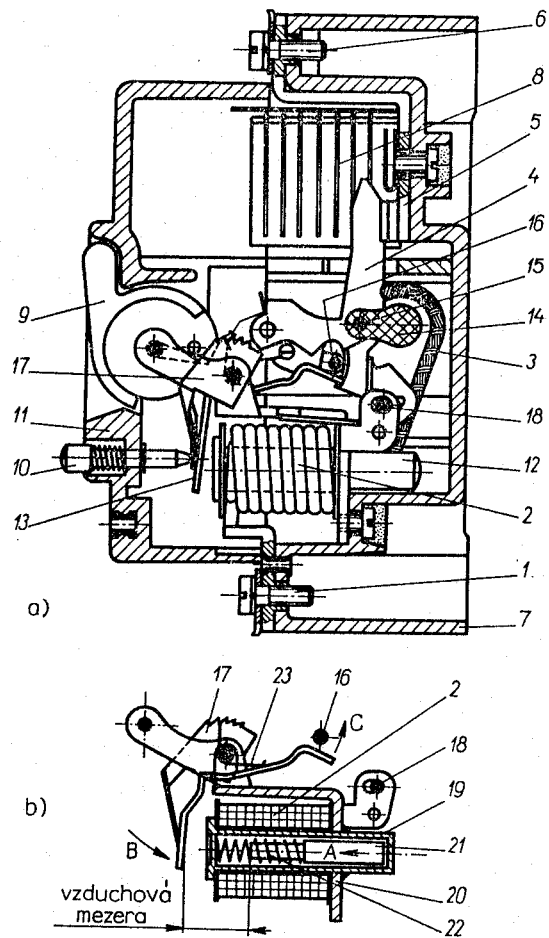


a)



b)

Obr. 88. a) Vzduchový trojfázový jistič AMT 202, 200 A, 500 V, 50 Hz s elektromagnetickým pohonem a nadproudovou spouští ETA, EJF Brno n. p., b) vzduchový trojfázový jistič AR 1031, 1000 A, 660 V, 50 Hz s pružinovým elektromotorickým pohonem, EJF Brno, n. p.



Obr. 89. Řez trojfázovým kataraktovým jističem JIK 50-B

1 — spodní přívodní svorka, 2 — cívka nadproudové spouště, 3 — převodní měděné lanko, 4 — pohyblivý kontakt, 5 — pevný kontakt, 6 — horní přívodní svorka, 7 — základní bakelitové těleso, 8 — žáhecí komůrka s měděnými tříštiči, 9 — zapínací páčka, 10 — vypínací tlačítko, 11 — horní bakelitový kryt, 12 — kataraktová spoušť, 13 — kotvička spouště, 14 — izolační ovládací příčka, 15 — čep příčky, 16 — kulisa volnoběžky s vyrážecí tyčí, 17 — nastavovací rohátka s nárazníkem, 18 — otočný čep pohyblivého kontaktu, 19 — mosazný válec kataraktové spouště se silikonovým olejem, 20 — železný nosný pás, uzavírající magnetický obvod, 21 — ocelové pohyblivé jádro elektromagnetu, 22 — vratná pružinka, 23 — direktivní pružina kotvičky

AR — 1000, 1600, 2500, 4000 A; 660 V, 50 Hz; (obr. 88b), se zkratovou spouští a tepelným relé.

Na obr. 89 je řez naším moderním kataraktovým jističem typu JIK 50-B.

V zapnutém stavu tvoří obvod proudu spodní přívodní svorka 1, cívka nadproudové spouště 2, převodní měděné lanko 3, pohyblivý mosazný kontakt 4 s navařenou stříbrnou kontaktní destičkou, pevný kontakt 5 a jeho přívodní svorka 6.

Celý systém je uložen na bakelitovém základu 7. Keramická žáhecí komůrka 8 je opatřena několika měděnými tříštiči. Jistič se zapíná páčkou 9 a vypíná tlačítkem 10, které vytlačí kotvičku do přitažené polohy, a tím uvolní volnoběžku.

Každý pohyblivý kontakt je samostatně otočný kolem čepů 18, současný pohyb všech tří kontaktů zajišťuje spojovací izolační příčka 14, kterou prochází fibrový čep 15.

Volnoběžku uvolňuje průběžná vyrážecí tyč 16. Celý mechanismus volnoběžky není na obrázku vyznačen.

Detail kataraktové spouště je na obr. 89b.

Je to v podstatě elektromagnetická spoušť, jejíž cívkou 2 prochází vypínací proud. Magnetický obvod tvoří nosný železný pás 20, pohyblivá kotvička 13 a ocelové jádro 21. Mezi tímto jádrem a kotvičkou je poměrně velká vzduchová mezera. Při zkratu vznikne tak silné magnetické pole, že mžikově stačí kotvičku i přes tuto velkou mezeru přitáhnout (směr B). Její prodloužená páčka narazí přitom na vyrážecí tyč mechanismu 16 (směr C), a ta uskuteční vypnutí volnoběžky.

Vypínání při přetížení nadproudem je zpožděno hydraulicky:

Ocelové jádro 21 je upraveno jako těsný píst v mosazném uzavřeném válci 19. Válec je naplněn speciálním silikonovým nemrznoucím olejem. Při nadproudu je jádro vtahováno do cívky (směr A), ale jeho pohyb je účinně brzděn olejem, který se musí protlačit na druhou stranu jádra netěsností mezi vnitřní stěnou válce a jádra.

Trvá-li nadproud dostatečně dlouho, dosáhne jádro horní krajní polohy, zmenší vzduchovou mezeru magnetického obvodu, přitažlivá síla cívky stačí kotvičku spouště přitáhnout. Čím je okamžitý nadproud větší, tím dříve dojde k přitažení kotvičky a k vypnutí jističe.

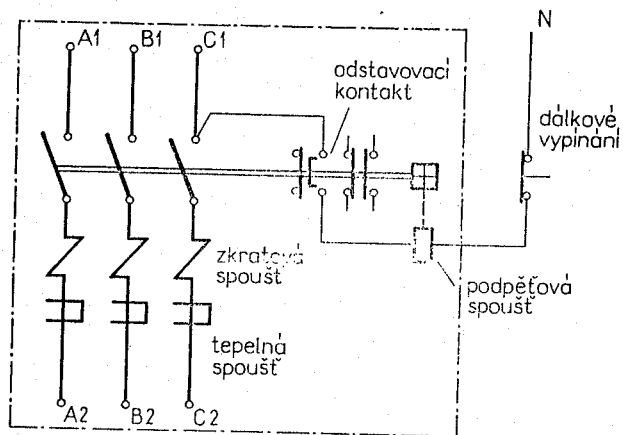
Po zániku nadproudu vratná pružina 22 vrátí jádro do základní polohy.

Vyrážecí tyč 16 je průběžná, takže k vypnutí celého jističe dojde, i když zapůsobí spoušť jen jednoho pólu.

Správný průběh charakteristiky se nastavuje přihnutím plechového nárazníku nad kotvičku a správným nastavením síly vratné pružiny 23 pomocí nastavovací rohátky 17.

Schéma zapojení trojfázového jističe je na obr. 90.

Má-li jistič spoušt na podpětí, není trvale zapojena na napětí, ale před každým zapojením se na napětí připojí prostřednictvím prodlouženého odstavovacího kontaktu, který při pohybu ovládacího mechanismu do zapnuté polohy zapíná s předstihem.



Obr. 90. Schéma zapojení trojfázového jističe s tepelnou nadproudovou spouští, elektromagnetickou zkratovou spouští, volnoběžkou a spouští na podpětí. Podpětíová spoušť připojuje na napětí v předstihu odstavovací kontakt

5.5. MODERNÍ ZPŮSOBY TEPELNÉHO JIŠTĚNÍ

Nadproudové jištění tepelnými spouštěmi (tepelnými relé) stačilo u starších konstrukcí motorů, které byly vždy předimenzovány. Případné selhání ochrany snesla jejich rezervní tepelná kapacita.

Moderní motory jsou dimenzovány úsporně, podle přesně vymezených tepelných podmínek. Selhání ochrany nebo její nepřesné přizpůsobení vede k nenapravitelnému znehodnocení izolace.

Spolehlivou ochranu, která přesně sleduje tepelné poměry v chráněném motoru, zabezpečuje tepelný snímač. Bývá to dvojkov miniaturních rozměrů, tzv. Spenzerova membrána. Vkládá se do exponovaných míst uvnitř motoru a překročí-li teplota dovolenou hodnotu, způsobí prostřednictvím vhodně zapojených pomocných relé vybavení spínače.

Nověji se může ochrana důležitých motorů uskutečnit termistory, které se mohou ve tvaru malé perličky vkládat přímo do

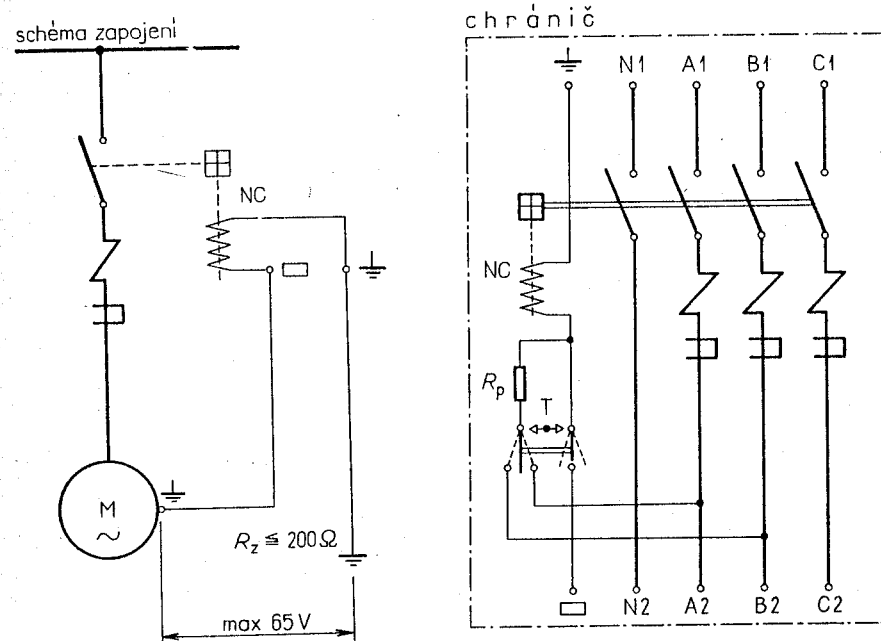
drážek vinutí. Změna jejich odporu v závislosti na teplotě přenáší se na vypínače prostřednictvím pomocného zařízení, zabudovaného např. pod krytem svorkovnice.

Takový snímač sleduje přesně teplotu vinutí a vypínací impuls dává bez podstatného zpoždění. Umožňuje maximálně ekonomické využití dané izolace.

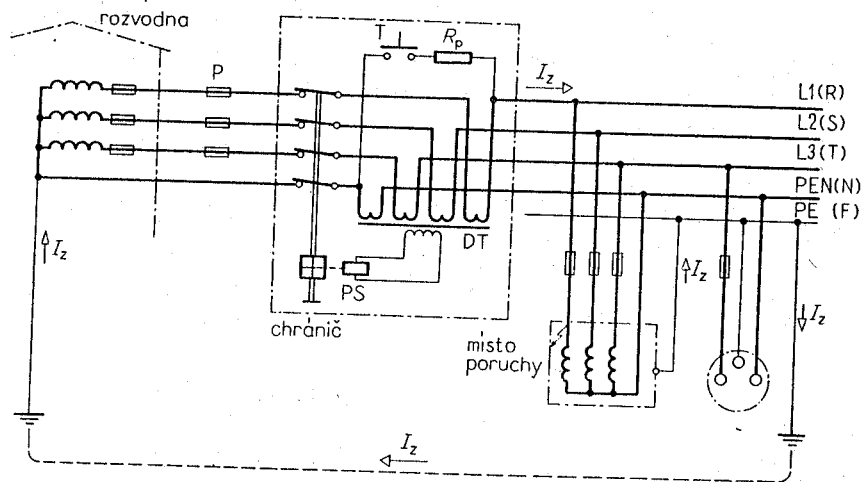
Termistorovou ochranu moderní koncepce u nás vyrábí OEZ Letohrad, n. p. Tvoří jí šest pozitivních termistorů zapojených do série a připojených na speciálně upravené relé typu R 064.

5.6. CHRÁNIČE

Chrániče [26; 27] jsou ochranné vypínače určené pro ochranu živých bytostí před nebezpečným dotykovým napětím. Jejich použití, dosud dost zanedbávané, se stává čím dál tím více aktuálnější.



Obr. 91. Schéma ochranného jističe s napětíovou spouští
NC — napětíová spoušť, R_p — předradný odpor, T — dvoustranné tlačítko pro zkoušení správné činnosti napětíové spouští



Obr. 92. Schéma ochranného jističe s proudovou spouští
 PS — proudová spoušť, DT — diferenciální transformátor, T — zkoušecí tlačítko, F — ochranný vodič, I_z — poruchový proud, P — pojistky

Ochrana před nebezpečným dotykovým napětím obstarává ochranná spoušť. Ta se zpravidla spojuje s nadproudovou a zkratovou spouští jističů a tak vzniká ochranný jistič.

Jsou dva typy ochranných spouští:

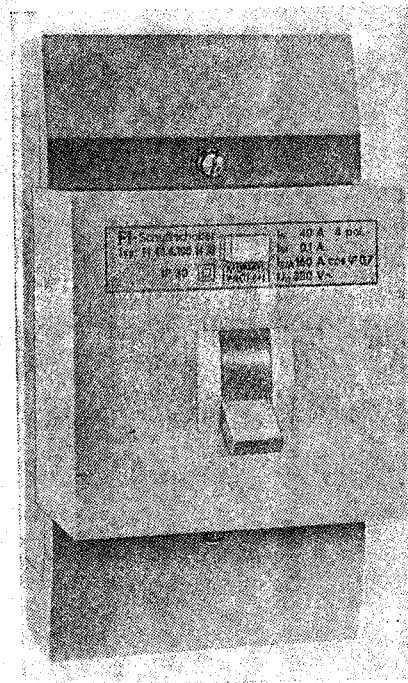
- napěťová (napěťový chránič),
- proudová (proudový chránič).

a) *Napěťová ochranná spoušť* systému Heinisch-Riedel je tvořena v podstatě cívkou, která je zapojena trvale mezi chráněnou neživou část (kostru) a kontrolní uzemnění, působící na vypínací zařízení jističe.

Ochranná spoušť je velmi citlivá. Napětí, při kterém dává impuls k vypnutí, závisí na velikosti zemního odporu kontrolního uzemnění. Při maximálním odporu kontrolního uzemnění 800Ω působí při napětí 65 V , které představuje v praxi hranici dovoleného dotykového napětí. Odpor 800Ω je možné dosáhnout i tím nejjednodušším uzemněním. Při zemním odporu 200Ω působí ochranná spoušť už při napětí 24 V .

Každý chránič musí být vybaven zařízením, kterým je třeba pravidelně kontrolovat správnou činnost ochranné spouště. Bývá to tlačítko, jímž se cívka spouště odpojí od chráněné kostry a připojí

Obr. 93. Trojfázový proudový chránič pro $I_n = 40 \text{ A}$ s citlivostí 100 mA , NDR



přes předřadný odpor na jednu fázi vedení. Je-li spoušť v pořádku, jistič přitom vypne. Vypínat se musí všechny vodiče jdoucí ke spotřebiči (obr. 91).

U nás se vyrábí čtyřpólový ochranný jistič s napěťovou ochranou typu JIK 82 (OEZ Letohrad n. p.).

b) *Proudová ochranná spoušť* působí tak, že vypne ochranný vypínač, když z některé fáze jde do země určitý proud (např. tělem člověka při dotyku živé části nebo neživé části, jestliže se na ni dostane napětí). Vypínač přitom vypne tak rychle, že nemůže dojít k úrazu. Vychází se přitom ze skutečnosti, že lidské tělo snese bez nebezpečí elektrický náboj 100 mC .

Normy předepisují, aby vypínač vypnul za dobu maximálně 100 ms , skutečně dosažené doby moderních chráničů jsou jen 10 až 20 ms .

Ochrana proudovým chráničem se užívá tam, kde kostry elektrických předmětů jsou uzemněny.

Podstatou proudové ochranné spouště je diferenciální proudový transformátor D'I (obr. 92). Pokud je trojfázová soustava zatížena souměrně, je součet okamžitých hodnot proudů v každém okamžiku

nulový a transformátor není buzen. Jde-li z některé fáze proud do země, transformátor se nabudí a v jeho sekundární cívce se indukuje napětí, které přes příslušné vypínací články dá impuls k vypnutí.

U nás se proudové chrániče nevyrobějí, dovažíme je z NDR. Vyrábějí se s citlivostí 30, 300 a 500 mA.

Příklad vyráběného jednofázového proudového chrániče je na obr. 93.

6. RELÉ

6.1. DEFINICE A ROZDĚLENÍ

Elektrické relé [28; 29; 30; 31; 32] je přístroj, který reaguje na popud vzniklý změnou podmínek elektrického obvodu, a je v něm zařazeno tak, že svými kontakty způsobí činnost jiných spínacích a řídicích přístrojů, popř. vzniklou změnu signalizuje.

Relé představuje neodmyslitelný prvek pro samočinné a dálkové řízení elektrických zařízení a při zabezpečování jejich spolehlivého provozu.

Existuje velké množství různých druhů relé. Nejobvyklejší jsou:

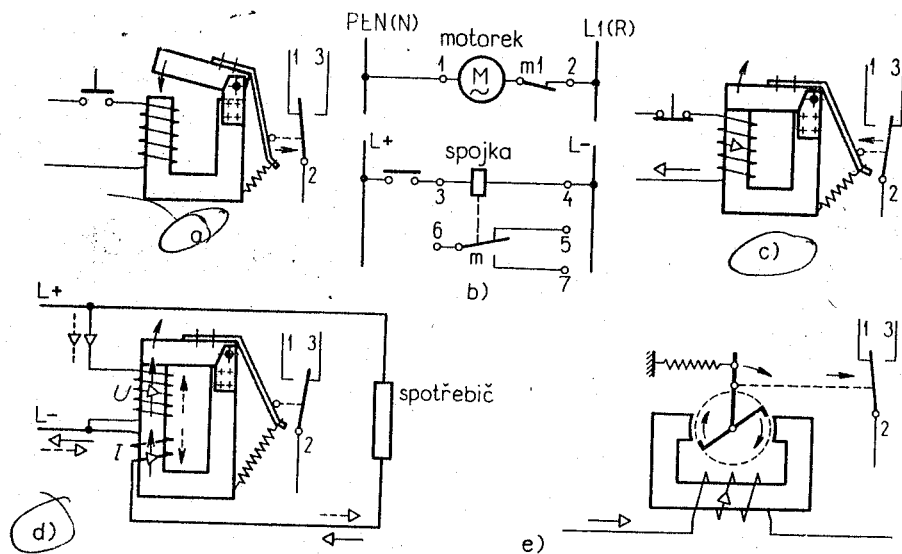
1. pomocné relé — pro ovládání a signalizaci stavu, pro zvětšení počtu kontaktů jiných spínacích prvků apod.,
2. časové — působí s nastavitelným časovým zpožděním,
3. návěstní — pro optickou signalizaci stavu zařízení,
4. napěťové — působí, když napětí dosáhne určité velikosti,
5. podpěťové — působí, když napětí poklesne na určitou velikost,
6. nadproudové — působí, když proud dosáhne určité velikosti,
7. podproudové — působí při poklesu proudu na určitou velikost,
8. výkonové — působí v závislosti na výkonu,
9. zpětné — působí při změně smyslu proudu,
10. popudové — konstruované tak, že polohu získanou jedním impulsem zachovají i po jeho zániku, až do obdržení dalšího impulsu,
11. ochranné — pro ochranu zařízení před účinky nadproudu.

Schematické uspořádání některých druhů je na obr. 94.

Relé jsou buď na střídavý, nebo na stejnosměrný proud. Mají, podle druhu, určitý počet zapínacích (ZAP), vypínacích (VYP) a přepínacích (PŘEP) kontaktů.

Uspořádání kontaktů, očíslování jejich svorek a očíslování svorek cívek je uvedeno v příslušných katalozích výrobce, kde jsou uvedeny i příslušné zapínací proudy kontaktů, zvláště pro střídavý a stejnosměrný proud.

Většina našich relé, které jsou na velmi dobré úrovni, vyrábí n. p. ZPA Trutnov.



Obr. 94. Příklady působení relé — a) pomocné relé, b) příklad jednoho zapojení časového relé typu TM 10, c) podpětové relé, d) zpětné relé, e) nadproudové ochranné relé

6.2. PŘÍKLADY PROVEDENÝCH RELÉ

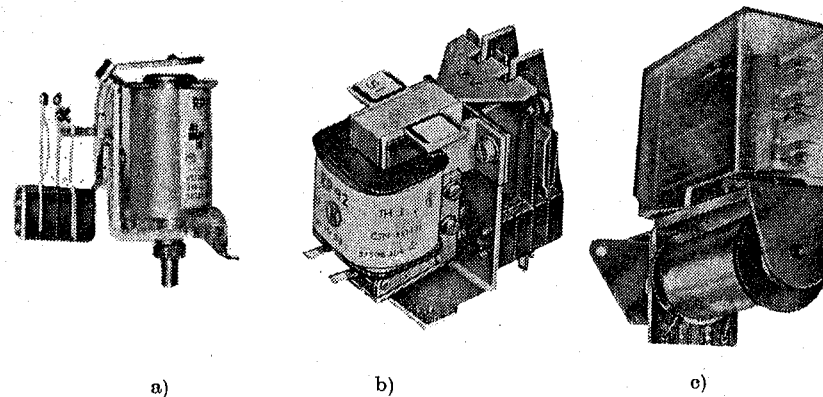
1. Pomocná relé jsou nejčastěji používaným druhem. Skládají se z elektromagnetu na stejnosměrný nebo střídavý proud, jehož pohyblivá kotva ovládá kontaktní systém. Podle funkce, kterou mají plnit, působí buď při přitahu kotvy, nebo při jejím odpadnutí.

U nás se používají nejčastěji pomocná relé typu RP-102 (s cívkou na stejnosměrné napětí 24 až 220 V) a typu RP 92 s cívkou na střídavé napětí 6 až 380 V). Mají tři nebo čtyři přepínací kontakty z pozlaceného stříbra (obr. 95a, 95b).

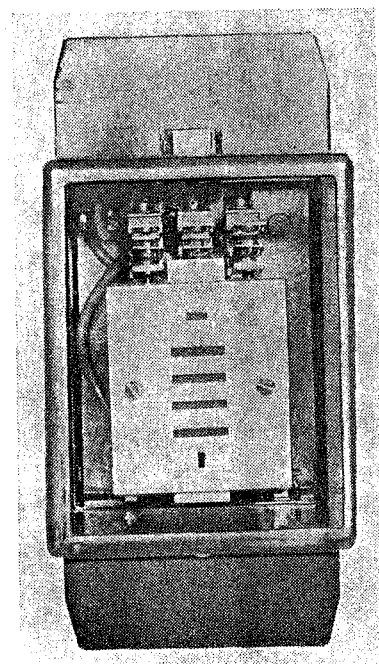
Jen na stejnosměrný proud je speciální mnohokontaktové pomocné relé RP 47 (obr. 95c).

2. Návěstní relé slouží k optickému hlášení stavu kontrovaného obvodu. Jeho kontakty mohou zároveň ovládat další optické nebo akustické signály. Jsou na činný nebo stálý proud.

Starší konstrukce návěstních relé typu RN 3 (tzv. padáčkové relé) se nahrazují novým typem RN 911, 912 (pro střídavý proud) a RN 111, 112 (pro stejnosměrný proud), které jsou konstrukčně odvozeny z pomocných relé RP 102 a RP 92 (obr. 96).



Obr. 95. Druhy pomocných relé — a) RP 102, b) RP 92, c) RP 47



Obr. 96. Návěstní relé RN 111

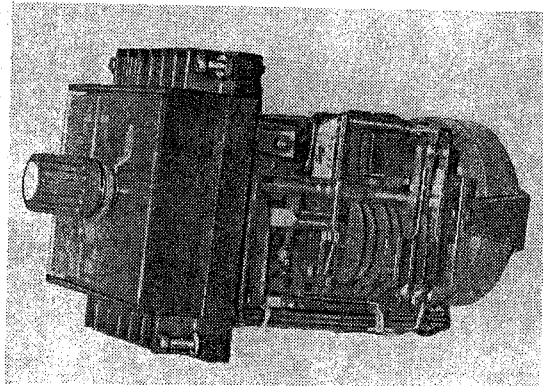
3. Časová relé jsou konstruována tak, že přepnutí kontaktů nastane až za určitý čas po přijetí příslušného impulsu. Jsou buď se zpožděným přitahem, nebo se zpožděným odpadem kotvy.

Zpoždění zajišťuje hodinový strojek, miniaturní indukční motorek (obr. 97a), nebo i elektronické zapojení s tranzistory (obr. 97b).

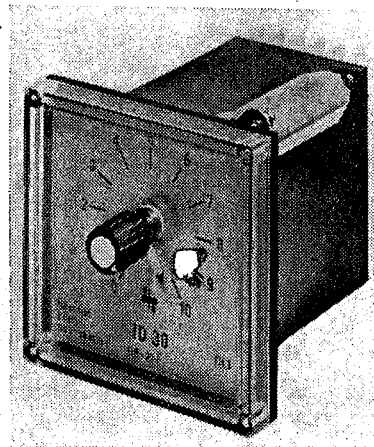
4. Nadproudová relé se používají jako sekundární (nepřímá) relé, buzená proudem z měřicích transformátorů, které jsou zapojeny v hlavním (primárním) obvodu elektrického zařízení vn a vvn. Slouží k jeho nadproudové ochraně.

Základním prvkem nadproudového relé je nadproudový článek. V našich nadproudových ochránách je to velmi spolehlivý mžikový článek typu A 11 s otočnou kotvičkou (obr. 98a).

Vlastní nadproudové relé může být mžikové (pro zkratovou

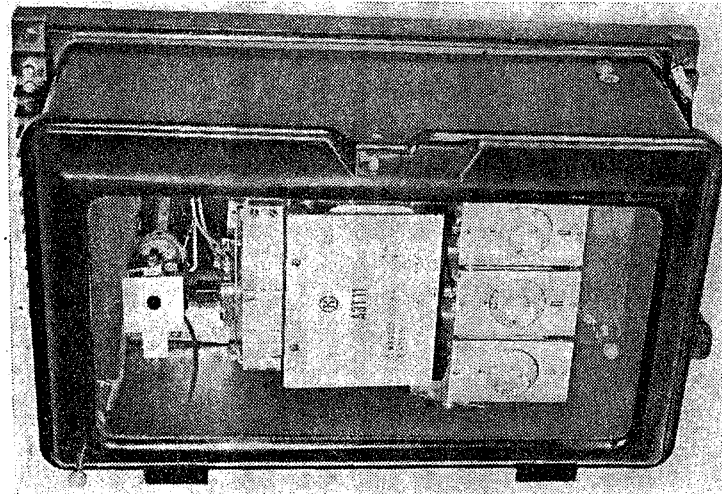


a)

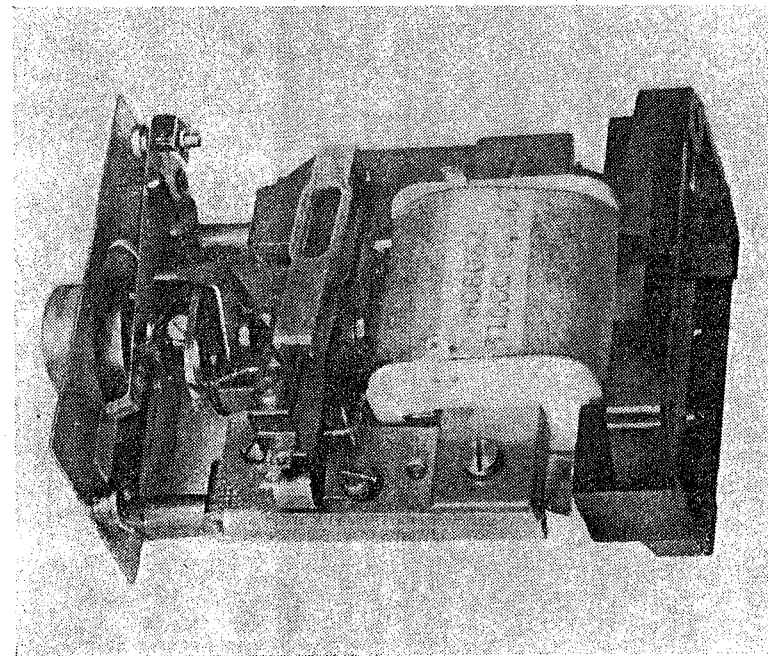


b)

Obr. 97. a) Časové relé TM12 s indukčním motorkem, b) tranzistorové časové relé TD 30



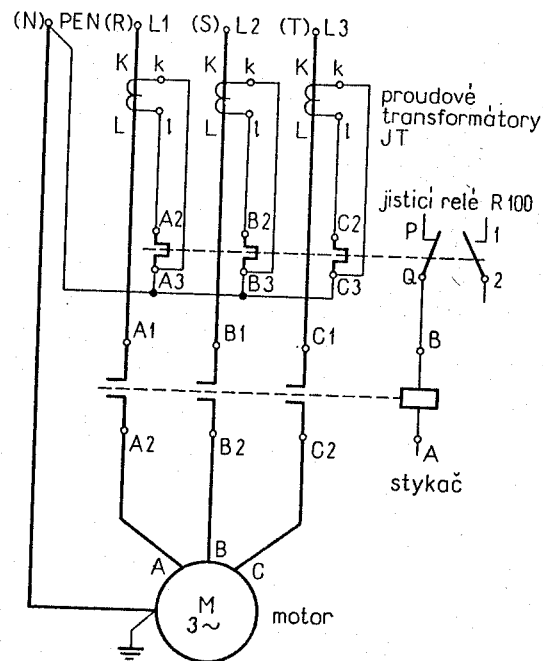
b)



a)

Obr. 98. a) Nadproudový článek A 11 — mžikový, b) nadproudová trojfázová časová ochrana typu A3T 11 pro $I_n = 5 \text{ A}$, čas 0 až 3 s

Obr. 99. Schéma zapojení stykače s tepelnými nadproudovými relé typu R 100 - 1 A napájenými z proudových transformátorků typu JT



ochranu) nebo časové (pro ochranu dovolující určité přípustné přetížení).

5. Mžikové ochranné nadproudové relé se skládá z jednoho, dvou nebo tří nadproudových článků (A 11, A 12, A 13) ve společném krytu. Jmenovitá hodnota proudu je nejčastěji 5 A nebo někdy 1 A.

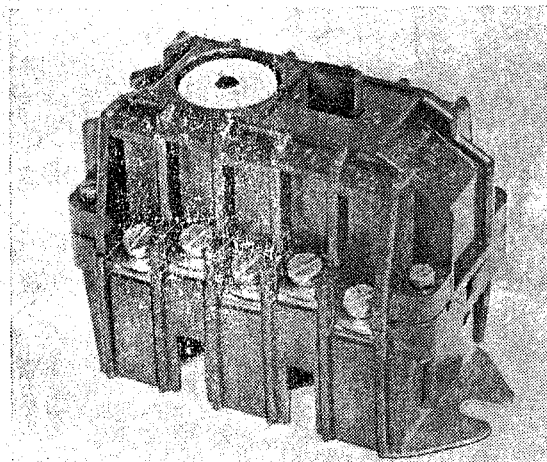
6. Časové nadproudové relé je kromě dvou nebo tří nadproudových článků vybaveno časovým strojkem, kterým se dá časově zpoždění v určitém rozpětí podle potřeby řídit (obr. 98b).

Nadproudový článek se dá nařídit obvykle v rozsahu (0,8 až 2,0) I_n .

6.3. TEPELNÉ JISTICÍ RELÉ

Tepelná jisticí relé se používají ve spojení se stykači k jistění zařízení proti přetížení (odst. 4.3.3). Ke své činnosti využívají dvojkov, který se působením tepla ohýbá, a tak může působit na pomocné kontakty.

Obr. 100. Jisticí tepelné relé typu R 100, Elektro-přístroj Modřany, n. p.



relé. Ty jsou zapojeny v ovládacím obvodu stykače a při přetížení způsobí jeho vypnutí. Čas, během kterého dojde k vypnutí, je nepřímo úměrný přetížení (závislá charakteristika).

U nás se vyrábějí tepelná relé (Elektropřístroj Modřany, n. p.) typu:

- R 100 pro jmenovité proudy 0,1 až 15 A,
- R 101 pro jmenovité proudy 23, 34, 50, 70 A.

Všechna jsou nastavitelná v rozsahu (0,8 až 1,2) I_n .

Pro větší proudy se používá relé R 100, 1 A, napájená nepřímo ze tří proudových transformátorků typu JT s převodem 100/1, 150/1, 230/1, 340/1, 500/1 A.

Primární vinutí těchto transformátorků se vytvoří až při montáži tím, že ze zapojovacího (instalačního) vodiče se provede předepsaný počet závitů, procházejících jejich průvlečným otvorem.

Schéma zapojení je na obr. 99.

Relé R 100 (obr. 100) je kompenzované, jeho působení nezávisí na teplotě okolí.

Při zapůsobení relé se znovu zapíná ručně tlačítkem, jehož poloha současně signalizuje stav (ZAP—VYP). Pro dálkovou signalizaci slouží signalizační kontakt (1—2), pracovní kontakt má svorky označeny P—Q.

7.1. PŮSOBENÍ POJISTKY

Pojistky [33; 34] jsou rozvodné přístroje, určené k jištění elektrických obvodů před účinky nadproudu.

Základním prvkem každého typu pojistky je *tavný vodič*. Ten musí mít takové fyzikální vlastnosti, že při určitém proudu se za určitý čas přetaví. Vzniklý oblouk se musí působením vhodného hasiva uhasit.

Nejčastějším hasivem je dnes mletý *křemičitý písek*. Staré pojistky s kapalinovým nebo plynatvorným hasivem se už nepoužívají.

Jestliže je tavný proud malý, ohřívá se vodič pomalu a roztaví se v některém náhodném místě. Při velkém proudu s velkou strmostí se vodič přetaví najednou v celé délce. Odpor vodivé cesty, tvořený odpařeným kovem, rychle vzroste, a tím klesne velikost zkratového proudu. Působením elektrodynamických sil se z roztaveného kovu vytvoří perličky, které vzniklý oblouk tříští. Kovové páry, které vznikají v malém prostoru, mají velký tlak, expandují do okolního písku. Ten je účinně ochlazuje, jednak tím, že má dobrou tepelnou vodivost, a jednak tím, že se vzniklým teplem roztavuje.

Časový průběh proudu a napětí během působení pojistky je na obr. 101. Je vidět, že pojistka má při správné funkci omezující charakter. Přeruší obvod dřív, než zkratový proud dosáhne maximální hodnoty.

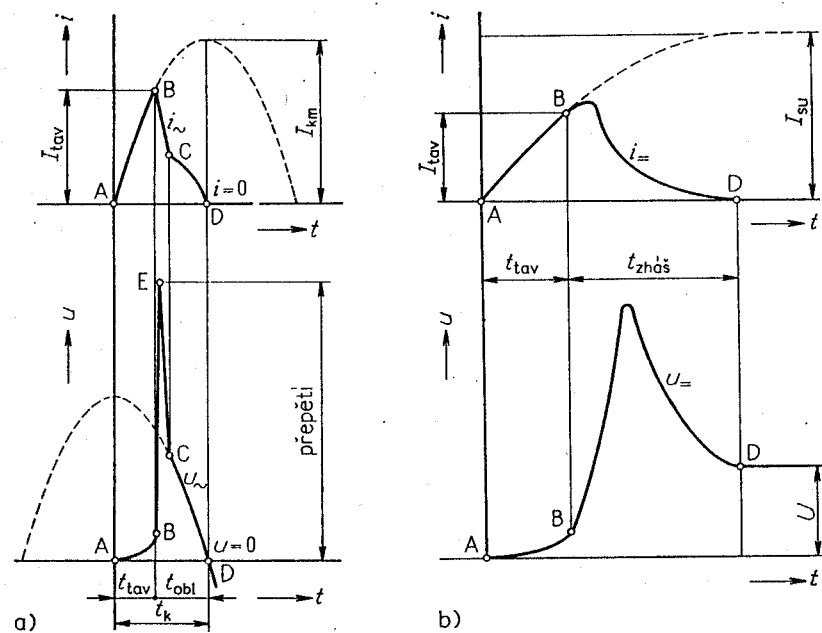
Na obr. 101a je průběh napětí a proudu během působení pojistky ve střídavém proudu. Zkrat nastal v okamžiku A, od něhož vzrůstá proud podle sinusovky až po hodnotu I_{tav} — bod B, kdy dojde k přerušení tavného vodiče. Jeho přerušení má za následek vzrůst odporu proudového obvodu, a tím prudký pokles proudu až do bodu C. Proud je nulový v okamžiku D, kdy je i napětí nulové, neboť během hoření oblouku je proud s napětím ve fázi. Napětí na pojistce, které je při provozním proudu na pojistce téměř nulové, začne během tavení mírně vzrůstat, podle toho jak s narůstající teplotou vodiče se zvětšuje jeho odpor. Prudkým zvětšením odporu vodivé dráhy v bodě B vzroste i napětí, a to i nad hodnotu napětí sítě — bod E. Vzniklé přepětí závisí na elektrických poměrech v síti (indukčnost a kapacita) a na rychlosti poklesu proudu.

Bez zapůsobení pojistky by dosáhl zkratový proud maximálně možnou hodnotu I_{km} .

Na obr. 101b je naznačeno působení pojistky v obvodu se stejnosměrným proudem. Od okamžiku zkratu — bod A — vzrůstá proud podle exponenciály; tento průběh je dán indukčností obvodu. Bez zapůsobení pojistky by dosáhl ustálené hodnoty I_{su} , která je dána napětím sítě a činným odporem obvodu. Přetavením tavného vodiče v bodě B se začne proud prudce zmenšovat a po určitém čase dosáhne nuly — bod D. Přerušení proudového obvodu vyvolá opět přepětí, stejně jako ve střídavém obvodu. Po uhašení oblouku zůstane na pojistce napětí rovnající se napětí sítě.

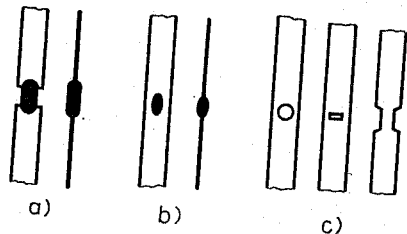
Velmi energického uhašení oblouku v pojistce se dá dosáhnout tak, že tavná vložka je vytvořena několika tenčími vodiči. Při nadproudu se jeden z nich náhodně přetaví jako první a proud v ostatních se zvětší. Postupným přetavováním paralelních vodičů se dosáhne toho, že k přerušení proudu dojde v posledním vodiči při několikanásobné proudové hustotě, takže tento vodič doslova exploduje.

Tavný vodič pojistek je ze stříbra nebo z postrýbřené mědi. Má



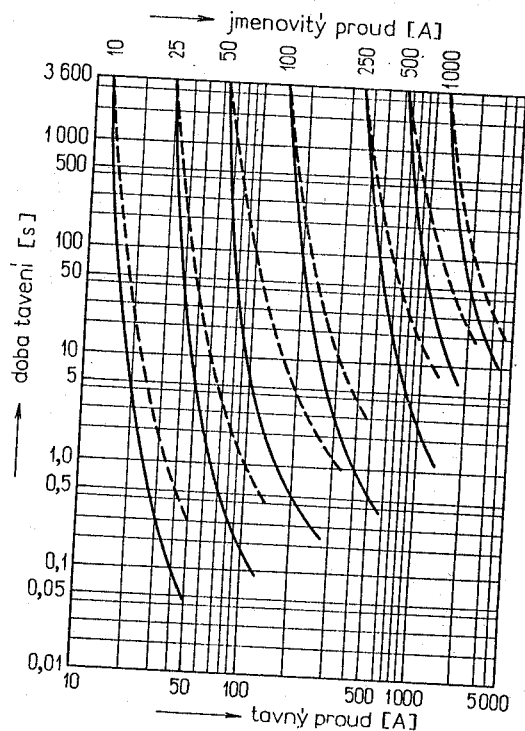
Obr. 101. Průběh napětí a proudu během působení pojistky — a) při střídavém proudu, b) při stejnosměrném proudu

Obr. 102. Úprava pojistkového vodiče
 a) přerušení kapkou pájky, b) nanesená kapka pájky, c) zúžení průřezu



tvar drátu nebo pásku. Sříbro i měď mají vysoký bod tavení, proto se tavný vodič upravuje:

1. Přerušením a spojením nízkotavitelnou pájkou, např. cínovou (obr. 102a).
2. Nanesením pájky v jednom místě nepřerušeného vodiče (obr. 102b) při zahřátí se měď nebo stříbro rozpouští v cínové pájce a vznikne tak slitina s větším odporem, která se proudem více zahřívá a dříve přetaví.



Obr. 103. Charakteristiky pojistek nn
 — rychlá pojistka
 - - - - - pomalá pojistka

3. Zmenšením průřezu vodiče uprostřed jeho délky (obr. 102c). Charakteristika pojistky udává její vypínací dobu v závislosti na proudu. Pojistky nn mají charakteristiky *pomalé* nebo *rychlé* (obr. 103). Pomalé pojistky jsou vhodné pro jištění motorů.

V ČSN 34 1010 je pro různé druhy pojistek a pro různé případy jejich použití předepsán tzv. *vypínací proud*. Je to proud, při němž pojistka zabezpečí vypnutí chráněného obvodu v dostatečně krátkém čase. Například ve veřejných rozvodných sítích se za vypínací proud považuje $2,5I_n$, v prostorách velmi nebezpečných při pomalých pojistkách nad 24 A až $8I_n$.

7.2. POJISTKY NN

Pro jištění v obvodech nn se používají pojistky:

- a) závitové,
- b) výkonové.

Závitové pojistky jsou dostatečně známé z praxe i literatury, a proto zde nejsou popsány.

Výkonové pojistky jsou určeny pro vypínání velkých jmenovitých proudů, mají velkou vypínací schopnost a mají tzv. nožové kontakty (tzn. nožové pojistky). Naše starší výkonové pojistky typu F (30 až 600 A) vypínají zkratový proud do 35 kA, novější pojistky typu PC (25 až 350 A), typu PR (32 až 630 A) a typu PH (10 až 630 A), obr. 104, mají vypínací proud až 100 kA.

Pro speciální účely, jako např. pro ochranu polovodičových diod, se používá velmi rychlých výkonových pojistek. Pro potřeby signalizace stavu mohou být vybaveny pomocným signálním kontaktem (např. typ PK 400 — 40 až 400 A).

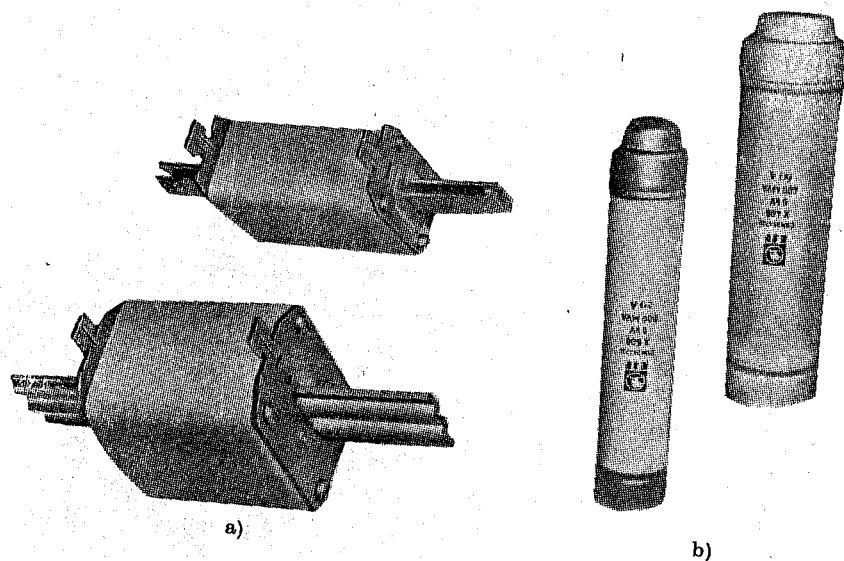
7.3. POJISTKY VN

Jsou téměř výhradně pískové (obr. 105). Několik paralelních tavných vodičů je navinuto na keramickém nosiči hvězdicovitého průřezu. Ten umožňuje, že vodiče jsou téměř po celé své délce obklopeny pískovým hasivem. Porcelánové pouzdro je na obou koncích opatřeno kontaktními manžetami, jimiž se dá pojistka zatlačit do pružných kontaktů pojistkového spodku.

Vnitřkem keramického nosiče prochází odporový drát 6, který se

přetaví jako poslední. Tím jeho odpor přispěje k omezení přepětí. S odporovým drátem je spojen knoflíkový indikátor stavu 7. V normálním stavu je držen tahem odporového drátu v tělese objímky, po přetavení ho pružina 8 vytlačí.

Naše pojistkové vložky typu XJ pro proudy 2 až 100 A a napětí 7,2 až 37 kV (EJF Brno, n. p.) mají vypínací proud 20 až 69 kA (obr. 104b).



Obr. 104. Pojistkové vložky a) typ PH, 10 až 630 A, 500 V, OEZ Letohrad, n. p., b) typ XJ, 7,2 až 37 kV, 2 až 100 A, EJF Brno, n. p.

7.4. ZVLÁŠTNÍ POUŽITÍ POJISTEK

4.4.1. Odpojovací pojistky

Na obr. 106 je trojpólová odpojovací pojistka vn, kombinovaná s odpojovačem. Používá se v málo obsluhovaných rozvodných zařízeních, v nichž se nemanipuluje při zatížení a kde se pro ochranu před nadproudem vyžadují tavné pojistky.

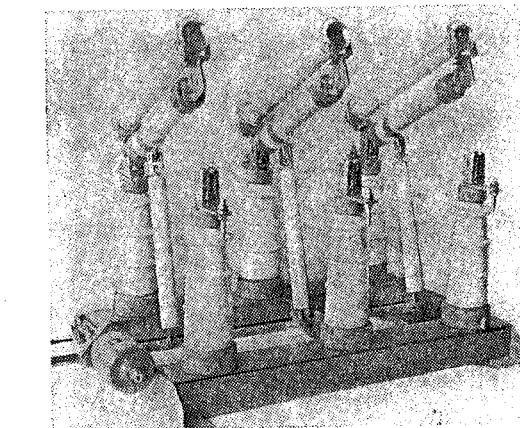
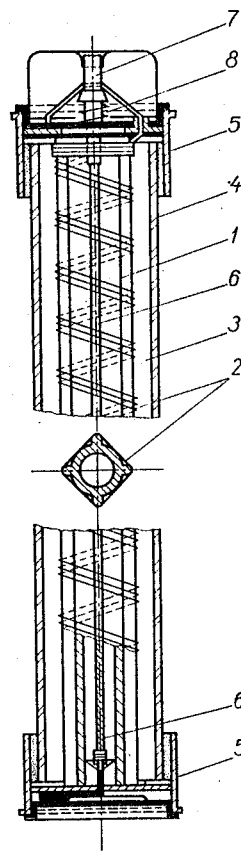
Pojistkové odpojovače se dělají i s pojistkami nn — zde je však jejich úlohou umožnit rychlou a bezpečnou výměnu pojistkových vložek bez napětí. Uloženy jsou v izolačním pouzdru. Konstruovány

jsou tak, že při výměně pojistek se otevře jejich výklopné víko a tím se pojistkové vložky všech tří fází vysunou z pevných kontaktů.

U nás jsou vyvinuty pojistkové odpojovače typu OP 2 do 630 A (OEZ Letohrad, n. p.) s pojistkovými vložkami PH (100, 250, 400, 630 A).

7.4.2. Pojistkové vypínače

Pojistkové vypínače představují nejnovější prvek nízkonapěťových rozvodných systémů, jimiž je možné nahradit dosavadní kombinaci, tzn. vypínač nn a pojistky. Tyto klasické kombinace už nevyhovují požadavkům na bezpečnou obsluhu při přepínání do zkratu a při výměně pojistkových vložek.



Obr. 106. Trojpólová odpojovací pojistka vn typu L, EJF Brno, n. p.

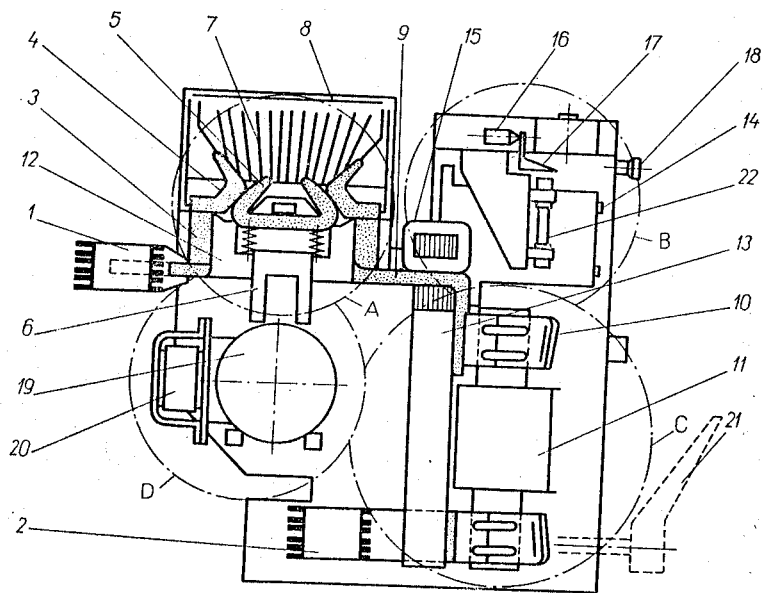
Obr. 105. Uspořádání pojistkové vložky vn
1 — keramický nosič, 2 — pojistkový vodič, 3 — pís-
ková náplň, 4 — porcelánová trubka, 5 — kovová
objímka, 6 — odporový drát, 7 — indikátor stavu,
8 — pružina ukazovatele

Pojistkový vypínač se skládá z pevného a výsuvného bloku. Na pevném bloku, který tvoří základ přístroje, jsou namontovány pojistkové spodky, zhášecí komory kontaktů spínače a izolační stěny mezi póly.

Na výsuvném bloku jsou tři vložky výkonových pojistek a vlastní spínací systém, obsluhovaný čelní ovládací pákou. Vysunutí z pevného bloku je možné jen po vypnutí spínacího systému a po stlačení deblokovacího tlačítka.

Mžikový spínací systém umožňuje zapínání až do velikosti zkratového proudu pojistky, zhášecí komůrky kontaktů zaručují vypnutí pěti až osminásobného jmenovitého proudu.

Po vysunutí pohyblivé části z pevného bloku jsou pojistkové vložky úplně bez napětí a jejich výměna je bezpečná.



Obr. 107. UNISPÍNAČ — řez, EJF Brno, n. p.

1 — přívodní pás s výsuvnými kontakty, 2 — vývodní pás, 3 — nosná proudová spojka, 4 — pevný kontakt, 5 — pohyblivý kontaktní můstek, 6 — izolační nosič pohyblivého kontaktu, 7 — zhášecí komora, 8 — tlumič výfuku oblouku, 9 — proudová spojka, 10 — kontaktní pero pojistky, 11 — výkonová pojistka, 12 — izolační základ kontaktního systému, 13 — izolační základ pojistek, 14 — nadproudové relé tepelné a zkratové, 15 — převodní proudový transformátolek, 16 — návěstní a blokovací kontakty nadproudového relé, 17 — vybavovací páčka nadproudových relé, 18 — tlačítko pomocných kontaktů, 20 — vypínací magnet, potřebný při použití impulsového elektromagnetického pohonu, 21 — zapínací páka při použití volnoběžky, 22 — energetický vybavovač výkonových pojistek

U nás vyrábí nově vyvinuté pojistkové vypínače typu VA (100, 250 a 400 A) n. p. O EZ Letohrad.

7.4.3. Univerzální spínací a jističí přístroje (UNISPÍNAČ)

Těmito přístroji se účelně a výhodně nahrazuje dosavadní kombinace: jistič a předřazené pojistky.

V jednom uceleném bloku (obr. 107), který se dá z rozváděče vysunout prostřednictvím výsuvných kontaktů, jsou umístěny tyto prvky:

- A — kontaktní a zhášecí systém,
- B — nadproudové relé,
- C — výkonové pojistky PA,
- D — ovládací mechanismus.

K ovládní je možné použít:

- a) elektromagnet jako u stykačů,
- b) zapínací impulsový elektromagnet se západkou a vypínacím magnetem,
- c) volnoběžky pro ruční zapínání s vypínacím magnetem.

Podle použitého ovládní má potom spínač charakter často spínaného stykače s pojistkami s nadproudovou ochranou (s dokonalejším kontaktním systémem než u standardních stykačů) nebo charakter jističe s předřazenými zkratovými pojistkami.

$$n_{iv} = \frac{C_{11} \cdot I_{sc} \cdot \sqrt{t_{sc}}}{60} \cdot \sin \alpha$$

$$C_{11} = \frac{C_{12} \cdot C_{13}}{C_{14}}; B_{sc} = \frac{I_{sc} \cdot t_{sc}}{2}$$

$$n_{iv} = 20 \cdot T_p \quad n_s = \frac{60 \cdot f}{P}$$

$$n_{iv} = \frac{n \cdot B_s}{2} \cdot f_0 \cdot \frac{2 \cdot f_0 \cdot t_{sc}}{60} \cdot \frac{60 \cdot f}{P} \cdot \sin \alpha$$

$$n_{iv} = B_s \cdot S = C_{11} \cdot T_p \cdot C_{12}$$

$$C_{11} = \frac{C_{12}}{C_{14}}$$

$$n_{iv} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{f}{T_p} \cdot C_{12} \cdot \frac{2 \cdot f_0 \cdot t_{sc}}{60} \cdot \frac{60 \cdot f}{P} \cdot \sin \alpha$$

$$= \pi \cdot f \cdot \sin \alpha$$

$$n_{iv} = \pi \cdot f$$

$$n_{iv} = \frac{\pi \cdot f}{2} \cdot 2 = 4,44 \cdot f \cdot \sin \alpha$$

8. SVODIČE PŘEPĚTÍ

8.1. DRUHY PŘEPĚTÍ A KOORDINACE IZOLACE

V elektrizační soustavě se vyskytují přepětí. Rozumí se jimi přechodné zvýšení napětí jakéhokoli průběhu, charakterizované vrcholovou hodnotou a strmostí, které může ohrozit izolaci. Za přepětí se považují jen ta napětí, která jsou větší než $2\sqrt{2} U_n$ ve střídavých sítích a $2U_n$ v sítích stejnosměrných.

Přepětí mohou být:

- atmosférická — vyvolaná atmosférickými výboji,
- provozní — vyvolané náhlou změnou stavu sítě, např. při vypínání zkratového proudu, vypínání transformátorů naprázdno, při spínání dlouhých kabelových vedení naprázdno, při přerušování zemním spojení apod.

Izolaci ohrožují především atmosférická přepětí. Při nich vznikají na vedeních postupné napěťové vlny se strmým čelem a s velmi krátkou dobou trvání, tzv. rázové vlny.

Elektrická zařízení, která jsou během provozu vystavena účinkům atmosférických přepětí (vypínače, transformátory, izolátory apod.), musí být podrobena rázovým zkouškám, při nichž se prověří jejich odolnost proti rázovým přepětovým vlnám. Rázová vlna se přitom vyrobí ve zkušebním zařízení. Normalizovaný tvar rázové vlny, který se co nejvíce přibližuje skutečnému průběhu, je na obr. 108. Rázová vlna je charakterizována dobou trvání čela a dobou trvání půltýlu (obr. 108).

Normální rázová vlna napětí má tvar 1,2/50, což značí, že čelo vlny trvá 1,2 μ s a její amplituda klesne na polovinu (půltýlu vlny) za 50 μ s. Čas čela vlny určuje při známé amplitudě strmost vlny dU/dt .

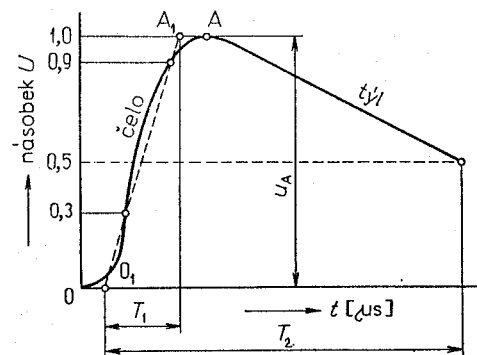
Kromě napěťové rázové vlny se rozlišuje i proudová vlna. Její normalizovaný průběh je 8/20.

Proti účinkům přepětí je třeba elektrické zařízení chránit. Úlohou ochrany proti přepětí je:

- omezit velikost přepětí,
- volit elektrické zařízení s co největší izolační pevností,
- koordinovat izolaci v elektrizační soustavě tak, aby ta pře-

pětí, která nedokáže zvládnout izolace zařízení, byla na vhodném místě odvedena do země.

Omezit je možné jen velikost provozních přepětí (vypínače s krátkou zapínací a vypínací dobou, tlumicí odpory apod.). Izolační možnosti jsou omezeny, souvisejí se současným stavem technologie a konstrukce. Odolnost izolace se zkouší střídavým napětím, jehož velikost je předepsána příslušnými normami. Vyhovuje-li elektrické zařízení zkušebnímu napětí, je třeba předpokládat, že bez poškození vydrží všechna provozní přepětí.



Obr. 108. Normalizovaný tvar rázové vlny
 T_1 — doba trvání čela, T_2 — doba trvání půltýlu

Jedinou ochranou proti atmosférickým přepětím (rázovým vlnám) je koordinace izolace, kterou zabezpečují svodiče přepětí [35; 36; 37; 38].

Koordinace izolace spočívá v účelném odstupňování izolačních hladin jednotlivých částí buď samotného zařízení (vypínače, transformátoru — samostatná koordinace), nebo celého souboru zařízení ve společné elektrizační soustavě.

Úlohou samostatné koordinace je zabezpečit, aby při přepětí došlo dříve k přeskoku na povrchu, než k průrazu uvnitř izolace.

Úlohou koordinace u souboru zařízení (např. vedení—izolátory—spínače—transformátory) je rozdělit tato zařízení podle vlastní izolace na několik skupin s různou izolační hladinou. Izolační hladinou se rozumí nejvyšší střídavé rázové napětí, které musí zařízení vydržet.

Nejobvyklejší je trojstupňová koordinace.

Nejnižší izolační hladinu (I) mají svodiče přepětí. Přepětí, která jsou vyšší než jejich ochranná hladina, svedou do země.

Ochrannou hladinou se rozumí nejvyšší okamžitá hodnota napětí, která se může na svorkách svodiče vyskytnout. Musí být

vždy vyšší než nejvyšší provozní napětí. U napětí vyšších, než je ochranná hladina, musí svodiče zapůsobit.

Střední izolační hladinu (II) mají mít izolátory a průchodky, aby v případě selhání svodičů přepětí došlo k přeskoku na nich a ne na důležitých a nákladných zařízeních.

Nejvyšší izolační hladinu (III) mají stroje a přístroje, jejichž poškození představuje těžké provozní poruchy (transformátory, měřicí transformátory, vypínače, odpojovače apod.).

Kromě velikosti ochranné hladiny se udává u svodičů přepětí:

a) *zapalovací napětí* (rázové, střídavé, stejnosměrné) je takové napětí, při němž začne svodič působit, tzn., že jím začne procházet podstatně větší proud než při napětí jmenovitém,

b) *zbytkové napětí* — vrcholová hodnota napětí na svodiči, prochází-li jím proudová vlna,

c) *následný proud* — proud, který prochází svodičem po svedení přepětí do země.

8.2. KONSTRUKCE SVODIČŮ PŘEPĚTÍ

Používané druhy svodičů přepětí v silnoproudé elektrotechnice jsou:

1. Ochranná jiskřiště.
2. Torokovy trubice.
3. Ventilové bleskojistky.
4. Průrazy.

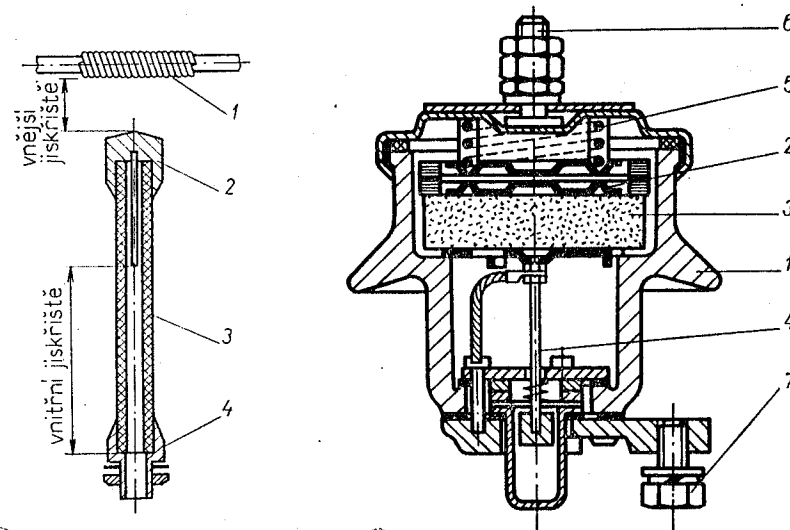
1. Ochranná jiskřiště se pro svou nestálost už k ochraně vedení nepoužívají. Osvědčují se však jako koordinační jiskřiště jednotlivých zařízení. Mají dvě elektrody (hroty, kruhy) — jedna elektroda je spojena s potenciálem chráněné části, druhá s uzemněnou částí.

Vzdálenost mezi nimi se nastaví podle požadované izolační hladiny. Koordinačním jiskřištěm bývají vybaveny venkovní izolátory, průchodky vedení, průchodky transformátorů, odpojovače, odpínače apod. (obr. 112a).

2. Torokovy trubice (vyfukovací bleskojistky — obr. 109) se skládají ze dvou sériových jiskřišť. Vnější jiskřiště se utvoří tak, že trubice se svou elektrodou upevní v určité vzdálenosti od živé části, kterou má ochránit, vnitřní (aktivní) je uvnitř trubice z takového izolačního materiálu, který při styku s elektrickým obloukem vytváří velké množství plynů (fibr, lesklá lepenka, pryskyřice). Tyto

plyny vyfouknou oblouk z trubice ven a tak oblouk uhasne. Vnější (venkovní) jiskřiště působí jako samočinný odpojovač — za normálního stavu je aktivní jiskřiště v trubici bez napětí.

Torokovy trubice jsou jednoduché a laciné a jsou tak vhodné pro použití ve velkém množství, např. na každém izolátoru (do 100 kV). Používá se jich též k ochraně malých transformoven do 22 kV.



Obr. 109. Torokova vyfukovací bleskojistka

1 — fázový vodič zesílený proti opalu, 2 — elektroda, 3 — izolační trubka, 4 — uzemněná protielektroda

Obr. 110. Nízkonapěťová ventilová bleskojistka typu KWH, NDR

1 — porcelánové těleso, 2 — jiskřiště, 3 — odporový blok, 4 — odpojovač přetížení, 5 — tlačná pružina, 6 — přípojovací svorka, 7 — připojení uzemnění

3. Ventilové bleskojistky jsou nejrozšířenějším a nejspolehlivějším svodičem přepětí. Skládají se ze dvou aktivních částí (obr. 110); z jiskřiště (2) a z odporového bloku (3).

Jiskřiště se skládá z určitého počtu profilovaných plechových kruhů, jejichž výčnělky jsou distančními slídovými mezivložkami udržovány v předepsané vzdálenosti od sebe. Počet takto vzniklých jiskřišť závisí na velikosti napětí.

Odporový blok je tvořen plným válečkem z pórovitého materiálu, jehož odpor je závislý na napětí (thyrít, resorbit, nejčastěji siliciumkarbid určité jakosti a zrnitosti).

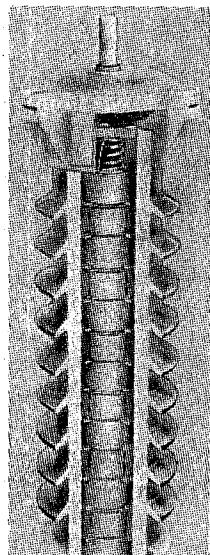
Jeden odporový váleček (odporový blok) má takové rozměry, že

vyhovuje zpravidla pro jmenovité napětí 3 kV. Pro vyšší napětí se několik bloků řadí do série (obr. 111a).

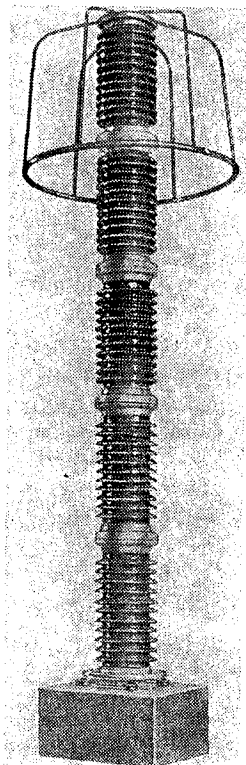
Pro nízká napětí se odporové bloky dělají o menší výšce. Vznikne-li na chráněném zařízení přepětí, zapálí se jiskřiště a odporovými bloky prochází do země proud. Čím je přepětí vyšší, tím je odpor menší, a tím větší proud může jím do země procházet. Po zániku přepětí prochází do země síťový následný proud. Sloupec odporových bloků musí mít tak velký odpor, aby tento proud byl dostatečně malý a dal se v jiskřišti přerušit při nejbližším průchodu proudem nulou. Po přerušení proudu v jiskřišti je série odporových bloků odpojena od napětí a neprochází jí žádný proud.

Takto upravený svodič přepětí působí tedy jako ventil, odtud jeho název.

Při mimořádně vysokém napětí prochází ventilovou bleskojistkou velmi značný proud, jímž může být bleskojistka tak přetížena, že se trvale poškodí.



a)



b)

Obr. 111. Provedení ventilových bleskojistek — a) řez ventilovou bleskojistkou, b) ventilová bleskojistka VRB 336 na 380 kV

Proti tomu je bleskojistka chráněna přídatným zařízením, které proud buď přeruší, nebo omezí.

Bleskojistky na vysoké napětí mají dole tlakovou membránu, která dno pootevře, takže přetlak se může vyrovnat a výfukem případný oblouk uvnitř bleskojistky uhasit.

U starších typů bleskojistek se dno přetlakem otevřelo a odporové bloky vypadly ven.

Bleskojistky mohou být doplněny pomocným zařízením pro počítání přeskoků.

Ventilové bleskojistky na stejnosměrný proud musí být vybaveny magnetickým vyfukováním oblouku, který se u stejnosměrného proudu nedá jednoduchým jiskřištěm uhasit (proud neprochází nulou).

Na obr. 111b je ventilová bleskojistka VRB 336 na 380 kV, kterou před časem vyráběl n. p. ČKD Praha. Dnes se u nás ventilové bleskojistky nevyrobují.

4. Průrazkou se nazývá takový svodič přepětí, jehož elektrody, oddělené perforovanou izolační vložkou, se přeskokem (při napětí vyšším než je jeho průrazné napětí) trvale svaří, a tím se trvale spojí se zemí.

Používají se k jistění zařízení nn před vniknutím vysokého napětí nebo např. pro „ukolejňování“ neživých částí trakčních zařízení, která se zřetelem k nebezpečí bludných proudů nemají být za normálního provozu s kolejnicemi spojena.

9. SPÍNACÍ PŘÍSTROJE NN, VN a VVN

9.1. ODPOJOVAČE

9.1.1. Odpojovače vn

Odpojovače [42; 43] jsou určeny ke spínání elektrických obvodů bez zatížení a současně slouží k viditelnému a spolehlivě zabezpečenému odpojení elektrických zařízení (strojů a přístrojů) od napětí. Musí se zařadit vždy před příslušný vypínač, a jestliže je možnost zpětného proudu, musí být zapojeny z obou stran, jak je to znázorněno např. na obr. 1 v poli 1 a 2.

Odborná obsluha může odpojovačem spínat i určité menší proudy, jejichž velikost udává výrobce (např. dlouhá kabelová vedení bez zatížení, menší transformátory naprázdno a měřicí transformátory napětí).

Podle pohybu kontaktů jsou odpojovače:

1. Sklápěcí — pohyblivý nožový kontakt se sklápí v rovině pólu okolo osy na jednom svém konci (obr. 112a).

2. Posuvné — pohyblivý kontakt se posouvá v rovině pólu (obr. 112b), je výhodný ve skříňových rozvodnách vn, které mají malou hloubku.

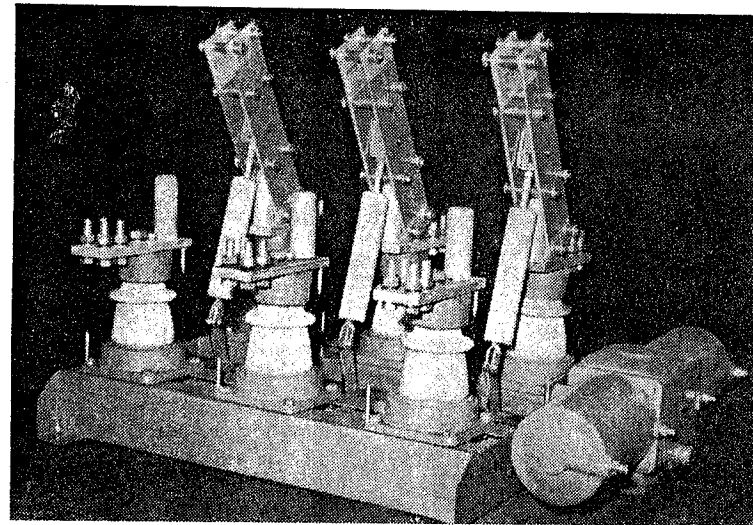
3. Otočné — pohyblivý kontakt se otáčí na středním izolátoru v rovině kolmé na osu pólu; bývá na něm umístěn excentricky, takže při svém otáčení se vysune napřed z jednoho a až potom z druhého kontaktu, čímž se i menší ovládací silou dá zlomit případná námraza (venkovní odpojovače).

4. Nůžkové — pohyblivý nožový kontakt je ovládán nůžkovým sklápěcím ramenem; pevné kontakty jsou přímo na přívodních vodičích — mimo vlastní odpojovač.

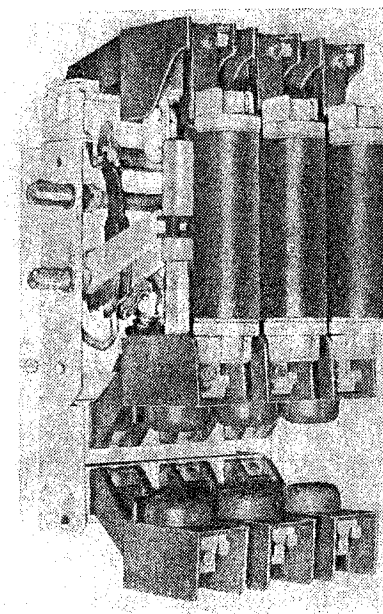
5. S dvojitým pohybem — pohyblivá spínací část se před vypnutím napřed otočí a až potom se z pevného kontaktu vysune; otáčivým pohybem se u venkovního provedení rozdrťí námraza.

Podle účelu jsou odpojovače:

- a) přípojnicové — určené ke spojování a rozpojování přípojnic,
- b) vývodové — určené ke spínání vývodů (odcházejících vedení).



a)



b)

Obr. 112. a) Sklápěcí trojpólový odpojovač s přímkovými kontakty a s tlakovzdušným pohonem, SEZ Krompachy, n. p. Na živých i neživých částech jsou hrotové elektrody koordinačního jiskřiště, b) posuvný trojpólový odpojovač CK3, 10/12 kV, 630 A s pojítkami a uzemňovacími kontakty. CALOR-EMAG, NSR

Odpojovače mohou být provedeny jako odpojovače s uzemňovačem, jímž se odpojná část vedení může zkratovat a uzemnit.

Podle počtu pólů jsou odpojovače:

- a) jednopólové,
- b) trojpólové.

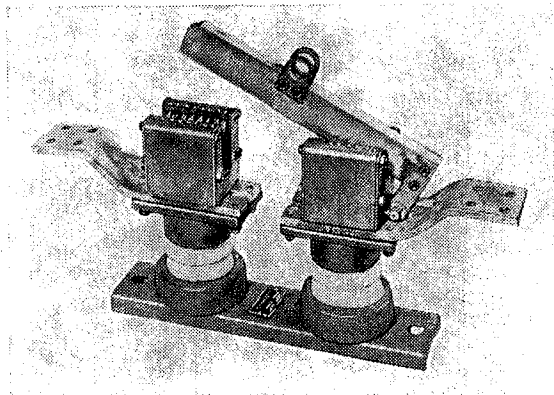
Podle provedení jsou odpojovače:

- a) pro vnitřní montáž do 35 kV,
- b) pro venkovní montáž nad 35 kV.

Odpojovače se ovládají:

- a) ručně — pomocí izolační tyče s hákem,
- b) ručně ovládaným pákovým pohonem,
- c) tlakovzdušně.

Odpojovače bývají vybaveny pomocným přepínačem, ovládaným prostřednictvím izolačního táhla hřídelem odpojovače. Přepínač slouží k signalizaci, blokování a ovládání odpojovače.

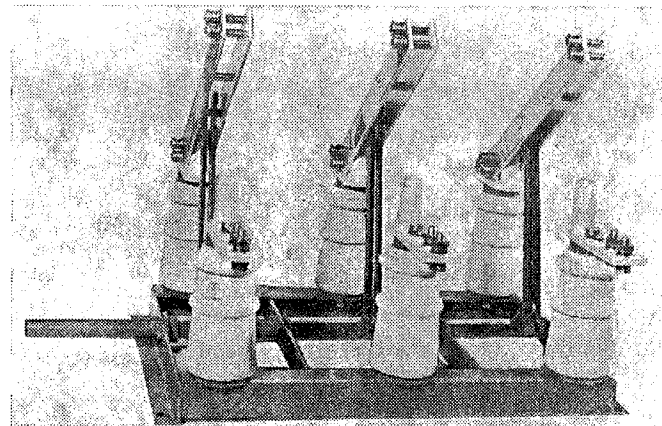


Obr. 113. Jednopólový odpojovač s lamelovými kontakty pro 1 kV, 1000 A

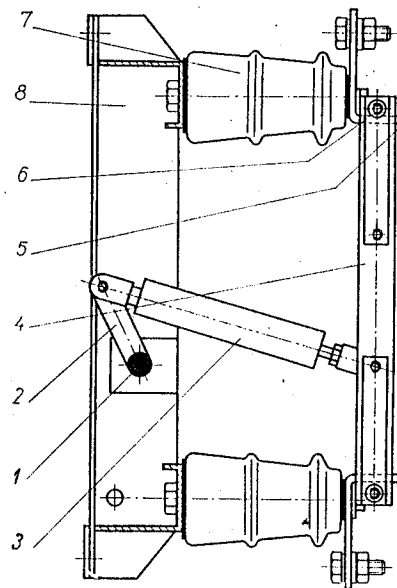
Kontakty odpojovače musí být dimenzovány tak, aby se i po průchodu zkratového proudu daly bezpečně rozpojit. Kromě toho musí být pojištěny proti účinkům dynamických sil působících při zkratu na proudovou smyčku, kterou obvykle vytváří proudová cesta.

Kontakty jsou obvykle měděné, jen uzemňovací nože jsou ocelové. Vznik elektrodynamických sil se vyloučí tak, že osa pevných i pohyblivých kontaktů je totožná s osou přívodních pásů.

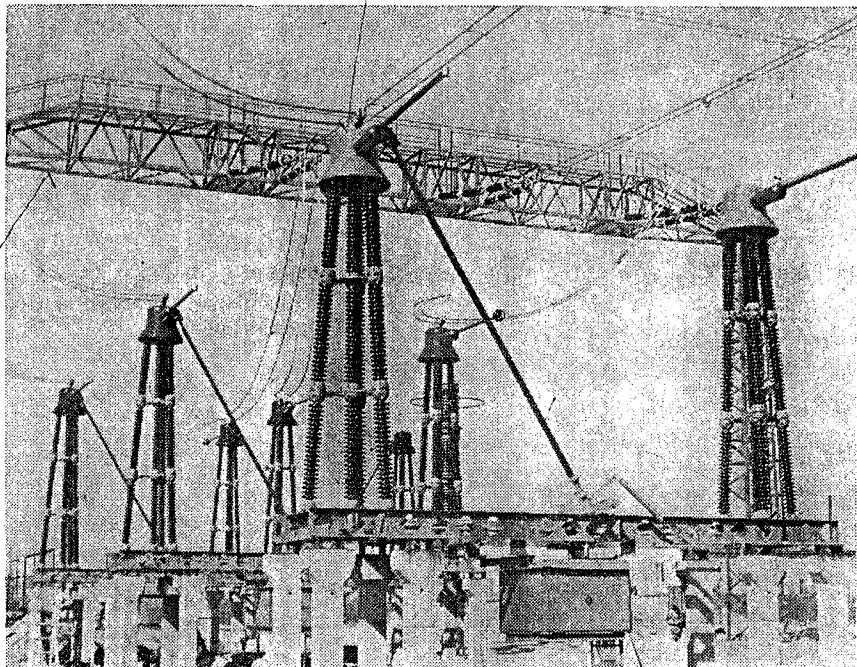
Sklápěcí odpojovače mají většinou nožové kontakty dvojité



Obr. 114. Nejnovější typ trojpólového odpojovače OM s ručním ovládním a křehovým pevným kontaktem. SEZ Krompachy



Obr. 115. Řez trojpólovým odpojovačem typu ODB 22/200-630-30, SEZ Krompachy, n. p.
 1 — ovládací hřídel, 2 — ovládací klika, 3 — ovládací táhlo z porcelánu, 4 — nožový kontakt, 5 — plochý pevný kontakt, 6 — kontaktní pružina, 7 — porcelánová podpěrka, 8 — základní ocelový rám



Obr. 116. Jednopolový odpojovač vvn typu VOI 400 pro 400 kV, 1250 až 1600 A, Škoda, o. p., Plzeň

s přímkovým dotykem (obr. 115). Dvojitě paralelní nože využívají elektrodynamické síly ke zvětšení kontaktního tlaku při zkratu. Mají se mazat speciálním tukem na kontakty.

Pevný kontakt je buď plochý (na obr. 113), nebo kruhový (obr. 114). Konstruktivní výkres trojpolového odpojovače ODB 22/200-630-30 je na obr. 115.

Celý odpojovač je namontován na společném ocelovém rámu, jímž se připojuje na konstrukci rozvodny.

Všechny tři kontaktní nože jsou prostřednictvím porcelánových táhel ovládány jediným průběžným hřídelem. Na něj se může nasadit ovládací člen tlakovzdušného pohonu nebo ocelová páka, která ve spojení s jednoduchým převodem umožní ruční ovládání. V málo obsluhovaných rozvodnách se ovládá izolační tyčí, která se hákem při manipulaci zasune do otvoru v otočné páce ovládacího hřídele. Manipulace je nebezpečná a vyžaduje odbornou obsluhu.

9.1.2. Odpojovače vvn

Jsou téměř výhradně venkovního provedení (kromě moderních vnitřních zapouzdřených rozvodů) a s otočným středním izolátorem nebo se dvěma otočnými podpěrami.

U nás vyráběné odpojovače vvn Škoda o. p., Plzeň mají dvě otočné izolátorové podpěry, z nichž každá nese jedno odpojovací rameno. Ramena se otáčejí o 90° ve vodorovné rovině.

Příklady konstrukcí jsou na obr. 116 (VOI 400, 400 kV, 1250 až 1600 A) a na obr. 117 (OTU, 60 až 220 kV, 1000 až 1600 A).

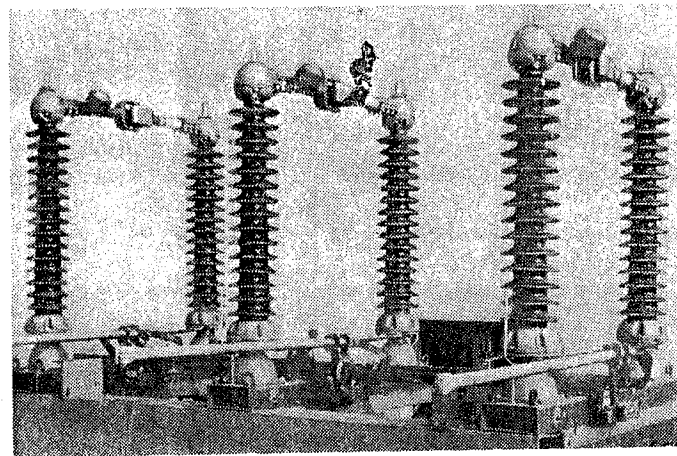
Vlastní styk kontaktních ramen obstarává kontakt, zasouváný do vhodně upravené kontaktní hlavy (obr. 118).

9.1.3. Úsečníky [44]

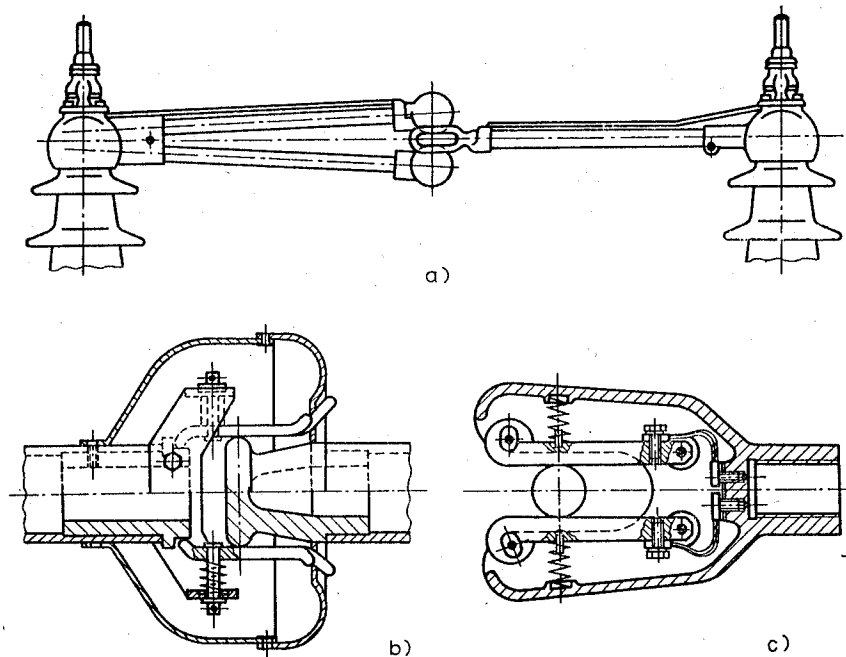
Jsou to odpojovače namontované na stožárech vn venkovních vedení v místech odboček a křižovatek. Slouží k odpojování a spínání jednotlivých úseků při opravě, revizi apod.

Na obr. 119 je nakreslen úsečník typu US 22, který se používá v síti s napětím 22 kV s jmenovitým proudem 200 A. Je možné jím vypínat proudy do 26 A.

Vyvinut je už novější typ úsečníku (SEZ Krompachy, n. p.) s neprůraznými izolátory.



Obr. 117. Nejnovější konstrukce jednopolového odpojovače vvn, typ OTU pro 60 až 220 kV, 1000 až 1600 A, Škoda, o. p., Plzeň



Obr. 118. Konstrukce kontaktů odpojovačů vvn, Škoda o. p., Plzeň — a) typ ODV, b) typ VOUI 400, c) typ OT (U) nejmodernější konstrukce

9.2. ODPÍNAČE

Odpínače [45] jsou takové spínače, které jsou schopny zapínat a vypínat normální provozní proudy v rozsahu své jmenovité spínací schopnosti a ve vypnutém stavu mohou zastávat úlohu odpojovače. Zkratové proudy nevypínají, ale svým momentovým spínacím systémem je dokáží zapínat a v zapnutém stavu přenášet.

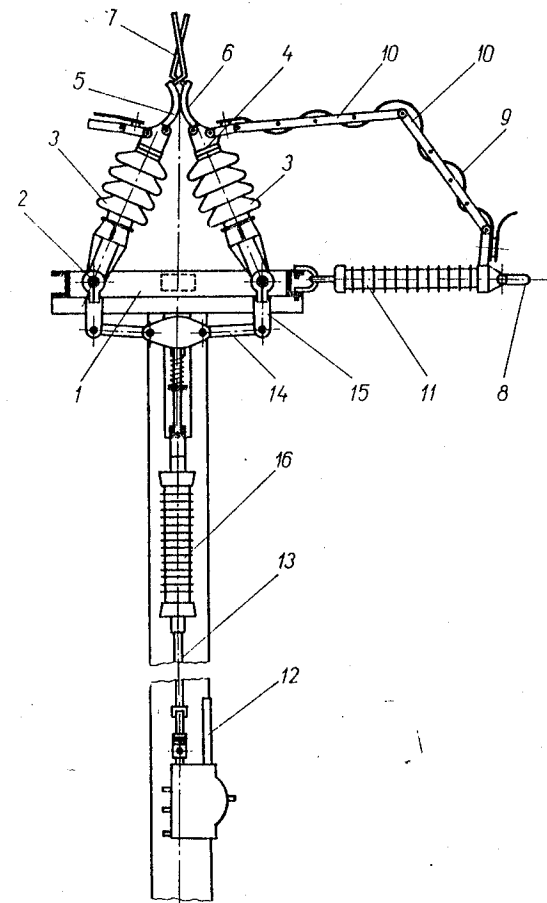
Podle způsobu jakým se zháší oblouk při vypínání jsou odpínače:

1. tlakovzdušné,
2. plynotvorné,
3. olejové,
4. magnetické,
5. vakuové.

Nejobvyklejší jsou odpínače tlakovzdušné. Oblouk zhášejí prou-

dem vzduchu, který si odpínač sám vyrobí v okamžiku vypínání v jednoduchém přidavném zařízení.

Plynotvorné odpínače využívají proudy plynů, které vznikají ve velkém množství z pevných plynotvorných hmot (fibr, pryskyřice) při jejich styku s elektrickým obloukem.



Obr. 119. Úsečník typu US 22 pro 22 kV, 200 A, vypínací proud 26 A, SEZ Krompachy, n. p.

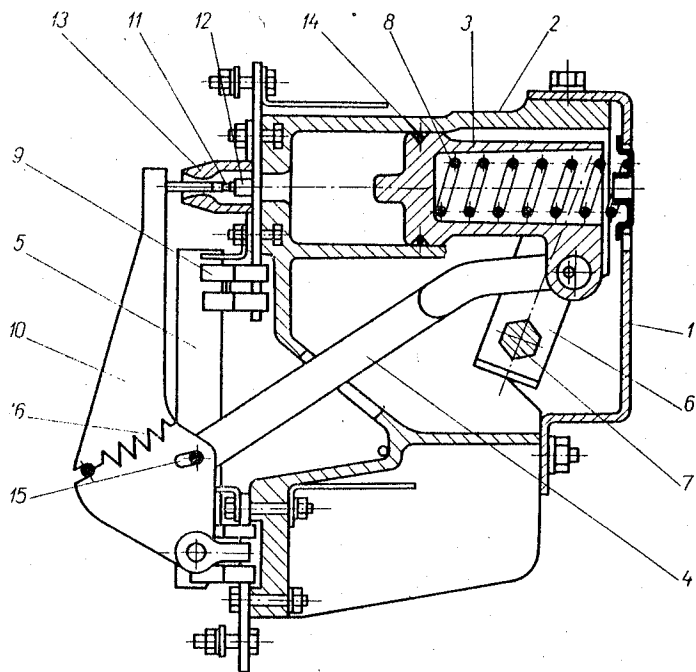
- 1 — základní rám, 2 — otočný čep izolátorů, 3 — výkyvný izolátor, 4 — litinová hlava izolátoru, 5 — pevný kontakt, 6 — odpružený kontakt, 7 — zhášecí růžky, 8 — vedení vn, 9 — vodivá spojka, 10 — vedení spojky, 11 — napínací izolátor, 12 — ovládací páka, 13 — ovládací táhlo, 14 — ovládací rameno, 15 — páka izolátoru, 16 — bezpečnostní oddělovačí izolátor

Ostatní druhy odpínačů se používají jen ojediněle.

Řez naším tlakovzdušným odpínačem BA (EJF Brno, n. p.) je na obr. 120 a na obr. 121a je jeho fotografie.

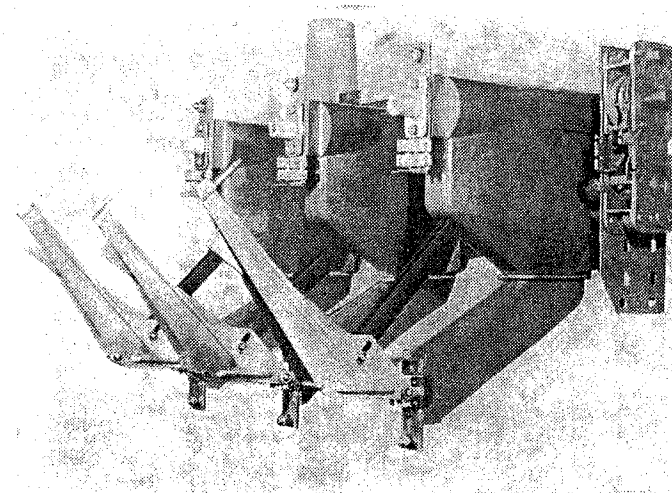
Odpínač je namontován na plechovém základním rámu 1, který nese tři izolátory 2 z epoxidové pryskyřice s kontaktním ústrojím. V horní části izolátoru je válec s pístem 3. Píst je spojen táhlem 4 s hlavní kontaktní nůž 5 a pákou 6 s ovládacím hřídelem 7, na němž je volnoběžka, která ho spojuje s ručním nebo tlakovzdušným pohonem.

Po uvolnění volnoběžky při vypínání začne pružina 8 pohybovat pístem ve vzduchovém válci a současně táhlem 4 vysouvá hlavní kontaktní nůž 5 z pérového pevného kontaktu 9. Opustí-li kontaktní nůž pevný kontakt, narazí na pomocný kontakt 10 a společně s ním pokračuje v pohybu, takže k přerušení proudu dojde až mezi opalovacími kontakty 11 a 12.

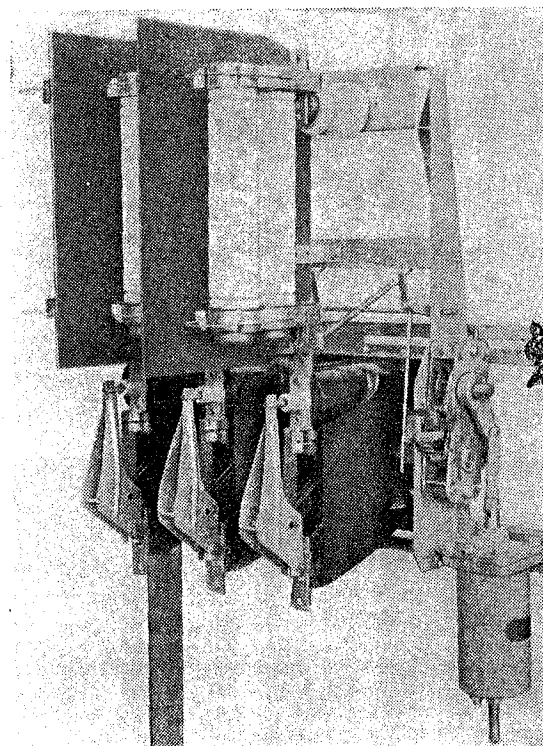


Obr. 120. Řez odpínačem typu BA, EJF Brno, n. p.

1 — základní svařovaný rám, 2 — izolátor z epoxidové pryskyřice, 3 — píst, 4 — táhlo pístu, 5 — hlavní nůž, 6 — páka pohonu, 7 — hřídel pohonu, 8 — pružina vzduchového pístu, 9 — pevný kontakt, 10 — pomocný kontakt, 11 — opalovací hrot, 12 — pevný opalovací kontakt, 13 — izolační dýza, 14 — těsnění pístu, 15 — kulisa pomocného kontaktu, 16 — pružina pomocného kontaktu



a)



b)

Obr. 121. a) Odpínač B 10/402, b) odpínač s pojiskami typu BAH 10/402

vacím hrotem 11 a pevným opalovacím kontaktem 12. Vzniklý oblouk se v izolační dýze 13 uhasí proudem vzduchu, který z válce vytlačí pohyblivá se píst.

Odpínače se kombinují s moderními výkonovými pojistkami. Od-
pínač potom vypíná jmenovité proudy a pojistky odpojí zkratové proudy. Mechanismus je tak blokován, že při přetavení jedné po-
jistky vypne volnoběžka všechny tři póly.

Takováto kombinace nahradí v menších rozvodnách jiné typy vý-
konových vypínačů. Je možné je používat tam, kde je čas na výměnu
přetavené pojistky před novým zapnutím.

Na obr. 121b je odpínač s pojistkami typu BAH 10/402. Při
větších jmenovitých proudech jsou v každém pólu dvě pojistkové
vločky. Podle potřeby mohou být pojistky nahoře (BAH) nebo dole
(BAJ).

Moderní odpínače tvoří velmi důležitý prvek v nových účelně
řešených skříňových rozváděcích. Pohyblivé kontakty vykonávají
přímocháry pohyb a ve vypnutém stavu je možné je úplně vytáhnout.

9.3. OLEJOVÉ VYPÍNAČE

9.3.1. Význam a konstrukce

Olejové vypínače ve svém klasickém provedení se používaly ve vy-
pínačí technice v rozvodnách vn od roku 1901 až do let 1920 až 1930.
Nové typy výkonových vypínačů se začaly vyvíjet tehdy, když
olejovými vypínači se nedaly zvládnout vzrůstající zkratové výkony
a byly příčinou havárií. Energetici pak obrátili pozornost jednak
k novým typům vypínačů a jednak k dalekosáhlému zdokonalování
olejových vypínačů.

Naše energetika asi od roku 1945 téměř opustila olejové vypínače,
přestože v zahraničí jsou stále ještě oblíbeny (SSSR, Anglie, USA),
a proto je musí naše exportní podniky vyrábět.

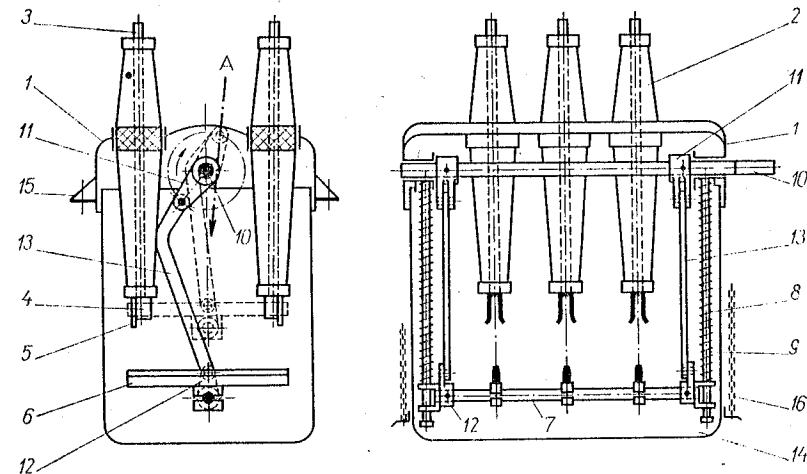
K hlavním nevýhodám olejových vypínačů starší konstrukce
patří velké množství potřebného oleje.

Kromě toho olej znamená stále nebezpečí pro svou hořlavost
a možnost výbuchu. V moderních olejových vypínačích je toto ne-
bezpečí minimální a pokud se vypínač používá v mezích svého vypí-
načího výkonu, není nebezpečnější než jiné typy vypínačů vn.

Mezi přednosti olejového vypínače patří jeho jednoduchá kon-
strukce a odolnost proti korozivnímu vlivu prostředí.

Schématické uspořádání jednoduchého olejového vypínače je na
obr. 122.

Na masivním víku 1 jsou pro každý pól zatmeleny dvě prů-
chodky 2 z porcelánu nebo z tvrzeného papíru. Středem průchodek
procházejí měděné přívodní svorníky 3, spojené s pevnými kontakty 4,
umístěnými na spodních částech průchodek. Jedno přečnávající kon-
taktní pero 5 vykonává funkci opalovacího kontaktu.



Obr. 122. Schématické uspořádání klasického olejového vypínače
1 — víko, 2 — průchodka, 3 — svorník průchodky, 4 — pevné peroové kontakty,
5 — opalovací kontakt, 6 — pohyblivý kontaktní nůž, 7 — nosný most, 8 — vypínačí
pružiny, 9 — vodidlo vypínačích pružin, 10 — ovládací hřídel, 11 — páky hřídele,
12 — páky pohyblivého mostu, 13 — ovládací táhlo, 14 — nádoba s olejem, 15 — při-
pevňovací patky, 16 — spouštěcí řetězy

Pevné kontakty jednoho pólu spojuje v zapnuté poloze kon-
taktní nůž 6. Kontaktní nože všech tří pólů jsou upevněny upevněny
na nosném mostě 7. Ve vypnuté poloze drží most 7 dvě vypínačí
pružiny 8, vedené vodidly 9. Vodidla jsou upevněna v nálitcích na
víku vypínače. Tlak vypínačích pružin působí na dvě vodící ob-
jímkky upevněné po obou stranách mostu.

Vypínač je ovládán ručním kolečkem, nasazeným na hřídel 10.
Na něm jsou pevně naklínované dvě páky 11, spojené ohnutým
táhlem 13 s pákami 12, nasazenými na nosném mostě 7.

Otáčením ovládacího hřídele doprava se nosný most zdvihá a kon-
taktní nože se zasouvají do svých kontaktních per. Přitom se napí-
nají vypínačí pružiny 8. Projde-li ohnuté táhlo 13 přes svou mrtvou
polohu, opře se o ovládací hřídel 10 a tlak napnutých vypínačích
pružin, působících na ni ve směru A, drží vypínač v zapnuté poloze.

Při vypínání je třeba táhlo 13 vytočit zpět přes jeho mrtvou polohu; tím ztratí svou podporu a vypínací pružiny vypnou potřebnou vypínací rychlostí.

Vypínač je uložen v plechové nádobě 14 a je naplněn transformátorovým olejem. Prostor nad olejem je spojen s ovzduším, aby plyny, které při spínacích pochodech vznikají, mohly volně unikat.

Na víku jsou patky 15, jimiž se vypínač připevňuje na rám rozváděče nebo na samostatný podvozek. Nádobu je nad základnou tak vysoko, aby se dal při revizi kontaktů spustit. Spouští se pomocí řetězů nebo ocelových lan, které se navíjejí na soustavu kladek ovládaných namontovaných koleček.

Víka vypínačů nad 600 A jsou z nemagnetické slitiny.

Původní nožové kontakty s kontaktními pery se už nepoužívají, obvyklé tvary jsou na obr. 123.

9.3.2. Působení

Olej v olejovém vypínači plní dvě úlohy:

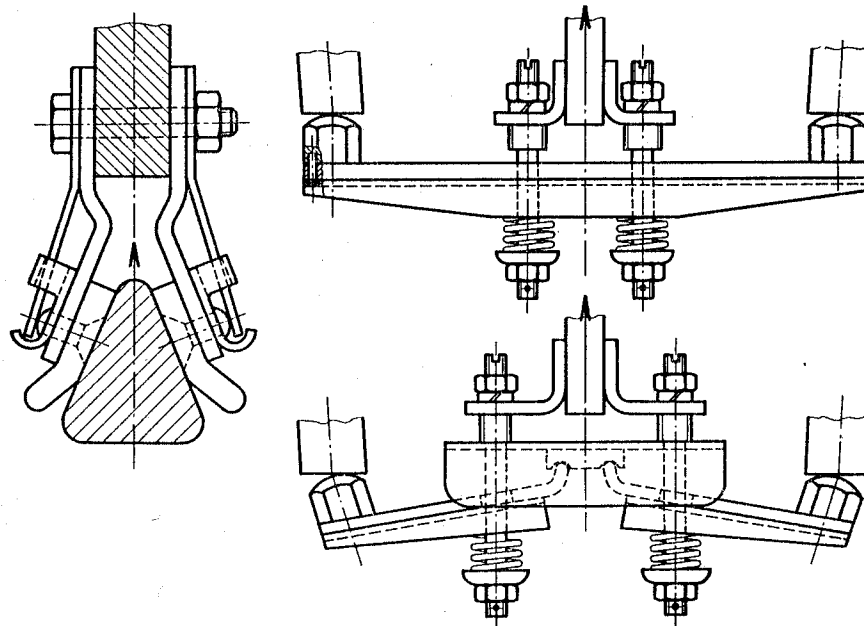
- a) zháší oblouk,
- b) izoluje vodivé části proti zemi a jednotlivé póly proti sobě, takže izolační vzdálenosti se mohou zmenšit asi na jednu třetinu izolačních vzdáleností potřebných ve vzduchu.

Teplem oblouku, který vznikne při odpínání, se v jeho okolí olej prudce odpaří. Odparným teplem se oblouk ochlazuje. Plynová bublina vytvořená kolem oblouku stoupá vlastním vztlakem nahoru a do prostoru mezi kontakty proudí čerstvý studený olej. Ten se též odpařuje, a proto se oblouk dále ochlazuje. K ochlazení přispívá i intenzivní přestup tepla z hořícího oblouku do studeného okolí. Přestup se uskutečňuje vedením a částečně i difúzí rozštěpených iontů, především vodíku. Ionty vznikají tepelnou ionizací olejových par, obsahujících velké množství vodíku.

Po několika půlvlnách oblouk neustálým ochlazením zhasne a prostor mezi kontakty dosáhne účinkem čerstvého přílivu oleje potřebné elektrické pevnosti, kterou už zotavené napětí nedokáže prorazit.

Průměrný vypínací čas olejového vypínače je 0,07 až 0,1 s.

Stoupající bubliny uvedou hladinu oleje do rytmického vlnivého pohybu, jímž se z prostoru nad olejem vytlačují vystupující olejové páry a nemůže se tak vytvořit jejich výbušná směs se vzduchem. Aby toto působení hladiny na činnost vypínače bylo zaručené, musí být kontakty v určité hloubce pod olejem a nad ním musí být dostatečně vysoký vzduchový polštář. Proto je třeba stav oleje kontrolovat a včas doplňovat.



Obr. 123. Tvary kontaktů olejových vypínačů

Kdyby vypínací proces nestačil oblouk včas uhasit, může zvyšující se tlak olejových par nádobu roztrhnout. Olej se přitom může vznítit a směs par se vzduchem pak vybuchnout.

Vypínací výkon vypínačů s jednoduchým zhášením je omezen.

Dlouhotrvající oblouk ve volném oleji se může natáhnout do značné délky a vytváří velké množství par. Při větší délce oblouku jsou rozměry vypínače velké a velké množství par deformuje stěnu nádoby. Pevnost stěn je možné částečně zvětšit tak, že se jim dá kruhový tvar.

9.3.3. Tlaková zhášecí komora

Moderní vypínače jsou vybaveny tlakovými zhášecími komorami.

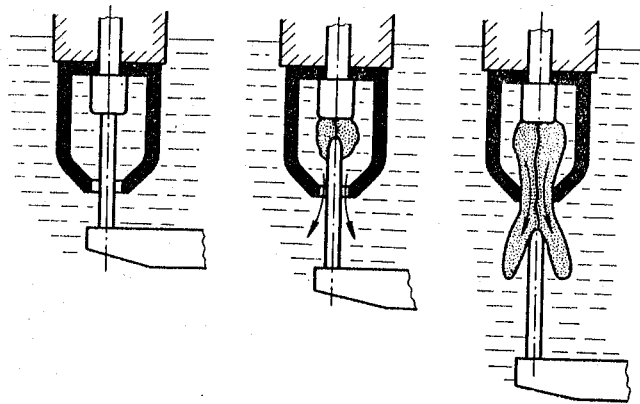
Tlaková zhášecí komora je zhotovena z izolačního válce, obklopujícího pevný kontakt (obr. 124).

Opustí-li spínací svorník pevný kontakt, vznikne oblouk, kterým se část oleje v komoře odpaří. Protože svorník komoru téměř uza-

vírá, vznikne v ní velký tlak. Ve chvíli, kdy svorník opustí otvor ve zhášecí komoře, uvolní se tlak a směs par a oleje z ní začne unikat velkou rychlostí. Přitom omývá oblouk, těsně se k němu přimyká, a tím ho velmi intenzívně ochlazuje.

Prudké proudění plynů a oleje podporuje deionizaci vypínací dráhy. Oblouk rychle zhasne a vypínací dráha se zkrátí na polovinu. Oblouk zhasne obvykle po jednom až dvou kmitech.

Zkrácení vypínacího času a vypínací dráhy umožňuje i při původních rozměrech vypínače zvětšit jeho vypínací výkon.



Obr. 124. Postup zhášení oblouku v tlakové zhášecí komoře

První tlaková vlna, která vznikne při oddálení kontaktů, se zachytí na stěnách zhášecí komory a nepřenáší se na stěny nádoby. To umožňuje lehčí konstrukci celého vypínače.

Další výhoda tlakové komory je v tom, že oblouk se stýká s menším množstvím oleje, takže se méně znehodnocuje.

Kromě jednoduché tlakové komory se olejové vypínače na velké výkony vybavují důmyslnými složitými komorami, v nichž oblouk úplně zhasne a vůbec nepříjde do styku s olejem v nádobě. Tato nádoba je zásobníkem, z něhož se zhášecí komora automaticky doplňuje. Tyto zhášecí komory se u nás nevyrábějí.

Konstrukce vypínače s tlakovou komorou je na obr. 125.

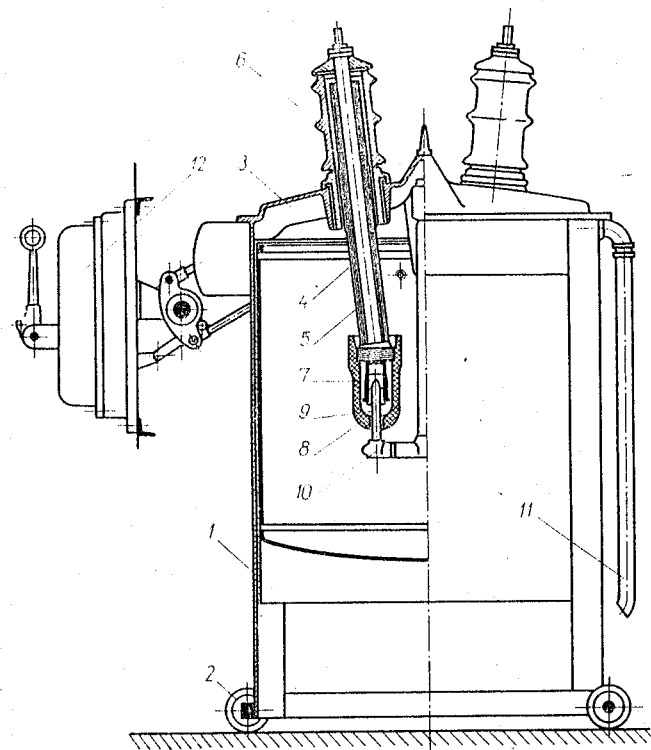
Olejové vypínače se obvykle montují přímo do výsuvných skřínových rozváděčů (obr. 126b).

Bezpečnost provozu velkých olejových vypínačů zvětšuje jejich trojkotlové provedení (obr. 126a). Každý pól je v samostatné nádo-

bě. Nádoba má zpravidla ve stěnách otvory, kterými se po vypuštění oleje dělá revize kontaktů. Trojkotlové řešení je výhodné i tím, že při poruše stačí mít v záloze jen jednu nádobu s jedním pólem; při jednokotlovém řešení musíme mít v záloze celý vypínač.

9.3.4. Ovládání

Nové olejové vypínače mají složitý ovládací mechanismus, který je možné i při velmi silných vypínacích pružinách ovládat nepatrnými impulsy ochranných spouští. Potom se ovládací páky nepřetácejí



Obr. 125. Olejový vypínač s tlakovou zhášecí komorou

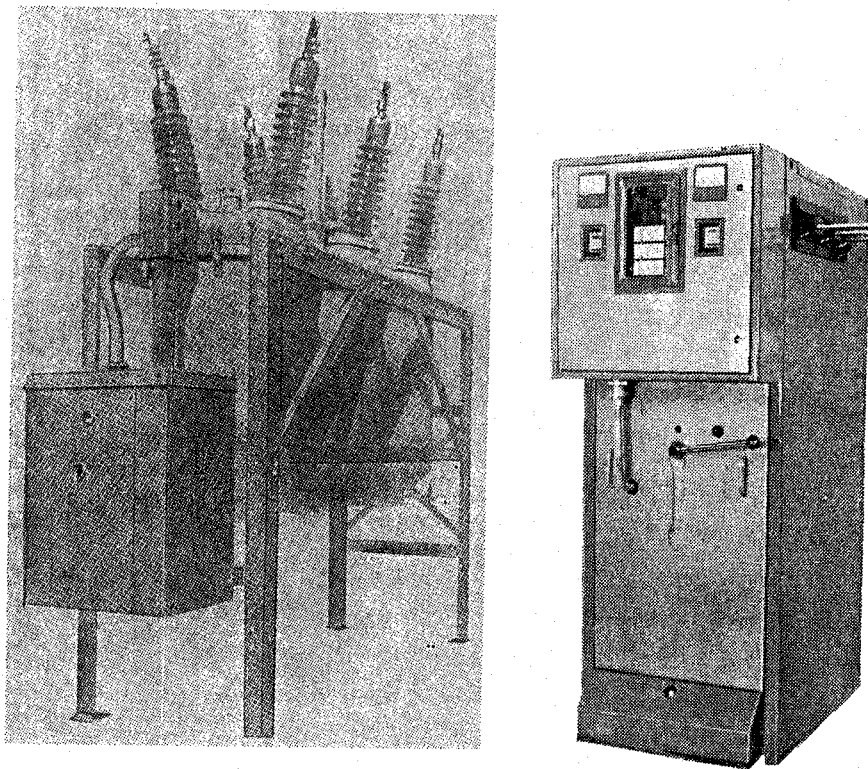
1 — nádoba, 2 — podvozek, 3 — víko z nemagnetické slitiny, 4 — kondenzátorová průchodka, 5 — staniolová fólie, 6 — porcelánové těleso průchodky, 7 — tulipánový kontakt, 8 — zhášecí komory, 9 — svorník pohyblivého kontaktu, 10 — spojovací most, 11 — výfuková trubka, 12 — zapínací magnet

přes mrtvou plochu, ale jsou ještě před ní zachyceny volnoběžkou. Jejím uvolněním pak pružiny rozpojí kontaktní ústrojí.

Volnoběžka se skládá z několika pák, které se o sebe v zapnuté poloze opírají na malých opěrných plochách kalených zubů. Přetočením vypínacího hřídele nebo působením spouští se zaseknuté páky rozpojí a uvolní vypínací pružiny.

Uspořádání volnoběžky našich vypínačů je na obr. 127.

V zapnuté poloze je hřídel 2 s pákou 6 stlačen vypínacími pružinami vypínače směrem vlevo. Páka 6 se opírá o zub A opěrné páky 10, která se ozubem C opírá o převodovou páku 9, pevně zaseknutou ozubem D do uvolňovací páky 11. Všechny páky jsou takto pevně



a)

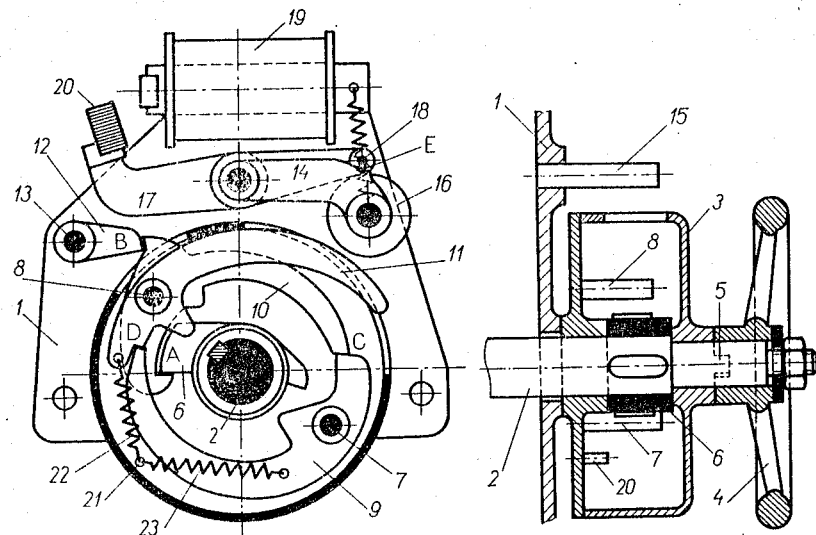
b)

Obr. 126. a) Olejový vypínač 72,5 kV v trojčlenném provedení, GENERAL ELECTRIC, b) výsuvný skříňový rozváděč s olejovým vypínačem, EJF Brno, n. p.

skloubeny, takže síla vypínacích pružin zapnutého vypínače se jimi přenáší až na ozub B páky 10, která se opírá o západku 12 a drží volnoběžku v zapnuté poloze.

Vypínač je možné vypnout:

- místně — ručním ovládacím kolečkem nebo pákou,
- dálkově — tlačítkem nebo ovládacím řídicím,
- samočinně — po zapůsobení nadproudových ochran nebo nadproudových spouští.



Obr. 127. Volnoběžka olejových vypínačů

1 — základ volnoběžky, 2 — ovládací hřídel vypínače, 3 — volně otočné pouzdro, 4 — ruční kolečko, 5 — ozub spojovací kolečko a pouzdro, 6 — hlavní páka naklínovaná na hřídeli, 7, 8 — pevné čepy v pouzdře, 9 — převodová páka, 10 — opěrná páka, 11 — uvolňovací páka, 12 — západková páka otočná kolem čepu na základní desce, 13 — čep západkové páky, 14 — vybavovací páka s kladkou, 15 — čep vybavovací páky, 16 — kladka, 17 — dvojrámenná páka elektromagnetické spouště, 18 — osička spouště, 19 — elektromagnetická vybavovací spoušť, 20 — kotva spouště, 21 — čep přítlačných pružin 22 a 23

Dálkové vypnutí se uskutečňuje zapojením proudu do cívky elektromagnetu 19, který přitáhne kotvu 20. Tím se dvojrámenná páka 17 natočí a opře svou osičkou 18 o narážku E páky 14, stlačí ji dolů a kladka potlačí uvolňovací páku 11.

Jejím stlačením proti tahu 22 se uvolní ozub D převodové páky 9, která se tahem pružiny natočí tak, že ozub C páky 10 ztratí svou pod-

pěru. Páka 10 se tlakem páky 12 pootočí a uvolní páku 6 v jejím ozubu A. Tlak vypínacích pružin se tím uvolní, hřídel 2 se natočí vlevo a vypínač je vypnut.

Pro ruční ovládání slouží ovládací kolečko 4. Kolečko je upraveno tak, že ho můžeme směrem doleva volně natočit asi o 15°, aniž by se jeho pohyb přenesl na pouzdro volnoběžky. Tímto mírným natočením dostane uvolňovací páka impuls prostřednictvím nezakresleného mechanismu a vypne tak jako při zapůsobení vypínací spouště.

Při zapínání je třeba pouzdro volnoběžky nejdříve natočit ručním kolečkem mírně doleva, aby se pomocí vhodně profilovaných výstupků na pákách daly tyto páky skloubit. Jen potom je možné začít otáčet kolečkem doprava. Natáčené pouzdro s sebou unáší prostřednictvím skloubených pák i hřídel 2. Otáčením hřídele se sepnou hlavní kontakty vypínače a napnou vypínací pružiny. Pouzdro se otáčí, dokud ozub B opěrné páky 11 nepřejde přes páku 12. Ta potom vlastní tíhou spadne dolů a ozub B se po uvolnění tlaku na zapínací kolečko opře silou vypínacích pružin. Volnoběžka je tak připravena k dalšímu vypnutí.

Samočinné vypínání při nadproudu zabezpečují buď nadproudová ochranná relé, působící elektricky na vypínací magnet, nebo u menších vypínačů přímé nadproudové spouště, které mechanicky uvolňují volnoběžku (obr. 126 a 25).

Kromě ručního ovládání mohou být naše olejové vypínače vybaveny motorovým pohonem typu M 30-1 s volnoběžkou.

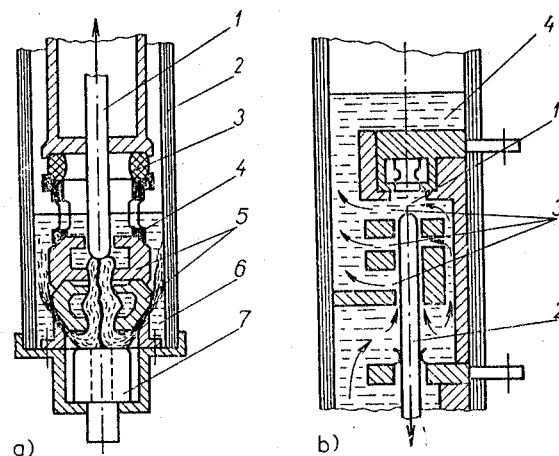
9.4. EXPANZNÍ VYPÍNAČE

Oblouk se v nich zhasí v tzv. pružné expanzní komoře, upravené podle obr. 128a. Uložena je uvnitř izolačního válce 2, který je částí nosné konstrukce a izolačního systému. Skládá se z několika vložek 5 vyrobených z tvrdého izolantu, které do sebe těsně zapadají a jsou k sobě přitlačované pryžovým prstencem 3. Spínací svorník 1 je ovládán shora a v zapnuté poloze je zasunut do pevného tulipánového kontaktu 7 ve spodní části komory.

Expanzní komora je naplněna expanzínem. Je to čistá voda, zbarvená pro lepší sledování stavu fluoreskujícím barvivem, proti zamrznutí chráněná určitým množstvím glycerínu a proti rychlému znehodnocení doplněná protiplísňovou přísadou. Hlavním hasivem je tedy voda, a proto se tyto vypínače v literatuře nazývají také vodními vypínači.

Při vypínání se spínací svorník pohybuje nahoru a oblouk

vzniklý mezi ním a pevným, popř. opalovacím kontaktem se natahuje do dutin izolačních vložek. Voda nebo olej se v blízkosti oblouku odpaří a vysokou teplotou částečně i štěpí na ionty. Oblouk je chlazen odparným teplem a energií potřebnou ke štěpení molekul hasiva. Protože je komora velmi těsně uzavřená, vznikne v ní velký tlak. Při přechodu svorníku s natahovaným obloukem z jedné komory do druhé, vžene se za ním velkou rychlostí (až 100 m/s) i tlaková bublina, takže směs par, plynů a vody omývá oblouk v podélném směru, a tím ho dále intenzivně ochlazuje. Hořením oblouku se další hasivo odpařuje a tlak v komoře stoupá. Když dosáhne jisté velikosti a je větší než tlak pryžového prstence, nadzdvihnou se vložky expanzní komory.



Obr. 128. Zhášecí komory

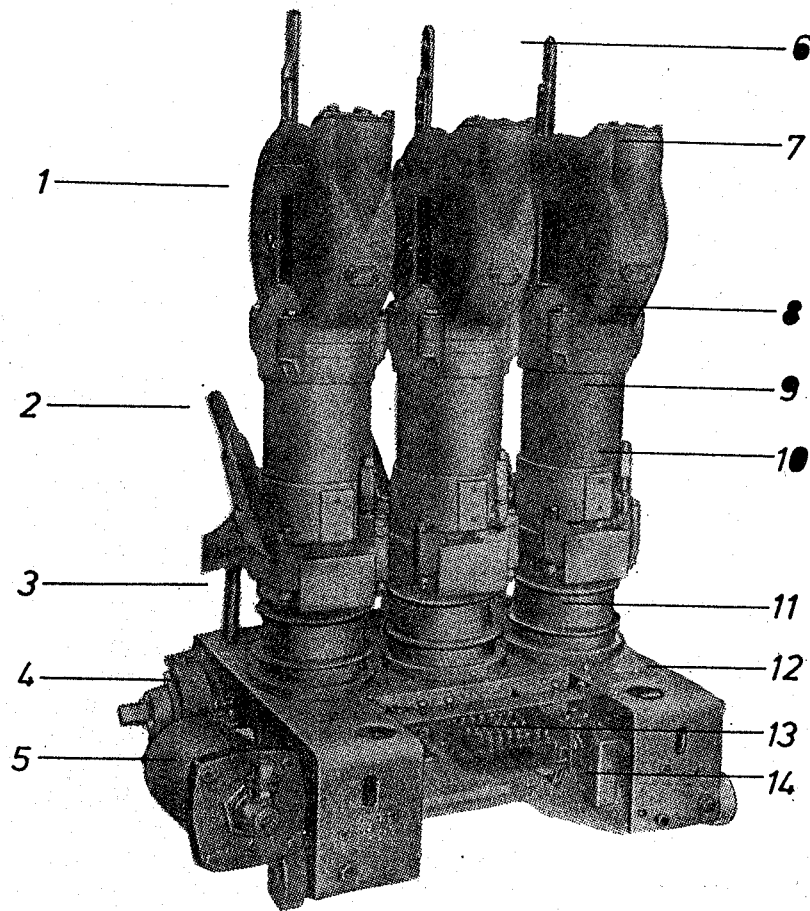
a) Původní pružná zhášecí komora expanzních vypínačů.

1 — spínací svorník, 2 — izolační válec, 3 — pryžový prstenc, 4 — tlačný kruh, 5 — vložky expanzní komory, 6 — náplň expanzínu, 7 — pevný kontakt. b) Zhášecí komora moderních máloolejových vypínačů s příčným přerušováním (odst. 9.5.1). 1 — aktivní prostor, 2 — spínací svorník, 3 — příčné kanálky, 4 — zásobní prostor oleje

Vzniklou šterbinou pak páry vyfouknou do izolačního válce a přitom prudce expandují. Expanzí par se oblouk nadále ochlazuje. Poklesem tlaku se zmenší bod varu tekutiny, takže další voda nebo olej se odpaří. Po odpaření následuje nová expanze přes uvolněné vložky komory. Opakovaným odpařením, expanzí a omýváním oblouk při průchodu nulou zhasne. Zhášení opět podporuje přestup tepla z jádra oblouku velmi vysoké teploty ke studeným okrajovým vrstvám, jejichž teplota se rovná jen bodu varu. Zvětšenou deioni-

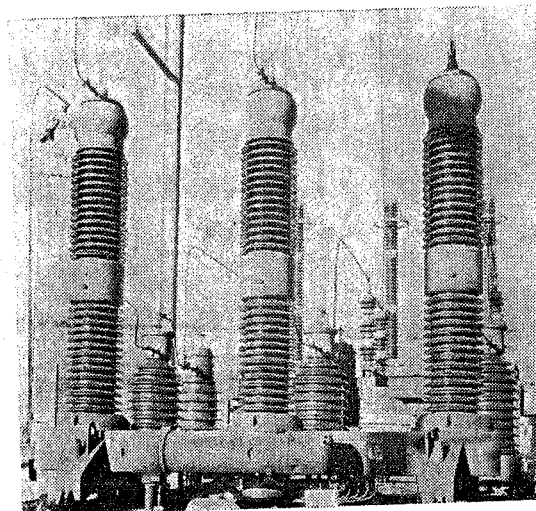
zaci podporuje voda vznikající kondenzací expandujících par, která zaplavuje prostor mezi kontakty.

Expanzní vypínače mají pro zajištění izolační bezpečnosti a pro viditelné rozpojení předřazen odpojovač, kterým se vypínač po vypnutí samočinně odpojí od napětí.

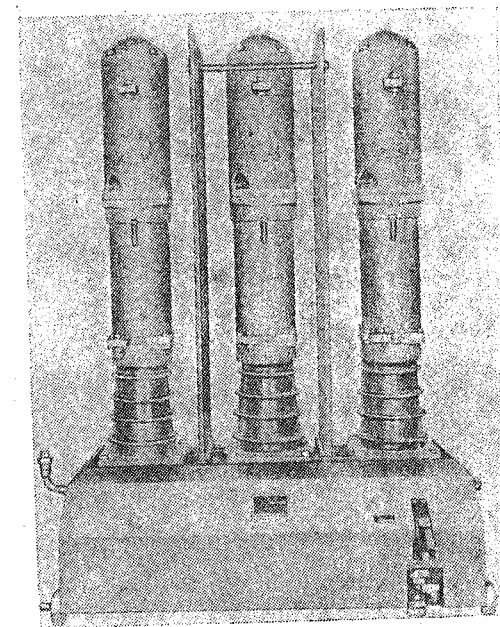


Obr. 129. Stará konstrukce expanzního vypínače typu VEG na 10 kV, 2000 A, 600 MVA, ČKD Praha, o. p.

1 — hlavice spínacího mechanismu, 2 — paralelní nůž potřebný pro větší proudy, 3 — táhlo paralelního nože, 4 — volnoběžka, 5 — tlakovzdušný pohon, 6 — odpojovací nůž, 7 — výfukové hrdlo, 8 — horní příruba, 9 — izolační válec, 10 — ukazovatel stavu expanzínu, 11 — podpěrný izolátor, 12 — základní rám, 13 — pomocný přepínač, 14 — tlumič



Obr. 130. Expanzní vypínač plněný olejem pro venkovní prostředí, typu VEL 110, na 110 kV, 600 A, 2500 MVA, ČKD Praha, o. p.



Obr. 131a. Máloolejový vypínač typu VMC 35 na 35 kV, 1000 A, 400 MVA, ČKD Praha, o. p.

Příklad provedeného expanzního vypínače typu VEG, 10 kV, 2000 A, 600 MVA (ČKD Praha, o. p.) je na obr. 129.

POZNÁMKA. Expanzní vypínače se asi od roku 1958 nevyrábějí, ale ve starších rozvodnách jsou v provozu. Jejich nevýhodou byly mechanické nárazy při spínání, způsobené rychlým pohybem horního odpojovacího nože, a poměrně složitý mechanismus potřebný pro jeho pohon, který zvětšoval možnost mechanických poruch.

9.5. MÁLOOLEJOVÉ VYPÍNAČE

9.5.1. Význam a konstrukce

Máloolejové vypínače (též vypínače s malým množstvím oleje) jsou takové, které olej používají jen ke zhasnutí oblouku. Izolaci živých částí proti zemi obstarávají tuhé izolanty.

První máloolejové vypínače vznikly z vypínačů expanzních, které se místo expanznímu plnily transformátorovým olejem. Zvláště pro venkovní montáž (nezamrzání oleje).

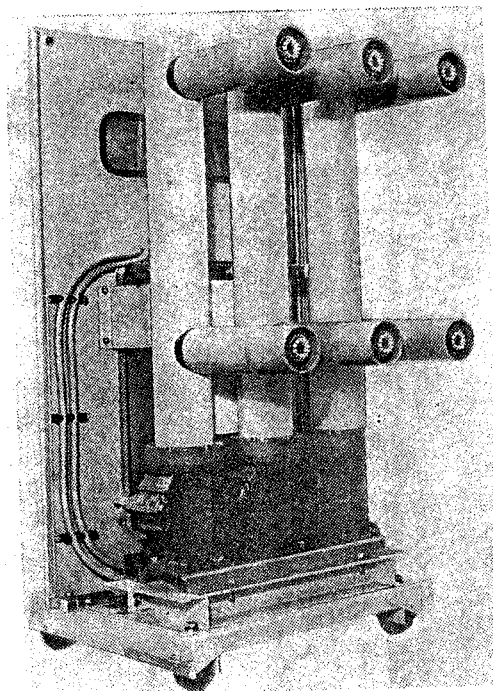
Příklad staršího expanzního vypínače vvn plněného olejem je na obr. 130.

Z původních expanzních vypínačů ČKD Praha, o.p. (VEB, VEC, VEG) se vyvinuly naše první máloolejové vypínače vvn (VMB, VMC, VMG), obr. 131a. Proti expanzním vypínačům měly tu výhodu, že olej zaručoval postačující izolační pevnost mezi kontakty ve vypnutém stavu, takže horní odpojovací nože nebyly potřebné a mechanismus mohl být jednodušší. Vypínače byly velmi rozšířené a v provozu se velmi osvědčily. Jejich výroba však byla zastavena. Byly nahrazeny novými modernějšími máloolejovými vypínači typu HG, HL, které v licenci francouzské firmy DELLE vyrábí EJF Brno, n. p. (obr. 131b).

Nové typy máloolejových vypínačů mají už dokonale zhasací komory, které jsou výsledkem teoretických rozborů vlastností elektrického oblouku, prověřených ověřovacími zkouškami.

Moderní zhasací komory olejových vypínačů využívají proudění, které je kolmé k ose elektrického oblouku, tzv. příčné přerušování (128b).

Během pohybu spínacího svorníku 2 a hoření oblouku unikají vznikající plyny z aktivního prostoru kanálky 3 postupně tak, jak je pohybující se svorník 1 odkrývá. Prostor, který se za svorníkem uvolňuje, je zaplavován čerstvým olejem ze zásobního prostoru 4. Výhodou takto upravené komory jsou podstatně menší rozměry.



Obr. 131b. Máloolejový vypínač typu HL/9 na 25 kV, 1250 A. EJF Brno, n. p.

9.5.2. Máloolejové vypínače vvn

Na obr. 132 je řez jedním pólem máloolejového vypínače typu HG 6/9 (EJF Brno, n. p.).

Vodivou dráhu tvoří horní přívodní svorka 4, horní kontaktní růžice 10, spínací svorník 12, opatřený opalovacím nástavcem 3, spodní průchodná kontaktní růžice 2 a spodní přívodní svorník 1.

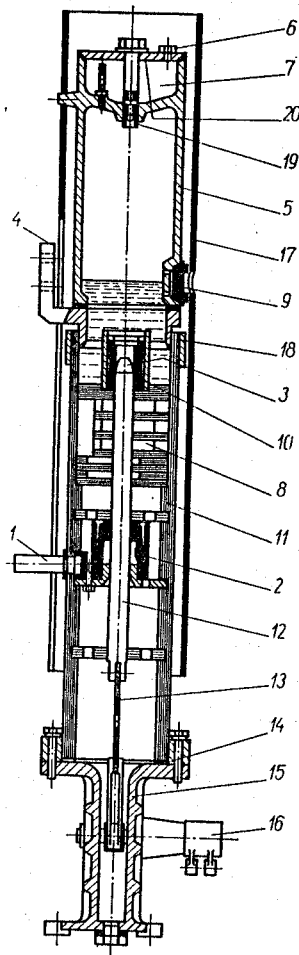
Pohyb spínacího svorníku obstarává páka pohonu 16 prostřednictvím ovládacího táhla 13.

Při vypínání se přeruší pohybem spínacího svorníku dolů proud v horní kontaktní růžici. Oblouk, který vznikne mezi jejím opalovacím roužkem a opalovacím nástavcem svorníku, je pohybujícím se svorníkem vtahován do zhasací komory. Teplem oblouku se olej zplyňuje a tlak ve zhasací komoře narůstá. Při nejbližším průchodu proudu nulou oblouk zhasne. Páry a olej deionizují dráhu oblouku a znemožní znovuzapálení oblouku. Deionizaci urychluje účelná konstrukce zhasací komory, která je konstruována pro příčné přerušování (obr. 128b).

Tlak olejových par a vzduchu utlumí polštář nad olejem v expanzní komoře 5. Tlak potřebný v počáteční fázi je zabezpečen kuříčkovým ventilem 19, který jen pozvolna přepouští plynné složky do vyrovnávacího prostoru 7. Ve víku expanzní komory 20 jsou otvory, které její prostor spojují s vnější atmosférou.

Vypínače typu HG 6/9 se vyrábějí pro napětí 25 kV a proud 1250 nebo 2500 A se jmenovitým vypínacím proudem 19,3 kA při provozním napětí 22 kV.

Vypínač na 2500 A má vodivost proudové cesty zvětšenou pří-



Obr. 132. Řez jedním pólem máloolejového vypínače typu HG 6/9 na 25 kV, 1250 A, vypínací proud 19,3 kA, EJF Brno, n. p., licence Delle
 1 — přívodní svorník, 2 — kontaktní růžice, 3 — opalovací nástavec, 4 — přívodní svorka, 5 — expanzní komora, 6 — nalévací otvor, 7 — vyrovnávací prostor, 8 — zhášecí komora s příčným přerušováním, 9 — olejznak, 10 — horní kontaktní růžice, 11 — izolační válec, 12 — spínací svorník, 13 — táhlo, 14 — těsnící kroužek izolačního válce, 15 — spodní skříň, 16 — páka pohonu, 17 — mezipřístěna, 18 — objímka izolačního válce, 19 — kuříčkový ventil, 20 — víčko vypínače

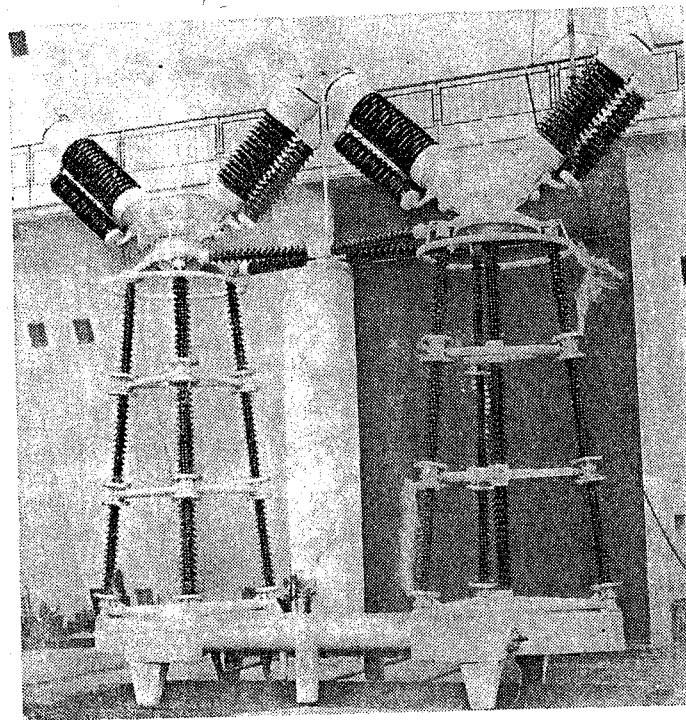
datným paralelním pólem, který je bez zhášecí komory, neboť vypíná s předstihem a zapíná tehdy, až když je hlavní pól úplně sepnut.

Vypínač se musí plnit transformátorovým olejem s minimální pevností 180 kV/cm, za provozu nesmí klesnout pod 130 kV/cm. Pohon vypínače je pružinový. Napínání zapínací pružiny se může dít ručně, elektromotorem (nejčastěji) nebo tlakovzdušným lamelovým motorem (vzduchovou turbínou — obr. 29).

Klasické tlakovzdušné pohony se už k těmto vypínačům nevyrábějí.

9.5.3. Máloolejové vypínače vvn

Příklad máloolejového vypínače vvn [46], který byl vyvinut v ČKD Praha, o. p., je na obr. 133. Výroba máloolejových vypínačů vvn byla v poslední době soustředěna do o. p. Škoda Plzeň.



Obr. 133. Máloolejový vypínač VMR 380 na 380 kV, 1250 A, vypínací proud 18 000 A, 12 500 MVA, ČKD Praha, o. p.

9.6. TLAKOVZDUŠNÉ VYPÍNAČE

9.6.1. Význam a princip

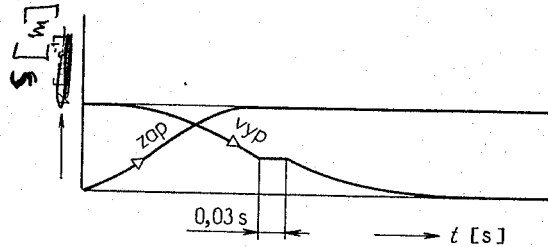
Jsou to nejrozšířenější vysokonapěťové vypínače, které se používají v celém napětovém i proudovém rozsahu s těmi největšími vypínacími výkony [47].

Jako hasiva se u nich používá proud stlačeného vzduchu, který se vysokým tlakem (1,0 až 2,5 MPa) vhání do prostoru mezi kontakty. Obvykle se vzduch vhání v podélném směru; jen některé sovětské a americké vypínače vhánějí vzduch kolmo na směr oblouku.

Při podélném foukání obklopí proud vzduchu oblouk ze všech stran, udržuje ho v osové poloze a intenzívně ochlazuje. Při nejbližším průchodu proudů nulou se oblouk v nejužším místě přetrhne a mezi jeho přerušené konce se vžene vrstva studeného vzduchu s velkou izolační pevností. Čerstvý vzduch vypudí ze zhasacího prostoru zbytky ionizovaných částic a zhasí oblouk ve velmi krátké době 0,03 až 0,05 s. Celý vypínací pochod se skončí za 0,1 až 0,2 s.

Stlačený vzduch, který se odebírá ze speciálního zásobníku, zabezpečuje současně i pohon vypínače.

Zkrácení vlastního vypínacího času se dosáhne tím, že spínací svorník se při vysunutí z pevného kontaktu v určité optimální vzdálenosti zastaví asi na 0,03 s. Při této vyzkoušené vzdálenosti je možné oblouk nejvýhodněji uhasit a svorník pokračuje ve svém pohybu dále až do potřebné izolační vzdálenosti už bez oblouku (obr. 134).



Obr. 134. Rychlostní diagram zapínání a vypínání tlakovzdušného vypínače

Mezi velké přednosti tlakovzdušného vypínače patří úplné vyloučení možnosti požáru a výbuchu. Zvláště je vhodný pro opětovné zapínání.

Provoz vypínačů zdražuje potřeba kompresorové stanice a náročnosti při výrobě, provozu a opravě.

Vypínače se vyrábějí v provedení:

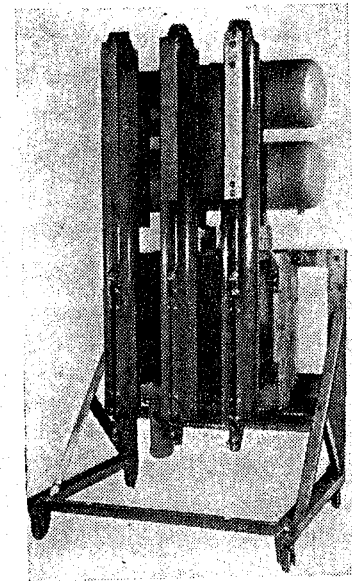
a) nástěnném — 3 až 35 kV, 600 až 3000 A, 200 až 600 MVA; vzduchojem je umístěn nad základem vypínače (obr. 135a),

b) sloupovém — do 35 kV, 1000 MVA, póly kolmé na základní desku a vzduchojem tvoří část nosné konstrukce (obr. 135b),

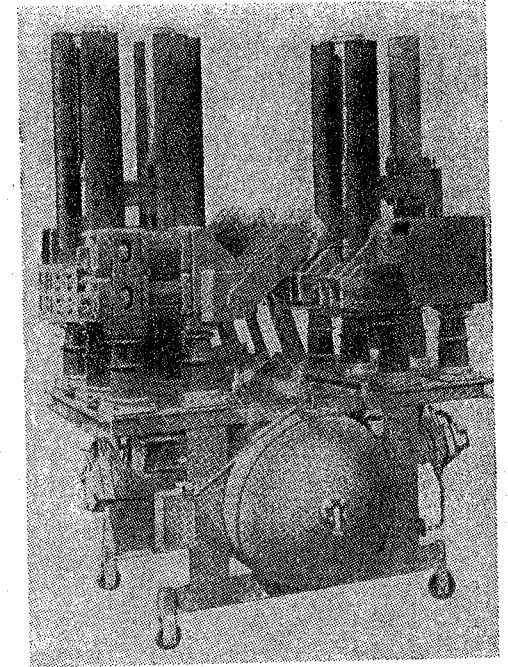
c) pro venkovní montáž — vypínače vvn obvykle s vodorovnými zhasacími komorami (obr. 140 a 141).

9.6.2. Provedení nástěnného tlakovzdušného vypínače vvn

Typické provedení nástěnného tlakovzdušného vypínače je na obr. 135a, 136a (typ CNR — EJF Brno, n. p.). Tři póly vypínače 1 jsou namontovány spolu s ovládacím mechanismem na základní desce 2, připevněné na stěnu kobky v rozvodně. Nad základní deskou je umístěn vzduchojem 3. Vzdáleně od vypínače je v rozváděčové



a)



b)

Obr. 135. a) Nástěnný tlakovzdušný vypínač typu CNR na 22 kV, 1000 A, 400 MVA, EJF Brno, n. p., b) sloupový tlakovzdušný vypínač typu DE na 20 kV, 12 000 A, 3000 MVA se dvěma zhasacími komorami v sérii, firma BBC

skříni umístěn ovládací ventil 4. S vypínačem je spojen tenkými trubkami 5 a 6 a se vzduchojemem trubkou 7. Objem vzduchojemu stačí na jedno zapnutí a vypnutí. Jen vypínače s opětovným zapínáním musí mít dva vzduchojemy nebo jeden vzduchojem s dvojnásobným objemem.

Vzduch se samočinně doplňuje z hlavní nádrže kompresorové stanice ventilem 4 trubkou 8, v níž je zapojen zpětný ventil.

Všechny póly jsou trubkami 9 spojeny se vzduchojemem přes společný ventil 10.

Pól vypínače má v izolačním válci 11 uloženu zhášecí komoru 12, v níž je zachycena objímka pevného tulipánového kontaktu 13. Jeho provedení je na obr. 137.

Do kontaktní růžice se zespoda zasouvá spínací svorník 14, s opalovacím nástavcem 15. Svorník je trvale vodivě spojen s kontaktem 16. Ten je vyveden na spodní přívodní svorku 18. Přívod proudů k hornímu kontaktu zajišťuje kovová vložka zhášecí komory 12, spojená s horní svorkou 17.

Spínací svorník se ovládá pákou 19 z tvrzeného izolantu, která je pevně spojena s ovládacím hřídelem 20. Ovládací hřídel se natáčí dvojitým pístem pneumatického pohonu pomocí páky 22. Ovládací píst je uložen ve válci 23 a je společný pro všechny tři póly.

Zapíná se i vypíná se ovládacím ventilem 4 stlačením tlačítka ZAP nebo VYP. Tlačítka jsou přístupná z panelu rozváděče. Jejich pohyb se přenáší soustavou vahadel na ventilové kuličky 24 nebo 25. S vahadly jsou spojeny pneumatické zdrže, které zajišťují spínací funkci ventilů i při krátkých ovládacích impulsích. Ventily je možné ovládat i dálkově elektromagnety 28 a 29.

Mezi ventil 4 a vzduchojem je zapojen hlídač tlaku 30, který nedovolí vykonat spínací úkony při nedostatečném tlaku ve vzduchojemu; snížení tlaku dálkově signalizuje.

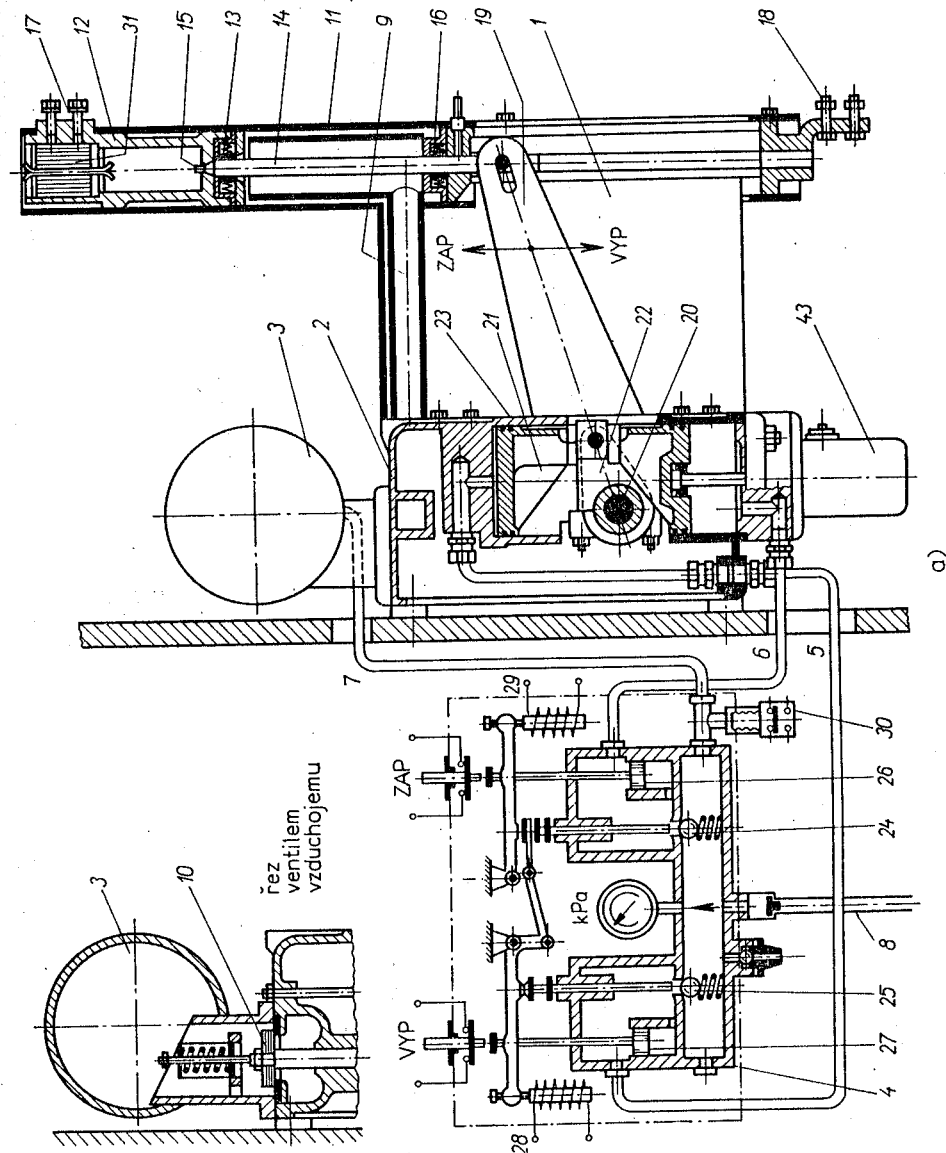
Při vypínání se pohybem hřídele 20 otevře ovládací ventil 10 a stlačený vzduch proudí trubcí 9 kolem spínacího svorníku do zhášecí komory, zhasne oblouk a přes tlumič 31 uniká do ovzduší.

Mechanismus ovládacího ventilu je na obr. 136b.

Talíř ventilu 10 se nadzdvihuje proti tlaku pružiny 33 kladkou 34, působící na ventilovou tyč 32. Kladka je uložena na čepu 35, který spojuje zdvihací páky 36 a 37. Páka 37 je kloubově spojena s převodovou pákou 38, a ta je klikou 40 spojena s ovládacím hřídelem 20.

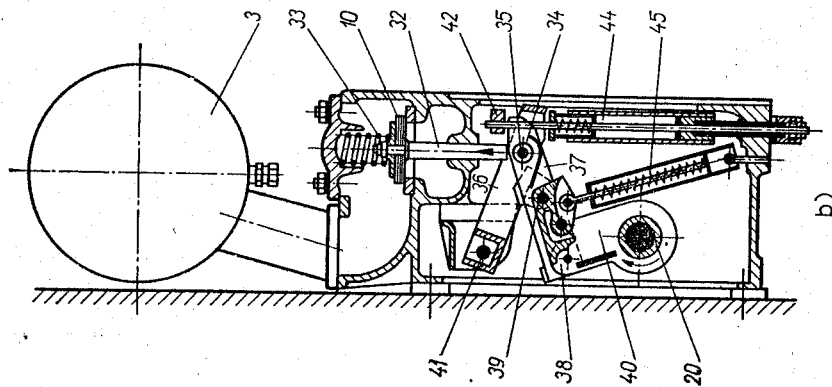
Při vypínání se hřídel i s klikou 40 otáčí doprava a soustava skloubených pák 37 a 38 tlačí na čep 35. Tímto tlakem se nadzdvihne otočná páka 36 a kladička ve vhodném okamžiku (podle polohy spínacího svorníku) otevře ventil 10, který vpustí stlačený vzduch do zhášecích komor všech tří pólů.

Narazí-li prodloužený nos páky 37 na narážku 42, prohnou se



Obr. 136a) Řez tlakovzdušným vypínačem typu CNR

1 — pól vypínače, 2 — základní deska, 3 — vzduchojem, 4 — ovládací ventil, 5 — potrubí pro vypínání, 6 — potrubí pro zapínání, 7 — spojení se vzduchojemem, 8 — přívod z kompresorové stanice, 9 — přívod vzduchu do zhašecí komory, 10 — ventil vzduchojemu, 11 — izolační válec jednoho pólu, 12 — kovová vložka zhašecí komory, 13 — pevný tulipánový kontakt, 14 — spínací svorník, 15 — opalovací nástavec, 16 — spodní tulipánový kontakt, 17 — horní svorka, 18 — spodní svorka, 19 — ovládací páka, 20 — ovládací hřídel, 21 — píst tlakovzdušného pohonu, 22 — páka pístu, 23 — válec tlakovzdušného pohonu, 24 — zapínací ventil, 25 — vypínací ventil, 26, 27 — tlakovzdušné držáky, 28, 29 — elektromagnety dálkového ovládní, 30 — hřídelec tlaku, 31 — zvukový tlumič, 43 — signalizační válec

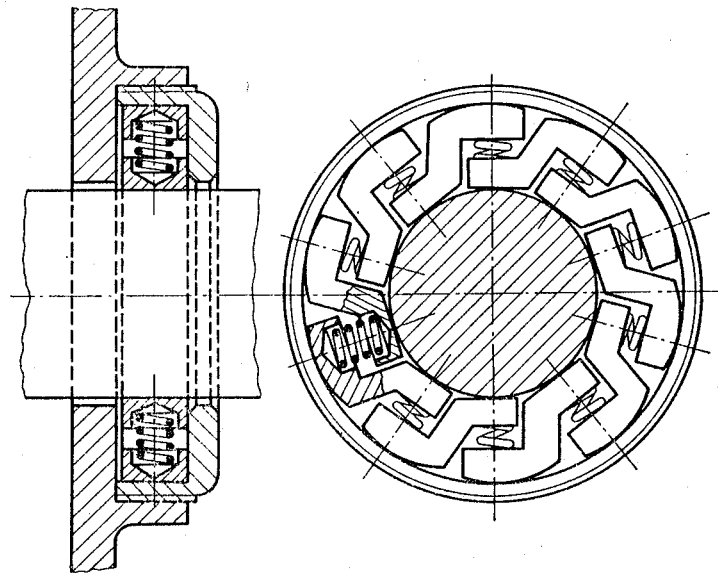


Obr. 136b) Ovládací ventil vzduchojemu.

3 — vzduchojem, 10 — talíř ovládacího ventilu, 20 — ovládací hřídel, 32 — ventilační tyč, 33 — ventilová pružina, 34 — zdvihací kladka, 35 — čep kladky, 36, 37 — zdvihací páky, 38 — převodová páka, 39 — spojovací čep páky, 40 — klíka ovládacího hřídele, 41 — otočný čep, 42 — narážka, 44 — tlumič narážů, 45 — vratná pružina

skloubené páky 37 a 38 v čepu 39 nahoru, tlak kladky se uvolní a pružina 33 uzavře ventil. Narážka 42 je nastavena tak, že ventil přepustí jen takové množství vzduchu, které právě stačí na jeho uhašení.

Po skončení úkonu se páky 37 a 38 tahem pružiny 45 vrátí do své mrtvé polohy a jsou tak připraveny pro další zapůsobení.



Obr. 137. Tulipánový kontakt tlakovzdušných vypínačů

Při spínání je ventil uzavřen. Stav vypínače signalizuje signalizační válec 43, ovládaný zvláštním táhlem (obr. 136 a).

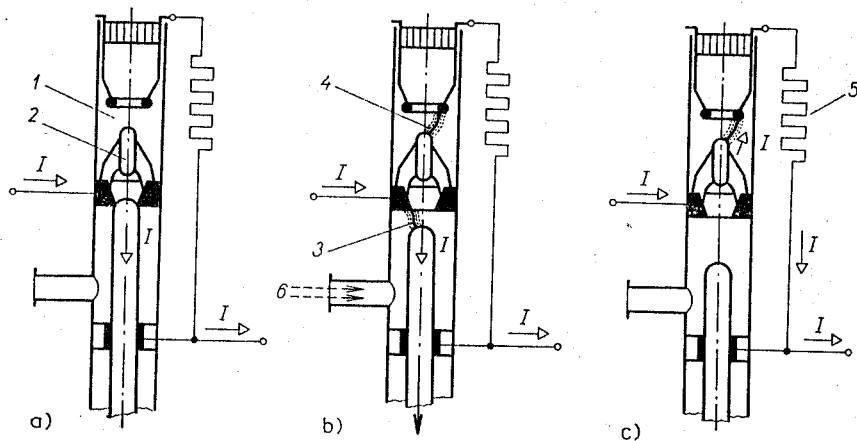
Od roku 1975 byla u nás výroba těchto vypínačů zastavena. Jsou nahrazovány máloolejovými vypínači vyráběnými v licenci fy Delle.

9.6.3. Tlakovzdušné vypínání s odporovým zhašením

Velmi rychlé uhašení oblouku způsobuje v síti značné přepětí. Jeho vznik se v poslední době omezuje zhašecím odporem, který se při vypínání na krátkou dobu (0,05 s) zapojí do vypínaného obvodu. Hoření oblouku se tím trochu prodlouží, přepětí nevznikne a kromě toho odpor utlumí vlastní kmity zotaveného napětí.

Velikost zášecího odporu bývá 30 až 300 Ω . Do obvodu se zapojuje buď mechanicky — pohybem spínacího svorníku, nebo samostatně prostřednictvím oblouku (obr. 138).

Na obr. 139 je řez tlakovzdušným vypínačem s odporovým zášením a ve sloupovém provedení firmy BBC, nejnovějšího typu DE. Od našich vypínačů se liší jinou úpravou spínacích prvků.



Obr. 138. Zapojení zášecího odporu pomocnou elektrodou — a) před vypnutím, b) během hoření oblouku, c) těsně po uhašení hlavního oblouku, zášecí odpor je zařazen do série s pomocným obloukem

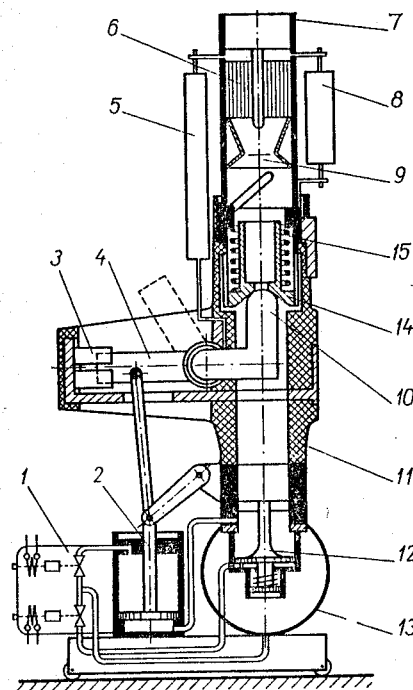
1 — jiskřiště, 2 — pomocná elektroda, 3 — hlavní oblouk, 4 — pomocný oblouk, 5 — zášecí odpor, 6 — proud zášecího vzduchu

Na masivní pevný kontakt 10 s kulovou plochou dosedá tlakem pružiny 15 pohyblivý kontakt 14. Při vypínání se dostane stlačený vzduch hlavním ventilem 12 do prostoru zášecí komory v tělese pólu 11. Tlakem vzduchu se nadzdvihne pohyblivý kontakt a v místě přerušeni vznikne oblouk, který se proudem vnikajícího vzduchu uhasí. Pokud oblouk hoří, zapojí prostřednictvím elektrod pomocného jiskřiště zášecí odpor 5. Těsně po uhasnutí oblouku se s ním zapojí do série ještě i odpor 8 značné velikosti. Malý proud, který prochází oběma odpory, je přerušen odpojovačem 4. Jeho tlakovzdušný pohon je nastaven tak, že rozpíná až po ukončení vypínacího pochodu. Jeho hlavní úlohou je viditelné a trvalé rozpojení obvodu ve vypnutém stavu, neboť pohyblivý kontakt se po zaniknutí tlaku vzduchu vrátí tlakem kontaktní pružiny do zapnutého stavu.

Vypínače pro větší výkony se skládají ze dvou zášecích komor propojených nožem odpojovače (obr. 135 b).

9.6.4. Tlakovzdušné vypínače vvn

Tlakovzdušné vypínače jsou nejvíce používanými vypínači v přenosových systémech vvn. Vyrábějí se s těmi největšími, dnes možnými vypínacími schopnostmi. Princip jejich působení je v podstatě stejný jako u vypínačů vn, ale vlastní konstrukční řešení je u každého výrobce jiné.



Obr. 139. Řez sloupovým tlakovzdušným vypínačem s dvojitým odporovým zášením firmy BBC

1 — ovládací blok, 2 — pohon, 3 — pevný pérový kontakt odpojovače, 4 — odpojovací nůž, 5 — zášecí odpor o velikosti několika ohmů, 6 — chladič výfuku, 7 — výfukový trubkový nástavec, 8 — zášecí odpor velké hodnoty, 9 — pomocné jiskřiště, 10 — pevný kontakt, 11 — spodní část pólu, 12 — hlavní ventil, 13 — vzduchojem, 14 — pohyblivý kontakt, 15 — kontaktní pružina

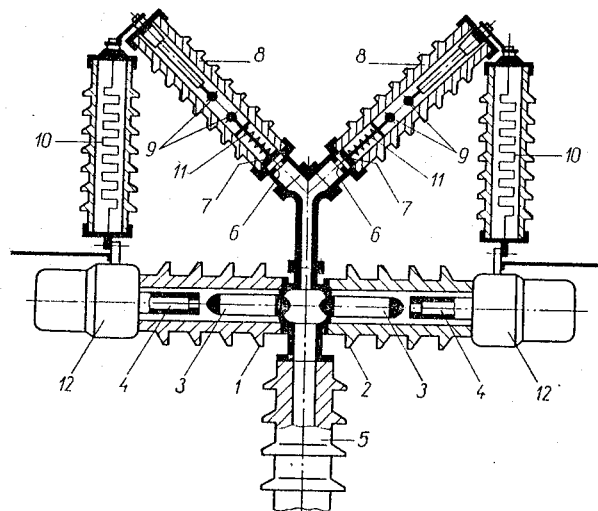
Všechny konstrukce jsou jednopólové a každý pól má vlastní tlakovzdušný pohon. To umožňuje rychlé jednopólové znovuzapínání.

Hlavní částí spínacího ústrojí a jejich funkci je možné vysvětlit podle obr. 140, na němž je řez jedním pólem tlakovzdušného vypínače BBC, který se používá i v naší rozvodné soustavě 200 kV.

Je složen ze tří samostatných jednopólových vypínačů, z nichž každý je uložen na samostatném podvozku a vybaven samostatným pohonem.

Každý pól má tři keramické sloupy, upravené v jedné rovině a vyztužené vždy dvěma kameninovými podpěrami. Na každém sloupu jsou dvě zhášecí komory. Sériovým zapojením zhášecích komor se dosáhne přerušení proudu na šesti místech.

V obou komorách 1 a 2 jsou letmo upevněny pevné kontakty 3 a pohyblivé kontakty 4. Při vypínání proudí stlačený vzduch s tlakem 1,6 MPa z dutiny nosného sloupu 5 do obou zhášecích komor a svým tlakem zapůsobí na písty pohyblivých kontaktů. Ty se oddálí od pevných kontaktů asi na vzdálenost 2 cm a v této vzdálenosti setrvají až do zhasnutí oblouku.



Obr. 140. Řez zhášecím systémem tlakovzdušného vypínače vvn typu DCVF, firma BBC
1, 2 — zhášecí komory jednoho sloupu, 3 — pevné kontakty, 4 — dýzové pohyblivé kontakty, 5 — nosný sloup, 6 — časová clona, 7 — píst, 8 — izolátor jiskřiště, 9 — elektrody jiskřiště, 10 — keramický zhášecí odpor, 11 — vratná pružina, 12 — ovládací soustava

Část stlačeného vzduchu vznikne přes časovou clonu 6 pod píst 7 v dutině šikmého izolátoru 8 a spojí elektrody jeho jiskřiště 9. Tím se k oblouku připojí paralelně keramický zhášecí odpor 10, omezující přepětí a umožňující zvětšení vypínacího výkonu.

Časová clona 6 je nastavena tak, že udrží elektrody jiskřiště zapnuté jen tak dlouho, pokud hoří oblouk. Po jeho zhasnutí vrátí

pružina 11 elektrodu 9 zpět do základní polohy a vypnutí je ukončeno.

Potom se působením tlaku vzduchu na ovládací soustavu 12 posune pohyblivý kontakt 4 do vzdálenosti 6 cm od pevného kontaktu a v této poloze setrvá až do opětovného zapnutí vypínače. Ve vypnutém stavu je zhášecí komora trvale naplněna stlačeným vzduchem, který při tlaku 1,6 MPa představuje dokonalý izolant.

U nás je výroba tlakovzdušných vypínačů vvn velkých výkonů soustředěna v o. p. Škoda Plzeň. Nejnovějším typem je vypínač VVR, řešený stavebnicovým systémem. Více než 90 % stavebních dílů je společných pro celou napětovou řadu 110 až 400 kV. Vypínače pro různá napětí vzniknou spojením různého počtu zhášecích komor.

Trojpólový vypínač tvoří tři samostatné póly, jejichž současná funkce je zajištěna elektrickým propojením řídicích ventilových bloků.

Vypínače VVR se dělají ve čtyřech typových velikostech:

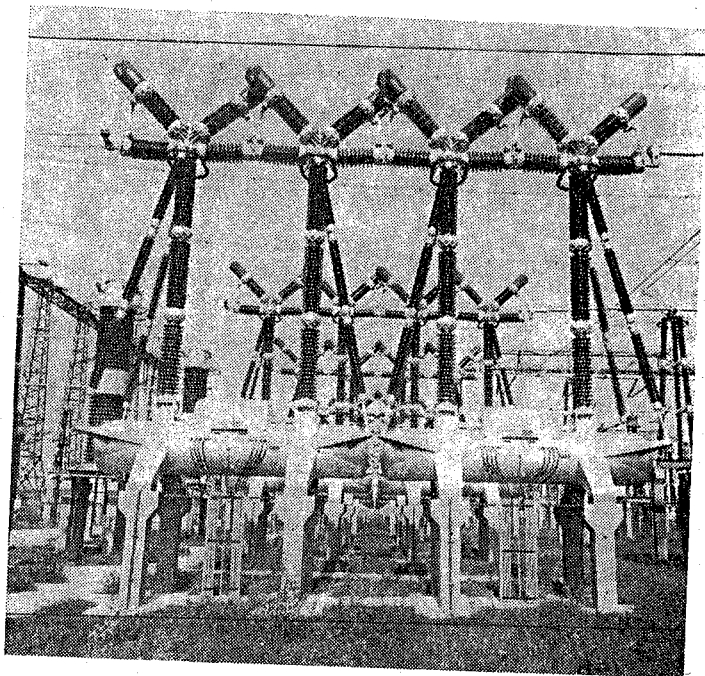
Typ	3 VVR 110	3 VVR 150	3 VVR 220	3 VVR 400
Jmenovité napětí [kV]	110	150	220	400
Jmenovitý proud [A]	1600	1250	1600	1600
Jmenovitý vypínací výkon [MVA]	6000	6500	12 500	25 000
Jmenovitý souměrný vypínací proud [A]	85 kA	65 kV	85 kA	92 kA

Celková doba vypnutí je 75 až 80 ms, doba hoření oblouku jen 15 ms!

Na obr. 141 je vypínač typu 3 VVR 400.

V jednom pólu má zapojeny do série čtyři zhášedla, jedno zhášedlo se skládá ze dvou zhášecích komor uspořádaných do tvaru V, které jsou upevněny na společné izolační podpěře. V porcelánovém tělese zhášecí komory je uložen pevný a pohyblivý kontakt, ovládaný stlačeným vzduchem. Vypínače nad 110 kV mají paralelně ke zhášecím komorám připojeny kondenzátory, umístěné ve vodorovných porcelánových tělesech. Určeny jsou pro rovnoměrné rozdělení napětí na jednotlivá zhášedla při vypínání a ve vypnutém stavu.

Nosné izolátory jsou duté a jimi se přivádí vzduch z tlakového zásobníku, tvořícího základní část podvozku. Ve vypnutém stavu



Obr. 141. Jednopolový tlakovzdušný vypínač vvn typu 3 VVR 400, 400 kV, 1600 A, vypínací proud 92 kA, zkratový výkon trojpolové skupiny 25 000 MVA, Škoda, o. p. Plzeň

vypínače je vnitřek podpěr pod tlakem, v zapnutém stavu je jejich vnitřní prostor větrán, aby nedošlo ke snížení elektrické pevnosti orosením při kolísání teploty. Jejich výška závisí na napětí. Tuhost zabezpečují tyčové izolační výztuhy, zakotvené v podvozku. Vypínače VVR nemají odporové zhášení.

V SSSR se vyrábějí tlakovzdušné vypínače podobných parametrů se svislými zhášecími komorami. První v naší nadřazené energetické soustavě byly právě sovětské vypínače.

Důležitým parametrem tlakovzdušných vypínačů vvn je hluk, který vzniká při jejich vypínání. Naše zdravotnické předpisy dovolují horní hranici 89,8 dB. Je to poměrně přísný požadavek, pro který některé nové zahraniční vypínače u nás nevyhovují.

Pro zmenšení hlučnosti se vypínače vybavují různými soustavami tlumičů.

9.7. MAGNETICKÉ VYPÍNAČE

Magnetické vypínače používají ke zhášení oblouku magnetické pole buzené vlastním vypínaným proudem. Magnetické pole vhájí oblouk do keramické zhášecí komory, vyplněné izolačními přepážkami, které vytvářejí v komoře velké šterbiny. Ve šterbinách se oblouk natahuje na větší délku, zplošťuje se a stykem s chladnými stěnami přepážek se i intenzívně ochlazuje.

Vypínač má buď jednu nebo několik vyfukovacích cívek, které se samočinně zapojují pohybem paty oblouku prostřednictvím vhodně umístěných opalovacích rohů. Schéma zapojení jedné vyfukovací cívkou je na obr. 142.

Výhodou magnetických vypínačů je, že nezpůsobují přepětí a to, že při vypínání jsou soběstačné. Jejich stav není vázán na stav cizího zhášecího prostředku. Při vypínání malých proudů je jejich hasicí účinek malý, a proto se zvětšuje přidavným foukáním stlačeného vzduchu. Konečná úprava magnetických vypínačů není ještě ve světě dořešena. Oblíbené jsou zejména v SSSR (6 kV, 2000 A, 400 MVA) a v USA. U nás se nevyrobí ani nepoužívají.

Na obr. 143 je magnetický vypínač francouzské výroby Merlin Gerin.

9.8. VYPÍNAČE S FLUORIDEM SÍROVÝM

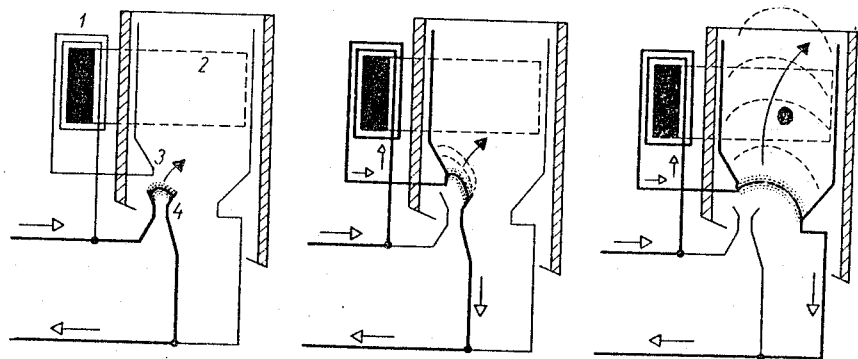
Jedním z nejnovějších a velmi rychle rozšiřovaných výkonových vypínačů je vypínač, používající ke zhášení oblouku elektronegativní plyn SF_6 . Prvořadou výhodou fluoridu sírového je účinné zhášení oblouku. Je podmíněno velmi příznivými poměry, které vznikají, obklopuje-li plyn hořící oblouk. Svými vlastnostmi urychluje obnovení elektrické pevnosti vypínací dráhy.

Druhou cennou vlastností SF_6 je jeho elektrická pevnost, která bývá podle tlaku dvakrát až třikrát větší než elektrická pevnost vzduchu. To umožňuje podstatné zmenšení rozměrů vypínače.

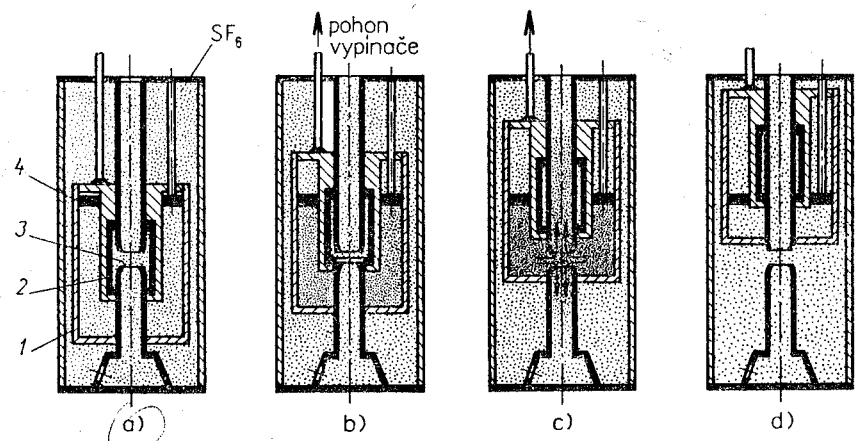
První pokusy s používáním plynného SF_6 byly podniknuty asi v roce 1950.

Nejobvyklejší moderní způsob je na obr. 144. Pracuje s tzv. samoplynným systémem. Proudění plynu, potřebné k uhašení oblouku a obnovení izolační pevnosti, se vytváří pohybem vyfukovacího válce na pevný píst.

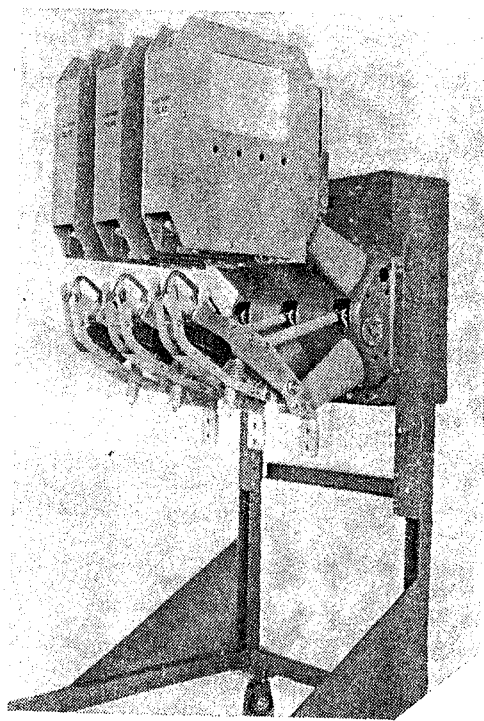
Proudovou dráhu v zapnutém stavu vytvářejí dva pevné kontakty upravené jako zhášecí dýzy, přemostěné posuvným tulipáno-



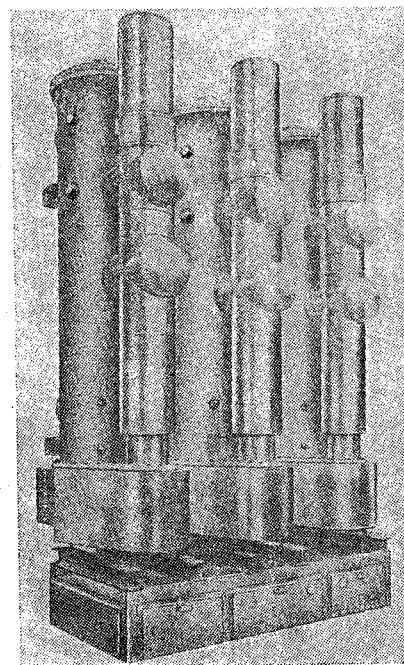
Obr. 142. Postup zhašení oblouku v magnetickém vypínači
 1 — výfukovací cívka, 2 — póly výfukovací magnetu, 3 — pomocný opalovací roh,
 4 — hlavní kontakty



Obr. 144. Činnost zhašecí komory vypínače s fluoridem sírovým
 a) zapnutý stav, b) začátek přerušení proudu, c) hoření oblouku, d) vypnutý stav
 1 — výfukovací válec, 2 — spínací kontakt, 3 — zhašecí dýzy, 4 — píst



Obr. 143. Magnetický vypínač
 typu DST 1-50B, na 20 kV,
 2500 A, 750 MVA, firma Merlin
 Gerin, Francie



Obr. 145. Trojpólový vypínač s fluoridem
 sírovým, 245 kV, 15 GVA, firma BBC

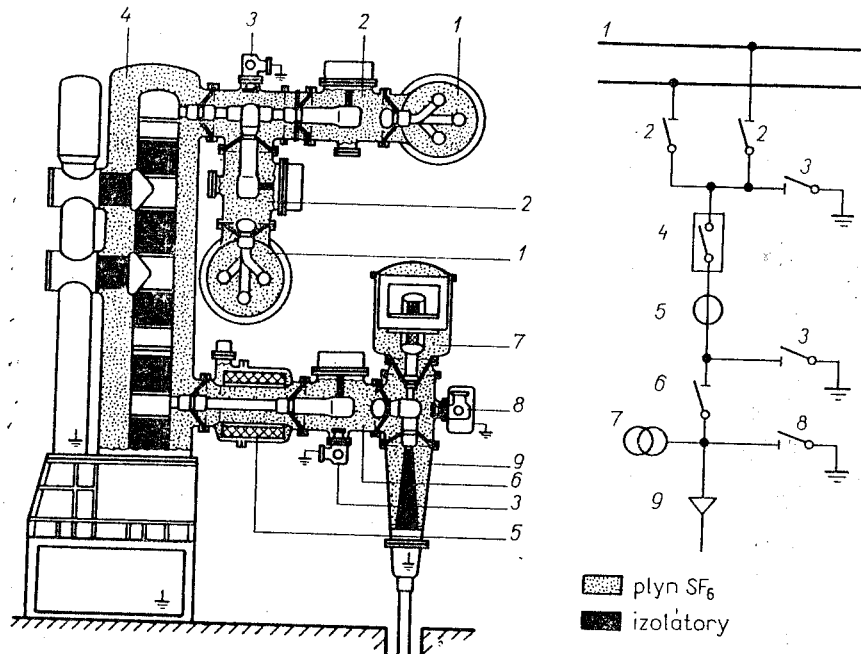
vým kontaktem, který je pevně spojen s tělesem izolačního vyfukovacího válce. Válec je ovládán táhlem spínacího mechanismu.

Pohybem válce směrem do vypnuté polohy — proti pevnému pístu — se plyn ve válci stlačuje. V okamžiku oddělení kontaktů je vzniklý tlak tak velký, že stačí k energickému „sfouknutí“ oblouku podobně jako je tomu u vypínačů tlakovzdušných. Zhášení je urychleno tím, že oblouk, který hoří mezi oběma dýzami, je tlakem zhášecího plynu a zároveň i elektrodynamickými silami vháněn do vnitřku zhášecích dýz, které ho přitom ochlazují, takže za dobu 5 až 15 ms zhasne.

Vypínače na vyšší napětí mají několik těchto zhášecích komor zapojených do série.

Tlak plynu se udržuje mezi 420 až 350 kPa (při 20 °C). Příklad zhotoveného vypínače firmy BBC je na obr. 145.

Zájem o vypínače SF₆ vzrostl asi od roku 1960, kdy se přišlo na to, že fluorid sírový se může použít i k velmi účelnému odizolování všech živých částí mezi sebou i proti zemi. Tak vznikly tzv. za-

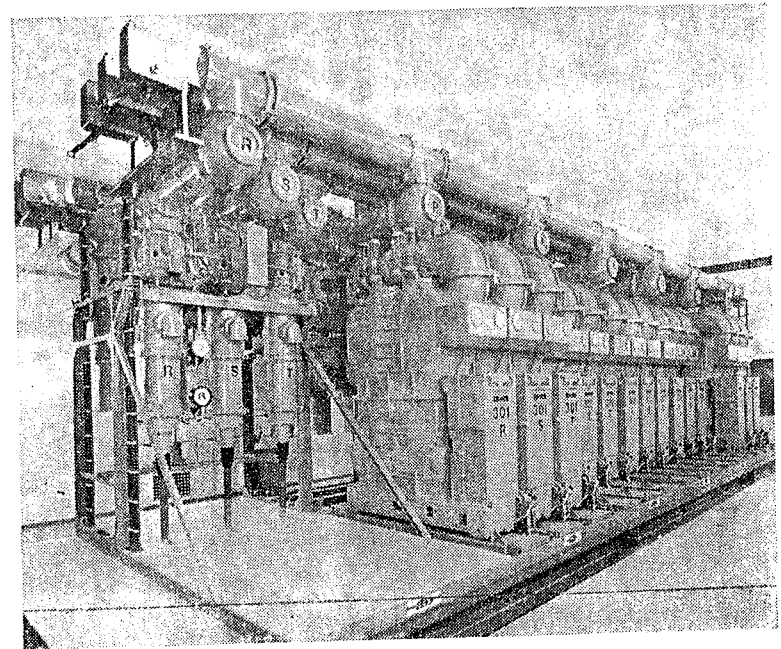


Obr. 146. Řez jedním pólem zapouzdrěné rozvodny SF₆
 1 — přípojnice, 2 — odpojovač, 3 — uzemňovač, 4 — výkonový vypínač, 5 — proudový měřicí transformátor, 6 — vývodový odpojovač, 7 — napěťový měřicí transformátor, 8 — rychlozkratovač a uzemňovač, 9 — kabelová koncovka

pouzdrěné rozvodny, u nichž všechny aktivní části rozvodny (přípojnice, odpojovače, vypínače, měřicí transformátory, uzemňovače a kabelové koncovky) jsou uzavřeny v kovových utěsněných blocích naplněných stlačeným SF₆.

Příklad uspořádání jednoho pólu zapouzdrěné rozvodny je na obr. 146, na obr. 147 je pohled na celou rozvodnu.

Největší předností zapouzdrěných rozvodnů jsou jejich velmi malé rozměry v porovnání s klasickými rozvodnami venkovními. Čím vyšší je jmenovité napětí, tím je relativní úspora prostoru větší. Např. u napětí 123 kV zabírá zapouzdrěná rozvodna jen 10 % prostoru klasické rozvodny, při napětí 750 kV už jen 3 %.



Obr. 147. Zapouzdrěná rozvodna SF₆ (Calor EMAG, NSR)

Je přirozené, že tomu je úměrná i vyšší cena (2 až 3krát), to však při šetření prostorem, zvláště ve velkoměstech, není rozhodující.

Se zřetelem k bezpečnosti práce je důležité i to, že všechny živé části zapouzdrěné rozvodny jsou uzavřeny v uzemněných pevných krytech, takže představují dokonalou ochranu před nebezpečným dotykem.

Předpokládá se, že zapouzdřené rozvodny s SF₆ se budou stavět na napětí do 765 kV.

U nás se vypínače a zapouzdřené rozvodny s fluoridem sírovým vyvíjejí v EJF Brno. Pro vvn rozvodny ve stíněných prostorech je musíme dovážet. První zapouzdřená rozvodna 110 kV byla dána u nás do provozu v r. 1974 v pražském metru. Maďarská firma Ganz připravuje výrobu vypínačů s SF₆ pro 110 až 750 kV v licenci BBC.

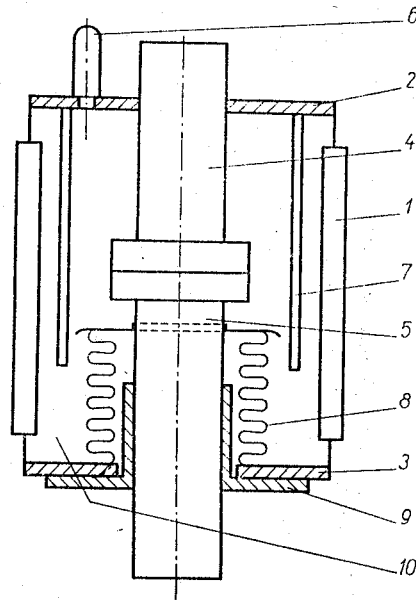
9.9. VAKUOVÉ VYPÍNAČE

Vakuové vypínače jsou dalším typem moderních vypínačů využívajících netradiční způsoby zhasnutí oblouku. Působí tak, že k oddálení kontaktů při vypínání dochází ve vakuu, které obsahuje velmi málo vodivých částic, kterými by se mohl oblouk mezi kontakty udržovat.

Uspořádání vakuového vypínače je na obr. 148.

Vakuová komora 10 je čerpací trubicou 6 vyčerpána na vakuum asi 10⁻¹⁰ až 10⁻¹² Pa.

Po odčerpání se čerpací trubka zataví. Pohyblivý svorník 5 je těsně spojen s vlnovcem 8, který umožňuje jeho pohyb i bez poru-



Obr. 148. Uspořádání vakuového vypínače (firma Toshiba, Japonsko)

1 — keramické nebo skleněné válcové pouzdro, 2 — horní příruba, 3 — dolní příruba, 4 — pevný svorník s kontaktem, 5 — pohyblivý svorník s kontaktem, 6 — čerpací trubka, 7 — stínící štít proti účinkům oblouku, 8 — vlnovec, 9 — vedení pohyblivého svorníku, 10 — vakuová komora

šení těsnosti. Převod proudu obstarává přiměřené vedení svorníku v tělese příruby 9.

Při vypínání se oddálí pohyblivý kontakt od pevného o několik milimetrů až o několik centimetrů. Oblouk mezi kontakty vznikne odpařením kovu stykových ploch. Působením tepla oblouku mají kovové páry velmi vysoký tlak a při nejbližším průchodu proudem nulou velmi lehce expandují do okolního prostoru s nepatrným tlakem, takže mezi elektrodami se po krátkém čase vakuum opět obnoví.

Kovové páry kondenzují na povrchu kontaktů a na zvláštním stínícím štítu 7, který obklopuje kontaktní prostor a ochraňuje stěny komory před usazováním kovového kondenzátu.

Výhodou takto upraveného zhášedla je malá tepelná energie oblouku, malá vzdálenost kontaktů a krátké trvání oblouku. Problémem přitom je postupné zhoršování vakua póry materiálu a molekulami plynů, které se z něho časem uvolňují. Moderní vakuová technika a volba vhodného kontaktního kovu zhoršování vakua téměř vylučují.

Nové vakuové vypínače mají vynikající vypínací schopnost, kompaktní konstrukci a malé rozměry. Kontakty nevyžadují žádnou údržbu a zabezpečují velmi velký počet sepnutí. Nebezpečí přepětí je omezeno správnou volbou materiálů a přidavným přizpůsobením vypínače.

Japonská firma Toshiba běžně vyrábí vakuové spínače do napětí 7,2 kV a proudu 600 až 1200 A, pro jmenovitý vypínací proud až 25 kA, ve výrobě jsou už i vypínače na napětí 36 kV a proud 3000 A.

Ve Velké Británii jsou v provozu vakuová zhášedla do 11 kV se jmenovitým vypínacím proudem 13,1 a 26,2 kA (250 a 500 MVA).

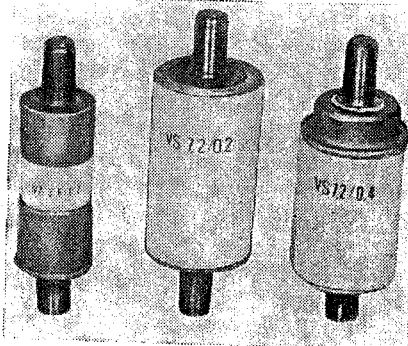
U nás se vývojem keramických zhášedel zabývá TESLA Vršovice, n. p. a VŮSE Běchovice. Vyvinuty jsou tři typy: VZ 3,6/0,2 (3,6 kV, 200 A), VS 7,2/0,2 (7,2 kV, 200 A) a VST 7,2/0,4 (7,2 kV, 400 A), obr. 149a.

Používají se v elektromagnetických stykačích pro doly (VZ 7,2/0,4), obr. 149b. Vakuový stykač má při 7,2 kV zdvih jen 4 mm, což velmi zjednodušuje jeho pohon a zmenšuje mechanické namáhání kontaktů.

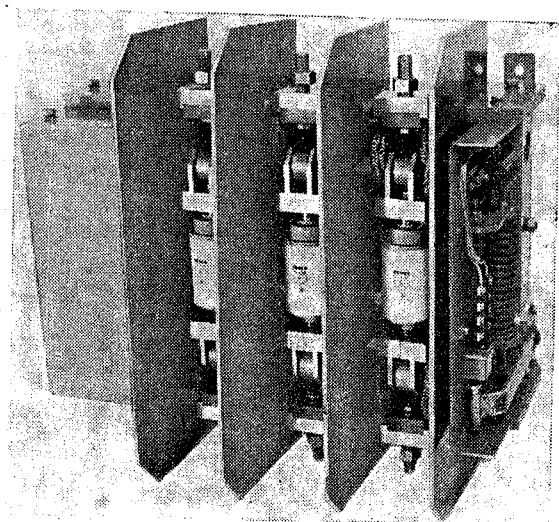
9.10. VÝBUŠNÉ VYPÍNAČE

Vypínače s výbušnou náloží se používají ve speciálních případech tam, kde se žádá extrémně krátká doba spínacího úkonu. Jde o takové případy, kdy ojediněle může zkratový proud přestoupit vypínací

Obr. 149. a) Keramická zhášedla typu VS 3,6/0,2; VS 7,2/0,2; VS 7,2/0,4, TESLA Vršovice, n. p. b) vakuový stykač typu VST-R 7,2/0,4 na 7,2 kV, 400 A, VÚSE Běchovice



a)



b)

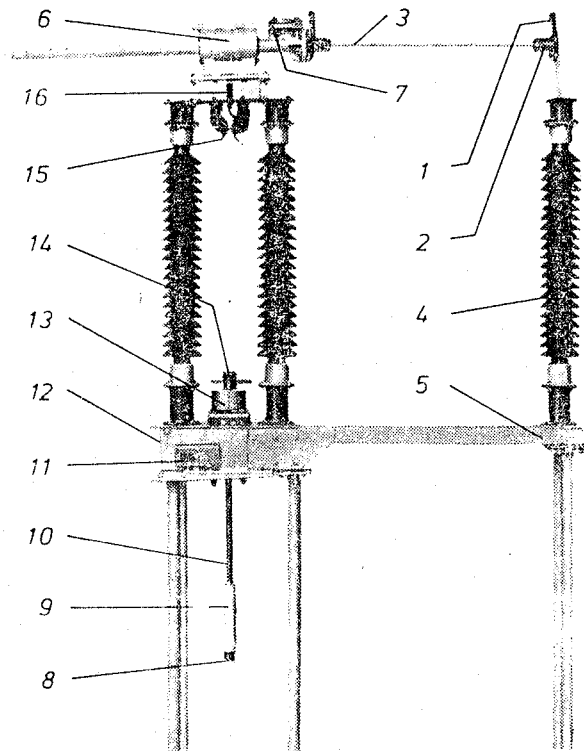
schopnost vypínače a kde by jeho dimenzování na krajní vypínací výkon bylo neekonomické nebo technicky nemožné.

U nás byl vyvinut výbušný šípový zkratovač a přerušovačem typu PA VZC 110 (Energovod, n. p., České Budějovice) pro omezení rozsahu následků poruch, které mohou vzniknout uvnitř velkých transformátorů.

Aby následky poruchy byly co nejmenší a aby se vyloučilo nebezpečí požáru transformátoru, musí se zkratový proud přerušit za kratší dobu, než jsou vypínací doby těch nejrychlejších výkonových vypínačů. Je to obzvlášť důležité, jestliže je síť, na kterou je transformátor připojen, vybavena opětovým zapínáním.

Při poruše transformátoru dají normální nadproudové ochrany povel zvláštní zapalovací automaticke, která dá impuls k odpálení výbušniny ve výměnné nábojnici rychlozkratovače (obr. 150), který za dobu asi 43 ms zkratuje přívody transformátoru. Mezitím působí automatika opětného zapnutí (OZ) a v první přestávce, po krátkém přerušení zkratového proudu, odpojí se transformátor od sítě pohyblivým kontaktem přerušovače, který se uvede do pohybu opět výbuchem nálože, zapálené automatikou. Odpojení se uskuteční za dobu 77 ms po přerušení zkratového proudu opětným zapnutím.

Popsaný zkratovač s přerušovačem je určen pro síť 110 kV, max 2500 MVA.



Obr. 150. Výbušný šípový rychlozkratovač s přerušovačem typu PA VZC 110
 1 — přípojovací svorník přerušovače, 2 — pevný kontakt přerušovače, 3 — vypínací svorník přerušovače, 4 — izolátor s kontaktem, 5 — rameno s izolátorem, 6 — zapalovací automaticke, 7 — nábojnice přerušovače, 8 — nábojnice zkratovače, 9 — nábojová komora, 10 — trubková hlaveň, 11 — signalizační zařízení, 12 — základ, 13 — měřicí transformátor proudu, 14 — zkratovací šíp, 15 — pevný kontakt zkratovače, 16 — přípojovací svorník zkratovače

9.11. SPÍNAČE S POLOVODIČOVÝMI SOUČÁSTKAMI

Vývoj spínací techniky půjde pravděpodobně směrem využívání výkonových polovodičových součástek, které už dnes umožňují bezkontaktní spínání. Základním prvkem polovodičového spínače jsou výkonové tyristory, jimiž se dá dosáhnout velmi krátkých spínacích dob.

9.12. RYCHLOVYPÍNAČE

Rychlovypínače se používají jako ochranné nadproudové vypínače na stejnosměrný proud, tedy např. pro spínání a ochranu výkonových usměrňovačů, na elektrických lokomotivách, v měnících pro napájení a ochranu traťových úseků, ve válcovnách, při elektrolyze apod. Zkratové proudy ve stejnosměrných obvodech jsou značné, neboť jsou omezeny jen jejich činným odporem. Proto úlohou rychlovypínače je:

a) vypnout obvod dříve než zkratový proud dosáhne maximální hodnoty,

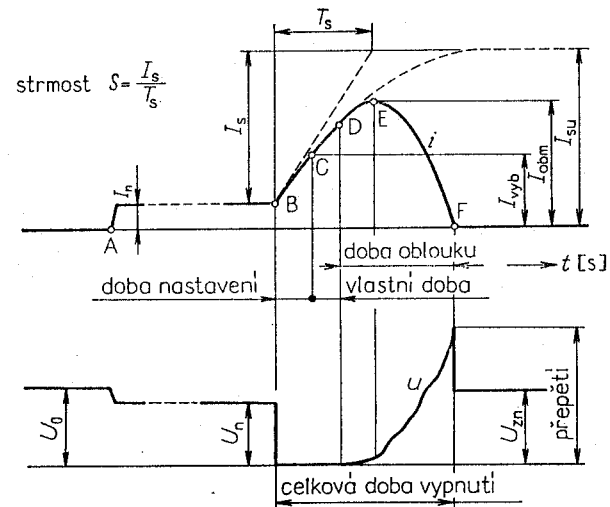
b) účinně uhasit oblouk, který při vypínání vznikne.

Omezení zkratového proudu dosáhneme tím, že speciálně konstruovaná spoušť zabezpečí vypnutí zkratu šestkrát až desetkrát rychleji než samočinné vypínače běžného provedení. Aby to bylo možné, musí spoušť reagovat nejen na velikost proudu, ale i na jeho strmost. Průběh omezení zkratového proudu rychlovypínačem je na obr. 151.

Od vzniku zkratu (bod B) vzrůstá proud exponenciálně s časovou konstantou T_s až do nastavené hodnoty vybavovacího proudu nadproudové spouště (bod C), kdy se uvede v činnost uvolňovací mechanismus vypínače. Uvolnění trvá určitou dobu, která se nazývá vlastní doba vypínače, takže proud ještě dále vzrůstá až do bodu D, kdy se začnou oddalovat kontakty. Vlastní doba vypínače udává dobu od okamžiku, v němž proud dosáhne nastavené vypínací hodnoty, až do okamžiku, kdy se začnou kontakty od sebe oddalovat. Je mírou kvality vypínače a bývá 3 až 10 ms. Po rozpojení kontaktů vznikne mezi nimi oblouk, jehož odpor se s narůstající délkou zvětšuje; zpočátku jen mírně, takže se proud ještě chvíli zvětšuje, ale už ne tak prudce (bod E). Dalším oddalováním kontaktů se odpor oblouku zvětšuje a proud se zmenšuje. Přispívá k tomu i prodloužení oblouku vyfukovací cívkou, která ho svým magnetickým polem vhání do zhasací komory, až úplně zhasne (bod F).

Z průběhu je vidět, že skutečně dosažený maximální proud — tzv. omezený zkratový proud — je menší než ustálený zkratový proud I_{su} , který by obvodem procházel, kdyby v něm nebyl zapojen rychlovypínač.

Vyznačený průběh se od průběhu omezení zkratového proudu pojistkou liší tím, že za působení vypínače se nezmenšuje proud tak rychle, jako je tomu u pojistky (obr. 101). To proto, že prodloužení dráhy oblouku u pojistky vznikne najednou v celé délce přetaveného pojistkového vodiče, ale u vypínače se oblouk jen postupně prodlužuje, tak jak sleduje pohyb oddalujících se kontaktů.



Obr. 151. Průběh omezení zkratového proudu stejnosměrným rychlovypínačem
 U_0 — napětí naprázdno, U_n — jmenovité napětí, U_{zn} — zotavené napětí, I_n — jmenovitý proud, I_s — zkratový proud, I_{su} — ustálený zkratový proud, I_{vyb} — vybavovací proud, I_{obm} — omezený zkratový proud

Aby přepětí, které vzniklo během hoření oblouku, nebylo příliš velké a neohrožovalo izolaci, nesmí být oblouk zhasen příliš rychle. Hašení oblouku zajišťují u každého rychlovypínače mohutné vyfukovací magnety (obr. 152).

Rychlovypínače se dají upravit pro vypínání přímého proudu nebo zpětného proudu. Rychlovypínače na zpětný proud se používaly k ochraně rtuťových usměrňovačů při jejich tzv. zpětném zápalu. Zpětným zápalem je poruchový stav, během něhož se zruší usměrňovací účinek usměrňovače a ze sítě jde do něho opačným

směrem velký zkratový proud. Jeho účinkem by mohl být usměrňovač doslova demolován, pokud by nebyl za několik milisekund odpojen.

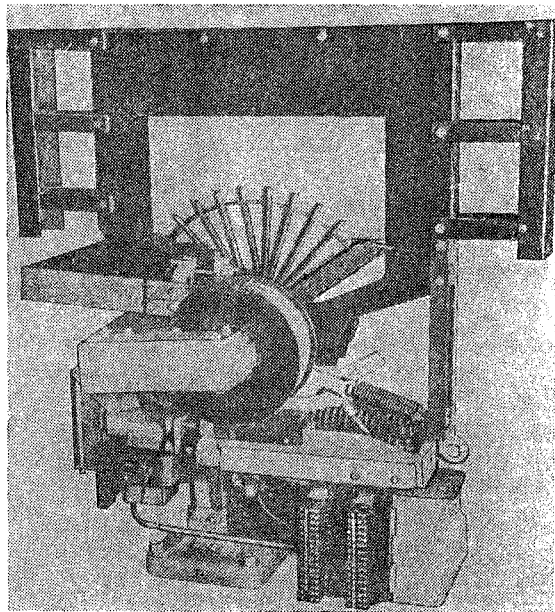
Vybavovací mechanismus rychlovypínačů pracuje na principu:

- a) odpalovací cívky,
- b) pohyblivé kotvy,
- c) přídržného magnetu.

a) *Odpalovací cívka* využívá k rychlému uvolnění zvláštního západkového mechanismu dynamické síly mezi dvěma vodiči, jimiž prochází velký proud. Touto cívkou byly vybaveny starší rychlovypínače ČKD typu RV.

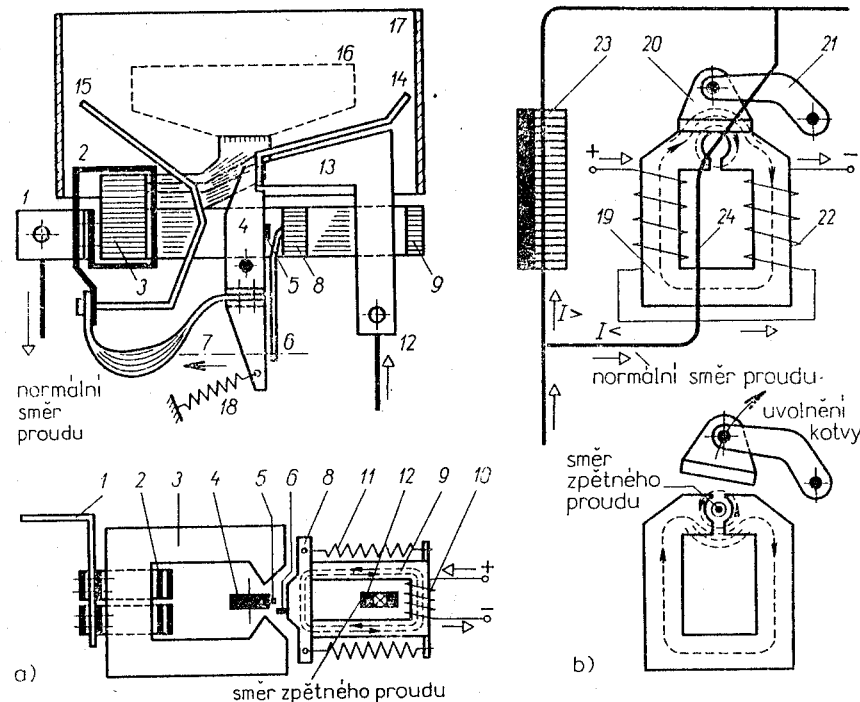
b) Vypínače s *pohyblivou kotvou* drží hlavní pohyblivý kontakt v zapnuté poloze normálním západkovým mechanismem volnoběžky. Jestliže proud procházející vypínačem dosáhne nařizené velikosti, uvede se jeho elektromagnetickým účinkem do pohybu kotva polarizovaného elektromagnetu (obr. 153a), a ta narazí na páku hlavního kontaktu a způsobí jeho rychlé odpojení.

Tímto uspořádáním se vyloučí vliv mrtvého času volnoběžky na rychlost uvolnění. Polarizační cívka napájená z cizího stejnosměr-



Obr. 152. Rychlovypínač typu VRN 2/3000 s přídržným magnetem a vyfukovací cívkou, 1650 V, 2500 A, ČKD Praha, o. p.

ného zdroje umožňuje nastavení požadované citlivosti vypínače pro přímý nebo zpětný proud. Při zapojení podle obr. 153a vypíná rychlovypínač při zpětném proudu mnohem dříve než při přímém proudu. Jak je z obr. 153a vidět, je magnet polarizační cívky (nazývaný též přídržným magnetem) buzen polarizační cívkou i hlavním proudem vypínače, procházejícím masivní přípojnicí hlavního pevného kontaktu, stejným směrem. K odtržení kotvičky a k uvolnění kotvičky je zapotřebí určité síly, tedy jistý proud procházející vypí-



Obr. 153. Princip činnosti rychlovypínače na zpětný proud

a) s pohyblivou kotvou, b) s přídržným magnetem

1 — přípojnice pohyblivého kontaktu, 2 — nadproudová a vyfukovací cívka, 3 — jádro cívky, 4 — otočný pohyblivý kontakt, 5 — jádro cívky, 6 — otočný pohyblivý kontakt, 7 — ocelový nárazník na pohyblivém kontaktu, 8 — uvolňovací páka mechanismu, 9 — převod na uvolňovací mechanismus, 10 — polarizační cívka, 11 — přídržné pružiny pohyblivé kotvy, 12 — přípojnice pevného kontaktu, 13 — pevný kontakt, 14 — opalovací roh pevného kontaktu, 15 — opalovací roh pohyblivého kontaktu, 16 — prodloužený pól vyfukovacího magnetu, 17 — zhášecí komora, 18 — kontaktní pružina, 19 — přídržný magnet, 20 — kotva přídržného magnetu, 21 — páka přídržného elektromagnetu, 22 — přídržná cívka, 23 — indukční bočník, 24 — demagnetizační kabel

načem, neboť vybavovací magnet je jím buzen. Při zpětném proudu se proud v masivní přípojnici hlavního kontaktu změní, tím je magnetické pole polarizační cívky zeslabeno a k odtržení pohyblivé kotvy stačí menší síly, tedy menší proud.

Magnet, který při nadproudu přitahuje pohyblivou kotvu, je buzen masivní cívkou, kterou prochází proud vypínače a jeho magnetický obvod je upraven tak, že slouží zároveň k vyfukování oblouku do zhašecí komory.

Na tomto principu pracují velmi dokonalé rychlovypínače firmy VEB Elektro-Apparate-Werke Berlin. Jejich doba uvolnění bývá pod 4 ms. Výhodné jsou i proto, že stejný vypínač působí samočinně při obou směrech proudu.

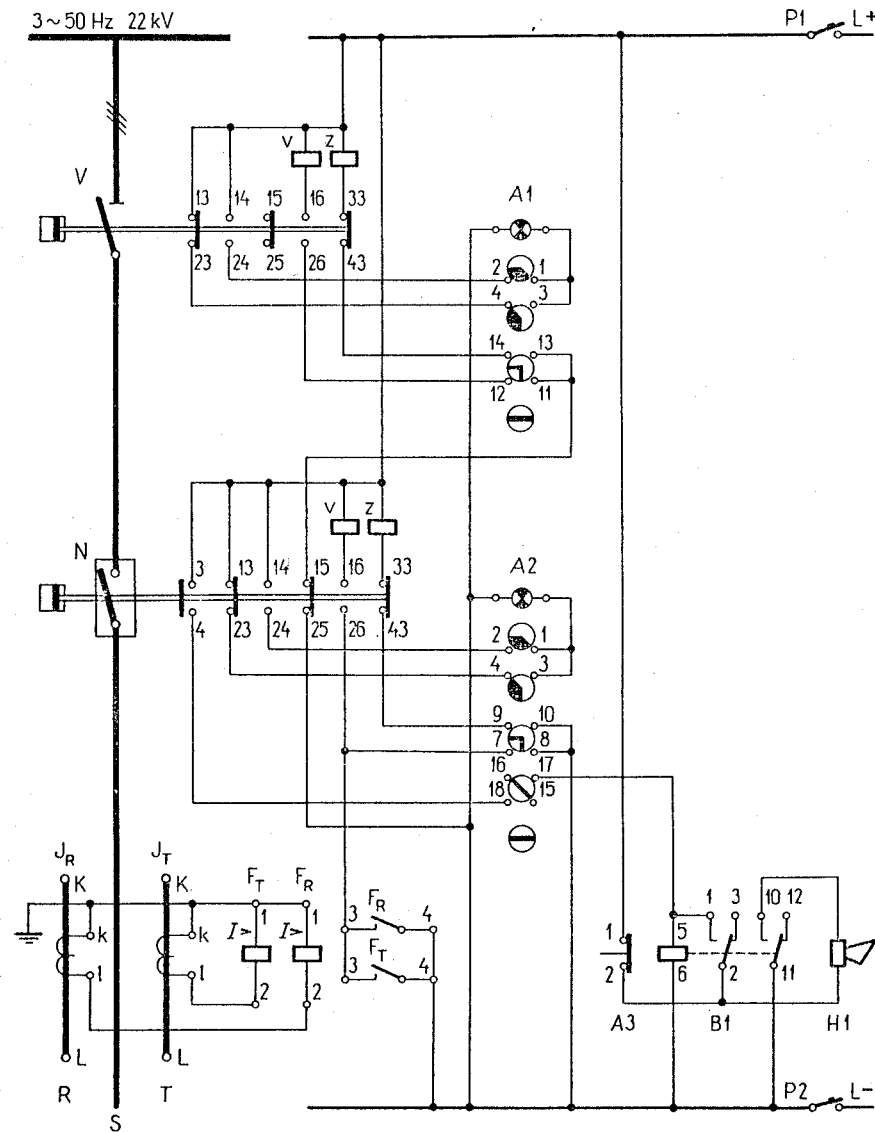
Při vypínání malých proudů, u nichž je elektromagnetické vyfukování málo účinné, zhaší oblouk proud vzduchu, který do prostoru mezi kontakty fouká pomocný píst, ovládaný pohybem vypínacího mechanismu.

c) Na obr. 153b je vyznačen princip činnosti *rychlovypínačů s přídržným magnetem*. Pohyblivý kontakt vypínače je v zapnuté poloze držen proti tlaku silných vypínacích pružin kotvou přídržného elektromagnetu, buzeného buď z cizího zdroje stejnosměrného proudu, nebo přímo napětím chráněného usměrňovače. Vzduchovou mezerou přídržného elektromagnetu prochází demagnetizační kabel, k němuž je připojen indukční bočník. Je to masivní přípojnice, dimenzovaná na plný proud vypínače, na níž jsou nasunuty prstence z dynamového plechu.

Normální provozní proud prochází především masivní přípojnicí indukčního bočníku a jen jeho malá část demagnetizačním kabelem menšího průřezu. Při zkratu dojde ke značné změně proudu a uplatní se vliv indukčního bočníku, který rychle vzrůstajícímu proudu klade velký odpor. Zkratový proud prochází převážně demagnetizačním kabelem, který je zapojen tak, že zruší magnetické pole v kotvě přídržného magnetu, a ta odpadne.

Jak je z obr. 153b vidět, demagnetizační kabel zruší magnetické pole jen v kotvě přídržného magnetu. V jádře magnetu pod demagnetizačním kabelem se obě magnetická pole sčítají a celková změna magnetického pole se projeví ne jeho zánikem, ale jen deformací. Tím se dosáhne velké rychlosti působení. Takto upravené rychlovypínače reagují až na prudkou změnu proudu, takže zapůsobí ještě dříve, než proud dosáhne větší hodnoty. Jejich nevýhodou je, že jeden vypínač může působit jen pro přímý, nebo jen pro zpětný proud.

Citlivost rychlovypínače se nastavuje velikostí budicího proudu přídržné cívky a činnost pro přímý či zpětný proud se nastavuje vhodnou orientací demagnetizačního kabelu.



Obr. 154. Schéma ovládání a signalizace výkonového vypínače vn
z — zapínací cívka, v — vypínací cívka, N — výkonový vypínač a jeho pomocný prepínač, V — odpojovač a jeho pomocný prepínač, J — měřicí transformátory proudu, F — nadproudové ochranné relé, A1 — návěstní a ovládací prepínač odpojovače, A2 — návěstní a ovládací prepínač výkonového vypínače, A3 — odstavovací tlačítko houkačky, H1 — houkačka, P — jednopólové jističe pomocného obvodu, B1 — pomocné relé houkačky

Na principu přídržného magnetu pracují rychlovypínače ČKD typu VRN (obr. 152), které se používají na našich tratích, elektrizovaných stejnosměrným proudem.

Nejnovější rychlovypínače vyrábí u nás MEZ Postřelmov. Je to typ N1, který pracuje s pohyblivou cívkou, má nadproudovou spoušť ovládanou elektronicky.

9.13. SCHÉMA OVLÁDÁNÍ VÝKONOVÉHO VYPÍNAČE

Na obr. 154 je schéma ovládání a signalizace výkonového vypínače s tlakovzdušným pohonem.

Cívka z otevírá elektromagnetický vzduchový ventil, cívka v (vypínací magnet) uvolňuje vypínací pružiny. Jednotlivé obvody jsou vedeny přes pomocný přepínač. Pomocné kontakty v obvodu zapínací i vypínací cívky musí být prodlouženy, aby impuls trval déle a nebyl přerušen dříve, než se příslušný úkon ukončí. Houkačku, obvykle společnou pro všechny vypínače v jedné rozvodně, zapíná pomocný přechodový kontakt, který dává krátkodobý impuls pomocnému relé. Toto relé zapojí houkačku na tak dlouho, pokud není zvláštním tlačítkem vypnuta.

Ovládání se uskutečňuje pomocným napětím z akumulátorové baterie (24; 60; 110 V) pomocí ovládacího a návěstního přepínače ONPP (obr. 59), který má dvě trvalé polohy, odpovídající zapnuté a vypnuté poloze ovládaného vypínače. Vypínač se zapíná a vypíná krátkodobým vytočením ovládací rukojeti z příslušné trvalé polohy.

Stav vypínače signalizuje žárovka v rukojeti přepínače. Zapojená může být „na světlo“, „na tmu“ nebo „na kmitavé světlo“. Ve schématu je zapojena na tmu. To znamená, že zasvítí jen tehdy, když poloha rukojeti nesouhlasí s polohou vypínače. Samočinné vypnutí vypínače vyvolává nadproudové relé, které dává impuls vypínací cívce, jestliže proud jím procházející dosáhne nastavené hodnoty. Vypnutí může být vyvoláno i jinými ochrannými přístroji, např. teploměrem transformátoru nebo jeho plynovým relé, které působí při poruše uvnitř transformátoru.

10. ZKOUŠENÍ SPÍNACÍCH PŘÍSTROJŮ

10.1. DRUHY ZKOUŠEK

Úlohou zkoušek je prokázat, že zkoušený (spínač) vyhovuje normám, předpisům a dohodnutým ustanovením.

Zvlášť důležité jsou zkoušky vypínačů vvn, neboť každé selhání těchto vypínačů představuje závažnou havárii nejenou celé elektrizační soustavy. Odhaduje se např., že porucha vypínače vvn v našich sítích představuje škodu 5 miliónů Kčs.

Podle účelu a rozsahu jsou zkoušky:

1. Typové — jimi se na vzorcích z první výrobní série nebo na zvlášť vyrobených prototypch ověřuje, zda nově vyvinutý typ může být prohlášen za vyhovující.

2. Kontrolní — pro posouzení, zda se výrobky shodují se schváleným typem a zda mají předepsané vlastnosti; tyto zkoušky jsou:

- a) kusové — dělají se na každém vyrobeném kusu,
- b) výběrové — dělají se náhodně na vybraných kusech.

3. Přebírací zkoušky — dělají se u výrobce za přítomnosti odběratele a mají dokázat, že výrobek má požadované vlastnosti.

Rozsah jednotlivých zkoušek je předepsán v příslušných normách.

Hlavní druhy zkoušek spínacích přístrojů jsou:

1. Prohlídka a kontrola rozměrů.
2. Zkouška ochrany proti korozi.
3. Zkouška těsnosti (u tlakovzdušných vypínačů a tlakovzdušných pohonů).
4. Zkoušky mechanické.
5. Zkoušky krytí (zkoušky ochrany před nebezpečným dotykovým napětím, před vniknutím cizích předmětů a před vniknutím vody).
6. Měření úbytku napětí v hlavních obvodech.
7. Zkouška oteplení.
8. Zkouška střídavým napětím.
9. Zkouška rázovým napětím.
10. Zkouška zkratové odolnosti.

11. Zkouška vypínací schopnosti.
12. Speciální zkoušky pro vypínače vn a vvn:
 - a) vypínání vedení naprázdno,
 - b) vypínání transformátorů naprázdno.
 - c) vypínání blízkých zkratů.

Rozsah, zkušební metody a pomůcky při jednotlivých zkouškách jsou v příslušných normách.

10.2. ZKOUŠKY MECHANICKÉ

V rámci mechanických zkoušek se kontroluje a měří:

- a) nastavení spínače a současnost spínání kontaktů, nesoučasnost nesmí být větší než 10 ms,
- b) velikost kontaktních sil,
- c) průběh pohybu kontaktů — měří se oscilograficky nebo tachografem,
- d) spínací doby — měří se oscilograficky nebo elektrickými stopkami,
- e) mechanická trvanlivost,
- f) spolehlivost — správná činnost při nejnižších a nejvyšších provozních veličinách,
- g) činnost příslušenství (působení napětím blokování apod.).

Zkoušky mechanické trvanlivosti jsou zvlášť předepsány pro spínače nn. Velkou trvanlivost musí mít především drobné instalační spínače — až 50 000 změn polohy při jmenovitých hodnotách napětí a proudu.

Vypínače vn a vvn musí během zkoušky zapnout a vypnout bez napětí a proudu až 2000krát.

Po zkoušce trvanlivosti se celý vypínač důkladně překontroluje a žádná jeho část nesmí být poškozena nebo deformovaná.

10.3. ZKOUŠKA OTEPLENÍM

Oteplení se zkouší jmenovitým proudem při jmenovitém kmitočtu, na vypínači se všemi kryty. Zkouška se dělá tak dlouho, pokud teplota stoupá o více než o 1 K h^{-1} .

Teplota se měří kapalinovým nebo polovodičovým teploměrem a na těžko přístupných místech termoelektrickými články.

Teplota okolí se během zkoušky měří dvěma teploměry ve vzdálenosti 1 a 2 m od vypínače.

10.4. ZKOUŠKA NAPĚTÍM

Střídavým napětím průmyslového kmitočtu se zkouší izolační stav vypínače. Vypínač musí během jedné minuty vydržet zkušební napětí předepsané velikosti bez toho, že by došlo k přeskokům nebo průrazu. Napětí se přitom zvyšuje postupně — na 50 % předepsané velikosti rychle, dále pak rychlostí asi 5 % za 1 s. Zkušební doba začíná okamžikem dosažení plného napětí.

Velikost zkušebního napětí je předepsána oborovými normami.

Rázovým napětím se prověřuje odolnost spínače proti účinkům přepětí, především přepětí atmosférického. Zkouší se normální rázovou vlnou napětí 1,2/50 (doba čela 1,2 μs , doba půltýlu 50 μs) nebo v některých případech normální rázovou vlnou proudu 8/20. Pro speciální případy mají i rázové vlny různé jiné předepsané průběhy.

Rázová vlna předepsané amplitudy se odebírá ze zvláštního rázového generátoru. Amplituda vlny je pro jednotlivé zkoušené objekty předepsána v závislosti na jmenovitém napětí.

Rázovým napětím se zkouší při typových zkouškách, při přebíracích zkouškách jen na základě předcházející dohody.

10.5. ZKOUŠKA ZKRATOVÉ ODOLNOSTI

Při zkoušce odolnosti musí zapnutým vypínačem procházet krátkodobý proud tak velký, že alespoň v jednom pólu vznikne jmenovitý dynamický proud. Proud se přitom zapíná a vypíná jiným výkonovým vypínačem. Jeho velikost během zkoušky se měří a vyhodnocuje z oscilografického záznamu.

Po zkoušce se kontroluje, zda nedošlo k mechanickému poškození některých částí, k tepelnému poškození izolace, a zda oteplení částí nepřekročilo dovolenou maximální hodnotu, popř. se opětovně měří úbytek napětí.

10.6. ZKOUŠKA ZAPÍNACÍ A VYPÍNACÍ SCHOPNOSTI

Protože zapínací a vypínací schopnost není konstantní veličinou, nestačí k jejímu ověření jediná zkouška, ale je předepsána řada zkoušek, která představuje tzv. zkušební cykly:

a) Tři zkoušky jednoduchého vypnutí souměrného zkratového proudu, a to po třech vypnutích při 10, 30 a 60 % jmenovitého vypínacího proudu. Přestávka mezi vypnutými stejného proudu má být 3 min.

b) Tři vypnutí kritického proudu.

c) Zkontroluje se stav vypínače — musí být takový, že umožní trvalý přenos, zapínání a vypínání jmenovitého proudu.

d) Před dalšími zkouškami je možné provést revizi vypínače.

e) Uskuteční se spínací cyklus

$$O - t - CO - t - CO$$

Při plném vypínacím proudu.

V symbolickém vyjádření je:

O — vypnutí,

CO — zapnutí, po němž následuje ihned vypnutí,

t — přestávka 180 s.

f) Před další zkouškou je opět možná revize vypínače.

g) Jestliže je vypínač určen pro opětovné zapnutí (OZ), podrobí se spínacímu cyklu OZ

$$O - \theta - CO$$

kde θ je bezproudová doba nejméně příznivá pro daný vypínač. U trojpólových vypínačů je to 0,1 až 1 s, u jednopólových vypínačů 0,4 až 1,5 s.

Tlakovzdušné vypínače se takto zkoušejí při zavřeném přívodu vzduchu. Zásobník musí stačit pro celý cyklus.

POZNÁMKA. Vypínače vvn pro velké vypínací schopnosti jsou jednopólové a každý pól se zkouší samostatně.

Zkoušky vypínací schopnosti jsou:

1. *Přímé* — celý vypínač (nebo jen jeden pól) je podroben plnému zkratovému proudu při plném zotavení napětí za podmínek, které se co nejvíce přibližují skutečným poměrům v síti; dají se dělat:

a) na zkušebně — jestliže má k dispozici dostatečný instalovaný výkon,

b) v síti — jestliže zkušebna nestačí; přímé zkoušky v síti jsou velmi cenným doplňkem všech zkoušek, neboť probíhají při skuteč-

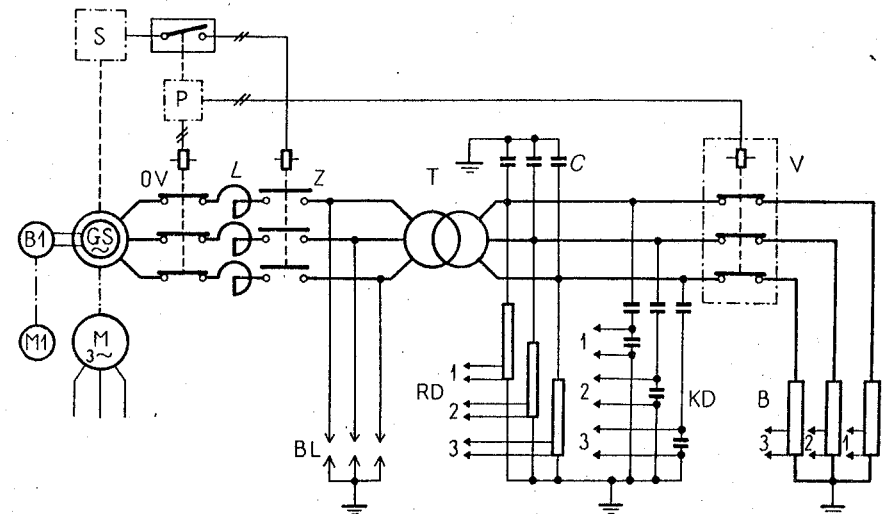
ných provozních poměrech, které nemůže žádná zkušebna plně napodobit.

2. *Po částech* — jestliže zkratový výkon zkušebny nestačí na celý pól vypínače, který je u vvn vždy složen z několika zhášecích komor zapojených do série, zkouší se každá komora samostatně s plným vypínacím proudem, ale jen s poměrným zotaveným napětím.

3. *Nepřímé* — dělají se na vypínačích s velkými spínacími schopnostmi, pro které už žádná zkušebna svým výkonem nestačí ani při zkušebných dělaných po částech a které není možné ještě podrobit přímým zkouškám v síti, protože takové sítě, pro něž se nové vypínače vyvíjejí, obvykle ještě ani neexistují (nemají dostatečně vysoké napětí nebo zkratový výkon).

U nás největší zkratovou vybavenou na vykonávání přímých zkratových zkoušek je zkušebna v Běchovicích (Výzkumný ústav silnoproudé elektrotechniky). Je jednou z nejmodernějších v Evropě.

Na obr. 155 je schéma zkratového obvodu těsně před zkratem. Zdrojem energie je generátor GS s cizím buzením (B1 — M1), poháněný indukčním motorem M, na který je zkoušený vypínač V při-



Obr. 155. Schéma zkratového obvodu při přímé zkoušce vypínací schopnosti
GS — zkratový generátor, M — pohonný motor, B1 — budič s pohonným motorem M1,
T — zkratový transformátor, OV — ochranný vypínač, Z — zkratovací spínač,
L — reaktory, C — kondenzátory, BL — ochranné bleskojistky, RD — odporový
dělič pro snímání napětí, KD — kapacitní dělič pro snímání průběhu zotaveného napětí,
B — bočník pro snímání průběhu zkratového proudu, P — automatický povelový
přístroj, S — synchronizátor povelových impulsů, V — zkoušený vypínač

pojen přes zkratový transformátor, přizpůsobující napětí obvodu jmenovitému napětí vypínače. Reaktory L omezují zkratový proud a spolu s kondenzátory určují kmity zotaveného napětí.

Spínací pochod zapisuje smyčkový oscilograf, připojený takto:
 odporový dělič R_D napájí napěťové smyčky,
 bočník B napájí proudové smyčky,
 kapacitní dělič K_D snímá průběh zotaveného napětí.

Těsně před zkouškou se generátor nebudí na plné napětí, zapne se ochranný vypínač OV a zkoušený vypínač V .

Průběh zkoušky ovládá synchronizátor S prostřednictvím mnoho-kontaktního povelového přístroje P v tomto sledu:

- vypnutí hnacího generátoru,
- zapnutí nabuzovače,
- spuštění oscilátoru,
- zapnutí zkratovače,
- vypnutí zkoušeného vypínače V ,
- vypnutí ochranného vypínače OV ,
- zapnutí odbuzovače generátoru.

Celý proces trvá 0,2 až 0,3 s.

10.7. SYNTETICKÉ ZKOUŠKY

Jestliže výkon zkušebního zařízení nedosahuje vypínacích parametrů vypínače a neumožňuje ani odzkoušení dílčích nezávislých elementů po částech, používají se k jeho ověření různé nepřímé metody. Při jejich použití se vypínač napřed zkouší až do výkonu daného zkušebního zařízení přímou metodou. Nepřímá metoda se použije až při větších vypínacích proudech.

Nejnovější metodu představují syntetické zkoušky, při kterých se proud a napětí pro zkoušku dodávají ze dvou různých zdrojů. Požadovaný zkratový proud dodává proudový obvod s poměrně nízkým napětím a v těsné blízkosti nuly proudu se „vstříkne“ do zkratového obvodu malý proud při vysokém napětí, které se svojí velikostí a průběhem co nejvíce přibližuje zotavenému napětí.

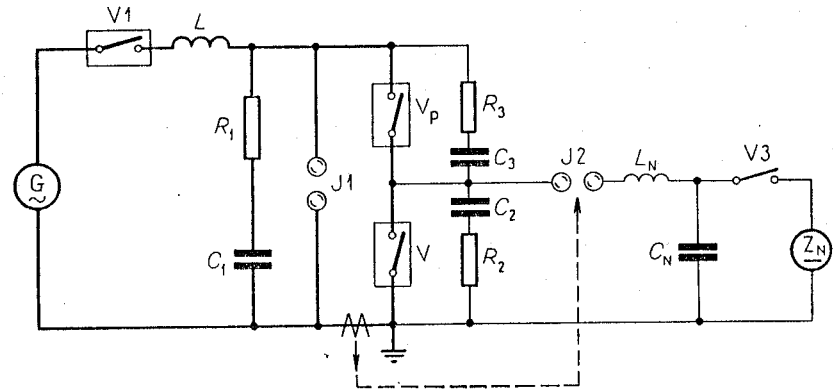
Vhodným zapojením a uspořádáním zkušebního obvodu se dají napodobit všechny provozní stavy, při kterých musí vypínač demonstrovat svoje spínací schopnosti.

Příklad zapojení zkušebního obvodu při syntetické zkoušce je na obr. 156.

Zdrojem zkratového proudu je generátor G , zapínaný při zkoušce

vypínačem V_1 . Velikost zkratového proudu ovlivňuje indukčnost L . Zkratový proud prochází při zkoušce zkoušeným vypínačem V , ale i do série zapojeným pomocným vypínačem V_P .

Jako první vypíná zkoušený vypínač. Těsně před průchodem zkratového proudu nulou vypíná i pomocný vypínač a odpojí tím proudový obvod od napěťového. Ve stejném okamžiku se připojí ke zkoušenému vypínači vysokonapěťový obvod prostřednictvím spouštěcího jiskřiště J_2 .



Obr. 156. Schéma zapojení zkušebního obvodu při syntetických zkouškách (tlustě — proudový obvod, tenče — napěťový obvod)

VP — vypínač proudového obvodu, V_P — pomocný vypínač, V — zkoušený vypínač, J_1 — ochranné jiskřiště, J_2 — spouštěcí jiskřiště, G — generátor proudu, L — indukčnost proudového obvodu, C_N — kapacita napěťového obvodu, L_N — indukčnost napěťového obvodu, $R_1, R_2, R_3, C_1, C_2, C_3$ — odpory a kondenzátory pro řízení strmosti zotaveného napětí, Z_N — zdroj stejnosměrného napětí

Zdrojem vysokého napětí je generátor Z_N , kterým se nabije kondenzátor C_N . Potřebný průběh napětí, který má odpovídat průběhu příslušného zotaveného napětí, se nastavuje kondenzátory C_1, C_2, C_3 odpory R_1, R_2, R_3 a tlumivkou L_N .

Funkci odpojovacího pomocného vypínače může zastupovat např. druhý pól zkoušeného vypínače nebo další stejný vypínač. Nejvhodnější je však použít speciálně upravený samostatný výkonový vypínač, jehož parametry jsou známé, takže se dá natrvalo sladit se zkoušeným syntetickým obvodem.

Takový speciální a pro tyto účely vyvinutý tlakovzdušný pomocný vypínač (Škoda, o. p. Plzeň) používá zkratovna $VUSE$ v Běchovicích.

BLABLA

11. ELEKTROMAGNETY

11.1. VÝZNAM A ROZDĚLENÍ

Elektromagnety [54] jsou přístroje, které využívají silových účinků elektrického proudu.

Podle použití se elektromagnety dělí na:

- přidržené — používají se k přidržení feromagnetických materiálů (břemenové magnety, upínadla, elektromagnetické spojky, magnetické třidiče apod.),
- pohybové — pohybem kotvy vykonávají mechanickou práci (zapínací magnety stykačů, ovládací magnety pohonů vypínačů, elektromagnetické ventily, brzdové elektromagnety apod.).

Podle druhu proudu je dělíme na:

- elektromagnety na stejnosměrný proud,
- elektromagnety na střídavý proud.

Zapojení elektromagnetů může být:

- paralelní — nejobvyklejší (magnet je připojen k síti paralelně),
- sériové — používá se jen u brzdových elektromagnetů pro sériové stejnosměrné motory (elektromagnet je s motorem zapojen do série).

Elektromagnety tvoří důležitý přístroj v oblasti elektrických pohonů a umožňují dálkové a automatické ovládání.

11.2. PŘITAŽLIVÁ SÍLA ELEKTROMAGNETU

11.2.1. Přitažlivá síla stejnosměrného elektromagnetu

Nejobvyklejší tvar stejnosměrného elektromagnetu je na obr. 157a. Jde o tzv. plášťový typ.

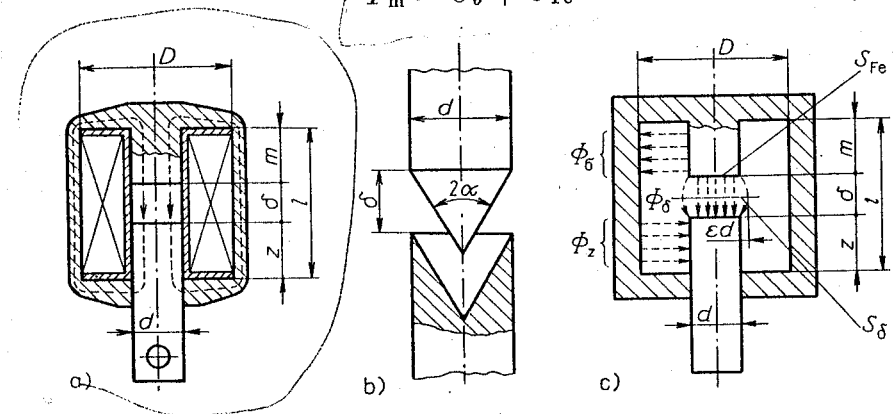
Magnetický obvod tvoří pevný válcový pól o výšce m , pohyblivá kotva a vnější plášť. Navržen je obvykle tak, aby v každé jeho části byla stejná magnetická indukce. Budicí cívka je navinuta na

pouzdrě, v němž se pohyblivá kotva může volně posouvat. Proud I , procházející cívkou s N závity, vytvoří magnetomotorické napětí

$$F_m = IN \quad [A; A] \quad (18)$$

které způsobí magnetický tok Φ vzduchovou mezerou a železnou částí magnetického obvodu a dělí se na magnetické napětí pro vzduchovou mezeru U_δ a pro cestu železem U_{Fe}

$$F_m = U_\delta + U_{Fe} \quad (19)$$



Obr. 157. Stejnosměrný plášťový elektromagnet — a) úprava magnetického obvodu, b) kuželovitá vzduchová mezeru, c) rozložení magnetických toků

Přitom magnetické napětí pro vzduchovou mezeru vypočítáme ze vztahu

$$U_\delta = H_\delta \delta = \frac{B_\delta}{\mu_0} \delta$$

Dosadíme-li za permeabilitu vzduchu

$$\mu_0 = \frac{4\pi}{10} \cdot 10^{-6} \text{ H m}^{-1} \doteq 1,256 \cdot 10^{-6} \text{ H m}^{-1}$$

dostaneme po úpravě

$$U_\delta = 0,8 B_\delta \delta \cdot 10^6 \quad [A; T, m] \quad (20)$$

Magnetické napětí pro cestu železem

$$U_{Fe} = H_{Fe} l_{Fe} \quad [A; A \text{ m}^{-1}, m] \quad (21)$$

Intenzita magnetického pole v železe H_{Fe} se určí pro danou magnetickou indukci z magnetizační křivky použitého materiálu

a délka střední indukční čáry l_{Fe} se stanoví z náčrtku magnetického obvodu.

Při větších vzduchových mezerách, které jsou obvyklé u pohybových elektromagnetů, můžeme magnetické napětí pro železo U_{Fe} proti magnetickému napětí pro vzduchovou mezeru U_δ zanedbat nebo zahrnout do výpočtu činitelem k_s

$$k_s = \frac{F_m}{U_\delta} \quad (22)$$

který u elektromagnetů bývá

$$k_s = 1,02 \text{ až } 1,3$$

Potom přibližně platí

$$F_m = IN = 0,8k_s B_\delta \delta \cdot 10^6 \quad (23)$$

Z rovnice (23) můžeme určit magnetomotorické napětí potřebné k protlačení magnetického toku s indukcí B_δ daným obvodem nebo při daném magnetomotorickém napětí F_m můžeme vypočítat magnetickou indukci ve vzduchové mezeře B_δ .

Magnetický tok, pro dané magnetomotorické napětí F_m , vypočítáme z Hopkinsova zákona

$$\Phi = F_m A = \frac{F_m}{R_m} \quad [\text{Wb}] \quad (24)$$

kde R_m je magnetický odpor obvodu, A magnetická vodivost.

Pro jednoduchou vzduchovou mezeru platí

$$A_\delta = \mu_0 \frac{S}{\delta} = 1,256 \cdot 10^{-6} \frac{S}{\delta} \quad (25)$$

V magnetickém poli je nahromaděna energie

$$A_m = \frac{1}{2} LI^2 = \frac{1}{2} F_m \Phi = \frac{1}{2} F_m^2 A \quad (26)$$

V běžných případech je energie magnetického pole v železe velmi malá, a proto stačí počítat jen s energií nahromaděnou ve vzduchové mezeře

$$A_m = \frac{1}{2} U_\delta \Phi = \frac{1}{2} U_\delta A_\delta \quad (27)$$

Přitažlivá síla elektromagnetu je dána změnou energie magnetického pole při posuvu jádra

$$dA_m = F dx \quad (28)$$

$$F = \frac{dA_m}{dx} = \frac{d(\frac{1}{2} U_\delta^2 A_\delta)}{dx}$$

kde dA_m je změna energie při posuvu pohyblivého jádra (kotvy) o délku dx .

U stejnosměrného elektromagnetu je proud v cívice stálý a je dán napětím zdroje a odporem budicí cívky, takže magnetické napětí U_δ je stálé a s posuvem se nemění. Potom platí

$$F = \frac{1}{2} U_\delta^2 \frac{dA_\delta}{dx} \quad (29)$$

Výraz

$$\frac{dA_\delta}{dx}$$

představuje změnu vodivosti vzduchové mezery posuvem. Jestliže se ve vzduchové mezeře předpokládá homogenní magnetické pole, můžeme změnu vodivosti vyjádřit její derivací podle $dx = d\delta$

$$A_\delta = \mu_0 \frac{S}{\delta}$$

$$\frac{dA_\delta}{d\delta} = -\mu_0 \frac{S}{\delta^2}$$

Po dosazení bude přitažlivá síla elektromagnetu

$$F = \frac{1}{2} U_\delta^2 \mu_0 \frac{S}{\delta^2} \quad [\text{N}; \text{A}, \text{m}^2, \text{m}] \quad (30)$$

Tuto rovnici můžeme upravit dosazením

$$\frac{U_\delta^2}{\delta^2} = H_\delta^2; \quad \mu_0 = \frac{\mu_0^2}{\mu_0}; \quad F = \frac{1}{2} H_\delta^2 \frac{\mu_0^2}{\mu_0} S$$

Po dosazení za $H_\delta^2 \mu_0^2 = B_\delta^2$ dostaneme

$$F = \frac{1}{2} B_\delta^2 \frac{S}{\mu_0}$$

Po konečné úpravě

$$F = 0,4 \cdot B_\delta^2 S \cdot 10^6 \quad [\text{N}; \text{T}, \text{m}^2] \quad (31)$$

PŘÍKLAD 1

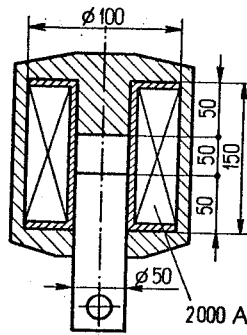
Jaká je přitažlivá síla elektromagnetu podle obr. 158 při zdvihu 50 mm, jestliže magnetomotorické napětí $F_m = 20\,000$ A?

Z rovnice (23) při předpokládaném činiteli $k_s = 1,1$, bude magnetické napětí pro vzduchovou mezeru

$$U_\delta = \frac{F_m}{k_s} = \frac{20\,000}{1,1} \approx 18\,200 \text{ A}$$

Podle rovnice (30) je přitažlivá síla

$$F = \frac{1}{2} U_\delta^2 \mu_0 \frac{S}{\delta^2} = \frac{1}{2} 18\,200^2 \cdot 1,256 \cdot 10^{-6} \frac{\pi \cdot 0,05^2}{4 \cdot 0,05^2} = 162 \text{ N}$$



Obr. 158. Rozměry elektromagnetu pro příklad 1

11.2.2. Přitažlivá síla při nehomogenní vzduchové mezeře

Je-li magnetické pole mezi póly elektromagnetu nehomogenní, nemůžeme změnu vodivosti posunem vyjádřit derivací, ale je třeba ji nahradit podílem diferenciálů.

Vodivost složitějších vzduchových mezer se určuje matematickými metodami nebo experimentálně. Přibližné rovnice pro výpočet vodivosti obvyklých vzduchových mezer uvádí Babikov [66].

Například pro kuželovou vzduchovou mezeru platí (obr. 157b)

$$A_\delta = \mu_0 d \left(\frac{\pi d}{4\delta \sin^2 \alpha} - \frac{0,157}{\sin^2 \alpha} + 0,75 \right) \quad (32)$$

Přitažlivá síla se v těchto případech určí tak, že výraz se nahradí podílem diferenciálů

$$F = \frac{1}{2} U_\delta^2 \frac{A_1 - A_2}{\delta_2 - \delta_1} \quad (33)$$

kde A_1 a A_2 jsou magnetické vodivosti, určené podle příslušné rovnice pro dvě málo od sebe odlišné vzduchové mezery δ_1 a δ_2 .

PŘÍKLAD 2

Jaká je přitažlivá síla elektromagnetu z příkladu 1, kdyby měl kuželovou vzduchovou mezeru s vrcholovým úhlem $2\alpha = 60^\circ$?

Pro vzduchovou mezeru 50 mm podle (32) je vodivost

$$A_1 = 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot 0,05 \left(\frac{\pi \cdot 0,05}{4 \cdot 0,05 \cdot 0,86^2} - \frac{0,157}{0,86^2} + 0,75 \right) \approx 9,97 \cdot 10^{-8} \text{ H}$$

a pro vzduchovou mezeru zvětšenou o 5 mm ($\delta_2 = 55$ mm)

$$A_2 = 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot 0,05 \left(\frac{\pi \cdot 0,05}{4 \cdot 0,055 \cdot 0,86^2} - \frac{0,157}{0,86^2} + 0,75 \right)$$

$$A_2 \approx 9,33 \cdot 10^{-8} \text{ H}$$

Podle (33) je přitažlivá síla

$$F = \frac{1}{2} 18\,200^2 \cdot \frac{9,97 - 9,33}{0,055 - 0,05} \cdot 10^{-8} = 212 \text{ N}$$

Protože se v rovnici (32) poslední dva členy posunem nemění, můžeme pro výpočet přitažlivé síly elektromagnetu s kuželovou vzduchovou mezerou použít zjednodušené rovnice

$$F = \frac{1}{2} U_\delta^2 \frac{dA}{d\delta} \cdot \frac{1}{\sin^2 \alpha} = \frac{1}{2} U_\delta^2 \mu_0 \frac{\pi d^2}{3\delta^2 \sin^2 \alpha} \quad (34)$$

PŘÍKLAD 3

Jaká by byla přitažlivá síla elektromagnetu z příkladu 2, vypočítaná ze zjednodušené rovnice (34)?

$$F = \frac{1}{2} 18\,200^2 \cdot 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\pi \cdot 0,05^2}{4 \cdot 0,05^2 \cdot 0,86^2} \approx 216 \text{ N}$$

Rozdíl je nepatrný.

11.2.3. Přesný výpočet přitažlivé síly

Magnetický tok plášťového elektromagnetu se neuzavírá jen vzduchovou mezerou, ale jeho část prochází napříč cívkou a vytváří dílčí toky Φ_δ , Φ_σ a Φ_z . Podle obr. 157c platí

$$\Phi = \Phi_\delta + \Phi_\sigma + \Phi_z$$

1. Tok Φ_δ prochází pracovní vzduchovou mezerou a vlivem zakřivení indukčních čar v ní není rovnoměrně rozložen. Pro praktické výpočty ho můžeme nahradit homogenním magnetickým polem mezi zdánlivými kruhovými póly o průměru εd .

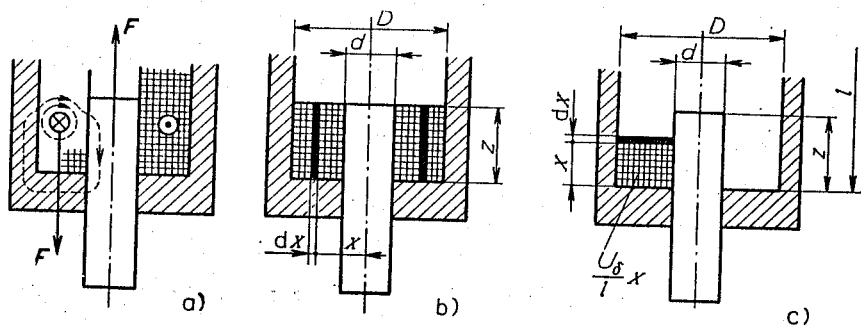
Činitel rozšíření vzduchové mezery ε závisí na poměru zdvihu k průměru a jestliže $\delta/d < 1$, je podle Wilsona dán vztahem

$$\varepsilon = 1 + \frac{\delta}{d} - 0,5 \left(\frac{\delta}{d}\right)^2 \quad (35)$$

Do rovnic pro výpočet přitažlivé síly je třeba proto místo skutečného průměru dosadit zdánlivý průměr εd nebo místo skutečného průřezu S zdánlivý průřez $\varepsilon^2 S$

$$F = 0,4 B_p^2 \varepsilon^2 S \cdot 10^6 \quad [\text{N}; \text{T}, \text{m}] \quad (36)$$

2. Magnetický tok Φ_z se uzavírá napříč cívkou mezi pláštěm a válcovou plochou kotvy. Přestože neprochází pracovní vzduchovou mezerou, není tokem rozptylovým, neboť svým působením přispívá ke vzniku přitažlivé síly podle obr. 159a.



Obr. 159. Příčné pole pláštového elektromagnetu — a) vznik síly od příčného pole, b) odvození vodivosti prostoru příčného pole, c) odvození energie příčného pole

Pro vyznačený směr proudu v cívkě prochází příčný magnetický tok cívkou od pláště k jádru. Na vodič cívky délky l působí silou $F = B_z I l$, která podle pravidla levé ruky směřuje dolů. Protože však vodiče cívky jsou nepohyblivé, působí podle principu akce a reakce na kotvu jako pohyblivého nositele magnetického pole stejnou silou opačného směru. Tato síla zvětšuje tah elektromagnetu.

3. Magnetický tok Φ_σ se uzavírá mezi nepohyblivými částmi magnetického obvodu, a proto nepřispívá ke vzniku tažné síly a je rozptylovým magnetickým tokem. Jeho velikost můžeme přesně matematicky určit nebo také odhadnout.

K určení síly vyvolané příčným polem je třeba vypočítat magnetickou vodivost prostoru, jímž se tento tok uzavírá. Podle obr. 157c je

$$A_z = \mu_0 \frac{2\pi z}{\ln \frac{D}{d}} \quad (37)$$

Odvození je podle obr. 159b.

Magnetický odpor elementárního mezikruží šířky dx ve vzdálenosti x od osy jádra

$$dR_{mz} = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{dx}{2\pi x z}$$

Vzdálenost x se mění od $d/2$ do $D/2$, takže celý magnetický odpor

$$R_{mz} = \frac{1}{2\pi\mu_0 z} \int_{d/2}^{D/2} \frac{dx}{x} = \frac{1}{2\pi\mu_0 z} \ln \left(\frac{D}{2} - \frac{d}{2} \right)$$

$$R_{mz} = \frac{1}{2\pi\mu_0 z} \ln \frac{D}{d}$$

Magnetická vodivost je převrácenou hodnotou magnetického odporu, tedy je dána rovnicí (37).

Energie příčného magnetického pole

$$A_{mz} = \frac{1}{2} \mu_0 U_\delta^2 \frac{2\pi}{\ln \frac{D}{d}} \cdot \frac{z^3}{3l^2} \quad (38)$$

neboť indukční čáry nejsou spráženy s celým magnetomotorickým napětím cívky, ale jen s jeho částí $U_\delta z/l$.

Podle obr. 159c má elementární úsek šířky dx ve vzdálenosti x od spodního konce kotvy vodivost

$$dA_z = \mu_0 \frac{2\pi dx}{\ln \frac{D}{d}}$$

a jeho magnetický tok je buzen magnetickým napětím $U_\delta x/l$.

Energie tohoto úseku je podle (27)

$$dA_{mz} = \frac{1}{2} \left(\frac{U_\delta}{l} x \right)^2 \mu_0 \frac{2\pi dx}{\ln \frac{D}{d}}$$

Jestliže se x mění od 0 do z , bude energie příčného magnetického pole dána vztahem

$$A_{mz} = \frac{1}{2} \mu_0 \frac{2\pi}{\ln \frac{D}{d}} \cdot \frac{U_\delta^2}{l^2} \int_0^z x^2 dx$$

$$A_{mz} = \frac{1}{2} \mu_0 \frac{2\pi}{\ln \frac{D}{d}} \cdot \frac{U_\delta^2}{l^2} \cdot \frac{z^3}{3}$$

a z toho pak po úpravě vychází vztah (38).

Posunem jádra o $d\delta$ se změní i výška úseku z o $dz = d\delta$, takže tah vyvolaný příslušnou změnou energie příčného pole

$$F_z = \frac{dA_{mz}}{dz} = \frac{1}{2} \mu_0 \cdot \frac{2\pi}{\ln \frac{D}{d}} U_\delta^2 \frac{z^2}{l^2} \quad (39)$$

neboť

$$\frac{dA_{mz}}{dz} = \frac{1}{2} \mu_0 \frac{2\pi}{\ln \frac{D}{d}} \cdot \frac{U_\delta^2}{3l^2} \cdot 3z^2$$

Celkový tah plášťového elektromagnetu je dán součtem tahu pracovní mezer a tahu příčného pole

$$F = \frac{\pi \mu_0}{2} U_\delta^2 \left(\frac{d^2 \varepsilon^2}{4\delta^2} + \frac{2}{\ln \frac{D}{d}} \cdot \frac{z^2}{l^2} \right) \quad (40)$$

nebo po dosazení za μ_0

~~$$F = 2,35 \cdot 18 \cdot 200^2 \left[\frac{(0,05)^2}{(2\delta)^2} + \frac{2}{\ln \frac{D}{d}} \cdot \frac{(z)^2}{l^2} \right] \cdot 10^{-6} \quad [N; A, m] \quad (41)$$~~

PŘÍKLAD 4

Jaká je skutečná síla elektromagnetu podle obr. 158 z příkladu 1? Pro $d = 50$ mm a $\delta = 50$ mm.

$$\varepsilon = 1 + \frac{0,05}{0,05} - 0,5 \left(\frac{0,05}{0,05} \right)^2 = 1,5$$

a celková přitažlivá síla

$$F = 2,3 \cdot 518 \cdot 200^2 \left[\left(\frac{0,05 \cdot 1,5}{2 \cdot 0,05} \right)^2 + \frac{2}{\ln \frac{0,05}{0,1}} \left(\frac{0,05}{0,15} \right)^2 \right] \cdot 10^{-6}$$

$$F = 435 + 245 = 680 \text{ N}$$

Z výsledku je vidět, že rozšířením vzduchové mezery, které je způsobeno vydatím indukčních čar, se zvětšila síla ze 162 N na 435 N a k tomu přistupuje ještě zvětšení tahu příčným polem o 245 N.

Při vzduchové mezeře 50 mm vyšla skutečná síla až o 320 % větší! Vliv příčného pole činí v tomto příkladě až 56 %. Proto se nesmí u větších mezer zanedbávat.

Jen při malých zdvizech ho nemusíme uvažovat, jak to dokazuje další příklad.

PŘÍKLAD 5

Jaká by byla síla elektromagnetu z příkladu 5 při zdvihu 5 mm? Podle (35) je rozšíření vzduchové mezery

$$\varepsilon = 1 + \frac{0,005}{0,05} - 0,5 \left(\frac{0,005}{0,05} \right)^2 = 1,095$$

Výška válcové plochy kotvy:

$$z = l - m - \delta = 150 - 50 - 5 = 95 \text{ mm}$$

takže podle (41) je skutečná síla

$$F = 2,35 \cdot 18 \cdot 200^2 \left[\left(\frac{0,05 \cdot 1,095}{2 \cdot 0,005} \right)^2 + \frac{2}{\ln \frac{0,1}{0,05}} \cdot \left(\frac{0,095}{0,15} \right)^2 \right] \cdot 10^{-6}$$

$$F = 23 \cdot 100 + 890 = 23 \cdot 990 \text{ N}$$

Příčné pole zvětšuje přitažlivou sílu nyní jen o 3,8 %.

11.2.4. Tažná síla jednofázového elektromagnetu

U stejnosměrného elektromagnetu je proud v cívce při každém zdvihu stálý. Je dán napětím a odporem cívky. Při tahu se mění vzduchová mezera, indukce v ní se zvětšuje a přitažlivá síla vzrůstá s druhou mocninou indukce.

U střídavého elektromagnetu je amplituda magnetického toku stálá a je dána základním vztahem

$$U = 4,44 \Phi f N$$

z něhož

$$\Phi = \frac{U}{4,44 f N} \quad [Wb; V, Hz] \quad (42)$$

kde f je kmitočet,

N počet závitů budící cívky,

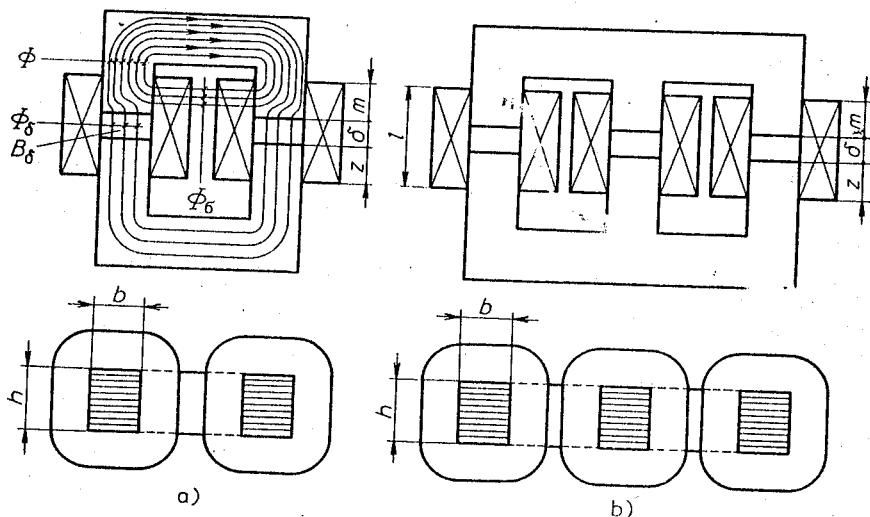
Φ maximální hodnota střídavého magnetického toku.

Kdyby nebylo rozptýlu, byl by tah střídavého elektromagnetu během celého zdvihu stálý, neboť stálému magnetickému toku odpovídá stálá magnetická indukce ve vzduchové mezeře.

Podle obr. 160a je amplituda magnetické indukce (při zanedbání rozptýlu) dána vztahem

$$B_\delta = \frac{\Phi}{bh} = \frac{U}{4,44 f N bh} \quad (43)$$

a nezávisí na velikosti vzduchové mezery.



Obr. 160. Střídavé elektromagnety — a) jednofázový elektromagnet a rozložení magnetických toků, b) trojfázový elektromagnet

Protože magnetický tok a indukce se mění podle sinusovky, je i přitažlivá síla proměnlivá a podle rovnice (31) se mění s funkcí $\sin^2 \omega t$ (obr. 161)

Její maximální hodnota podle (31) je

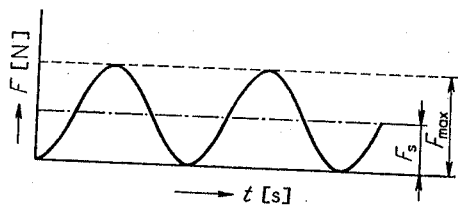
$$F_{\max} = 0,4 B_{\delta}^2 S \cdot 10^6$$

a střední hodnota

$$F_s = \frac{F_{\max}}{2} = 0,4 \frac{B_{\delta}^2}{2} S \cdot 10^6 = 0,4 \left(\frac{B_{\delta}}{\sqrt{2}} \right)^2 S \cdot 10^6 \quad (44a),$$

$$F_s = 0,4 B_{\delta \text{ef}}^2 S \cdot 10^6 \quad (44b)$$

kde $B_{\delta \text{ef}}$ je efektivní hodnota magnetické indukce ve vzduchové mezeře.



Obr. 161. Průběh síly střídavého elektromagnetu

Střední hodnota přitažlivé síly střídavého elektromagnetu je stejná jako elektromagnetu stejnosměrného, pokud uvažujeme efektivní hodnotu magnetické indukce.

Protože je zvykem udávat střídavé magnetické veličiny jejich maximální hodnotou, bude se přitažlivá síla střídavého elektromagnetu uspořádaného podle obr. 160a počítat z upravené rovnice (44a) dosazením za $S = 2bh$, neboť přitahují dva póly

$$F_s = 0,4 \cdot 2bh \left(\frac{B_{\delta}}{\sqrt{2}} \right)^2 \cdot 10^6 = 0,4 \cdot 2bh \frac{B_{\delta}^2}{2} \cdot 10^6 \quad (45)$$

nebo po úpravě a při respektování zvětšení vzduchové mezery

$$F_s = 0,4 \varepsilon^2 bh B_{\delta}^2 \cdot 10^6 \quad [\text{N}; \text{m}, \text{m}, \text{T}] \quad (46)$$

kde B_{δ} je amplituda magnetické indukce ve vzduchové mezeře.

Výpočet magnetické indukce z magnetického toku podle rovnice (43) je jen přibližný, neboť neuvažuje vliv rozptylu, který vzniká mezi póly magnetu (obr. 160a).

Vodivost rozptylového prostoru Λ_{σ} můžeme určit pomocí rovnic uváděných např. v [62] a z ní pak vypočítat velikost rozptylového magnetického toku.

Jestliže vodivost jedné vzduchové mezery je Λ_{δ} , vodivost dvou mezer za sebou (obr. 160a) je $0,5\Lambda_{\delta}$. Vodivosti vzduchových mezer a rozptylového prostoru jsou paralelně spojeny a pro určení magnetického toku procházejícího vzduchovou mezerou můžeme použít úměry odpovídající II. Kirchhoffovu zákonu

$$\frac{\Phi}{\Phi_{\delta}} = \frac{0,5\Lambda_{\delta} + \Lambda_{\sigma}}{0,5\Lambda_{\delta}}$$

z toho

$$\Phi_{\delta} = \Phi \frac{0,5\Lambda_{\delta}}{0,5\Lambda_{\delta} + \Lambda_{\sigma}} \quad (47)$$

Skutečná magnetická indukce ve vzduchové mezeře je potom

$$B_{\delta} = \frac{\Phi_{\delta}}{\varepsilon^2 bh} \quad (48)$$

Tuto velikost je třeba dosadit do rovnic (45) a (46).

Magnetický tok procházející vzduchovou mezerou můžeme též určit ze vztahu

$$\Phi = \Phi_{\delta}(1 + \tau) \quad (49)$$

kde τ je činitel rozptylu udávající, kolikrát je celkový magnetický tok větší než magnetický tok procházející vzduchovou mezerou.

Můžeme ho určit z empirických rovnic nebo odhadem. Bývá

$$\tau = 1 \text{ až } 3$$

PŘÍKLAD 6

Jaká je přitažlivá síla střídavého elektromagnetu uspořádaného podle obr. 160, jestliže $U = 220 \text{ V}$, 50 Hz , $N = 1000$ závitů, $b = 30 \text{ mm}$, $h = 50 \text{ mm}$, $\delta = 20 \text{ mm}$?
Celkový magnetický tok

$$\Phi = \frac{220}{4,44 \cdot 50 \cdot 1000} = 9,9 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$$

Odhadneme-li rozptylové magnetické pole na 100 %, je $\tau = 1$ a magnetický tok ve vzduchové mezeře podle (49) bude

$$\Phi_{\delta} = \frac{\Phi}{1 + \tau} = \frac{9,9 \cdot 10^{-4}}{1 + 1} = 4,95 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$$

Tomu odpovídá magnetická indukce ve vzduchové mezeře

$$B_{\delta} = \frac{4,95 \cdot 10^{-4}}{0,05 \cdot 0,03} = 0,33 \text{ T}$$

jestliže zanedbáme zvětšení vzduchové mezery ($\varepsilon = 1$). Po dosazení do (46) dostaneme přitažlivou sílu

$$F = 0,4 \cdot 0,05 \cdot 0,03 \cdot 0,33^2 \cdot 10^6 = 66 \text{ N}$$

11.2.5. Přitažlivá síla trojfázového elektromagnetu

Trojfázový elektromagnet má tři budící cívky, upravené na třech pólech podle obr. 160b.

Známe-li vodivosti A_{δ} a A_{σ} , je tok procházející vzduchovou mezerou

$$\Phi_{\delta} = \Phi \frac{A_{\delta}}{A_{\delta} + A_{\sigma}} \quad (50)$$

neboť v každé fázi je jen jedna vzduchová mezeza. Jemu odpovídající magnetická indukce se určí z rovnice (48). Celková přitažlivá síla elektromagnetu bude trojnásobná vzhledem k síle jednoho pólu, proto podle (45) je střední hodnota přitažlivé síly trojfázového elektromagnetu

$$F_s = 3 \cdot 0,4 \cdot \frac{B_{\delta}^2}{2} \varepsilon^2 b h \cdot 10^6$$

a po úpravě

$$F_s = 0,6 \cdot \varepsilon^2 b h B_{\delta}^2 \cdot 10^6 \quad [\text{N}; \text{m}, \text{m}, \text{T}] \quad (51)$$

Činitel rozšíření vzduchové mezery se určí podle (35) pro náhradní kruhový průřez o průměru

$$d = \sqrt{\frac{4bh}{\pi}} \quad (52)$$

Vzduchová mezeza je obvykle umístěna uprostřed cívky ($m = z$).
Podle Cigánka je v takovém případě činitel rozptylu

$$\tau = 2,1 \frac{\delta}{b\varepsilon^2} \quad (53)$$

PŘÍKLAD 7

Jaká je přitažlivá síla trojfázového elektromagnetu upraveného podle obr. 160b, jestliže je $U = 3 \times 380 \text{ V}$ — zapojení Y, 50 Hz , $b = 50 \text{ mm}$, $h = 30 \text{ mm}$, $\delta = 20 \text{ mm}$, $m = z$, $N = 1000$ závitů?

Fázové napětí jedné cívky

$$U_1 = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ V}$$

Náhradní průměr kruhového průřezu podle (52)

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,05 \cdot 0,03}{\pi}} = 0,0435 \text{ m}$$

Činitel rozšíření vzduchové mezery podle (35)

$$\varepsilon = 1 + \frac{0,02}{0,0435} - 0,5 \left(\frac{0,03}{0,0435} \right)^2 = 1,354$$

Činitel rozptylu podle (53)

$$\tau = 2,1 \frac{0,02}{0,05 \cdot 1,354^2} = 0,46$$

Celkový magnetický tok buzený cívkou při napětí 220 V

$$\Phi = \frac{220}{4,44 \cdot 50 \cdot 1000} = 9,9 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$$

a magnetický tok jdoucí vzduchovou mezerou (49)

$$\Phi_{\delta} = \frac{9,9 \cdot 10^{-4}}{1 + 0,46} = 6,8 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$$

Tomu odpovídá magnetická indukce ve vzduchové mezeře

$$B_{\delta} = \frac{\Phi_{\delta}}{\varepsilon^2 b h} = \frac{6,8 \cdot 10^{-4}}{1,354^2 \cdot 0,05 \cdot 0,03} = 0,248 \text{ T}$$

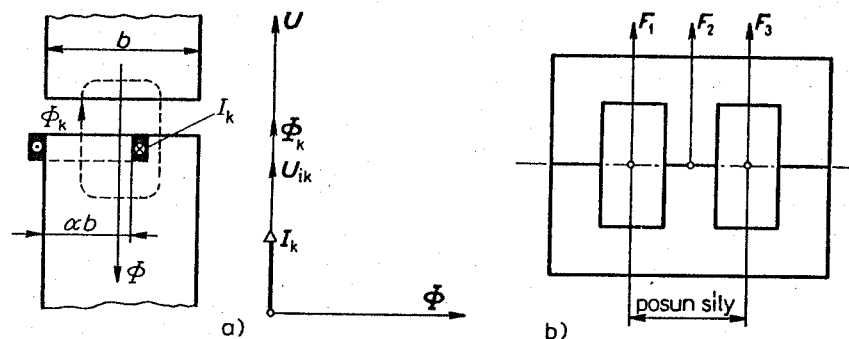
a podle (51) přitažlivá síla

$$F_s = 0,6 \cdot 1,354^2 \cdot 0,05 \cdot 0,03 \cdot 0,248^2 \cdot 10^6 = 100 \text{ N}$$

11.2.6. Závit nakrátko

Přitažlivá síla jednofázového elektromagnetu kmitá, což se projevuje chvěním kotvy a bzučením. Chvění kotvy odstraňuje závit nakrátko, umístěný na pólech magnetu podle obr. 162a.

Část hlavního magnetického toku Φ prochází plochou závitů nakrátko a svou změnou v něm indukuje napětí U_{1k} , které způsobí v závitě nakrátko proud I_k . Tento proud vybudí pomocný magnetický tok Φ_k , který předbíhá hlavní magnetický tok o 90° , a také i indukované napětí a jím vyvolaný proud jsou proti toku o 90° posunuty (předbíhají). Pomocný magnetický tok je tedy maximální v okamžiku, kdy je hlavní magnetický tok nulový, takže přidržuje kotvu v zapnuté poloze a vyloučí její chvění.



Obr. 162. Působení síly střídavých elektromagnetů — a) závit nakrátko, b) posouvání působíště výsledné síly trojfázového elektromagnetu

Stínění pólu bývá

$$\alpha = 0,4 \text{ až } 0,7$$

Začne-li v provozu jednofázový střídavý elektromagnet značně bručet, obvykle je příčinou přerušovaný závit nakrátko.

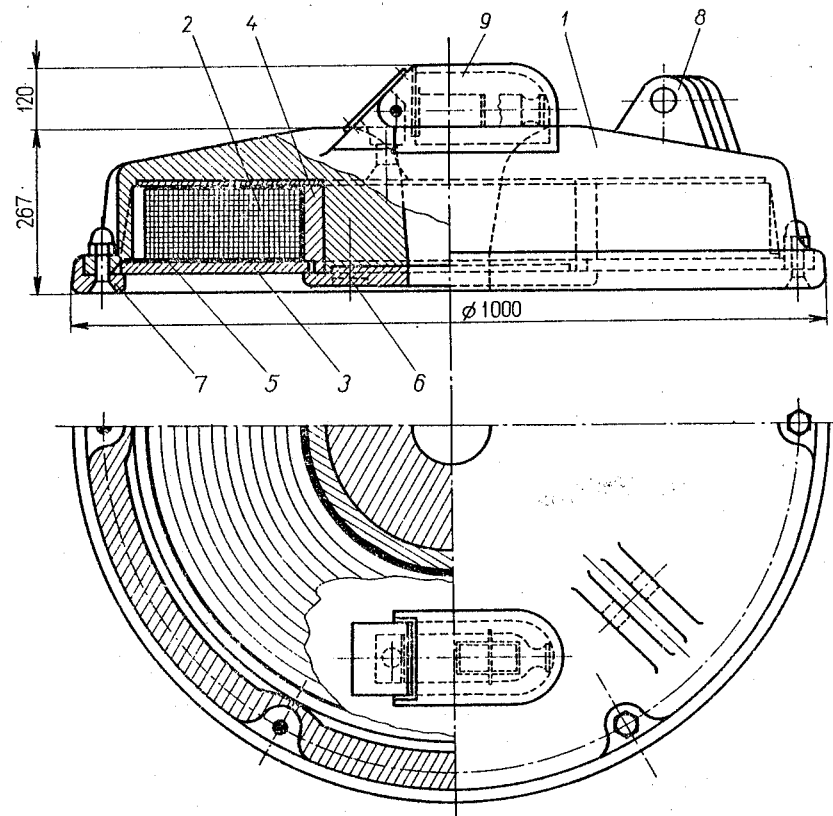
Trojfázový elektromagnet nepotřebuje tlumící závit, neboť jeho přitažlivá síla působí trvale. Kotva však musí být ve svislém směru přesně vedena, neboť těžiště výsledného tahu tří pólů se během jednoho kmitu čtyřikrát přesouvá mezi krajními polohami podle obr. 162b.

11.3. BŘEMENOVÉ ELEKTROMAGNETY

Břemenové elektromagnety [55; 56] se používají k přenášení feromagnetického materiálu, který se nedá normálně upevnit na hák jeřábu (šrot, třísky, plechy, tyče apod.), nebo i k vytahování odlitků z formovacího písku.

Aby mohly mít plnou masivní kostru, jsou buzeny stejnosměrným proudem. Proud se může odebírat z vlastního dynama, ze střídavé sítě přes usměrňovač nebo ojedinele i z běžné akumulátorové baterie.

Elektromagnet na obr. 163 má v základním kruhovém tělese 1, které je z ocelolitininy, uloženo budicí vinutí 2, uzavřené a utěsněné vzhledem k venkovnímu prostředí nemagnetickým kotoučem 3 z kalené manganové oceli. Budicí cívka je z eloxovaného hliníku se skleněnou izolací a je důkladně impregnována pro vlhké prostředí. Je navinuta na kovovém pouzdru 4 z lité oceli a v kostře 5 z tvrzeného papíru.



Obr. 163. Břemenový elektromagnet TM 10 s maximální nosností při plném bloku 90 kN a s příkonem 4 kW
1 — základní těleso, 2 — budicí cívka, 3 — nemagnetický kotouč, 4 — kovové pouzdro cívky, 5 — kostra cívky, 6 — vyměnitelná deska, 7 — vyměnitelný kotouč, 8 — závěsné oko, 9 — přívodní zásuvka

Póly elektromagnetu, které přicházejí do přímého styku s přenášeným materiálem a velmi se opotřebovávají, tvoří vyměnitelná litinová deska 6 a kotouč 7.

Na kostře jsou nality tři závěsná oka 8, jimiž se magnet zavěsí na normální jeřáb. Přívod proudu zabezpečuje zásuvka 9.

Břemenové elektromagnety se u nás vyrábějí ve třech typech TM 10, TM 15 a TM 16. Maximální nosnost našich břemenových elektromagnetů je 250 000 N.

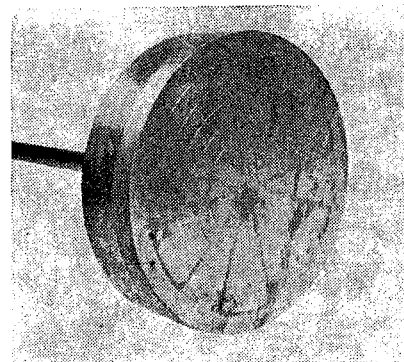
Pro přenášení válcovaných profilů a tabulí plechu se používá elektromagnetů podlouhlého tvaru nebo několika menších kruhových magnetů.

11.4. ELEKTROMAGNETICKÉ UPÍNACÍ DESKY

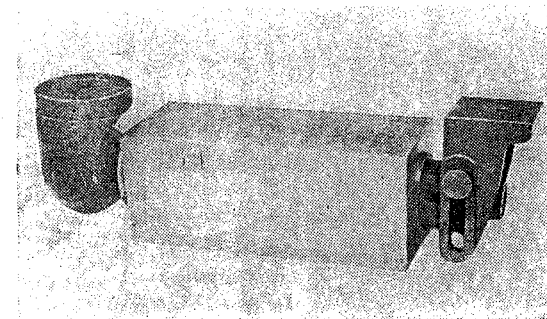
Používá se jich pro výhodné, rychlé a pohodlné upínání menších ocelových předmětů při strojním obrábění. Jsou výhodné zejména při broušení, neboť upínáním se nepoškodí plochy, které už byly opracovány.

Na obr. 164a je upínací deska pro soustruh. Proud se k ní musí přivádět dvěma kroužky s kartáči ze stejnosměrného zdroje. Upínací deska používaná pro broušení je na obr. 164b.

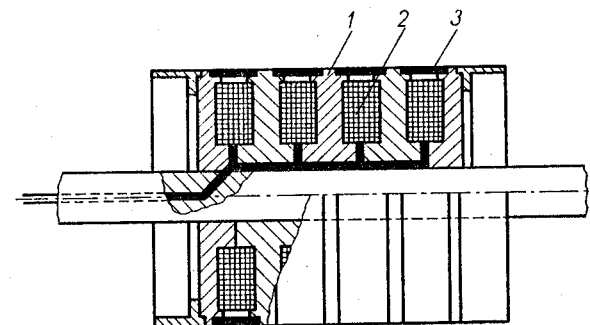
Prostor mezi pólovými nástavci je vyplněn mosazí nebo hliníkem. Opracovaný předmět se po skončení práce musí odmagnetovat ve střídavém magnetickém poli.



a)



b)



Obr. 165. Magnetický třídíče

1 — ocelové kotouče, 2 — válcové cívky, 3 — nemagnetické vložky

11.5. ELEKTROMAGNETICKÉ TŘÍDIČE

120/24

4,8

Elektromagnetické třídíče [57] se používají k oddělování železných předmětů od základního zpracovaného materiálu, k němuž se tyto železné předměty dostaly při předcházející operaci. Odstraňují se jimi např. úlomky ocelových nástrojů z uhlí, které se má před spalováním v kotlech s práškovým topením semlít na jemnou moučku, nebo z kamení, které se má drtit na štěrk apod.

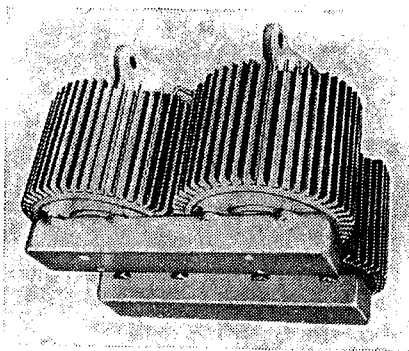
Magnetický separátor podle obr. 165 má otočné magnety, vytvořené ocelovými kotouči 1, nasazenými na hřídeli, mezi nimiž jsou umístěny ploché válcové cívky 2. Cívky jsou navinuty obvykle z plochého měděného vodiče a jsou velmi důkladně izolovány a impregnovány, aby tvořily kompaktní celek a dobře odváděly ztrátové

teplo. Největším problémem při konstrukci magnetických třídičů je chlazení.

Mezi póly jsou vložky 3 z nemagnetického materiálu. Stejněsměrný proud se k cívkám přivádí dvěma kroužky.

Třídič tvoří poslední otočný válec dopravníku s pryžovým pásem. Obvodová rychlost bubnu bývá 1,2 až 1,4 m/s.

Na obr. 166 je závěsný třídič typu TMZ (BEZ Bratislava, n. p.). Budicí cívky má zality tepelně vodivým materiálem a zvenku chráněny žebrovaným pláštěm.



Obr. 166. Elektromagnetický třídič závěsný typu TMZ, BEZ Bratislava, n. p.

11.6. ELEKTROMAGNETICKÉ SPOJKY

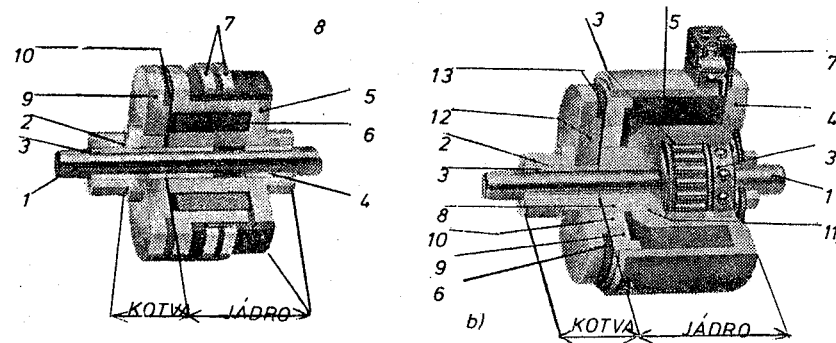
Elektromagnetické spojky se používají tam, kde žádáme měkký a plynulý záběr a zvláště tam, kde přenos točivého momentu má být dálkově nebo samočinně řízen (automatické výrobní linky, kancelářské stroje apod.).

Jednoduchá třecí spojka s kroužky (obr. 167a) přenáší v zapnutém stavu točivý moment z hřídele 1 na náboj 2, otočně uložený na hřídeli pomocí ložiska 3. Těleso magnetu 5, které se otáčí spolu s hřídelí, je opatřeno budicí vinutím 6. Přívod obstarávají dva sběrací kroužky 7, uložené v izolačním pouzdru 8.

Kotvu elektromagnetu představuje kotouč 9, který v přitaženém stavu tlačí prostřednictvím třecího obložení 10 na těleso magnetu, a tak zabezpečuje přenos momentu.

Na obr. 167b je bezkroužková elektromagnetická spojka. Magnetové těleso 4 s budicí vinutím 5 se neotáčí, ale přírubou je připevněno k základu. S hřídelí 1 se otáčí pólový kroužek 8, oddělený od tělesa magnetu válcovou vzduchovou mezerou 11. Spolu s ním se otáčí příruba 9, oddělená od něho nemagnetickým mezikroužkem 10. Tím

je magnetický obvod upraven tak, že indukční čáry musí procházet kotoučem kotvy 12 a neuzavírají se krátkou cestou jen materiálem tělesa magnetu (statoru). Po zapnutí proudu přitáhne se kotouč s třecím obložení 13 k otáčející se přírubě a spojí tak hnací hřídel 1 s hnáným nábojem 2.



Obr. 167. Elektromagnetické spojky firmy Magnet-Schultz, Memmingen, NSR

a) spojka s kroužky

1 — hřídel, 2 — náboj, 3 — ložisko náboje, 4 — pouzdro, 5 — magnetické těleso, jádro, 6 — budicí vinutí, 7 — přívodní kroužky, 8 — rotační pouzdro, 9 — kotvový kotouč, 10 — třecí obložení

b) bezkroužková spojka

1 — hřídel, 2 — náboj, 3 — ložisko, 4 — magnetové těleso, jádro, 5 — vinutí, 6 — zalévací hmota, 7 — připojovací svorky, 8 — pólový kroužek, 9 — otočná příruba, 10 — nemagnetický mezikroužek, 11 — válcová vzduchová mezer, 12 — kotouč kotvy, 13 — třecí obložení

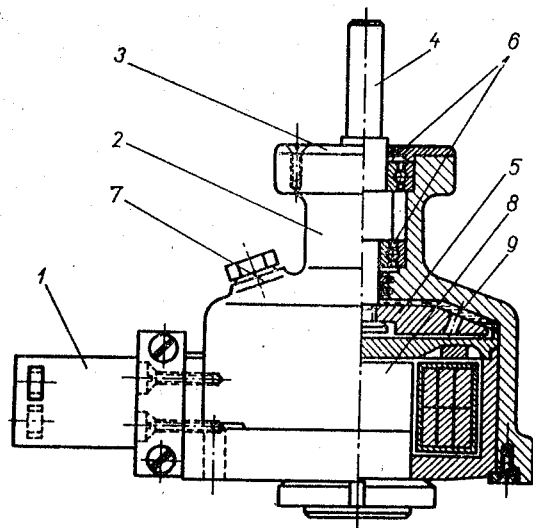
Moderní spojky, popř. elektromagnetické brzdy, nemají třecí obložení, ale prostor mezi hnáným a hnacím kotoučem je vyplněn olejem smíchaným se železnými pilinami. Pokud je budicí cívka bez proudu, mohou se oba kotouče volně proti sobě otáčet a spojka (brzda) je rozpojena. Zavedením proudu do budicí cívky a zmagnetováním obvodu ztuhne olejová pasta s pilinami na tvrdou hmotu, která hnací a hnací kotouč pevně spojí.

Na obr. 168 je prášková elektromagnetická brzda, plněná směsí 28 cm³ transformátorového oleje a 16 g karbonylového prášku. Používá se jí v trolejbusích k samočinnému přibrzdování trakčního kontroléru. Nastavena je tak, že i při prudkém našlápnutí na ovládací pedál nepřipustí aby trakčním obvodem procházel větší proud než 300 A. Přibrzděný kontrolér uvolní tehdy, až proud klesne na 260 A. Tím je zaručen plynulý rozběh vozidla bez ohledu na pozornost vodiče.

11.7. BRZDOVÉ ELEKTROMAGNETY

11.7.1. Druhy a vlastnosti

Brzdovými elektromagnety [54] se ovládají mechanické brzdy elektromotorů jeřábů a jiných pohyblivých zařízení. Jsou konstruovány tak, že motor jen odbrzdí. Vlastní brzdou sílu zajišťují závaží nebo pružiny. Připojují se paralelně ke svorkám motoru, takže jeho připojením na síť se motor samočinně odbrzdí a obsluha se vůbec nemusí věnovat jejich ovládání.

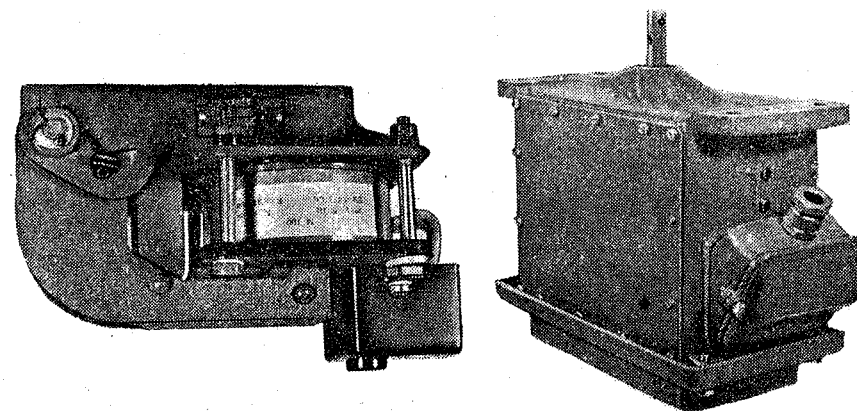


Obr. 168. Prášková elektromagnetická brzda typu 4KT pro trakční kontrolér trolejbusů

1 — přívody, 2 — těloso brzdy, 3 — víčko, 4 — hřídel, 5 — kotouč, 6 — ložisko
7 — nalévací otvor, 8 — jádro, 9 — otvor v kotouči

Zhotovují se jak na proud stejnosměrný, tak na proud střídavý. Stejnoseměrné brzdové elektromagnety se používají jen v takových provozech, kde je stejnosměrný proud z různých důvodů výhodnější (přístavy, hutě, palubní výstroj lodí apod.). Nejvýhodnější jsou trojfázové elektromagnety, neboť rovnoměrně zatěžují síť.

U nás se vyrábějí následující základní typy (MEZ Postřelmov, n. p.).



a)

b)

Obr. 169. Střídavé elektromagnety, MEZ Postřelmov, n. p. — a) trojfázový elektromagnet typu M 3, b) jednofázový elektromagnet typu M 100

Trojfázové brzdové elektromagnety (obr. 169a)

Typ	M1	M2	M3	M4	M5
tah [N]	100	125	200	400	800
zdvih [cm]	2,5	4,0	5,0	5,0	5,0
hmotnost kotvy [kg]	3	4	6	13	22

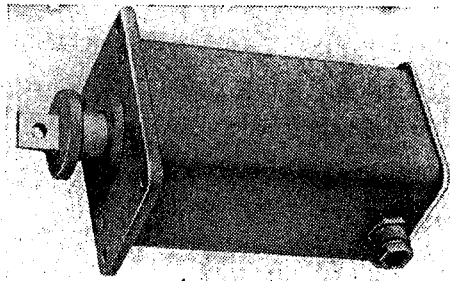
Jednofázové brzdové elektromagnety (obr. 169b)
(pro malé zdvihy)

Typ	M100	M200	M300
tah [N]	250	1 000	2 000
zdvih [cm]	0,25	0,35	0,4

Stejnoseměrné brzdové elektromagnety (obr. 170)

Typ	MS1	MS2	MS3	MS4
tah [N]	125	200	400	800
zdvih [cm]	4	5	5	5
hmotnost kotvy [kg]	1,5	2,0	5,0	5,0

Obr. 170. Stejnoseměrný brzdový elektromagnet, MEZ Postřelmov, n. p.

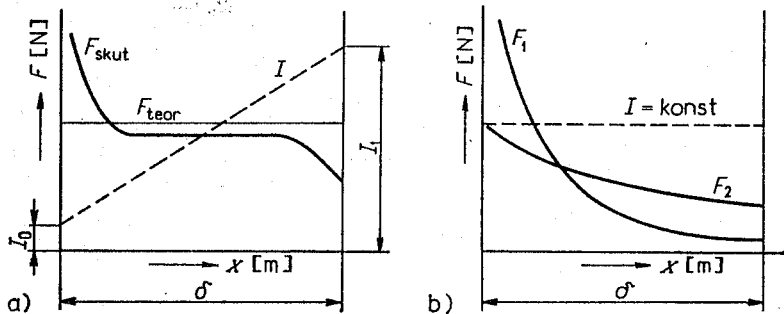


Při návrhu elektromagnetické brzdy se musí počítat s tím, že přitažlivá síla elektromagnetu musí překonávat i tíhu kotvy.

Pro posouzení vlastností brzdového elektromagnetu slouží jeho *charakteristika*, udávající závislost síly tahu na zdvihu. Závisí především na druhu použitého proudu a je možné ji podle potřeby ovlivnit tvarem vzduchové mezery.

U střídavého elektromagnetu jsou (při zanedbání rozptylu) magnetický tok i indukce stálé, a proto i síla je při každém zdvihu konstantní (obr. 171a). Jen u větších zdvihů se působením rozptylu zmenšuje. Stálá síla pro velkou část zdvihu je velkou předností střídavých elektromagnetů.

Zmenšováním vzduchové mezery se však zvětšuje reaktance vinutí a proud elektromagnetu klesá. Nejmenší proud je v přitaženém stavu a jeho změna je téměř lineární. Poměr proudového nárazu při zapnutí proudu I_1 (proud záťahový) k proudu naprázdno I_0 je značný. Samočinný pokles proudu v zapnuté poloze je výhodný, neboť umožňuje trvalý chod magnetu bez speciálního přidavného zařízení.



Obr. 171. Charakteristika elektromagnetů — a) střídavý elektromagnet, b) stejnosměrný elektromagnet

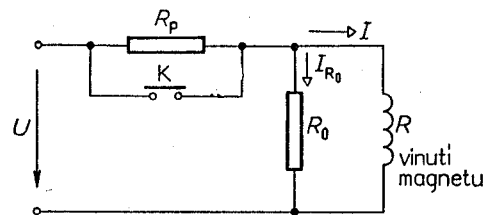
Konstrukce brzdy musí být provedena velmi pečlivě, aby magnet nezůstával pootevřen, neboť větším proudem by se jeho vinutí poškodilo.

Stejnoseměrné elektromagnety mají charakteristiku závislou na zdvihu. Ze zdroje odebírají stálý proud, který představuje stálé buzení. Zmenšováním zdvihu se zmenšuje magnetický odpor obvodu. Stálé magnetomotorické napětí jím potlačuje magnetický tok, kterému odpovídá větší síla (obr. 171b). Přebytkem pohybové energie na konci zdvihu vznikají nárazy, jimiž brzdňý mechanismus velmi trpí. Aby se síla na konci zdvihu zmenšila a aby magnet mohl v zapnuté poloze trvale pracovat, zapojí se k cívice do série předřadný odpor, který je normálně spojen nakrátko, jen na konci zdvihu se pomocnými kontakty rozpojí. Výhodnější je vybavit magnet dvěma vinutími zapojenými do série. Jedno vinutí má malý odpor a jím se vykoná potřebná práce, druhé vinutí má velký odpor a pracuje jen v zapnuté poloze s malým proudem a s malými ztrátami.

Charakteristiku stejnosměrného elektromagnetu můžeme výhodně ovlivnit kuželovou mezerou, která umožňuje rovnoměrnější tah a menší sílu na konci zdvihu.

Charakteristika elektromagnetu musí být přizpůsobena průběhu brzdě síly.

Při vypnutí stejnosměrných elektromagnetů vznikají velká přepětí. Aby se jimi vinutí nepoškodilo, připojí se k němu *paralelně ochranný odpor* nebo nověji i kondenzátor (obr. 172).



Obr. 172. Zapojení stejnosměrného elektromagnetu s předřadným a ochranným odporem
 R — odpor vinutí, R_0 — ochranný odpor, R_p — předřadník, K — zkratovací kontakt předřadného odporníku

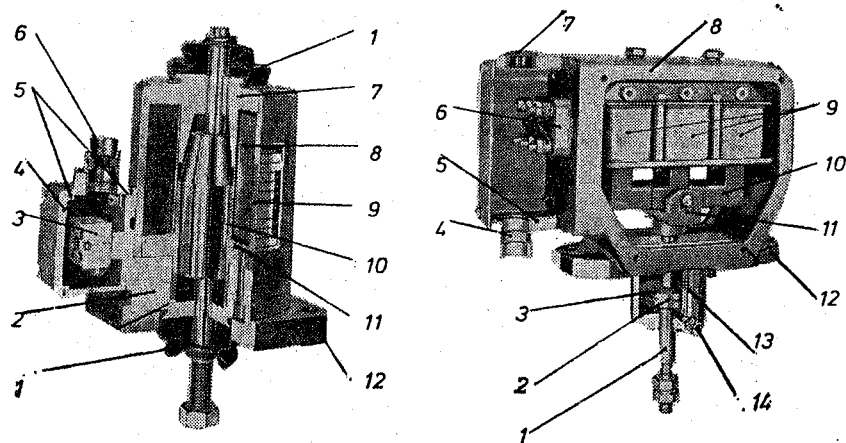
Dnes je snaha vyrábět brzdové elektromagnety v jednom celku s motory nebo je vyloučit použitím tzv. stop motorů, které jsou ve vypnuté poloze zabrzděny.

11.7.2. Popis stejnosměrného brzdového elektromagnetu

Uspořádání stejnosměrného brzdového elektromagnetu s velmi častou kuželovou vzduchovou mezerou je na obr. 173a, na obr. 170 je pohled na náš sériově vyráběný elektromagnet typu MS.

Konstrukční výkres menšího elektromagnetu na stejnosměrný proud je na obr. 174.

Magnetický obvod tvoří pevná část jádra 2, jeho upevňovací deska 13, plechový plášť 6, základ 1 a pohyblivá kotva 3 s kuželovou dutinou. Budicí cívka 5 je izolovaně navinuta na mosazném pouzdře 11, v němž se kotva klouzávě pohybuje. V pouzdře elektromagnetu je zalita kompaundem nebo epoxidovými pryskyřicemi, aby byl zaručen odvod tepla z vnitřku na plášť elektromagnetu.



Obr. 173. Brzdové elektromagnety firmy Magnet-Schultz, Memmingen, NSR

a) stejnosměrný

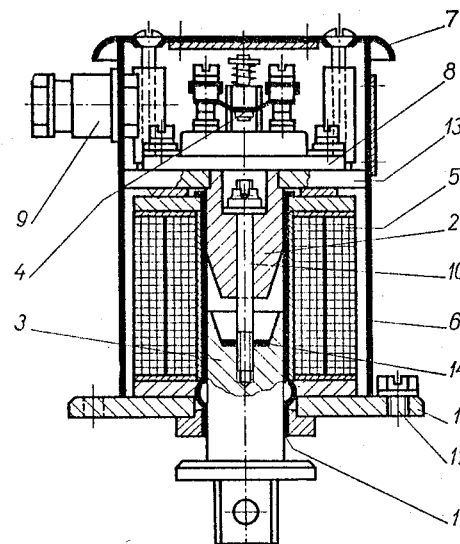
1 — pryžová manžeta, 2 — omezovač zdvihu, 3 — připojovací svorky, 4 svorkovnice, 5 — těsnění, 6 — kabelová ucpávka, 7 — horní příruba, 8 — budicí vinutí, 9 — plášť, 10 — pohyblivá kotva, 11 — spodní příruba, 12 — základ

b) trojfázový

1 — ovládací tyč, 2 — těsníci kroužek, 3 — píst tlumiče, 4 — kabelová ucpávka, 5 — svorkovnice, 6 — připojovací svorky, 7 — slepá ucpávka, 8 — kostra, 9 — budicí vinutí, 10 — pohyblivá kotva, 11 — držák kotvy, 12 — připevňovací příruba, 13 — válec tlumiče, 14 — šroub pro nastavení tlumění

Spolehlivé odpadnutí kotvy po vypnutí proudu udržuje vodičí svorník 10, který v zapnuté poloze působí na pomocné kontakty 4, umístěné na izolační desce 8.

Jimi se na konci zdvihu zruší zkratování předřadníku (R_p — obr. 172) nebo se připojí další přídržné vinutí s velkým odporem, které udržuje magnet v zapnuté poloze i při malém budicím proudu.



Obr. 174. Uspořádání stejnosměrného elektromagnetu
1 — základní deska, 2 — pevná část jádra, 3 — kotva, 4 — pomocné kontakty, 5 — cívka, 6 — plechový plášť, 7 — víko, 8 — izolační deska, 9 — těsníci ucpávka přívodu, 10 — vodičí svorník, 11 — vodičí pouzdro, 12 — uzemňovací šroub, 13 — upevňovací deska, 14 — nemagnetická podložka

11.7.3. Popis trojfázového brzdového elektromagnetu

Uspořádání trojfázového brzdového elektromagnetu s vinutím zalitým do epoxidové pryskyřice je na obr. 173b, na obr. 169a je pohled na náš sériově vyráběný elektromagnet typu M3.

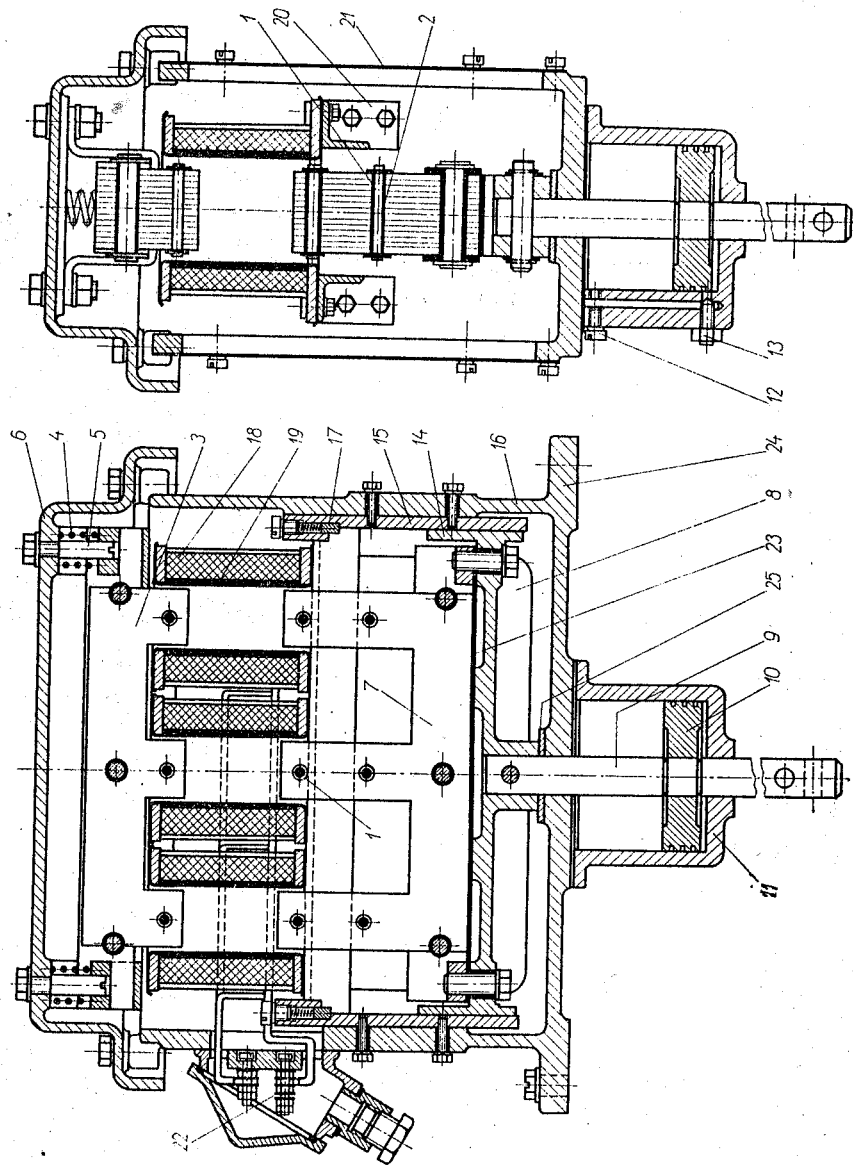
Konstrukční výkres trojfázového elektromagnetu je na obr. 175.

Magnet má jádro z dynamových plechů tloušťky 0,5 mm pro zmenšení ztrát v železe, které v něm vznikají při střídavé magnetizaci. Plechy jsou stáhnuty trubkovými nýty 1, které jsou odizolovány papírovou trubkou 2.

Pevná část jádra 3 je pomocí pružin 4 a šroubů 5 pružně připevněna k litinovému víku 6. Střední jádro je asi o 0,1 mm kratší než krajní, aby bylo zaručeno přesné dosednutí pohyblivé kotvy 7. Kotva je uložena v držáku 8, který je spojen s ovládacím brzdovým táhlem.

Obr. 175. Uspořádání trojfázového brzdového elektromagnetu

1 — stahovací nýt, 2 — izolační trubka, 3 — pevná část jádra, 4 — pružina, 5 — upevňovací šroub jádra, 6 — víko, 7 — pohyblivá kotva, 8 — držák kotvy, 9 — táhlo elektromagnetu, 10 — tlumičí píst, 11 — válec tlumiče, 12, 13 — regulační šrouby tlumění, 14 — vodičí náliček, 15 — vodičí lišty, 16 — litinová kostra elektromagnetu, 17 — pružinový nárazník, 18 — budicí cívka, 19 — pouzdro cívky, 20 — nosný úhelník cívky, 21 — děrovaný krycí plech, 22 — svorkovnice, 23 — izolační podložka kotvy, 24 — upevňovací patka, 25 — tlumičí vložka kotvy



Na táhle je připojen píst 10, pohybující se v tlumícím válci 11. Jeho tlumicí účinek je možné podle potřeby nastavovat regulačními šrouby 12 a 13.

Držák kotvy je v přímočarém pohybu veden vodicím nálitkem 14, který se pohybuje mezi dvěma vodicími lištami 15, přišroubovanými k litinové kostře 16. Nárazy při zapínání tlumí pružinový nárazník 17 a při odpadnutí kotvy tlumicí vložka 25.

Budicí cívký 18 jsou umístěny na masivních pouzdrech 19. Jsou-li pouzdra kovová, musí být po délce rozřezána, aby nevznikl závit nakrátko. Připevněny jsou zespoda na dva nosné úhelníky 20.

U jiných konstrukcí bývají zavěšeny na plechových pásech upevněných na šroubech, jimiž je jádro připevněno k víku elektromagnetu.

Kostra má na dvou stranách otvory zakryté děrovaným plechem 21, který umožňuje lepší chlazení. Zavádějí se i elektromagnety chlazené olejem.

11.8. OVLÁDACÍ ELEKTROMAGNRTY

K ovládání různých přístrojů (např. stykačů, obráběcích strojů a hydraulických ventilů) se používají nejrůznější elektromagnety. U nás se sériově vyrábějí vestavné elektromagnety typu VEM 0 až 3 VES 0 až 3.

Typická úprava ovládacího jednofázového elektromagnetu je na obr. 176.

11.9. ELEKTROMAGNETICKÉ VENTILY

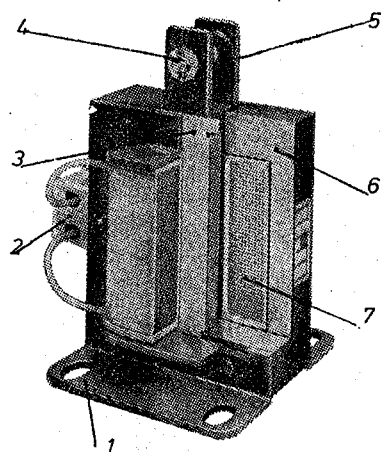
Elektromagnetické ventily jsou jedním z podstatných prvků dálkového a automatického ovládání průtoků plynů a tekutin, především při řízení tlakovzdušných pohonů a tlakovzdušných vypínačů, v dopravních prostředcích pro ovládání dveří, při tlakovzdušném a hydraulickém ovládání obráběcích strojů apod.

Na obr. 177 je řez velmi často používaným jednoduchým ventilem typu R 153, který se používá pro ovládání tlakovzdušných pohonů v našich rozvodnách vn.

11.10. SUPRAVODIVÉ ELEKTROMAGNETY

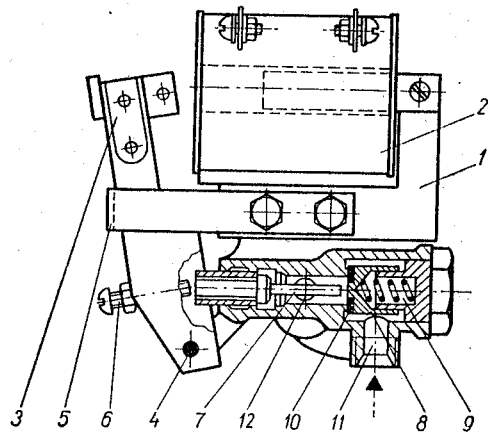
Pro vytváření zvláště silných magnetických polí o magnetické indukci až 10 T se v posledních letech často používají supravodivé elektromagnety, které nejsou tak energeticky a prostorově náročné jako magnety v klasickém provedení.

Budící vinutí těchto elektromagnetů je z tzv. tvrdých supravodičů, které svou supravodivost neztrácejí ani v magnetickém poli. Jsou to vodiče ze slitiny niobu a cínu (Nb_3Sn) a slitiny niobu a zirkonu a niobu s titanem. Ochlazení vinutí na teplotu, při níž dochází k supravodivému stavu (4,3 K), se dosáhne ponořením do kryostatu s tekutým heliem.



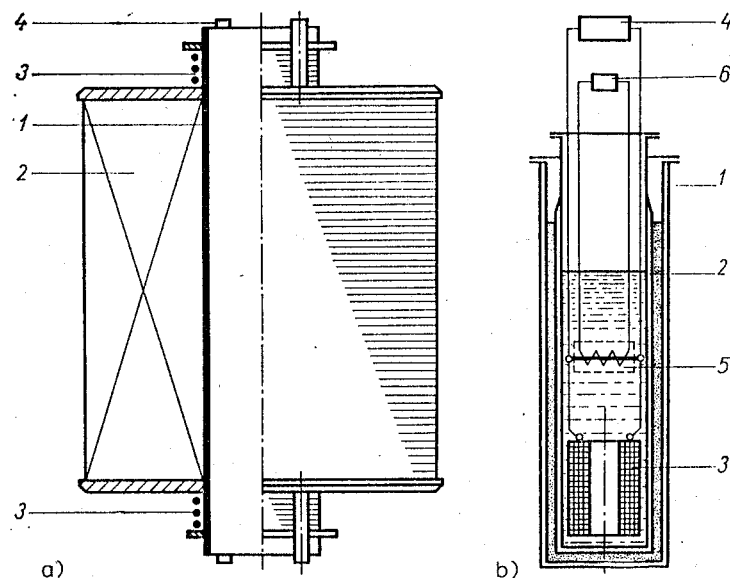
Obr. 176. Uspořádání jednofázového ovládacího elektromagnetu firmy Magnet-Schultz, Memmingen, NSR
1 — upevňovací úhelník, 2 — přípojovací svorky, 3 — vedení kotvy, 4 — čep pro přenos síly, 5 — pohyblivá kotva, 6 — jádro, 7 — budící vinutí

Obr. 177. Řez ovládacím elektromagnetickým ventilem typu R 153
1 — jádro, 2 — cívka, 3 — pohyblivá kotva, 4 — čep kotvy, 5 — zářez kotvy, 6 — tlačný šroub, 7 — ovládací tyč, 8 — záklópka, 9 — pružina záklópky, 10 — těsnění záklópky, 11 — vstup vzduchu, 12 — výstup vzduchu



Proudová hustota v supravodičích dosahuje (10^3 až 10^4) $A\ mm^{-2}$. Supravodivé elektromagnety se používají v různých oblastech vědy a techniky, např. ve fyzice pevných látek, v jaderné fyzice, v elektronice, v magnetohydrodynamických generátorech apod.

Na obr. 178a je řez supravodivým elektromagnetem BEZ Bratislava, n. p., s magnetickou indukcí $B_{max} = 6,6$ T a na obr. 178b je schematické uspořádání kryostatu skládajícího se ze dvou Dewarových nádob. Vnitřní Dewarova nádoba naplněná tekutým heliem je vložena do vnější nádoby naplněné dusíkem.



Obr. 178. Uspořádání supravodivého elektromagnetu
a) řez supravodivým elektromagnetem SVS 5-29-3 pro maximální indukci 6,6 T, BEZ Bratislava, n. p.
1 — kostra, 2 — supravodivé vinutí, 3 — nástavec s rezervními závity, 4 — závitové svorníky
b) schematické uspořádání kryostatu se supravodivým elektromagnetem
1 — Dewarova nádoba s tekutým dusíkem, 2 — Dewarova nádoba s tekutým heliem, 3 — supravodivá cívka, 4 — zdroj proudu pro cívku, 5 — supravodivá proudová spojka, 6 — zdroj pro proudovou spojku

Důležitým požadavkem, kladeným na supravodivé elektromagnety, je téměř absolutní stálost vybuzeného magnetického pole v průběhu jeho činnosti. Dosáhne se toho tzv. supravodivou proudovou spojkou (obr. 178b). Je to vodivé přemostění přivedů k budící cívce supravodivým drátem, který se zapne, když magne-

tická indukce dosáhne požadované velikosti. Zkratováním cívky se zabezpečí její velmi dlouhá časová konstanta, takže v dlouhém čase nemůže dojít ke změně proudu a tak ani ke změně magnetického pole.

Spojení se zapíná a vypíná nepřímou, tepelným vyhříváním spojky proudem z pomocného zdroje. K přemostění dojde po vypnutí obřívacího proudu a postupným ochlazením vodiče až na teplotu, při níž dojde k supravodivému stavu.

12. SPOUŠTĚČE A REOSTATY

12.1. ROZDĚLENÍ A DRUHY

Spouštěče jsou obecně přístroje určené ke spouštění motorů v několika stupních tak, že svým kontaktním ústrojím postupně vyřazují jednotlivé odporové stupně. Od kontrolérů se odlišují tím, že přepínací i odporové články tvoří jeden konstrukční celek.

Řídicí spouštěče mají kontakty i odporové stupně dimenzované tak, že je můžeme použít nejen pro spouštění motorů, ale i k řízení otáček.

Běžný spouštěč není možné použít k řízení otáček, neboť je zpravidla dimenzován jen na krátkodobé nebo přerušované zatížení.

Podle použití jsou:

a) stejnosměrné spouštěče — pro spouštění stejnosměrných motorů,

b) trojfázové satorové spouštěče — pro spouštění indukčních motorů nakrátko zmenšením satorového proudu; jsou velmi málo používané,

c) trojfázové rotorové spouštěče — pro spouštění kroužkových motorů změnou odporu obvodu rotoru.

Podle prostředí, v němž jsou uloženy odporové stupně, rozdělujeme spouštěče na:

a) vzduchové — pro lehké a častější spouštění (rychleji se ochlazují),

b) olejové — pro těžké a méně časté spouštění (mají větší tepelnou kapacitu, ale pomaleji se ochlazují).

Podle úpravy přepínacích kontaktů jsou spouštěče:

a) deskové — pohyblivý kontakt klouže po pevných kontaktech, které jsou umístěny na izolační desce, odporové články jsou ve společné skříni s přepínačem (u nás se vyrábějí pro motory od 4 do 700 kW),

b) válcové — mají pevné palcové kontakty a otočný válec s vodivými segmenty, které při otáčení válce spojují jednotlivé pevné kontakty; odpory jsou ve společné nádobě s přepínacím válcem,

c) bubnové — kontaktní ústrojí je uvnitř válce; jsou málo používané,

d) kapalinové — změny spouštěcího odporu se dosahuje zasouváním tří kovových elektrod do nádoby s vodou, která obsahuje takové procento sody, aby měla požadovaný odpor.

Kapalinové spouštěče se dnes používají jen pro ty největší výkony, protože zaručují úplně plynulý rozběh. Oblíbené jsou zejména v zahraničí, kde byly vyvinuty důmyslné konstrukce. Pohyb elektrod obstarává servomotor. U nás se běžně nevyrábějí.

Nejnovější kapalinové spouštěče využívají ke změně odporu jednotlivých stupňů odpařování elektrolytu průchodem spouštěcího proudu a jeho opětovné kondenzování.

Derivační (budicí) reostaty se zapojují do derivačního budicího vinutí stejnosměrných strojů a jimi je možné měnit velikost budicího proudu.

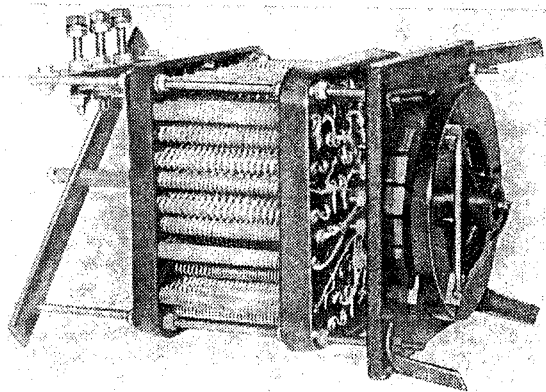
U dynam se jimi řídí svorkové napětí, u motorů otáčky.

Starší název „derivační regulátor“ se nemá podle ČSN 34 5128 používat.

12.2. KONSTRUKCE SPOUŠTĚČŮ A REOSTATŮ

V zásadě není rozdíl mezi konstrukcí spouštěčích a budicích reostatů. Budicí reostaty jsou jen dimenzované na menší proudy, na trvalé zatížení a mají větší počet odporových stupňů.

Výrobní závody se snaží vyrábět reostaty jednotné řady tak, aby se ze stejných základních konstrukčních dílů daly sestavovat jednoduchou záměnou reostaty pro všechny účely.

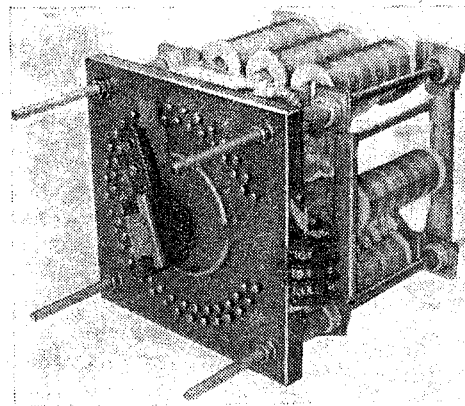


Obr. 179. Rotorový spouštěč s odporovými volnými spirálami staršího typu SDO, SEZ Krompachy, n.p.

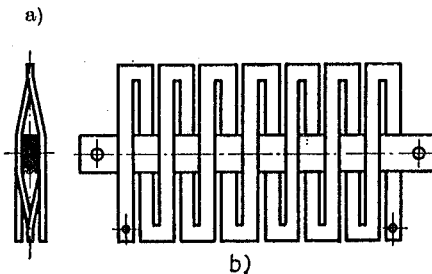
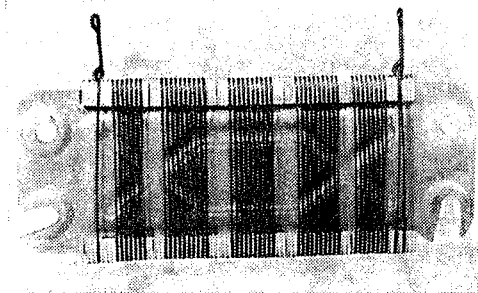
Odporové články mohou být.

1. Drátové — pro menší proudy, navinuté

- a) jako volné šroubovice (obr. 179),
- b) na keramických válečcích (obr. 180),
- c) na rámu (obr. 181a),



Obr. 180. Derivační budicí reostat typu A s odporovými články na keramických válečcích, SEZ Krompachy, n. p.



Obr. 181. a) Odporový rám, b) odporový článek prostřihávaný z plochu

2. litinové — pro větší proudy (obr. 188),

3. z prostřihovaného plechu (obr. 181b).

U nás se vyrábějí hlavně tyto typy reostatů:

a) SDO 1 až 6 — starší provedení, jako rotorové spouštěče, s olejovým chlazením, kontaktní přepínací deska je u dna nádoby obrácena tak, že spálené částičky oleje padají ke dnu a neusazují se mezi kontakty, příklad takového reostatu je na obr. 179 a na obr. 182.

b) SOR 1 až 5 — nová konstrukce, jako rotorové spouštěče, s olejovým chlazením odporových článků, kontaktní deska je asi 20 mm nad hladinou oleje, takže kontakty jsou ve vzduchu.

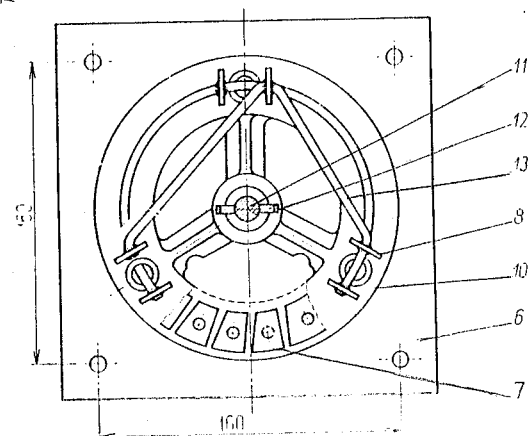
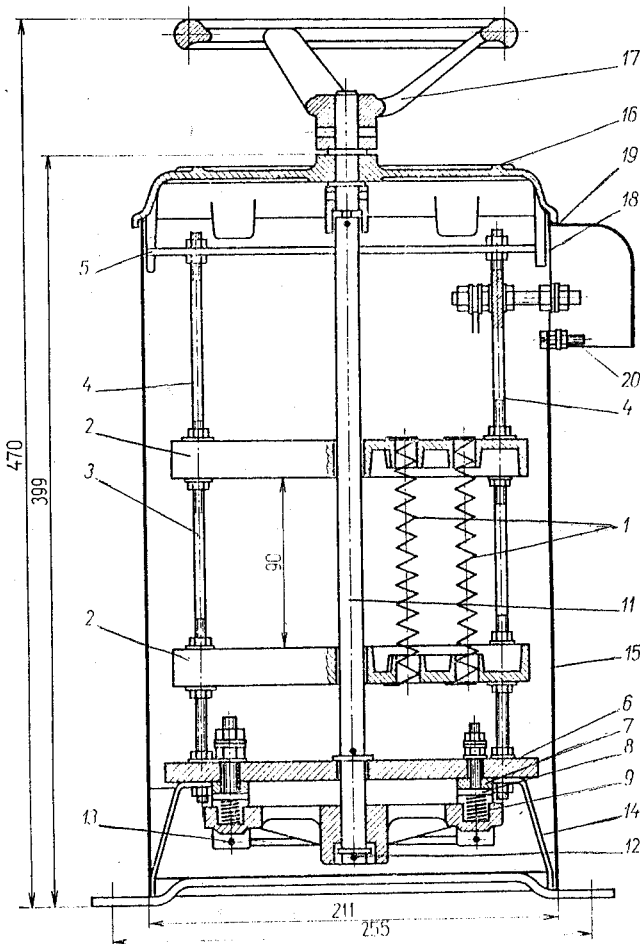
Spouštěče mohou být vybaveny i dálkovým motorovým ovládáním (typ SOR - M, obr. 183).

c) Stavebnicové reostaty typu A — mohou být provedeny jako satorové spouštěče motorů s kotvou nakrátko, rotorové spouštěče kroužkových motorů, rotorové řídicí spouštěče, stejnosměrné spouštěče, derivační reostaty v různém uspořádání, stejnosměrné řídicí reostaty pro řízení stejnosměrných motorů změnou proudu v kotvě, stejnosměrné řídicí spouštěče apod. Mají vzduchové chlazení a svislý ovládací hřídel. Určeny jsou hlavně pro motory menších výkonů.

d) Stavebnicové reostaty typu B — konstruují se ve stejných variantách jako reostaty typu A, určeny jsou však převážně pro motory větších výkonů. Ovládací hřídel je vodorovný.

e) Olejové válcové rotorové spouštěče typu KT SO — určené pro těžké provozy.

Jmenovité hodnoty všech reostatů jsou v příslušných katalozích výrobců (ZSE).



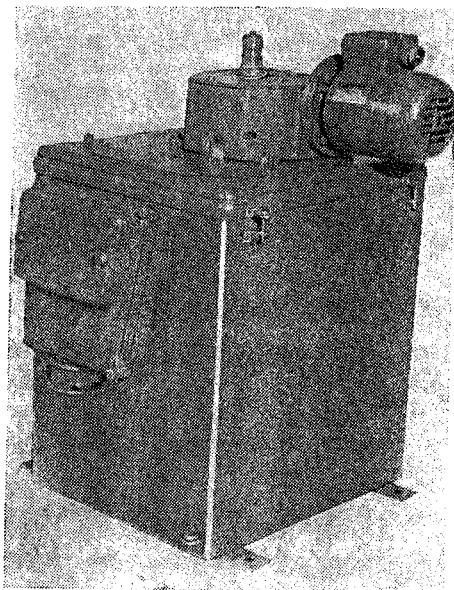
12.3. ROTOROVÉ SPOUŠTĚČE KROUŽKOVÝCH MOTORŮ

Funkce a schémata zapojení byly vysvětleny v I. dílu této učebnice. Základní schéma je na obr. 184a.

12.3.1. Průběh spouštění

Průběh spouštění můžeme sledovat na momentových a proudových charakteristikách, nakreslených pro jednotlivé stupně, jak to bylo vysvětleno v I. dílu této učebnice.

Obr. 183. Olejový rotorový spouštěč typu SOR 2MA P72 s motorovým pohonem



Na obr. 185a je zjednodušený průběh spouštění, v němž jsou proudové charakteristiky $I = f(s)$ nahrazeny přímkami z bodu O . Během spouštění smí proud kolísat mezi krajním proudem I_m a přepínacím proudem I_p .

Maximálně přípustný krajní proud při nejtěžším rozběhu je

$$I_m = 2,5I_n \quad \text{— podle ČSN 34 1350} \quad (54)$$

$$I_m = 2,4I_n \quad \text{— podle ČSN 34 3150} \quad (55)$$

Stupeň nerovnoměrnosti spouštění, daný poměrem krajního a přepínacího proudu, nesmí překročit hodnotu

$$g = \frac{I_m}{I_p} \leq 1,9 \quad (56)$$

◀ Obr. 182. Olejový deskový rotorový spouštěč typu SDO
 1 — odporové šroubovice, 2 — upevňovací deska z lisovaného izolantu, 3, 4 — stahovací svorníky, 5 — plochý upevňovací pás, 6 — izolační deska přepínače, 7 — pevné kontakty, 8 — pohyblivé kontakty, 9 — kontaktní pružina, 10 — nosný kruh z lisovaného izolantu, 11 — otočný hřídel, 12 — upevňovací kolík, 13 — měděný spojovací drát, 14 — plechové podpěry, 15 — nádoba s olejem, 16 — litinové víko nádoby, 17 — ruční kolečko, 18 — izolační deska svorkovnice, 19 — kryt svorkovnice, 20 — uzemňovací šroub

Ve spodní části je pohled na spouštěč zespodu

Pro dimenzování spouštěče je rozhodující střední proud

$$I_s = \sqrt{I_m I_p} \quad (57)$$

Porovnáním (56) a (57) dostaneme

$$I_m = I_s \sqrt{g} \quad (58)$$

neboť

$$I_s = I_m I_p \quad \text{a} \quad I_p = \frac{I_m}{g}$$

takže

$$I_s = I_m \frac{I_m}{g} = \frac{I_m^2}{g}$$

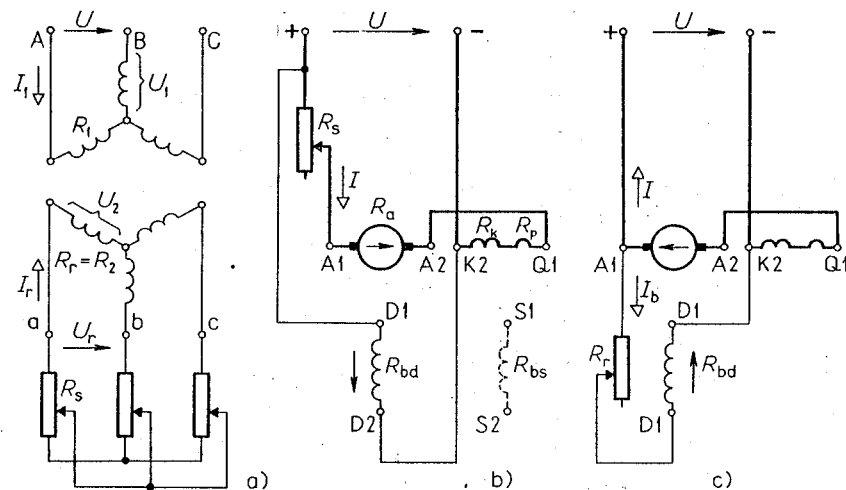
a z toho

$$I_m = I_s \sqrt{g}$$

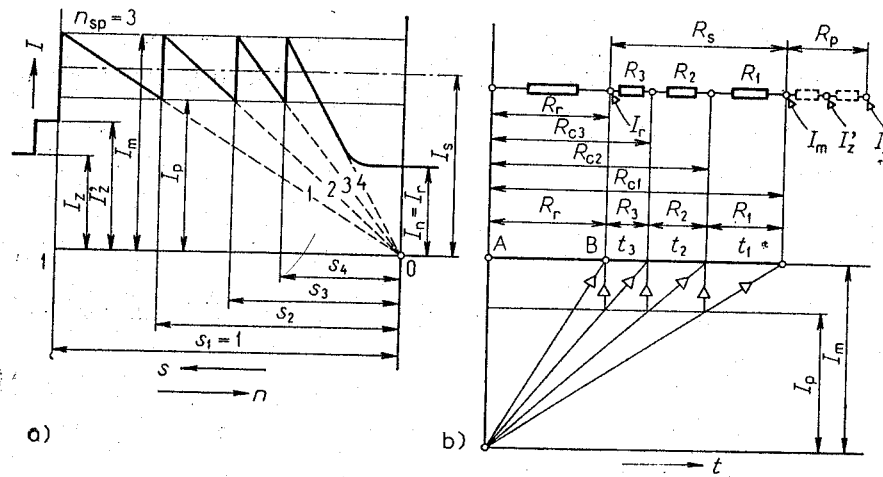
Obtížnost rozběhu charakterizuje míra rozběhu

$$m = \frac{I_s}{I_n} \quad (59)$$

kteřá závisí na skutečných provozních poměrech. Sériově vyráběné spouštěče mají svoje jmenovité hodnoty určeny pro čtyři základní hodnoty míry rozběhu podle tab. 4.



Obr. 184. Schéma zapojení reostatů — a) rotorový spouštěč, b) stejnosměrný spouštěč, c) derivační budíček reostat dynamů



Obr. 185. Rotorový spouštěč — a) zjednodušený průběh spouštění, b) odstupňování spouštěcího odporu

První proudový náraz po zapnutí při zařazeném plném spouštěcím odporu, představuje tzv. *zapínací proud* I_z (obr. 185a), pro který platí:

$$I_z \leq I_m \text{ u kroužkových motorů do 55 kW}$$

$$I_z \leq I_n \text{ u kroužkových motorů nad 55 kW}$$

Omezení zapínacího proudu dosáhneme jedním nebo i několika předradnými odporovými stupni.

12.3.2. Určení velikosti spouštěcího odporu

Velikost spouštěcího odporu se dá stanovit buď výpočtem, nebo graficky z kruhového diagramu.

Tabulka 4. Míra rozběhu spouštěčů podle ČSN 35 3150

Druh kontaktního ústrojí	Míra rozběhu m			
Deskové Bubnové	0,65	1,0	1,3	1,7
Válcové Vačkové	0,75	1,0	1,5	2,0

Počtářský způsob byl vysvětlen v I. dílu této učebnice:
Aby se motor rozbíhal s proudem I_m , musí jeho jedna fáze mít i se spouštěčem impedanci

$$Z_s = \frac{U_1}{I_m} \quad (60)$$

a činný odpor

$$R + R_{s1} = \sqrt{Z_s^2 - X^2} \quad (61)$$

Z tohoto vztahu plyne odpor jedné fáze spouštěče, přepočtený na stator

$$R_{s1} = \sqrt{Z_s^2 - X^2} - R \quad (62)$$

Skutečný odpor jedné fáze rotorového spouštěče

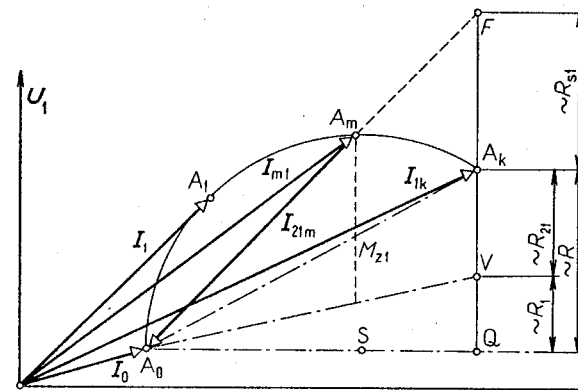
$$R_s = R_{s1} \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 \quad (63)$$

předpokládáme-li, že počet fází $m_1 = m_2$.

Velikost odporu R a reaktance X známe buď z návrhu motoru, nebo u hotového motoru je zjistíme z měření nakrátko.

Grafické určení odporu R_s je naznačeno ve zjednodušeném kruhovém diagramu na obr. 186 (obr. 114 v I. dílu).

Zvolenému (určenému) krajnímu proudu I_{m1} (statorový proud) odpovídá na kružnici bod A_m . Prodloužená spojnice A_0A_m protne svislici QA_k v bodě F. Potom úsečka FA_k je úměrná spouštěcímu odporu.



Obr. 186. Grafické určení spouštěcího odporu z kruhového diagramu

Platí

$$\frac{\overline{A_k F}}{QA_k} = \frac{R_{s1}}{R} = \frac{R_{s1}}{R_1 + R_{21}} \quad (64)$$

z toho pak dostaneme spouštěcí odpor přepočtený na stator

$$R_{s1} = R \frac{\overline{A_k F}}{QA_k} \quad [\Omega; \Omega, \text{mm}, \text{mm}] \quad (65)$$

Na rotorovou stranu se přepočte podle (63).

Velikost spouštěcího odporu můžeme stanovit i přímo z úměry

RYČA

$$\frac{\overline{A_k F}}{\sqrt{A_k}} = \frac{R_s}{R_2} \quad (66)$$

$$R_s = R_2 \frac{\overline{A_k F}}{\sqrt{A_k}} \quad [\Omega; \Omega, \text{mm}, \text{mm}] \quad (67)$$

příčemž odpor R_2 je totožný s odporem R_r .

12.3.3. Odstupňování spouštěcího odporu

Spouštěcí odpor je třeba rozdělit na stupně tak, aby nerovnoměrnost spouštění byla během celého spouštění stálá. Ze zjednodušeného diagramu pro tři spouštěcí stupně na obr. 185a vyplývá

$$g = \frac{I_m}{I_p} = \frac{1}{s_2} = \frac{s_2}{s_3} = \frac{s_3}{s_4}$$

neboť $s_1 = 1$.

Protože skluzům jsou úměrné celkové odpory rotorového obvodu, podle schématu na obr. 185b, je též

$$g = \frac{I_m}{I_p} = \frac{R_{c1}}{R_{c2}} = \frac{R_{c2}}{R_{c3}} = \frac{R_{c3}}{R_r} \quad (68)$$

kde

$$R_{c1} = R_r + R_s \quad (69)$$

představuje celkový odpor rotorového obvodu na prvním stupni spouštěče, tedy odpor, při kterém se motor rozbíhá,

R_2, R_3 jsou celkové odpory na jednotlivých stupních,

R_r je odpor jedné fáze rotoru,

R_s odpor spouštěče.

Při těchto úvahách se vliv statorového odporu na průběh spouštění zanedbává.

Z rovnice (68) vychází

$$R_{c3} = R_r g$$

$$R_{c2} = R_{c3} g = R_r g^2$$

$$R_{c1} = R_{c2} g = R_r g^3$$

Odpory na stupních tvoří geometrickou řadu, pro kterou platí

$$R_{c1} = R_r g^{n_{sp}} = R_r + R_s \quad (70)$$

kde n_{sp} je počet spouštěcích stupňů.

Při daném stupni nerovnoměrnosti g musí být počet stupňů

$$n_{sp} = \frac{\log \frac{R_{c1}}{R_r}}{\log g} \quad (71)$$

nebo při daném počtu spouštěcích stupňů n_{sp} je stupeň nerovnoměrnosti

$$g = \sqrt[n_{sp}]{\frac{R_{c1}}{R_r}} = \sqrt[n_{sp}]{\frac{R_r + R_s}{R_r}} \quad (72)$$

Odpory jednotlivých stupňů vycházejí podle obr. 185b

$$R_1 = R_{c1} - R_{c2}$$

$$R_2 = R_{c2} - R_{c3}$$

$$R_3 = R_{c3} - R_r \quad (73)$$

Můžeme je určit i graficky podle obr. 185b. Úsečka \overline{AB} se nakreslí tak, aby ve zvoleném měřítku platilo $\overline{AB} = R_r$. Odpory stupňů se zjistí pomocí paprsků vynášených z bodu B naznačeným způsobem.

12.3.4. Postup návrhu

Motor, pro který se má rotorový spouštěč navrhnout, musí být určen následujícími základními údaji:

$$P, U, (U_1); U_r(U_2), n, 2p, \eta, \cos \varphi$$

POZNÁMKA. Pro lepší názornost se budou rotorové hodnoty napětí a proudu označovat indexem „r“.

Spouštění se určí pro jistou míru rozběhu m , danou provozními poměry, pro dobu spouštění t_s , pro jistý počet spouštění a a pro jistý počet spouštění h .

Přičemž a udává počet spouštění za sebou, po nichž se dosáhne maximálního oteplení; počet spouštění za sebou musí být minimálně 2, přičemž přestávky mezi jednotlivými spouštěními musí být rovny alespoň dvojnásobku doby spouštění ($2t_s$) a veličina h udává počet spouštění za jednu hodinu.

Úlohou návrhu je určit velikost a počet odporových stupňů tak, aby krajní proud při rozběhu nepřekročil dovolenou hodnotu a stupeň nerovnoměrnosti spouštěcí byl menší než 1,9.

1. Všechny veličiny se počítají pro rotorový obvod (I_m , I_p , I_r , I_s , I_z).

Jmenovitý proud rotoru je buď udán na štítku motoru, nebo se určí z příkonu motoru a sdruženého rotorového napětí (spojení Y)

$$I_r = \frac{P \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_r \cos \varphi} \quad [\text{A}; \text{kW}, \text{V}] \quad (74)$$

2. Střední spouštěcí proud se určí z dané míry rozběhu m podle (59)

$$m = \frac{I_s}{I_r} \quad (75)$$

$$I_s = m I_r \quad (76)$$

Normalizované míry rozběhu jsou v tab. 4.

3. Odpor jedné fáze rotoru je buď znám z návrhu, nebo se určí ze jmenovitého momentu (viz I. díl)

$$R_r = \frac{M_n s n_s}{9,55 m_2 I_r^2} \quad [\Omega; \text{N m}, \text{min}^{-1}, \text{A}] \quad (77)$$

kde skluz je dán známým vztahem

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (78)$$

a jmenovitý moment

$$M_n = 9550 \frac{P}{n} \quad [\text{N m}; \text{kW}, \text{min}^{-1}] \quad (79)$$

4. Počet spouštěcích stupňů n_{sp} při přesně určeném krajním proudu (např. pro požadovaný záběrný moment) se musí určit tak, aby stupeň nerovnoměrnosti vyšel menší než 1,9. Obyčejně se však

počet stupňů volí a stupeň nerovnoměrnosti se jen kontroluje ze vztahu (70), do něhož se dosadí

$$R_r + R_s = \frac{U_2}{I_m} = \frac{U_2}{\sqrt{g} I_s}$$

takže po úpravě

$$g^{n_{sp}} = \frac{U_2}{R_r g^{0,5} I_s} \quad (80)$$

a z toho

$$g = \left(\frac{U_2}{I_s R_r} \right)^{\frac{2}{2n_{sp}+1}} < 1,9 \quad (81)$$

kde U_2 je fázové rotorové napětí U_r .

5. Krajní proud je

$$I_m = I_r \sqrt{g} \quad (82)$$

a zkontroluje se, zda nepřekračuje hodnotu danou ČSN 35 3150. Příslušný přepínací proud bude

$$I_p = \frac{I_m}{g} \quad (83)$$

6. Odpor jedné fáze spouštěče R_s se určí podle článku 12.3.2 a na jednotlivé stupně se rozdělí podle čl. 12.3.3 nebo graficky podle obr. 185b.

7. Doba spouštění, jestliže není zvlášť předepsána pro speciální případ pohonu, se určí pro normální rozběh podle ČSN 35 3150

$$t_s = 5 \sqrt[3]{0,66 m P} \quad [\text{s}; -, \text{kW}] \quad (84)$$

kde m je míra rozběhu podle tab. 4.

8. Doba zatížení jednotlivých stupňů je důležitá pro tepelné dimenzování odporových článků vzduchových spouštěčů. Podle obr. 185b je poslední, v příkladu třetí, stupeň zatížení během celého rozběhu, časy zatížení ostatních jsou úměrné příslušným odporům

$$t_3 = t_s \sim R_s = R_1 + R_2 + R_3$$

$$t_2 \sim R_s - R_3 = R_1 + R_2$$

$$t_1 \sim R_s - R_3 - R_2 = R_1$$

a můžeme je tedy určit z úměry

$$\frac{t_s}{t_1} = \frac{R_s}{R_1}$$

ze které dostaneme

$$t_1 = t_s \frac{R_1}{R_s}$$

a podobně

$$t_2 = t_s \frac{R_1 + R_2}{R_s}$$

až po poslední

$$t_{sp} = t_s$$

9. Dimenzování odporových stupňů závisí na tom, zda jde o spouštěč vzduchový nebo olejový.

a) Dimenzování vzduchových drátových odporů.

Drátové (pásové) odporové články bývají asi do výkonu 50 kW. Používané materiály jsou uvedeny v tab. 5.

α) Volné šroubovice chlazené vzduchem

Jestliže se články zhotoví jen jako volné šroubovice chlazené vzduchem, vychází se při jejich návrhu ze ztracené elektrické práce, která se spotřebuje na zvětšení jejich tepelného obsahu.

Objem vodiče n -tého stupně je $S_n l_n$, takže pro a spouštění za sebou platí

$$R_n I_s^2 t_n a = S_n l_n c \Delta \vartheta_{\max} \quad (85)$$

Tabulka 5. Materiály pro odporové články

Materiál	Měrný odpor $\Omega \text{ m}$	Měrné teplo $\text{J m}^{-3} \text{K}^{-1}$	Maximální oteplení K
pozinkované železo	$0,13 \cdot 10^{-6}$	$3,7 \cdot 10^6$	200
nikelin	$0,40 \cdot 10^{-6}$	$4,5 \cdot 10^6$	200
konstantan	$0,50 \cdot 10^{-6}$		
chromnikl	$1,03 \cdot 10^{-6}$	$3,64 \cdot 10^6$	300
cekas	$1,12 \cdot 10^{-6}$		
alkrothal	$1,25 \cdot 10^{-6}$		
kantal	$1,35 \cdot 10^{-6}$		

příčemž se předpokládá, že v přestávkách mezi jednotlivými spouštěními se článek neochladí.

Za odpor stupně se dosadí

$$R_n = \rho \frac{l_n}{S_n}$$

takže je

$$\rho \frac{l_n}{S_n} I_s^2 t_n a = S_n l_n c \Delta \vartheta_{\max}$$

a z toho vychází průřez vodiče n -tého stupně

$$S_n = \sqrt{\frac{\rho I_s^2 t_n a}{c \Delta \vartheta_{\max}}} \quad [\text{m}^2; \Omega \text{ m}, \text{A}, \text{s}, \text{J m}^{-3} \text{K}^{-1}, \text{K}] \quad (86)$$

Po jeho zaokrouhlení na normalizovanou velikost je délka příslušného stupně

$$l_n = \frac{R_n S_n}{\rho} \quad [\text{m}; \Omega, \text{m}^2, \Omega \text{m}] \quad (87)$$

U průměrů nad 2 až 3 mm se dělají paralelní větve.

β) Odporový drát navinutý na keramické podložce

Výhodnější je navíjet odporový drát na keramické podložky, které zvětší tepelnou kapacitu článku a umožňují použít dráty menšího průřezu.

Podle Cigánka je se zřetelem k tepelné kapacitě keramické podložky maximální dovolené zatížení vodiče průřezu S dáno vztahem

$$I = \sqrt{\frac{\Delta \vartheta_{\max}}{\rho} \left(S v \sqrt{\frac{\pi \lambda_p c_p}{4t} + \frac{c_d S^2}{t}} \right)} \quad (88)$$

kde λ_p je měrná tepelná vodivost podložky,

c_p měrné teplo podložky,

c_d měrné teplo drátu,

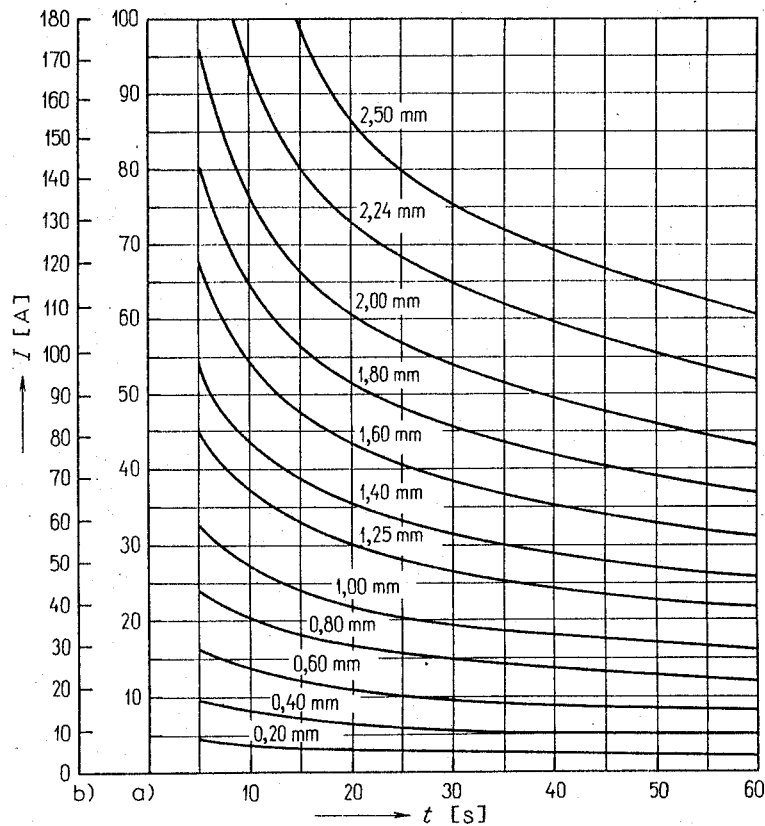
ρ měrný odpor drátu,

v rozteč sousedních závitů,

t doba zatížení příslušného stupně.

Na obr. 187 je tato zatížitelnost vynesena pro různé normalizované průměry v závislosti na čase pro obvyklou rozteč závitů na porcelánové podložce

$$v = 2d + 1,2 \quad [\text{mm}; \text{mm}] \quad (89)$$



Obr. 187. Zatžitelnost odporových drátů na keramické podložce podle Cigánka
 stupnice a — nikelin, stupnice b — železo

pro kterou platí

$$\lambda_p = 1,5 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$c_p = 2,2 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-3} \text{ K}^{-1}$$

Křivky jsou sestrojeny tak, že pomocí dvou stupnic je můžeme použít pro dva nejobvyklejší materiály:

a) nikelin $0,44 \cdot 10^{-6} \text{ } \Omega\text{m}$; $4,5 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-3} \text{ K}^{-1}$; $200 \text{ } ^\circ\text{C}$

b) železo $0,13 \cdot 10^{-6} \text{ } \Omega\text{m}$; $3,7 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-3} \text{ K}^{-1}$; $200 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Pro daný spouštěcí proud nebo pro jeho část I/n , kde n je počet

paralelních větví, volených tak, aby nebyl příliš velký průměr, určí se příslušný průměr z diagramu na obr. 187 z doby at_n a délka vodiče se stanoví z rovnice pro odpor

$$R_n = \rho \frac{l_n}{n \frac{\pi d_n^2}{4}}$$

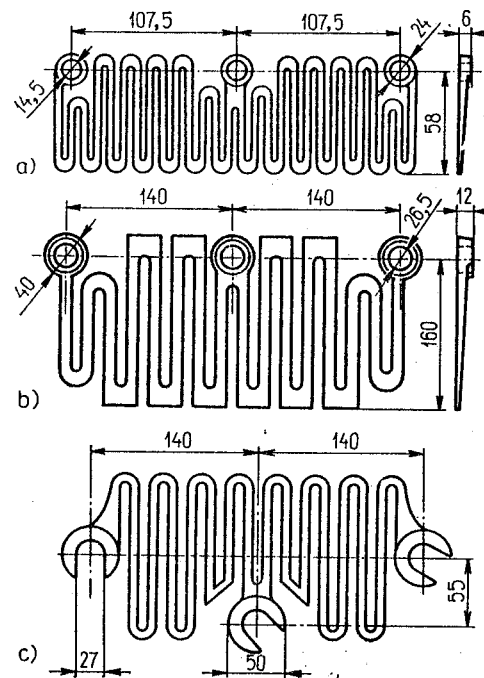
$$l_n = \frac{n \pi d_n^2 R_n}{4\rho} \quad [\text{m}; \text{m}, \Omega, \Omega\text{m}] \quad (90)$$

Celková délka odporového drátu se navine na válečky průměru a a ty se upraví tak, aby skříň měla čtvercový profil.

b) Dimenzování litinových článků

Na obr. 188 jsou vyznačeny tři druhy u nás vyráběných litinových odporových článků a v tab. 6 je uvedena jejich zatžitelnost.

Velikost článků je charakterizována zatěžovatelem, který udává v procentech dobu zatížení za jednu hodinu



Obr. 188. Rozměry litinových odporových článků (tab. 4)

Tabulka 6. Zatížitelnost litinových odporových článků

Typové označení	S mm	R Ω	Dovolené zatížení [A]				Hmotnost kg
			trvalé	přerušované pro ξ			
				[%]			
			12,5	20	40		
Typ podle obr. 188a							
42 062	5	0,360	12,5	39	33	21	0,135
42 063	8,5	0,230	16	50	42	27	0,190
8 647	11	0,160	20,5	64	54	35	0,200
42 064	1,35	0,110	24	75	63	41	0,220
42 065	16,5	0,062	30	94	79	51	0,230
Typ podle obr. 188b							
8 643	10,8	0,390	20	63	53	34	0,660
8 644	13,5	0,300	25	78	66	43	0,700
8 598	23,6	0,100	38	120	98	65	0,860
8 599	33,6	0,058	49	154	130	84	0,980
8 600	58	0,030	80	250	210	136	1,270
8 645	120	0,014	120	375	315	205	1,500
Typ podle obr. 188c							
1	15	0,200	26	72	56	40	0,750
2	22	0,100	36	100	80	56	0,800
3	35	0,050	50	140	110	80	0,950
4	54	0,025	70	196	156	110	1,02
5	78	0,0125	100	280	220	156	1,05
6	162	0,0062	140	392	308	220	1,87

$$\zeta = \frac{t_n h}{3600} 100 \quad [\%] \quad (91)$$

kde t_n je doba zatížení příslušného stupně [s],
 h počet spouštění za jednu hodinu.

Odpor se dimenzují podle tří řad normalizovaných zatěžovatelů

řada I $\zeta = 12,5 \%$

řada II $\zeta = 20 \%$

řada III $\zeta = 40 \%$

Vychází-li zatěžovatel menší než udává norma, dimenzuje se pro nejbližší vyššího zatěžovatele. Vyjde-li nad 40 %, dimenzuje se článek na trvalé zatížení.

Podle velikosti zatížení se volí i více článků paralelně spojených a jejich počet se upraví tak, aby celý stupeň měl požadovaný odpor. Litinové články lze oteplovat až na 300 °C.

c) Dimenzování odporových článků uložených v oleji

Články se navíjejí volně, aby teplo dobře přestupovalo do oleje. Jejich tepelná kapacita se zanedbává a předpokládá se, že všechno teplo, které ve spouštěči vzniká, se spotřebuje jen na ohřátí oleje. Odpor spouštěče se během spouštění mění z hodnoty R_s na nulu, takže při rovnoměrném spouštění se v jedné fázi přemění na teplo

$$A_{s1} = \frac{R_s I_s^2 t_s}{2} \quad (92)$$

Potřebný objem oleje pro všechny tři fáze a a spouštění za sebou vychází z podmínky

$$3 \cdot \frac{1}{2} R_s I_s^2 t_s a = cV \Delta\vartheta_{\max}$$

a je

$$V = \frac{3R_s I_s^2 t_s a}{2c \Delta\vartheta_{\max}} \quad [\text{m}^3; \Omega, \text{A}, \text{s}, \text{J m}^{-3} \text{K}^{-1}, \text{K}] \quad (93)$$

kde $c = 1,65 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-3} \text{K}^{-1}$

$\Delta\vartheta_{\max} = 40 \text{ K}$ střední hodnota oteplení olejové náplně.

Norma připouští oteplení oleje až o 80 K, ale za poměrně krátký čas spouštění se celá náplň neoteplí rovnoměrně, a proto se počítá s menší střední hodnotou, jen 40 K.

Průměr odporového drátu se volí podle empirického vztahu

$$d = 0,19 \left(\frac{I_s}{n} \right)^{0,6} \quad [\text{mm}; \text{A}, -] \quad (94)$$

a zaokrouhlí se na nejbližší normalizovaný průměr.

Pro první odhad rozměrů nádoby můžeme použít rozměrové náčrtky u nás vyráběných spouštěčů podle katalogu výrobců (ZSE). Při známé základně se z objemu určí přibližná výška hladiny oleje, která se zvětší asi o 20 % s ohledem na prostor, který zaberou části ponořené do oleje. Z této předběžné výšky hladiny se určí možná délka jedné spirály po odečtení výšky kontaktního mechanismu, tloušťky obou izolačních nosných desek a potřebného ponoru odporů pod hladinou.

Podle ČSN 35 3150 musí být kontakty přepínače alespoň 20 mm a odpory alespoň 25 mm pod hladinou oleje při teplotě 20 °C.

Vlastní výška nádoby musí být zvolena tak, aby z ní olej nevytékal ani při naklonění o 40°.

Přesně navrhnuté uspořádání je možné jen za současného kreslení konstrukce.

10. Kontaktní mechanismus

Šířka kontaktu závisí na středním spouštěcím proudu

$$b_k = 2,6 \sqrt{I_s^{2,5}} \quad [\text{mm}; \text{A}] \quad (95)$$

Kontakty se rozmístí do kruhu.

Mezera mezi kontakty se zvolí

$$u_1 = 2 \text{ až } 10 \text{ mm}$$

a mezera mezi skupinami kontaktů jedné fáze

$$u_2 = 10 \text{ až } 20 \text{ mm}$$

takže průměr střední kružnice je

$$d_k = \frac{3u_2 + 3u_1 n_{sp} + 3b_k(n_{sp} + 1)}{\pi} \quad (96)$$

neboť počet poloh je o jednu větší než počet stupňů.

11. Návrh předřadných stupňů

Spouštěče s výkonem nad 55 kW musí mít kromě spouštěcích stupňů, jeden, nebo podle potřeby i více předřadných stupňů, jimiž se zmenší první proudový náraz na hodnotu zapínacího proudu I_z , který má být podle čl. 12.3.1.

Velikost předřadného odporu vychází ze vztahu

$$R_p = \frac{U_2}{I_z} - R_{e1} \quad (97)$$

Odpor se rozdělí na stupně tak, aby proud z hodnoty I_z na hodnotu I_m stoupal rovnoměrně. Odpory se dimenzují pro odhadnutou dobu at_p podobně jako u spouštěcích stupňů.

12. Přívodní svorníky se dimenzují na jmenovitý proud rotoru, pokud nemá motor odklápeč kartáčů.

Svorka pro ochranný vodič musí vyhovovat ČSN 34 0420.

13. Povrchové cesty a izolační vzdálenosti jsou předepsány v ČSN 35 3150 a ČSN 34 0130.

14. Při ručním ovládaní nesmí ovládací síly překročit 150 N.

15. Dovolena oteplení spouštěčů jsou podle ČSN 35 3150: vzduch vystupující z větracích otvorů 180 K.

olej 10 mm pod hladinou 80 K

ovládací kolečka a rukojeti 25 K

kryty, které nejsou ve styku s vodiči, 125 K

16. Dovoleno trvalý proud na posledním kontaktu je důležitým katalogovým údajem, který musí výrobce udat. Je-li rotorový proud motoru větší, musí mít spojovač nakrátko, aby za normálního provozu nebyl spouštěč větším proudem přetěžován.

12.4. SPOUŠTĚČE STEJNOSMĚRNÝCH MOTORŮ

Schéma zapojení je na obr. 184b. Průběh spouštění je stejný jako u rotorového spouštěče (obr. 185a).

Velikost dovoleného krajního proudu pro stejnosměrné motory podle ČSN 34 3150

$$I_m = 2,4 I_n$$

kde I_n je jmenovitý proud motoru.

Zapínací proud může být maximálně

$$I_z \leq I_m \text{ u motorů do } 20 \text{ kW}$$

$$I_z \leq I_n \text{ u motorů nad } 20 \text{ kW}$$

Spouštěcí odpor se určí z krajního proudu

$$R_s = \frac{U}{I_m} - R_m \quad (98)$$

kde R_m je odpor motoru:

derivačního

$$R_m = R_a + R_p + R_k \quad (99)$$

sériového

$$R_m = R_a + R_p + R_k + R_{bs} \quad (100)$$

kde R_a je odpor kotvy,

R_p odpor vinutí pomocných pólů,

R_k odpor případného kompenzačního vinutí,

R_{bs} odpor sériového budicího vinutí.

Odstupňování spouštěcího odporu se udělá stejně u kroužkového motoru (obr. 185b), jen místo odporu jedné fáze rotorového vinutí R_r se vychází z odporu motoru R_m .

Postup návrhu stejnosměrného spouštěče je zcela shodný s návrhem rotorového spouštěče.

12.5. DERIVAČNÍ REOSTATY

Derivační reostaty slouží k řízení budicího proudu derivačních stejnosměrných strojů:

- a) u dynam se jimi řídí svorkové napětí,
- b) u motorů se jimi řídí otáčky.

Schéma zapojení je na obr. 184c.

12.5.1. Derivační budicí reostat pro řízení otáček

a) Matematické řešení

Velikost odporu reostatu můžeme určit z charakteristiky naprázdno $\Phi = f(I_b)$ a z ní odvozené závislosti otáček naprázdno na magnetickém toku $n = f(\Phi)$. Ta se nakreslí tak, aby stupnice magnetického toku byla společná s charakteristikou naprázdno (obr. 189).

Závislost otáček na magnetickém toku vychází z rovnice pro indukované napětí (viz I. díl)

$$U_1 = 4\Phi \frac{pn}{60} N_s = \frac{4pN_s}{60} \Phi n = C_1 \Phi n \quad (101)$$

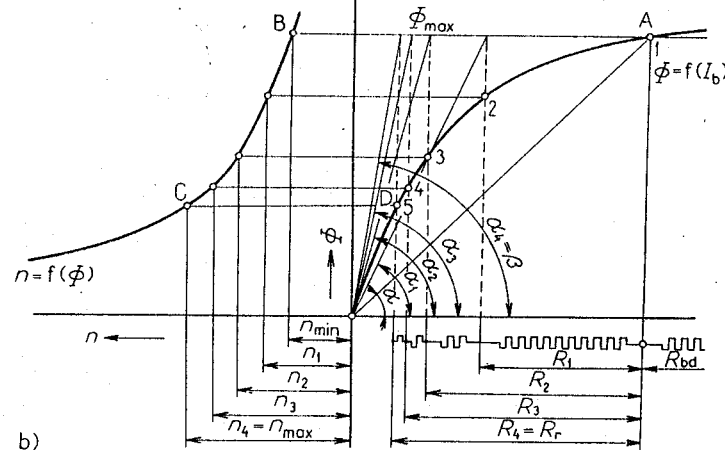
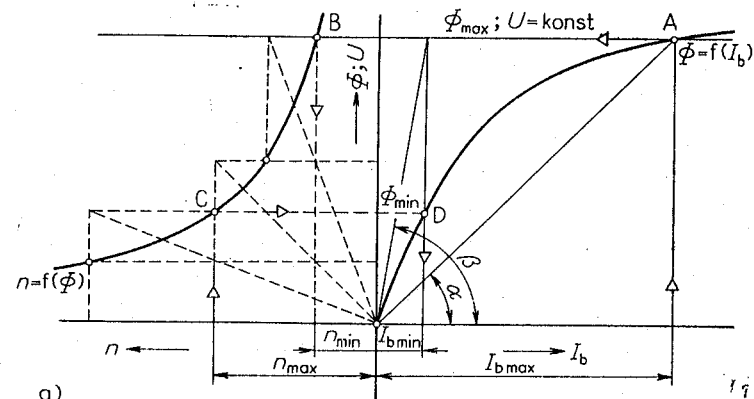
kde konstanta

$$C_1 = \frac{4pN_s}{60} \quad (102)$$

Při chodu naprázdno je přibližně $U_1 \doteq U$, takže

$$n = \frac{U}{C_1} \cdot \frac{1}{\Phi} \quad (103)$$

Pro $U = \text{konst}$ dostaneme rovnici rovnoosé hyperboly. Pro její nakreslení stačí pro zvolené měřítko otáček určit výpočtem jeden bod, ostatní se setrojí známou geometrickou konstrukcí (podle rovnice $xy = a$, obr. 189a).



Obr. 189. Řízení otáček derivačního motoru — a) konstrukce závislosti otáček na magnetickém toku, b) rozdělení odporu reostatu na stupně

Pro určité napětí U a při vyřazeném reostatu je budicí proud dán odporem jen samotného derivačního vinutí

$$I_{b \max} = \frac{U}{R_{bd}} \quad (104)$$

V charakteristice naprázdno mu odpovídá maximální hodnota magnetického toku Φ_{\max} (bod A), které podle (103) určuje minimální otáčky

$$n_{\min} = \frac{U}{C_1} \cdot \frac{1}{\Phi_{\max}} \quad (105)$$

Největší požadované otáčky n_{\max} určují v charakteristice $n = f(\Phi)$ příslušný minimální tok Φ_{\min} (bod C) a pro tento tok vychází z charakteristiky naprázdno proud $I_{b \min}$ (bod D). Pro tento bod platí

$$I_{b \min} = \frac{U}{R_{bd} + R_r} \quad (106)$$

kde R_{bd} je odpor derivačního vinutí motoru,
 R_r velikost potřebného odporu reostatu.

Z toho pak vychází pro velikost odporu reostatu vztah

$$R_r = \frac{U}{I_{b \min}} - R_{bd} \quad (107)$$

Tento odpor se rozdělí na stupně tak, aby se otáčky měnily lineárně nebo geometricky, podle konkrétních požadavků daného pohonu.

Na obr. 189b je vyznačeno rozdělení na čtyři lineární stupně. Pro každou hodnotu n se z charakteristiky určí příslušný budicí proud a z rovnice (107) pak odpovídající velikost odporu na uvažovaném stupni.

b) Grafické řešení

Rozdělení odporu reostatu můžeme stanovit i graficky:

Každému odporu v budicím obvodu odpovídá paprsek, jehož směrnice je dána poměrem U/I_b , takže podle obr. 189b platí

$$R_{bd} = \operatorname{tg} \alpha$$

$$R_{bd} + R_r = \operatorname{tg} \beta$$

$$\frac{R_{bd}}{R_{bd} + R_r} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta}$$

z toho

$$R_{bd} + R_r = R_{bd} \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha}$$

a odpor reostatu

$$R_r = R_{bd} \left(\frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha} - 1 \right) \quad (108)$$

Protože se zde počítá s poměrem funkcí tangens, není třeba při

vyčíslování přihlížet k měřítku, stačí počítat s jejich přirozenou hodnotou, odpovídající velikosti úhlu.

Podobně můžeme odvodit odpory jednotlivých stupňů

$$R_1 = R_{bd} \left(\frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \alpha} - 1 \right)$$

$$R_2 = R_{bd} \left(\frac{\operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \alpha} - 1 \right)$$

$$R_3 = R_{bd} \left(\frac{\operatorname{tg} \alpha_3}{\operatorname{tg} \alpha} - 1 \right)$$

$$R_4 = R_r = R_{bd} \left(\frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha} - 1 \right)$$

c) Dimenzování

Jednotlivé odporové stupně se dělají s odstupňovaným průřezem podle proudu, který jimi prochází. Pro příslušný proud se určí potřebný průřez podle všeobecných zásad tepelného dimenzování na trvalé zatížení a z něho se vypočítá potřebná délka odporového drátu.

Konstrukční úprava je stejná jako u rotorových spouštěčů.

12.5.2. Derivační budicí reostat pro řízení napětí dynama

Způsob určení odporu R_r byl naznačen v I. dílu učebnice. Obvykle se volí odpor reostatu roven odporu budicího vinutí $R_r = R_m$, a rozdělí se na velký počet stejných stupňů.

Odporové stupně se dimenzují stejně jako u reostatu pro řízení otáček.

LITERATURA

Kapitola 1

- [1] ČSN 34 5128 Názvosloví elektrických přístrojů z oboru silové elektrotechniky
- [2] ČSN 34 5502 Názvosloví a rozřídění elektrotechnických schémat
- [3] ČSN 34 5503 Pravidla pro kreslení elektrotechnických schémat
- [4] ČSN 34 5505 Značky pro elektrotechnická schémata
- [5] ČSN 34 5545 Označování v elektrotechnických schématech a na elektrických zařízeních
- [6] ČSN 38 0412 Stanovení průběhu zotaveného napětí v sítích vn a vvn
- [7] ČSN 38 0411 Výpočet poměrů při zkratech v trojfázové elektrizační soustavě
- [8] ČSN 38 1754 Dimenzování elektrického zařízení podle účinků zkratových proudů

Kapitola 2

- [9] ČSN 34 0170 Předpisy pro barvy světelných návěstí v elektrických a energetických zařízeních
- [10] ČSN 34 0172 Předpisy pro označování a polohu ovládacích tlačítek
- [11] ČSN 34 0173 Směr a smysl pohybu ovládacích částí elektrických přístrojů

Kapitola 3

- [12] ČSN 34 4107 Spínače na spotřebiče do 100 A a 500 V
- [13] ČSN 35 4120 Pákové a kloubové spínače nn do 1000 A
- [14] ČSN 35 4145 Odpojovače a přepojovače nn do 4000 A
- [15] ČSN 35 4195 Ovládače pomocných obvodů
- [16] ČSN 35 4161 Konecové spínače pro jeřáby
- [17] ČSN 34 4109 Mikrospínače do 16 A a do 380 V
- [18] ČSN 35 3106 Ovládače pro jeřáby a jiná zařízení
- [19] ČSN 35 3110 Jeřábové kontroléry
- [20] ČSN 35 4195 Ovládače pomocných obvodů

Kapitola 4

- [21] ČSN 35 4150 Elektromagnetické stykače
- [22] ČSN 35 3401 Elektrické relé
- [23] ČSN 35 3416 Nepřímá jistiť relé pro elektromagnetické stykače

Kapitola 5

- [24] ČSN 35 4171 Drobné jističe do 25 A a do 500 V
- [25] ČSN 35 4172 Jističe od 1000 A
- [26] ČSN 35 4177 Ochranné jističe
- [27] ČSN 35 4180 Napěťové chrániče

Kapitola 6

- [28] ČSN 35 3401 Elektrická relé
- [29] ČSN 35 3402 Pomocná relé

- [30] ČSN 35 3403 Časová relé
- [31] ČSN 35 3405 Paměťová relé
- [32] ČSN 35 3416 Nepřímá jistiť relé pro elektromagnetické stykače

Kapitola 7

- [33] ČSN 35 4715 Výkonové pojistky do 1000 V
- [34] ČSN 35 4720 Pojistky vn

Kapitola 8

- [35] ČSN 35 4870 Ventilovébleskojistky
- [36] ČSN 35 4871 Ventilovébleskojistky pro silnoproudá zařízení
- [37] ČSN 35 4872 Ventilovébleskojistky pro elektrické stroje točivé
- [38] ČSN 35 4875 Stejnoseměrné ventilovébleskojistky

Kapitola 9

- [39] ČSN 34 3321 Směrnice pro vypracování návodů pro obsluhu a údržbu elektrických přístrojů vn a vvn
- [40] ČSN 35 4200 Vypínače vn a vvn
- [41] ČSN 35 4201 Zásady pro volbu vypínačů
- [42] ČSN 35 4210 Odpojovače a uzemňovače vn a vvn
- [43] ON 35 4450 Pohony odpojovačů vn a vvn
- [44] ČSN 35 4212 Úsečníky vn
- [45] ČSN 35 4211 Vypínače zátěže vn a odpínače vn a vvn
- [46] ČSN 35 4202 Vypínače vvn s malým množstvím oleje
- [47] ON 34 4271 Tlakovzdušné vypínače vn typu CN, CNR, montáž, obsluha, údržba

Kapitola 10

- [48] ČSN 34 5608 Typové, kontrolní a informační zkoušky elektrotechnických výrobků
- [49] ČSN 34 5610 Základní zkoušky bezpečnosti elektrických předmětů. Základní ustanovení
- [50] ČSN 34 5611 Elektrické zkoušky elektrických předmětů
- [51] ČSN 34 5612 Základní zkoušky krytí elektrických předmětů
- [52] ČSN 34 5613 Mechanické zkoušky elektrických předmětů
- [53] ČSN 34 5640 Zkoušky napětím

Kapitola 11

- [54] ČSN 35 3632 Elektromagnety
- [55] ČSN 35 1039 Výkonostní štítky pro břemenové elektromagnety
- [56] ČSN 35 3650 Břemenové elektromagnety
- [57] ČSN 35 3690 Elektromagnetické třídící bubny

Kapitola 12

- [58] ČSN 35 3150 Spouštěče
- [59] ON 35 3163 Kapalinové spouštěče
- [60] ČSN 35 3181 Reostaty
- [61] ČSN 35 8111 Odporníky pro silová zařízení

Knihy

- [62] *Oigánek, L., Bauer, M.*: Elektrické přístroje spínací, ochranné a řídicí. SNTL, Praha 1956
- [63] *Javorský, L., Bobek, A., Musil, R.*: Základy elektrotechniky. SNTL, Praha 1975, vydání šesté
- [64] *Bauer, K., List, V a kolektiv*: Elektrické přístroje I. SNTL, Praha 1964
- [65] *Bauer, K., List, V. a kolektiv*: Elektrické přístroje II. SNTL, Praha 1965
- [66] *Babikov, M., A.*: Električeskije apparaty. Gosenergoizdat 1951
- [67] *Holm*: Electric contacts. Gebers 1946
- [68] *Bul, B. K. a kolektiv*: Elektrické přístroje. Základy teorie. SNTL, Praha 1977



KLEIN

STÁTNÍ VĚDECKÁ
P
KNIHOVNA BRNO

Ing. RUDOLF MRAVEC

ELEKTRICKÉ STROJE A PŘÍSTROJE

II. Elektrické přístroje

Ze slovenského originálu Elektrické stroje a přístroje II., vydaného n. p. Alfa, vydavatelstvo technickej a ekonomickej literatúry, Hurbanovo n. 6, 89331 Bratislava v roce 1976, přeložil doc. Ing. Vladimír Suchánek, CSc.

DT 621.316.5/.9

Vydalo SNTL — Nakladatelství technické literatury, n. p., Spálená 51, 11302 Praha 1 v roce 1979 v řadě elektrotechnické literatury jako svou 8431. publikaci — Redakce elektrotechnické literatury — Odpovědný redaktor Ing. Josef Říha — Vazbu navrhl Metoděj Sychra — Technická redakce Jana Zehnulová — Vytiskla Státní tiskárna, n. p., závod 4, Sádkova 12, 110 00 Praha 10-Vršovice — 260 stran, 189 obrázků, 6 tabulek — Typové číslo L 26-C 2-IV-31/55407 Vydání 1. — Náklad 5 800 výtisků — 16,80 AA, 17,39 VA

05/34

Cena vázaného výtisku Kčs 20,-
507/23,856

Publikace je určena zárukám 4. ročníků středních průmyslových škol elektrotechnických se silnoproudým zaměřením

5626

04-514-79

Kčs 20,-