



**Spolufinancováno Evropskou unií
a českým státním rozpočtem**

**Co-financed by the European Union
and the Czech state budget**



Elektrické přístroje spínací ochranné a jisticí

David Helštýn, Petr Kačor, Zdeněk Hytka

**Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky**

Ostrava 2003

© David Helštýn, Petr Kačor, Zdeněk Hytka, 2003

Regionální centrum celoživotního vzdělávání
VŠB – Technická univerzita Ostrava

ISBN 80-248-0315-1

Obsah

Obsah	3
1. Rozdělení a přehled základních částí elektrických přístrojů	6
1.1. Proudové části	7
1.2. Izolační části	7
1.3. Mechanismy	7
1.4. Zhášedla	8
1.5. Výzbroj (ověšení)	8
2. Elektrické kontakty	11
2.1. Kontaktní materiály	11
2.1.1. Ušlechtilé kovy	13
2.1.2. Poloušlechtilé kovy	13
2.1.3. Neušlechtilé kovy	14
2.2. Provedení kontaktů	16
2.3. Konstrukční zásady	22
3. Přístroje bez oblouku a přístroje prosté	25
3.1. Přístroje bez oblouku	25
3.1.1. Odpojovač	25
3.2. Přístroje prosté	30
3.2.1. Vypínače pákové	32
3.2.2. Vypínače suvné	36
3.2.3. Vypínače otočné	39
4. Stykače, magnetické vypínače a princip magnetického vyfukování oblouku ...	41
4.1. Stykače	41
4.2. Princip elektromagnetického vyfukování oblouku, magnetické vypínače	44
4.2.1. Izolační zhášecí komory	48
4.2.1.1. Zhášecí komora s izolačním roštem	48
4.2.1.2. Štěrbínové zhášecí komory	49
4.2.2. Kovové zhášecí komory	51
4.2.2.1. Kovové zhášecí komory s hustým roštem	51
4.2.2.2. Kovové komory s jednoduchým roštem	52
5. Rychlovypínače	56
5.1. Zkrat v obvodu stejnosměrného proudu	56
5.2. Rychlovypínače na stejnosměrný proud	58
5.2.1. Princip přídržného elektromagnetu	60
5.2.2. Princip odpalovacího transformátoru	61

6.	Jističe nízkého napětí	63
6.1.	Zámky a volnoběžky	63
6.2.	Relé a spouště	68
6.2.1.	Elektromagnetické spouště	71
6.2.2.	Tepelné spouště	74
6.3.	Vzduchové jističe nn	77
7.	Kapalinové vypínače	81
7.1.	Obecná charakteristika zhášedel kapalinových vypínačů	83
7.1.1.	Axiální zhášedla	84
7.1.2.	Radiální zhášedla	90
7.1.3.	Srovnání zhášedel s podélným a příčným ofukováním	93
7.2.	Vypínače olejové kotlové a kotlové se zhášedly	96
7.3.	Maloolejové vypínače	100
7.4.	Vodní vypínače	109
8.	Tlakovzdušné vypínače	111
8.1.	Typy zhášedel, tlumící odpor, provedení trysek	112
8.2.	Tlakovzdušné vypínače vn	121
8.3.	Tlakovzdušné vypínače vvn	130
8.4.	Autopneumatické (samotlaké) vypínače	139
9.	Plynotvorné vypínače	142
10.	Plynové vypínače (SF₆) a zapouzďené rozvodny	145
10.1.	Elektronegativní plyn SF ₆	145
10.2.	Vlastní provedení vypínačů s plynem SF ₆	150
10.3.	Zapouzďené rozvodny	152
11.	Vakuové vypínače	156
11.1.	Problematika vypínání oblouku ve vakuu	156
11.2.	Vakuová zhášedla	165
11.2.1.	Princip funkce zhášedla	165
11.2.2.	Zhášedla využívající radiální magnetické pole	168
11.2.3.	Zhášedla využívající axiální magnetické pole	171
11.2.4.	Kontaktní materiály vakuových vypínačů	175
11.2.5.	Další části zhášedel	177
12.	Pojistky	179
12.1.	Umístění pojistky v elektrickém obvodu	179
12.2.	Porovnání pojistky s jističem či vypínačem	180

12.3.	Základní parametry a jmenovité hodnoty pojistek	182
12.3.1.	Jmenovité napětí, jmenovitý proud, krajní proud	182
12.3.2.	Vypínací schopnost, předvídaný proud, tavný proud	182
12.3.3.	Tavná charakteristika pojistek	187
12.4.	Popis fyzikálních dějů při působení pojistky	189
12.5.	Konstrukční provedení pojistek	191
13.	Přepětí a bleskojistky	196
13.1.	Přepětí	196
13.2.	Obecná provedení svodičů přepětí	200
13.2.1.	Zemní lana	200
13.2.2.	Koordinální jiskřiště	200
13.2.3.	Trubkové bleskojistky	201
13.2.4.	Ventilové bleskojistky	204
	Literatura	216

1. Rozdělení a přehled základních částí elektrických přístrojů



Čas ke studiu: 25 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět:

- rozdělení a popis základních částí elektrických přístrojů
- základní funkce elektrických přístrojů



Výklad

Elektrické přístroje tvoří důležitou část elektrické rozvodné sítě. Slouží ke spínání provozních a zkratových proudů, jištění a ochraně proti poruchovým stavům (nadproudy, zkraty, přepětí atp.), zajišťují měření a řízení. Elektrické přístroje tedy musí plnit tyto funkce:

- spojují a rozpojují elektrický obvod bez proudu
- zapínají a vypínají elektrický obvod s proudem
- chrání elektrický obvod před poruchovými stavy
- řídí elektrický obvod tak, aby bylo dosaženo požadovaného stavu
- chrání obsluhu před úrazem elektrickým proudem

Elektrické přístroje mohou pracovat samostatně nebo mohou být seskupeny do větších celků. Takovýmto celkům říkáme rozvaděče. Pokud je nutno pro sestavení přístrojů vybudovat zvláštní stavební provedení budovy, hovoříme o rozvodně.

Spínací přístroje tvoří největší skupinu přístrojů. Základním úkolem spínacích přístrojů je uzavírat a přerušovat elektrický obvod. Vyplývá z toho, že vypínač má dvě trvalé (statické) polohy:

vypnuto - obvodem neprotéká proud ($I = 0$), napětí na kontaktech vypínače má velikost napětí sítě ($U_K = U_S$).

zapnuto – obvodem protéká jmenovitý proud ($I = I_N$), napětí na kontaktech vypínače je nulové ($U_K = 0$)

Vlastním úkolem spínače však není přenos trvalého proudu nebo oddělování části vedení s napětím, ale uskutečnění přechodu

z jednoho stavu do stavu druhého. Toto reprezentují další dva funkční stavy a to stavy přechodné (dynamické):

zapínání – obvodem začíná protékat proud, který přechodným dějem narůstá z nuly do ustálené hodnoty proudu.

vypínání – proud klesá k nule, na kontaktech vypínače narůstá přechodným dějem napětí z nuly na napětí sítě.

Konstrukční provedení spínačů musí vyhovět všem čtyřem uvedeným stavům.

Z konstrukčního hlediska můžeme každý spínací přístroj rozdělit na pět hlavních částí. Jsou to:

- ***proudovodné části***
- ***izolační části***
- ***mechanismus***
- ***zhášedla***
- ***výzbroj (ověšení)***

První tři části obsahuje každý spínací přístroj. Části 4 a 5, tedy zhášedla a výzbroj, obsahují pouze některé typy a některá provedení přístrojů.

1.1. Proudovodné části

Proudovodnou dráhu tvoří všechny díly přístroje zajišťující přenos proudu, tj. připojovací svorky, spojovací části a kontakty. Tyto části jsou v provozu namáhány dvojím způsobem: tepelně a mechanicky.

Mechanické namáhání je způsobeno provozním spínáním - rozběhem a brzděním setrvačných hmotností pohybujících se částí, tahem pružin, nárazy kontaktů při spínání – a elektrodynamickými silami vzájemně působícími mezi proudovodnými částmi při zkratech.

Tepelné namáhání je trvalé – průchodem provozních proudů – a zvýšené průchodem zkratových proudů.

1.2. Izolační části

Izolační části zajišťují upevnění proudovodných částí elektricky izolovaně od země a od vodičů jiných fází, jakož i ve vypnutém stavu vzájemnou elektrickou izolaci obou kontaktů. Jako izolačních materiálů se používá materiálu ve všech třech skupenstvích: plyny, kapaliny, pevné

látky a zvláštní forma: vakuum.

Základním izolačním materiálem je vždy látka pevná, která mechanicky spojuje a elektricky odděluje proudovodné části. Vzhledem k tomu, že však v přístrojích musí probíhat spínací proces tj. přibližování či oddalování kontaktů, je nutná přítomnost dalšího izolantu – plynu, kapaliny či vakua.

1.3. Mechanismus

Mechanismem rozumíme zařízení, kterým přemísťujeme kontakty z jedné polohy do druhé. Mechanismy mají různý stupeň složitosti. Nejjednodušší mechanismy jsou u nožových spínačů, odpojovačů. Jsou ovládány izolační rukojetí nebo spínací tyčí. Nejsložitější pak u vypínačů vn zapínaných dálkově.

1.4. Zhášedla

Každý spínací přístroj je schopen vypnout při daném napětí jen proud určité velikosti. Krajní proud, který ještě vypne, určuje jeho vypínací schopnost. Tento proud nazýváme jmenovitý vypínací proud vypínače.

Vypínací schopnost prosté kontaktní soustavy v normálním ovzduší je jen několik desítek či stovek ampérů a to podle velikosti napětí. Většího vypínacího proudu dosáhneme pomocí zhášedel, přičemž se zkrátí doba hoření oblouku. Zhášedlo je zařízení, ve kterém působíme na oblouk tak, aby uhasnul během jedné, nejvýše několika málo setin sekundy (u střídavého proudu půlperiod). Zhášedla pracují na různých principech, konečným účelem každého z nich je intenzivní deionizace dráhy oblouku.

1.5. Výzbroj (ověšení)

Netýká se zpravidla prostých přístrojů nn, které ovládáme ručně, ale spíše dálkově ovládaných stykačů, jističů a vypínačů, které doplňujeme přídatnými zařízeními a přístroji pro rozšíření jejich činnosti. V některých případech je určité zařízení neoddelitelnou součástí spínacího přístroje, v jiných je totéž zařízení ověšením. Ověšením je tehdy, může-li spínací přístroj vykonávat svou funkci i bez tohoto zařízení. Mezi ověšení patří:

Elektrické přístroje spínací, jisticí a ochranné

- pomocné signální kontakty
- dálkové spouště (elektromagnetické)
- přímé nadproudové (tepelné, elektromagnetické) nebo podpětňové (elektromagnetické) spouště
- dálkové pohony ruční (pákové, řetězové) nebo strojní (elektromagnetické, tlakovzdušné, hydraulické, motorové, střádačové)
- podvozek s pohybovým příslušenstvím
- různé druhy krytů (litinové, nevýbušné, apod.)

Dalším hlediskem pro podrobné rozdělení spínacích přístrojů je jejich funkce a funkční složitost, které souvisejí se zhášením elektrického oblouku, tedy s velikostí proudu, který vypínají. Seřadíme-li je podle této funkční složitosti, je první skupinou přístrojů skupina nazývaná přístroje bez zhášedel. Do této skupiny řadíme :

- **přístroje bez oblouku** – v těchto přístrojích elektrický oblouk nevzniká
- **přístroje prosté** – přístroje spínají pod proudem, ale pro usnadnění uhasnutí oblouku nejsou u této skupiny přístrojů vytvořena žádná aktivní opatření.

Další skupinu tvoří vypínače výkonové, které jednak spínají pracovní proudy a jednak slouží jako zkratová ochrana obvodu, tzn. jsou schopny zapínat, po určitou dobu vést a také vypínat zkratové proudy. Základním konstrukčním a funkčním článkem těchto vypínačů je zhášecí ústrojí, které zajišťuje oddělení oblouku od ostatních konstrukčních částí, jeho uhašení a opětovné zvětšení elektrické pevnosti vypínací dráhy tj. její deionizaci. Vypínače výkonové dále dělíme podle funkčních principů zhášedel respektive zhášecích medií:

- **Magnetické vypínače**
- **Kapalinové vypínače**
- **Vypínače s tuhým hasivem**
- **Tlakovzdušné vypínače**
- **Plynové vypínače**
- **Vakuové vypínače**
- **Bezkontaktní spínače (nejsou zahrnuty v této publikaci)**

Rozdělení a přehled základních částí el.přístrojů



Shrnutí pojmů

Zapínání, Vypínání

Mechanické a tepelné namáhání

Zhášedlo

Ověšení

Další části přístrojů

Přístroje bez oblouku

Přístroje prosté

Typy vypínačů dle funkčního principu zhášedel či zhášecích médií.

2. Elektrické kontakty

2.1. Kontaktní materiály



Čas ke studiu: 35 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět:

- rozdělit kontaktní materiály do základních 3 skupin
- definovat kontaktní materiály, cizí vrstvy na kontaktech
- popsat typy a provedení kontaktů



Výklad

Jednou z nejdůležitějších částí elektrických přístrojů jsou elektrické kontakty. Jejich pomocí jsme schopni obvod zapnout, respektive vypnout. Jsou nejvíce namáhanou částí elektrických vypínačů. Musí zabezpečit průchod proudu bez zvýšených ztrát, nesmí docházet k jejich nadměrnému ohřevu, musí odolat působení zapínacího i vypínacího oblouku bez zásadní změny fyzikálních i chemických vlastností a ztráty schopnosti opět sepnout či vypnout obvod. Z tohoto důvodu je velmi důležité, z jakých materiálů jsou kontakty zhotoveny.

Kontaktní materiály dělíme v podstatě do tří skupin podle chemických vlastností, respektive podle odolnosti proti vytváření povrchových korozivních povlaků (chemických cizích vrstev). Dělíme je na:

- a) ušlechtilé
- b) poloušlechtilé
- c) neušlechtilé

Ideálně čistý kovový povrch mohou kovy získat a podržet si pouze žíháním ve vakuu. Dotykem takovýchto kovů navzájem nastane jejich pevné spojení, tzv. svaření za studena.

Vystavíme-li však kov působení kyslíku, vznikne monomolekulární kyslíková vrstva, která se dalším rozpadem molekul kyslíku mění v negativní ionty, vytvářející s vnějšími atomy kovu vrstvičku kysličníku. Na tuto první vrstvu se pak ukládají vrstvy další. Ve vzduchu se tak vytvoří

homogenní kysličníková vrstva již po několika minutách tloušťky jednotek až desítek $\text{\AA}$ ($\text{\AA}$ – jeden angstrom = 10^{-7} mm).

Ostatní plyny obsažené v atmosféře působí na kovy obdobně jako kyslík. Rovněž pára obsažená v atmosféře a kondenzující na kovovém povrchu vytváří monomolekulární vrstvu a lne ke kovu velmi pevně.

Další růst korozivních vrstev závisí na teplotě, tlaku, vlhkosti, dalších látkách obsažených v atmosféře a na ryzosti kovu.

Elektrická vodivost, mechanická pevnost a odolnost korozivních vrstev proti teplotám je různá. Některé kysličníky se působením vysokých teplot rozkládají nebo vypařují, jiné se taví ve strusku, která dále zhoršuje kontaktní styk. Odpor kontaktů nechráněných proti vlivu okolního prostředí více či méně stále roste v závislosti na druhu kovu a jeho schopnosti vytvářet korozivní vrstvy. Korozivní vrstvy narůstají i v místě styku, kde k jejich vytváření přispívá i jeho zvýšená teplota.

Zvyšování odporu korodovaných kontaktů není způsobeno přídavným odporem málo vodivé vrstvy, ale u nejtenčích vrstev potřebou vyššího potenciálového spádu pro vznik tunelového jevu (podle vlnové mechaniky může volný elektron proniknout nevodivou vrstvou, je-li její vrstva nejvýše stejného řádu jako délka vlny elektronu, což nazýváme tunelovým jevem), u silnějších vrstev dalším zmenšením nejužšího místa proudových úžin. Tyto úžiny představují kovové můstky napříč cizí vrstvou. Cizí vrstvy se pokoušíme rozrušit kontaktním tlakem, smykovým pohybem obou dosedajících kontaktních dílců. Dochází tím k drcení a posuvu cizí vrstvy, tvorbě trhlin a vytvoření proudových úžin.

Dalšími vrstvami, které se mohou na kontaktech vyskytnout, jsou vrstvy mechanického původu. Mohou být tvořeny prachem či jinými nečistotami usazenými na kontaktních plochách. Tyto vrstvy, byť mikroskopické, pak zabraňují dokonalému dosednutí kontaktů a vytvoření dokonalého styku. I když nezabrání průchodu proudu, snižují vodivost styku podstatně.

Jiným typem mechanické cizí vrstvy je vrstva vytvořená tuky. Podlouhlé řetězce molekul jsou ke kovu vázány aktivní skupinou molekul COOH , mající charakter elektrického dipólu, který je ke kovu poután silami elektrického pole. Takovouto souvislou monomolekulární vrstvu tuku, pevně lnoucí k povrchu nazýváme epilamen. Na první vrstvu navazují další a další vrstvy. Na rozdíl od první vrstvy, jejíž vazba na kov je značná a chová se jako pevné pokračování kovu, vazba dalších vrstev je mnohem volnější. Přestože již několik molekul silná vrstva tuku izoluje, lze předpokládat, že působením kontaktního tlaku jsou všechny vnější vrstvy

tuku z místa styku vymačkány a na povrchu zůstávají pak jen první monomolekulární vrstvy. Příčinou průtoku proudu napříč elektricky nevodivým tukem může být vznik tunelového jevu.

Se souvislou monomolekulární vrstvou musíme počítat u kontaktů pracujících v kapalině jako je olej či voda. Jedná-li se o kapalinu, která s kovem chemicky nereaguje, působí zpravidla jako vrstva ochranná, zabraňující další korozi povrchu kontaktu.

Kontakty chráněné vrstvou tuku budou mít zřejmě stykový odpor nižší a stálější než kontakty na vzduchu.

Konzervačních účinků tuků s výhodou používáme u kontaktů trvalých jako jsou šroubové spoje a nýty. Výsledná dvoumolekulová vrstva (na každém povrchu jedna) ruší vodivost spoje méně než narůstající vrstva chemického původu.

2.1.1. Ušlechtilé kovy

Zlato, platina, rhodium, iridium, paladium reagují s okolním prostředím stejně jako ostatní kovy. Pokryjí se na povrchu příslušnou, nejčastěji kyslíčnickovou vrstvou. Ušlechtilost spočívá v tom, že ve většině případů se vytvoří monomolekulární vrstva, která dále nenarůstá na rozdíl od jiných kovů a chrání kov před další korozi. Z hlediska průchodu proudu je tato vrstva nevýznamná.

Ryzích kovů této skupiny se s výjimkou zlata příliš nepoužívá vzhledem k tomu, že jejich elektrická i tepelná vodivost není nijak zvláštní, a ani mechanické vlastnosti nejsou pro kontakty vhodné. Zlato a platina jsou kovy měkké, rhodium a zvláště iridium kovy tvrdé. Více se používá slitin těchto kovů se stříbrem či mědí. Příměsi však znamenají snížení ušlechtilosti.

Vzhledem k ceně se používají převážně na drobné kontakty jemných relé a spínačů. Malé přitlačné kontaktní síly (řádu 10^{-3} až 10^{-4} newtonů) a malá napětí těchto přístrojů by u méně ušlechtilých kovů nezpůsobily rozrušení korozivních vrstev a stykový odpor by byl neúměrně velký.

2.1.2. Poloušlechtilé kovy

Stříbro a nikl patří mezi kovy poloušlechtilé. Z hlediska okysličování (oxidace) je stříbro možno zařadit mezi kovy ušlechtilé. Vytvořená kyslíčnicková vrstva (Ag_2O) je velmi tenká, řádu

desítek A° . Problémem je však reakce stříbra se sírou, respektive kyslíčkem siřičitým či sirovodíkem. Vzniká sirník stříbrný (Ag_2S), který při malých kontaktních tlacích působí rušivě na dokonalost elektrického styku. Velká slučivost stříbra se sírou je právě okolnost, která snižuje ušlechtilost stříbra. Na straně druhé má však stříbro nejlepší elektrickou i tepelnou vodivost a při větších kontaktních tlacích nebo třením se cizí vrstvy snadno naruší či odstraní. Rovněž vlivem teploty se tyto vrstvy rozkládají.

Vzhledem ke svým vlastnostem se k výrobě kontaktů stříbro řadí na druhé místo za měď.

Nikl je poměrně odolný proti účinkům kyslíku v suché atmosféře a základní vrstva má v tomto případě silný ochranný vliv. Přítomnost vodních par však další okysličování silně urychluje. Vrstvy NiO jsou velmi odolné proti rozrušení a výsledný odpor je dosti velký.

Vlhká atmosféra s obsahem kyslíčnicku siřičitého je pro nikl velmi agresivní, vytváří na povrchu síran nikelnatý, což může vést až k vyřazení kontaktů z činnosti.

2.1.3. Neušlechtilé kovy

Nejpoužívanějším materiálem na elektrické kontakty je měď. Měď v reakci s kyslíkem vytváří na povrch vrstvu kyslíčnicku měďnatého CuO , která trvale narůstá. Za vyšších teplot při nedostatku kyslíku přechází v kyslíčnick měďný Cu_2O . Při teplotách nad $2000^\circ C$ se kyslíčnicky úplně rozpadají, a proto v místech pat oblouku na kontaktech je patrný čistý kovový vzhled, zatímco jejich okolí má barvu kyslíčnickové vrstvy.

Měď však reaguje i se sírou obsaženou v atmosféře (H_2S), což vede ke vzniku černých vrstev sirníku měďnatého CuS . Při současném působení SO_2 a H_2O vznikají sírany, projevující se v silných vrstvách typicky zelenou barvou – měděnkou.

Srovnáním stykového odporu měděných a stříbrných kontaktů zjistíme, že korozivní vrstvy mědi zhoršují výslednou vodivost styku několikanásobně. Přesto je měď nejpoužívanějším kontaktním materiálem a to díky její elektrické a tepelné vodivosti. Podobné korozivní vlastnosti vykazují i slitiny mědi bronz (měď a cín) a mosaz (měď a zinek). U mosazi při obsahu více než 20% obsahu zinku převládají korozivní vrstvy zinku, což u kluzných kontaktů nevádí, neboť zde dochází ke stálému otírání a porušování těchto vrstev.

Dalším materiálem je hliník, který ve styku s kyslíkem vytváří

kysličník hlinitý Al_2O_3 , velmi odolný proti mechanickému i chemickému namáhání. V elektrických kontaktech je vliv této vrstvy velmi rušivý. Hliník se však pro elektrické kontakty nehodí i z důvodu nízkého bodu tavení ($650\text{ }^\circ\text{C}$) a špatné mechanické vlastnosti tzv. „tečení“ hliníku pod tlakem. Ve spojení s jinými kovy (např. měď) dochází za přítomnosti vodních par k elektrolytické korozi.

Používaným materiálem, zejména u kontaktů vystavených účinkům oblouku, je wolfram. Je to kov velmi tvrdý, odolný proti mechanickému i elektrickému namáhání. V obvodech nízkého napětí i přes jeho poměrně dobrou elektrickou vodivost brání jeho širšímu využití houževnatost kysličníkových vrstev a nižší tepelná vodivost. Teplota pat oblouku je blízká teplotě varu materiálu kontaktů a při uhasnutí oblouku při průchodu proudu nulou je množství tepla akumulovaného ve stříbrných kontaktech menší než v kontaktech wolframových. Díky výborné tepelné vodivosti se stříbro v místě paty oblouku rychle ochlazuje a tepelná emise elektronů v nule proudu je zanedbatelná. Znovuzapálení oblouku by pak probíhalo jako na studených elektrodách přes mezifázi doutnavého výboje. Teplota varu a tedy i paty oblouku je u wolframu vyšší než u ostatních kovů. Zhoršenou tepelnou vodivostí nedochází k potlačení tepelné emise elektronů, oblouk znovu zapaluje a hoří velmi dlouho. Ke značnému opotřebení wolframu tedy dochází nikoliv proto, že by byl méně odolný, ale proto, že svými vlastnostmi prodlužuje několikanásobně dobu hoření oblouku. Množství energie, které při stejném vypínacím proudu působí na wolfram, je několikanásobek energie namáhající stříbro.

Wolfram je častou složkou spékanych (slinutých) kontaktních materiálů hlavně se stříbrem a měďí a to v obvodech vysokého a velmi vysokého napětí, kde se naopak využívá jeho vlastností zejména u opalovací kontaktů.

Viz rovněž kapitoly 11.1. Problematika vypínání oblouku ve vakuu a 11.2.4. Kontaktní materiály vakuových vypínačů.



Shrnutí pojmů

Kontakty

Cizí vrstvy, kontaktní odpor, tunelový jev, proudová úžina, epilam

Ušlechtilé, poloušlechtilé, neušlechtilé kovy

Slitiny a slinutiny kovů

2.2. Provedení kontaktů



Čas ke studiu: 45 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět:

- popsat základní skupiny kontaktů
- popsat základní provedení kontaktů

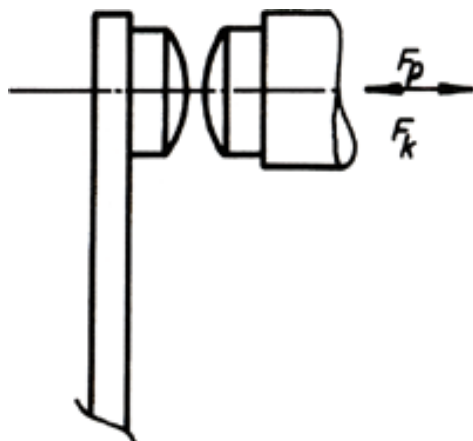


Výklad

Hlediskem, které umožní rozdělení kontaktů na jednotlivé kontaktní systémy, je směr síly F_p uvádějící kontakt do pohybu vzhledem k síle F_k vyvozující kontaktní tlak a zda se místo mechanického dotyku kontaktů mění či ne. Vytvoříme tím tři základní skupiny:

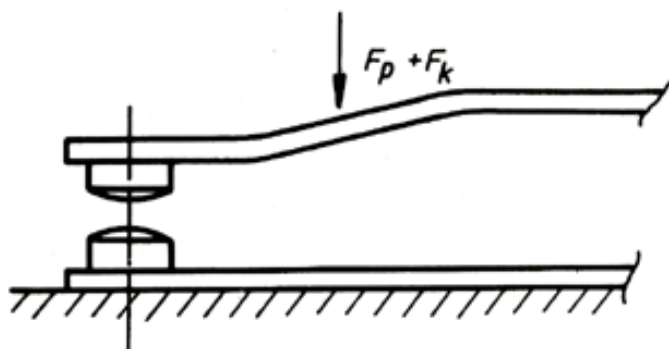
- 1) Kontakty čelní tupé
- 2) Kontakty čelní smykové
- 3) Kontakty třecí

ad 1) U tupého čelního kontaktu (obr. 2.1) směřují obě síly souose. Provedení se používá nejvíce u přístrojů na malé a nízké napětí, protože k mechanickému porušení korozivních vrstev dochází statickým drcením pomocí kontaktního tlaku. Jako materiál se používá stříbro nebo materiály s příměsí stříbra a ušlechtilých kovů, které vytvářejí tenkou a tlakem snadno rozrušitelnou vrstvu. Velikost proudu je omezena svařitelností použitého kovu, neboť při dosedání kontaktů může dojít k jejich odražení, natažení oblouku, natavení materiálu a při zpětném dosednutí ke svaření kontaktů.



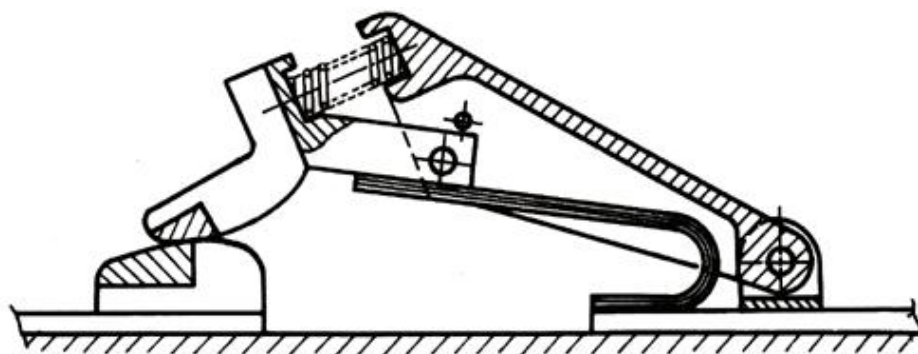
Obr. 2.1 – Kontakty čelní tupé

ad 2) Chceme-li použít na čelní kontakty materiál méně ušlechtilý (měď), je pro porušení vrstev a vytvoření styku s dobrou vodivostí nutno přidat krátké smýknutí jednoho kontaktu o druhý (obr. 2.2) Na obr. 2.3 po prvním dotyku dojde k promáčknutí tlačné pružiny a tím smykovému pohybu kontaktů.



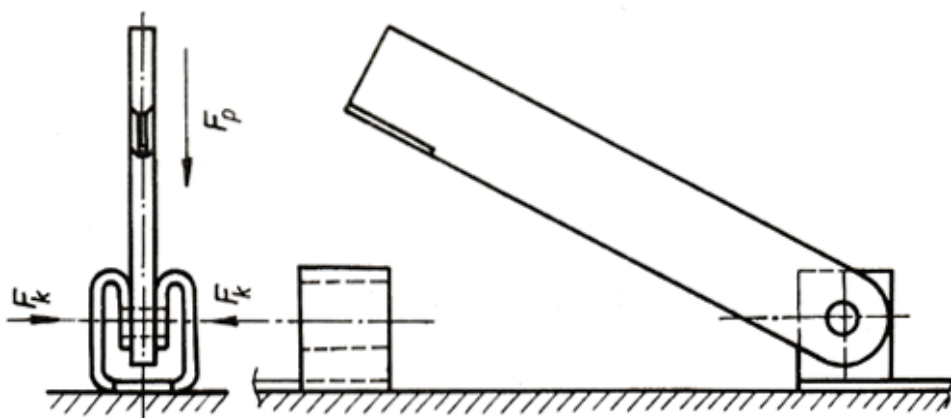
Obr. 2.2 – Kontakty čelní smykové

Místo prvního dosedu se liší od místa styku v sepnutém stavu a tedy místa přenosu proudu. Došlo zde k oddělení místa styku a místa hoření oblouku, což umožňuje použití slinutých materiálů s wolframem (šrafovaně) na opalovací růžky a lépe vodivý materiál (měď) na vlastní přenos proudu. U tohoto uspořádání rovněž dochází k odskoku kontaktu po sepnutí.



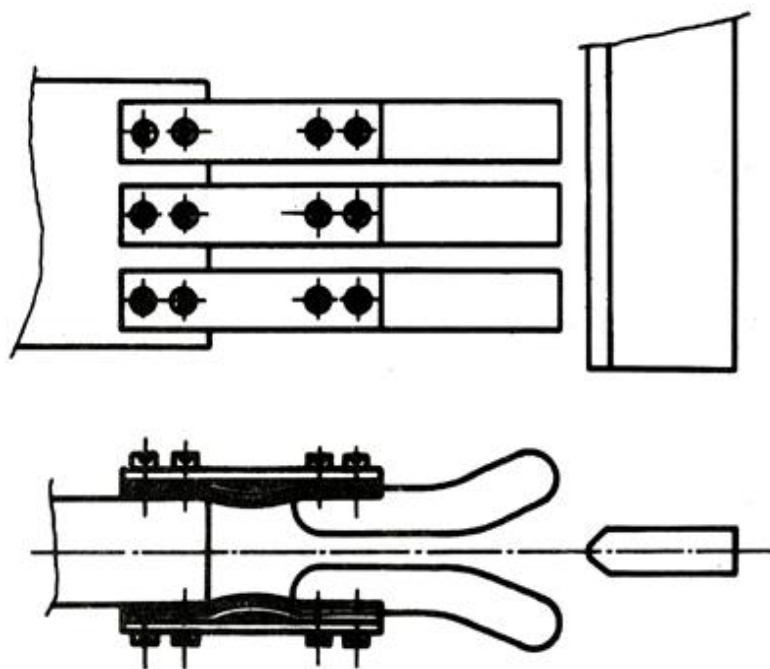
Obr. 2.3 – Příklad kontaktů čelních smykových s opalovacími růžky.

ad 3) Nepříznivý odskok kontaktů zaniká u kontaktního systému s třecími kontakty. Typickým příkladem třecího kontaktu je systém péro-nůž (obr. 2.4). Síla F_K je kolmá na sílu F_P . Stykové plochy se po celou dobu zasouvání pera mezi nože o sebe třou a čistí. Kontakty jsou zpravidla měděné a takovéto uspořádání se nehodí pro časté spínání a vyšší proudy (opotřebení otěrem a obloukem)

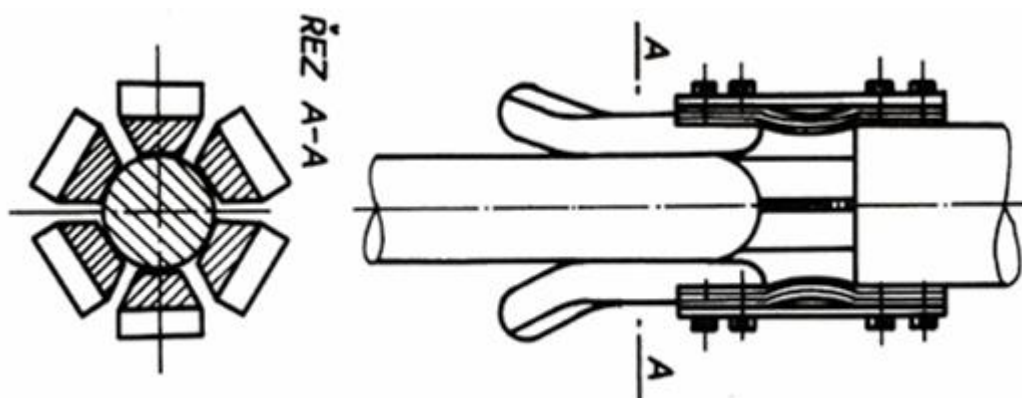


Obr. 2.4 – Typický případ třecích kontaktů

Pro vyšší proudy a častější spínání je určen palcový kontakt na obr. 2.5 nebo růžicový na obr. 2.6. Každý palec má vlastní pružinu vyvozující kontaktní tlak.

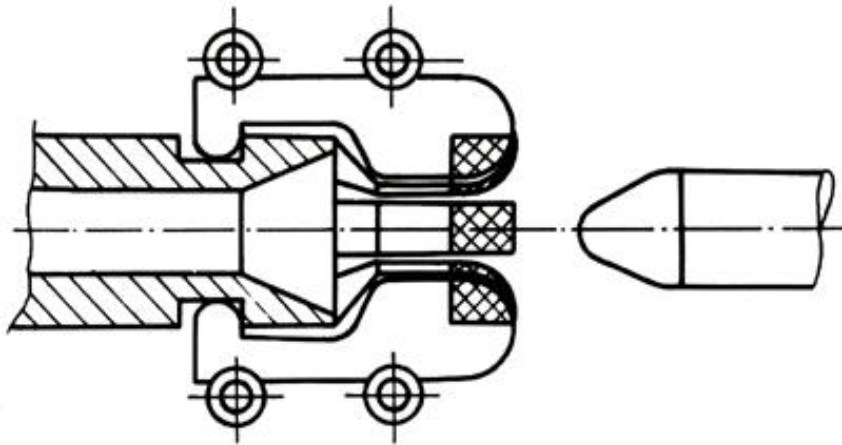


Obr. 2.5 – Palcový kontakt třecí



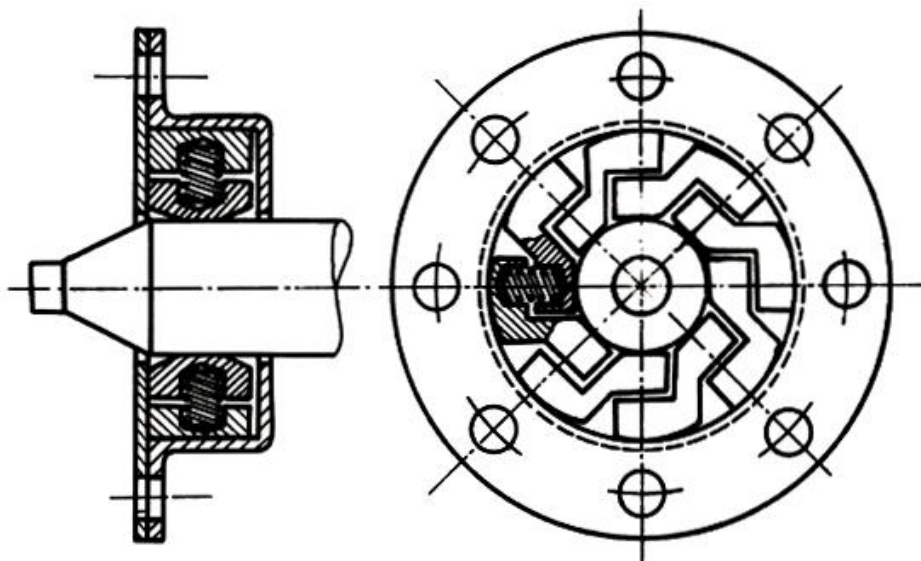
Obr. 2.6 – Růžicový kontakt

Uspořádáním dle obrázku 2.7 dosáhneme snížení konstrukční výšky kontaktu. Konstrukce nemá žádný šroubový spoj, palce jsou obepnuty dvěma toroidními pružinami, vyvolávajícími dostatečný kontaktní tlak na obou koncích palců.



Obr. 2.7 – Růžicový kontakt s toroidními pružinami (oddělení mechanické a elektrické funkce)

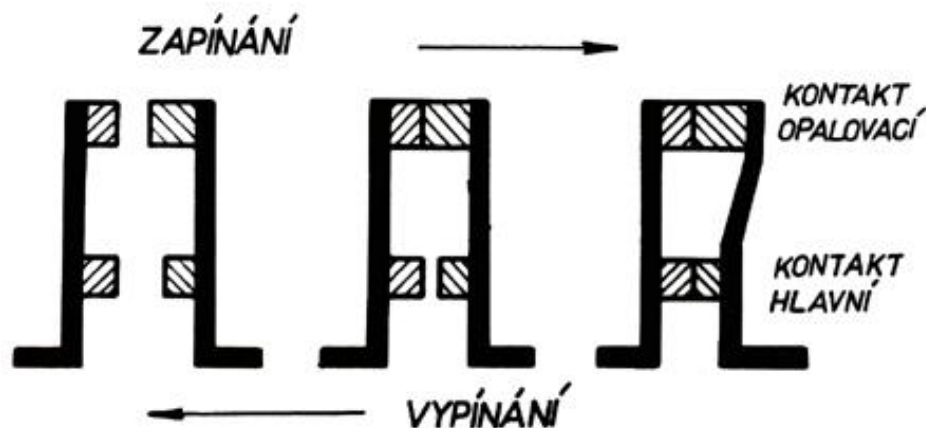
Nejmenší stavební výšku má tzv. „S“ kontakt na obr. 2.8. Je to růžicový kontakt, jehož jednotlivé lamely jsou vloženy do měděného pouzdra a od sebe odtlačovány vloženými pružinami.



Obr. 2.8 – „S“ kontakt

U těchto třecích palcových kontaktů je odlišeno místo prvního (posledního) styku (tj. paty oblouku) od místa klidového přenosu proudu a proto bývá provedeno z obloukuvzdorného materiálu.

V některých případech provádíme úplné oddělení kontaktů pro trvalý přenos proudu (hlavních) od kontaktů opalovacích jak je schematicky naznačeno na obrázku 2.9.



Obr. 2.9 – Princip úplného oddělení pracovních a pomocných opalovacích kontaktů



Shrnutí pojmů

Kontakty čelní tupé, smykové, třecí, dělené

Odskok kontaktů

Konstrukce kontaktů (ružicové, palcové, „S“)

2.3. Konstrukční zásady



Čas ke studiu: 30 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět:

- vyjmenovat základní konstrukční zásady kontaktů
- popsat vliv charakteristiky pružiny



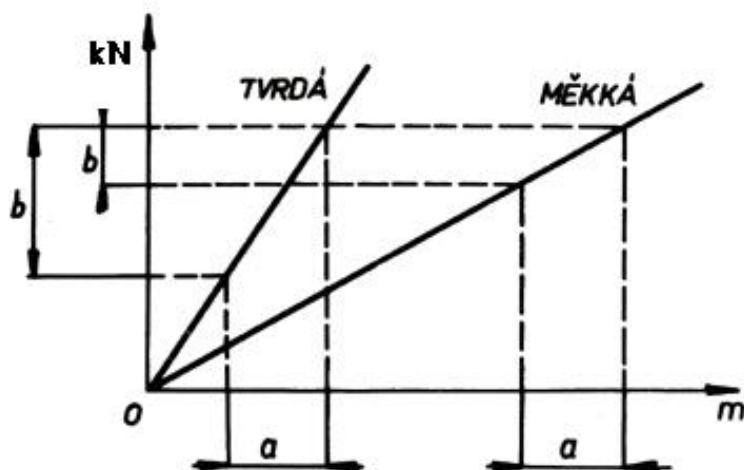
Výklad

Při konstrukci kontaktních systémů se snažíme dodržet následujících pět konstrukčních zásad:

- a) oddělení elektrické a mechanické funkce**
- b) měkká charakteristika kontaktní pružiny**
- c) paralelní řazení kontaktů**
- d) určitost místa styku**
- e) oddělení paty oblouku od místa klidového styku**

ad a) Průchodem proudu dochází k ohřevu proudovodné dráhy a tím se mohou měnit mechanické vlastnosti např. přítlačné pružiny, která by byla do proudovodné dráhy vřazena (obr. 2.5, 2.6).

ad b) Na obr. 2.10. je příklad lineárních charakteristik pružin. Za měkkou charakteristiku považujeme takovou, kdy s relativně velkou změnou délky nebo průhybu pružiny se síla mění jen málo. Znamená to, že změny pracovního zdvihu v důsledku tolerance výroby či opotřebení během provozu vyvolají jen malé změny kontaktní síly.



Obr. 2.9 – Charakteristiky pružin

ad c) Rozdělením kontaktů na několik paralelních kontaktů snižujeme stykový odpor bez zvyšování kontaktní síly. Plyne to ze vztahu pro velikost stykového odporu.

$$R = k * F^{-n} \quad [\Omega, N] \quad (2.1)$$

kde exponent n udává typ styku :

bodový styk	$n = 0,5$
přímkový styk	$n = 0,7$ až $0,8$
plošný styk	$n = 1$

Koeficient k je materiálová konstanta charakterizující vlastnosti materiálu, ze kterého je kontakt vyroben.

Pro ilustraci uvedeme několik materiálových konstant:

$$\begin{aligned} k_{Ag} &= (2 \text{ až } 6) \cdot 10^{-4} \\ k_{Cu} &= (6 \text{ až } 50) \cdot 10^{-4} \\ k_{Al} &= (9 \text{ až } 20) \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

a F je velikost přitlačné síly.

Obecně bude výsledný odpor tím menší, čím více paralelních cest vytvoříme. Příkladem dělených kontaktů jsou palcové kontakty dle obr. 2.5 až 2.8

ad d) Je výhodné konstruovat kontakt tak, aby místo styku bylo jednoznačné a určité, aby se u čelních tupých vytvořil styk bodový, u čelních smykových a třecích přímkový vždy ve středu plochy kontaktu. Pak je ve styku zaručen velký měrný tlak a nejvýhodnější odvod tepla. Odvod tepla v případě styku na okraji kontaktu by byl jiný – menší než ve středu kontaktu. Lepší odvod tepla znamená nižší oteplení místa styku, menší deformace, případně přenos materiálu při spínání.

ad e) Sledujeme tím zabránění vzniku tvarové změny a zvýšení korozivnosti místa klidového přenosu proudu účinkem spínacího či vypínacího oblouku hořícího mezi kontakty. Snažíme se tím o dosažení maximální stabilizace velikosti stykového odporu. Hoření oblouku mezi kontakty vždy znamená změnu tvaru povrchu odpařením či odstříknutím kontaktního materiálu.

Uvedených pět zásad není nutno dodržovat za všech okolností. Je však nutné mít na zřeteli možné následky, které vyvolá jejich nedodržení.



Shrnutí pojmů

Konstrukční zásady

Měkká a tvrdá charakteristika pružiny

Odpaření a odstřík kontaktního materiálu

3. Přístroje bez oblouku a přístroje prosté

3.1. Přístroje bez oblouku



Čas ke studiu: 90 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat funkci přístrojů bez oblouku (odpojovačů)
- znát rozdělení přístrojů bez oblouku dle funkčního principu
- umět popsat typy přístrojů bez oblouku dle konstrukce.



Výklad

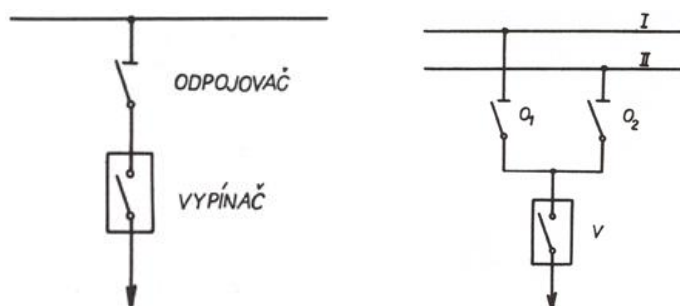
Skupina přístrojů bez oblouku tvoří velkou a důležitou skupinu elektrických přístrojů, které ve vnitřním i venkovním rozvodu nn a vn plní zejména ochrannou úlohu, ale za určitých podmínek mohou spínat i zatížený elektrický obvod.

Hlavními představiteli skupiny přístrojů, u nichž se při vypínání neobjevuje oblouk, jsou odpojovače, dalšími pak uzemňovače, přepojovače.

3.1.1. Odpojovač

Odpojovač slouží k odpojení částí vedení, sítí nebo strojů a zařízení po vypnutí příslušného úseku vypínačem. Odpojovač spojuje a rozpojuje nezatížený elektrický obvod mechanicky, s viditelnou drahou rozpojení, zpravidla za účelem revize, opravy nebo změny řazení, slouží především k ochraně osob pracujících na odpojených částech zařízení. V rozvodech vn, vvn a zvn se nespokojujeme pouze s vypnutím proudu vypínačem, ale vždy přerušujeme obvod na druhém místě odpojovačem, obr. 3.1.

Elektrické přístroje spínací, jisticí a ochranné



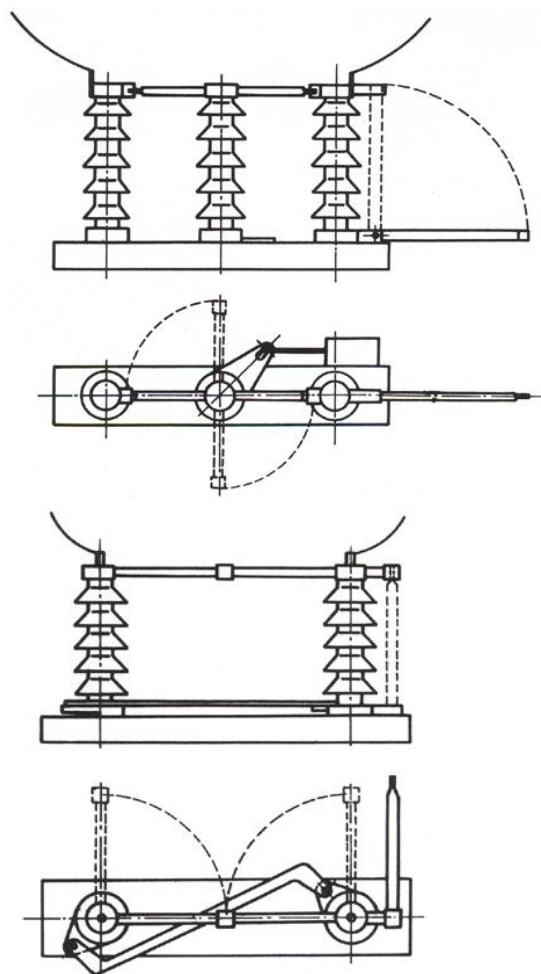
Obr. 3.1. – Schéma řazení přístrojů v sítích vn, vvn, zvn

Odpojovač má dvě pracovní polohy (zap., vyp.) , které musí být spolehlivě signalizovány. Musí zajišťovat bezpečné odpojení příslušné části obvodu i při zvýšení napětí živého úseku vlivem přepětí (atmosférickým, spínacím), takže má předepsanou vyšší izolační hladinu.

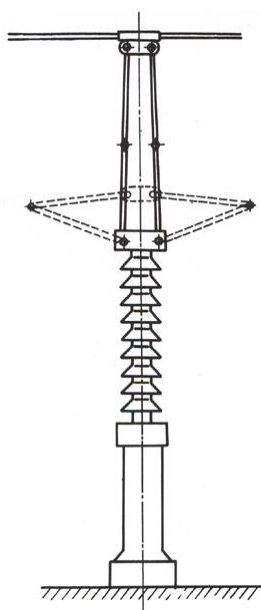


Obr. 3.2. – Vlastní provedení odpojovače – vvn

Odpojovače se stavějí jako jednopólové až trojpólové jednotky s jednoduchou konstrukcí. V zapnutém stavu musejí snést dynamické a tepelné namáhání vyvolané průchodem největšího zkratového proudu. Po jeho průchodu musejí být schopny dalšího provozu. Tento požadavek vede k bohatému dimenzování proudovodných částí, zejména kontaktů. Kontakty bývají zpravidla provedeny jako třecí nožové nebo lamelové, přičemž pohyblivý kontakt koná pohyb posuvný nebo sklápěcí nebo otočný.



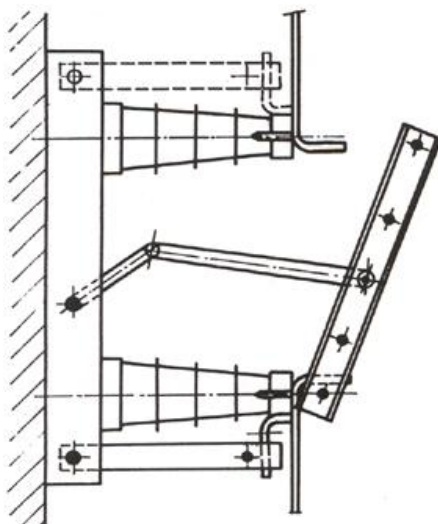
Obr. 3.3. – Příklad konstrukce otočných odpojovačů tří dvou izolátorových



Obr. 3.4. – Příklad konstrukce posuvných (pantografových) odpojovačů

Přístroje bez oblouku a přístroje prosté

Při vzniku přepětí přesahujícího izolační pevnost přístroje musí nastat přeskok k zemi a nikoli k protějším kontaktům. Některá provedení odpojovačů jsou kombinována s uzemňovačem (obr. 3.5.) (uzemňovací odpojovač), který má na každém pólu uzemňovací nože, jejichž pohyb je vázán na činnost pohyblivých kontaktů.



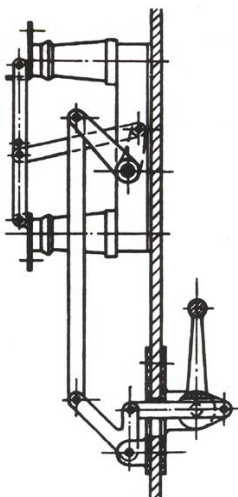
Obr. 3.5. – Příklad konstrukce vn odpojovače - vnitřní provedení s uzemňovačem

Otáčení hřídele uzemňovače musí být vázáno s pohybem pohonu odpojovače tak, aby nebylo možno zapnout uzemňovací nože, jsou-li zapnuty kontakty odpojovače. Toto blokování bývá u ručně ovládaných odpojovačů mechanické, u dálkově ovládaných může být i elektrické, pneumatické či kombinované.

Ovládací zařízení odpojovačů může mít různý stupeň složitosti. Nejjednodušší je izolovaná tyč. Dokonalejší je ruční pákový pohon (obr. 3.6.). Pro dálkové ovládání odpojovačů se používá tlakovzdušný případně elektrický pohon.

Odpojovač může být rovněž použit ve funkci prostého přístroje při vypínání malých proudů, řádu jednotek ampérů a to v těchto případech:

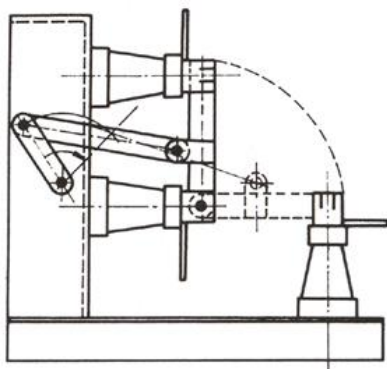
- magnetizační proudy transformátorů do 200 kVA
- nabíjecí proudy venkovních vedení v závislosti na napětí a délce vedení
- malé provozní proudy induktivní a kapacitní do vypínacího výkonu 50 kVA



Obr. 3.6. – Příklad konstrukce odpojovače vn s ručním pákovým pohonem

Stejně proudy lze těmito přístroji i zapínat. Tyto proudy mohou způsobit oblouk hořící téměř přes celou vypínací dráhu odpojovače. Konstrukcí odpojovače však musí být zaručeno spolehlivé uhasnutí oblouku před dosažením koncové polohy. Pro spínací činnost musí být odpojovač namontován s noži ve svislé poloze a otočným čepem na spodní podpěrci. Odpojovače s pomalým pohybem jsou pro spínání nevhodné a nepřípustné.

Zvláštním provedením odpojovače je přepojovač (obr. 3.7.), kterým lze přepojovat nejméně dva různé nezatížené obvody. Existují i přepojovače s několika polohami, např. zapnuto – vypnuto – uzemněno.



Obr. 3.7. – Konstrukce přepojovače – vnitřní provedení vn



Shrnutí pojmů

Přístroje bez oblouku

Odpojovač, odpojovač s uzemňovačem

3.2. Přístroje prosté



Čas ke studiu: 30 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat funkci přístrojů prostých.
- znát rozdělení přístrojů prostých dle funkčního principu
- umět popsat typy přístrojů prostých dle konstrukce.



Výklad

Přístroje prosté se v podstatě od přístrojů bez oblouku příliš neliší. Vzhledem k tomu, že však spínají obvody pod proudem, objevuje se na kontaktech oblouk. Mají tedy zpravidla masivnější provedení kontaktů. Pro usnadnění uhasnutí oblouku však nejsou vytvořena žádná další aktivní opatření. Pokud se nějaké úpravy vyskytují, jedná se spíše o opatření pasivní, k omezení ničivých účinků oblouku na materiál kontaktů. Kontakty bývají prodlouženy tak, aby se oddělilo místo vlastního styku kontaktů od místa, ve kterém se bude pohybovat pata oblouku. Kontakty mívají smýkavý pohyb, aby došlo k narušení a odstranění cizích vrstev (kysličníky, sirníky, sírany) na kontaktech, a aby spínací či zapínací oblouk zapaloval na jiném místě, než je místo trvalého styku kontaktů. Pohyb kontaktů, ať už při zapínání či vypínání, by měl být co nejrychlejší a doba hoření oblouku z důvodu opalu při vypínání, či natavení a po sepnutí svaření kontaktů při zapínání, co nejkratší. Proto u vypínačů na vyšší vypínané proudy vytváříme kontaktní systém s nezávislým mžikovým pohybem.

Přístroje prosté se skládají z nosné konstrukce, kontaktního systému včetně přívodních svorek a pohonného mechanismu. Ovládání je zpravidla ruční, ovládací pákou, tlačným nebo otočným knoflíkem.

Přístroje prosté mají svůj určitý vypínací výkon, tedy proud, který při stanoveném napětí, kmitočtu a účinníku jsou schopny vypnout. Stejně proudy za odlišných podmínek než stanovených od určité hranice nepřeruší, oblouk neuhasne a dojde k poškození, po případě, nezapůsobí-li ochrany, k destrukci přístroje. S rostoucím napětím velikost vypínacích proudů rychle klesá a v oblasti vn se jedná již o proudy řádu desítek ampérů. Na velikost jmenovitého vypínacího proudu přístroje má vliv

charakter proudu, tedy zda se jedná o proud stejnosměrný či střídavý. Obecně lze říci, že vypínací výkon téhož vypínače při proudu stejnosměrném je o řád nižší než při proudu střídavém. Vyplývá to z principu uhasnutí stejnosměrného oblouku, tj. nutností zvýšení jeho odporu, čehož můžeme u přístrojů prostých dosáhnout prakticky jen natažením oblouku. Délka oblouku je dána ve většině případu přístrojů prostých zdvihem kontaktů. Potřebujeme-li tedy spínat stejnosměrný obvod při vyšších hodnotách proudu, řadíme několik kontaktních systémů vícekontaktního spínače za sebou. Kromě toho, že se tím v součtu zvětší délka oblouku, zařadíme tím do série několik anodových a katodových úbytků napětí na jednotlivých obloucích, což má větší vliv než pouhé prodlužování oblouku.

Při vypínání střídavého proudu jsou podmínky pro zánik oblouku podstatně příznivější. V nule proudu dochází k tepelnému vztlakovému proudění zbytků obloukových plynů a okolního vzduchu, což způsobuje v prostoru mezi oddálenými kontakty rozrušení ionizovaného prostředí a zotavení dielektrické pevnosti mezikontaktního prostoru. Současně probíhá ochlazování místa paty oblouku odvodem tepla hmotou kontaktu. Aby došlo k průrazu takového prostředí, musí průraz začít doutnavým výbojem. Znamená to, že velikost zotaveného napětí musí přesáhnout hodnotu katodového spádu doutnavého výboje, to je napětí 300 až 350 voltů. Proto je přerušování proudu v obvodech nízkého napětí do 231V (amplituda 327V) snazší ve srovnání s proudem stejnosměrným. Budeme-li vypínat proudy vyšší, resp. proudy při vyšších napětích, je nutno vypínací systém opatřit mžikovým vypínáním a prodloužit kontaktní zdvih. Mžikovým mechanismem ovlivňujeme hoření oblouku a vypínací schopnost přístrojů prostých.

Přístroje prosté můžeme rozdělit do tří skupin a to podle způsobu pohybu respektive ovládání pohyblivého kontaktu na přístroje prosté:

- pákové
- suvné
- otočné



Shrnutí pojmů

Popis přístrojů prostých, základní dělení přístrojů prostých

Řazení kontaktních systémů

3.2.1. Pákové vypínače



Čas ke studiu: 30 min



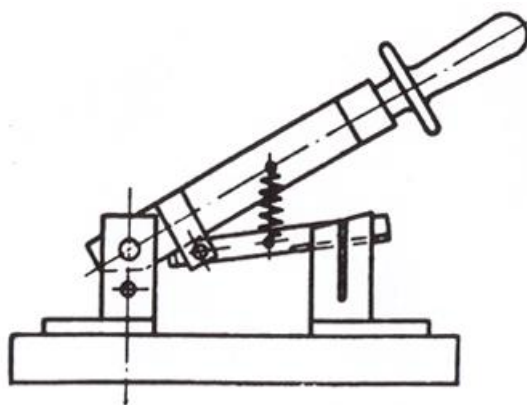
Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat konstrukci pákových vypínačů.
- popsat funkci úsečníku



Výklad

Vypínače na obr. 3.8., 3.9. jsou nožové vypínače pákové nekryté, dnes již nevyráběné. Jsou zde uvedeny jako názorná ukázka mžikových mechanismů. Dnes se využívají v dokonalejším, krytém provedení.

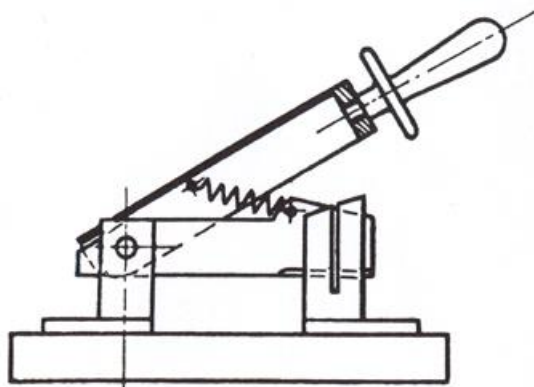


Obr. 3.8. – Nožový vypínač s hlavním a pomocným - opalovacím nožem.

Vypínač na obr. 3.8. je příkladem provedení nožového vypínače se dvěma noži. Hlavní nůž je umístěn přímo na ovládací páce, opalovací je s ním spojen pružinou. Při vypínání se nejprve vytáhne z kontaktního systému nůž hlavní, obvod není přerušen. Oddalováním hlavního kontaktu je napínána pružina až do okamžiku, kdy síla vyvozená napnutou pružinou (nastřádaná v pružině – srovnej střadačový vypínací systém) překoná sílu, kterou je opalovací kontakt držen v zapnutém stavu, a dojde k vytržení tohoto kontaktu rychlostí závislou na parametrech pružiny, nikoliv na rychlosti pohybu ovládací páky.

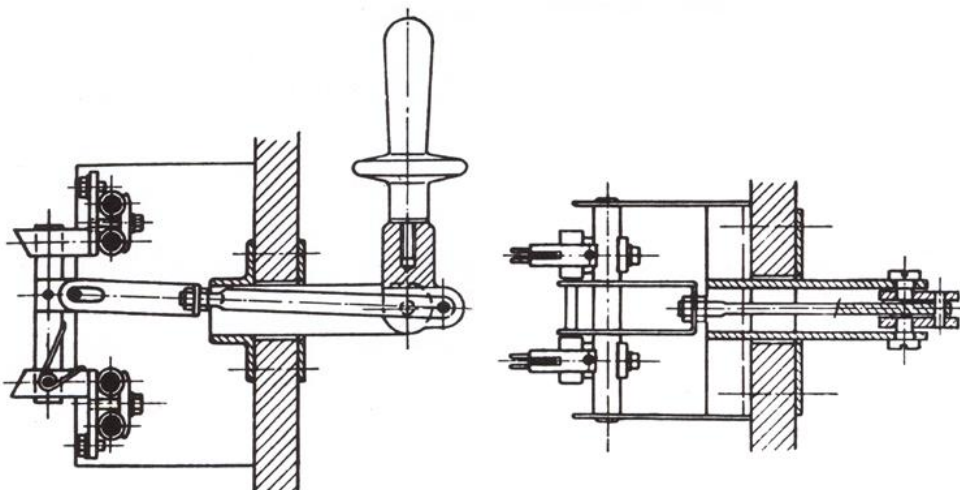
Na obr. 3.9. je obdobný systém, jen opalovací a hlavní kontakt jsou sdruženy do jednoho nože, ovládací páka je tvořena izolantem, princip mžikového vypnutí je však stejný. Nožové vypínače s mžikovým

mechanismem umožňují vypínání střídavého proudu až několika málo set ampérů, bez mžikového mechanismu pak desítek ampérů.



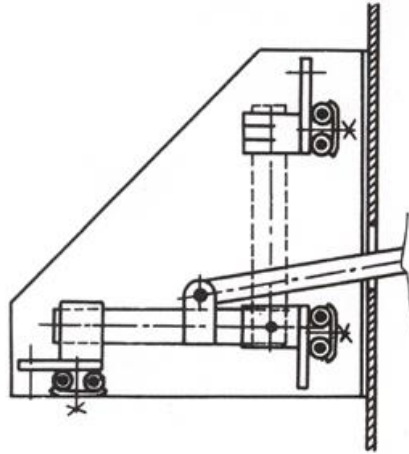
Obr. 3.9. –Pákových vypínačů s jedním nožem

Na obr 3.10. je příklad kloubového nožového dvoupólového vypínače pro montáž do uzavřených rozvaděčů. Nože jsou vybaveny zkrutnou pružinou, která nůž tlačí do vypnuté polohy. Ve vypínacím táhlu je oválný výřez, o který se při vypínání posune naprázdno. V okamžiku, kdy se čep nože opře o konec výřezu, dojde k vysunutí nože z kontaktního páru a zkrutná pružina oddálí mžikově nůž na distanci vymezenou výřezem v táhle.



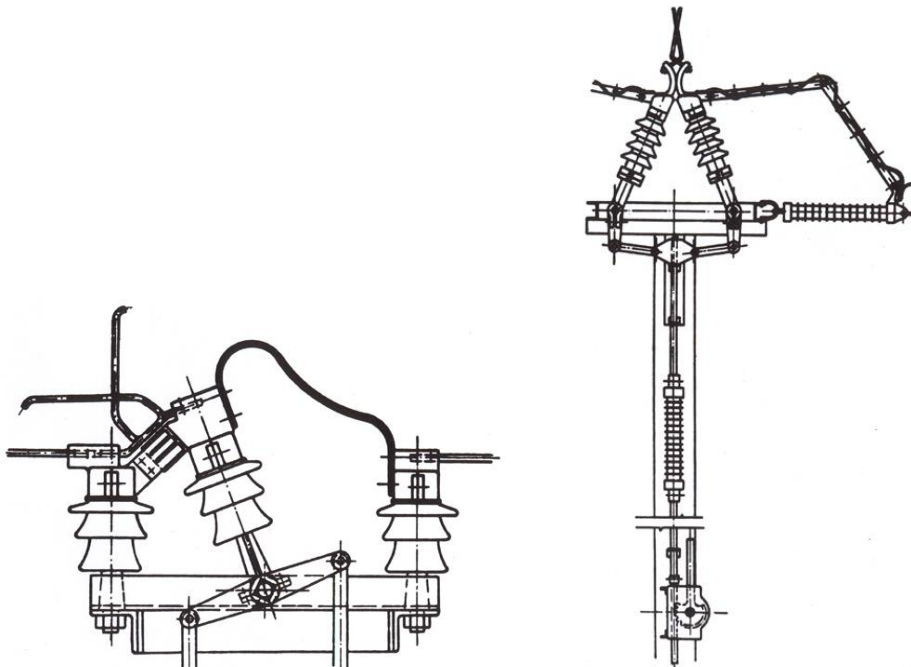
Obr. 3.10. –Pákový vypínač kloubový.

Na obr. 3.11. je příklad nožového kloubového přepínače. Přepínač nemá polohu vypnuto.



Obr. 3.11. – Příklad starší konstrukce pákových přepínačů

Na obrázku 3.12. jsou ukázky úsekových vypínačů (úsečníků) ve tří- a dvou-izolátorovém provedení. Úsekové vypínače jsou přístroje venkovní umístěné na sloupech či stožárech vedení. Provedení se třemi izolátory má dva krajní izolátory pevné, střední izolátor je výkyvný a nese pohyblivý nožový kontakt s opalovacím kontaktem tvořeným opalovacím růžkem. Pérový protikontakt s dvojítm opalovacím růžkem je umístěn na izolátoru vlevo. Od pravého izolátoru je veden k pohyblivému kontaktu ohebný pásový vodič.

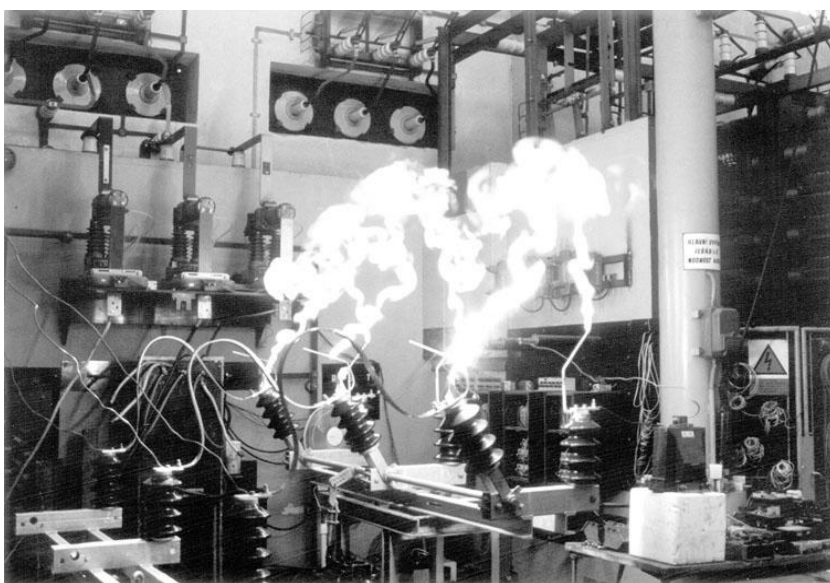


Obr. 3.12. – Úsekový vypínač v troj a dvou izolátorovém provedení

V zapnutém stavu je nožový kontakt vsunut do pérového kontaktu a opalovací růžek do dvojitého. Při vypínání dojde nejprve k vysunutí nožového kontaktu z pérového, přičemž opalovací kontakty jsou stále spojeny. Opalovací růžky nyní převzaly funkci hlavních kontaktů. Při dalším pohybu dojde k oddálení opalovacích kontaktů a zapálení oblouku mezi nimi. Oblouk se vlivem tepelného vztlaku okolního vzduchu a elektrodynamickými silami pohybuje od místa vzniku směrem nahoru ke koncům růžků, takže se jeho délka stále zvětšuje. Tím se odstraňuje ionizované prostředí z prostoru hlavních kontaktů a vytváří se podmínky pro úspěšné vypnutí obvodu.

Provedení se dvěma izolátory má oba izolátory výkyvné. Na izolátorech jsou umístěny hlavní čelní kontakty a kontakty opalovací – růžky. Princip vypínání je obdobný jako v předchozím případě.

Úsečníky jsou ovládány ručně. V prvním případě přes rovnoramennou páku, která zajišťuje odklopení pohyblivého izolátoru. Ve druhém případě pákou přes ozubený hřeben, izolátor a kliky hřídelí, na nichž jsou umístěny výkyvné podpěrky.



Obr. 3.13. – Ukázka vypínání úsekových vypínačů vn (35kV/40A)



Shrnutí pojmů

Pákové vypínače

Úsečník, ovládání

3.2.2. Vypínače suvné



Čas ke studiu: 30 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

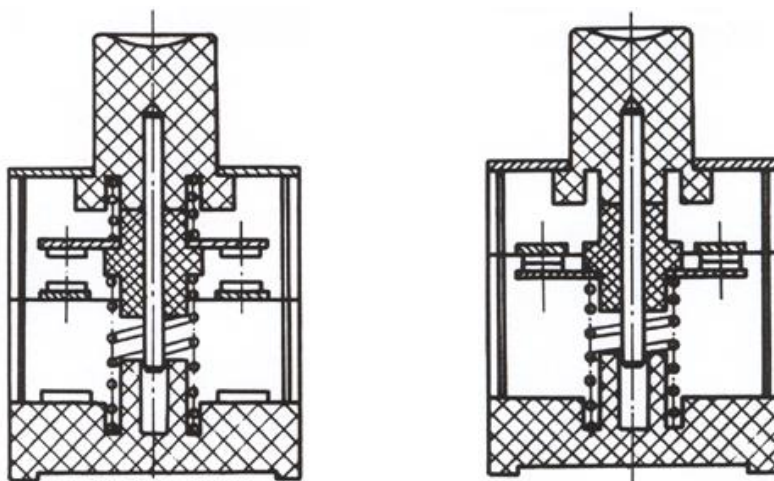
- popsat funkci a konstrukci suvných vypínačů..



Výklad

Klasickými reprezentanty této skupiny vypínačů jsou tlačítkové ovladače, stiskací a koncové vypínače.

Tlačítkové ovladače (obr. 3.14) jsou určeny pro střídavé obvody do 500V a proud max. 10 A. Vyrábějí se v provedení k montáži na panel, litinové skřínky až do krytí IP 65. Bývají kombinovány se signální žárovkou. Tlačítka mohou být jak zapínací tak vypínací, lze je stavebnicovým způsobem kombinovat. Jaké kontakty ovladač obsahuje se udává zlomkem, kde čitatel udává počet zapínacích a jmenovatel vypínacích kontaktů (3/2 – tři zapínací a dva vypínací kontakty). Kontakty jsou můstkové. Barvou (dle normy) se pak rozlišuje, zda tlačítka obvod zapínají, vypínají, slouží jako havarijní stop tlačítka atp. Tlačítka mají jednu polohu stabilní, do druhé se přesouvají pouze po dobu stlačení.

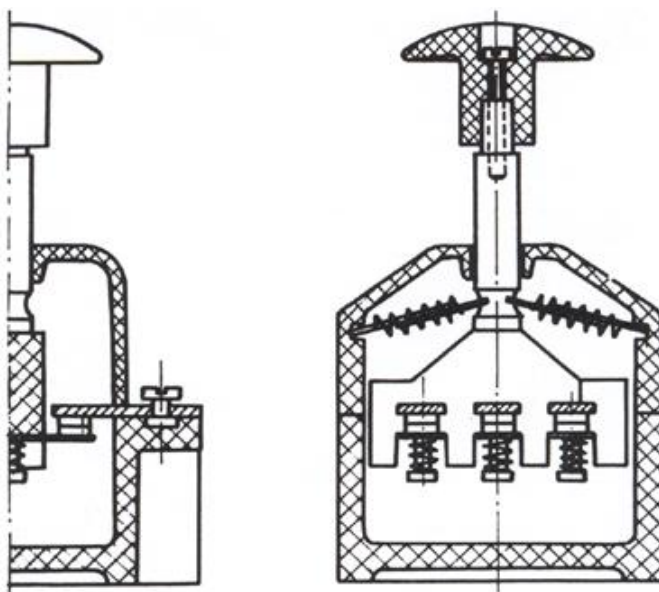


Obr. 3.14. – Tlačítkové ovladače

Stiskací vypínače mají dvě stabilní polohy - zap – vyp. Používají

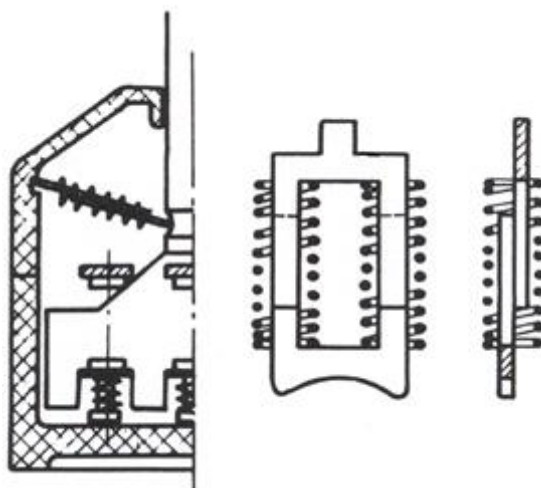
Přístroje bez oblouku a přístroje prosté

se pro přímé spínání elektrických spotřebičů a menších motorů. Kontaktní systém je opět můstkový. Zpravidla jsou dvoupólové či trojpólové. Vybavené mžikovým mechanismem (obr. 3.15, 3.16) jsou schopny zvládnout jmenovité proudy až 60A při 500V. Notoricky známým představitelem je vypínač „tahem zapni – stiskem vypni“. Mžikové přepnutí zajišťují překlápěcí třmenové pružiny. Při stisku či tahu se zpočátku pružiny umístěné na třmenu stlačují až do dosažení mrtvé polohy (osy pružin a osa ovládací hřídele svírají pravý úhel) a po překonání mrtvé polohy uvolní pružiny nasbíranou energii a mžikově přepnou. Konstrukčně musí být zajištěno, že kontakty se od sebe oddálí až v okamžiku mžikového přepnutí za mrtvou polohou, aby nedocházelo k opalu kontaktů během relativně pomalého pohybu hřídelky do mrtvé polohy. V jednotlivých koncových polohách je kontaktní systém držen silou třmenových pružin.



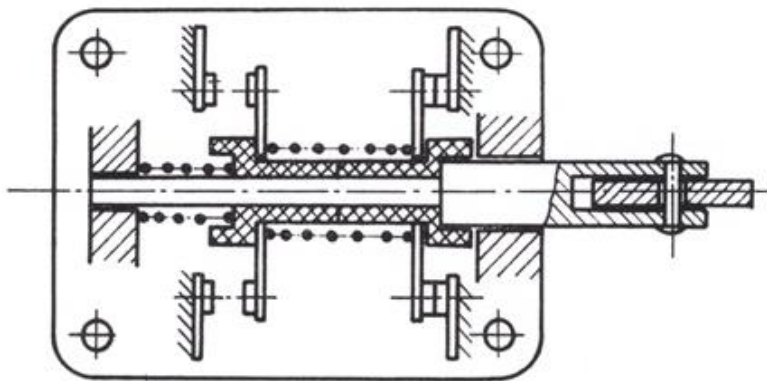
Obr. 3.15 – Příklad stiskacího vypínače („Tahem zapni, stiskem vypni“)

Koncové vypínače jsou mechanicky ovládané přístroje, které zajišťují, aby pohyb určitého zařízení s elektrickým pohonem nepokračoval za určitou krajní polohu. Mohou mít funkci bezpečnostní i havarijní.



Obr. 3.16 – Detail pružinového třmenu

Nejčastěji používaným koncovým spínačem je spínač s můstkovými kontakty dle obr. 3.17. Při najetí do krajní polohy je čep s kontakty stlačen, po vrácení se z krajní polohy se čep pomocí pružinového systému vrátí do původní polohy.



Obr. 3.17 – Koncový spínač s můstkovými kontakty



Shrnutí pojmů

Suvné vypínače

3.2.3. Vypínače otočné



Čas ke studiu: 15 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

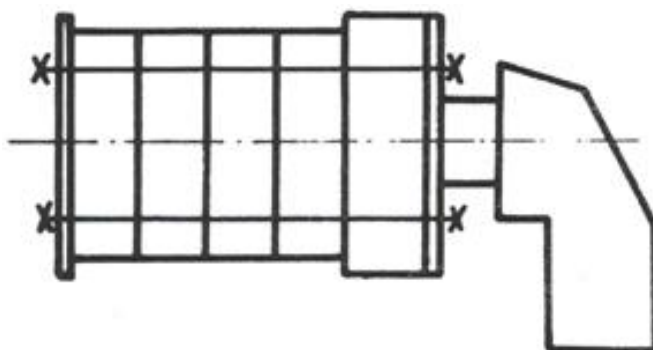
- popsat funkci a konstrukci otočných vypínačů..



Výklad

Tyto vypínače se liší uspořádáním kontaktního systému od dosud popsaných provedení. Pohyblivý kontakt u nich představuje otáčející se můstek, který spojuje vždy dva pevné kontakty, propojené na přívodní svorky. Otočné vypínače jsou vícekontaktní s několika pracovními polohami. Používá se jich především jako přepínačů. Spínají nejvýše jmenovité proudy obvodů.

Jedním ze zástupců je válcový přepínač. Obr. 3.18. Protože se vedle sebe nachází řada samostatných kontaktních systémů, bývají odděleny izolačními přepážkami, aby se oblouk jednoho systému nepřenesl na systémy sousední.

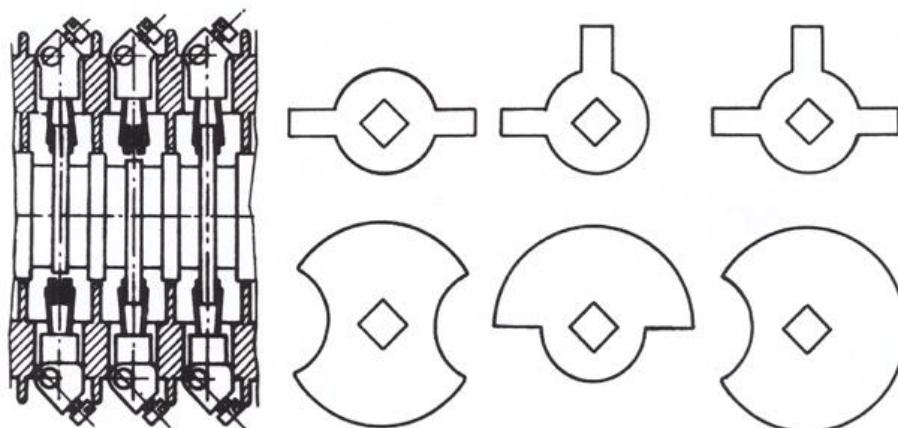


Obr. 3.18 – Válnový vypínač

Přepínače se zpravidla vyrábí ve stavebnicovém provedení. Kontaktní systémy s přívodními svorkami tvoří ucelené díly, které lze přiřazovat k sobě a svorníky stahovat do svazku – pakety. Říká se jim také paketové vypínače.

Na obr. 3.19 je kontaktní systém pero-nůž malého válcového

spínače na proudy do 10 A. Pohyblivý kontakt je plochý měděný segment , izolačně upevněný na čtyřhranném hřídeli. Pevný pérový kontakt tvoří jeden celek s přívodní svorkou. Otáčivé nožové segmenty mohou být na hřídeli podle potřeby mezi sebou propojeny nebo odizolovány. Segmenty mohou mít různé tvary. Spínací polohy jsou čtyři po devadesáti stupních. Podle potřeby je možno vložением vhodných narážek omezit ovládání jen na dvě či tři polohy.



Obr. 3.19 – Kontaktní systém pero-nůž, různé tvary segmentů.

Válcové přepínače na větší proudy mají pohyblivé kontakty kluzné ve tvaru segmentů s válcovou stykovou plochou. Segmenty dosedají na odpružené pevné palce.



Shrnutí pojmů

Vypínače otočný

Uspořádání kontaktů otočného vypínače - segmenty

4. Stykače, magnetické vypínače a princip magnetického vyfukování oblouku

4.1. Stykače



Čas ke studiu: 45 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce porozumíte a budete schopni popsat:

- základní funkci stykačů
- základní provedení stykačů



Výklad

Stykač je dálkově ovládaný přístroj, jehož funkcí je časté spínání a vypínání provozních proudů motorů a dalších elektrických spotřebičů. Tyto proudy leží v oblasti jmenovitých proudů a v oblasti provozních nadproudů, t.j. zapínací proudy v rozmezí 6 až 12-ti násobku jmenovitého proudu a vypínací proudy v rozmezí 6 až 10-ti násobku jmenovitého proudu stykače ve střídavých obvodech, ve stejnosměrných obvodech pak se zapínací i vypínací proudy pohybují v rozmezí 2 až 5-ti násobku jmenovitého proudu stykače. Počet spínacích cyklů za hodinu může dosáhnout až několika set. Z tohoto důvodu jsou na konstrukci stykače kladeny vysoké nároky z hlediska elektrické trvanlivosti. Dosahuje nezřídka i několika statisíců spínacích cyklů. Stykače nejsou konstruovány pro zapínání a vypínání zkratových proudů. Zkrat v obvodu musí vypnout předřazená ochrana, t.j. jistič nebo pojistka.

Stykač má pouze jednu stabilní polohu a to zpravidla vypnuto. Do druhé polohy se dostane pouze působením strojního mechanismu a v této poloze setrvává pouze pokud tento mechanismus působí. Tento mechanismus může být vačkový, pneumatický či elektromagnetický. Nejrozšířenější je provedení stykače s pohonem elektromagnetickým. Principiálně není správné, i když se tomu nelze vždy vyhnout, používat stykače v obvodech, kde budou spínat velmi řídké. Také užití stykačů tam, kde budou sepnuty po dlouhou dobu, není vhodné a to kvůli spotřebě ovládací cívky. Ovládací cívky mohou být jak stejnosměrné, tak střídavé.

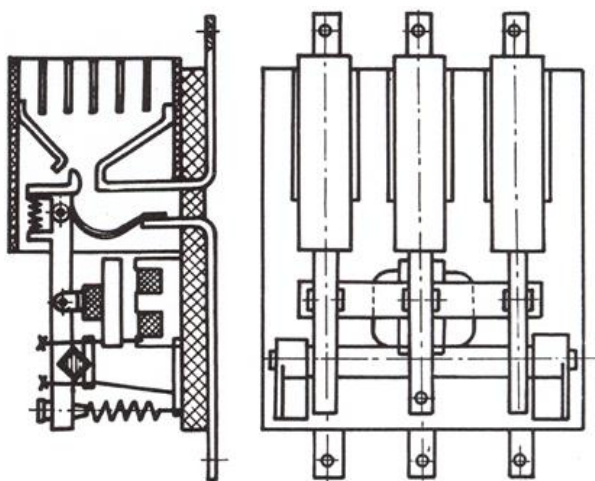
Podle zhášecího media můžeme stykače rozdělit na:

- a) vzduchové
- b) olejové
- c) vakuové

V dnešní době je nejrozšířenějším typem stykač vzduchový, od olejových se ustupuje. Vakuové stykače se vyznačují velikou trvanlivostí kontaktů a naprostou nezávislostí působení na okolním prostředí.

Podle konstrukčního provedení lze stykače rozčlenit na stykače pákové a suvné.

Schéma konstrukčního uspořádání kontaktního mechanismu pákového provedení je na obr. 4.1.

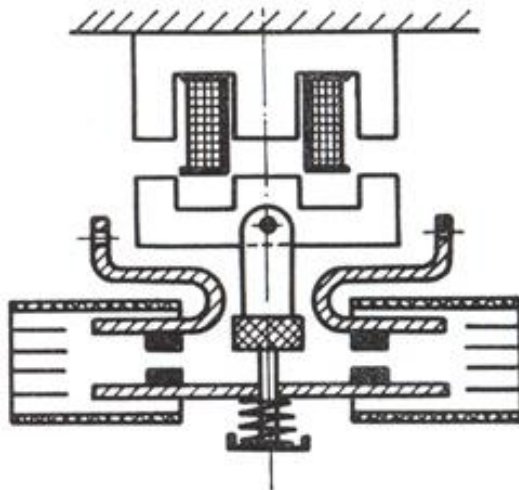


Obr. 4.1 – Pákové provedení mechanismu stykače

Pevný kontakt je spojen s horní přívodní svorkou, pohyblivý kontakt ohebným vodičem se spodní svorkou. Kontakty jsou umístěny uvnitř zhášecí komory. Stykač je trojpólový. Ovládání všech pólů je provedeno třmenem s izolačním oddělením proudovodných částí a kotvy elektromagnetu. Po vypnutí jsou zpravidla kontakty uvedeny do výchozí polohy soustavou vypínacích pružin. Zhášecí komory bývají kovové, izolační šterbinové po případě roštové. Pákové provedení stykačů je vhodné pro vypínání střídavého i stejnosměrného proudu. Stejnosměrné stykače mají vždy vyfukovací cívku (viz dále).

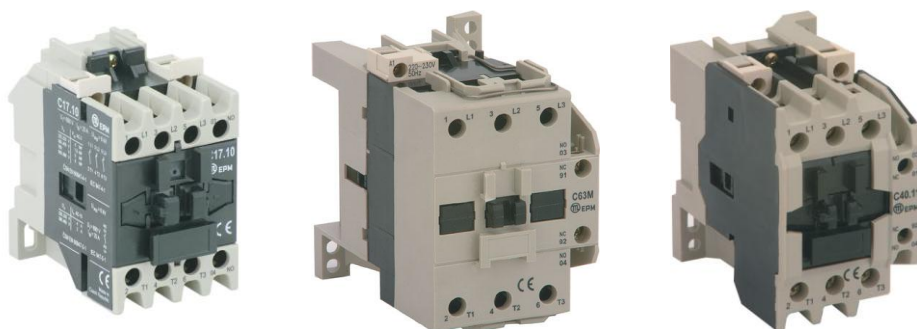
Schéma konstrukčního uspořádání stykače se suvným mechanismem je na obr. 4.2. K vypnutí dojde odpadnutím kotvy magnetu vlastní vahou a to v případě vertikálního uspořádání, nebo působením

vypínací pružiny. Pohyblivé kontakty jsou můstkové s dvojnásobným přerušením v každém pólu. V důsledku můstkového uspořádání odpadají ohebné přívody. Přes dvojí přerušení proudu je celková délka oblouku krátká, proto není vhodné toto uspořádání pro stejnosměrný proud.



Obr. 4.2 – Suvné provedení mechanismu stykače

Suvné stykače zásadně nepoužívají vyfukovací cívky. Musí stačit magnetické pole jednoho záhybu proudovodné dráhy v součinnosti s jednoduchou kovovou zhášecí komorou.



Obr. 4.3 – Ukázky provedení stykačů nn (Elektropřístroj Písek)



Shrnutí pojmů

Stykač, suvný, pákový

Základní požadavky na stykač

4.2. Princip elektromagnetického vyfukování oblouku – magnetické vypínače – zhášecí komory



Čas ke studiu: 30 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce porozumíte a budete schopni popsat:

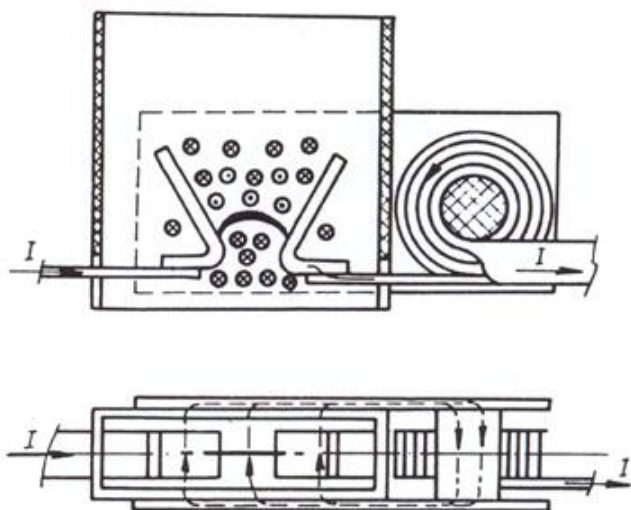
- princip magnetického vyfukování oblouku



Výklad

Zvláštním opatřením k uhasnutí elektrického proudu vyšších parametrů, než jsou schopny zvládnout přístroje prost, je elektromagnetické vyfukování oblouku do zhášecí komory. Podstatou magnetického vyfukování oblouku je interakce magnetického pole oblouku s magnetickým polem proudovodné dráhy elektrického přístroje (vypínače, stykače, jističe). Zdrojem magnetického pole proudovodné dráhy bývá zhášecí cívka, která je řazena v sérii s vypínacími kontakty. Cívka má železné jádro, které je spojeno se dvěma pólovými nástavci, které obklopují kontakty a jsou zpravidla umístěny vně zhášecí komory. Smysl vinutí cívky musí být orientován tak, aby elektrodynamické síly působící na oblouk hořící mezi vzdalujícími se kontakty vtáhly oblouk do zhášecí komory. Kontaktní systém bývá opatřen opalovacími růžky, které usnadňují pohyb oblouku směrem do zhášecí komory. Tento systém pracuje stejně jak u proudu stejnosměrného, tak střídavého.

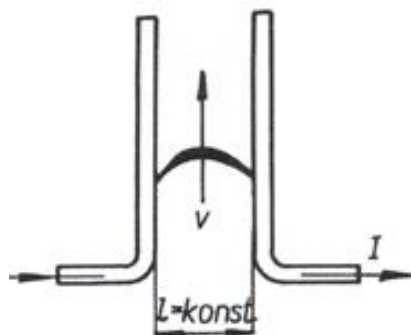
Magnetické pole není přímým zhášecím prostředkem, způsobuje pouze rychlý pohyb oblouku napříč vzduchem ve zhášecí komoře. Pohybem oblouku od místa vzniku vzhůru po opalovacích růžkách tvaru písmene V na obr. 4.4 dochází jednak k natahování oblouku a dále k pohybu oblouku, kolmému na směr prodlužování.



Obr. 4.4 – Princip magnetického vyfukování oblouku

Experimentálně bylo dokázáno, že oblouk určitého napětí a proudu, který je natahován ve směru podélné osy oddalováním kontaktů v této ose, uhasíná vždy při dosažení téže délky, bez ohledu na to, jak rychle bylo této vzdálenosti kontaktů dosaženo. Samozřejmě, při vyšší rychlosti oddalování kontaktů, je této délky dosaženo dříve, oblouk hoří kratší dobu a opotřebení kontaktů a namáhání obvodu zkratovým proudem je menší.

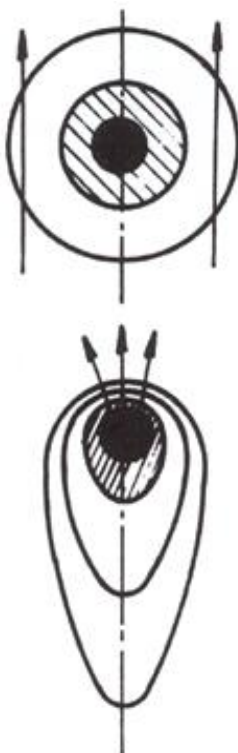
Naopak ponecháme-li vzdálenost kontaktů konstantní, obr. 4.5 (opalovací růžky nemají tvar V, ale jsou paralelně vedle sebe – II), pak čím vyšší je rychlost pohybu oblouku mezi nimi, tím větší je napětí na oblouku. Tedy čím silnější je vyfukovací magnetické pole, tím rychleji se oblouk pohybuje a lze tak při stejném proudu a stejné délce oblouku uhasit oblouk v obvodu vyššího napětí.



Obr. 4.5 – Rychlost pohybu oblouku

Při pouhém prodlužování oblouku se oblouk nedostává do styku s větším počtem neionizovaných a studených částic vzduchu, kdežto při rychlém příčném pohybu, se oblouk pohybuje ve stojícím čerstvém vzduchu. Se zvyšující se rychlostí se intenzita vlivu zvyšuje. Jako příměr je možno si představit mráz -5°C při bezvětří a jeho účinek na lidský organismus a totéž při silném větru.

Magnetické pole je jediným prostředkem, kterým lze docílit pohybu oblouku ve stojícím okolním prostředí. Ve všech ostatních případech je oblouk unášen okolním médiem.



Obr. 4.6 – Průřez oblouku unášeného prostředím a oblouku pohybujícího se stojícím prostředím

Na obrázku 4.6 je znázorněn vliv prostředí unášejícího oblouk na tento oblouk a vliv stojícího prostředí, kterým se oblouk pohybuje. Je patrné, že rozložení vrstev horkých plynů kolem jádra oblouku je v prvním případě rovnoměrné a nemá zásadní vliv na toto jádro. Ve druhém případě obloukové plyny zůstávají pozadu, jádro oblouku, hnané elektrodynamickými silami se na své čelní straně dostává do těsného styku se stojícím studeným vzduchem.

Pro zvýšení účinnosti tohoto vypínacího systému se na

vyfukovací růžky napojují různé typy zhášecích komor, které zvyšují účinnost deionizačních pochodů. Zhášecí komory jsou v zásadě dvojího typu:

- a) izolační zhášecí komory
- b) kovové zhášecí komory

Izolační zhášecí komory jsou vhodné pro vypínání stejnosměrného i střídavého proudu, kovové se v praxi používají jen pro proud střídavý.



Shrnutí pojmů

Magnetické vyfukování

Zhášecí cívka

Zhášecí komora

Pohyb oblouku v prostředí

Prodloužení oblouku

4.2.1. Izolační zhášecí komory



Čas ke studiu: 50 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce porozumíte a budete schopni popsat:

- činnost a typy izolačních zhášecích komor

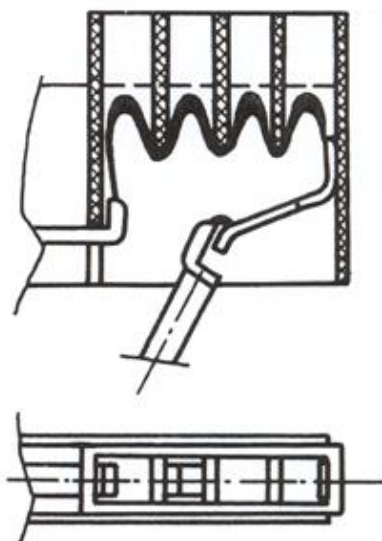


Výklad

Tyto komory lze v zásadě rozdělit do dvou skupin podle principiálního uspořádání, a to na komoru roštovou a komoru štěrbinovou.

4.2.1.1. Zhášecí komora s izolačním roštem.

Princip zhášecí komory s izolačním roštem spočívá v umístění tohoto roštu, tvořeného izolačními žebry, napříč osy hoření oblouku. Oblouk je vyfukován proti těmto žebřům a o jejich čelní hrany je zadržen a mezi žebry dál vyfukován, čímž se prodlouží do několika vln. Chladicí účinek žebřů je malý, oblouk se s žebry stýká jen na malé ploše, a na těchto místech navíc setrvává poměrně dlouho, což vede k zahřívání žebřů a sníženému odvodu tepla, vypalování materiálu a rychlému opotřebení komory. Obr. 4.7.



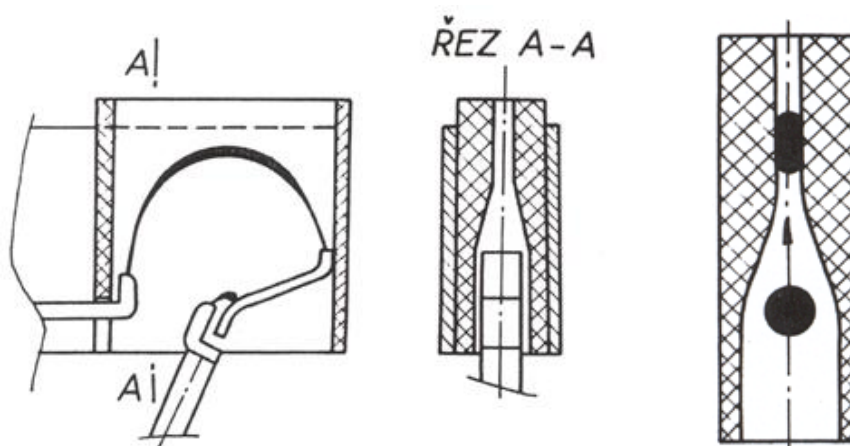
Obr. 4.7 – Principiální schéma Izolační zhášecí komory

Komora vyhovuje principiálně vypínání stejnosměrného proudu zvýšením odporu oblouku jeho natažením. Z hlediska vypínání střídavého proudu velký povrch vytváří podmínky pro radiální výměnu částic při průchodu proudu nulou. Výměna probíhá nejintenzivněji na stěnách žeber.

Hořením oblouku v prostoru pod a mezi žebry se ionizovaný vzduch ohřívá na vysokou teplotu a uniká mezi žebry nad komoru. Je zde nebezpečí, že od určité velikosti proudu se ohřátý a ionizovaný plyn začne rozpínat i směrem dolů, do mezikontaktního prostoru, což by mohlo vést k znovuzapálení oblouku po průchodu proudu nulou v důsledku oslabení izolačních vlastností mezikontaktního prostoru. Dalším nebezpečím je možnost vyfouknutí oblouku až nad horní hrany žeber, což by vedlo k trvalému hoření oblouku nad roštem zhášecí komory.

4.2.1.2. Štěrbínová zhášecí komora

Štěrbínová komora je konstruována tak, že štěrbina je umístěna nad podélnou osou hořícího oblouku. Oblouk je vyfouknut do nahore otevřené štěrbiny a celou svou délkou se dostává do těsného styku s chladícími stěnami, tvořenými žáruvzdorným materiálem. Obr. 4.8.



Obr. 4:8 – Štěrbínová zhášecí komora

Štěrbina se navíc se zvětšující vzdáleností od kontaktů zužuje. Oblouk je magnetickým polem nejen natahován, ale dále vtlačován do štěrbiny a jeho kruhový průřez se deformuje. Zvětšuje se tím odvod tepla z deformovaného jádra oblouku. Zvýšeným odvodem tepla se zvyšuje odpor oblouku a na oblouku se soustředí vyšší napětí (závislost nárůstu napětí na zužování štěrbiny je hyperbolická). Účinnost štěrbínové komory

je tedy při stejném stejnosměrném proudu vyšší než u komory roštové. Totéž platí i o účinnosti při vypínání střídavého proudu. Stěny štěrbin představují překážku pro unikající elektrony a vznikají zde rekombinační centra v důsledku ambipolární difúze. Dráha částic je krátká a přirozená deionizace vysoká.

Aby nedocházelo k rychlému opotřebení komory a vliv stěn komory byl trvale účinný, musí se oblouk v komoře pohybovat. Stěny komory jsou vyrobeny ze žáruvzdorných keramických materiálů, které snášejí teploty vyšší než 1000 °C jen po velmi krátkou dobu. Pohybuje-li se oblouk po keramické stěně dosti rychle, dojde k natavení jen tenké povrchové vrstvy, která vzápětí ztuhne a nedochází k vypalování stěn do hloubky, což by mělo za následek rozšíření štěrbin a snížení její účinnosti. Magnetické vyfukování je však velmi rychlé a celková doba hoření oblouku je krátká.

Vypínací výkon štěrbin je omezen stejně jako výkon komor se zhášecím roštem zahlcením vnitřního prostoru ionizovanými plyny. Pro usnadnění úniku obloukových zplodin a tím zvětšení vypínacího výkonu se upravují v komoře pomocné kanály, které umožňují snadnější únik plynů z prostoru štěrbin. Po případě je možno štěrbinovou komoru příčně rozdělit na několik za sebou seřazených komor, takže zplodiny mohou volně proudit z komory ven.



Shrnutí pojmů

Izolační zhášecí komory

Zhášecí komora s izolačním roštem

Štěrbinová izolační zhášecí komora

Zhášecí štěrbina

4.2.2. Kovové zhášecí komory



Čas ke studiu: 60 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce porozumíte a budete schopni popsat:

- činnost a typy kovových zhášecích komor



Výklad

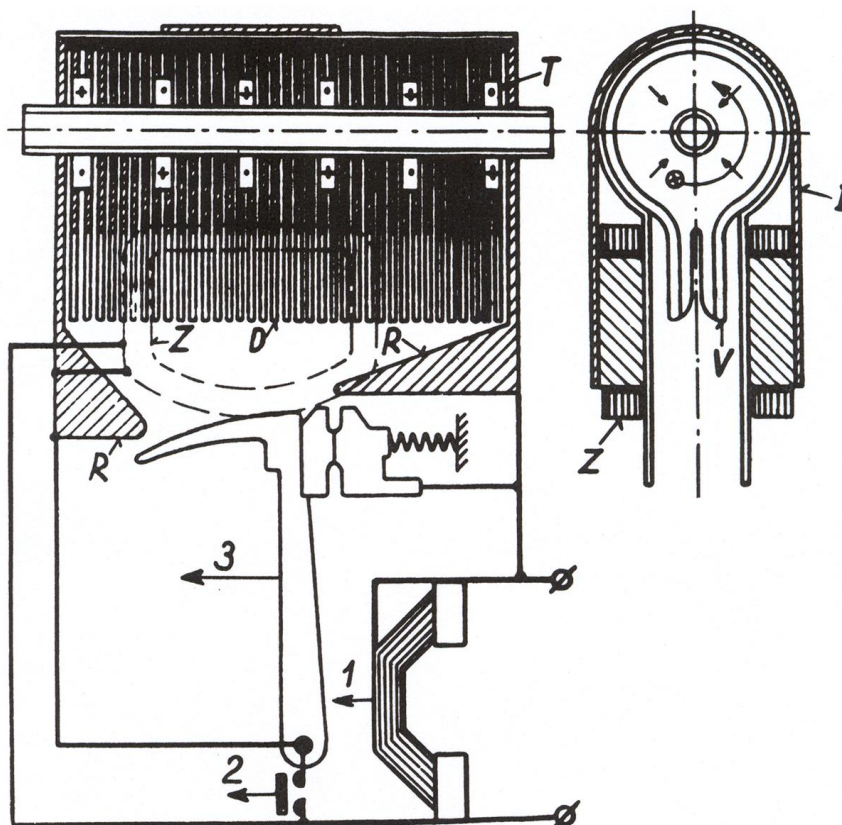
V podstatě můžeme kovové zhášecí komory rozdělit na dva typy podle hustoty roštu. Kovové komory jsou vesměs provedeny jako roštové, kdy do izolačního pouzdra jsou vložena kovová příčná žebra. Velmi hustého roštu používal magnetický vypínač na vysoké napětí. Komory s řidším roštem jsou běžné u jisticů a stykačů nízkého napětí.

4.2.2.1. Kovové zhášecí komory s hustým roštem (Slepianův deionový vypínač)

Přestože se dnes již nepoužívá, byl výsledkem systematické práce první poloviny dvacátých let dvacátého století, která se věnovala zhášení střídavého oblouku. Slepian zjišťoval průběh zotavení prostředí v prostoru krátkého oblouku za předpokladu, že elektroda, která se po komutaci proudu stává katodou, zůstává studenou. Za studenou lze považovat takovou elektrodu, která emituje při průchodu proudu nulou tak málo elektronů, že v následující fázi oblouk musí zapalovat přes mezifázi doutnavého výboje. Aby elektroda zůstala studenou, realizoval rychlý pohyb paty oblouku po elektrodě pomocí pomocných vinutí, která svým magnetickým polem uvedla oblouk do opakovaného pohybu po kruhové ploše. Počáteční pevnost prostředí za těchto podmínek je cca 250 V na 1,5 mm. Toto řádově odpovídá katodovému spádu doutnavého výboje. Vypínač měl komoru složenou z měděných desek tloušťky 1,5 mm rovněž ve vzdálenosti 1,5 mm od sebe. Oblouk byl vehnán magnetickým polem do tohoto roštu, kde se rozdělil na množství obloučků dle počtu mezer. Na délce menší než 1 cm tak vznikly 3 katody (750 V). Oblouk kroužil v roštu až do průchodu proudu nulou, kdy zanikl. Zhášedlo tak bylo schopno zvládnout proudy až 20 kA. Počet desek roštu byl vzhledem

k napětí obvodu volen tak, aby oblouk bezpečně uhasl. Vzhledem k nerovnoměrnosti rozložení napětí na deskách roštu používal Slepian na jeden dílčí oblouk 130 V, tj. cca 400 V na centimetr délky komory.

Slepianova konstrukce však byla rozměrná a nákladná. Obr. 4.9. Magnetické vypínače vn vyvinuté později na základě šterbinových izolačních komor jsou při stejném výkonu menší, lehčí a levnější.

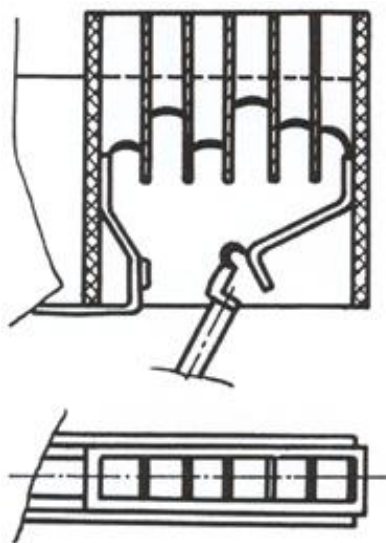


Obr. 4.9 – Slepianova konstrukce zhášecí komory (1.hlavní kontakt, 2. pomocný kontakt, 3.opalovací kontakt, R-opalovací rohy, V-izolační vložky, T-cívky zajišťující rotační pohyb oblouku)

4.2.2.2. Kovové komory s jednoduchý roštem.

Konstrukce komory je koncipována podobně jako v případě izolačních roštových komor, kovové lamely jsou kolmo na osu hoření oblouku. Používá se převážně u vypínačů nízkého napětí na střídavý proud. Oblouk, který se zapálí mezi oddalujícími se kontakty je magnetickým polem po různých vyfouknut do zhášecí komory, kde se rozdělí na řadu obloučků (obr. 4.10).

U roštu tvořeného měděnými lamelami, aby nedošlo při poměrně malé výšce komory k vyfouknutí oblouku nad ni, musí být rychlost pohybu oblouku malá. Nelze tedy předpokládat studenou katodu a opětovné zapálení přes doutnavý výboj a je nutno počítat s počáteční průraznou pevností prostoru mezi lamelami odpovídající katodě s tepelnou emisí elektronů. Počet desek pro dané napětí je pak téměř o řád vyšší než ve srovnání se Slepianovým vypínačem. Takový vysoký počet desek by při velikosti vypínače vedl k hustému roštu, což představuje velké zmenšení průřezu, kterým unikají obloukové plyny z prostoru hoření oblouku mezi kontakty.

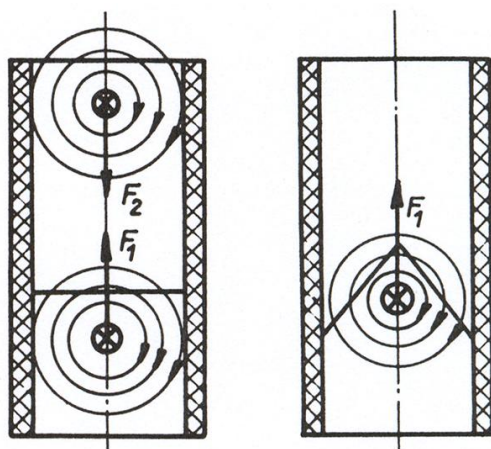


Obr. 4.10 – Princip kovové roštové komory

To vyvolá nárůst aerodynamického odporu kladeného oblouku při vnikání mezi lamely roštu a tedy potřebu silnějšího magnetického pole působícího na oblouk. Rozsah proudů, které vypínač přerušuje je velký. V podstatě od zlomků či jednotek jmenovitého proudu až po zkratové proudy hodnot dvaceti až stonásobků jmenovitého proudu. Dimenzujeme-li vyfukovací systém tak, aby byl účinný v oblasti malých (kritických) proudů, jsou jádro a pólové nástavce v oblasti zkratových proudů přesycovány a přestávají plnit svůj účel. Aby vyhověly celému rozsahu, bylo by systém nutno předdimenzovat. Kritickými proudy myslíme proudy takové velikosti, které průchodem zhášecí cívkou nevytvoří dostatečně silné magnetické pole pro vyfouknutí oblouku do prostoru zhášecí komory. Zhášecí systém, který využívá účinků vypínaného proudu k vlastnímu zhášecímu procesu se nazývá systém s vlastní zhášecí energií. Pokud

magnetický systém při rostoucím proudu negativním způsobem neovlivní ferromagnetické vlastnosti použitého materiálu (přesycení a následná změna ferromagnetických vlastností), pak účinnost systému roste s proudem. Praxe ukázala, že při velkých proudech vystačíme s magnetickým polem proudovodného záhybu v úseku kontaktů pro vyfouknutí oblouku do komory. Proudovodný systém se upravuje tak, aby vytvořil účinnou smyčku, jejíž pole se zesiluje bočními příložkami. Původně měděný rošt se nahrazuje roštem ocelovým. Ten účinně pomáhá při vtahování oblouku.

Přiblíží-li se oblouk k ferromagnetické lamelě, uzavírá se jím vyvolaný magnetický tok zčásti touto lamelou. Pohybující se oblouk se snaží zaujmout takové postavení, aby energie potřebná k vybuzení magnetického pole byla co nejmenší. V tomto případě se uzavírá magnetický tok prostředím s co nejmenším magnetickým odporem – tedy ferromagnetikem. Proto mezi lamelou a obloukem vzniká síla F_1 , která vtahuje oblouk do prostoru zhášecí komory, a to na rozdíl od lamel měděných, které mají stejnou permeabilitu jako vzduch, a kde tato síla nevzniká a je zapotřebí vnějšího magnetického pole vyvolaného průchodem proudu zhášecí cívkou a zesíleného pólovými nástavci.



Obr. 4.11 – Kovové lamely zhášecí komory – vpravo s klínovým výřezem pro snadnější zavedení oblouku do roštu.

Pro snadnější zavedení oblouku do roštu se lamely roštu upravují klínovitým výřezem (obr. 4.11). Dosáhne-li oblouk interakcí vnějšího magnetického pole proudovodné dráhy a ferromagnetika horního okraje kovového roštu, vzniká zde síla F_2 opačného směru, která zabrání oblouku v opuštění zhášecí komory.

Činnost komory s nepříliš hustým roštem lze popsat z několika pohledů. Vzhledem k tomu, že zde nejde v žádném případě o studenou katodu, spotřebuje se na katodový úbytek napětí (spád) a trup každého oblouku mezi lamelami cca 20 až 30 V. V obvodech nízkého napětí, kde mají tyto komory nejrozšířenější použití, představuje i tento malý úbytek při sériovém řazení několika málo obloučků za sebou velké zvýšení odporu výbojové dráhy, tím vlastně vytvoření více méně ohmického charakteru vypínaného obvodu a zmenšení fázového posunu mezi proudem a napětím. Zabraňuje se tím prakticky možnosti překmitu amplitudy zotaveného napětí v okamžiku uhasnutí oblouku. Podíváme-li se na pochody v okamžiku průchodu proudu nulou, zjistíme, že podmínky pro radiální výměnu částic podél trupu oblouky nejsou nikterak vynikající. Přesto je tento jednoduchý systém v obvodech nn tak výkonný, že je schopen zvládnout proudy až 100 kA. Výsledná deionizace je pravděpodobně výsledkem radiální výměny částic, mechanické výměny prostředí vlivem přirozeného proudění horkých plynů a snížením vlivu elektrického pole v prostoru doskokové dráhy při průchodu proudu nulou.



Shrnutí pojmů

Princip funkce kovové roštové zhášecí komory

Kovová zhášecí komora s hustým roštem - Slepianův deionový vypínač

Kovová zhášecí komora s jednoduchým roštěm

Anodové a katodové úbytky napětí

Kritické proudy

Systém s vlastní zhášecí energií

5. Rychlovypínače

5.1. Zkrat v obvodu stejnosměrného proudu



Čas ke studiu: 15 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

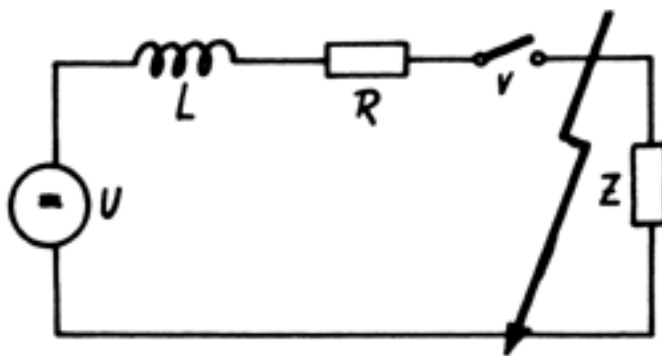
- popsat průběh vypínaného proudu v obvodu stejnosměrného proudu.



Výklad

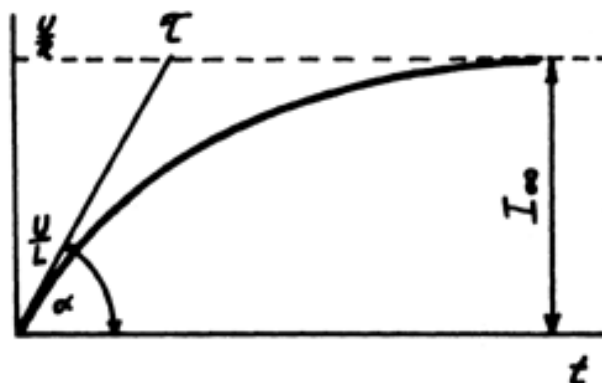
Problematika vypínání obvodů stejnosměrného proudu se zcela liší od problematiky vypínání obvodů proudu střídavého. Problematika se netýká pouze vypínacího procesu samostatného, ale rovněž zajištění provozu těchto obvodů před poruchami, které jsou jiného charakteru než v obvodu střídavém.

Zkrat může nastat v obvodu již sepnutém, ve kterém teče provozní ustálený proud I_o , nebo zapínáme obvod, ve kterém nastal zkrat. Za základ vezmeme obvod obsahující činný odpor R , indukčnost L a je připojen ke zdroji stejnosměrného napětí obr. 5.1.



Obr. 5.1 – Ukázka vzniku zkratu ve ss obvodu

Zátěž byla zkratována a obvod bude zapnut vypínačem V . Obvodem začne protékat proud, který stoupá exponenciálně dle obr. 5.2 .



Obr. 5.2 – Exponenciální nárůst proudu ve ss obvodu

$i = \frac{U}{R}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ kde τ je časová konstanta $\tau = \frac{L}{R}$ a $\frac{U}{R}$ ustálená hodnota proudu v čase $t = \infty$. Další veličinou, kterou můžeme zavést je strmost $s = \frac{I_m}{\tau}$, kde I_m je vrcholová hodnota zkratového proudu. Vrcholová hodnota závisí na řadě činitelů a v praxi se setkáváme s hodnotami:

- stejnosměrné trakční obvody $I_m = 50 \text{ kA}$, $s = 1,5 \cdot 10^6 \text{ A/s}$
- hliníkárný $I_m = 200 \text{ kA}$, $s = 10 \cdot 10^6 \text{ A/s}$.

Je patrné, že zkratový proud stoupá velmi rychle, vrcholové hodnoty jsou značně veliké. Účinky zkratového proudu pak jsou velmi nepříznivé nejen u vodičů, ale rovněž u usměrňovačů a transformátorů.

Vypnutí takovýchto obvodů je nutno dosáhnout dříve, než vystoupí na vrcholovou hodnotu. K tomu se používají rychlovypínače, které omezují zkratový proud.



Shrnutí pojmů

Zkrat v obvodu stejnosměrného proudu

Časová konstanta obvodu

Strmost nárůstu proudu, vrcholová hodnota

5.2. Rychlovypínače na stejnosměrný proud



Čas ke studiu: 30 min



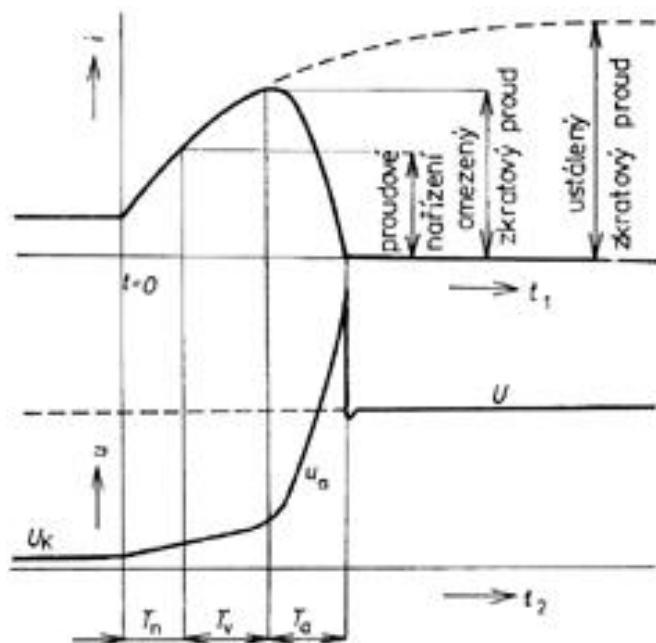
Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat princip činnosti rychlovypínačů v obvodech ss proudu,
- popsat princip činnosti přídržného elektromagnetu
- popsat princip činnosti odpalovacího transformátoru



Výklad

Kdybychom stejnosměrný obvod jistili stejným zařízením jako obvod střídavý, zjistili bychom, že vypínací relé dostává vypínací popud ve stejném čase, ale mechanismus je pomalý a obvod bychom vypnuli až po dosažení vrcholové hodnoty proudu I_m . Vypínač by tedy vypínal nejvyšší hodnoty proudu. Důsledek takového vypínání je tedy nasnadě.



Obr.5.3 – Časový průběh vypínání rychlovypínače

Jistící zařízení ve stejnosměrném obvodu by tedy mělo mít schopnost rozpoznat poruchu již při jejím začátku a vypínací kontakty by

mělo uvést okamžitě do pohybu. Takovým zařízením je stejnosměrný rychlovypínač. Časový průběh vypínání rychlovypínače je uveden na obr. 5.3.

Doba od vzniku poruchy do uvolnění mechanismu je označena T_n – doba nastavení, která závisí na časové konstantě vypínaného obvodu. T_v je vlastní doba vypínače, tedy doba od náběhu spouště až do okamžiku konečného oddálení kontaktů. U nejrychlejších vypínačů bývá kolem 1 ms. T_a je doba hoření oblouku a je závislá na provedení zhášedla a napětí obvodu. pohybuje se od 5 do 30 ms. Celková doba vypnutí je součtem všech tří dob.

Kontakty se zpravidla ovládají silnými pružinami, které jim udílejí veliké zrychlení, nebo působením elektrodynamických sil vyvolaných vypínaným proudem. Používají se kontakty, které dosedají přímo na sebe bez smykového pohybu, čímž se dosahuje zkrácení počáteční doby rozběhu na nejmenší míru. Jakmile se kontakty od sebe odtrhnou, zapálí se oblouk a ten je magnetickým polem natahován na délku, čímž se stává nestabilním a uhasíná. Křivky omezeného proudu a nárůstu zotaveného napětí jsou patrné z obr. 5.3.

Zhášecí komora musí zajistit rychlý nárůst odporu oblouku na velkou hodnotu. Nejčastěji se užívají komory štěrbinové, v nichž je oblouk natahován do značných délek silným magnetickým polem. Rozměry komor jsou značné.

U rychlovypínačů s prudkým nárůstem obloukového napětí je veliké přepětí a naopak u rychlovypínačů s poměrně pomalým vzestupem obloukového napětí je přepětí na konci vypínání malé. Nejvýhodnější se jeví rychlovypínače, u kterých je počáteční nárůst napětí oblouku prudký, ale během vypínání se zmírňuje

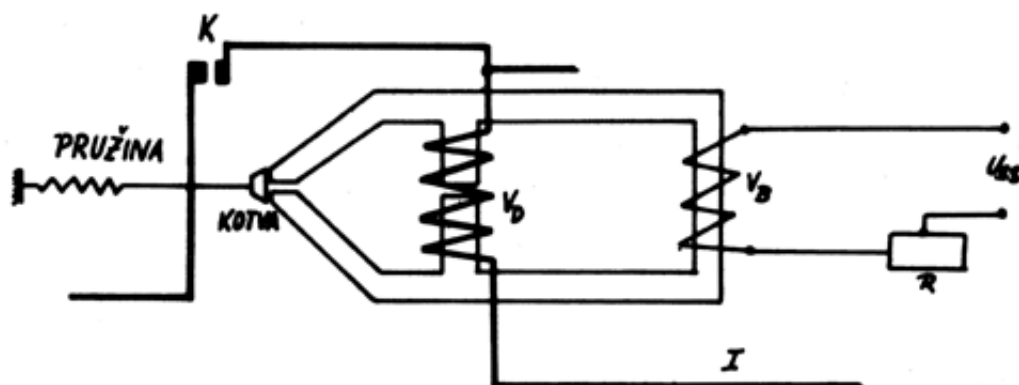
Rychlovypínač musí zasáhnout do průběhu zkratového proudu ještě v době jeho nárůstu, kontakty se musí rozpojit v době menší než je časová konstanta obvodu. Zařízení, které jistíme, je dimenzováno na hodnotu omezeného proudu.

Hlavním a nejdůležitějším orgánem takového rychlovypínače je mechanismus, který mžikově reaguje na vzrůstající proud. Používá se několik principů těchto rychlých mechanismů:

- a) přidržný elektromagnet
- b) odpalovací cívka

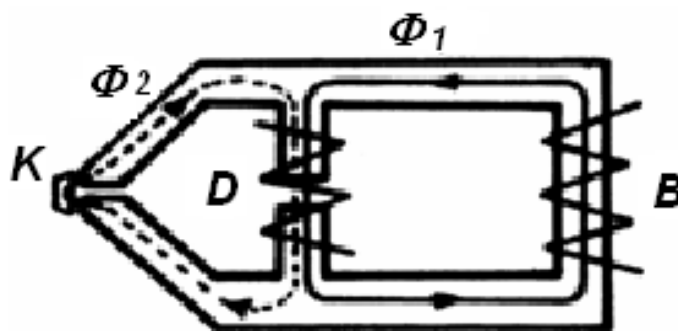
5.2.1. Princip přídržného elektromagnetu

Základem přídržného elektromagnetu je jádro elektromagnetu se dvěma cívkami. Jedna z cívek je buzena z nezávislého stejnosměrného zdroje (např. akumulátorová baterie), Velikost budícího proudu je možno regulovat. Druhou cívkou prochází hlavní proud obvodu. Kotva magnetu je velmi lehká a působí proti tahu pružin. Kotva je spojena s pohyblivým kontaktem, který je pružinami uváděn do vypnuté polohy. Obr. 5.4.



Obr. 5.4 – Princip činnosti přídržného elektromagnetu rychlovypínače

Za normálního stavu vypínačem protéká pracovní proud I , který protéká demagnetizační cívkou D . Magnetický tok Φ_2 , vyvolaný touto cívkou v kotvě je malý a působí proti většímu toku Φ_1 , který je vyvolán budící cívkou B . Obr. 5.5.



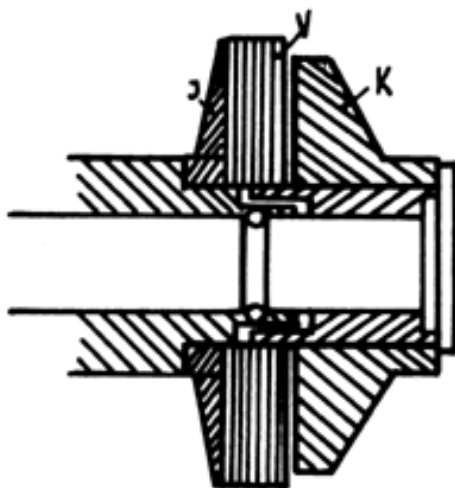
Obr. 5.5 – Princip působení demagnetizační cívky

Při zkratu vzroste Φ_2 natolik, že vypudí pole Φ_1 a kotva odpadne. Velikost proudu při kterém má kotva odpadnout se reguluje buzením cívky

B v širokém rozsahu. Aby se zeslabil účinek demagnetizačních závitů a nedošlo k přesycení železa, provádí se v pólových nástavcích cívky ***D*** vzduchová mezera.

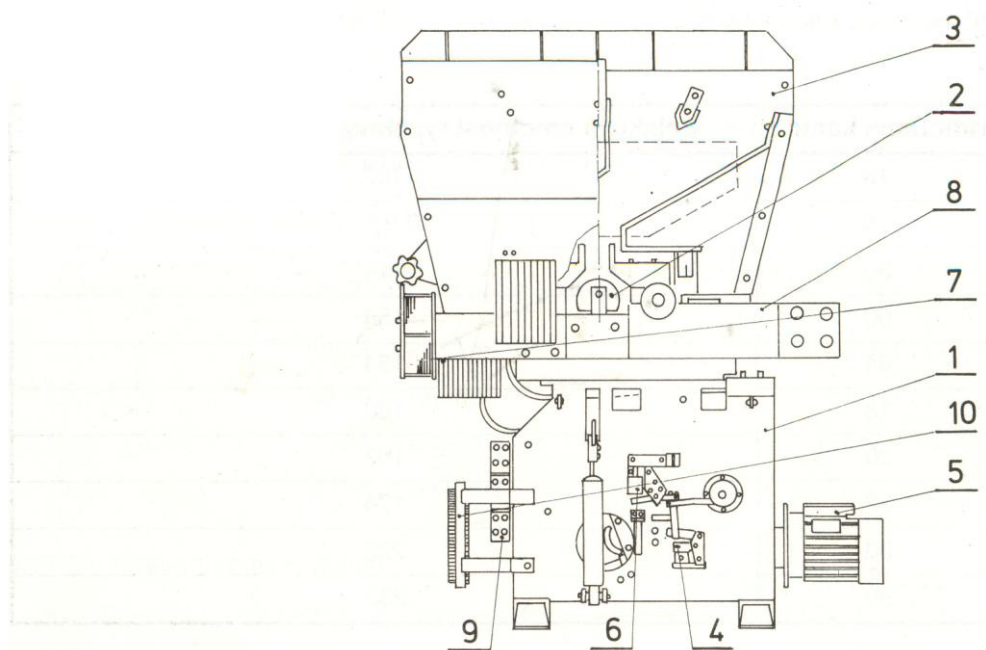
5.2.2. Princip odpalovacího transformátoru

Na obrázku 5.6 je tzv. odpalovací transformátor.



Obr. 5.6 – Odpalovací transformátor

Sestává z jádra, na kterém je vinutí ***V*** a kotvy ***K*** tvořené měděným kotoučem. Vinutím prochází část proudu odbočená z hlavního vedení. Kotva, tvořící vlastně závit nakrátko, je spojena táhlem s kontakty. Při průchodu zkratového proudu transformátorem se v sekundárním závitě nakrátko indukuje obrovský proud a dynamické síly mezi primárním a sekundárním vinutím tímto vyvolané způsobí odtlačení měděného kotouče. Dynamická síla vzniká ihned s počátkem vzestupu zkratového proudu, a proto doba uvolnění je neobyčejně krátká.



- | | |
|----------------------------|------------------------------|
| 1 - Rám (ocelový materiál) | 6 - Podpěťová spoušť |
| 2 - Hlavní kontakt | 7 - Proudový bočník |
| 3 - Zhášecí komora | 8 - Hlavní připojovací vývod |
| 4 - Vypínací elektromagnet | 9 - Pomocné kontakty |
| 5 - Motorový pohon | 10 - Svorkovnice |

Obr. 5.7 – Rychlovypínač – MEP Postřelmov



Shrnutí pojmů

Rychlovypínač

Doba nastavení, vlastní doba hoření oblouku

Omezení zkratového proudu

Přídržný elektromagnet

Odpalovací transformátor

6. Jističe nízkého napětí



Čas ke studiu: 45 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat základní funkci jističe
- popsat konstrukční provedení zámku a volnoběžky



Výklad

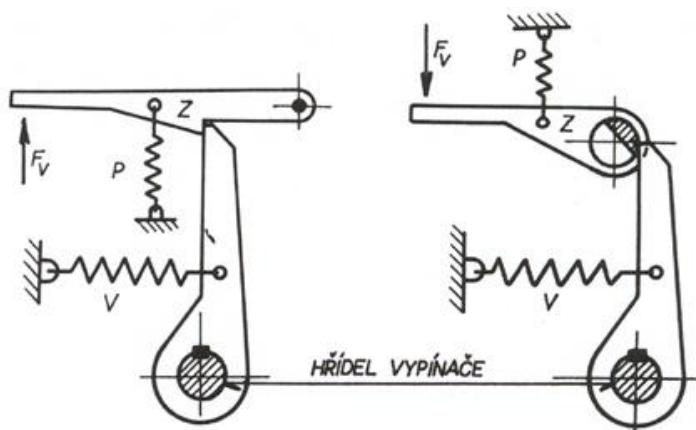
Před nežádoucími účinky nadproudů, zkratových proudů či podpětí chráníme obvody samočinnými vypínači, v obvodech nízkého napětí zvanými jističe. Jistič slučuje do jednoho celku funkci vypínače a pojistky. Má dvě stabilní polohy zapnuto a vypnuto. V poloze zapnuto je sepnutí kontaktů zajišťováno mechanicky tzv. zámky a volnoběžkami, do polohy vypnuto je uváděn jistič působením pružiny, která je při přechodu do polohy zapnuto natažena a tlačí pohyblivé kontakty zajištěné v poloze zapnuto od sebe. Nastane-li v obvodu porucha, je zámek působením spouště uvolněn, a působením natažené pružiny jsou kontakty oddáleny od sebe. Jističe bývají vzduchové s magnetickým vyfukováním oblouku nebo méně často s volným zhašením oblouku v oleji (olejové jističe).

Jističe velkých výkonů v obvodech vn, vvn nazýváme samočinnými vypínači a pojednávájí o nich samostatné kapitoly.

6.1. Zámky a volnoběžky

Jsou to mechanismy, které drží kontaktní ústrojí jističů i samočinných vypínačů v zapnuté poloze. Jejich vybavení (vypnutí) je možno provést dálkově elektromagnetickou spouští nebo ručně pákou či tlačítkovým ovládačem. Síla k vybavení zámku musí být malá. Jednoduché zámky jsou konstruovány jako západky nebo prolomené páky. Složitějším zámkům složených z několika zámků jednoduchých říkáme volnoběžky.

Základní provedení západek je uvedeno na obrázku 6.1.



Obr. 6.1 – Základní provedení západek

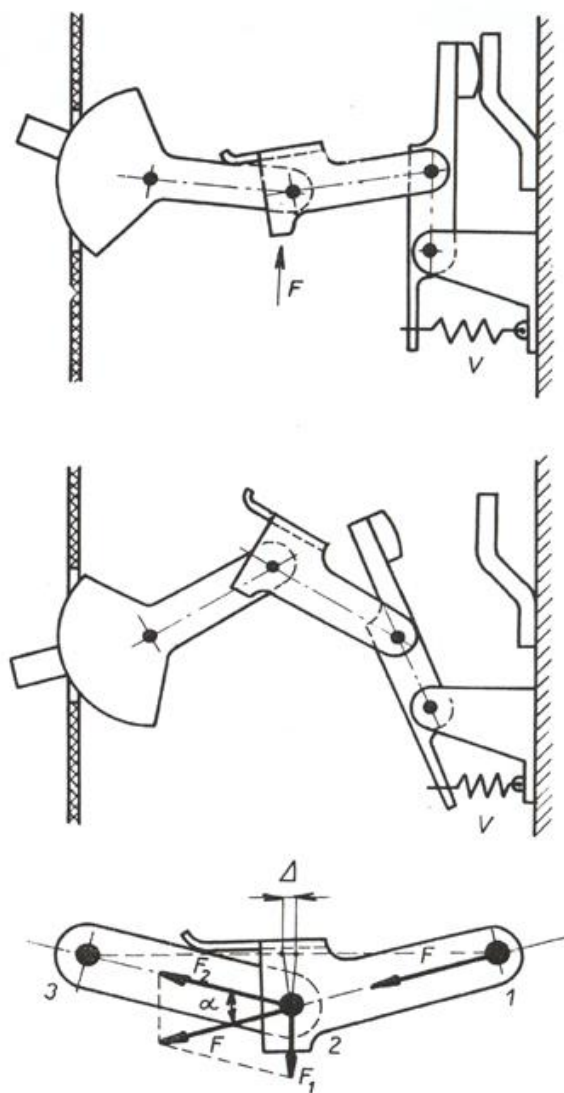
Na obrázku vlevo páková západka Z je přitahována pružinou P . Při natahování (zapínání) si hlavní páka šikmým náběhem nadzdvihne západku Z proti tahu pružiny P , táhnoucí západku do zamčené polohy. V konečné poloze západka zablokuje hlavní páku. Působením vypínací síly F_v je západka nadzdvížena a vypínací pružina V přitáhne hlavní páku spojenou s kontaktním systémem do vypnuté polohy. Obdobně funguje mechanismus na pravé straně obrázku, kde je páková západka nahrazena západkou hřídelovou. Působením vypínací síly F_v se zbroušená hřídel pootočí a vypínací pružina V opět přitáhne hlavní páku spojenou s pohyblivými kontakty a dojde k vypnutí. Aby byly takto provedené zámky citlivé a aby vybavovací síla nemusela být příliš velká, provádí se přesah stykových ploch západky co nejmenší. Na druhé straně, aby nedošlo k vybavení provozními otřesy, nesmí být přesah příliš malý.

Dalším typem zámek je dvojice prolomených pák (obr. 6.2), přičemž jedno rameno je spojeno s pohyblivým kontaktem, druhé s ručním ovládáním jističe.

V zapnuté poloze musí být páky v jedné rovině, resp. mírně prolomeny za tuto mrtvou polohu. Velikost prolomení je dána zarážkou na jedné z pák. Vypínací (vybavovací) síla F_v působí na střední kloub. V okamžiku kdy se tento kloub dostane ze zapnuté polohy za polohu mrtvou, vypínací pružina V mžikově oddálí pohyblivý kontakt. Čím menší je prolomení pák, tím menší musí být vybavovací síla F_v působící proti síle F_1 a kratší je doba pro vybavení kontaktů. U tohoto typu zámku se zároveň s pohyblivým kontaktem uvádí do pohybu i ruční ovládací páka. Toto může mít nepříjemný dopad v okamžiku, kdybychom instalačním jističem s takovýmto mechanismem zapínali obvod, ve kterém je zkrat. Pak, uvědomíme-li si, jak dlouho vlastně působíme na zapínací páku silou

ruky proti vypínací síle nadproudové či zkratové spouště, bude po celou dobu držení zapínací páky procházet tímto obvodem zkratový proud, což může být i několik sekund. Naopak v obvodech vn je vybavovací síla tak velká, že by mohlo dojít k úrazu pracovníka, který by právě ručně zapínal automatický vypínač vybavený tímto systémem.

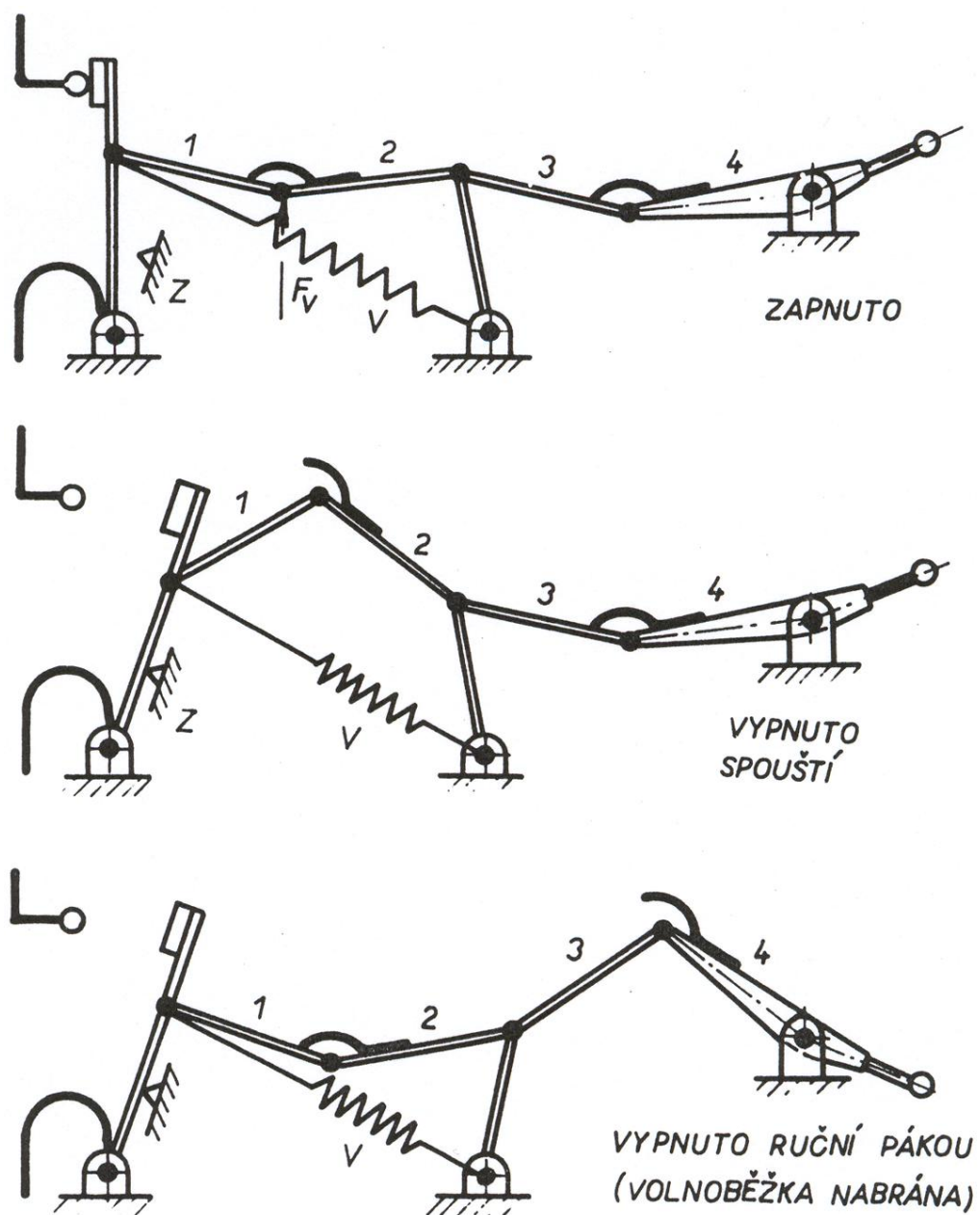
Většinou se proto u jisticů i samočinných vypínačů používá složitějších volnoběžek vytvořených třeba pouze ze západek, ze vzpěr či kombinací obou způsobů.



Obr. 6.2 – Princip prolomených pák

Na obr. 6.3 je principiální provedení volnoběžky ze dvou vzpěr. V zapnuté poloze jsou oba systémy v prolomené poloze. Vypínací síly působí na kloub mezi pákami 1 a 2, vypínací pružina V v okamžiku

zapůsobení oddaluje kontakty. Páky 3,4 zůstávají prolomeny a ovládací páka zůstává v poloze zapnuto (nahoru). Signalizace „vypnuto automaticky“ musí upozornit obsluhu na stav jističe. Pro zapnutí jističe je nutno ovládací páku stlačit dolů a znovu natáhnout nahoru do polohy zapnuto. Při ručním vypnutí je třeba páku stlačit dolů, čímž se vypnou páky 3,4 a páky 1,2 zůstávají v zapnuté poloze. K natažení stačí nyní jen ruční páku 4 přemístit do polohy nahoře. V případě zapnutí do zkratu budou vybaveny vypínací silou F_v páky 1 a 2 aniž by byly ovlivňovány dobou držení zapínací páky 4. Síla F_v se nepřenáší na zapínací páku.



Obr. 6.3 – Princip volnoběžky

Jističe nízkého napětí, spouště a relé

Volnoběžky samočinných vypínačů na jmenovité proudy několika set ampérů jsou rozměrnější a složitější, neboť páky mechanismů musí zachytit velké vypínací síly, přičemž musí být vybaveny jen malou vybavovací silou spouště.



Shrnutí pojmů

Základní princip jističe

Vybavení

Zámek, volnoběžka

6.2. Spouště a relé



Čas ke studiu: 15 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat princip činnosti spouště
- základní rozdělení jednotlivých typů spouští



Výklad

Zařízení, které vybavuje zámek nebo volnoběžku jističe či vypínače, se nazývá spoušť. Spoušť se skládá z proudovodné dráhy (vinutí, bimetál) a z mechanismu, který se uvádí v činnost tepelným nebo silovým účinkem proudu. Spoušť může být dálkově ovládána nebo pracovat jako samočinná ochrana při poruchových stavech, kterým bývají nadproudy, zkrat a s tím související podpětí neboli pokles napětí za místem velkého odběru. Nadproudovou spouští protéká proud jištěného obvodu. Do činnosti bude však uvedena až v okamžiku překročení nastavené hodnoty násobku jmenovitého proudu. V dnešní době se konstruují elektronické spouště. Velikost proudu je transformována přesným transformátorem proudu, je vyhodnocována elektronicky a překročí-li nastavenou hodnotu, je vyslán impuls k vybavení spouště. Elektronické spouště umožňují velký rozsah nastavení vybavovacích proudů a dob od počátku změny sledovaného parametru do okamžiku vypnutí v závislosti na velikosti proudů neboli vypínacích charakteristik jističů.

Vinutí podpětíové spouště je připojeno paralelně k jištěnému úseku a provede jeho vypnutí pokud napětí sítě poklesne pod určitou hodnotu (zpravidla o 40% a více) napětí sítě.

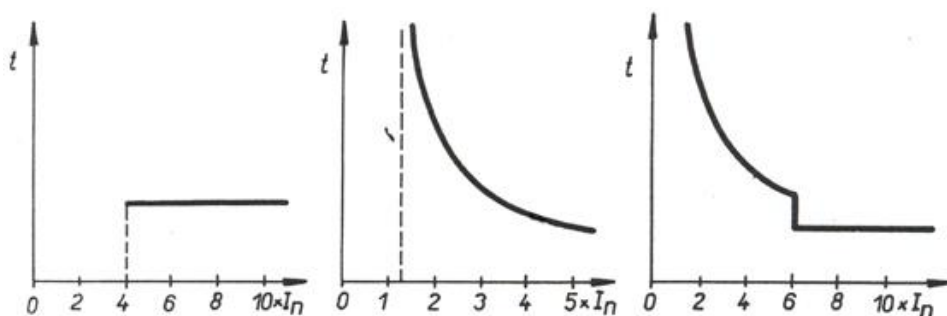
Podle toho jak je vinutí spouště uspořádáno a připojeno k síti, můžeme spouště rozdělit na přímé, nepřímé, primární a sekundární. Přímou spouští protéká plný proud jištěného obvodu. V případě velkých proudů či v případě sítě vn, ve které musí být mechanismus spouště izolačně oddělen, je vinutí spouště napájeno přes transformátor proudu. Zde hovoříme o spoušti nepřímé sekundární. V tomto případě nepůsobí přímo na vybavovací element jističe, ale prostřednictvím pomocného

obvodu, který ovládá svým kontaktním systémem. Sepnutím pomocného systému zavede proud do vinutí vlastní spouště, působící přímo na volnoběžku.

Relé nazýváme přístroje fungující na stejných principech jako spouště, které však ovládají jen pomocné obvody či okruhy. Tyto okruhy nemusí být pouze elektrické. Mohu takto ovládat okruhy pneumatické či hydraulické. Na základě tohoto pak můžeme vlastně říci, že nepřímé spouště jsou kombinací relé a spouště. Podstatná však na činnosti spouští a relé bude opět závislost doby od počátku změny sledovaného parametru do okamžiku vypnutí vypínače v závislosti na velikosti proudu, tj. časová charakteristika spouště či relé. V zásadě rozlišujeme dva typy systémů s nastavením časových charakteristik :

- na proudu nezávislým
- na proudu závislým
- a jejich kombinací.

Na obrázku 6.4 jsou uvedeny jednotlivé typy časových charakteristik.



Obr. 6.4 – Základní typy časových charakteristik

Za proudově nezávislý systém považujeme systém s přímkovou charakteristikou, kdy vypínač vypne od určité velikosti nadproudu za stejný čas. Za proudově závislý systém považujeme systém s charakteristikou hyperbolického průběhu, kdy vypínač vypne za dobu, která je tím kratší, čím větší je velikost procházejícího proudu. Kombinací obou systému se snažíme přiblížit ideálnímu stavu, kdy tepelná charakteristika ochranného zařízení má stejný průběh jako jistěný úsek. Pak by jeho funkce byla nejekonomičtější, protože k vypnutí by docházelo až by docházelo k tepelnému ohrožení zařízení. Časové charakteristiky se vzhledem

k rozsahu nastavitelných proudů a časů vynášejí při grafickém záznamu tak, že na ose proudů je poměr I/I_N tj. násobky jmenovitého proudu a časová osa se vynáší na logaritmickou stupnici.

U jističů se setkáváme hlavně se spouštěmi elektromagnetickými a tepelnými. Elektromagnetická spoušť je spoušť s charakteristikou na proudu nezávislou, které také říkáme mžiková či zkratová. Spouště tepelné mají naopak výhradně charakteristiku proudově závislou.



Shrnutí pojmů

Základní činnost spouště

Časově závislé a časově nezávislé spouště

6.2.1. Elektromagnetické spouště



Čas ke studiu: 30 min



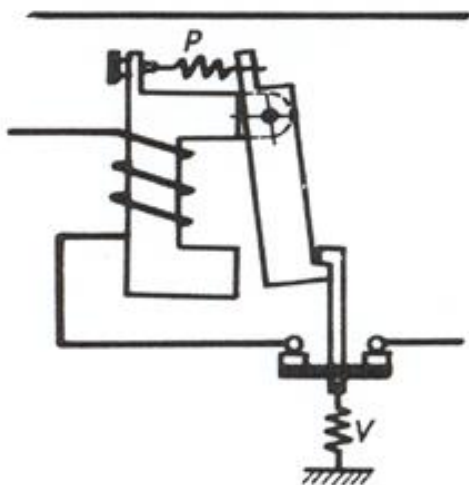
Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat princip elektromagnetické spouště, funkci relé



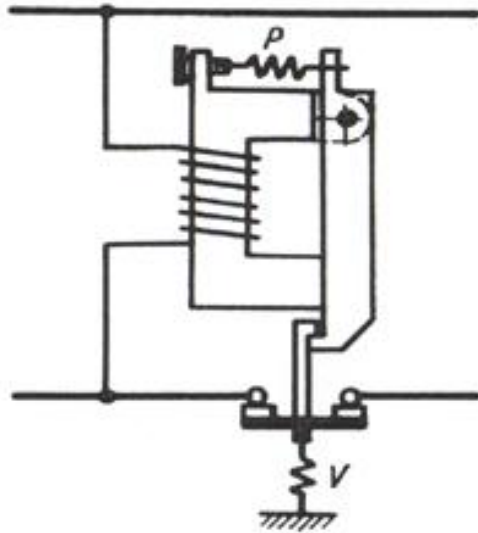
Výklad

Princip činnosti mžikové spouště je uveden na obr. 6.5. Proud jištěného obvodu prochází cívkou spouště. Kotva spouště zastává funkci zámku a drží kontakty proti tahu vypínací pružiny *V* v zapnutém stavu do okamžiku, kdy obvodem začne procházet tak velký proud, že tah elektromagnetu překoná tah pružiny *P*. Kotva přitáhne, kontakty odpadnou, obvod se přeruší a kotva rovněž odpadá.



Obr. 6.5 – Princip mžikové spouště

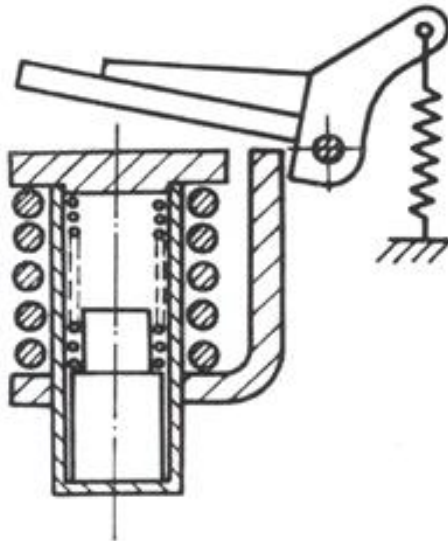
Podpěťová spoušť, obr. 6.6, je naopak, pokud napětí dosahuje požadovaných hodnot, trvale sepnuta, vinutím prochází proud, kotva elektromagnetu je v přitaženém stavu..



Obr. 6.6 – Princip podpětové spouště

Poklesne-li hodnota napětí, potažmo proudu, pod určitou mez, je tah pružiny P větší než přídržná síla elektromagnetu, kotva odpadá, vypínací pružina V oddálí kontakty

Princip zpožděné zavřené kataraktové spouště je na obr. 6.7



Obr. 6.7 – Princip kataraktové spouště

Válcové jádro, umístěné v těsném válci z nemagnetického kovu, je pružinou uvnitř válce tlačeno do základní polohy. Válec je vyplněn silikonovým olejem. Při nadproudu vinutí vybudí magnetické pole, které se snaží proti síle vnitřní pružiny vtáhnout jádro k hornímu pólovému

nástavci. Pohyb jádra je brzděn kapalinou, která musí proudit kolem stěn na druhou stranu kotvy. Čím větší je proud, tím rychlejší je pohyb jádra. Při přiblížení jádra k pólovému nástavci se zvýší vnější tah elektromagnetu a vnější kotva proti tahu zpětné pružiny přiskočí k pólovému nástavci, čímž vybaví zámek jističe. Od jisté velikosti nadproudu je vnější tah elektromagnetu dostatečný k tomu, aby vnější kotva přiskočila mžikově, bez ohledu na polohu jádra v nemagnetickém válci.



Shrnutí pojmů

Elektromagnetická spoušť

Relé

Podpěťové, mžikové, kataraktové spouště

6.2.2. Tepelné spouště



Čas ke studiu: 30 min



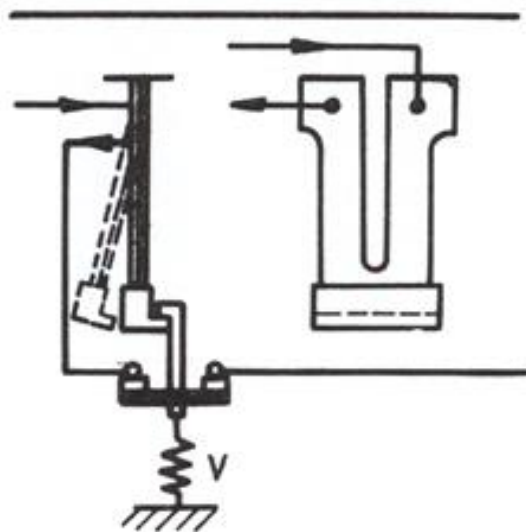
Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat princip tepelné spouště
- popsat základní konstrukční provedení



Výklad

Tepelné spouště pracují zpravidla na principu bimetalu (dvojkovu). Princip bimetalu je založen na nestejně tepelné roztažnosti dvou plošně pevně spojených kovů. Zahříváním těchto kovů, ať už vlastním průchodem proudu nebo jiným tepelným článkem, dochází k odlišnému roztahování se jednotlivých kovů a pásek z těchto kovů se prohýbá na stranu kovu s menší tepelnou roztažností. Schematický příklad použití bimetalu je na obr. 6.8.

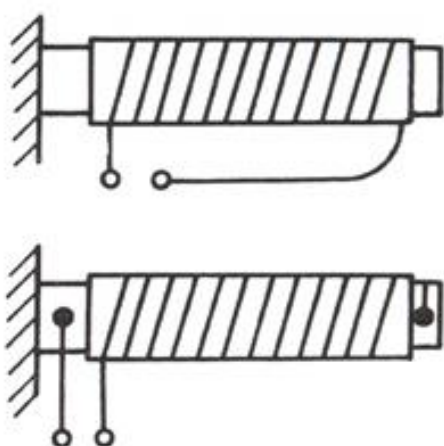


Obr. 6.8 – Princip tepelné spouště

Ve studeném stavu drží pásek z dvojkovu tvaru U kontakty proti pružině v sepnutém stavu. Po zahřátí nadproudem dojde k jeho průhybu, uvolnění západky a vybavení kontaktů. Toto je příklad přímotopného

článek s oběma přívody pevnými. U jednoduchého pásku pak musí být přívod ke konci, který zajišťuje pohyb, proveden ohebným přívodem.

Další možností ohřevu bimetalových pásků je ohřev topným vodičem omotaným kolem pásku. Používá se zpravidla v jističích vypínajících už při proudech menších než 6 A, kdy proud procházející přímotopným článkem nestačí na dostatečné zahřátí bimetalu, obr. 6.9.



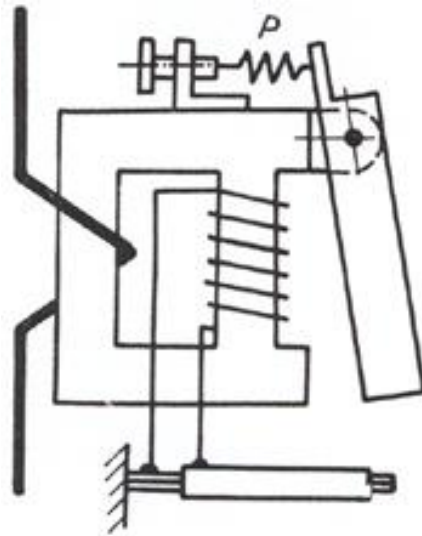
Obr. 6.9 – Ohřev bimetalového pásku

Dvojkov je pak buď zcela mimo elektrický obvod nebo, což je ještě výhodnější, je zařazen do série s topným drátem. Závislost na oteplení má za následek nepříznivé působení změn teploty okolí a kolísání proudu způsobujícího ohřev na přesnost bimetalové spouště. Charakteristika dvojkovu je pak dosti široké pásmo. K potlačení vlivu počáteční teploty bimetalu je dvojkov vyráběn z materiálů působících při teplotách 200 až 300 °C. Dvojkovy pro elektrotechniku se vyrábějí naválcováním za tepla převážně z plechů niklových ocelí různého složení.

Pro lepší využití vlastností tepelných a mžikových spouští používá se obzvláště v obvodech nn kombinace obou dvou spouští. Pro vypínání nadproudů již od 1,2 násobku jmenovitého proudu se užívá tepelné spouště, pro nadproudy od čtyř, šesti a vyšších násobků jmenovitého proudu pak mžikové elektromagnetické spouště. Přesné rozdělení není možné vzhledem k různorodosti zátěží, potřeb zákazníka a hlavně výrobců jističů. U spouští na velké jmenovité proudy bývají tepelné spouště napájeny ze sekundárních vinutí malých transformátorků, upravených tak, že současně působí jako mžiková spoušť, obr. 6.10.

Sekundární vinutí je napojeno na nepřímo vyhřívaný bimetalový článek. Rozptylový magnetický tok se uzavírá přes přidavnou kotvu,

spojenou se zámekem. Průřez jádra je volen tak, aby od jistého nadproudu došlo k přesycení jádra transformátoru. Sekundární proud pak významně neroste, zůstává takřka konstantní, čím se zabraňuje poškození tepelného článku nadměrným proudem.



Obr. 6.10 – Ohřev bimetalového pásku při velkých jmenovitých proudech



Shrnutí pojmů

Tepelná spoušť

Přímo a nepřímo žhavená spoušť

6.2.3. Vzduchové jističe nn



Čas ke studiu: 30 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat konstrukční provedení zámku, volnoběžky
- popsat princip magnetické a tepelné spouště, funkci relé
- popsat funkci vzduchového jističe nízkého napětí



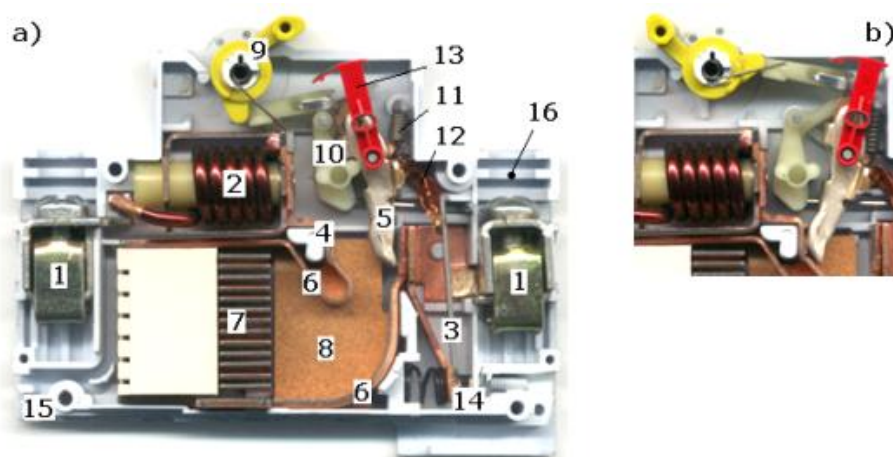
Výklad

Jističe jsou spínací přístroje nn, které vypínají při abnormálních poměrech v síti, zejména při nadproudu a zkratu. Oproti pojiskám mají obrovskou výhodu v opakovatelné funkci. Jističe nn se rozdělují podle hodnot jmenovitých proudů do třech základních skupin:

- 1) drobné jističe do 25 A
- 2) střední jističe do 600 A
- 3) velké jističe nad 600 A

ad 1) Jsou typickým případem jisticích přístrojů, které nacházejí své uplatnění např. při jištění domácích rozvodů, stavebních rozváděčů, motorů, řídicích pultů a mnoha dalších průmyslových aplikací či technologických celků. Jsou charakteristické svou jednoduchostí konstrukce a vysokou spolehlivostí. Vyrábějí se ve statisíkových sériích a typových velikostech jmenovitých proudů ($I_n = \dots 6, 8, 10, 13 \dots 16, 25$). Lze se s nimi setkat jak v jedno, tak trojfázovém provedení (3f celek či $3 \times 1f$ jednotka s mechanickou vazbou). Vlastní mechanismus jističe je jednoduchý, většinou kloubový, ovládaný zpravidla ručně přes pákový systém. Kontakty plní zároveň funkci hlavních a opalovacích (nejčastěji čelní tupé či smykové kontakty). Pro zhášení elektrického oblouku se využívá elektromagnetického vyfukování v kombinaci s hustou kovovou zhášecí komorou. Tyto jističe obsahují vždy elektromagnetickou zkratovou a tepelnou spoušť (bimetal). Parametry těchto spouští jsou seřizeny na danou hodnotu již při výrobě. Na obrázku 6.11 je příklad drobného jističe pro jmenovitý proud $I_n=25$ A.

Jističe nízkého napětí, spouště a relé



1. Připojovací svorky, 2. Zkratová elektromagnetická spoušť, 3. Tepelná spoušť, 4. Pevný kontakt, 5. Pohyblivý kontakt, 6. Výběhová dráha oblouku (zhášecí růžky), 7. Kovová roštová zhášecí komora, 8. Izolační keramická podložka proti opalu obloukem, 9. Hlavní ovládací páčka, 10. Zapínací a vypínací mechanismus jističe, 11. Hlavní vypínací pružina, 12. Pletené vodivé lanko, 13. Indikace stavu (zapnuto, vypnuto), 14. Seřizovací systém (šroub+pružina) tepelné spouště, 15. Otvory pro výstup horkých plynů, 16. Izolační plastový kryt a základna jističe

Obr. 6.11 – Konstrukce drobného jističe nn (OEZ Letohrad)

ad 2) Střední jističe se vyrábějí v několika tisících, nejvýše však desetitisících kusech ročně. Své uplatnění nacházejí především v distribučních rozvodech při jištění většího souboru elektrických spotřebičů. Vzhledem k vyšším pracovním proudům mají tyto přístroje dvoudílný kontaktní systém, hlavní a opalovací. Hlavní kontakty jsou dimenzovány na trvalý průchod jmenovitého proudu a krátkodobé zatížení proudem zkratovým. Opalovací kontakty musí odolávat tepelným účinkům elektrického oblouku při provozním a zkratovém vypínání, ale i zapínání. Pro zhášení elektrického oblouku se opět využívá magnetického vyfukování oblouku do kovové roštové zhášecí komory. V této zhášecí komoře bývá umístěn i vlastní kontaktní systém jističe.

U středních jističů se používá spouští, které jsou nastavitelné (mechanicky, elektronicky nebo programově) v určitém proudovém rozsahu. Tím lze zajistit nejen selektivitu jištění, ale i seřadit přístroj podle požadavků jištěného zařízení. Jistič je také možno doplnit o tzv. podpětovou spoušť reagující na pokles napětí v jištěném el. obvodu.

Jističe se ovládají ručně, nebo je lze doplnit o zapínací pohon, nejčastěji motorický, a využívat tak výhod dálkového ovládání. V takovém případě bývají jističe vybaveny navíc pomocnými kontakty pro signalizaci jejich stavu (zapnuto, vypnuto, vypnuto spouští, blokování).

Ukázka dvou vybraných typů středních jističů je vidět na obrázku 6.12.



Obr. 6.12 – Ukázka středních jističů nn (OEZ Letohrad)

ad 3) Velké jističe jsou charakteristické svou robustní konstrukcí a vyrábějí se jen v počtu několika desítek kusů ročně. Obvykle se staví tak, že se řadí paralelně potřebný počet nejméně tisíciampérových základních jednotek. Přitom zůstává jen jeden opalovací kontakt s jednou zhášecí komorou na každém pólu a zvětšuje se jen počet hlavních kontaktů. Ojedinelé nejsou ani konstrukce, kdy se do jednoho pólu řadí vedle sebe několik úplných kontaktních systémů, každý se svou vlastní zhášecí komorou. Všechny póly jističe se montují na společný rám, jsou vzájemně mechanicky propojené a mají tedy i společné ovládání. Vzhledem k obrovským přestavným silám se ovládání uskutečňuje výhradně motoricky (el. pohonem). Mechanická životnost proti stykačům je relativně malá, řádově stovky až tisíce sepnutí. Na obrázku 6.13 je vidět příklad velkého jističe na jmenovitý proud $I_n = 2500\text{A}$.



Obr. 6.13 – Ukázka velkého jističe nn (OEZ Letohrad)

Jističe nízkého napětí, spouště a relé

Jak již bylo uvedeno, střední a velké jističe se v dnešní době vyrábějí s nastavitelnou elektronickou nebo mikroprocesorovou spouští a to v širokém rozsahu násobků jmenovitého proudu (např. 0,5 až 1,9 In). Při takové sestavě jističe se již neužívá klasické elektromagnetické zkratové a nadproudové tepelné spouště, ale průběh proudu je snímán pomocí třífázového proudového transformátoru. Takto snímaný průběh proudu je dále usměrněn a převeden na napětí vstupním odporovým děličem. Největší problém spočívá v převodu *špičkové hodnoty napětí* mnohdy nesinusového průběhu na efektivní, a z této hodnoty vytvoření závislosti $I^2 \times t = \text{konst.}$ Tento problém je dnes řešen většinou mikroprocesorově.

Pokyn k vypnutí jističe se předává na tzv. vybavovací magnet („hrníček“ - podle jeho tvaru). Ten se skládá z permanentních magnetů, pólových nástavců, pružiny a vinutí. Při natažení jističe se mechanicky přitlačí jádro vybavovacího magnetu, které díky permanentním magnetům zůstane přitažené. Pokud elektronická část spouště vyhodnotí přítomnost nadproudu či zkratu v jištěném obvodu, přivede se napětí na vinutí vybavovacího magnetu. Tím dojde k „odbuzení“ permanentních magnetů a jádro působením pružiny odskočí. Tento pohyb je přenesen na zámek vybavovače a mechanismus kontaktů se dává do pohybu – jistič vypíná.

Hlavní výhodou elektronických a mikroprocesorových spouští ve spojení s motorovým pohonem jističe je téměř úplná automatizace výrobního procesu.



Shrnutí pojmů

Vzduchový jistič nn

Seřízení spouští

7. Kapalinové vypínače



Čas ke studiu: 20 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat zhášedla kapalinových vypínačů
- popsat typy kapalinových vypínačů



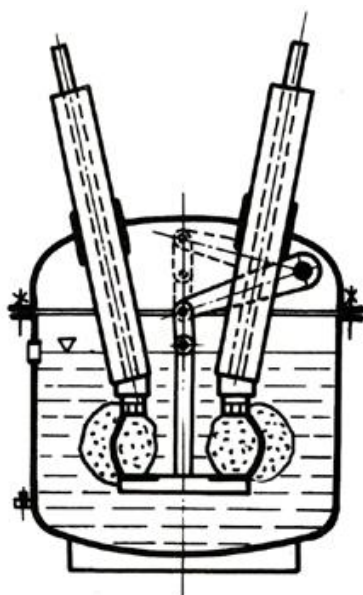
Výklad

Kapalinové vypínače patří do skupiny vypínačů s vlastní zhášecí energií a jejich činnost je založena na tepelném rozkladu zhášecího média elektrickým obloukem. Přístroje využívají zplodin vzniklých tepelným rozkladem k urychlení deionizačních pochodů mezi oddalujícími se kontakty. Množství energie potřebné k přeměně kapaliny na dostatečné množství plynu a par je vzhledem k velikosti přenášené energie poměrně malé a obloukové napětí zůstává jen zlomkem napětí zdroje. Z tohoto důvodu se kapalinové vypínače resp. zhášedla nehodí k vypínání stejnosměrného proudu.

Kapalinové vypínače lze rozdělit podle konstrukce a zhášecí činnosti do pěti skupin:

- a) vypínače kotlové s volným zhášením oblouku
- b) vypínače kotlové se zhášedly
- c) vypínače s malým množstvím oleje (máloolejové)
- d) vypínače vodní
- e) vypínače impulsní

Nejčastěji používaným zhášecím médiem ve vypínačích kapalinových je olej, méně často voda. Olejové vypínače (obr. 7.1) jsou prakticky nejstarším používaným spínacím přístrojem. Jejich objev se datuje do konce 19. století (Ferranti 1895), od té doby se olejové vypínače používají dodnes, přičemž jejich funkční podstata nedoznala během vývoje podstatných změn.



Obr. 7.1 – Řez olejovým (kotlovým) vypínačem

Zajímavé je, že první olejové vypínače byly přístroje s malým množstvím oleje, ale toto řešení se neujalo. Oblíbenější byla konstrukce kotlová (Emmet a Hewlet 1901), nejprve jednokotlová a později, ve snaze po zvětšení vypínacího výkonu, trojkotlová (každý pól zvlášť). Původní snaha o zvětšení izolační pevnosti mezi kontakty olejem se však ukázala při volném hoření oblouku v oleji jako nesprávná. Vlivem volného hoření oblouku v oleji docházelo při zvyšování výkonu k častým haváriím, což si vynutilo konstrukční zlepšení, zejména vznik výbušné komory (axiálního zhášedla – Hillard, Parsons, 1908). Její aplikací ve vypínačích se dosáhlo oddělení oblouku od ostatního oleje a intenzivního působení na oblouk proudem plynů vznikajících rozkladem oleje obloukem ve zhášedle. Zahájením soustavného teoretického a experimentálního výzkumu jevů spojených se zhášením oblouku střídavého proudu byla započata nová etapa ve vývoji olejových vypínačů. Ve svých pracích vyložil Slepian pochod při zhášení oblouku střídavého proudu na principu deionizace (1928). Později byla definována i teorie uhasnutí oblouku pomocí mechanického rozrušení výbojového sloupce a zasunutí dielektricky pevné vrstvy zhášecího media mezi kontakty (Prince 1931). Zejména po druhé světové válce vznikla celá řada převážně maloolejových konstrukcí, které se začaly stále více uplatňovat v oblasti vn. V současné době jsou maloolejové vypínače nahrazovány vypínači s jiným principem zhášení oblouku (SF_6 , vakuum).

7.1. Obecná charakteristika zhášedel kapalinových vypínačů

Zapálení oblouku ve vypínači nastává v okamžiku, kdy končí mechanický styk kontaktů a nastává jejich oddalování. V okamžiku zapálení oblouku začínají rovněž vznikat plyny a páry ve zhášedle. Oblouk předává svou energii okolnímu médiu, které se začíná měnit v páry a plyny o vysoké teplotě, čímž se v okolí oblouku vytváří plynová bublina. Množství vytvořeného plynu je úměrné velikosti energie uvolněné obloukem a tlak plynů je dán množstvím plynů, objemem bubliny a zhášedla. Únik plynů z místa vzniku se vhodnou konstrukcí zhášedla řídí tak, aby plyny v nule proudu účinně působily na zbytkový sloupec ionizovaných plynů. Mluvíme buď o axiálním zhášedle nebo radiálním zhášedle podle směru působení plynů na zbytkový sloupec vzhledem k ose výboje.

Pokud unikající plyny působí v ose výboje, hovoříme o axiálním zhášedle. Funkčním členem tohoto zhášedla je tryska, v jejíž ose oblouk hoří. Pokud unikající plyny působí kolmo na osu hoření oblouku, pak hovoříme o radiálním zhášedle. Funkčním členem tohoto zhášedla jsou zhášecí štěrby.

V obou případech má na funkci zhášedla rozhodující vliv rychlost a tlak proudícího media (par a plynů). Množství plynů určuje energie zhášeného oblouku. Z toho vyplývá celá řada řešení zhášedel. Výkonnost zhášedla je tedy dána dvěma parametry – napětím a proudem. Při daném napětí musí zhášedlo bezpečně zvládnout všechny proudy až po jmenovitý vypínací proud.



Shrnutí pojmů

Vypínače s vlastní zhášecí energií

Axiální a radiální zhášela

7.1.1 Axiální zhášedla



Čas ke studiu: 60 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

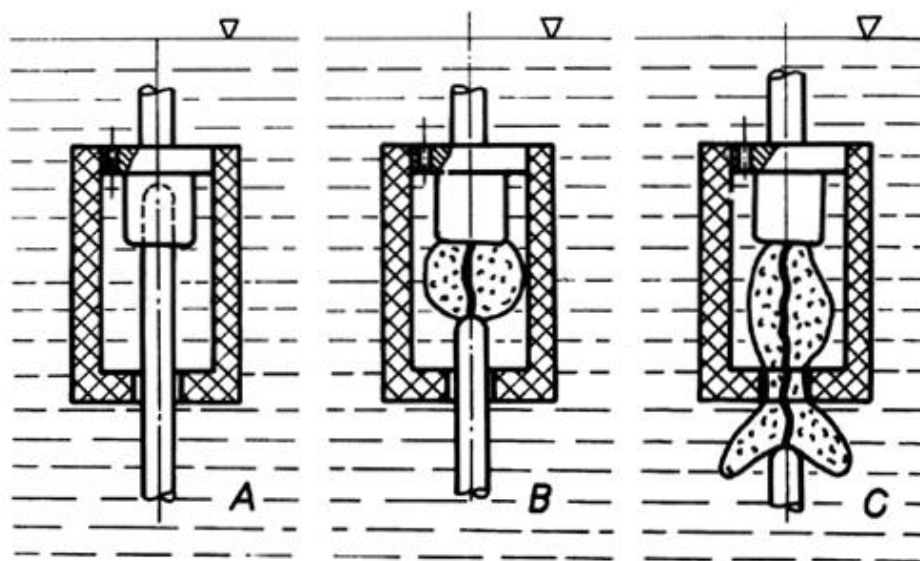
- popsat axiální zhášedla kapalinových vypínačů
- popsat jejich funkci, výhody a nevýhody



Výklad

Principiální schéma axiálního zhášedla je na obrázku 7.2. Toto zhášedlo je prakticky nejstarším používaným zhášedlem a bývá nazýváno výbušnou komorou.

Kontaktní systém vypínače, jehož pohyblivou část tvoří roubík válcového tvaru, je obklopen izolačním tělesem, opatřeným na straně pohyblivého kontaktu kruhovým otvorem, kterým roubík prochází. Tento otvor působí jako vlastní zhášecí tryska. Ve vrchní části izolačního tělesa je umístěn odvodušňovací otvor velmi malého průřezu, aby se prostor zhášedla, které je umístěno v oleji, mohl tímto olejem naplnit a kterým unikají po vypnutí zbytky par a plynů, vytlačované hydraulickým tlakem oleje, vnikajícího do prostoru zhášedla otvorem po vysunutém roubíku.



Obr. 7.2 – Princip axiálního zhášedla

Hlavní fáze činnosti výbušné komory jsou zachyceny na obr. 7.2. Zapnutý stav je na obrázku A. V okamžiku vysunutí roubíku z pevného kontaktu se zapálí oblouk, který rozkládá olej a vytváří kolem sebe bublinu (obr.B). Otvor ve dnu je uzavřen roubíkem a prostor, který má bublina k dispozici je malý, vytvoří se v bublině velký tlak. V okamžiku, kdy roubík opustí otvor komory, plyn začne velkou rychlostí podél hořícího oblouku unikat do vnějšího prostoru (obr.C), čímž oblouk omývá a ochlazuje. Vlastní zhášecí pochod se odehrává v okamžiku průchodu proudu nejbližší nulou. V nule proudu oblouk uhasne a v ose trysky zůstává zbytkový ionizovaný sloupec, který je rozrušen prudce proudícími plyny, které sebou odnášejí ionizované prostředí a mezi pahýly zbytkového sloupce, které přiléhají ke kontaktům, se rychlostí proudění zasouvá vrstva plynů o vysoké teplotě, ale i vysokém tlaku, takže se tyto dva z elektrického hlediska protichůdné jevy do jisté míry kompenzují a elektrická pevnost zasouvaného prostředí je vyhovující. Době od nuly proudu do okamžiku přerušení souvislého zbytkového ionizovaného sloupce říkáme doba rozrušení.

Axiální zhášedlo může pracovat v libovolné poloze. V kotlových vypínačích jsou komory zavěšeny vertikálně na dolním konci průchodky a roubíky se vysouvají směrem dolů. U vypínačů s malým množstvím oleje pracují axiální zhášedla vždy ve svislé poloze. Pevný kontakt však může být na dně komory a roubík se vysouvá směrem nahoru. V tomto případě nemusí mít komora zvláštní odvzdušňovací otvor, jeho funkci plní vůle mezi roubíkem a hrdlem trysky.

Vypínací výkon axiální trysky je omezen mechanickou pevností konstrukce. Tlaky, které vznikají při vypínání proudů několika desítek kiloampérů jsou značné, dosahují i hodnot 10 až 20 MPa. Nepříznivý je zejména jejich rázový charakter. Ovšem i za těchto okolností je vypínací výkon mnohonásobně větší než u vypínače s volným hořením oblouku. Vypínací výkony dosahují hodnoty nad 50 kA. Vedle zvýšení výkonu dochází k podstatnému zkrácení doby hoření oblouku.

Jedním z průvodních jevů vypínacího procesu je zahlcování trysky. Trysku si lze představit jako válcový útvar, v jehož ose hoří oblouk, který předává teplo svému okolí. Okolní plyn se ohřívá na vysokou teplotu, což způsobuje zvětšování jeho tlaku a jeho rozpínání v prostoru trysky. Velikost a rychlost těchto dějů závisí na velikosti proudu oblouku. Tlak působí všemi směry, tedy i proti tlaku plynů vznikajících v komoře a majících snahu proudit tryskou z komory ven. Oblouk v hrdle trysky zde vlastně působí jako automatický ventil, který podle velikosti proudu

(rozuměj sinusový průběh) zmenšuje či dokonce uzavírá trysku. Při poklesu proudu k nule trysku otevírá. V tomto případě zhasedel s vlastní zhasací energií se tento jev při vypínacím procesu projevuje příznivě. Dochází-li k vysunutí roubíku z trysky těsně po průchodu proudu nulou, oblouk je znovu zapálen, tryskou proudí plyny z komory po celou dobu jedné půlvlny proudu, neboť tryska je již otevřena. Plyn tedy neúčelně proudí ven a v rozhodující nule proudu by tlak a rychlost plynů unikajících plynů nemusely být dostatečné pro zhasací činnost, tj. k dostatečnému narušení a vymetení zbytkového ionizovaného sloupce. Oblouk si však sám na základě jevu zahlcení trysky automaticky reguluje výtok plynů z komory.

Jev zahlcení trysky se projevuje i u vypínacích systémů s cizí zhasací energií, kde však na rozdíl od systémů s vlastní zhasací energií působí velmi nepříznivě a může vést až k selhání vypínače.

Rychlost proudění plynů z trysky dosahuje v oblasti kritických (středně velkých) proudů rychlosti zvuku za dané teploty. Pro výtok plynů z trysky rychlostí zvuku je zapotřebí poměru tlaků před a za otvorem většího než 2:1. V našem případě je možno považovat hydrostatický tlak oleje za roven tlaku atmosférickému, pak stačí přetlak plynů o něco větší než 0,1 MPa k dosažení této rychlosti. Vzhledem k tomu, že plyny mají teplotu několika set stupňů Celsia a rychlost zvuku je závislá na teplotě, absolutní výtoková rychlost plynů dosahuje i několikanásobku rychlosti zvuku za normální teploty. Znamená to, že zde nejsou vyloučeny rychlosti až 1000 m/s.

Dalším jevem vyskytujícím se v axiálních komorách je dlouhé hoření oblouku při malých a středních proudech. Je způsobeno tím, že roubík je vysunován rychlostí 1 až 3 m/s, přičemž délka trysky zvětšující se s velikostí jmenovitého napětí vypínače dosahuje při napětí 10 kV minimálně 50 mm. Znamená to, že při rychlosti 1 m/s je doba hoření oblouku minimálně 50 ms a tedy 5 půlvln. Se vzrůstajícími proudy je tato skutečnost potlačována, neboť roubík vlastně představuje píst ve válci s velkým tlakem. Přestože čelní plocha pohyblivého kontaktu je poměrně malá (při ϕ 25 mm je to 5 cm²), při tlacích, kterých je v komorách dosahováno (1000 N/cm²), působí na roubík síla 5000 N. Tato síla je mnohonásobně větší než síla vyvozená pístem a při proudech několika desítek kiloampérů zvětšuje rychlost roubíku až na 10 m/s, čímž se zkracuje doba hoření oblouku.

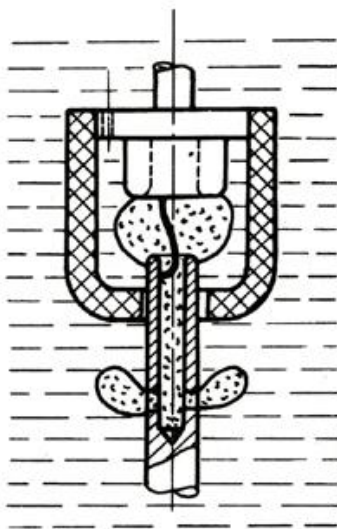
Jinými dvěma nepříznivými jevy vznikajícími v jednoduché axiální komoře je velikost tlaku a prudký výron plynů při vysokých proudech, které

nadměrně namáhají konstrukci zhášedla. Aby bylo zhášedlo účinné i u relativně malých proudů, musí být tryska dostatečně dlouhá a vůle mezi roubíkem a tryskou malá. U velkých (zkratových) proudů pak náhlý výtrysk plynů při vysunutí roubíku připomíná explozi (odtud výbušná komora) a projevuje se zejména u trojfázových jednodotlových vypínačů tím, že plyny vymetou olej ze dna nádoby a ten je mrštěn proti hornímu víku kotlového vypínače, což vede v případě nedostatečného uchycení vypínače k podlaze k jeho nadskočení a dopadu a tím zpravidla k poškození. Dále je zde možnost, že šroubové spojení víka s kotlem se v důsledku reakčních tahů pootevřívá a olej stříká do okolí.

Nepříznivým jevům spojeným s vypínáním se dá samozřejmě předejít dimenzováním konstrukce, je to však neekonomické. Došlo tedy k různým konstrukčním úpravám jednoduché axiální komory, které můžeme rozdělit do úprav vztahujících se k vypínání malých proudů a úprav vztahujících se k vypínání proudů velkých.

Úpravy axiální komory pro zkrácení doby hoření oblouků u malých proudů jsou schematicky znázorněny na obrázcích 7.3, 7.4, 7.5.

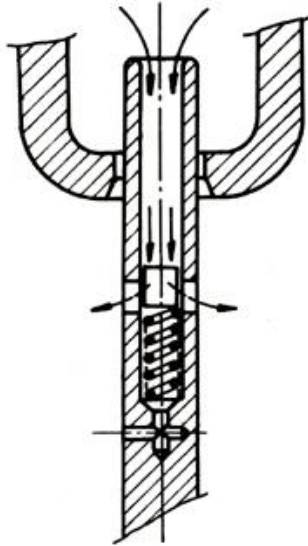
Na obrázku 7.3 je plný roubík nahrazen roubíkem dutým, spojujícím trvale prostor zhášecí komory s prostorem vypínače. Tím je dána možnost výtoku plynů z komory ještě před vysunutím roubíku z trysky. Vzhledem k tomu, že oblouk je prouděním plynu vtažen do dutiny roubíku, roubík působí jako tryska a při prvním průchodu proudu nulou vypíná.



Obr. 7.3 – Dutý roubík u axiálního zhášedla

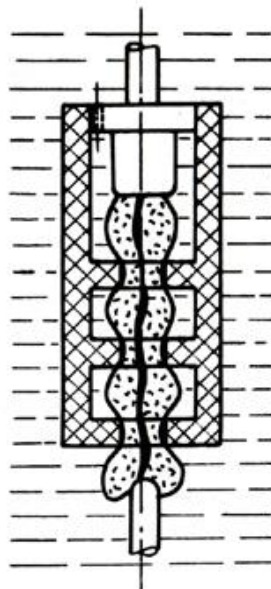
Na obrázku 7.4 je dutý roubík doplněn o ventil vložený do dutiny.

Ventil zajišťuje, aby výtrysk plynů nenastal dřív, než bude dosaženo náležitého tlaku v komoře. Tyto úpravy se používají v případě delších komor a malých rychlostí pohybu roubíku.



Obr. 7.4 – Dutý roubík s tlakovým ventilem u axiálního zhášedla

.Další možností je nucené vstřikování oleje do prostoru oblouku vypínacím mechanismem. Zařízení pak pracuje jako systém s cizí zhášecí energií. Používá se hlavně u vypínačů máloolejových.



Obr. 7.5 – Sériové řazení trysek a zhášecích axiálních komor

Na obrázku 7.5 je úprava axiální komory pro vyšší napětí, kdy je v sérii za sebou několik trysek a zhášecích komor. Malé proudy pak jsou vypnuty již v první trysce.

Proti vzniku vysokých tlaků v případě vypínání velkých proudů účinně působí pojistné ventily. Ventily působí na rozdíl od ventilu v dutém roubíku (0,1 MPa) až při tlacích dosahujících jednotek MPa. Aby průtokový průřez ventilu byl dostatečný pro rychlé snížení tlaku, používají se celé konstrukce komory jako suvné. Při velkém přetlaku se od sebe základní deska a komora oddálí a komora se po celém obvodu otevře. Takové komory se nazývají expanzní, používaly se u vodních vypínačů a od toho dostaly tyto vypínače název expanzní. Expanze plynů a par vede nejen ke snížení tlaků v komoře, ale prudkým únikem plynů dochází i ke zvýšení ostatního prostředí v komoře a tím i možnosti mechanického rozrušení zbytkového sloupce při průchodu proudu nulou.

Axiální komory byly upravovány i z dalších hledisek jako například obavy z malé dielektrické pevnosti horkých plynů a pod., což vedlo ke konstrukci dvouobloukových či diferenciálních zhášedel se vstřikem oleje. Výsledkem bylo zvýšení účinnosti, ale rovněž usekávání proudu před průchodem přirozenou nulou a následná přepětí. K těmto systémům patří impulsní vypínače.



Shrnutí pojmů

Axiální zhášelo

Zahlcení trysky

Rychlost výfuku plynu

Vypínání malých a středních proudů

7.1.2 Radiální zhášedla



Čas ke studiu: 25 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat radiální zhášedla kapalinových vypínačů
- popsat jejich funkci, výhody a nevýhody



Výklad

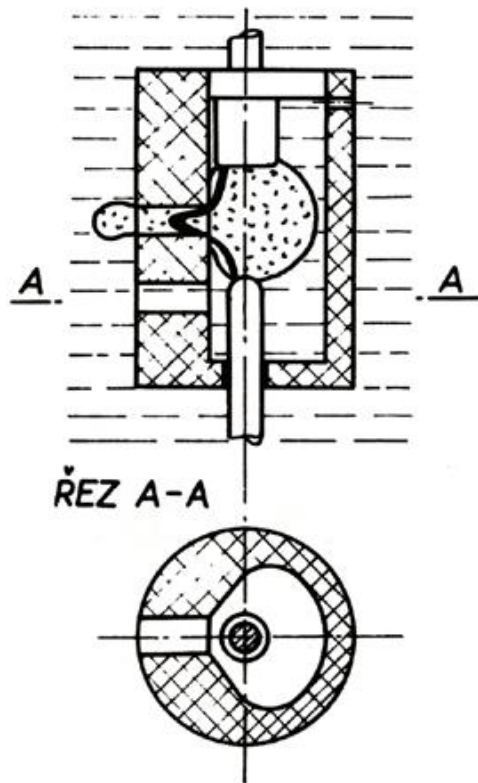
Základní provedení kapalinového radiálního zhášedla je na obr. 7.6.

Proud plynů vytvořených hořením oblouku ve zhášecí komoře směřuje při výtoku kolmo na osu oblouku. Ve stěně osově nesymetrické komory je vytvořeno několik otvorů (štěrbín). Vnitřní prostor nemá kruhový průřez, zužuje se směrem ke štěrbinám, jejichž vnitřní ústí je co nejbližší k vypínacímu roubíku. Bublina plynů se díky osově nesymetrickosti vnitřního prostoru z větší části soustřeďuje u stěny bez štěrbin. V okamžiku oddálení se roubíku od pevného kontaktu natolik, že uvolní první štěrbinu, začne plyn touto štěrbinou unikat a strhává oblouk hořící před ústím do štěrbiny sebou. Oblouk přitom blokuje průřez štěrbiny a brání plnému proudění plynů štěrbinou. K tomu dojde až při průchodu proudu nulou. Pohybem roubíku se postupně otvírají další štěrbiny. Poslední je otevřen spodní axiální otvor. Pokud oblouk neuhasne dřív, spolupůsobí tak s příčným ofukováním i ofukování axiální.

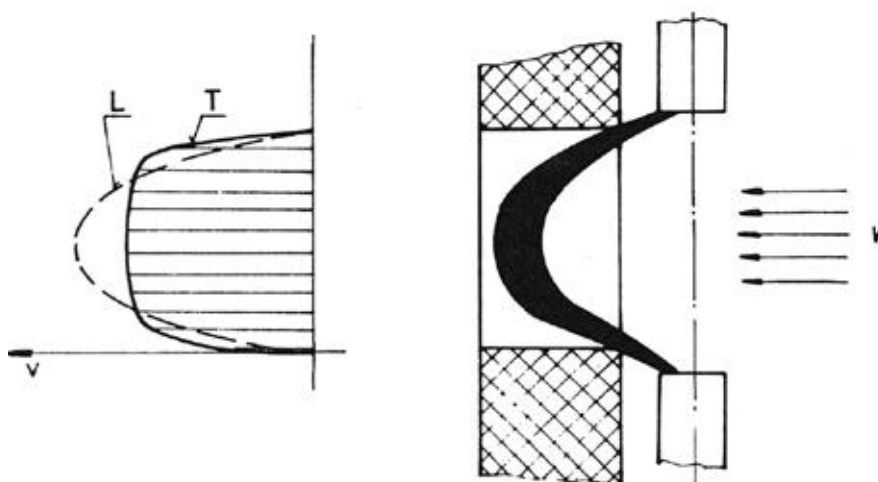
Je třeba si uvědomit, jaké je rozložení rychlostí proudícího media v příčném průřezu štěrbiny. Při turbulentním proudění (které přichází v úvahu) se rychlost od stěn k ose mění dle křivky T, obr. 7.7.

Křivka L představuje laminární proudění. U axiální trysky se oblouk nachází uprostřed, tedy v místě největší rychlosti proudění. U radiální trysky úsek trupu oblouku, stojící v cestě proudu plynu, je plynem unášen tryskou, aniž dochází k jakémukoliv relativnímu pohybu mezi obloukem a plynem. Jinak je tomu s částmi smyčky, které přiléhají ke stěnám štěrbin. Tyto části se prodlužují a jsou omývány plynem axiálně. Vyplývá z toho, že v nule proudu střední část oblouku vehnaného do štěrbiny nepřispívá zásadně ke zvětšení průrazné pevnosti výbojové dráhy, ale v obou

okrajových částech, natahujících se podél stěn štěrby, dochází k přerušení zbytkového ionizovaného sloupce. Oproti axiální trysce je zde jistá nevýhoda v tom, že tyto úseky leží v blízkosti stěn, tedy v oblasti, kde rychlost proudění plynu je malá.



Obr. 7.6 – Základní provedení zhášedla s radiálním ofukováním oblouku



Obr. 7.7 – Proudění plynů u radiálního zhášedla

Tato nevýhoda je kompenzována tím, že v jedné štěrbině jsou dvě místa přerušení v sérii. Vzhledem k tomu, že zhášení oblouku v radiálním systému je stejně účinné jako v systému axiálním, dochází zde zřejmě v úseku podélného proudění také k turbulencím, které spolupůsobí na přerušení ionizované dráhy. Je jasné, že ve zhášedle s radiálním ofukováním má zásadní podíl na zhášecím pochodu podélné ofukování, proto není účelné konstrukčně navrhovat dlouhou štěrbinu, ale více kratších, aby se zvětšil počet míst rozrušení sloupce. S počtem štěrbin roste velikost napětí, které zhášedlo zvládne.

Pro správnou činnost radiálního zhášedla je nutné provést taková konstrukční opatření, aby oblouk hořel vždy před ústím do štěrbin, aby nebyl ovlivňován magnetickým polem vyvolaným sousední fází, aby síly vyvolané průchodem proudu proudovodnou drahou vlastní fáze přispívaly k správnému navedení oblouku před štěrbinu. Pokud by proud plynu nezachytil oblouk tak, aby byl vtažen do štěrbin, oblouk uhne a plyny zcela neúčelně začnou unikat štěrbinou ven, oblouk znovu zapaluje a zhášedlo selhává.



Shrnutí pojmů

Radiální zhášedla

Laminární, turbulentní proudění

7.1.3 Srovnání zhášedel s podélným a příčným ofukováním



Čas ke studiu: 20 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat funkci zhášedel s příčným a podélným ofukováním oblouku
- výhody, nevýhody



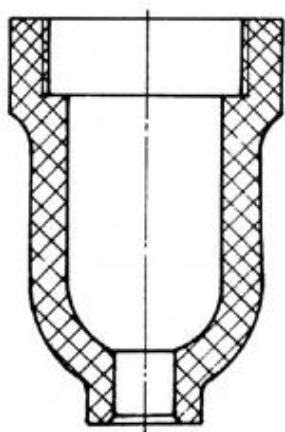
Výklad

U radiálního zhášedla dochází k proudění dříve, oblouk má možnost i při menších vypínacích rychlostech uhasínat v nule, plyn uniká postupně jednotlivými štěrbinami brzo po zapálení oblouku a tlak tedy nedosahuje takových hodnot jako u axiálního zhášedla. Důsledkem je snížení rázového namáhání konstrukce vypínače i při vypínání velkých proudů. Přestože celkové množství uvolněné energie je v obou systémech stejné, je u radiálního jeho působení rozloženo do delšího časového úseku, čímž celý vypínací pochod probíhá klidněji.

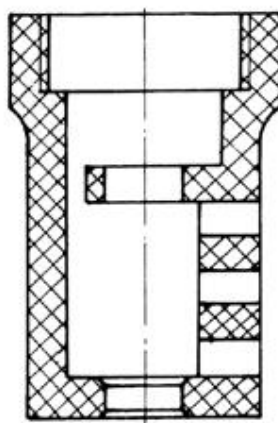
Účinnost obou systémů je při vypínání velkých proudů stejná. V oblasti proudů malých se brzké otvírání štěrbin projevuje nepříznivým snížením tlaku ve zhášedle. Doba hoření oblouku se prodlužuje. Příčné komory se proto konstruují delší, s většími vypínacími rychlostmi, aby co nejdříve vstoupila v činnost axiální tryska systému.

Závěrem lze říci, že v kapalinových vypínacích jsou více používány systémy radiální, u vypínačů na velké proudy systémy kombinované (pro účinné zhašení i malých proudů těmito vypínači), případně systémy s přídavným vstřikovacím zařízením. Úpravy komor jsou méně nákladné než zachycování velkých tlakových rázů u axiálních zhášedel.

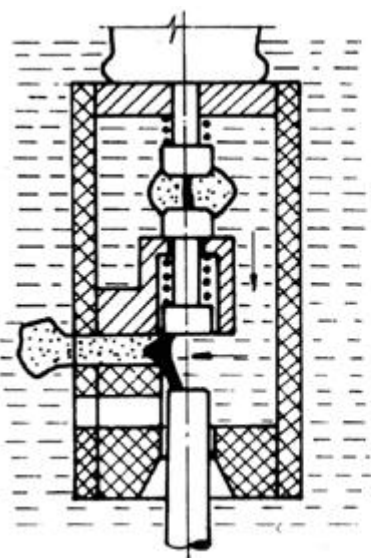
Různé typy a úpravy zhášedel jsou uvedeny na obrázcích 7.8 až 7.12. Na obrázku 7.8 je výbušná komora, na obrázku 7.9 radiální komora. Postupem času došlo k vývoji komor s pomocným obloukem (obr. 7.10) či pružné radiální komory (obr. 7.11). Oba typy komor byly rovněž kombinovány (obr. 7.12 vlevo). Dále se vytvářely systémy na zmenšení vysokých tlaků v axiálních komorách. (obr. 7.12)



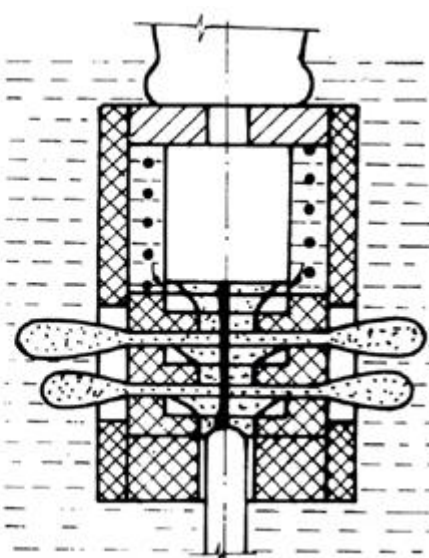
Obr. 7.8 – Výbušná komora



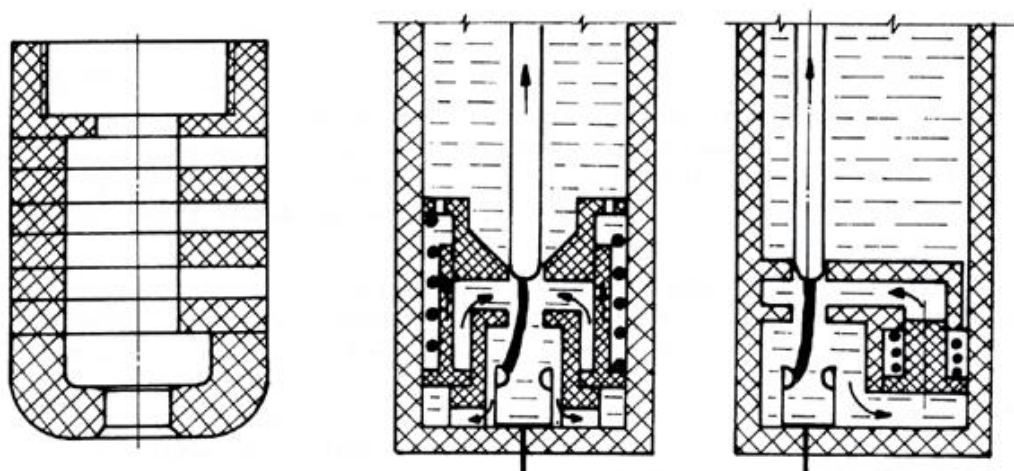
Obr. 7.9 – Radiální komora



Obr. 7.10 – S pomocným obloukem



Obr. 7.11– Pružná radiální komora



Obr. 7.12 – Kombinovaná komora a komory zmenšující vysoké tlaky vznikající ve zhášedle do otevření trysky



Shrnutí pojmů

Radiální komora

Axiální komora

Kombinovaná komora

7.2. Vypínače olejové kotlové a kotlové se zhášedly



Čas ke studiu: 30 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

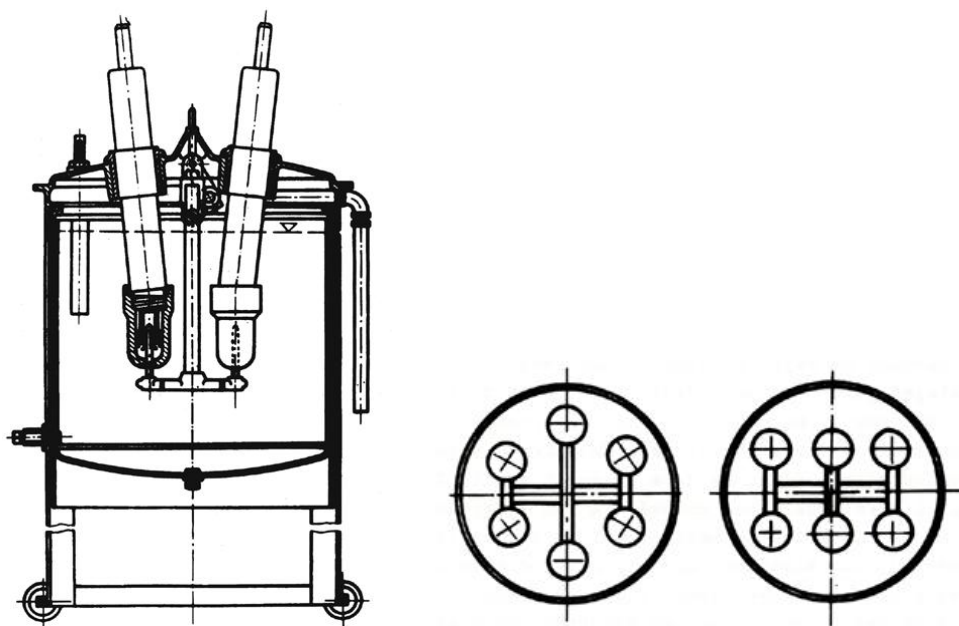
- popsat funkci vypínačů kotlových
- popsat funkci vypínačů kotlových se zhášedly



Výklad

Jsou to vypínače s velkým množstvím oleje, ve kterých olej slouží nejen jako zhášedlo a izolant v rozepnuté kontaktní dráze, ale také jako izolace mezi proudovodnými částmi navzájem a zemí.

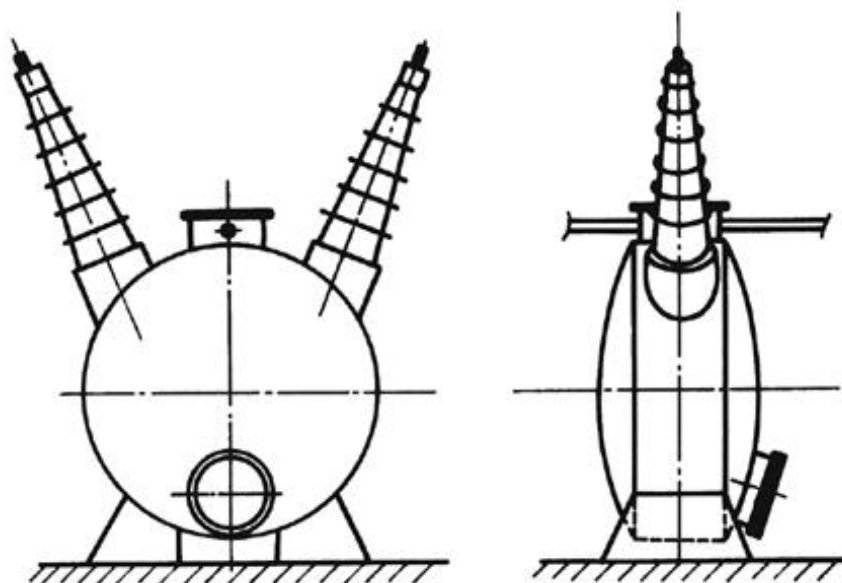
V první fázi vývoje pracovaly s volným zhášením oblouku. Poněvadž působení oleje a jeho zplodin na oblouk není nijak usměrňováno, musí mít oblouk větší délku. Množství plynů, které vznikají je značné. Směs vodíku a kyslíku v určitém poměru vytváří třaskavou směs. Při vypínání nadměrně velkých proudů se vytváří takové množství plynů, že je zde nebezpečí, že dojde k výronu plynu nad hladinu ještě v době hoření oblouku. To způsobí zapálení vzniklé třaskavé směsi vodíku se vzdušným kyslíkem, explozi, zničení vypínače a jeho následný požár. Tato skutečnost omezuje vypínací výkon tohoto systému. K explozi dojde vždy, je-li překročen vypínací výkon klasického kotlového vypínače. Proto započal ve třicátých letech minulého století soustavný výzkum vypínacích dějů a vypínačů, jehož důsledkem bylo později vyvinutí kotlových vypínačů se zhášedly v jednokotlovém a později trojkotlovém provedení s jedním či dvěma zhášedly na fázi. Zhášedlo bylo provedeno jako výbušná komora nebo jako deionová zhášecí mříž, což byla v podstatě radiální komora, ve které se používalo elektrodynamických sil k uvedení oblouku do pohybu a k jeho vohnání do nitra zhášecí komory proti proudu oleje a plynů. Obr. 7.13.



Obr. 7.13 – Ukázka trojfázového kotlového vypínače s šestiúhelníkovým a obdélníkovým uspořádáním elektrod

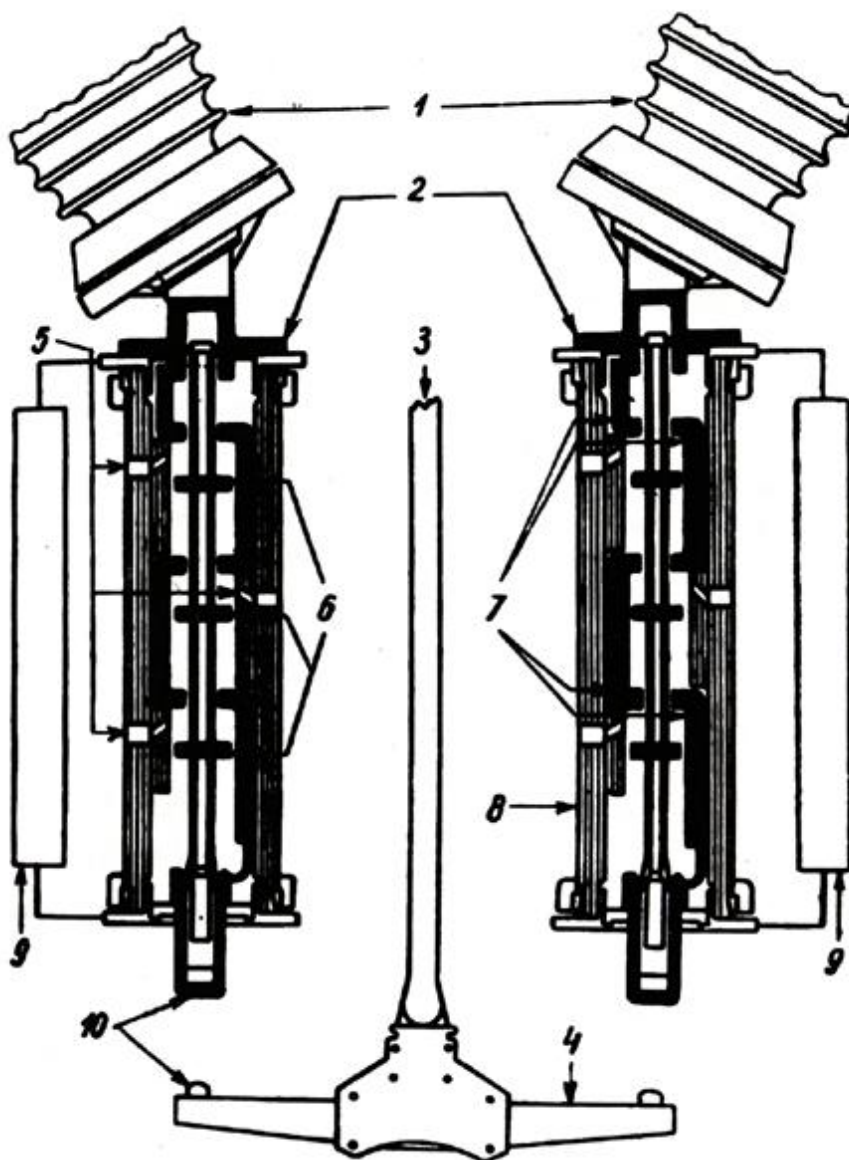
Kotel mívá z pevnostních důvodů válcový tvar, pak je možné dvojí půdorysné rozmístění elektrod – obdélníkové nebo šestiúhelníkové. Přednost mívá obdélníkové s příčkami stejné délky. Kotel je zaplněn olejem do určité výše tak, aby zhášedla byla dostatečně pod hladinou, ale aby prostor víka a části kotle tvořil expanzní prostor pro plyny vzniklé hořením oblouku tak, aby tlak v kotli nepřekročil přípustnou hodnotu. Tento prostor je spojen výfukovým kanálem s vnější atmosférou, aby plyny mohly unikat ven. Případný výstřik oleje je zadržen labyrintovým systémem a olej je sveden zpět. Hladinu oleje je možno sledovat hladinoznakem. Aby se nemohly spojit bubliny dvou sousedních fází, jsou tyto odděleny izolačními přepážkami. Množství oleje dosahuje až stovek litrů

Vypínače na velmi vysoké napětí se staví jako vypínače trojkotlové. Spínač každé fáze je v samostatném kotli. Společný je jen pohon a ovládací hřídel. Obr. 7.14



Obr. 7.14 – Kotlový vypínač

Uvnitř takového vypínače se používala zhášedla dle obr. 7.15 s vícenásobným přerušením pomocí několika dílčích kontaktních systémů v sérii. Tato zhášedla zvládla i napětí 220 kV a sestávala z průchodky 1, zhášedla 2, . izolačního táhla 3, proudové příčky 4, zhášecí štěrby 5, dílčích pohyblivých kontaktů 6, pevných kontaktů 7. Mezi třemi pohyblivými můstky a příslušnými pevnými kontakty se vytvoří tři dvojice oblouků. Jeden oblouk z každé dvojice pracuje jako zdrojový, druhý jako zhášecí. Proti zhášecímu je vždy zhášecí štěrbina 5. Oblouk uvnitř zhášedel uhasne dřív než se přeruší styk na vnějších kontaktech 10 proudové příčky, takže tyto vypínají naprázdno a zvětšují odpojovací dráhu. Vysokoohmové odpory 9 zajišťují rovnoměrné rozložení zotaveného napětí na jednotlivá místa přerušení.



Obr. 7.15 – Zhášedla kotlového vypínače pro 220 kV.



Shrnutí pojmů

Vypínače kotlové

Vypínače kotlové se zhášedly

7.3. Máloolejové vypínače



Čas ke studiu: 60 min



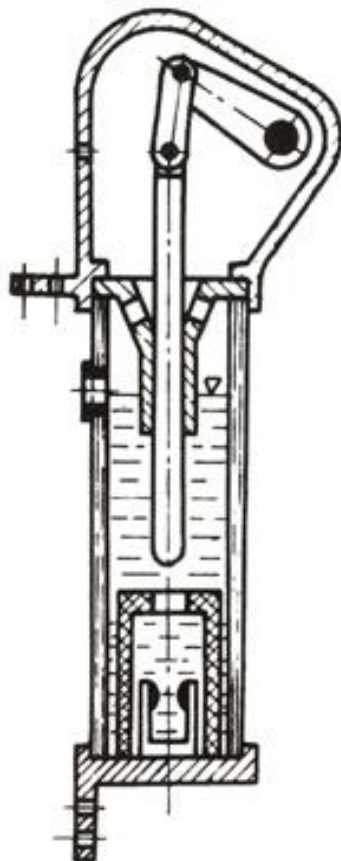
Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat základní princip máloolejových vypínačů
- jejich výhody, nevýhody



Výklad

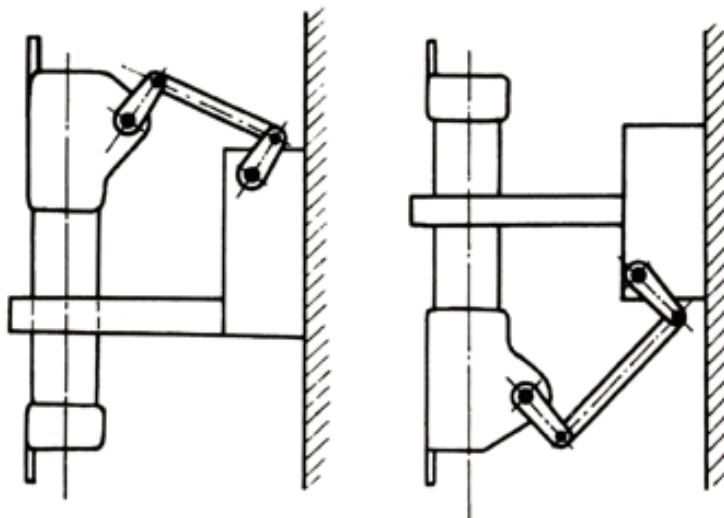
Na rozdíl od vypínačů kotlových plní olej u máloolejových vypínačů jen funkci zhášedla a izolantu v rozepnuté kontaktní dráze. Izolace proti zemi je provedena pevnými izolanty. Obr. 7.16.



Obr. 7.16 – Řez zhášedlem máloolejového vypínače

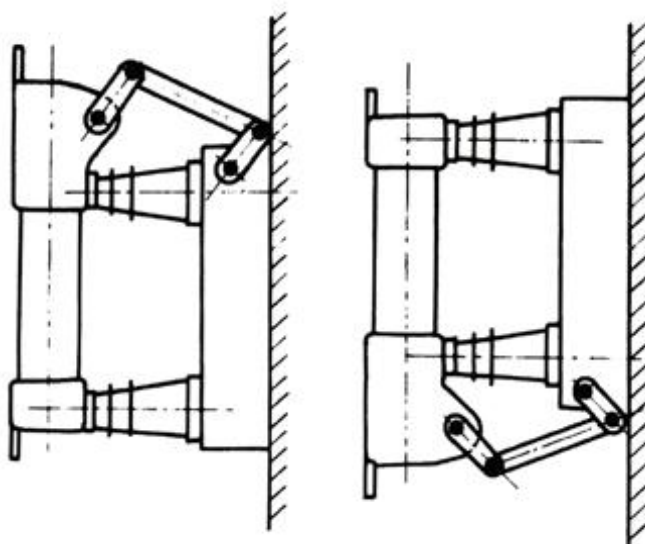
Z hlediska provedení je můžeme rozdělit na:

a) Průchodkové (obr. 7.17) s póly upevněnými v kovovém rámu, na kterém je umístěn pohon ovládající izolačním táhlem pohyblivé kontakty.



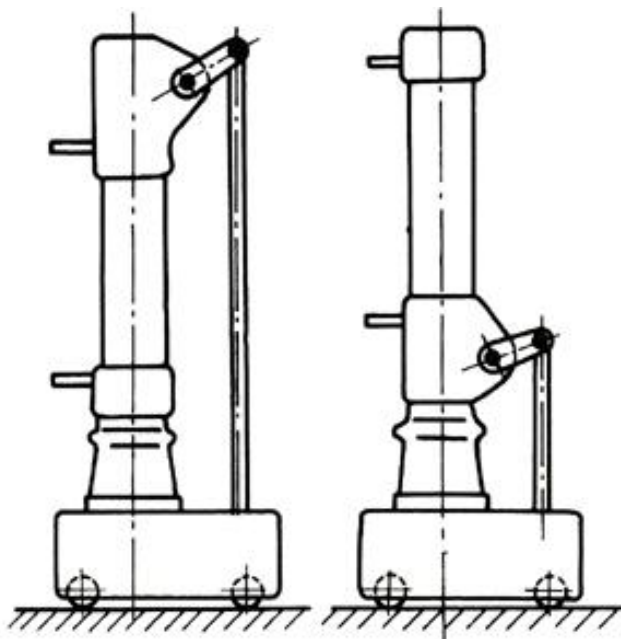
Obr. 7.17 – Průchodkové provedení máloolejového vypínače v kovovém rámu

b) Nástěnné (obr. 7.18) s každým pólem upevněným na izolátorech držených na společném rámu s pohonem s izolačním táhlem.



Obr. 7.18 – Nástěnné provedení máloolejového vypínače

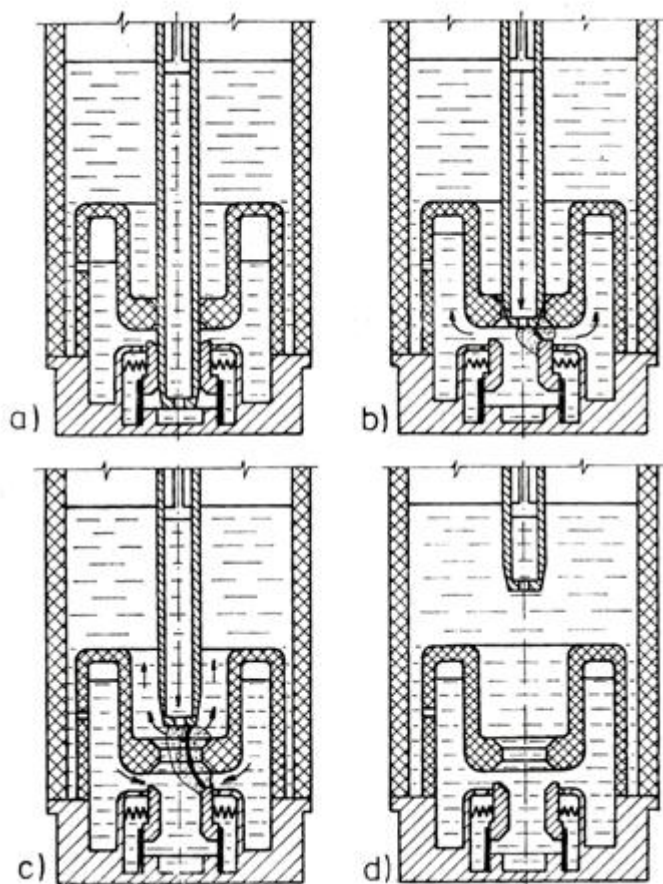
c) Sloupové provedení (obr. 7.19) vn s jedním pólem na fázi. Vyskytují se i provedení dvousloupová pro větší jmenovité proudy. V oblasti vvn se počet pólů řídí stupněm napětí (vypínací schopností).



Obr. 7.19 – Sloupové provedení máloolejového vypínače

Z konstrukčního hlediska je každý pól jakéhokoliv provedení vypínače rozdělen na prostor s olejem, ve kterém je umístěna zhášecí komora a prostor nad hladinou oleje – expanzní prostor. Tento prostor slouží k utlumení rázů spojených s činností vypínače. Všechna provedení mohou pracovat při kterémkoliv smyslu pohybu roubíku. Obě provedení mají svá pro a proti.

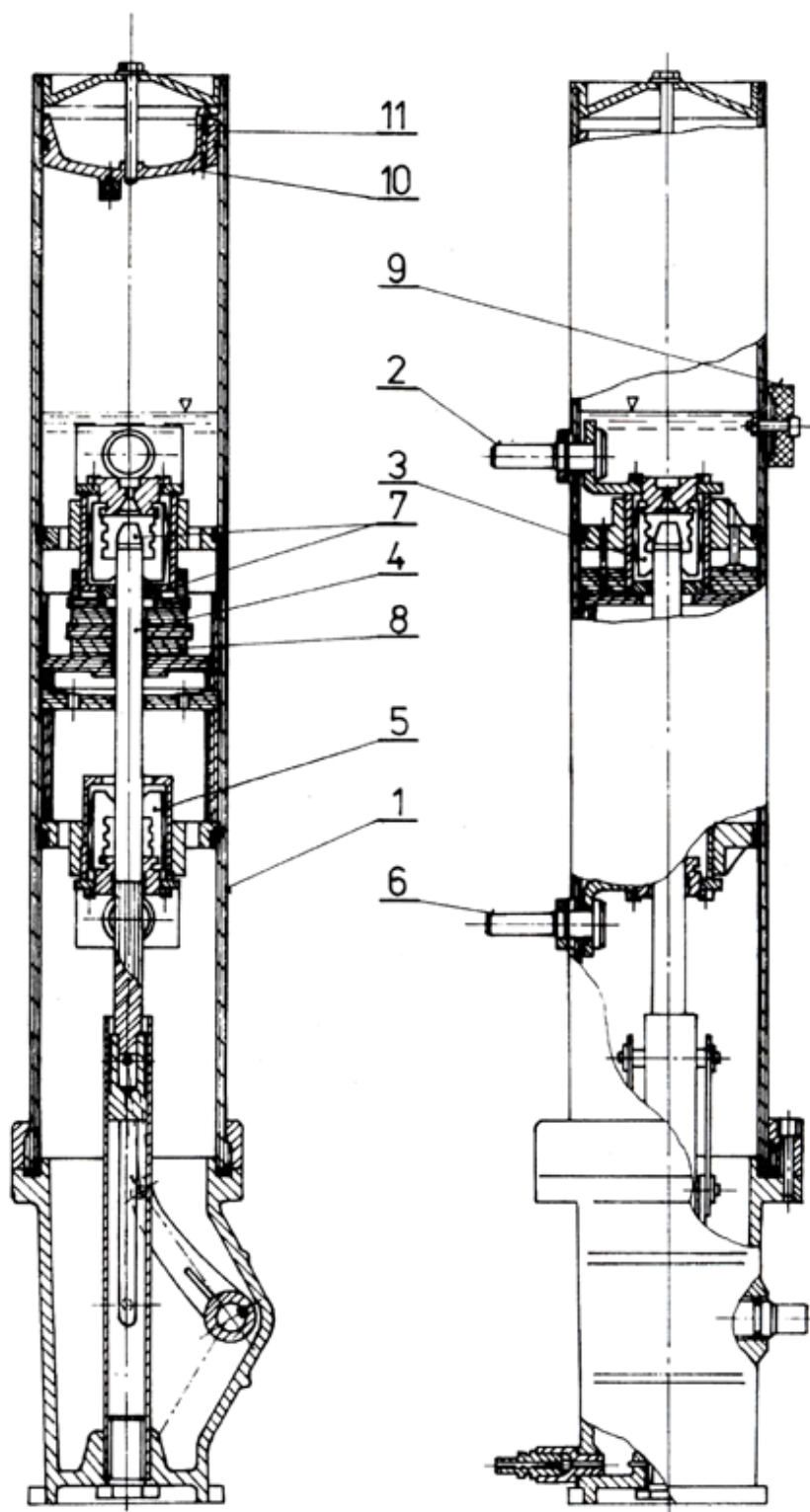
Jsou-li pevný a pohyblivý kontakt umístěny na dně pouzdra, klikový mechanismus je umístěn v horní části, v prostoru vzduchového polštáře. Ložisko průchozí hřídele není nutno nijak zvlášť těsnit. Dochází zde k dvojímu využití jednoho prostoru: vytvoření vzduchového polštáře a umístění mechanismu. Celková délka pólu je pak menší než při opačném uspořádání. Nevýhodou však je pohyb roubíku ve směru obloukových plynů unikajících ze zhášedla. Může zde dojít k pomalejšímu nárůstu izolační pevnosti mezikontaktního prostoru.



Obr. 7.20 – Princip činnosti impulsního zhášedla

Při umístění mechanismu do dolní části, tedy do oleje, je nutno těsnit všechny spoje proti úniku oleje a zároveň udržet dostatečný expanzní prostor nad hladinou oleje, který není jinak využit. Je nutno pamatovat na dostatečný průtokový průřez mezi zhášedlem a stěnou pouzdra. Výhodou však je zatahování roubíku do čerstvého oleje, přičemž plyny unikají opačným směrem, směrem nahoru.

V máloolejových vypínačích se používají zhášedla s pístem (impulsní zhášedla) s cizí energií. Princip činnosti je patrný z obr. 7.20. Zhášedla dodávají do prostoru oblouku stálé množství oleje, který je stlačen ve zvláštním prostoru v závislosti na pohybu kontaktů.



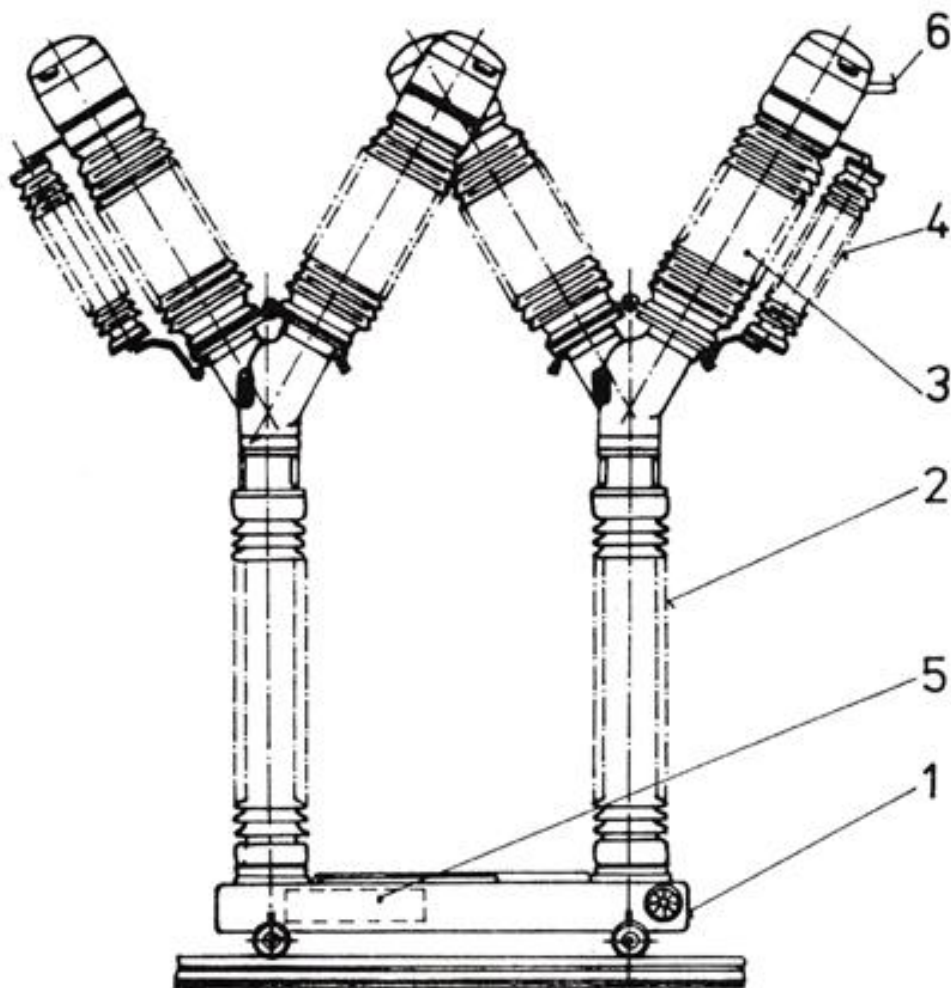
Obr. 7.21 – Sloupové provedení máloolejového vypínače vn.

V řezu na obr. 7.21 vidíme sloupový máloolejový vypínač konstrukce EJF Brno, $U_n = 12 \text{ kV}$, $I_n = 630 \text{ A}$, $I_{kn} = 16 \text{ kA}$. Základem pólu je sklotextilová trubka (1). Uvnitř pólové trubky je umístěn kontaktní systém a

zhášecí komora. Proudovodná dráha je tvořena přívodní svorkou 2, pevnými kontakty 3, pohyblivým kontaktem 4, který prochází přes průchozími kontakty 5, spojenými s vývodní svorkou 6. Pevný i pohyblivý kontakt jsou opatřeny opalovacími kontakty 7. Celý kontaktní systém je umístěn ve zhášecí komoře 8. Tato je vyrobena ze speciálního kartelu a epoxidového sklotextilu. Ke kontrole hladiny oleje slouží olejznak 9. Prostor 10 slouží jako expanzní prostor. Zhášecí komora je kombinovaná, se dvěma radiálními a jednou axiální částí.

Máloolejové vypínače vn se stavějí pro montáž do kobek i rozvaděčových skříní. Výsuvné provedení vypínače může vykonávat i funkci odpojovače.

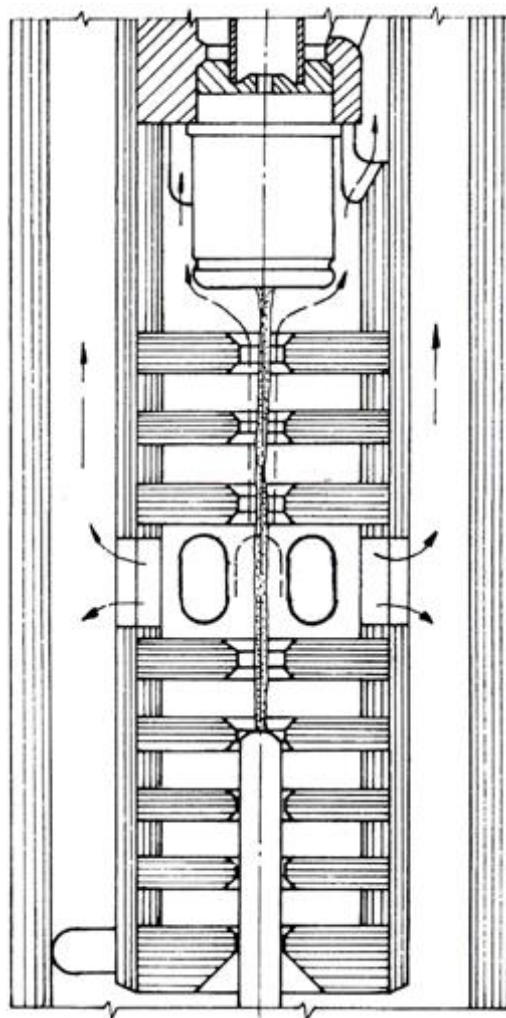
Máloolejové vypínače vvn jsou stavěny oproti vypínačům vn zásadně ve sloupovém venkovním provedení (obr. 7.22)



Obr. 7.22 – Sloupové provedení máloolejového vypínače vvn

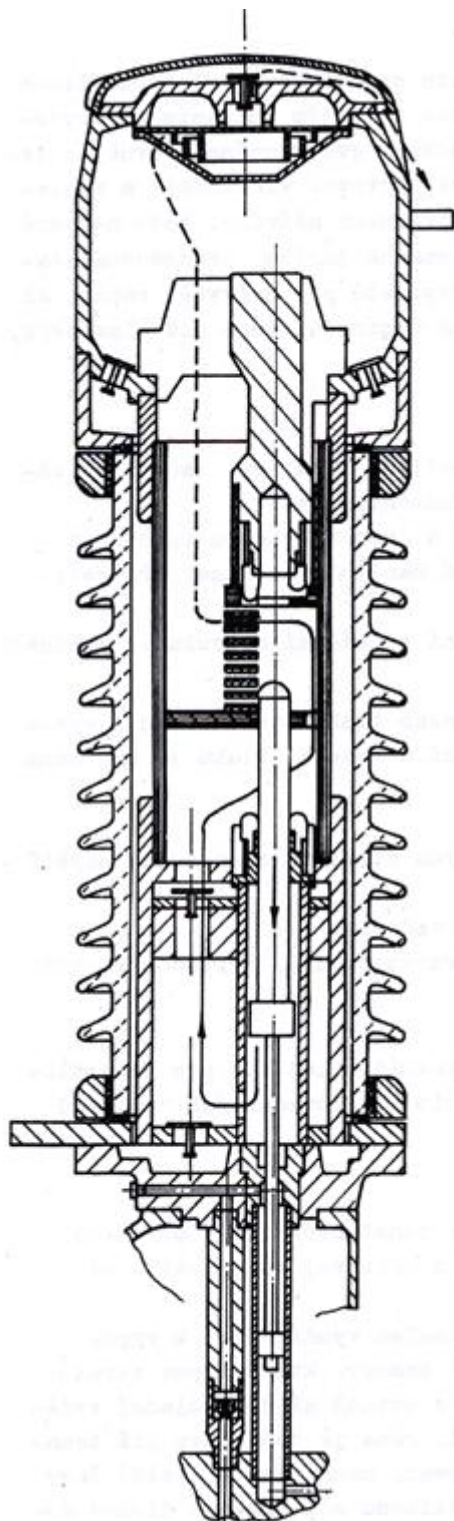
Základem konstrukce je rám 1 na němž jsou umístěny izolátory 2 nesoucí zhášedla 3. Počet zhášedel se řídí napěťovou soustavou po případě velikostí jmenovitého vypínacího proudu. V případě více zhášedel ve fázi jsou zhášedla doplněna kondenzátory 4 pro rovnoměrné rozdělení napětí na zhášedla. Pohon 5 je umístěn v základním rámu či podvozku.

Zhášecí komory máloolejových vypínačů vvn jsou principiálně stejné jako vypínačů vn. Příklad kombinované zhášecí komory Škoda Plzeň VMM 110 je uveden na obrázku 7.23.



*Obr. 7.23 – Kombinované provedení zhášecí komory
máloolejového vypínače (Plzeň VMM 110)*

Příklad radiální komory konstrukce BBC vypínače řady F je na obrázku 7.24.



Obr. 7.24 – Radiální komora konstrukce BBC

Konstrukce dalších částí máloolejových vypínačů vvn se v zásadě neliší od konstrukcí vypínačů vn. Pohyblivý kontakt ve tvaru at' již plného nebo dutého roubíku se pohybuje zpravidla směrem dolů a je ke zmírnění

rázů v krajních polohách tlumen tlumiči. Přívody jsou provedeny tak, aby síly vyvolané průchodem proudu proudovodnou dráhou přispívaly k vypínacímu procesu. Pohony máloolejových vypínačů jsou ruční, motorové, tlakovzdušné, provedené zpravidla jako střadačové, umožňující funkci OZ (opětného zapnutí). U vypínačů vvn mohou být rovněž hydraulické. Zapínací rychlosti vn se pohybují v rozmezí 3 – 6 m/s, vvn 9 – 10 m/s, vypínací vn 2 – 5 m/s, vvn 6 – 12 m/s.



Shrnutí pojmů

Vypínače máloolejové

Průchodkové a nástěnné provedení

Impulsní zhášedlo

7.4. Vodní vypínače



Čas ke studiu: 15 min



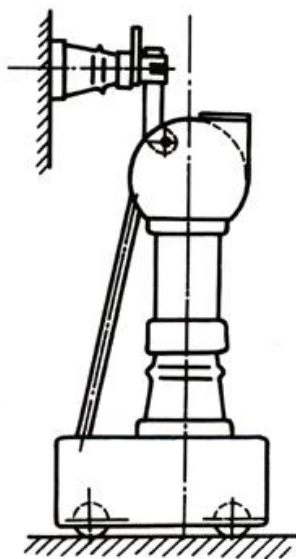
Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat funkci vodního vypínače



Výklad

Jsou to vypínače s malým množstvím kapaliny, pracující na stejných principech jako vypínače máloolejové. Vznikly ve snaze nahradit hořlavý a drahý olej nehořlavou a levnou kapalinou. Voda jako zhášecí medium má obdobné vlastnosti jako olej. Pro zhášení oblouku je příznivá velká tepelná vodivost produktů vznikajících při rozkladu vody obloukem, zejména vodíku. Velmi příznivou vlastností je, že rozkladem vody hořícím obloukem nevznikají žádné další produkty, které by zhoršovaly její izolační a zhášecí vlastnosti, jako třeba uhlík při rozkladu oleje. Zplodiny ($H_2 + O_2$) buď uniknou do ovzduší nebo se opět sloučí na vodu. Z hlediska izolačních vlastností má voda dobrou izolační pevnost, ale vzhledem k menšímu izolačnímu odporu ji nelze zatížit napětím po delší dobu.



Obr. 7.25 – Příklad vodního vypínače v kombinaci s odpojovačem

Zbytkový malý proud, který vodou prochází, by způsobil ohřev vody a vznik plynových bublinek, podél nichž by došlo k průrazu. To si vynucuje zajištění trvalé izolace zařazením dalšího vypínacího stupně v sérii s hlavním vypínacím systémem. (Obr. 7.25)

Provozní atmosférické podmínky nedovolují použití vody bez přísad, které ji upravují především pro použití za snížených teplot. Upravené zhášecí medium se v našich podmínkách nazývá expanzin a umožňuje použití vodních vypínačů až do $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Přes některé dobré vlastnosti se od výroby upustilo, hlavně z důvodu možnosti vzniku třaskavé směsi a tedy explozivnosti směsi vodíku a kyslíku.



Shrnutí pojmů

Vodní vypínač

Expanzin

8. Tlakovzdušné vypínače



Čas ke studiu: 70 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat typy zhášedel, provedení trysek, funkci zhášecího odporu
- vypočítat velikost tlumicího odporu



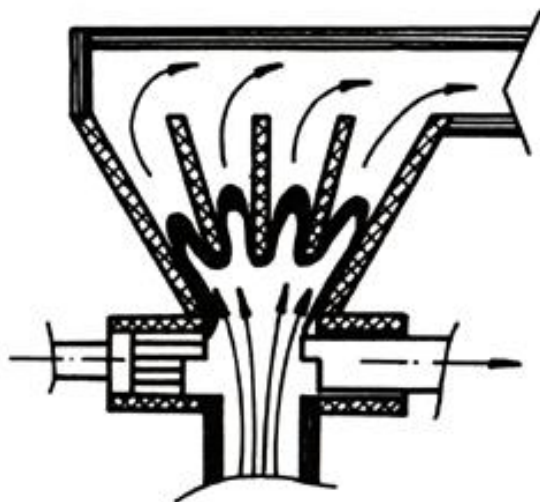
Výklad

Tlakovzdušné vypínače přerušily ve třicátých letech minulého století výsadní postavení olejových vypínačů a postupem času se staly nejdokonaleji propracovanou soustavou z hlediska zhášecího ústrojí. Pro své výhodné vlastnosti, jako je velká vypínací výkonnost, velmi rychlý chod mechanismu, konstantní a velmi krátká doba hoření oblouku, velká čistota provozu a odstranění nebezpečí výbuchu s následným požárem, se tlakovzdušné vypínače používají zejména pro vvn. Naopak, větší konstrukční složitost a nevýhody ekonomického charakteru (nutnost kompresorové stanice, rozvodu stlačeného vzduchu a jeho spotřeba) jsou příčinou toho, že pro vn se tlakovzdušné vypínače používají pouze tam, kde extrémní podmínky činnosti vylučují použití jiného typu vypínače (generátorové vypínače, speciální vypínače pro termoelektrická zařízení s těžkými spínacími podmínkami, vypínání kompenzačních kondenzátorových baterií atp.), nebo tam, kde ekonomické nevýhody jsou vyváženy větší provozní spolehlivostí, případně nejsou limitujícím hlediskem pro použití vypínače (vypínače pro lokomotivy).

Jsou to vypínače s cizí zhášecí energií. Zhášecím médiem je v tlakovzdušných vypínačích stlačený vzduch, který je zpravidla vyráběn předem do zásoby pomocí kompresoru do zásobníku tlakového vzduchu. Hodnoty tlaku jsou 0,5; 1,2; 1,6; 2,0; 3,2; 4,0 a 6,0 MPa. U takovýchto vypínačů se užívá stlačeného vzduchu i ke všem mechanickým úkonům např. k spínacímu pohybu roubíku. Tlakovzdušné vypínače nahradily maloolejové vypínače v místech s častým spínáním. Pro své dobré provozní vlastnosti a životnosti (až 30let) je jejich užívání velmi výhodné.

8.1. Typy zhášedel, tlumící odpor, provedení trysek

Stejně jako u kapalinových vypínačů lze ofukování oblouku provádět jak axiálně v podélné trysce, tak radiálně ve štěrbinách. Vzhledem k tomu, že spotřeba tlakového vzduchu při příčném ofukování je značná a prakticky lze stejného vypínacího výkonu dosáhnout i s axiální tryskou, užívá se příčného ofukování v praxi jen zřídka. Na obrázku 8.1 je radiální zhášedlo pro proudy 100 kA bez častého či opakovaného spínání.



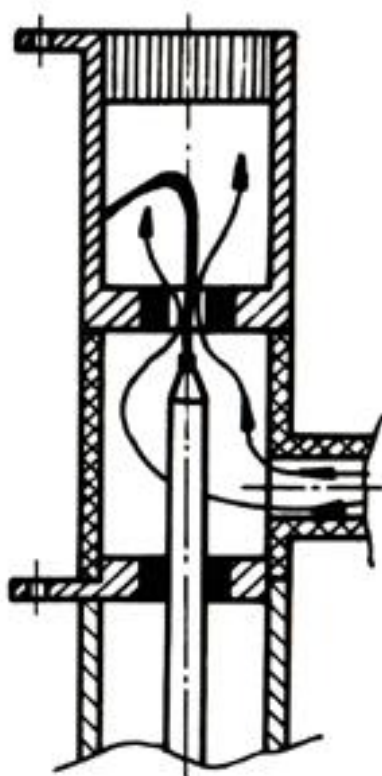
Obr. 8.1 – Radiální tlakovzdušné zhášedlo

Po vysunutí plochého nože z vícepalcového pevného kontaktu se oblouk vyfoukne proudem vzduchu do izolační komory. Kanály mezi jednotlivými přepážkami fungují stejně jako zhášecí štěrbiny příčné komory kapalinového zhášedla. Oblouk je volně unášen vzduchem, přerušení a zasouvání izolačního vzduchu probíhá v místech natahování oblouku tj. v částech smyčky oblouku, které přiléhají ke stěnám štěrbin. Tyto části se prodlužují a jsou omývány plynem axiálně. Dnes se u tlakovzdušných vypínačů vysokého i velmi vysokého napětí používá výhradně trysek s podélným ofukováním vzhledem k ose oblouku.

Základní uspořádání tlakovzdušného vypínače s jednoduchou kovovou tryskou je na obrázku 8.2.

Trysku nazýváme kovovou, protože její hrdlo je tvořeno vnitřní dutinou pevného prstencovitého kontaktu, do které je v zapnutém stavu zasunut válcový roubík. Proces zhášení oblouku je obdobný jako u kapalinových vypínačů s tím rozdílem, že si oblouk sám nevytváří zhášecí plyn. Tlakový vzduch je nashromážděn v prostoru pod tryskou, která je

uzavřena roubíkem. V okamžiku vysunutí roubíku z trysky začne proudit vzduch do prostoru nad kontaktem. Proud vzduchu směřuje proti směru pohybu roubíku na rozdíl od kapalinové axiální komory, kde výron plynů je ve směru pohybu roubíku. Proudící vzduch zanechá oblouk vzniklý po vysunutí roubíku z trysky a hořící mezi hrotem roubíku a stěnou trysky do osy trysky. Jedna pata oblouku zůstává na hrotu roubíku, druhá je přefouknuta na stěnu válce nad tryskou. Při určité vzdálenosti roubíku od ústí trysky, se proud vzduchu nad hrotem radiálně sbíhá k ose hoření oblouku. Tato radiální složka proudění vzduchu pomáhá rozrušit ionizovaný sloupec při průchodu proudu nulou.



Obr. 8.2 – Uspořádání tlakovzdušného vypínače s jednoduchou kovovou tryskou

Přerušení obvodu nastává zasunutím izolační vrstvy vzduchu mezi pahýly ionizovaného sloupce. Aby byl vypínací pochod úspěšný, musí být elektrická pevnost zasouvané vrstvy vzduchu větší než okamžitá hodnota narůstajícího zotaveného napětí. Zotavené napětí narůstá mezi kontakty kmitočtem rovným vlastnímu kmitočtu vypínaného obvodu f_0 . Provedeme-li zjednodušení průběhu čela zotaveného napětí jeho linearizací, pak musí mít vrstva vzduchu tloušťku h za čas

$$\tau = \frac{1}{2f_o} \quad [\text{s}] \quad (8.1)$$

elektrickou pevnost větší než $2 U_m$, což je nejvyšší prakticky dosažitelná velikost první půlvlny zotaveného napětí v takřka ryze induktivním obvodu. Je-li v rychlost proudění vzduchu a tudíž i rychlost narůstání vrstvy o měrné elektrické pevnosti E , je možno výše uvedenou podmínku zapsat ve formě:

$$h = v\tau = \frac{v}{2f_o} \quad [\text{m}] \quad \text{a tedy} \quad (8.2)$$

$$hE = \frac{vE}{2f_o} > 2U_m \quad [\text{V}], \quad (8.3)$$

kde f_o je vlastní kmitočet obvodu.

Uvažujeme-li dynamický pokles tlaku od vzduchojemu k hrdlu trysky v krajním případě na 50% hodnoty ve vzduchojemu a že za tryskou je atmosférický tlak, proudí vzduch tryskou vždy kritickou rychlostí, např. při 20 °C rychlostí 340 m/s, přičemž tlak v trysce klesá asi na polovinu hodnoty tlaku před tryskou. Pak se za jednu desetitisícinu sekundy zasune vrstva vzduchu o tloušťce $h = 340 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 3,4 \text{ cm}$. Pevnost stlačeného vzduchu je pro přetlak 0,3 MPa cca 40 kV/cm, pro 0,6 MPa pak 60 kV/cm a vlastní kmitočet obvodu $f_o = 5000 \text{ Hz}$. Při 2 MPa ve vzduchojemu můžeme počítat s pevností zasunuté vrstvy cca 200 kV. Musíme však uvážit všechny nepříznivé případy, tj. překmit zotaveného napětí $2 U_m$, a trojfázovou neuzemněnou síť. Pak lze vypínač bez rezervy připojit na síť

s efektivním napětím $U = \frac{200\sqrt{3}}{2 \cdot 1,5 \cdot \sqrt{2}} \cong 82 \text{ kV}$. To znamená, že lze vypínač

s takovou zhášecí tryskou použít do jmenovitého napětí 80 kV. Je zde však ještě jedna velmi důležitá podmínka a to, že vlastní kmitočet vypínacího obvodu nesmí převýšit 5000 Hz. Tato podmínka je v případě trysky tlakovzdušného vypínače významná neboť napětí, které systém zvládne, hyperbolicky klesá se stoupajícím vlastním kmitočtem. Tato skutečnost je v případě tlakovzdušných vypínačů jevem velmi nepříznivým. Znamená to, že vypínač hladce zvládne velké zkratové proudy v obvodech s malým vlastním kmitočtem, ale selže při vypínání proudu proudů menších než jmenovitých v obvodu, ve kterém vlastní kmitočet převyší určitou mez. Kmitočet 5000 Hz lze z tohoto hlediska považovat ještě za vyhovující a vypínač při něm pracuje ještě spolehlivě.

Předchozí úvahy a poznatky můžeme shrnout a vyjádříme-li závislost mezi měrnou elektrickou pevností vzduchu E a tlakem ve

vzduchojemu p lineárním vztahem

$$E = k * p, \quad (8.4)$$

pak velikost napětí obvodu, který vypínač spolehlivě vypne nesmí překročit velikost

$$U < \frac{k * p}{f_o}. \quad (8.5)$$

Problém s vysokým vlastním kmitočtem obvodu se projevuje v obvodech vn, zejména je-li vypínač v blízkosti generátoru. V obvodech vvn, které jsou ke zdrojům připojeny přes transformátory, jsou indukčnosti i kapacity velké a vlastní kmitočty obvykle nižší než 5000 Hz. Kmity zotaveného napětí lze utlumit připojením paralelního odporu

$$R \leq \frac{1}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (8.6)$$

ke kontaktům vypínače. Neznáme však velikost indukčnosti ani kapacity vedení. Odpor proto počítáme z podmínky, aby právě ještě stačil utlumit kmity zvolené velikosti, např. 5000 Hz při vypínání mezního vypínacího proudu I_K . Předpokládáme přitom nejnepríznivější obvod a to ryze induktivní a tedy fázový posuv mezi proudem a napětím je 90° , což znamená, že nula proudu nastává v okamžiku maxima napětí. Napětí na kontaktech tedy narůstá přechodným dějem na tuto hodnotu a při periodickém průběhu dochází k překmitu a zotavené napětí může dosáhnout až 1,8 násobku U_N . V obvodu platí

$$I_K = \frac{U_N}{\sqrt{3}\omega L}. \text{ Odtud pak velikost indukčnosti} \quad (8.7)$$

$$L = \frac{U_N}{\sqrt{3}\omega I_K} \text{ [H]}. \quad (8.9)$$

Kapacitu vypočteme ze vztahu pro vlastní kmitočet obvodu

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ [Hz]}. \quad (8.10)$$

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f_o^2 L} \text{ [F]}. \quad \text{Po dosazení} \quad (8.11)$$

$$R \leq \frac{1}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} = f_o L \pi = \frac{f_o U_N \pi}{\sqrt{3}\omega I_K} = 5.78 * 10^{-3} f_o U_N I_K^{-1} \text{ [\Omega]}. \quad (8.12)$$

Tlumicí odpor takto vypočtený bude tlumit při plném zkratovém proudu kmity od 5000 Hz výše. Znamená to, že průběh zotaveného napětí bude při kmitočtu 5000 Hz aperiodický právě na mezi periodicity, při kmitočtech vyšších bude aperiodický tlumený. Aperiodicky tlumeně bude probíhat zotavené napětí i při vypínání proudů menších než je I_K .

K určitému tlumení zotaveného napětí bude docházet i při kmitočtech nižších i když průběh bude periodický. Po uhasnutí oblouku prochází obvodem proud, který je až o dva řády nižší a má takřka ryze ohmický charakter, jeho vypnutí pomocnými kontakty je snazší, dále fázový posuv mezi napětím a proudem se blíží nule, takže při průchodu proudu nulou je i napětí téměř nulové a tedy i průběh zotaveného napětí má příznivý charakter.

Zbývá ještě určit vypínací výkonnost zhášedla z hlediska vypínaného proudu. Velikost proudu, který tryska ještě zvládne, určuje jev zahlcení trysky. Tryska má tvar válce, uprostřed kterého hoří oblouk obklopený vzduchem. Oblouk je zdrojem velkého množství tepla, které je předáváno okolnímu vzduchu, který se rozpíná všemi směry. Znamená to, že tryska představuje samostatný zdroj tlakového plynu. Ve vstupní části trysky působí tento tlak proti tlaku zhášecího vzduchu ze vzduchojemu. Při malých proudech je tento tlak nevýznamný, ale s rostoucím proudem se jeho vliv začíná zvětšovat. Nejprve v okolí maxima proudu nabývá takové velikosti, že brání vstupu čerstvého do trysky nebo jej dokonce zatlačí zpět do přívodního potrubí. Pokud se toto děje jen v okolí maxima proudu a ještě před nulou proudu jej tlak vzduchu ze zásobníku překoná, vypnutí proběhne správně. Při velkých proudech řádu desítek kiloampérů může být protitlak ohřátého vzduchu tak velký, že do přívodního potrubí vnikne značná část horkého ionizovaného vzduchu. Při průchodu proudu nulou pak tlakový vzduch vžene tento ionizovaný vzduch, který nemá dostatečnou izolační pevnost, do prostoru mezi kontakty, oblouk znovu zapaluje a vypínač selhává.

Vzhledem k tomu, že k zahlcení trysky dochází v důsledku působení tlaku obloukem ohřátého vzduchu proti tlaku zhášecího vzduchu, dojde k tomuto jevu se zvyšujícím se tlakem zhášecího vzduchu také při zvyšujícím se proudem. Vyplývá z toho, že vypínací schopnost tlakovzdušné trysky roste s tlakem nejen napěťově, ale i proudově. Na velikost proudové výkonnosti má rovněž vliv světlost trysky. Se zvětšením průřezu trysky vzroste rovněž množství vzduchu, které je nutno ohřát k tomu, aby došlo k zahlcení trysky. K tomu je zapotřebí rovněž většího proudu.

Stejně jako v případě axiální komory kapalinové, tak i u tlakovzdušného zhášedla bylo základní provedení jednoduché kovové trysky upraveno do celé řady modifikací, které měly vést ke zvýšení její účinnosti či přizpůsobení odlišné stavební koncepce vypínače. Jednoduché provedení trysky, obr. 8.2, se příliš nepoužívá, vzhledem

k tomu, že velké množství energie uvolňované obloukem je nežádoucí.

Délku oblouku proto omezuje protielektrodou dle obrázku 8.3.



Obr. 8.3 – Omezení délky oblouku protielektrodou

Další úpravou, která měla vést ke zvýšení zhášecího napětí, byla konstrukce dvojité trysky (obr. 8.4).

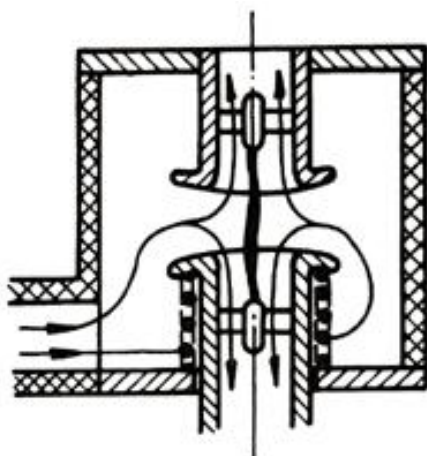


Obr. 8.4 – Konstrukce dvojité trysky

Jde o dvě jednoduché trysky v sérii v jednom celku. Vzhledem k vzájemnému ovlivňování protisměrných proudů však nedošlo ke zvýšení napětí o 100%, ale jen asi o 50% oproti trysce jednoduché.

Na obr. 8.5 je konstrukce, která měla zabránit zanášení par kovu z hrotu roubíku do prostoru mezi kontakty, který regeneruje, což by

vzhledem k nízkému ionizačnímu napětí mohlo tuto regeneraci ohrozit. Vzduch zde proudí z vnějšku a páry jsou odnášeny v tomto případě mimo prostor výboje, do prostoru protielektrod umístěných v dutině kontaktů.



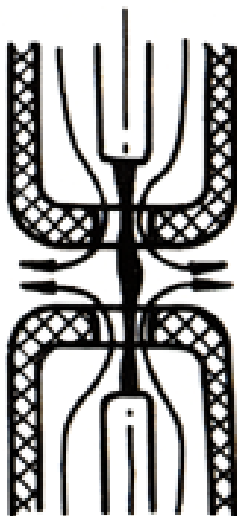
Obr. 8.5 – Konstrukce zabraňující zanášení par do mezikontaktního prostoru

Vývoj vedl i k výrobě trysek z izolačního materiálu (obr. 8.6). Těchto trysek se používá u vypínačů s výfukem plynů do volné atmosféry. Nevýhodou proti trysce kovové je větší zdvih roubíku a skutečnost, že oblouk může uhasnout až v první nule po vysunutí roubíku z trysky, kdežto u kovové trysky v první nule po oddálení kontaktů. Oblouk tedy hoří déle než u systémů kovových, čímž je tedy více namáhána konstrukce zhášedla a zkratový proud protéká obvodem déle.



Obr. 8.6 – Provedení trysky z izolačního materiálu

Na obrázku 8.7 je provedení s dvojitou izolační tryskou.



Obr. 8.7 – Provedení s dvojitou izolační tryskou

Z rozboru činnosti jednoduché trysky vyplývá, že vypínací výkon trysky je závislý na tlaku vzduchu a na světlosti trysky. Experimentálně však bylo prokázáno, že vypínací výkon je dále dosti podstatně závislý na vzdálenosti hrotu roubíku od hrdla trysky. Optimální poloha konce hrotu je nedaleko od vstupního ústí hrdla. Viz obr. 8.2 a 8.3.

Budeme-li roubíkem pohybovat směrem od ústí, vypínací výkon prudce klesá. Vysvětlení hledejme ve zmenšujícím se úhlu radiálního proudění vzduchu, čímž se snižuje rychlost rozrušování zbytkového sloupce a doba pro zasunutí izolační vrstvy se zkracuje.

Naopak, budeme-li roubíkem pohybovat směrem k ústí trysky, radiální proudění vzduchu se zvětšuje, současně se ale seškrcuje průtokový průřez a největší rychlost proudění se přesouvá pod trysku, mimo výbojový sloupec. Rovněž se zde zkracuje doskoková vzdálenost mezi roubíkem a tryskou, takže účinnost trysky klesá jak proudově, tak napěťově.

Optimální vzdálenost mezi pevným a pohyblivým kontaktem je krátká. Vyhovující izolační vzdálenost tato mezera vykazuje, je-li vzduch o dostatečném tlaku. Vzhledem k tomu, že po ukončení vypínacího procesu tlak vzduchu ve zhášedle klesá na hodnotu atmosférického tlaku, není tato vzdálenost taková, aby zaručovala dostatečnou elektrickou pevnost mezikontaktního prostoru. Z tohoto důvodu se nastavuje optimální poloha pro zhášení a po uhasnutí oblouku roubík dokončí pohyb do vypnutí a do následné dostatečně dlouhé izolační vzdálenosti pro vypnutý stav. Proto

jednou z hlavních konstrukčních zásad u tlakovzdušných vypínačů je oddělení zhášecí funkce od funkce odpojovací. Docílíme toho prakticky dvěma způsoby a podle nich dělíme tlakovzdušné vypínače do dvou skupin: skupina vypínačů s brzděným roubíkem a skupina vypínačů s rozpojovačem.



Shrnutí pojmů

Axiální, radiální zhášedlo

Protielektroda – omezení délky oblouku

Dvojitá tryska

Nežádoucí jev – zahlcení trysky

8.2. Tlakovzdušné vypínače vysokého napětí



Čas ke studiu: 60 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

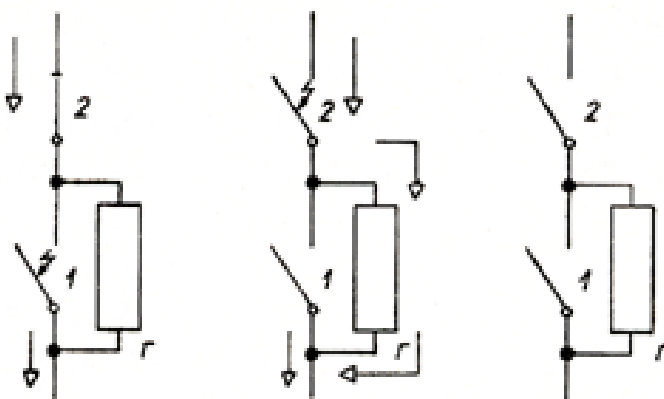
- popsat způsob připojování tlumicího odporu
- popsat funkci vypínače s brzděným roubíkem
- popsat funkci vypínače s odpojovačem
- popsat generátorový vypínač



Výklad

U tlakovzdušných vypínačů vn se téměř výhradně používá jednoduchá tryska, neboť stačí plně vyhovět všem požadavkům na vypínač kladeným. Provedení vn vypínačů je jak s brzděným roubíkem, tak s rozpojovačem.

Připojení zhašecího odporu může být provedeno v zásadě dvěma způsoby. Nejdokonalejší, funkčně nejjednodušší, ale konstrukčně složitější a ekonomicky náročnější je mechanické připojení (obr. 8.8).

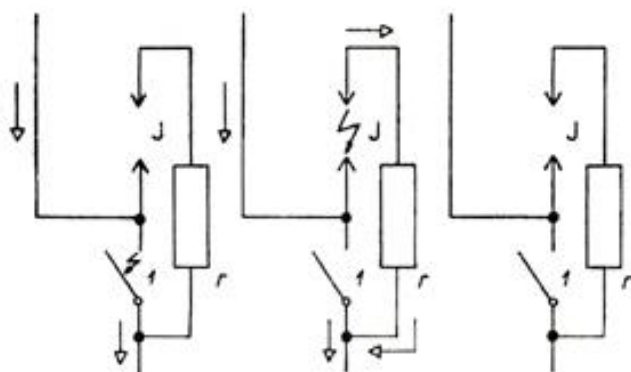


Obr. 8.8 – Mechanické připojení zhašecího odporu k vypínači

Rezistor je do obvodu připojen přes pomocné kontakty, které se rozpojují až po hlavních kontaktech. Znamená to, že rezistor je nejprve připojen paralelně k hlavním kontaktům a tedy k oblouku na hlavních kontaktech a po uhasnutí oblouku sériově s obloukem na pomocných

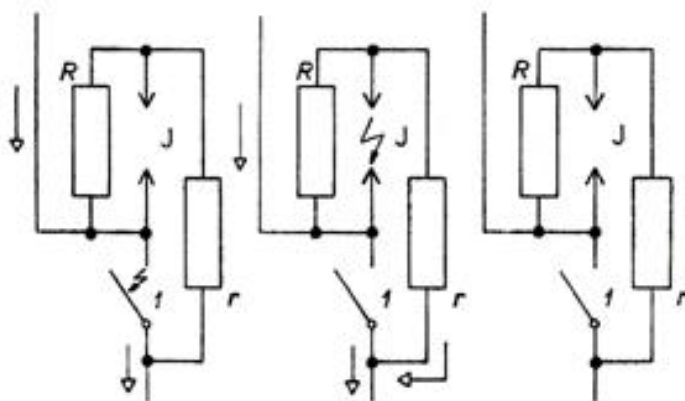
kontaktech. Při zapínání je sled opačný a rezistor slouží k omezení přepětí. Protože je rezistor připojen do obvodu několik period (cca 20 ms), musí být dimenzován na proud i_r .

Při termoionickém připojování zhášecího rezistoru (obr. 8.9) se využívá ionizace prostředí s následným vznikem oblouku mezi pomocnou elektrodou nebo jiskřištěm J , ke kterému je rezistor připojen.



Obr. 8.9 – Termoionické připojení zhášecího odporu k vypínači

K přenesení oblouku na pomocnou elektrodu nebo k průrazu jiskřiště nemusí při snadných vypnutích vůbec dojít a vypnutí proběhne v jednom stupni bez vřazení odporu do obvodu. Tento způsob připojování odporu není vhodný tam, kde je žádoucí omezit přechodné jevy i při zapínání. Má-li být tlakovzdušný vypínač použit i pro vypínání malých indukčních proudů, používá se zapojení (obr. 8.10) se dvěma rezistory.



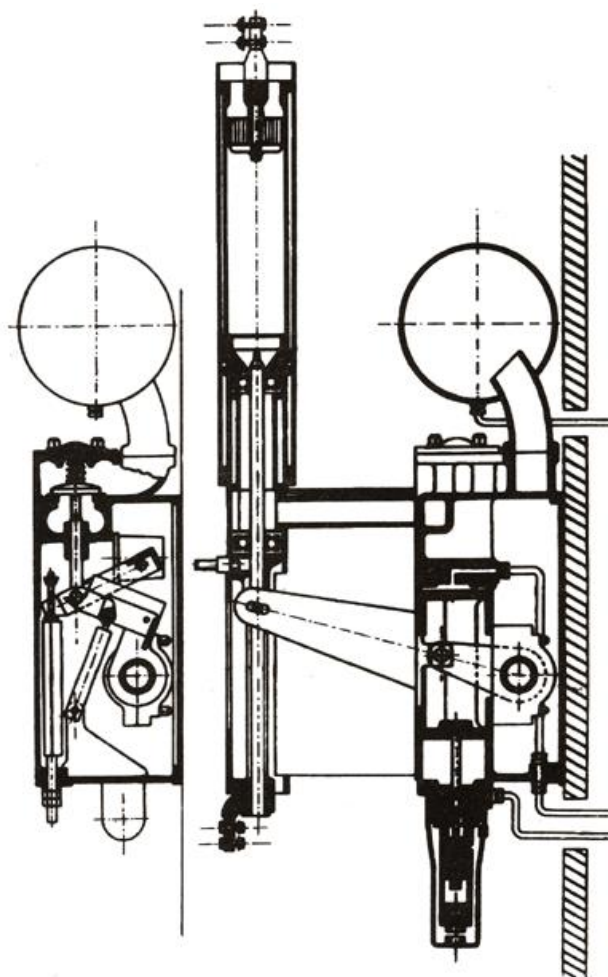
Obr. 8.10 – Připojení odporu při vypínání malých indukčních proudů

Rezistor R má velký odpor a je nelineární, rezistor r se zapojuje do obvodu termoionicky ve druhé fázi vypínání v případě, že dojde k průrazu prostředí mezi pevným kontaktem a opalovací elektrodou.

a) Vypínače s brzděným roubíkem

Jedním z řešení problémů s optimální zhášecí vzdáleností roubíku od trysky jsou vypínače s brzděným roubíkem. Roubík je uváděn do rychlého pohybu tlakovzdušným mechanismem spojeným s olejovou kataraktovou brzdou. Po vysunutí roubíku z trysky, tvořené prstencovým S kontaktem, je jeho pohyb zpomalen až téměř zastaven v optimální vypínací poloze na dobu o něco delší než doba jedné půlperiody. Na dobu delší než jedné půlperiody proto, aby byl v této poloze zaručen průchod alespoň jednou nulou proudu. Počáteční rychlost roubíku je taková, že se zpravidla jedná o první průchod proudu nulou po zapálení oblouku. V této rozhodující nule musí proud tlakového vzduchu definitivně přerušit oblouk, protože roubík pokračuje po uplynutí nastavené doby v pohybu do polohy vyhovující izolačnímu stavu mezikontaktního prostoru ve vypnutém stavu za atmosférického tlaku, a v okamžiku následujícího průchodu proudu nulou je mimo optimální vypínací polohu, což může vést k selhání vypínače, protože zhášecí účinnost systému je podstatně menší a mohlo by dojít k trvalému hoření oblouku.

Na obrázku 8.11 je řez jedním pólem trojpólového vypínače v nástěnném provedení. Roubík, poháněný dvojčinným pístem přes hlavní hřídel a přes ploché izolační rameno, koná přímočarý pohyb. Na litinové skříně pohonu je umístěna tlaková nádoba spojená přívodním potrubím s centrálním vzduchojemem. V dolní části skříně je uložena olejová brzda, v jejíž blízkosti jsou přívody zapínacího a vypínacího ventilu. Ventily jsou ovládány buď dálkově elektromagnety nebo tlačítky ručně. Prostor nad tryskou je s okolní atmosférou spojen přes tlumič. Úkolem tlumiče je alespoň částečně zpomalit výtok vzduchu z vypínače a tím částečně utlumit zvukovou vlnu. Od hlavního hřídele je také odvozeno ovládání ventilu, kterým se vpouští tlakový vzduch pod trysku. Vzduch proudí tryskou tak dlouho, dokud se vypínací roubík nepřesune do konečné vypnuté polohy. Pak teprve ventil uzavírá přívod zhášecího tlakového vzduchu. Objem vzduchojemu musí být takový, aby zásoba vzduchu stačila na dva i více cyklů opětných zapnutí a vypnutí (OZ).

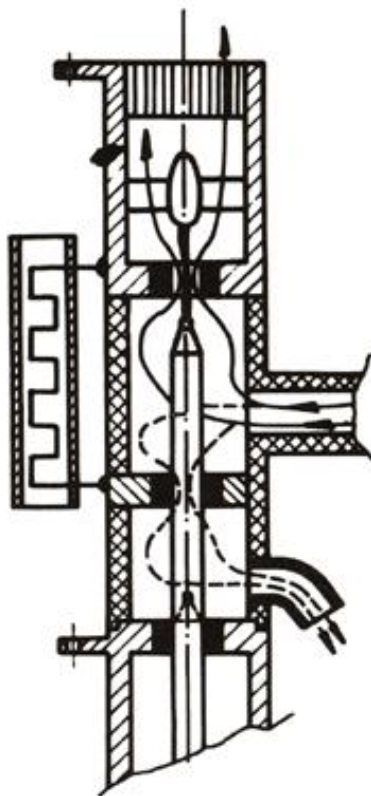


Obr. 8.11 – Řez pólem trojpólového vypínače

Paralelní zhášecí odpor se v tomto případě připojuje mechanicky pomocí dalšího prstencovitého pomocného mezikontaktu.

Na obr. 8.12 je naznačeno zapojení zhášecího odporu do obvodu. Jakmile roubík opustí hlavní kontakt, zapálí se oblouk, který je přemostěn odporem. Po zániku oblouku v nule proudu je odpor vřazen do obvodu a tlumí nárůst zotaveného napětí. Proud o několik řádů nižší (na úrovni proudu jmenovitého) a takřka ohmického charakteru teče obvodem dále. Roubík se pohybuje dále a při opuštění mezikontaktu zapálí nový oblouk. Mezikontakt působí jako zhášecí tryska a v následující první nule proudu oblouk zaniká a obvod je definitivně vypnut. Brzdění roubíku na optimální vzdálenost od trysky je v tomto případě zbytečné, neboť směr tlakového vzduchu a roubíku je shodný.

Při zapínání je pochod opačný. Obvod se nejprve propojí přes zhášecí odpor, kterým proud protéká do doby než se roubík zasune do hlavního kontaktu.



Obr. 8.12 – Princip zapojení zhášecího odporu do obvodu

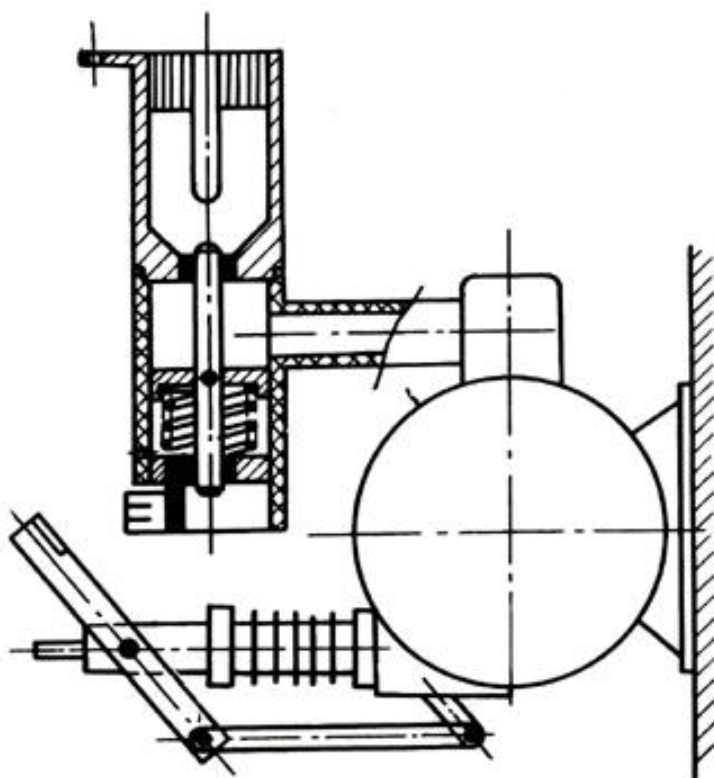
Při vypínání a zapínání protéká odporem velikosti desítek ohmů proud řádu stovek ampérů po dobu cca dvou setin sekundy. Tepelné zatížení odporu je tedy obrovské. Odpory však z ekonomických a rozměrových důvodů nelze dimenzovat na dlouhodobé zatížení, navrhují se tak, že plné zatížení snesou několik desetin sekundy. Tato skutečnost tedy limituje počet opětných zapnutí a vypnutí (OZ) byť i jmenovitých proudů.

b) Vypínače s rozpojovačem

Druhým konstrukčním řešením tlakovzdušných vypínačů jsou vypínače, u nichž je přerušení oblouku a trvalé izolační rozpojení oblouku provedeno samostatným ústrojím.

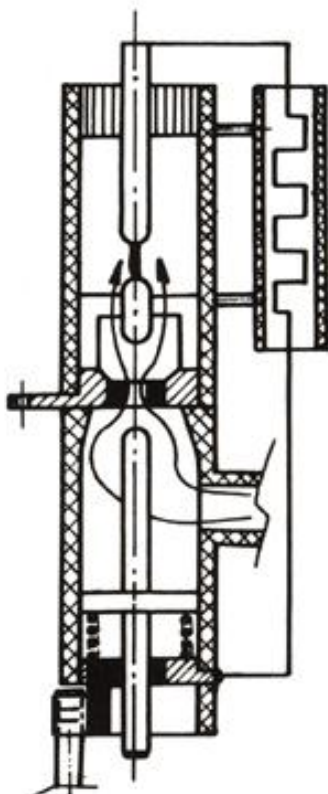
Příklad takového vypínače je na obrázku 8.13. Nejprve se přímým působením stlačeného vzduchu uvede do pohybu píst, se kterým je spojen roubík hlavního kontaktu. Pod pístem je umístěna zapínací pružina, která je tlakem vzduchu na píst stlačena. Zdvih pístu a tedy i roubíku je omezen tak, aby v plně otevřené poloze zůstal opalovací vrchlík roubíku v optimální poloze vůči hrdlu trysky. Proud vzduchu v nule proudu

rozruší zbytkový ionizovaný sloupec a oblouk opět nezapálí. Tlakový vzduch udržuje mezi kontakty plnou izolační pevnost. Mezitím se uvede do pohybu rychlorozpojovač, kterým se vně zhášecího ústrojí nastaví dostatečná izolační vzdálenost pro atmosférický tlak vzduchu. Po nastavení této vzdálenosti, tedy po rozpojení obvodu rozpojovačem, ventil uzavírá přívod tlakového vzduchu k trysce, čímž klesne tlak v prostoru zhášecí trysky na atmosférický tlak a zapůsobením pružiny je roubík zasunut do pevného kontaktu a tedy hlavní kontakt sepnut. Výhodou tohoto systému je oproti systému předchozímu, že není třeba urychlovat a v zápětí brzdít poměrně velké hmoty. Doba od impulsu k uhasnutí oblouku je kratší zhruba o 50%. To předurčuje tento systém k rozšířenějšímu použití v oblasti vypínačů vn před systémem s brzděným roubíkem. Nevýhodou tohoto systému je, že zapínání je prováděno rozpojovacím nožem, což se musí dít zvýšenou rychlostí, aby účinky zapínacího oblouku na kontakty byly minimální.



Obr. 8.13 – Řez pólem trojpólového vypínače

Zařazení paralelního odporu u tohoto systému (obr. 8.14) lze provést prakticky jedině termoionicky.



Obr. 8.14 – Princip termoionického vřazení zhášecího odporu do obvodu

Oblouk, který vznikl mezi roubíkem a hrdlem trysky je přenesen proudem zhášecího vzduchu na s hrdlem vodivě spojenou omezovací elektrodu, která omezuje délku tohoto oblouku. Za omezovací elektrodou je umístěna pomocná elektroda, která má v tomto okamžiku stejný potenciál jako pata oblouku na roubíku. V okamžiku uhasnutí oblouku mezi roubíkem a omezovací elektrodou narůstá mezi pomocnou elektrodou a omezovací elektrodou zotavené napětí. Prostor mezi oběma těmito elektrodami je vyplněn ionizovaným plynem vyfouknutým sem z prostoru hlavního oblouku. Při velké strmosti nárůstu zotaveného napětí, tj. při vysokém vlastním kmitočtu vypínaného obvodu, dojde k průrazu mezi těmito elektrodami a k zapálení oblouku, kterým se zařadí do obvodu paralelní vypínací odpor, který utlumí právě vznikající kmity. Oblouk hořící mezi omezovací a pomocnou elektrodou uhasíná v následující nule proudu a stále proudící tlakový vzduch zajistí izolační pevnost prostoru mezi elektrodami. Nastává rozpojení vnějším rozpojovačem a sepnutí hlavních kontaktů.

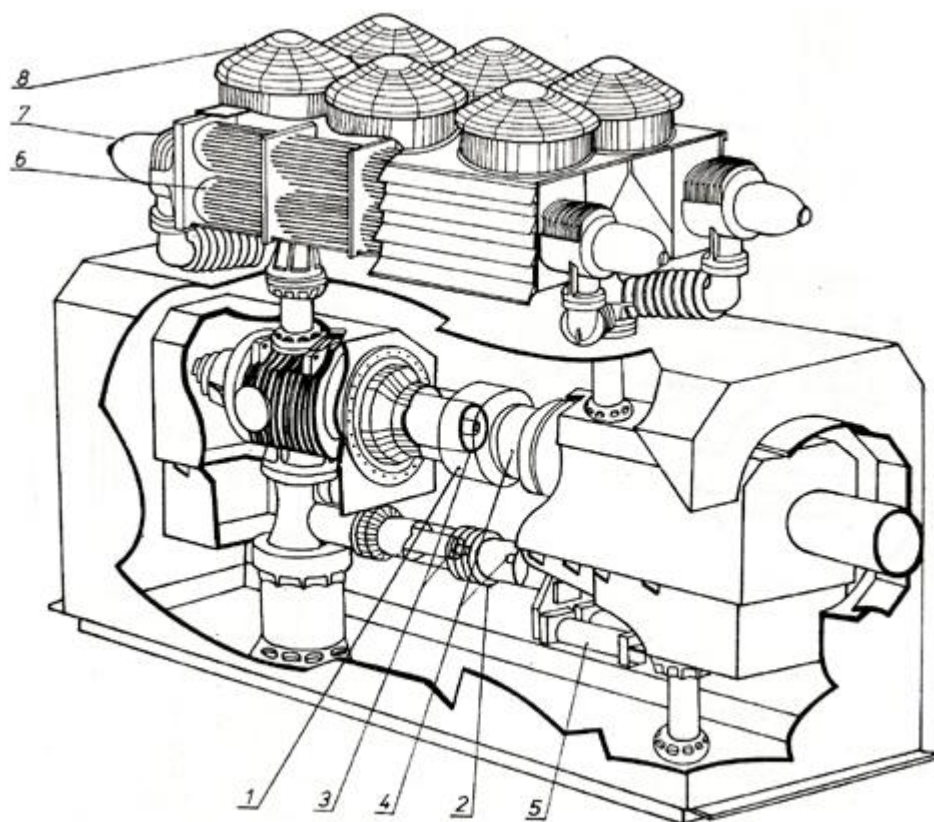
Zásadní rozdíl mezi mechanickým a termoionickým vřazováním zhášecího odporu do obvodu je ten, že v prvním případě je odpor

vřazován do obvodu při každém vypínacím procesu a zhášecí pochod proběhne vždy ve dvou stupních, i když to podmínky v obvodu nevyžadují. U termoionického vřazení nemusí při snadných vypnutích k přeskoku dojít a odpor není do obvodu vřazen.

Zapínání se v termoionických systémech děje vždy přímo, bez předchozího vřazení odporu.

c) Generátorové vypínače

Tyto vypínače představují vzhledem k extrémním podmínkám jejich činnosti speciální konstrukce tlakovzdušných vypínačů. (Obr. 8.15)



Obr. 8.15 – Ukázka generátorového vypínače PKG 2C

1-hlavní zhášecí komora, 2- pomocná zhášecí komora, 3- pohyblivé kontakty, 4- pevné kontakty, 5- zhášecí odpor, 6- chladič, 7- čerpadlo, 8- ventilátor

Velké provozní i zkratové proudy kladou značné nároky na dimenzování proudovodných částí, chlazení přístroje i konstrukci zhášedla. Z tohoto důvodu jsou generátorové vypínače konstruovány jako zapouzdřené jednopólové jednotky, které jsou pro větší proudy (20 až 50 kA) uměle chlazeny pomocí radiátorů ve spojení s ventilátory, po

případě zařízení na nucený oběh chladícího média. Velké vypínací proudy (až 250 kA při 24 kV) si vynucují použití vyšších tlaků (až 3,2 MPa), případně použití dvou zhášecích komor v sérii. Zhášecí odpor bývá do obvodu vřazen prostřednictvím pomocného zhášedla či zhášedel.

Provedení generátorových vypínačů je stavebnicové. Přenos proudu zajišťuje hlavní proudová dráha, dimenzovaná a tvarovaná se zřetelem na využití průřezů a s ohledem na účinky elektrodynamických sil. Kontaktní soustava má pevný kontakt tvořený velkým počtem paralelních palců, pohyblivý kontakt kruhového průřezu je dutý. Hlavní zhášecí komora je impulsového typu a zajišťuje komutaci proudu do paralelní větve tvořené pomocnou zhášecí komorou a rezistorem. Pro vypínání větších proudů paralelními větvemi bývá pomocné zhášedlo přemostěno dalším odporem, zpravidla nelineárním. Po uhasnutí oblouku v paralelní větvi se rozpojuje rychloodpojovač. Se snížením tlaku v hlavní zhášecí komoře dochází k zapnutí hlavních i pomocných kontaktů. Vlastní sepnutí se uskutečňuje jako v předchozím případě rychloodpojovačem.



Shrnutí pojmů

Tlumící odpor

Mechanické a termoionické připojení tlumícího odporu

Brzděný roubík

Vypínač s rozpojovačem

Generátorový vypínač

8.3. Tlakovzdušné vypínače velmi vysokého napětí



Čas ke studiu: 60 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat provedení vypínačů vvn
- popsat funkci kapacitního a odporového děliče u vypínačů vvn



Výklad

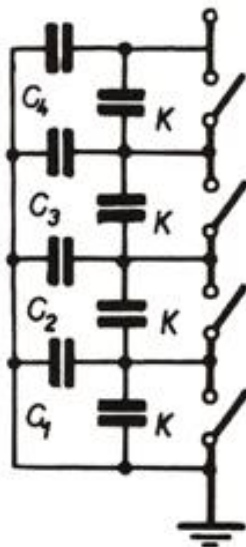
Pokud vhodně zvolenými paralelními odpory ke kontaktům vypínače potlačíme vliv vlastní frekvence na strmost nárůstu zotaveného napětí, vztah pro napěťovou výkonnost trysky $U < \frac{k * p}{f_o}$ se zjednoduší na

$U < k' * p$. Znamená to, že při tlaku $p = 2$ MPa se pohybuje mezní napětí zhášedla u jednoduché trysky kolem 40 kV a u dvojité trysky kolem 60 kV. Převeďeno z fázového napětí na sdružené jsou tyto hodnoty 60 a 90 kV. Znamená to, že tlakovzdušné vypínače vvn musí mít zařazeno do série vždy několik zhášedel, a to podle toho o jak vysoké napětí se jedná. Vypínače na 110 kV se obvykle staví se dvěma zhášedly na pól, vypínače pro napětí 220 kV se staví se 4, 6 nebo dokonce i 8 zhášedly na pól a vypínače pro napětí 400 kV s 8 až 12. Menší počet zhášedel se volí pro vypínače menších výkonů. Pro vypínače na velké vypínací proudy (kolem 20 kA a větší) pak větší počet zhášedel, aby počáteční strmost zotaveného napětí na zhášedlo byla menší. Pro vypínače na nejvyšší napětí a vypínací proudy se užívá tlaků 3,2 MPa a vyšších.

Základní podmínkou pro řazení zhášedel do série je to, že všechna zhášedla budou pracovat za stejných podmínek. Znamená to, že všechny kontakty se začnou oddalovat současně, aerodynamické poměry budou ve všech zhášedlech stejné a zotavené napětí se rozdělí na jednotlivé trysky co nejrovnoměrněji.

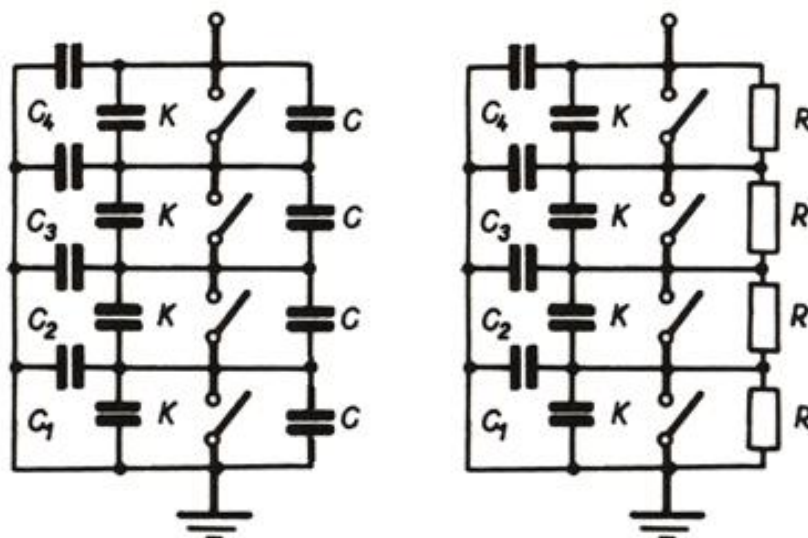
Pokud nejsou provedena vhodná opatření, ocitají se po uhasnutí oblouku a přerušení galvanického spojení kontaktní systémy jednotlivých zhášedel, která jsou zapojena v sérii, na neurčitým potenciálu, který je dán pouze jejich vlastními kapacitami navzájem a proti zemi. Nejhorším

případem je zemní zkrat, kdy je řada zhášedel jedním koncem přímo uzemněna. Na obrázku 8.16 je schéma zapojení takového řetězce vzájemných kapacit K a kapacit proti zemi C_i .



Obr. 8.16 – Schéma zapojení řetězce vzájemných kapacit proti zemi

V tomto případě $C_1 > C_2 > C_3 > C_4$ a zotavené napětí se rozloží na jednotlivá zhášedla v opačném poměru velikosti kapacit. Znamená to, že systémy bližší zemi jsou napětově odlehčeny a naopak systémy vzdálené přetíženy. Celkový výkon celé řady zhášedel je pak určen zhášedlem nejvíce zatíženým a ostatní nejsou zcela vytížena. Proto je nutno rovnoměrné zatížení všech zhášedel a zajištění plného výkonu vypínače dosáhnout umělým řízením potenciálu. Toho lze dosáhnout připojením pomocného děliče napětí podél řady zhášedel. Dělič může být buď kapacitní (obr. 8.17) nebo odporový (obr. 8.18).

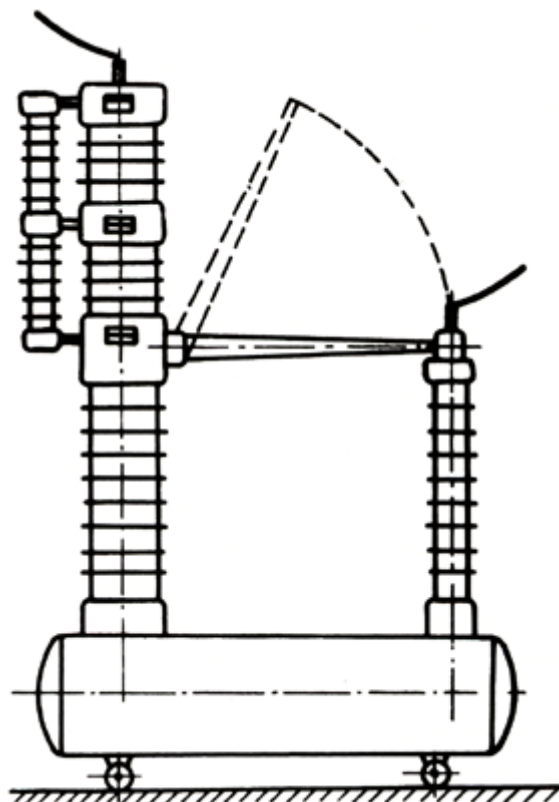


Obr. 8.17 a 8.18 – Schéma zapojení děliče kapacitního a odporového

Dělič je dimenzován tak, aby jím tekla proud alespoň o řád vyšší, než řetězcem kapacit, přičemž jednotlivé prvky děliče jsou stejné. V případě kapacitního děliče musí tedy kapacity C být o řád větší než kapacity vlastní C_i . Součtem s vlastními kapacitami se opět rovnoměrnost výsledných kapacit mezi jednotlivými zhášedly poněkud poruší. Nerovnost bude tolikrát menší, kolikrát větší bude rozdíl mezi kapacitami C a C_i .

Výhodnější než dělič kapacitní se jeví dělič odporový, který současně pomáhá tlumit kmity zotaveného napětí. Vzhledem k tomu, že se jedná o vysoké ohmické hodnoty, není jejich tlumící vliv příliš velký. Výhodné je tedy použít napěťově závislé odpory z karbidu křemíku s nelineární charakteristikou, jaké se používají u ventilových bleskojistek. Tyto odpory lépe zastanou funkci děliče napětí a zároveň zhášecího odporu. Se vzrůstajícím napětím se jejich odpor zmenšuje, a tím se zvyšuje tlumící účinek. Zařazení paralelního proudovodného prvku do obvodu samozřejmě vyžaduje, vzhledem k trvalému průtoku byť i malého proudu, zařazení dodatečného zařízení na jeho vypnutí.

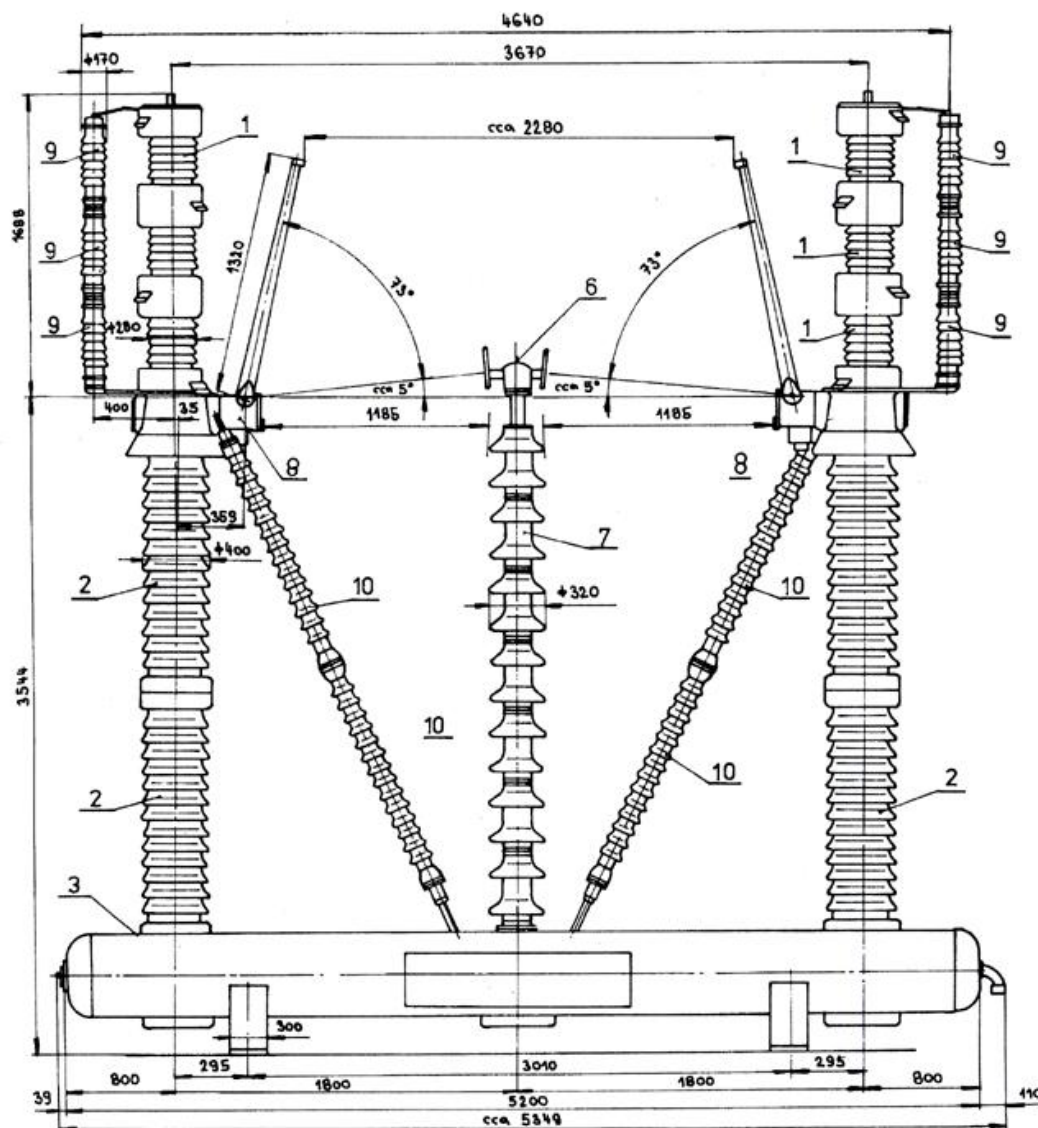
Tlakovzdušné vypínače vvn se vnějším provedením podobají vypínačům máloolejovým, protože jejich řešení vycházelo ze systému máloolejových vypínačů. Starší provedení tlakovzdušných vypínačů vvn na obrázku 8.20 s vertikálním uspořádáním zhášedel používá sloupové koncepce.



Obr. 8.20 – Provedení tlakovzdušných vypínačů vvn s vertikálním uspořádáním zhášedel

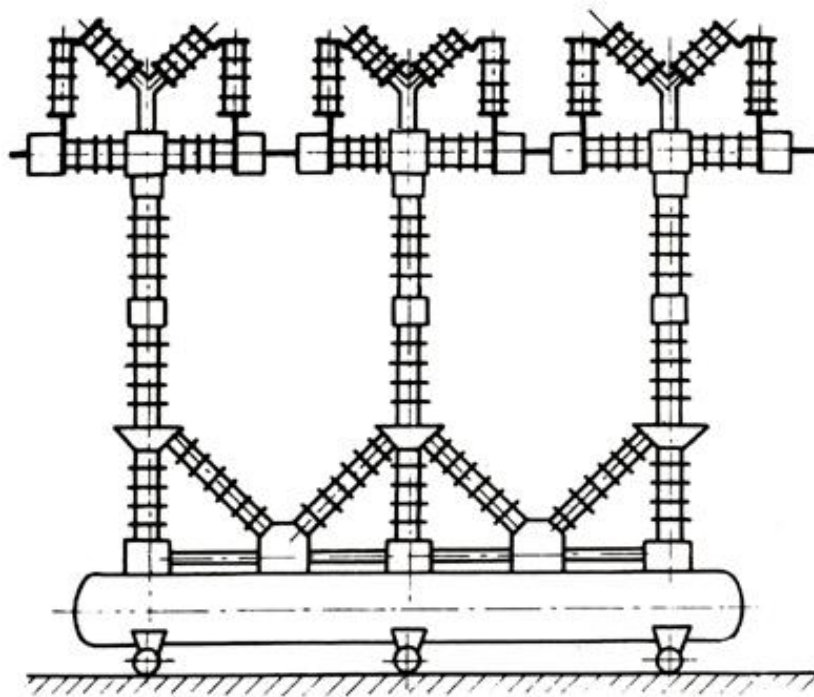
Zhášedla jsou uspořádána nad sebou a jsou umístěna v dutých porcelánových převlecích v dostatečné izolační výšce od země. Vypínací sloup je spojen s pákovým rychlorozpojovačem. Základnu tvoří válcový vzduchojem. Takto konstruované vypínače dosahují značných výšek (u napětí 400 kV až 9 m) a musejí se tedy vyztužovat podpěrami. Proto se pro nejvyšší napěťové hodnoty sestavují ze dvou sloupů spojených rozpojovačem. (Obr. 8.21).

Rozpojovače se současně používají jako vypínače proudu protékajícího děliči pro rovnoměrné rozložení napětí na jednotlivých zhášedlech. U sloupových vypínačů je velmi obtížné dosáhnout současného otírání kontaktů a stejných tlakových poměrů ve všech tryskách, pokud je vzduch přiváděn zespodu dutinou hlavního podpěrného sloupu, vzhledem k tomu, že proud vzduchu i tlak se k nejvzdálenějšímu zhášedlu dostává později. Řešením bylo nejprve natlakovat sloupec zhašedel a pomocí ventilů ovládaných izolačními táhly vzduch vpustit ke kontaktům, případně použití pomocných vzduchojemů, umístěných přímo mezi zhášedly na plném potenciálu.



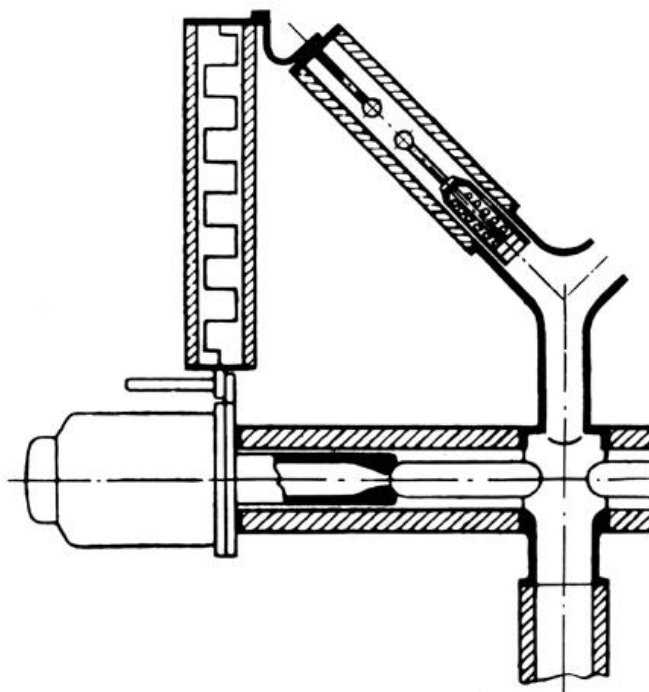
Obr. 8.21 – Dvousloupové uspořádání tlakovzdušného vypínače vvn VV 220, Škoda Plzeň, 220 kV, 1200 A, 20 kA. (1-zhášecí komora, 2-podpěrný izolátor, 3-tlaková nádoba, 4- ovládací skříň, 5-rozpínací nůž, 6-kontakt, 7-izolátor, 8-ovládací mechanismus rozpínače, 9-paralelní odpor, 10-výztužné izolátory

Byla proto vyvinuta koncepce tlakovzdušných vypínačů s vodorovným řazením zhášedel. Výhodou je nižší stavební výška a možnost stavebnicového vytváření vypínačů na různá napětí kombinací stejných prvků. Vypínače různých napětí se liší jen počtem sloupů, jejich výškou a délkou vzduchojemu. Základem je vždy dvojice zhášedel na společném sloupu. Na obrázku 8.22 je celkové uspořádání jednoho pólu vypínače 220 kV.



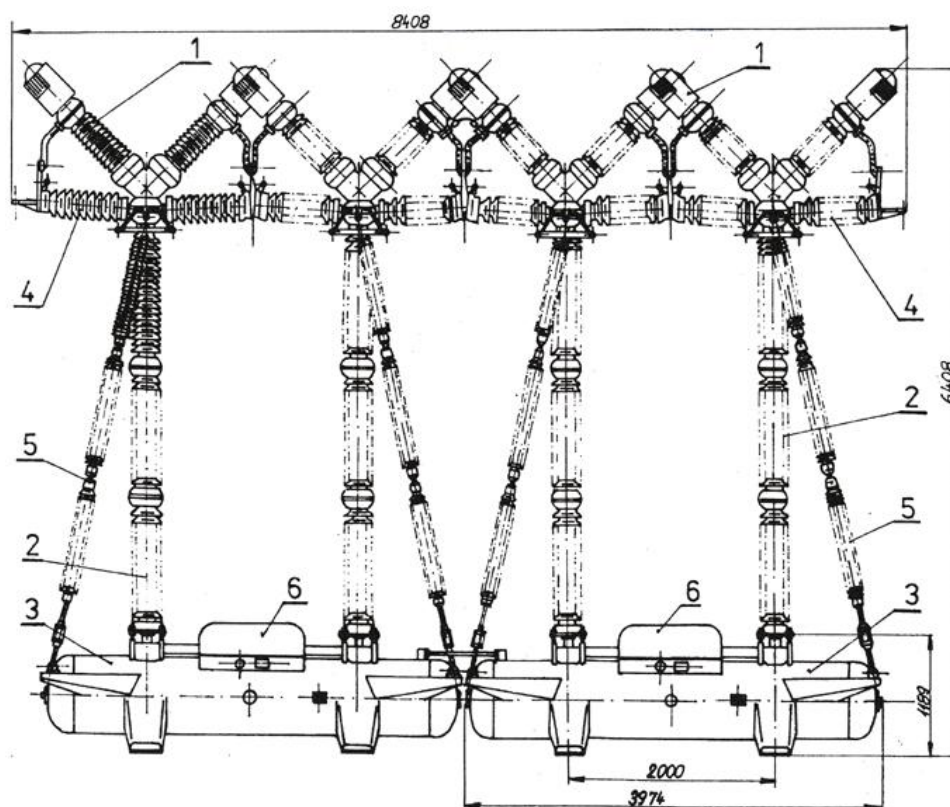
Obr. 8.22 – Uspořádání jednoho pólu tlakovzdušného vypínače vvn 220kV.

Detail zhášedla s jedním odporem děliče je na obrázku 8.23.



Obr. 8.23 – Detail zhášedla s jedním odporem děliče

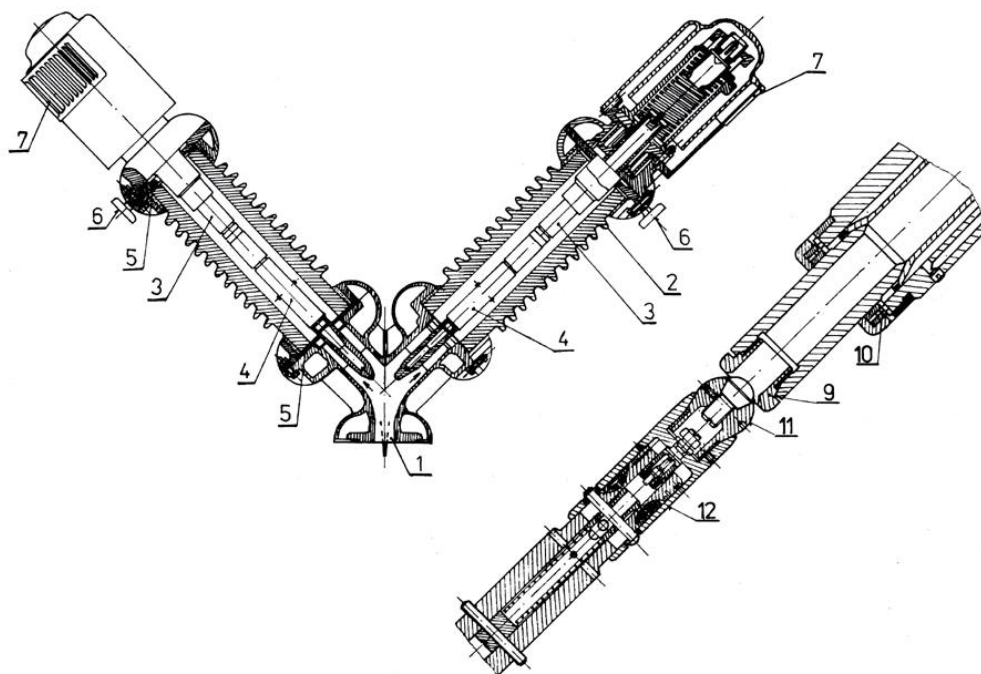
V zapnutém stavu tlačí pružiny dutý pohyblivý kontakt k pevnému válcovému roubíku. Přivedením stlačeného vzduchu při vypínání je pohyblivý kontakt odtačen a po určité době uzavřen výfukový ventil. Celý prostor je vyplněn tlakovým vzduchem. Současně je provedeno tlakovým vzduchem sepnutí kulových kontaktů v pomocném zhášedle a zapojen nelineární odpor paralelně k hlavním kontaktům a to dříve než je oblouk v nule proudu uhašen. Pomocí malého přepouštěcího otvoru se vyrovnají tlaky před a za pístem v pomocném zhášedle, kulové kontakty se působením stlačené pružiny oddálí a přeruší proud tekoucí větví děliče poté co uhasí oblouk mezi hlavními kontakty. Odpory se u tohoto systému připojují ke kontaktům na krátkou dobu v okamžiku zániku oblouku. Prostor zhášedla zůstává po celou dobu vypnutí naplněn stlačeným vzduchem, kontakty jsou trvale odděleny. Tomuto uspořádání říkáme tlakový rozpojovač. Jiný rozpojovač vypínače v horizontálním uspořádání nemají. Pákový rozpojovač není možné s konstrukčního hlediska na těchto vypínačích umístit.



*Obr. 8.24 – Uspořádání tlakovzdušného vypínače s kapacitním děličem
VVR 400 Škoda Plzeň, 420 kV, 2000 A, 36 kA,
(1-zhášecí komora, 2-podpěrný izolátor, 3-tlaková nádoba, 4-kondenzátor,
5-izolátor, 6-ovládací skříň)*

Jiný příklad uspořádání tlakovzdušného vypínače s kapacitním děličem je na obr. 8.24.

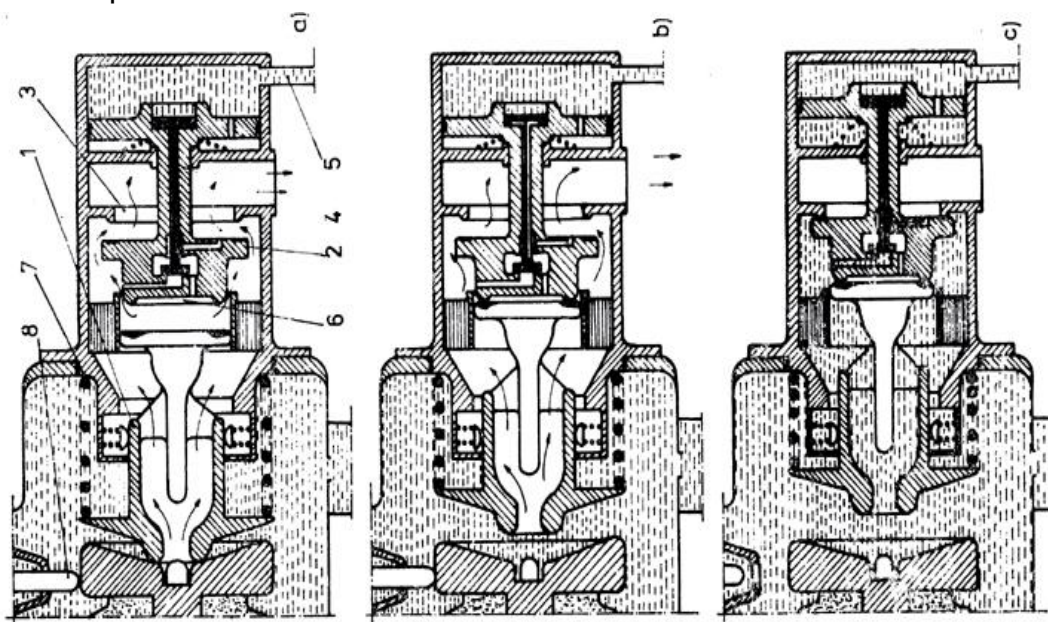
Na obr. 8.25 je zhášecí modul tohoto vypínače.



*Obr. 8.25 Zhášecí modul tlakovzdušného vypínače s kapacitním děličem
1- přívod tlakového vzduchu, 2- izolátor, 3- Pohyblivý kontakt se zhášecí
tryskou, 4- pevný kontakt, 5- těsnění, 6- přívod proudu, 7- výfuk, 8-
pružina, 9- zhášecí tryska, 10- převodní kontakty, 11- opalovací kontakt,
12- odpružená část pevného kontaktu*

Po přivedení tlakového vzduchu do zhášecí komory a po zvýšení tlaku vzduchu nad tzv. otevírací tlak, je překonána síla pružiny a začne se pohybovat pohyblivý kontakt i s pevným, který má zdvih jen 10mm. Tímto současným pohybem se má docílit současnosti všech zhášecích komor, protože při zapínání zkratových proudů může nastat částečné přivaření zhášecí trysky a opalovacího kontaktu. Kinetická energie takto získaná se využije pro oddělení takto případně svařených kontaktů. Pohyblivý kontakt se dále pohybuje na tzv. optimální zhášecí zdvih, ve kterém jsou kontakty brzděny a zháší se zde oblouk. Po vypnutí proudu se kontakt pohybuje dále až na konečný tzv. izolační zdvih. Kontakt vykonal funkci vnitřního rozpínače. Při zapínání se prostor zhášecích komor odvzdušní a pružina vrací hlavní kontakt do zapnuté polohy. Při dotyku s posuvnou částí

pevného kontaktu se pomocí komprese v dutině za pevným kontaktem tlumí zapínací ráz.



Obr. 8.26 – Schematické znázornění funkce zhášecí komory vypínače firmy ASEA

Na obrázku 8.26 je schematické znázornění funkce zhášecí komory vypínače firmy ASEA.

Velmi dobře ilustruje uspořádání mechanismu zajišťujícího prodlevu v místě zhášecího zdvihu. Toho je docíleno vzájemnou mechanickou a pneumatickou vazbou pohyblivého kontaktu a pístu. Píst se v první fázi pohybuje proti pohyblivému kontaktu, otevře se výfuk a tlak vzduchu působí na plochy pohyblivého kontaktu proti pružině. Tím se začne pohybovat pohyblivý kontakt až do nárazu na píst, kde se zastaví. Po vyrovnání tlaků před a za pístem nastává druhá fáze, fáze izolačního zdvihu. Pohyblivý kontakt i píst se pohybují spolu až do uzavření výfuku. Funkce je řízena pomocí ventilku umístěného v pístu. Při zapínání se odvzdušná ovládací trubka, ventilku se přesune do zadní polohy a tím se zavzdušní prostor mezi pohyblivým kontaktem a pístem a pohyblivý kontakt zapne.



Shrnutí pojmů

Provedení vypínačů vvn

Zhášedla s odporovým a kapacitním děličem

8.4. Autopneumatické (samotlaké) vypínače



Čas ke studiu: 15 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat funkci samotlakých vypínačů
- popsat jejich výhody a nevýhody
- popsat konstrukční provedení

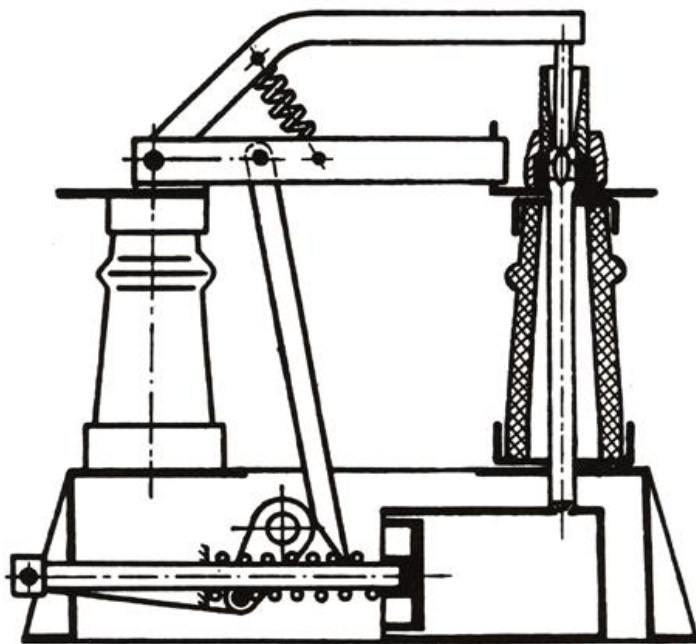


Výklad

Tyto vypínače se od vypínačů tlakovzdušných liší tím, že proud vzduchu potřebný pro zhášení oblouku si vyrábí vypínač sám až v okamžiku vypínacího pochodu. Nemají tedy zásobník vzduchu. Řadíme je mezi vypínače s cizí energií. Množství a tlak stlačeného vzduchu jsou vždy stejné, přestože výroba nastává až po vypínacím impulsu. Zdrojem vypínací energie je energie nastřádaná ve vypínací pružině, která uvádí do pohybu nejen kontakt, ale také píst, který vhání vzduch do prostoru zhášecí trysky.

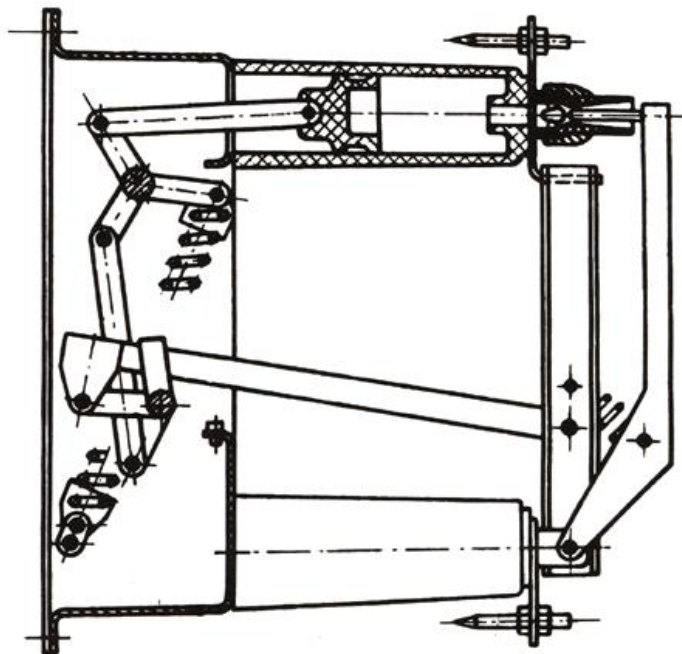
Tyto vypínače nepotřebují tedy kompresorovou stanici a rozvod vzduchu. Lze je použít i v malých rozvodnách. Autopneumatických systémů se používá výhradně u vypínačů vn malých výkonů, především odpínačů.

Na obr. 8.27 je uveden příklad vypínače, který má válec s pístem společný pro všechny tři fáze a rozvod k jednotlivým tryskám je proveden izolačními trubkami v dutině podpěrných izolátorů.



Obr. 8.27 – Autopneumatický vypínač

Na obr. 8.28 je výkonnější typ autopneumatického vypínače. Každý pól má samostatný válec.



Obr. 8.28 – Výkonnější typ autopneumatického vypínače

Válec tvoří přímo dutina podpěrného izolátoru a prostor nad pístem přímo navazuje na zhášecí trysku. Tlakové ztráty jsou minimální. Plně se využívá energie malého množství vzduchu. U obou provedení se ručně při zapínání napne vypínací pružina. Po vybavení volnoběžky se uvede do pohybu píst a hlavní kontakt. Tryska je uzavřena opalovacím roubíkem a píst stlačuje vzduch ve válci. Hlavní kontakt vybaví pomocí pružiny mžikový zhášecí kontakt s určitým zpožděním. Přetlak vzduchu bývá jen několik setin MPa, takže rychlost proudění se pohybuje jen kolem 100 m/s. Optimální zhášecí vzdálenost vzhledem k souhlasnému směru pohybu roubíku a vzduchu je tvořena stabilně polohou pevného opalovacího kontaktu. Zhášecí tryska je izolační.



Shrnutí pojmů

Autopneumatické vypínače

Použití, výhody a nevýhody

9. Plynotvorné vypínače – vypínače s tuhým hasivem



Čas ke studiu: 15 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat činnost plynotvorných vypínačů



Výklad

Plynotvorné vypínače se také nazývají vypínači s tuhým hasivem. Pracují na principu rozkladu tuhé látky hořícím obloukem a vývinu plynů při tomto rozkladu. Jedná se o systém s vlastní zhášecí energií. Plynotvorná hmota musí vytvářet velké množství plynů bez velkého množství sazí, které by zhoršovaly povrchovou elektrickou pevnost blízkých izolantů. Hmota sama musí být dobrým izolantem, musí být trvanlivá, neměnit své vlastnosti vlivem vlhkosti, nesmí rychle ubývat. Takovou látkou je fibr. Je to směs kyseliny borité, močovinoformaldehydové pryskyřice a dalších přísad. Nejlépe se osvědčily látky na bázi polymetalmetakrylátu. (plexisklo, dentakryl).

Nejstarším provedením zhášedla s tuhým hasivem byla trubka z plynotvorné látky, uvnitř které hořel oblouk mezi pevným a pohyblivým kontaktem - výsuvným roubíkem. Plyny uvolňující se hořením oblouku z plynotvorné trubky po vysunutí roubíku unikají uvolněným otvorem, rozrušují v nule proudu zbytkový sloupec a mechanickou výměnou prostředí zabráňují znovuzapálení oblouku. Množství vytvořených plynů v tomto uspořádání závisí na světlosti trubky a vzdálenosti hořícího oblouku od stěn této trubky. Nelze tedy tímto jednoduchým uspořádáním vytvořit zhášedlo pro větší proudy, neboť s rostoucím proudem se zvětšuje průměr roubíku, tím i světlost trubky, s jejíž zvětšováním účinnost klesá (oblouk hoří ve větší vzdálenosti od stěn).

Na obr. 9.1. je zhášedlo vypínače na několik set ampérů.



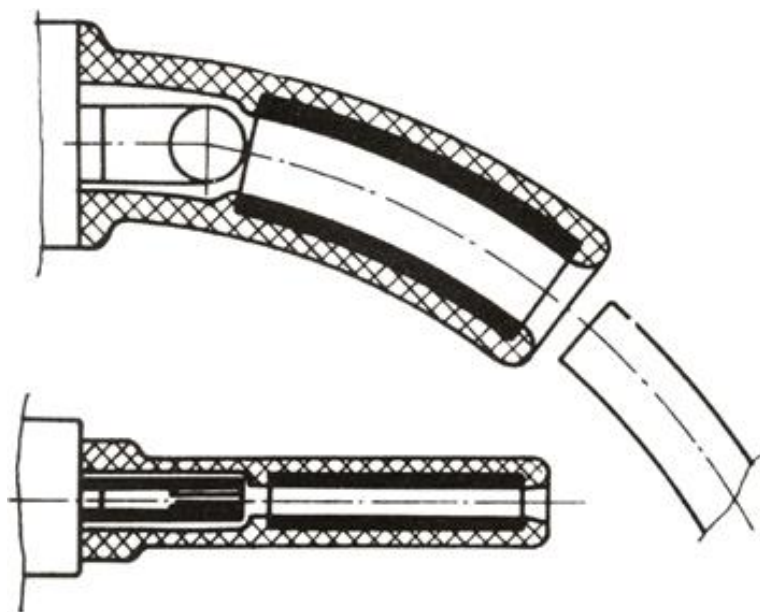
Obr. 9.1. – Řez plynotvorným zhášedlem

Spínací trubka se pohybuje v úzké štěrbině mezi trnem a pouzdrem z plynotvorné hmoty, takže je zajištěn těsný styk mezi obloukem a hmotou. Při velkých vypínacích proudech a tedy velkém množství plynů oblouk uhasíná v první nule po uvolnění radiální zhášecí štěrby roubíkem. Při malých proudech, zvláště v kritické oblasti, je třeba větší délky oblouku než se vytvoří dostatečné množství plynů. Oblouk se prodlužuje do spodní části a případně uhasíná až spolupůsobením axiálního ofukování po vysunutí trubkového kontaktu z komory. Vypínače se stavěly do napětí 22 kV a vypínacího výkonu 200 MVA.

Pro zvýšení účinnosti se stavěly plynotvorné vypínače s plochým pákovým kontaktem se šavlovitě zakřiveným nožem na konci, který zajížděl do ploché komory vyložené plynotvornou hmotou. Obr. 9.2. Toto provedení zajišťovalo dokonalejší styk oblouku se stěnami plochého pouzdra.

Vypínače s tuhým hasivem dosahují při srovnání se všemi ostatními systémy zhášedel nejmenších vypínacích výkonů. Srovnání provedeme pro kapalné a pevné hasivo. Zplynění pevné látky je obtížnější než zplynění kapaliny. Znamená to, že stejným množstvím obloukové energie vyrobíme mnohem větší množství plynů z oleje či vody, než z kterékoliv plynotvorné pevné hmoty. Dále rozhoduje styk oblouku se zhášecím prostředím. Kapalina obklopuje oblouk po celém jeho povrchu. Veškeré teplo vzniklé v trupu oblouku se předává okolní kapalině. Při styku oblouku s pevnou látkou však tomu tak není.

I v úzké štěrbině se oblouk stýká jen částí svého povrchu se stěnami zhášedla. Dále styk oblouku s kapalinou je i při opakovaném spínání stále stejný, kdežto u pevné hmoty dochází k jejímu opalování a postupnému rozšiřování štěrbiny. Kapalina se zviřuje expandujícími plyny a probíhá stálé vnikání částíček nerozloženého oleje do blízkosti jádra oblouku a tím vytváření center pro účinnou rekombinaci nabitých částí v bezprostřední blízkosti jádra oblouku, což se u tuhého hasiva neděje. Souhrn těchto skutečností snižuje účinnost zhášedel s tuhým hasivem.



Obr. 9.2. – Plynotvorný vypínač s plochým pákovým kontaktem



Shrnutí pojmů

Plynotvorný vypínač

Tuhé hasivo, fíbr

10. Plynové vypínače (SF_6) a zapouzdržené rozvodny



Čas ke studiu: 45 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat vlastnosti plynu SF_6



Výklad

Rostoucí požadavky na spínací přístroje a rozvodná zařízení vn a vvn vedly k hledání nových izolačních a zhášecích látek. Vypínací výkon tlakovzdušného vypínače lze zvýšit, nahradíme-li vzduch plynem s vhodnějšími izolačními vlastnostmi. Běžné tlakovzdušné vypínače ani rozvody nejsou úplně vzduchotěsné a trvale dochází k malému úniku vzduchu, což nevadí, protože se uvede v činnost kompresor a ztráta tlaku se lehce doplní. U technických plynů to není možné. Situace se mění, jedná-li se o vhodný elektronegativní plyn a uzavřený systém.

10.1. Elektronegativní plyn SF_6

Jako elektronegativní označujeme velkomolekulární plyn s velkou elektronovou afinitou. Elektronová afinita prvku je energie, která se uvolní připoutáním jednoho elektronu neutrální částicí. Elektronegativní plyny vytvářejí především prvky, kterým chybí jeden nebo dva elektrony do uzavření valenční sféry.

V tabulce 10.1. je seřazeno pro informaci podle atomového čísla několik prvků s údaji vztahujícími se k předchozímu. Molekuly elektronegativních plynů snadno poutají volné elektrony. Doplnují si tím valenční sféry na úplný počet, stávají se zápornými ionty o velkém průměru a hmotnosti. Jejich urychlení vlivem elektrického pole je nesnadné. Pokud ionizují, rychlosti kladných iontů se od záporných příliš neliší, takže po ionizaci značný počet částic opět rekombinuje, čehož důsledkem je všeobecně velká pevnost elektronegativních plynů v porovnání se vzduchem. Každý elektronegativní plyn se však nehodí pro zhášení oblouku. Jedná se o ty plyny, které tepelným rozkladem uvolňují uhlík či poměrně brzy kapalní. (Tabulka 10.2.)

Atomové číslo	Prvek	Počet drah valenčních elektronů	Počet valenčních elektronů	Elektronová afinita eV
1	H	2	1	0,75
6	C	6	2	1,7
8	O	6	4	2,2
9	F	6	5	3,6
16	S	6	4	2,4
17	Cl	6	5	3,8
34	Se	6	4	2,1
35	Br	6	5	3,5
53	I	6	5	3,8

Tabulka 10.1. Počet valenčních elektronů některých prvků

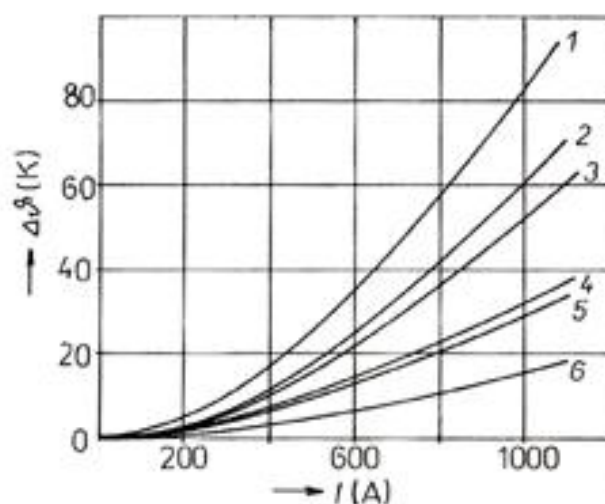
Jedním z elektronegativních plynů je plyn SF₆ – *fluorid sírový*, který se ukázal jako nejvhodnější. Tento se v přírodě nevyskytuje, byl vytvořen uměle. Plyn se vyznačuje velkou elektrickou pevností, nehořlavostí, velkou chemickou stálostí, výbornými zhášecími vlastnostmi a dobrými vlastnostmi při odvodu tepla.

Název sloučeniny	Chemická značka	El. pevnost jako násobek pevnosti vzduchu	Bod varu °C
Chlorid uhličitý	C Cl ₄	6,3	76
Kysličník siřičitý	SO ₂	2	-10
Freon- dichlordifluormetan	C Cl ₂ F ₂	2,4	-28
Fluorid selenový	SeF ₆	2,9	-34
Fluorid sírový	SF ₆	2,4	-64

Tabulka 10.2. - Příklad elektronegativních plynů

Proto se stal fluorid sírový základem nové generace přístrojů a rozvaděčů vn a vvn. Fluorid sírový patří mezi nejstabilnější chemické sloučeniny. S žádnou látkou nereaguje až do teploty 550° C. Je v plynném skupenství bezbarvý, nejedovatý, nehořlavý, bez zápachu, je velmi těžký. Jeho hustota je při normálním tlaku 5krát větší než hustota vzduchu. Vzrůst elektrické permitivity s rostoucím tlakem je u SF₆ strmější než u ostatních

plynů. Součinitel přestupu tepla při 0,1 MPa je 1,6krát a při 0,2 MPa 2,5krát větší než pro vzduch. To má obrovský význam pro chlazení, tedy odvod tepla ze spínačů a ostatních zařízení plněných SF₆. Na obr. 10.1. jsou ukázány průběhy oteplení roubíku a izolátoru pro vzduch a SF₆ pro různé velikosti tlaků.



Obr.10.1. – Oteplení roubíku a izolátoru

Účinkem teplot elektrického oblouku se zčásti mění na sloučeniny s menším obsahem fluoru, ale ty se z valné části spojují opět do SF₆. Jen malá část jich v přístroji zůstává a musí se zachytit vhodným absorbentem. Vlivem silné rekombinace při poklesu teploty se množství SF₆ ve vypínači příliš nemění a pokles tlaku při opakovaném vypínání je velmi malý. Při rozpadu SF₆ vlivem elektrického oblouku vznikají hlavně tyto produkty SF₂ – jedovatý plyn, S₂F₂ – zapáchající plyn, SF₄ – velmi dráždivý plyn, S₂F₁₀ – nebezpečný plyn, fluoridy, HF – fluorovodík, velmi agresivní, napadající dílce v nejbližším okolí, zejména materiál zhášecích trysek. Proto se užívá trysek izolačních z teflonu. Žhavé kovy ve styku s SF₆ tvoří kovové fluoridy, které se usazují jako jemný bílý prach na stěnách přístroje. Jsou to látky izolačního charakteru (pokud prostředí není nadměrně vlhké), takže neporušují povrchovou izolační pevnost izolantů zhášedla. Mohou však působit nepříjemně na třecích plochách mechanismu vypínače, způsobit zadírání pístu ve válci.

Elektrická pevnost SF₆ je za normálního tlaku více než dvakrát větší než pevnost vzduchu. Je nutné udržovat jeho vlhkost na velmi nízké úrovni z důvodu rosení na izolačních částech při ochlazování soustavy. Vlhkost má také podstatný vliv na rozklad SF₆ elektrickým obloukem.

Faktory, které ovlivňují elektrickou pevnost lze, rozdělit takto:

- faktory ovlivňující přímo – tlak plynu, vzdálenost a tvar elektrod (homogenity elektrického pole)
- faktory, které lze ovlivnit - vlhkost a nečistota plynu, nečistota elektrod – lze ovlivnit
- faktory, se kterými je třeba počítat – doba a tvar přiloženého napětí, plocha a drsnost elektrod

Z hlediska zhášení oblouku můžeme o SF_6 říct, že vykazuje výjimečnou kombinaci příznivých termodynamických a elektrických vlastností, které můžeme shrnout do několika bodů:

- snadnou ionizovatelnost plazmatu SF_6 , a tím nízké obloukové napětí a energii oblouku v proudové oblasti zhášení
- nízkou teplotu disociace plynu, a tím výhodný teplotní profil oblouku s úzkým vodivým jádrem obklopeným nevodivým obalem
- krátkou časovou konstantu oblouku danou rychlým ochlazením jádra oblouku, takže proběhne rychlá deionizace podporovaná zachytem volných elektronů elektronegativními atomy fluoru
- zmenšení časové konstanty oblouku v oblasti kolem nuly proudu na zlomky mikrosekund a tím rychlé zhášení i při obtížných případech vypínání
- velkou statickou i dynamickou elektrickou pevnost po vypnutí proudu v napěťové oblasti vlivem elektronegativních vlastností.

Z uvedeného vyplývá, že pochody probíhající ve zhášecím médiu SF_6 vyhovují jak při vypínání velkých zkratových, tak při vypínání malých provozních proudů. Vypínače SF_6 vyhovují jak z hlediska vypínání malých induktivních proudů, tak z hlediska vypínání proudů kapacitních. U vypínání malých induktivních proudů nedochází vlivem dobré vodivosti plazmatu SF_6 k utržení proudu před průchodem nulou, což znamená vypnutí bez vzniku nebezpečného přepětí. U kapacitních proudů probíhá vypínání bez průrazu díky strmému nárůstu elektrické pevnosti mezikontaktního prostoru, což opět znamená i bez vzniku nebezpečných přepětí. Vypínače SF_6 , přestože byly původně konstruovány na vvn,

nalezly zásadní uplatnění i v oblasti napětí vysokého prakticky v celém rozsahu napěťových hladin. Plyn SF_6 tedy představuje zhášecí médium vhodné pro konstrukci malých i velkých spínacích přístrojů, slučuje příznivé vlastnosti oleje i stlačeného vzduchu, přičemž nemá jejich nedostatky.



Shrnutí pojmů

Elektronegativní plyn

Elektronová afinita

Fluorid sírový SF_6 ,

Rozklad, fluoridy

Elektrická pevnost

10.2. Vlastní provedení vypínačů s plynem SF₆



Čas ke studiu: 60 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

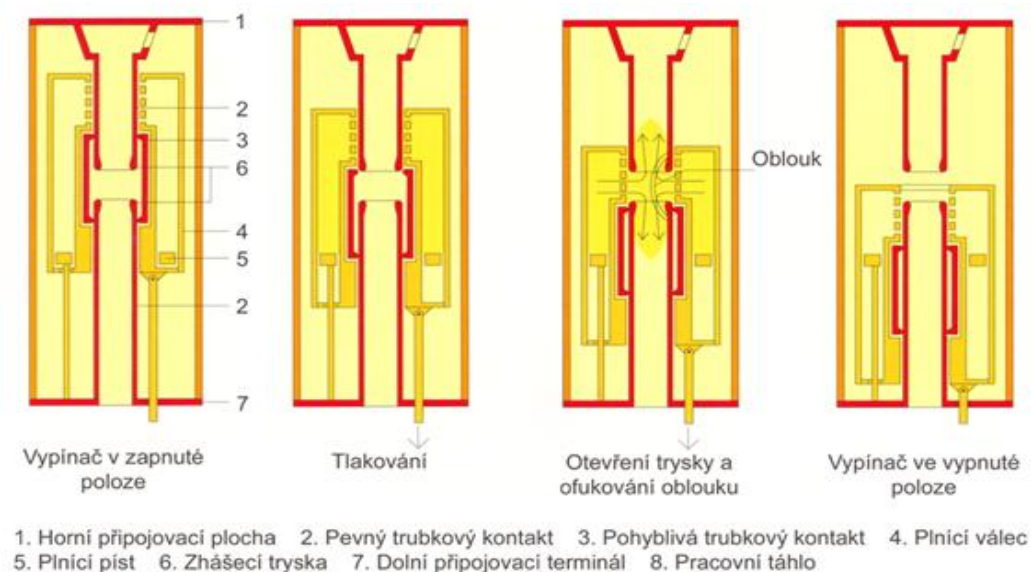
- popsat činnost a konstrukci vypínačů SF₆
- vysvětlit činnost autopneumatického zhášedla SF₆
- hodnotit výhody a nevýhody zapouzďřených rozvodn



Výklad

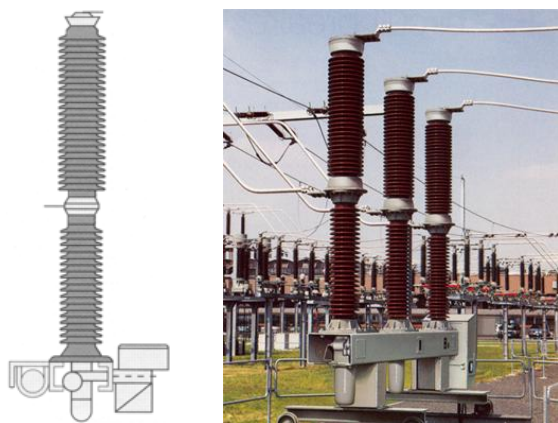
Vlastní provedení vypínačů s SF₆ můžeme rozdělit podle konstrukce zhášedla. Ve všech případech jde o axiální ofukování oblouku a lze je rozdělit takto:

- a) prosté oddálení kontaktů, je nejjednodušším principem, účinnost je však malá, průmyslově se nepoužívá
- b) zhášedlo s vlastní zhášecí energií, využívá expandující plyn vznikající tepelným účinkem tzv. pomocným obloukem. Nehodí se pro velké proudy.
- c) zhášení v kapalném SF₆, mechanismus podobný jako u olejových vypínačů, nenašel uplatnění.
- d) zhášedlo s rotací oblouku, oblouk rotuje ve stojícím plynu. rotace vzniká účinkem vnějšího magnetického pole vytvořeného permanentními magnety nebo cívkou napájenou zhášeným proudem.
- e) autopneumatické zhášedlo, dnes nejrozšířenější a nejefektivnější při jednoduché konstrukci. Oblouk je zhášen proudem plynu. Pohyb plynu je vyvolán prostřednictvím pístu spojeného s mechanismem vypínače. Podle konstrukce dnes existují dvě provedení, s pevnou nebo pohyblivou tryskou.

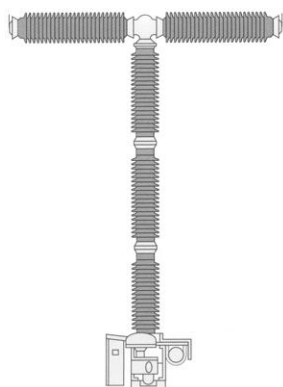


Obr.10.2. – Jednotlivé fáze vypnutí oblouku pomocí autopneumatického zhášedla SF₆ (SIEMENS)

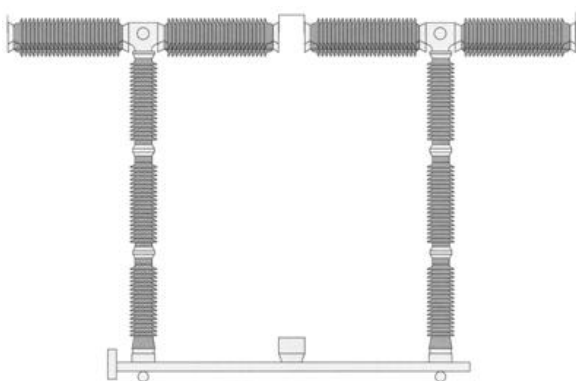
- f) dvoutlaké zhášedlo, odvozeno od tlakovzdušného systému, plyn vháněn do zhášedla ze zásobníku o vysokém tlaku, po zapůsobení odčerpán zpět. Nevýhodou - zkapalnění stlačeného plynu již při cca 8° C, což vyvolává nutnost vyhřívání zásobníku. Princip využíván v počátcích nasazení, dnes byl pro svou složitost a komplikovanost opuštěn.



Obr. 10.3. – Vypínač SF6 Siemens 3AQ1-FG (123kV/3150A)



Obr. 10.4. – Vypínač SF_6 Siemens 3AT3 (300kV/4000A) s vypínacím odporem



Obr. 10.5. – Vypínač SF_6 Siemens 3AT5 (420kV/4000A) s vypínacím odporem

10.3. Zapouzdřené rozvodny SF_6

S rostoucí elektrifikací, nárůstem instalovaného výkonu a růstem znečištění prostředí začala převládat myšlenka miniaturizace rozvodných zařízení. Hlavní impuls ke stavbě zapouzdřených rozvodů byl dán studiemi dodávek elektrické energie do velkých městských aglomerací. Tato snaha o zmenšení rozměrů rozvodných zařízení, zpočátku vvn, nyní i vn, vedla k použití izolačních prostředků s lepšími parametry než vzduch při atmosférickém tlaku. Dříve byl jako izolant používán olej, později stlačený vzduch, dnes fluorid sírový SF_6 . Začaly se vyrábět těsně uzavřené rozvaděče, ve kterých je k izolaci použit SF_6 . Takovým rozvaděčům říkáme zapouzdřené rozvaděče. Plynová izolace je dokonale regenerovatelná, tzn. že i po přeskočení a při poruše zachovává své izolační vlastnosti. Novou konstrukcí byl dosažen pokrok takového řádu,

že přednosti výrazně převažují nad dílčími nedostatky.



Obr. 10.8. – Zapouzdřená rozvodna 123 kV (SIEMENS)



Obr. 10.6. – Zapouzdřená rozvodna 145 kV (SIEMENS)



Obr. 10.6. – Zapouzdřená rozvodna 550 kV (SIEMENS)

Výhody zapouzdřených rozvoden SF₆.

- a) úspora stavebního prostoru (u rozvoden vvn až 90%)
- b) kompaktní estetická stavba, která zapadá do urbanistického řešení města
- c) nové projekční varianty, lze plně vyhovět požadavkům odběratele
- d) nezávislost na stupni znečištění životního prostředí (průmyslová centra)
- e) krátká doba uvedení do provozu
- f) minimalizace nákladů na údržbu
- g) odstranění rušení rozhlasu a televize
- h) vyšší provozní spolehlivost
- i) zkvalitnění pracovního prostředí obsluhy

Nevýhody zapouzdřených rozvoden SF₆.

- a) velké pořizovací náklady
- b) vývoj vyžaduje špičkovou výzkumnou a vývojovou základnu
- c) nutnost širší výrobní základny
- d) velmi přísné požadavky na technologii výroby
- e) náročnější zkoušení



Shrnutí pojmů

Autopneumatické zhášedlo

Pevná a pohyblivá tryska

Zapouzdřená rozvodna

11. Vakuové vypínače



Čas ke studiu: 60 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- vysvětlit problematiku oblouku hořícího ve vakuu
- popsat princip činnosti vakuového zhášedla
- popsat druhy opotřebení kontaktů



Výklad

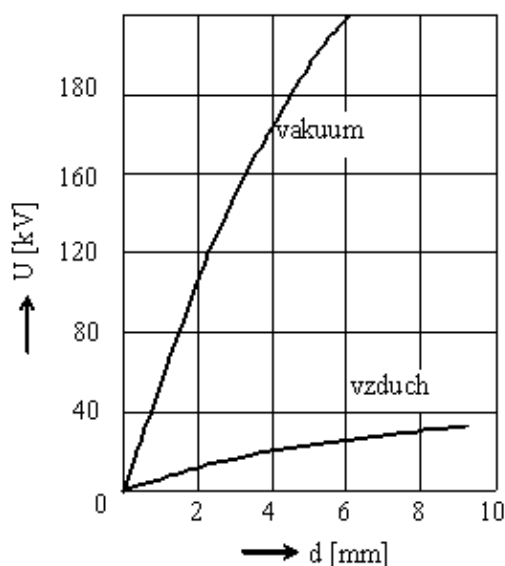
Myšlenka využití výborných izolačních vlastností vakua k vypínání je stará (podle literárních pramenů byl první patent na vakuový vypínač udělen koncem devatenáctého století), ale značně předběhla dobu možné realizace se zřetelem k nedostatečně vyvinuté technologii vakuových zařízení. V té době nebylo možné získat čisté odplyněné kontaktní materiály, byly potíže s čerpáním, nebylo možné realizovat vakuovou těsnost spojováním kovů a izolantů. Až teprve po druhé světové válce se začínají přední světové firmy zabývat výzkumem a vývojem vakuových zhášedel. V současnosti je rozvoji vakuových vypínačů na celém světě věnována značná pozornost. Tyto vypínače úspěšně konkurují klasickým typům vypínačů a v mnohých parametrech je i předčí.

11.1. Problematika vypínání oblouku ve vakuu

Na rozdíl od vypínačů s klasickými zhášecími medii, je třeba řešit u vakuových vypínačů specifické problémy spojené s pochody vznikajícími při hoření oblouku ve vakuu. Těžiště problematiky vakuového vypínání spočívá převážně v konstrukci mechanicky pevné a vakuově těsné nádoby a ve volbě a technologickém zpracování kontaktních materiálů. Jako první materiál na kontakty byla použita čistá měď. Odplynění mědi je však obtížné a často pak docházelo v důsledku nedokonalého odvodu tepla z povrchu kontaktů do okolí (které se může dít jen zářením) k měknutí, deformaci a svaření mědi i bez spolupůsobení oblouku. Tyto zkušenosti s mědí vedly k aplikaci jiných, tepelně odolnějších kovů jako je molybden či wolfram, které se také snáze odplyňují než měď. Objevily se

však jiné nesnáze. Zatímco kupř. wolframem lze dobře řešit otázku svařování, vede jejich aplikace k usekávání proudu již při hodnotách kolem 100 A. Důsledkem je vysoké přepětí a v indukčních obvodech opakované průrazy, neboť studená charakteristika vakuového vypínače narůstá strmě do značných hodnot. Až s příchodem nových výrobních technologií bylo možno použít slitutých materiálů (CuBi, WCu, WAg, MoCu a hlavně CuCr), které spojují dobré elektrické vlastnosti s vynikající schopností vypínat obvod a dobrou odolností proti svaření.

Také tvar elektrod byl výrazně zdokonalen. Od dříve jednoduché válcové konstrukce s čelním stykem se přešlo na spirálové a miskové konstrukce, které velmi zvyšují pohyb oblouku po povrchu kontaktů a axiální magnetická pole podporují tvoření difúzních oblouků i při velmi vysokých proudech.

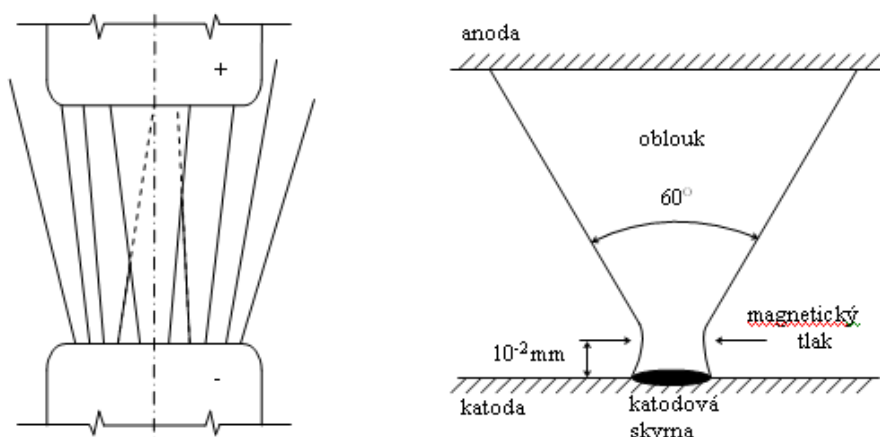


Obr. 11.1. – Elektrická pevnost prostředí

Vakuová zhášedla jsou k dispozici v celém rozsahu středního napětí od 3,2 kV do 38 kV a mohou spolehlivě vypínat nejvyšší hodnoty zkratového proudu v každé napěťové hladině. Mezi jejich výhody oproti jiným konstrukcím patří zejména možnost použití v extrémních provozech (jsou nehořlavé, nevýbušné, nepůsobí nepříznivě na okolní prostředí ani jím nejsou ovlivňovány). Další výhody: mohou pracovat v libovolné poloze, malý zdvih kontaktů umožňuje použití jednoduchého pohonného mechanismu, po dobu své životnosti (přes 10000 pracovních cyklů) se nemusí kontrolovat a jsou snadno recyklovatelná.

Pochody na oddalujících se kontaktech jsou příčinou vzniku

oblouku hořícího v kovových parách emitovaných z katodové skvrny s vysokou teplotou. Na materiálu kontaktů závisí velikost mezního proudu přenášeného katodovou skvrnou. Tento proud se pohybuje v rozmezí 100 až 200 A. Se zvyšujícím se proudem se počet katodových skvrn zvětšuje. Z katodových skvrn difundují páry směrem ke chladnější anodě a okolním chladným stěnám na nichž kondenzují. Při zmenšování se proudu směrem k nule ubývá počet katodových skvrn, zmenšuje se množství par, snižuje se počet nosičů náboje, oblouk se stává nestabilním a uhasíná. Oblouk je charakterizován malým napětím oblouku, má difúzní charakter a nazýváme ho vakuovým obloukem. Obr. 11.2.



Obr. 11.2. – Oblouk ve vakuu

Tento oblouk je limitován velikostí proudu. Při zvětšení proudu nad asi 10 kA (v závislosti na materiálu kontaktů) má plazma oblouku snahu přemísťovat se k anodě, čímž se zvyšuje teplota anody a vytváří se anodová skvrna. Oblouk difúzní tak přechází na oblouk vysokotlaký. Proud ve své nule nezaniká, po komutaci proudu se anoda stává katodou a jsou na ni vytvořeny podmínky pro další hoření oblouku. Zhášení vysokotlakého oblouku je oproti oblouku difúznímu obtížnější.

Zabránění vzniku anodové skvrny je tedy jedním ze základních úkolů při konstrukci zhášecí soustavy vakuového vypínače. Prakticky je tomu možno zabránit vytvořením magnetického pole, působícího na oblouk tak, aby k vytvoření anodové skvrny nedošlo. K tomuto účelu slouží zvláštní konstrukce kontaktů vytvářející, dle směru působení na kontakt, pole radiální nebo pole axiální.

Účinkem radiálního pole se katodové skvrny difúzního oblouku pohybují uspořádaně, popř. se pohybuje anodová i katodová skvrna oblouku v koncentrované formě. Tímto způsobem se elektrodové skvrny

dostávají do míst, v nichž jsou horší podmínky pro jejich existenci (chladné elektrody). Účinek axiálního pole zcela konkrétní magnetické indukce (cca 0,08 až 0,14 T pro proudy 20 – 40 kA) je poněkud odlišný, neboť jeho působením si oblouk zachovává difúzní charakter i tehdy, jestliže se katodové skvrny nepohybují. Oblouk nabývá charakteru staženého útvaru složeného z paralelních difúzních oblouků (tzv. „multiple arc“) stabilizovaných při minimálním obloukovém napětí (cca 42 až 52 V). Takto hořící dělený oblouk dodává do mezikontaktního prostoru minimální energii, která nedostačuje k vytvoření anodové skvrny.

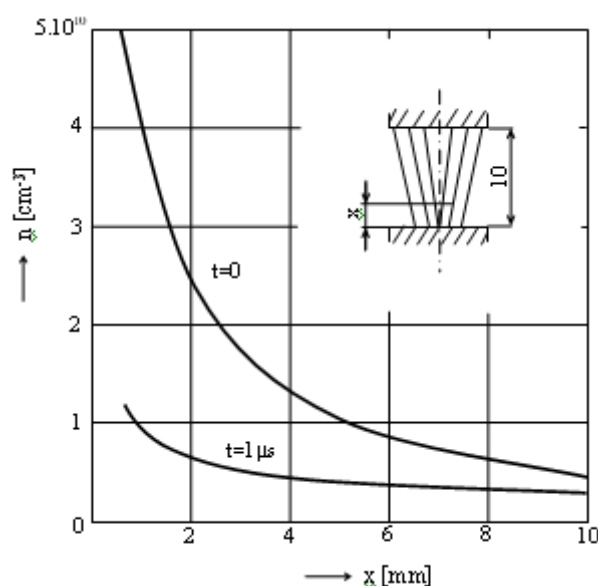
Zánik oblouku je spojen se snížením hustoty par v mezikontaktním prostoru a s rekombinací částic, což je souhrn pochodů, při nichž ionizované částice zanikají. Snížení hustoty par je závislé na časové konstantě ochlazování katodových skvrn, která je v případě difúzního oblouku menší než 1 μs . V rekombinačních pochodech sehrává nejvýraznější roli difúze částic a její zvláštní forma – ambipolární difúze, která vzniká vlivem rozdílné difúzní konstanty elektronů a kladných iontů. Elektrony, mající větší difúzní konstantu než kladné ionty, pronikají do prostoru rychleji. Tím dochází k porušení kvazineutality plazmatu a vzniklý prostorový náboj vytváří elektrické pole, které urychluje difúzi kladných iontů a brzdí difúzi elektronů. V ustáleném stavu se difúzní rychlosti částic vyrovnají a prostorové náboje vytvoří jen odpovídající elektrické pole. Účinek zmíněných jevů na deionizaci mezikontaktního prostoru je znázorněn na obr. 11.3. Rychlá deionizace mezikontaktního prostoru dává předpoklad úspěšného zvládnutí extrémních podmínek vypínání. Experimentálně bylo ověřeno úspěšné vypnutí při strmých poklesu proudu $di/dt = 500 \text{ A} \cdot \mu\text{s}^{-1}$ a nárůstu zotaveného napětí $18 \text{ kV} \cdot \mu\text{s}^{-1}$.

Rekombinační pochody souhrnně probíhají ve směru příčném k ose oblouku, a proto se nazývají radiální výměna částic. Je to přirozený a účinný způsob deionizace výbojové dráhy.

Při průchodu střídavého proudu nulou zanikají katodové skvrny za dobu asi 10^{-8} s. Atomy par kovů opouštějí prostor mezi kontakty rychlostí 10^3 až $10^4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Plná elektrická pevnost prostoru mezi kontakty se obnovuje v mikrosekundových dobách. Rychlé opuštění prostoru – expanze par do okolí – způsobí značné urychlení deionizace. Část kovových par kondenzuje na anodě, část, která uniká z prostoru mezi kontakty, kondenzuje na stínících krytech obklopujících kontakty. Vypínacími pochody dochází tedy ke ztrátě kontaktního materiálu. Tato ztráta je závislá na velikosti vypínacího proudu, fyzikálních vlastnostech kontaktů, na tvaru a velikosti kontaktů. Ztráty u běžně používaných

materiálů se zhruba pohybují okolo $10^{-3} \mu\text{g}\cdot\text{C}^{-1}$. Často bývají tyto ztráty z hlediska životnosti pro vakuová zhášedla limitující.

Protože ke vzniku vakuového oblouku a k jeho hoření je nutná katodová skvrna a po průchodu proudu nulou a změně polarity elektrod není na katodě (dříve anodě) žádné přehřáté místo schopné generovat kovové páry, nemůže se oblouk znovu zapálit. Vakuový vypínač tedy vypíná v první nule proudu a je vhodný k vypínání střídavých proudů, nikoli stejnosměrných.



Obr. 11.3. – Obsah par materiálu elektrod v oblouku ve vakuu (v nule proudu a 1 μs po nule proudu)

Utržení proudu před jeho přirozenou nulou je nejzávažnější problém vakuových zhášedel. Je to způsobeno tím, že při určitém minimálním proudu se neodpaří dostatek kovu katody a oblouk přestane být stabilní. Proud rychle zanikne na nulu. Toto proběhne v době řádu 10^{-8} s a způsobí velké přepětí. Utržení proudu můžeme zmenšit vhodnou volbou materiálu katody nebo změnou tvaru katody. Do základního kontaktního materiálu se přimísí materiál s vyšší tenzí par, který zajistí dostatečné množství kovových par i při nižší teplotě katodové skvrny, nebo vhodným tvarem katody zmenšíme množství odváděného tepla z katodové skvrny do tělesa katody.

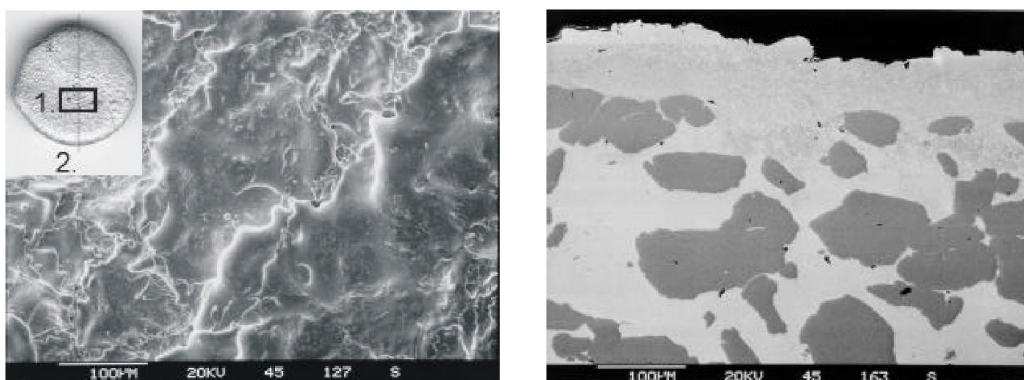
Při činnosti kontaktů dochází k mechanickému a elektrickému namáhání obou dílců a tím k trvalým deformacím a úbytku hmoty přenosem materiálu. Jako přenos materiálu označujeme každý úbytek

hmoty bez ohledu na to, zda se jeho část znovu ukládá na původní či protějšší kontakt, či zda se všechen rozptýlí do okolí. Rozeznáváme tři základní druhy opotřebení: mechanické opotřebení, můstkový přenos materiálu a obloukový přenos materiálu.

Jako mechanické opotřebení označujeme deformace a případnou ztrátu materiálu při spínání naprázdno, tj. bez průtoku proudu. U spínacích kontaktů jsou ztráty materiálu mechanickým opotřebením zpravidla zanedbatelné ve srovnání s opotřebením elektrickým.

Můstkový přenos materiálu (dříve nazývaný jemným přenosem) je charakterizován tvořením hrotů na jednom kontaktu a kráterů na kontaktu druhém. Je to důsledek vytažení úžinového můstku nataveného kovu při oddalování kontaktů, ve kterém se jeho nejteplejší místo posouvá ze středu k teplejší elektrodě. Zpravidla teplejší elektrodou bývá anoda, takže výsledkem roztržení můstku v nejteplejším místě je hrot na katodě a kráter na anodě. Množství přeneseného materiálu při jednom vypnutí je sice nepatrné, ale po mnoha tisících spínacích cyklech je popsána deformace jasně patrná. Můstkový přenos materiálu je jev typický pro stejnosměrné obvody podobloukových parametrů.

Obloukový přenos materiálu (někdy označovaný jako hrubý přenos) je naopak typický pro kontakty v silnoprůdých obvodech jako důsledek jejich tepelného namáhání vypínacím obloukem. Oblouk vlivem své vysoké teploty napadá veškerý materiál ve svém okolí a zanechává na něm trvalé deformační stopy (obr. 11.4.). Těmto účinkům nelze zabránit, proto často uvádíme oblouk do pohybu. Tím se tepelné rozrušování materiálu nekoncentruje na stejné místo a vedením tepla ve hmotě může docházet k rychlému ochlazování ohřátého povrchu.



Obr. 11.4. – Snímky z elektronového mikroskopu CuCr kontaktů po několika desítkách operací (povrch kontaktu a řez kontaktem)

Nejdéle zůstávají ve styku s pevnou hmotou paty oblouku a to

právě na kontaktech. I když se snažíme i zde zkrátit dobu působení oblouku na minimum, pod určitou hranici jít nelze. Protože opotřebení kontaktů obloukem má vliv na jejich životnost, musíme pro správnou volbu kontaktního materiálu znát jeho odolnost proti účinkům oblouku

Pokud se při vypínání vytvoří oblouk, dochází k vypaření nejen protaženého úžinového můstku, ale i přilehlých částí na obou kontaktech. Kovové páry o vysoké teplotě rychle expandují z povrchu kovu do okolí. Kontakty však při tom nemusí ztrácet veškerý vypařený kov. Podle okolností větší nebo menší část par zpětně kondenzuje na chladnějších částech elektrod. Zbytek se pak rozptýlí do okolí. Úbytku materiálu vypařením říkáme ztráty primární.

Při velkých proudech a dlouhotrvajících obloucích přistupují ke ztrátám primárním ještě ztráty sekundární odstříkem. Je to důsledek natavení velkého množství kovu. Kov vře a páry expandující z nitra kovu strhávají s sebou kapičky roztaveného kovu. Odstřikující kov se jeví jako světelné body, létající do vzdálenosti i několika metrů. Průměr kuliček vychladlého kovu bývá i řádu milimetrů. Množství odstříknutého kovu není za jinak stejných podmínek u každého kovu stejné. Je větší u kovů, u nichž je velký rozdíl mezi teplotou tavení a teplotou varu. V tomto případě lze očekávat při dosažení teploty varu současnou existenci většího množství tekutého kovu než u materiálů s menším poměrným teplotním rozdílem mezi tavením a varem.

Při zkouškách životnosti kontaktních materiálů proudem mnoha tisíc ampérů není zapotřebí velkého počtu spínacích cyklů, jako je tomu v případě proudů malých a středních. Úbytky kovů při proudech řádu 10 000 A jsou značné a opotřebení kontaktů je patrné po jediném vypnutí. Realizace velkého počtu sepnutí při takových proudech není ani dobře proveditelná, neboť spínač by sotva vydržel více než několik desítek či stovek operací. Omezíme-li však při takové zkoušce počet vypnutí, je nutné seřídit zkušební zařízení tak, aby podmínky vypnutí a hoření oblouku byly vždy stejné. To znamená, že mimo velikosti proudu je nutné dodržet dobu hoření oblouku, vypínání provádět synchronně (tj. oddálení kontaktů musí započít vždy ve stejném bodě proudové křivky) a dodržet stejný zdvih kontaktů dráhově i časově. Zaručit tyto podmínky u běžného spínače je obtížné. Proto je nutné provádět zkoušky na modelových zařízeních.

Jedny z nejrozsáhlejších zkoušek životnosti materiálů při velkých proudech provedl Wilson. Výsledky zkoušek zachycuje tabulka 4.1 a obr. 4.2. Úbytky materiálu nejsou uvedeny hmotnostně na jedno sepnutí, ale

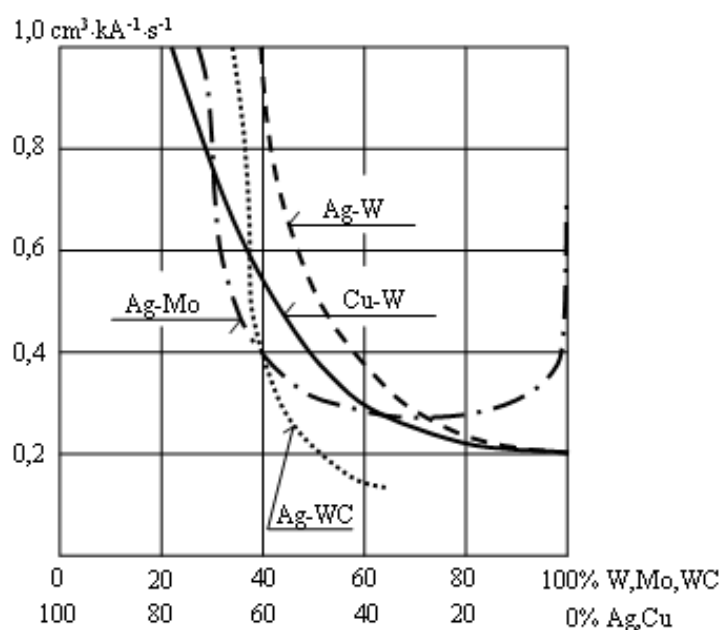
objemově na jednotku množství proudu protékajícího obloukem, konkrétně na 1 kA·s. K tomuto způsobu vyhodnocení úbytků vedly dvě okolnosti. V případě zkoušek materiálů podle tabulky se jedná o kovy, které se jen málo liší svou měrnou hmotností a elektrickou vodivostí. Proto váhově zjišťované úbytky hmoty přijatelně klasifikují jejich vzájemnou životnost. V případě kontaktů zkoušených Wilsonem se jednalo o materiály s velmi rozdílnou hustotou (C - 1,6; Al - 2,7; W - 18 g·cm⁻³) a velmi rozdílným měrným elektrickým odporem (C - 10⁻⁶; Ag - 0,016·10⁻⁶ Ω·m). Odpor uhlíkových kontaktů byl takový, že snížil amplitudu proudu z 25 kA při stříbře či mědi na 12 kA. Poměrné opotřebení vystihuje lépe jednotka cm³·kA⁻¹·s⁻¹ také proto, že se zkouší kontakty stejné rozměrově, ne však hmotnostně.

Rozsáhlejší než zkoušky základních kovů byly zkoušky spékaných materiálů, neboť umožnily vypracování úplných křivek úbytků pro měnící se obsah odolné složky (W, WC, Mo) v rozsahu od nuly až do 100 %. Zajímavé je zjištění, že pokud neklesne obsah tepelně odolné složky pod 60 %, je jejich životnost téměř shodná s čistým wolframem.

Svémi zkouškami prokázal Wilson také skutečnost, že úbytek materiálu kontaktů je při velkých proudech nejen důsledkem vypařování, ale ve značné také míře odstřiku kapiček roztaveného kovu vlivem expandujících par. Srovnáme-li naměřený úbytek materiálu s vypočteným množstvím (tabulka 11.1), které by se mělo danou energií proměnit na páry vidíme, že až na dva nejodolnější materiály (uhlík a wolfram) je vždy naměřený úbytek větší. Větší úbytek způsobil právě odstřík, který byl největší u materiálu oblouku nejméně odolného, tj. hliníku, majícího poměrně velmi nízkou teplotu tavení [1].

Materiál	Naměřený úbytek [cm ³ ·kA ⁻¹ ·s ⁻¹]	Vypočtený úbytek vypařením [cm ³ ·kA ⁻¹ ·s ⁻¹]	Koeficient životnosti vzhledem k mědi
Uhlík	0,07	0,09	23
Wolfram	0,2	0,28	8
Molybden	0,7	0,35	2,3
Nikl	0,9	0,38	1,8
Ocel	1,1	0,42	1,5
Měď	1,6	0,60	1
Stříbro	1,65	0,65	1
Hliník	3,5	0,75	0,5

Tabulka 11.1 Úbytky materiálu kontaktů



Obr. 11.5. – Úbytky spékaných materiálů



Shrnutí pojmů

Odplynění kontaktního materiálu

Usekávání proudu

Difúzní a vysokotlaký oblouk

Axiální a radiální magnetické pole

Katodová skvrna

Deionizace mezikontaktního prostoru

Můstkový a obloukový přenos materiálu

11.2. Vakuová zhášela

11.2.1 Princip funkce zhášela



Čas ke studiu: 30 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat princip činnosti vakuového zhášedla



Výklad

Zhášedlo se skládá ze dvou kontaktů, které jsou umístěny proti sobě ve vakuové nádobě (obr. 11.6). Tlak okolního plynu uvnitř vakuového obalu je asi 10^{-3} Pa (10^{-6} torru). Jeden z kontaktů je pevně připojen k víku. Druhý kontakt má možnost osového pohybu několika milimetrů při zachování dokonalé vakuové těsnosti prostřednictvím pružného členu, který se nazývá vlnovec. Za normálních podmínek obvodu je zhášedlo zapnuté a kontakty mají čelní styk. Oblouk vzniká uvnitř zhášedla vysunutím pohyblivé elektrody od pevné elektrody a je tvořen malým množstvím kovových par. Tyto páry postupně opouští oblast mezi kontakty a kondenzují na kontaktních plochách a na okolním stínícím krytu. Ten zabraňuje usazování par na vnitřní části vakuové nádoby. Při nule proudu ustává vznik kovové páry a obnoví se rychle původní vakuové podmínky zvyšováním dielektrické pevnosti rozpojené vypínací vzdálenosti a obvod je vypnut. Při rozpojených kontaktech ve vypnuté poloze je napětí obvodu odpojeno vnitřní vypínací vzdáleností a vně izolačním obalem. Pohyb kontaktu se ovládá tlakovzdušnými, pneumatickými nebo magnetickými mechanizmy.

Problém stavby vakuových vypínačů je soustředěn v konstrukci jejich hlavní funkční části – vakuovém zhášedle. Jedná se zejména o konstrukci mechanicky pevné a vakuově těsné nádoby a ve volbě a technologickém zpracování kontaktních materiálů. Důležité vlastnosti některých materiálů jsou uvedeny v tabulce 11.3.

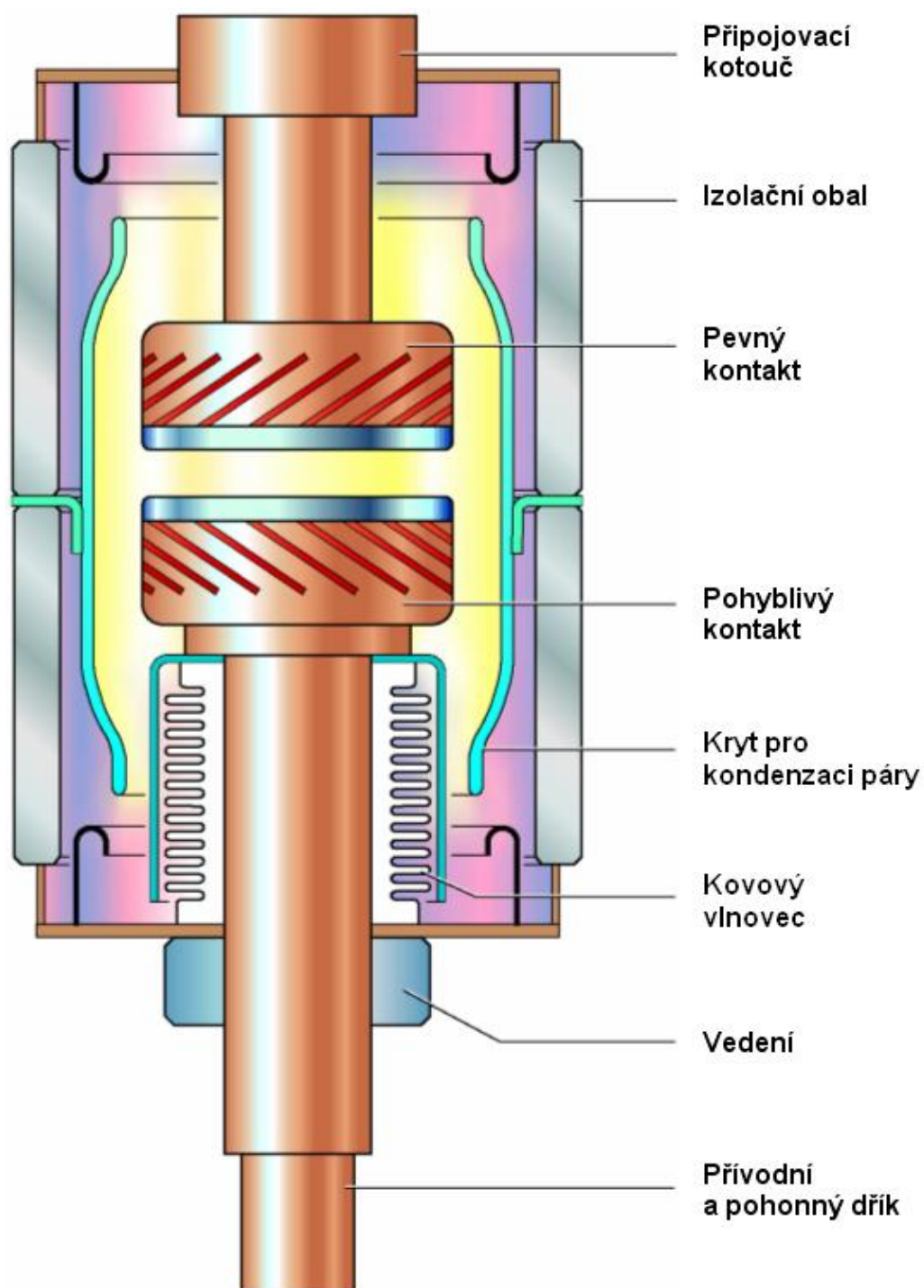
Jak vyplývá z tabulky 11.3, je difúzní charakter oblouku limitován proudem cca 10 kA. Při zvýšení proudu nad tuto hranici přechází difúzní oblouk do vysokotlakého oblouku, jehož zhášení je ve vakuu obtížnější. Proud ve své nule nezaniká, po komutaci proudu se anoda stává katodou, na které jsou vytvořeny podmínky pro další hoření oblouku. Zabránění vytvoření anodové skvrny, (resp. vytvoření vysokotlakého oblouku) je důležitou otázkou návrhu kontaktů a celého zhášecího systému vakuového vypínače.

Z uvedených důvodů je použití prostých čelních kontaktů limitováno hranicí proudu do 10 kA. Obvykle jsou kontakty tohoto typu používány v přístrojích prostých (stykače, vypínače zátěže).

Ve výkonových vypínačích je praktickou možností zábrany vytvoření anodové skvrny působení vnějšího magnetického pole na oblouk. Pro vytvoření magnetického pole se vesměs využívá zvláštní konstrukce kontaktů a podle směru působení na oblouk může být magnetické pole buď radiální nebo axiální.

Materiál	Proud katodové skvrny [A]	Kritický proud vzniku anodové skvrny [kA]	Střední velikost useknutí proudu [A]	Intenzita emise par kovu z elektrod [mg/C]
Kadmium	8 – 15			400
Bismut	3 – 5			
Zinek	5 – 20			230
Olovo	5 – 15	2,5	1,9	1100
Stříbro	60 – 100	9,7	6	35
Hliník	30 – 50	6,8	2,8	
Měď	50 – 100	10,3	4	80
Železo	60 – 100			50
Uhlík	200			
Molybden	150	13,6	14	
Wolfram	250 – 300	13,8	9,2	

Tabulka 11.3. Vlastnosti materiálů



Obr. 11.6. – Příklad konstrukce vakuových zhášedel



Shrnutí pojmů

Vakuové zhášedlo

Vlnovec, stínící kryt

11.2.2 Zhášedla využívající radiální magnetické pole



Čas ke studiu: 45 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat konstrukci elektrod z hlediska radiálního magnetického pole působícího na oblouk

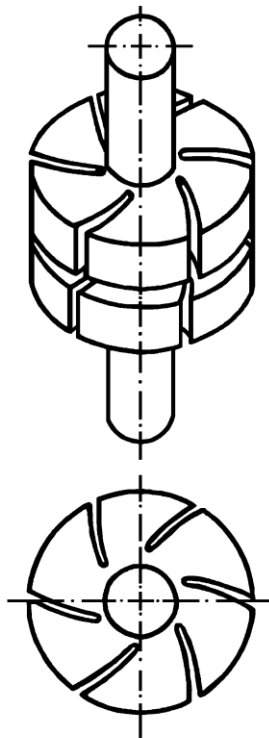


Výklad

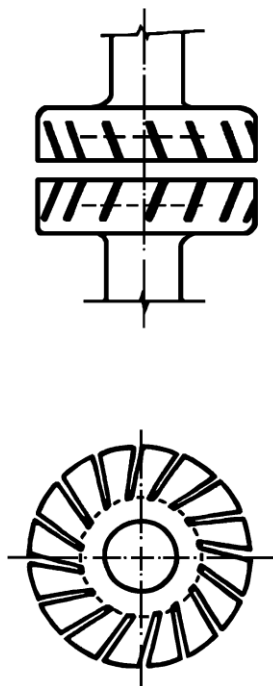
Nejstarší používané jsou konstrukce generující radiální magnetické pole (radial magnetic field – RMF). Jejich základní provedení je na obr. 11.7. Kontakt je principiálně řešen buď jako spirálový (obr. 11.7.a) nebo se zářezy (obr. 11.7.b) přičemž možná je i varianta se spirálovými stínícími elektrodami a válcovými čelními kontakty (obr. 11.7.c). Vzájemnou interakcí vnějšího magnetického pole vytvářeného proudem protékajícím kontakty a magnetického pole oblouku vznikají elektrodynamické síly, které uvádějí oblouk do rotace po kontaktech. Oblouk se pohybuje po kontaktech rychlostí 70 až 150 m·s⁻¹ [9]. Tím je zajištěna menší eroze kontaktů a také se významně zlepší vypínací schopnost. Hlavní výhoda těchto kontaktů spočívá v jednoduchosti konstrukce.

Spirálové kontakty (obr. 11.7.a) mají kruhový tvar s mírnou kuželovitostí od čelního styku k okrajům, popř. je na nich vytvořen kruhový výstupek. Okraji se kontakty nedotýkají. Činnost těchto kontaktů v oblasti malých proudů probíhá tak, že vzniklý oblouk difúzního charakteru hoří z několika katodových skvrn, které se pohybují po centrální části kontaktu. Skvrny, které se dostanou na okraj centrální části zanikají a ostatní katodové skvrny se dělí, takže je stále zachován poměr počtu katodových skvrn vzhledem k velikosti proudu. (Pozn.: jedna katodová skvrna přenáší proud cca 100 – 200 A.) V oblasti velkých proudů pracují tyto kontakty s vysokotlakým obloukem, který je elektrodynamickými silami vytlačěn k okrajům kontaktů. Vlivem působení radiálního magnetického pole začne oblouk po kontaktech rotovat (obr. 11.8.a). Tím se paty oblouku dostávají do míst s horšími podmínkami pro svou existenci, zlepšuje se časová konstanta ochlazování kontaktů a při poklesu proudu k nule oblouk přechází do difúzního tvaru. K této transformaci jedné formy oblouku do

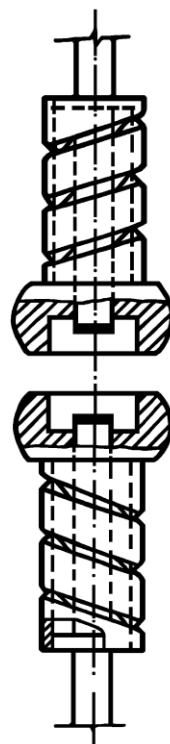
druhé dochází při proudu několika kiloampérů v čase dostatečně dlouhém před nulou proudu (400 – 500 μ s). Tento čas dostačuje k tomu, aby teplota elektrod poklesla natolik, že se zmenší množství a tlak par a difúzní oblouk v přirozené nule zaniká [3].



Obr. 11.7.a



Obr. 11.7.b

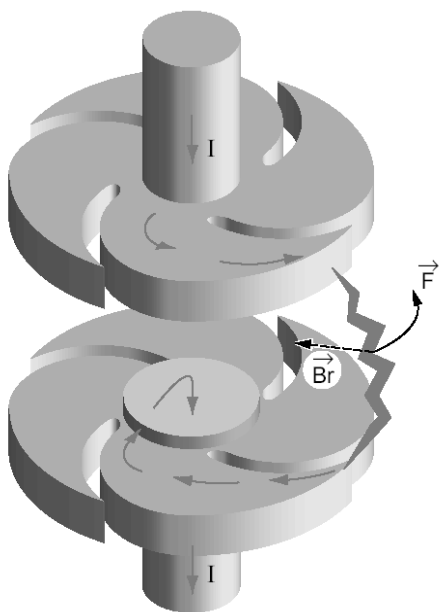


Obr. 11.7.c

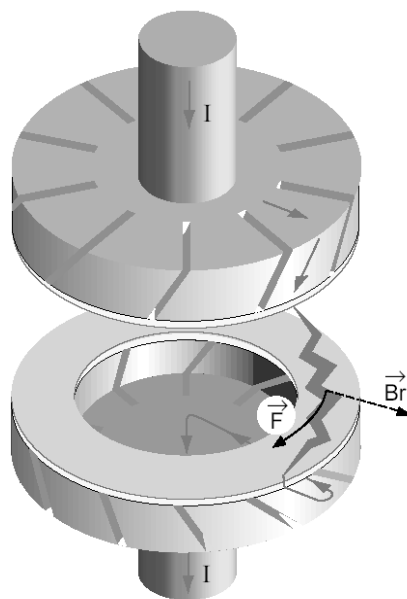
Obr. 11.7 a,b,c, - Kontakty využívající radiálního magnetického pole

U kontaktu se šikmými zářezy (obr. 11.7.b) oblouk hoří ve stádiu dělených paralelních oblouků difúzního charakteru na obvodu kontaktů. Difúzní sloupce pod účinkem radiálního magnetického pole, vytvořeného průtokem proudu šikmými zářezy, rotují v prostoru mezi čelními plochami kontaktů. Vzniká tak rotující útvar difúzních sloupců, jejichž rychlý pohyb po anodě zabraňuje vzniku anodové skvrny (obr. 11.8.b). Správná funkce těchto kontaktů je spojena s vhodným návrhem šířky a sklonu zářezů. Pokud by byly zářezy příliš široké, mohl by oblouk na konci své dráhy zůstat hořet na jednom místě a tím dojít k přehřátí části kontaktu. V opačném případě – při příliš úzkých zářezích, by mohlo dojít k zaplnění těchto zářezů roztaveným kontaktním materiálem. Tím by došlo k vytvoření přímé vodivé cesty, nevzniklo by požadované radiální magnetické pole a oblouk by opět hořel na jednom místě. Tento typ

kontaktů také vyžaduje zvýšenou pozornost ve výběru materiálu kontaktů (odolnost proti svaření a nízká úroveň usekávání proudu).



Obr. 11.8.a



Obr. 11.8.b

Obr. 11.8 a,b- princip působení radiálního pole na oblouk mezi kontakty



Shrnutí pojmů

Radiální působení na oblouk ve vakuu

Kontakty spirálové

Kontakty se zářezy

11.2.3 Zhášedla využívající axiální magnetické pole



Čas ke studiu: 45 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat konstrukci elektrod z hlediska axiálního magnetického pole působícího na oblouk



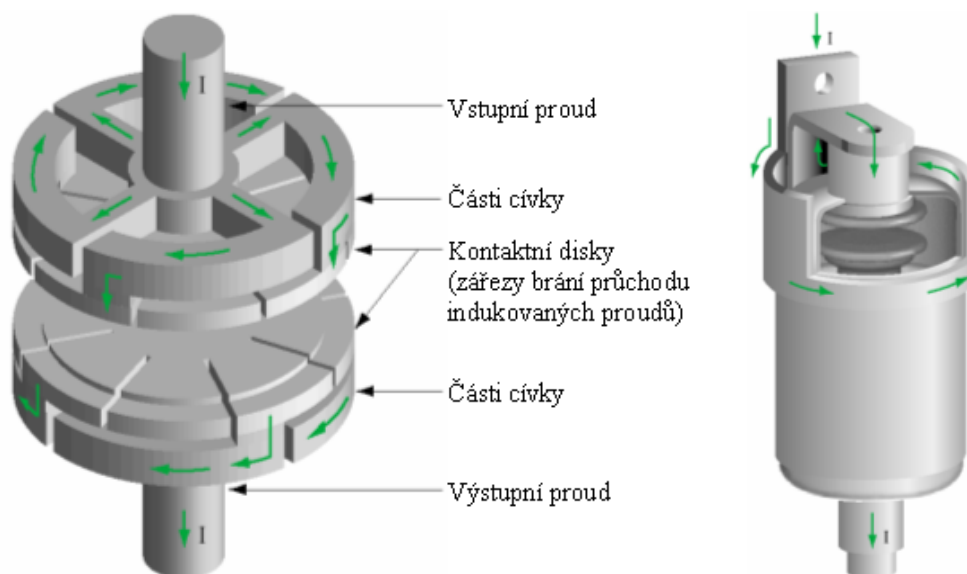
Výklad

Aby oblouk zůstal v difúzní formě je nutno splnit dvě podmínky:

- a) indukce působící v axiálním směru musí být dostatečně velká (experimentálně bylo zjištěno: $B_a = 3,9 \text{ mT}$ na každých 10 kA proudu),
- b) plocha kontaktu musí být dostatečně velká pro daný proud (proudová hustota nesmí překročit $17 \text{ A}\cdot\text{mm}^{-2}$).

Axiální magnetické pole (axial magnetic field – AMF) lze vytvořit několika způsoby s využitím proudu, který má být vypnut. Jednou z možností je použití cívek začleněných do kontaktů (obr. 11.9.). Jinou možností je použití externí cívky, která obklopuje zhášedlo (obr. 11.10.). Přidáním cívky se zvětší celkový odpor kontaktů, proto jsou tato zhášedla nevhodná tam, kde se používají velké průchozí proudy. Výhoda těchto kontaktů spočívá ve skutečnosti, že tvary kontaktů nejsou tak hranaté jako u kontaktů pracujících s radiálním magnetickým polem a tak méně ovlivňují izolační pevnost zhášedla. Proto jsou vhodné pro aplikace pracující s vysokým napětím.

Mimo starší konstrukce, které využívaly zvláštního uspořádání spirálových kontaktů, popř. konstrukce využívající vnější tvarování proudovodné dráhy, se objevila dvě provedení kontaktů vytvářejících průchodem proudu axiální magnetické pole. První pracují s tzv. jednotným polem (obr. 11.11.a).



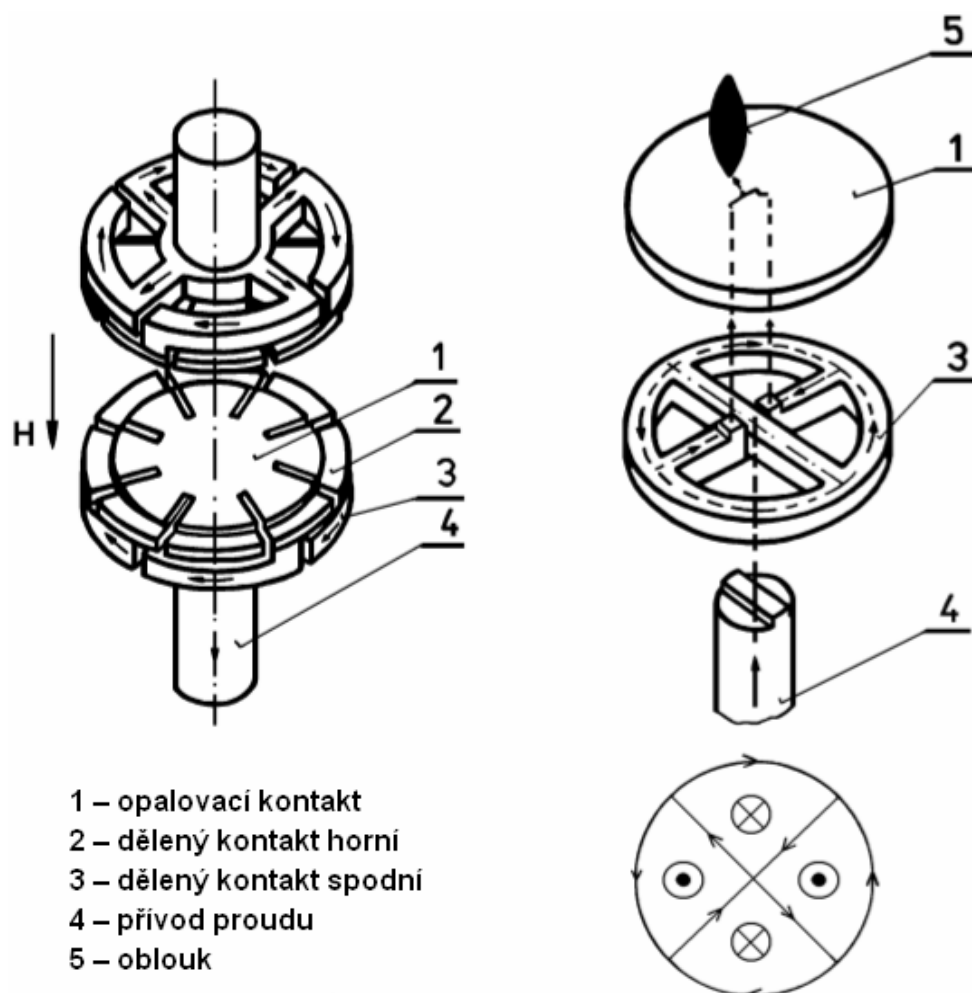
Obr. 11.9. a 11.10. – Konstrukce axiálních vakuových zhášedel

Přestože je tento typ kontaktů velice účinný, objevuje se u něj problém v tom, že po nule proudu je zbytkový ionizovaný sloupec stále fixován mezi kontakty polem od zbytkového proudu a ionizované částice mají poměrně malý prostor pro difúzi, což ovlivňuje rychlost nárůstu elektrické pevnosti mezi kontakty. Pro odstranění tohoto jevu byly vyvinuty tzv. mnohapólové kontakty, jejichž uspořádání je naznačeno v obr. 11.11.b. Konstrukce kontaktů zajišťuje vytvoření magnetického pole opačné polarity v sousedních kvadrantech proudovodné dráhy děleného kontaktu a tím je dosaženo velmi nízké intenzity pole v ose kontaktů při průchodu malých (zbytkových) proudů. Při průchodu zkratového proudu se intenzita pole v rozhodující oblasti kontaktu (30 – 70% průměru) nemění.

Volba vhodnosti radiální nebo axiální techniky vypínání závisí na jejich výhodách a předpokládané oblasti použití (tabulka 11.4.).

Způsobilst:	radiální magnetické pole	axiální magnetické pole
Vysoký průchozí proud	velmi dobrá	průměrná
Vysoká napěťová zatížitelnost	průměrná	velmi dobrá
Elektrická odolnost	průměrná	velmi dobrá
Vypínací schopnost	dobrá	dobrá

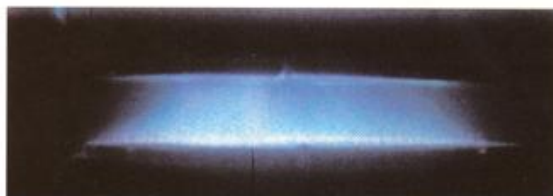
Tabulka 11.4. Vhodnost radiální a axiální vypínací techniky



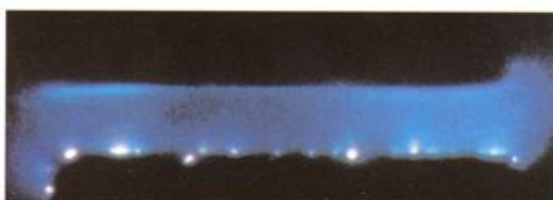
Obr. 11.11. a,b – Axiální a radiální technika vypínání



Kontrahovaný oblouk hořící mezi kontakty vakuového vypínače v radiálním poli ($i = 40\text{kA}$)



Difúzní oblouk hořící mezi kontakty vakuového vypínače v axiálním poli ($i = 60\text{kA}$)



Difúzní oblouk v radiálním poli před průchodem proudu nulou ($i = 2\text{kA}$)



Difúzní oblouk v axiálním poli před průchodem proudu nulou ($i = 10\text{kA}$)

Obr. 11.12. – Formování oblouku radiálním a axiálním polem



Shrnutí pojmů

Axiální působení na oblouk ve vakuu

Vnitřní a externí cívka

11.2.4 Kontaktní materiály vakuových vypínačů



Čas ke studiu: 30 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat druhy kontaktních materiálů vakuových zhášedel



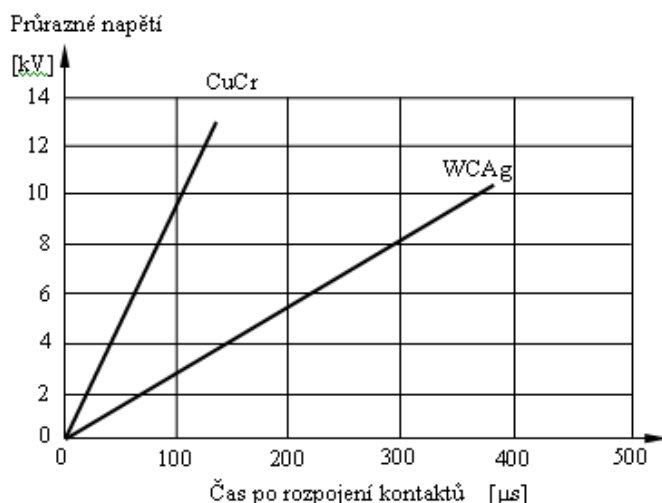
Výklad

Důležitou otázkou konstrukce vakuových zhášedel jsou jevy na kontaktech a zejména materiál kontaktů. Na vlastnostech materiálu kontaktů závisí vlastnosti elektrického oblouku a jsou s nimi spojeny jevy při jeho zhášení. Požadavky na materiál kontaktů pro vakuové vypínače jsou velmi přísné. Kontakty musí být vyrobeny z dokonale odplyněného a dezoxidovaného kontaktního materiálu, aby vázání plynů kondenzujícími parami kontaktního kovu při hoření oblouku převažovalo nad uvolňováním plynů z kontaktů a ostatních dílů zhášedla. Množství par vzniklých při vypínání musí mít určitou optimální velikost. Jejich ionizací se vytvoří vodivé médium přenášející proud mezi kontakty. Při jejich nedostatku dochází k utržení proudu před přirozenou nulou, a to velmi prudce. Při vypínání indukčních zátěží se objeví nebezpečné přepětí. Proto i při malých proudech řádu jednotek ampérů, kdy odpařovací energie je malá, musí množství odpařených par být dostatečné pro udržení oblouku. To zajistí materiál s nízkou teplotou varu. Ten však není vhodným kontaktním materiálem. Nejlepší kompromisy byly nalezeny s použitím slinutých materiálů, které jsou vyráběny práškovou metalurgií. Nejpoužívanější jsou:

- WCu pro spínací aplikace a pro ovládání vysokonapěťových kondenzátorů,
- WCAg pro stykače,
- CuCr pro vypínače.

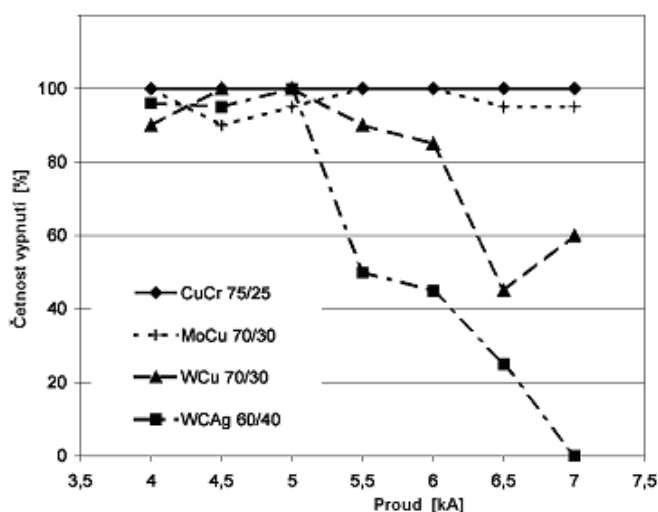
V současné době se jako nejvýhodnější jeví použití CuCr. Spojuje dobré elektrické vlastnosti s vynikající schopností vypínat obvod s výbornou erozí oblouku a dobrou odolností proti svaření. Mezi nevýhody patří o něco vyšší hodnota utrženého proudu než např. u WCAg. Procentní obsah Cu se pohybuje v rozmezí 50-80%, zbytek připadá na Cr.

Vyšší hodnota Cu je příznivá pro dobrou elektrickou vodivost (malá rezistivita kontaktů) a tepelnou vodivost. Naopak vyšší hodnota Cr zajišťuje větší odolnost proti svaření a izolační pevnost při vysokých napětích (obr. 11.13.).

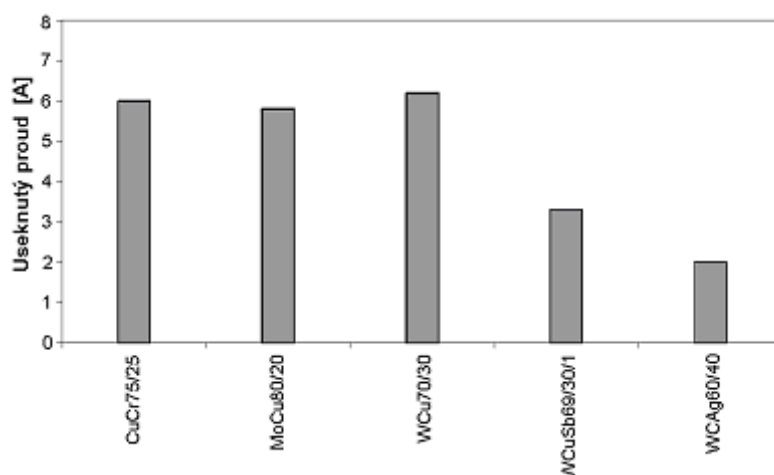


Obr. 11.13. – Nárůst izolační pevnosti mezi kontakty v závislosti na jejich materiálech

Na obr. 11.14. je porovnání několika typických kontaktních materiálů. CuCr vykazuje vynikající vypínací schopnost pro všechny hodnoty proudu. Podobně je na tom i MoCu. Z hlediska vypínací schopnosti jsou tyto dva materiály nejlepší. Další neméně důležitou vlastností těchto materiálů je usekávání proudu před přirozenou nulou (obr. 11.15.).



Obr. 11.14. – Četnost vypnutí jako funkce proudu pro různé kontaktní materiály



Obr. 11.15. – Průměrné hodnoty usekávaného proudu

11.2.5 Další části zhášedel

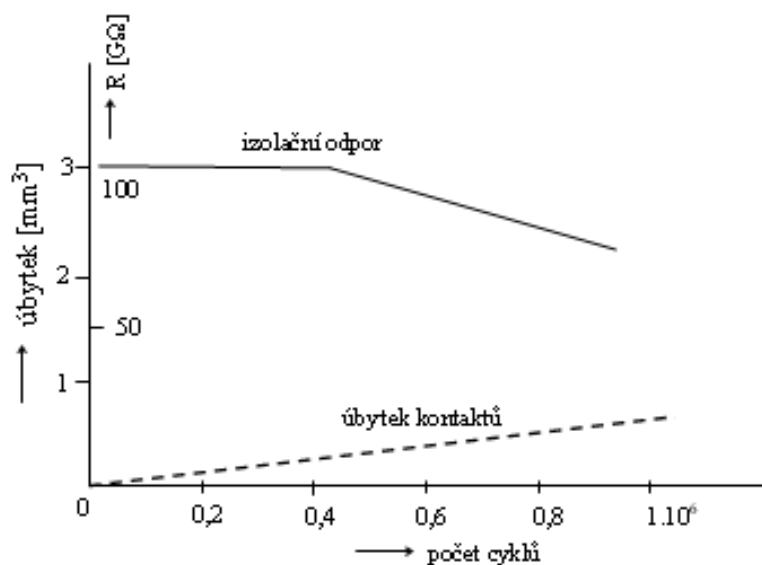
Izolační část může být buď skleněná nebo keramická. Korundová keramika, která se obvykle používá, je sice dražší než sklo, ale má větší pevnost, lépe se dodržují tolerance a je odolnější vůči nárazům mechanickým i teplotním. Víka jsou kovová. Spojování s kovem se provádí pájením měkkými pájkami pod vakuem při teplotě 800°C.

Vlnovec umožňuje pohyb kontaktu a zároveň těsní vnitřní prostor zhášedla proti okolnímu prostředí. Většinou se vyrábí z titanové oceli tloušťky 0,1 až 0,2 mm a určuje mechanickou životnost zhášedla. Ta se pohybuje okolo 10 000 pracovních cyklů (elektrická životnost je mnohonásobně větší).

Průrazné napětí je silně závislé na mikroskopickém stavu kontaktů. Stav povrchu způsobuje velký rozptyl hodnot průrazného napětí. Dá se zvětšit formováním zhášedel. To vlastně představuje rovnání povrchových nerovností nebo odstraňování nečistot z povrchu kontaktů elektrickými průrazy. Průrazné napětí vakuových zhášedel vzrůstá s velikostí zdvihu kontaktů. Toto zvětšování průrazného napětí je největší v oblasti malých zdvihů. Naproti tomu mechanická životnost zhášedel, limitovaná vakuovou těsností vlnovce, se s rostoucím zdvihem kontaktů značně zhoršuje. Provozní zdvih je tedy kompromisem mezi těmito závislostmi a je závislý na velikosti jmenovitého napětí a na druhu přístroje. Tak např. u stykačů do 7,2 kV je zdvih přibližně 2-4 mm, u vypínačů na 12 kV je 8-12 mm. Při vypínání proudů dochází k vypařování kontaktního materiálu, a tím i k zmenšování kontaktů. Snížením výšky kontaktů se zvětšuje vypínací vzdálenost, a tím také namáhání vlnovce. Změna elektrických vlastností zhášedla během jeho životnosti při vypínání

provozních proudů je na obr. 11.16.

Zapínací rychlost se pohybuje v mezích $0,6 - 2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, vypínací rychlost se volí tak, aby během jedné půlvlny proudu dosáhly kontakty 50-80% celkového zdvihu. Zvláštní pozornost v konstrukci vakuového zhášedla je nutné věnovat tepelným poměrům při průchodu jmenovitého proudu. Jelikož je vakuum dobrým tepelným izolantem, probíhá chlazení proudovodných částí pouze v axiálním směru vedením tepla prostřednictvím přívodů. Je proto nutné přívody ke kontaktům konstruovat tak, aby byly zajištěny žádoucí tepelné poměry uvnitř zhášecí komory.



Obr. 11.16. – Elektrické vlastnosti vakuového zhášedla



Shrnutí pojmů

Kontaktní materiály

Životnost kontaktů

Mechanická a elektrická odolnost

12. Pojistky



Čas ke studiu: 30 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat princip činnosti pojistky
- srovnat vhodnost použití pojistky a jističe



Výklad

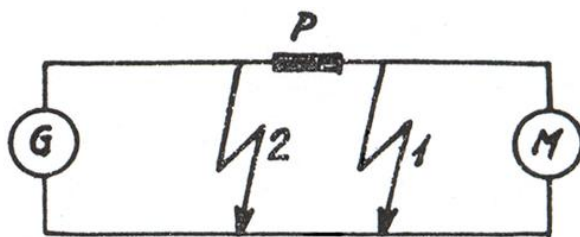
Proti účinkům nepřipustně zvýšených proudů jsou elektrické obvody jištěny. Takové jištění může být založeno na principu tepelně nejslabšího článku proudovodné dráhy. Na vhodném místě či místech proudovodné dráhy mezi zdrojem a spotřebičem je úmyslně vytvořen zeslabený průřez vodiče, menší než ve zbývajícím obvodu. Průchodem proudu se vodiče účinkem Jouleových ztrát (tepla) zahřívají. Dojde-li k nežádoucímu zvýšení proudu nad přípustnou mez, zahřívá se nejvíce právě vodič se zeslabeným průřezem a dojde k přetavení tohoto vodiče a přerušení elektrického obvodu dříve než zvyšování teploty ostatních částí či mechanické síly vyvolané zvýšeným proudem ohrozí nebo poškodí další části obvodu. Tento zeslabený průřez umístujeme do samostatného přístroje – elektrické tavné pojistky. Zapůsobením pojistky dojde k nevratnému poškození tavného vodiče a pojistka musí být vyměněna.

12.1. Umístění pojistky v elektrickém obvodu

Pro funkci pojistky v elektrickém obvodu musíme rozlišovat přetížení od zkratu.

Nastane-li situace, při které dojde například k přetížení motoru, tím k průchodu nadproudu vinutími tohoto motoru a zapůsobí pojistka tomuto motoru předřazená, pak tato pojistka chrání tento motor či jeho vinutí proti nepříznivým účinkům nadproudu.

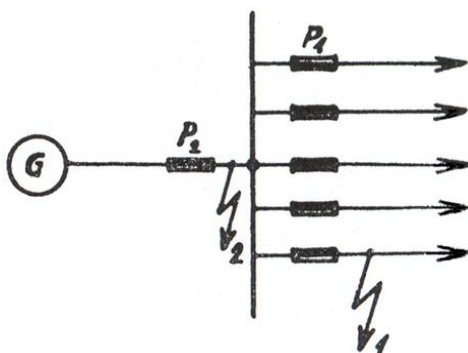
Nastane-li zkrat na svorkách téhož motoru (obr. 12.1 poz.1), pak táž pojistka nechrání motor proti účinkům zkratového proudu (proud motorem neprotéká), ale přívodní vedení k tomuto motoru vedoucí, a to ve směru od zkratu k pojistce.



Obr. 12.1. – Princip ochrany pojistkou

Nastane-li zkrat před pojistkou (obr. 12.1 poz.2), musí zapůsobit ochrana předřazená tomuto místu, v našem případě ochrana generátoru (není zakreslena).

V případě rozvětvených obvodů budou pojistky umístěné v jednotlivých větvích dimenzovány podle jmenovitých proudů těchto větví, kdežto pojistka, těmto pojiskám ve směru ke zdroji předřazená, bude dimenzována na součet proudů všech větví. Obr. 12.2.



Obr. 12.2. – Princip jištění rozvětvených vedení

12.2. Porovnání pojistky s jističem či vypínačem

Pro představu nezbytnosti jištění obvodu pojiskami uvádíme porovnání pojistky s jističem či vypínačem.

Při vypínání zkratu je pojistka jako jisticí prvek v několika ohledech dokonalejší a výhodnější než jistič či vypínač. Pojistky se vyznačují těmito přednostmi:

Působení pojistky je velmi rychlé. Působí tím rychleji, čím větší je zkratový proud. Toto je velmi výhodné z hlediska jištěného obvodu, neboť zkratový proud protéká obvodem po dobu co nejkratší.

Tím, že pojistka působí velmi rychle, omezuje zkratový proud. Hovoříme-li o střídavém obvodu, pak zkratový proud je přerušen dříve než obvodem projde první maximum zkratového proudu. Jouleovy ztráty

v ostatních částech obvodu a síly vyvolané průchodem zkratového proudu nedosahují svých maximálních hodnot a obvod je méně namáhán, na rozdíl od jištění vypínači, kdy je proud vypnut v lepším případě až při průchodu první nulou, tj. po průchodu proudu maximem.

Pojistka je podstatně menší a levnější než jistič či vypínač a na údržbu je velmi nenáročná.

Na druhou stranu užití samostatné pojistky není výhodné v některých z dále uvedených případů.

Po každém zapůsobení pojistky je trvale přerušena proudovodná dráha, pojistku je třeba vyměnit, což v rozvodech, ve kterých se vyskytují nebo je zvýšená pravděpodobnost výskytů přetížení a zkratů, je ekonomicky a provozně nevýhodné.

Rovněž v oblasti malých přetížení je použití pojistky sporné, ne-li vyloučené. Pojistka musí trvale snášet jmenovitý proud. Jelikož však její působení je založeno na tepelném účinku proudu, musí hodnota proudu, při kterém se pojistka právě přetaví ležet nad hodnotou proudu jmenovitého. Odstup mezi těmito dvěma proudy musí být dostatečný, aby pojistka při jmenovitém proudu nepracovala v oblasti blízké teplotě tavení vodiče. Tento požadavek však nevyhovuje požadavku jištění malých nadproudů. Obvykle proud, při kterém se pojistka právě přetaví, a který nazýváme krajním proudem, leží u pojistek pro všeobecné použití v rozmezí $1,3 - 1,6 I_N$ (někteří výrobci udávají u speciálních pojistek dolní mez $1,25 I_N$), u pojistek vn $1,3 - 2,0 I_N$. Velké tolerance krajního proudu jsou dány výrobními nepřesnostmi – tolerancemi tavných vodičů. Tyto tolerance se projevují i rozptylem tavné doby vodičů.

Z uvedeného vyplývá, že v některých případech jsou velmi výhodné kombinace pojistek s jinými přístroji. V oblasti nn jsou to kombinace pojistek s jističi či stykači, v oblasti vn kombinace s odpínači. Pojistka ve všech případech jistí proti zkratům a velkým přetížením, pro oblast malých a středních přetížení jsou výše uvedené přístroje vybaveny nadproudovými relé nebo spouštěmi.



Shrnutí pojmů

Umístění pojistky

Omezovací schopnost pojistky

Výhody a nevýhody

12.3. Základní parametry a jmenovité hodnoty pojistek

12.3.1. Jmenovité napětí, jmenovitý proud, krajní proud.



Čas ke studiu: 60 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- definovat základní parametry pojistky
- popsat princip omezení zkratového proudu pojistkou



Výklad

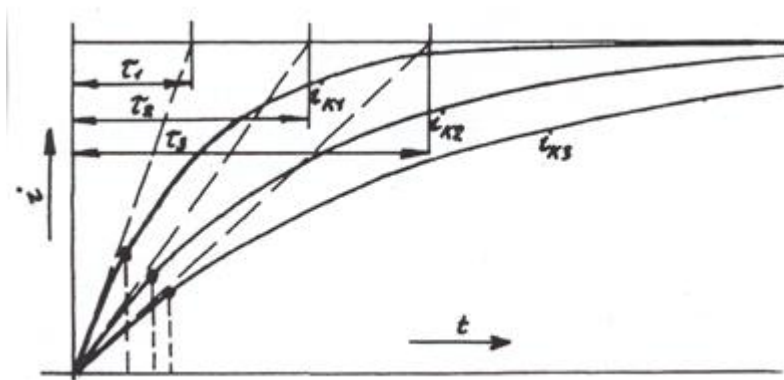
Jmenovité napětí U_N je napětí, na které je pojistka navržena a postavena. Je uvedeno na pojistkové patroně. Pojistkové vložky musí být použity na jmenovité napětí, které je předepsáno a při kterém budou působit, protože v případě použití pojistky určené na vyšší napětí v obvodu s nižším napětím, by mohlo dojít k nepřípustným přepětím.

Jmenovitý proud I_N je proud, který musí pojistka trvale snést, aniž by teplota překročila přípustné meze a pojistka by zapůsobila..

Krajní proud I_{KR} je proud, při jehož trvalém průtoku pojistkou se tavná vložka právě ještě nepřetaví.

12.3.2. Vypínací schopnost pojistky, předvídaný proud, tavný proud, doba působení

Vypínací schopnost pojistky není definována proudem, který pojistka vypne, ale proudem, který by v obvodu vznikl, kdyby byla pojistka nahrazena vodičem o zanedbatelné impedanci a udává se v kA, u pojistek vn se vypínací schopnost udává v MVA, což je pouze součin předvídaného proudu a jmenovitého napětí. Pojistka se však přetaví a vypne proud dříve než tento dosáhne své vrcholové hodnoty, čili proud omezí. Tento omezený proud nazýváme proudem tavným I_{TAV} . Tento proud bude tím menší, čím bude pojistka rychlejší. Okamžitá hodnota



Obr. 12.3. – Závislost doby vypnutí a tavného proudu pojistky na strmosti nárůstu zkratového proudu

tohoto proudu je proměnná podle parametrů obvodu resp. v závislosti na tvaru proudu na počátku zkratu, tj. na strmosti nárůstu zkratového proudu. Obr. 12.3.

Z uvedeného vyplývá, že tavný proud není vhodný k označení vypínací schopnosti pojistky. Proto definujeme vypínací schopnost pojistky takovým parametrem, který nezávisí na činnosti pojistky. Tím je zkratový proud. Je to proud, o kterém předvídáme, že by tekł obvodem, kdyby nezapůsobila pojistka. Nazýváme ho tedy předvídaným proudem $I_{PŘ}$, a je udáván efektivní hodnotou ustálené složky zkratového proudu.

U pojistek na vn se vypínací schopnost pojistky nevyjadřuje předvídaným proudem, ale vypínacím výkonem v MVA. Je to v podstatě součin předvídaného proudu a jmenovitého napětí

$$P = I_{PŘ} U_N \sqrt{3} \quad [\text{W}] \quad (12.1)$$

pro trojfázový obvod.

Ve stejnosměrném obvodu je hodnota předvídaného proudu dána ustáleným zkratovým proudem

$$I_K = \frac{U}{R} \quad [\text{A}] \quad (12.2)$$

Vraťme se však ještě k tavnému proudu. Na roztavení tavné vložky je třeba jistou energii. Vzhledem k tomu, že při zkratech dochází k roztavení tavné vložky v časech menších než 10^{-2} s, můžeme zanedbat

odvod tepla do okolí a předpokládat, že veškeré teplo vzniklé průchodem proudu tavným vodičem se bude akumulovat v objemu tohoto vodiče. Pro ss obvod můžeme psát:

$$W = R \int_0^{t_{TAV}} i^2 dt \quad [\text{J}] \quad \text{kde} \quad (12.3)$$

$$i = \frac{U}{R} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad [\text{A}] \quad \text{kde} \quad (12.4)$$

$$\tau = \frac{L}{R} \quad [\text{s}]$$

Vzhledem k velmi krátkým časům tavné doby můžeme exponenciální funkci v rovnici (12.4) nahradit přímkovou závislostí (tečnou) v počátku. A pro konstantní R platí:

$$\frac{di}{dt} = \frac{U}{L} \quad \text{a} \quad i = \frac{di}{dt} t = \frac{U}{L} t \quad \text{a} \quad (12.5)$$

dosazením do integrálu v rovnici (12.3)

$$\frac{W}{R} = \left(\frac{U}{L}\right)^2 \int_0^{t_{TAV}} t^2 dt = konst \quad \text{dostaneme} \quad (12.6)$$

tavnou dobu vodiče (přesněji dobu do zapálení oblouku)

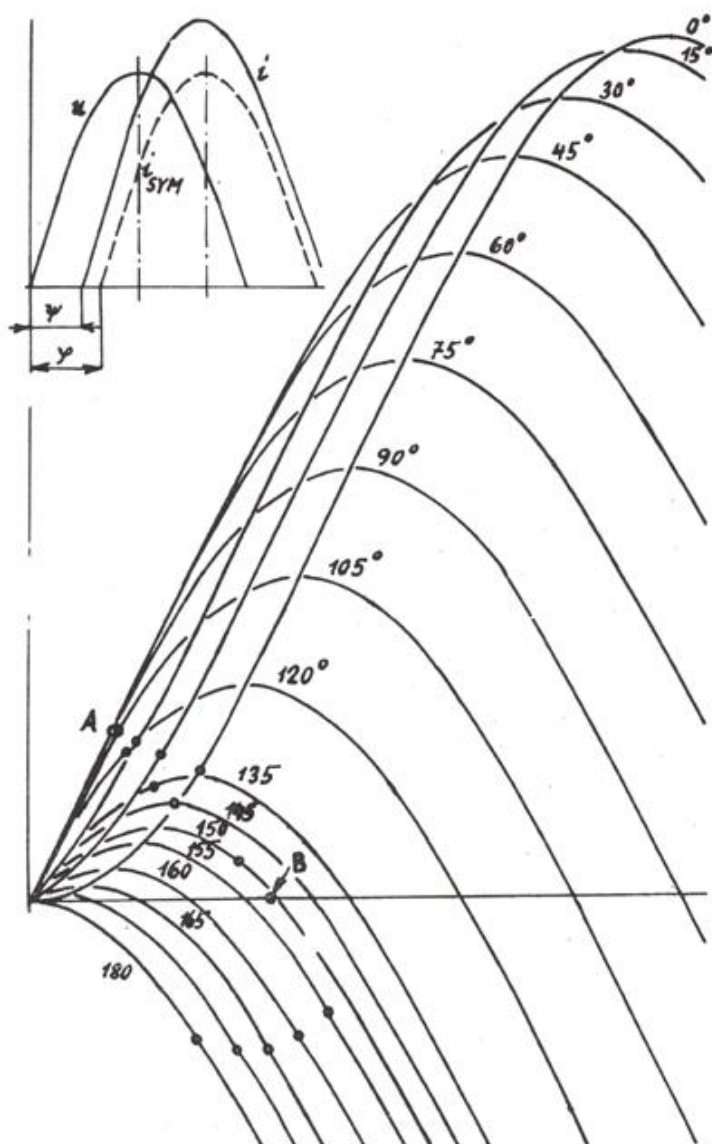
$$t_{TAV} = \frac{W}{R} \left(\frac{U}{L}\right)^{-\frac{2}{3}} \quad [\text{s}] \quad (12.7)$$

Tavná doba se tedy bude s klesající strmostí prodlužovat.

Dosazením tavné doby do rovnice (12.7) dostaneme vztah pro tavný proud

$$I_{TAV} = \frac{W}{R} \left(\frac{U}{L}\right)^{\frac{1}{3}} \quad [\text{A}] \quad (12.8)$$

U střídavého proudu je situace poněkud složitější, neboť zde záleží na okamžiku vzniku zkratu vzhledem k sinusovému průběhu napětí.



Obr. 12.4 – Závislost doby tavení a velikosti tavného proudu na úhlu vzniku zkratu ($0 - 180^\circ$)

Zkratový proud je dán rovnicí

$$i_K = I_{\max} (\sin(\omega t - \varphi + \psi) + \sin(\varphi - \psi) e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad [\text{A}] \quad \text{kde} \quad (12.9)$$

φ je fázový posuv mezi proudem a napětím a ψ je posunutí vzniku zkratu za předchozí nulou napětí. Obr. 12.4.

Elektrické přístroje spínací, jisticí a ochranné

Celková doba působení je součtem tavné (předobloukové) doby a doby hoření oblouku. Doba hoření oblouku závisí na velikosti tavného proudu. Ten je mírou magnetické energie

$$W = \frac{1}{2} Li^2 \quad [\text{J}] \quad (12.10)$$

nahromaděné v obvodu v okamžiku vzniku oblouku.

Celková doba působení nemá pro činnost pojistky velkou důležitost.



Shrnutí pojmů

Jmenovité napětí, jmenovitý proud pojistky

Krajní proud

Vypínací schopnost, předvídaný proud

Tavný proud, tavná doba, doba působení

12.3.3. Tavná charakteristika pojistek



Čas ke studiu: 15 min



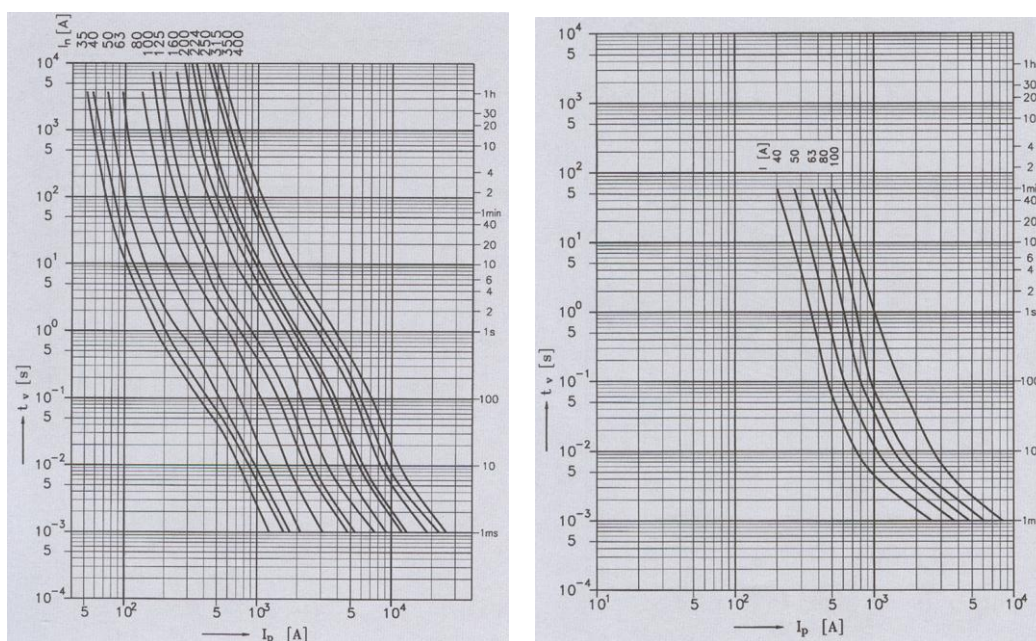
Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat tavnou charakteristiku pojistky
- vysvětlit vliv úprav tavného vodiče



Výklad

Závislost tavné doby na velikosti proudu se nazývá tavnou charakteristikou pojistky. Tavná doba se liší také podle toho, zda pojistka byla před působením studená, nebo teplá v důsledku průchodu jmenovitého proudu.

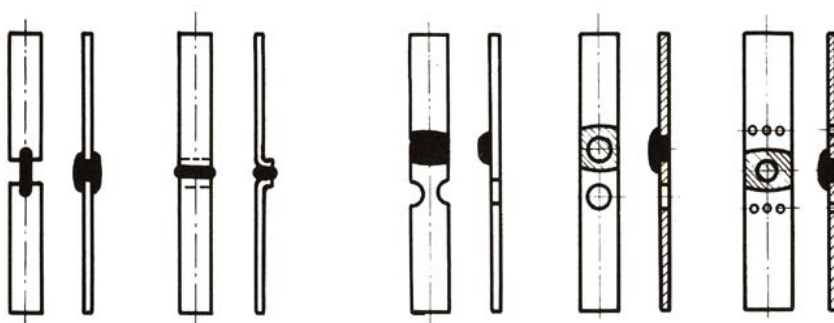


Obr. 12.5. – Příklad tavných charakteristik pojistek OEZ Letohrad

Tvar charakteristiky pojistky (Obr. 12.5.) lze změnit konstrukčními zásahy na tavném vodiči. Dnes se vyrábějí tavné vodiče výhradně ze stříbra a mědi, to je z materiálů s nejlepší elektrickou vodivostí. U pojistek s tuhým hasivem je dávana přednost stříbru, protože má menší výparné teplo, lepší elektrickou vodivost. Aby teploty tavení, které se u všech

těchto kovů pohybují kolem 1000°C , nevedly při malých nadproudech k vyhřátí pojistkových spodků, upravují se tavné vodiče tak, že určité malé množství nízkotavné slitiny (např. cínové pájky) se nanese na tavný vodič v jeho střední části.

Nadproudem roztavený kov nesteče, adhezí a okolním pískem je držen na svém místě. Roztavený kov rozpouští stříbro a postupně s ním vytváří slitinu s teplotou tavení kolem 400°C . Toto opatření působí v oblasti malých nadproudů tj. při několikaminutové době tavení. Při vyšších nadproudech, tedy kratších časech působení, se vliv nízkotavné slitiny na stříbro neuplatňuje, a proto se přikročilo k dalším opatřením, jako zeslabení průřezu (obr. 12.6.).



Obr. 12.6. – Příklady úprav tavného vodiče pro vypínání nadproudů

Zeslabením vodiče v určitém místě je docíleno při velkých nadproudech bezpečnější funkce, snížení teploty pojistky a snížení špičky obloukového napětí.



Shrnutí pojmů

Tavná charakteristika pojistky, teplý a studený stav

Úprava tavných vodičů

12.4. Popis fyzikálních dějů při působení pojistky



Čas ke studiu: 15 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat fyzikální děje při působení pojistky



Výklad

Tavný vodič je zpravidla umístěn v porcelánové tavné vložce. Okolní prostor tavného vodiče je vyplněn sypkým plaveným křemičitým pískem (užívá se také mramorová moučka, mletý korund, mletá křemelina), který je udusán.

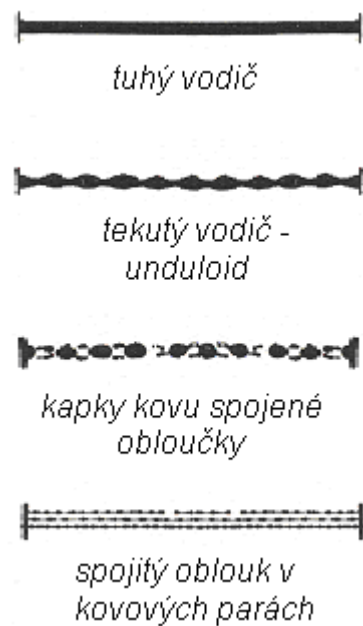
Prochází-li pojistkou nadproud, teplota pomalu vzrůstá, podélným odváděním tepla do velkých chladících ploch tvořených čely pojistky, noži či praporci, se teplota rozloží podél tavného vodiče podle obr. 12.7.

Tavné teploty nebude dosaženo na celé délce vodiče, ale v místě s nejmenším odvodem tepla do okolí tj. ve středu tavného vodiče. Přetavením vodiče se vytvoří mezera, v níž se zapálí oblouk. Elektrický oblouk má větší elektrický odpor než tavný vodič a množství tepla vzniklého průchodem proudu (i při stálé hodnotě proudu) je podstatně větší než teplo vznikající v tavném vodiči a dochází k odtavování zbylých částí tavného vodiče do okamžiku, kdy oblouk dosáhne délky postačující k jeho uhasnutí.



Obr. 12.7. – Rozložení teploty na pásku pojistky při vypínání nadproudu

Začne-li procházet pojistkou proud zkratový, který má velkou strmost nárůstu, nedochází (zanedbatelně) k odvodu tepla do okolí, teplota roste po celé délce tavného vodiče současně a tudíž dosáhne i tavné teploty současně. Vodič přejde během velmi krátké doby ze stavu pevného, přes kapalný do stavu plynného. Obr. 12.8.



Obr. 12.8. – Jednotlivé etapy působení pojistky při zkratu

Vypařený a ionizovaný kov je vržen na stěny kanálu tvořeného udusaným pískem. Mezi čely pojistkové patrony hoří oblouk. Písek se zahřívá a taví, čímž vznikají tepelné ztráty, oblouk je intenzivně chlazen a vzniká vysoký obloukový gradient. Vzhledem k tomu, že oblouk hoří v úzkém prostoru vymezeném průměrem kanálu tvořeného spečeným pískem, má velkou proudovou hustotu a úbytek napětí na oblouku vzroste nad napětí zdroje a oblouk uhasíná.



Shrnutí pojmů

Rozložení teploty v tavném vodiči při nadproudu

Rozložení teploty v tavném vodiči při zkratu

12.5. Konstrukční provedení pojistek



Čas ke studiu: 60 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat konstrukční uspořádání pojistek
- srovnat konstrukci pojistky nn, vn



Výklad

Na obrázku 12.9. je příklad zapůsobení jedno a dvoelementové pojistky.

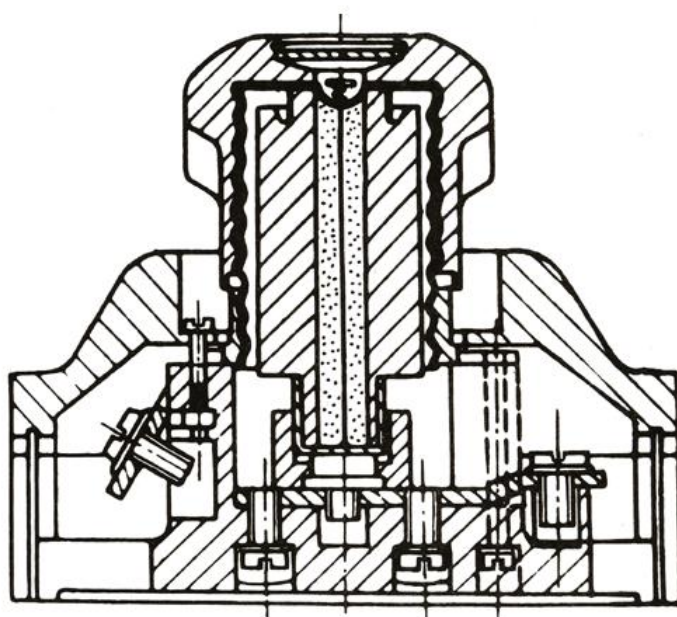


Obr. 12.9 – Konstrukční provedení pojistky jedno a dvoelementové (konstrukce Bussman)

U jednoelementové pojistky (vlevo) slouží jeden a týž tavný element k vypínání zkratů i nadproudů. U dvoelementové pojistky jsou nadproudy vypínány ve střední části pojistky. Je zde umístěn kontakt tvaru U do něhož je zapájen pájkou s nízkým bodem tání kontakt tvaru I. Kontakt tvaru U je umístěn na natažené pružině. Pojistka zapůsobí tak, že působením nadproudu dojde k natavení pájky spojující oba kontakty a

kontakt tvaru U je pružinou odtržen od druhého kontaktu, čímž dojde k přerušení obvodu. Zkrat je vypínán pomocí perforovaného pásu v levé či pravé straně pojistky.

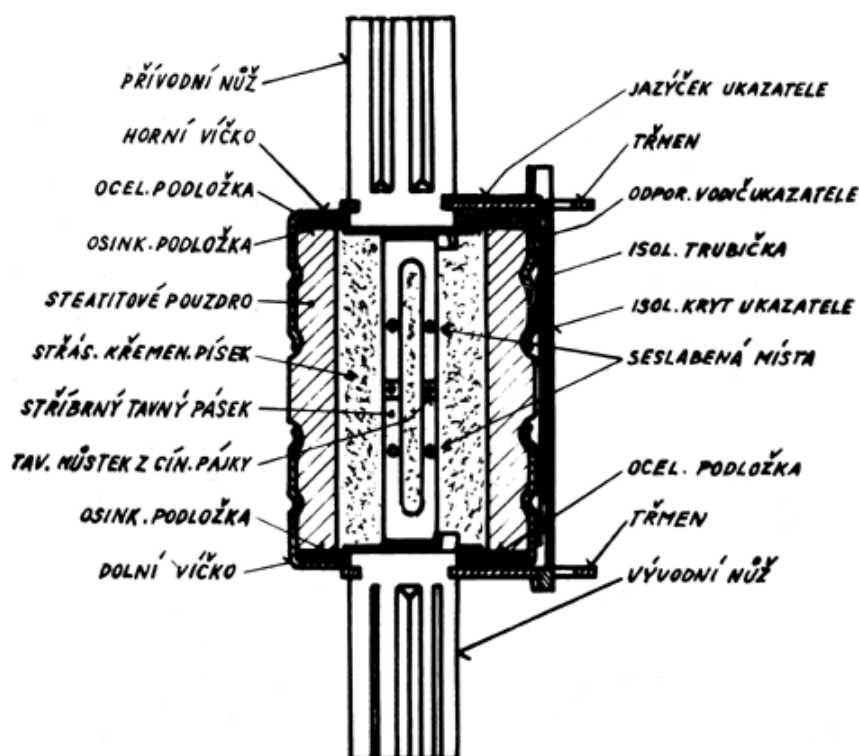
Závitová pojistka na nízké napětí (obr. 12.10) se používá na jištění domovních a menších průmyslových instalací. Základem pojistky je porcelánový spodek nesoucí přívod i vývod proudu. Na přívodu je kovový styčný proužek a keramický vymezovací kroužek sloužící k tomu, aby bylo možno vložit do pojistky výměnnou tavnou vložku jen na příslušný jmenovitý proud. Vývod je spojen s normalizovaným stykovým závitem (E27, E33). Do závitu se našroubuje porcelánová hlavice, do které byla vložena příslušná tavná vložka. Vložka je tvořena porcelánovým tělesem, v jehož dutině je v křemenném písku uložen tavný vodič a pomocný tavný vodič ovládající barevný terčík ukazatele stavu pojistkové vložky. Barevný terčík ukazatele je pružinkou odtlačován od horního víčka vložky. Při přetavení pojistky je terčík odmrštěn ze svého místa, čímž signalizuje přetavený stav. Závitové pojistky jsou vyráběny na jmenovité proudy 2 – 250 A.



Obr. 12.10 - Závitová pojistka

Nožová pojistka na nízké napětí (obr. 12.11) je určena pro větší vypínací proudy a výkony (OEZ Letohrad, I_N až 1600 A, vyp.schopnost 120 kA) (obr. 12.12). Na obrázku je znázorněn pouze řez tavnou vložkou. Pojistkový spodek je zpravidla porcelánový se dvěma pérovými kontakty, do nichž se zasouvají nože patроны. Tavnou vložku je možno po přetavení vyjmout i pod napětím speciálním izolačním držadlem. Ve

čtyřhranném porcelánovém pouzdru jsou v křemenném písku uloženy tavné vodiče (jeden či několik paralelně, dle velikosti jmenovitého proudu). Ukazatel stavu pojistky je připevněn na odporový tavný drátek. Drátek je svým spodním koncem připevněn na spodní víčko, horním je uchycen na pružný jazýček ukazatele. Po přetavení se jazýček ohne směrem vzhůru a vysune barevný terčík, původně ukrytý za izolační stěnou krytu.

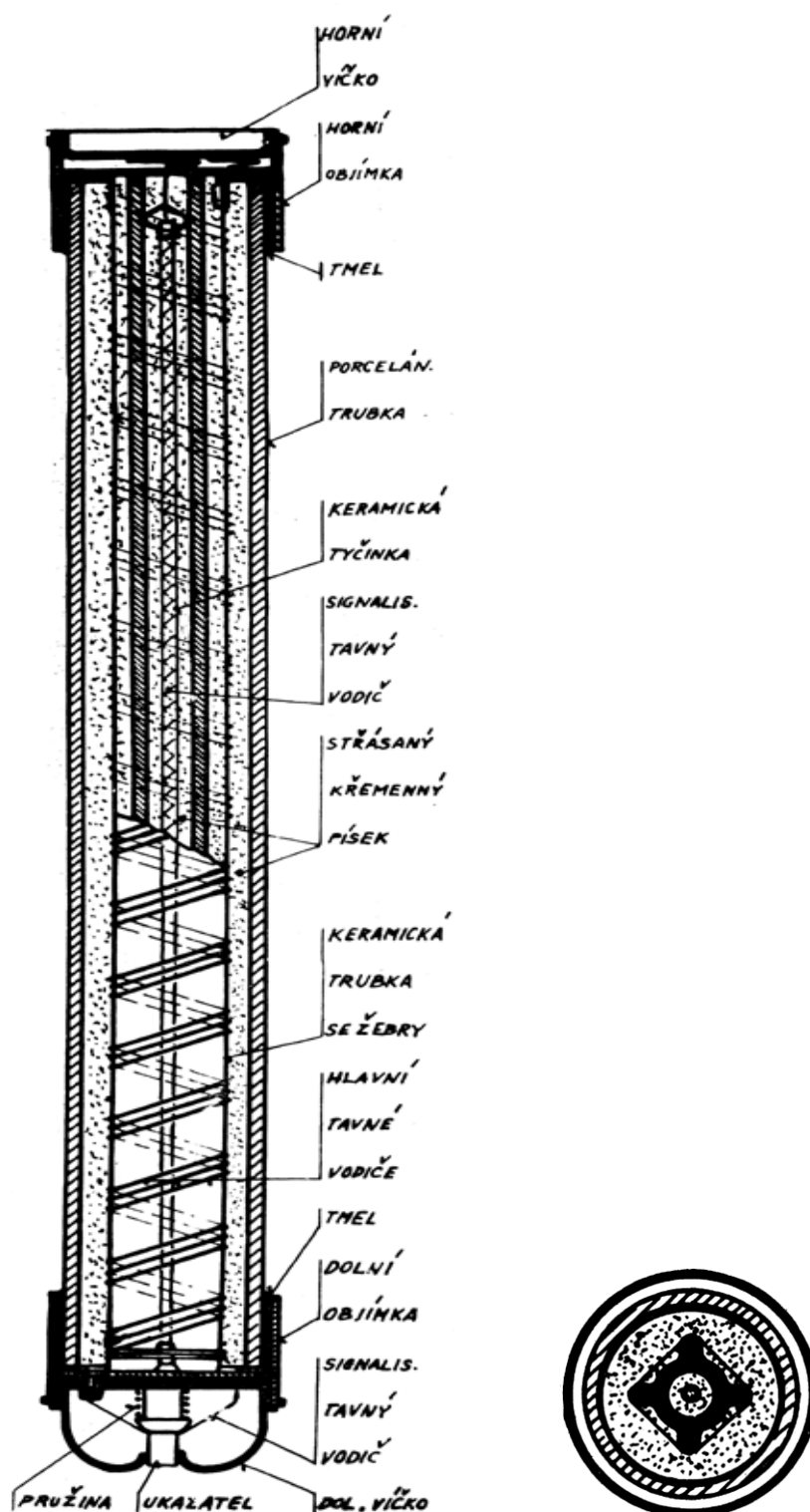


Obr. 12.11- Informativní řez nožovou pojistkou



Obr.12.12 - Konkrétní vzhled nožových pojistek (OEZ Letohrad) Typ PN
 $I_N = 4 - 1600\text{A}$

Na obr. 12.13 je podélný a příčný řez patronovou pojistkou na vysoké napětí (22 kV) bez pojistkového spodku.



Obr. 12.13 - Konstrukce výkonové pojistky vn

Ten je tvořen jednoduchým ocelovým rámem se dvěma porcelánovými izolátory na příslušné napětí. Izolátory nesou vývodní praporce a pružné kontakty na zasunutí patrony. Vlastní patrona se skládá z porcelánové trubky se dvěma kovovými objímkami a je na konci uzavřena nalisovanými kovovými víčky. Hlavní tavný vodič je v našem případě tvořen několika paralelními tavnými dráty (může být i páskový perforovaný), šroubovitě navinutými na keramické tvárnici s podélnými žebry. Tvárnice má v řezu tvar hvězdice, takže tavné vodiče spočívají pouze na hranách žeber. Uvnitř keramické tvárnice je dutina, v níž je umístěna keramická tyčinka, na niž je navinut odporový drátek ukazatele. Odporový vodič na dolním konci prochází izolačním korálkem skrz vnitřní víčko a je provlečen otvorem v kolíku ukazatele a pak teprve připojen k vodivému víčku. Přidrží tak kolík proti tlaku pružiny. Jakmile se signalizační vodič přetaví kolík (ukazatel) se vysune ven. Prostor kolem hlavního i pomocného vodiče je vyplněn křemenným pískem.



Shrnutí pojmů

Jedno a dvouelementová pojistka

Pojistková patrona

Nožová pojistka

VN pojistka

13. Přepětí a bleskojistky

13.1. Přepětí



Čas ke studiu: 35 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- definovat typy přepětí
- vysvětlit šíření přepětíové vlny po vedení



Výklad

Každá elektrická soustava má stanoveno jmenovité napětí. Jmenovité napětí je napětí, na které jsou vztaženy vlastnosti a hodnoty přístrojů např. vypínací a zapínací schopnost. V provozu však není možné udržet hodnotu provozního napětí stále přesně na napětí jmenovitém, neboť dochází ke kolísání napětí. Horní mezí, při které můžeme soustavu trvale provozovat nazýváme nejvyšším provozovacím napětím. Jakékoliv vyšší napětí nazýváme přepětím.

Přepětí dělíme na krátkodobá (rázová) a dlouhodobá (trvalá), vnější (atmosférická) a vnitřní (spínací a dynamická)

Vnější přepětí jsou způsobena atmosférickými výboji. Indukují se ve vodičích venkovního vedení úderem blesku. Velikost závisí na tom, zda bylo vedení zasaženo bleskem přímo nebo bylo zasaženo zemní lano nebo stožár či libovolný objekt v blízkosti vedení. Atmosférické přepětí působí na elektrickou izolaci jak svou absolutní výškou, tak strmostí svého čela.

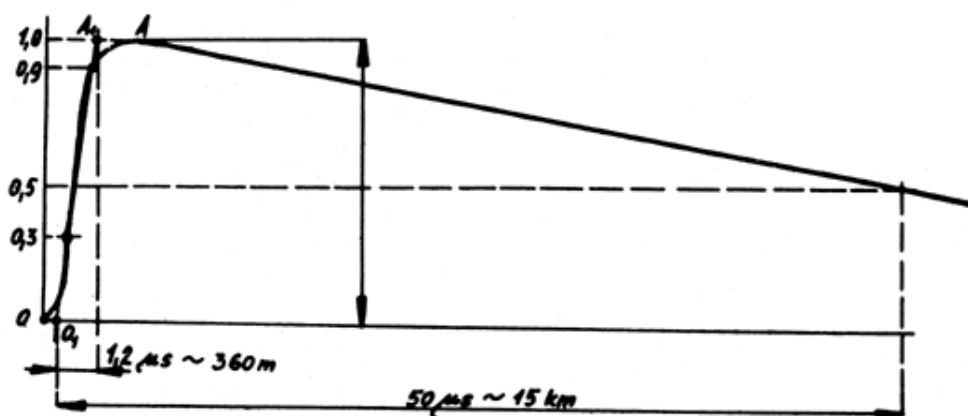
Do spínacích přepětí patří především přepětí vznikající působením spínacích přístrojů v sítích. Jsou to :

- a) přepětí při vypínání malých induktivních proudů
- b) přepětí při vypínání kapacitních proudů
- c) přepětí vznikající v síti s izolovaným uzlem jednofázovým přerušovaným zemním spojením
- d) přepětí při zapínání dlouhých vedení naprázdno, vypínání vedení s transformátorem naprázdno, vypínání transformátoru s připojeným vedením naprázdno

Dynamická přepětí mohou být způsobena náhlým vypnutím velké zátěže, náhlým odlehčením dlouhého vedení, vypnutím zatíženého generátoru a pod. Tato přepětí mohou trvat i několik sekund a jejich výška se pohybuje 30% nad nejvyšším provozovacím napětím. Tato přepětí neohrožují izolaci soustavy bezprostředně, jsou likvidována regulačními členy soustavy v časech počítaných na sekundy.

Atmosférické přepětí je v podstatě vlna pohybujícího se náboje po vedení. Napětí určitého úseku vodiče proti zemi vyjadřuje velikost náboje nahromaděného v kapacitě tohoto úseku proti zemi. Tvar napěťové vlny pohybující se po vedení znamená rozložení tohoto náboje podél vedení. Pohyb napěťové vlny znamená současně pohyb náboje, tedy současný pohyb proudové vlny. Rychlost pohybu vlny je $v = 1/(LC)^{1/2}$.

Na obr. 13.1. je normalizovaný tvar zkušební vlny.

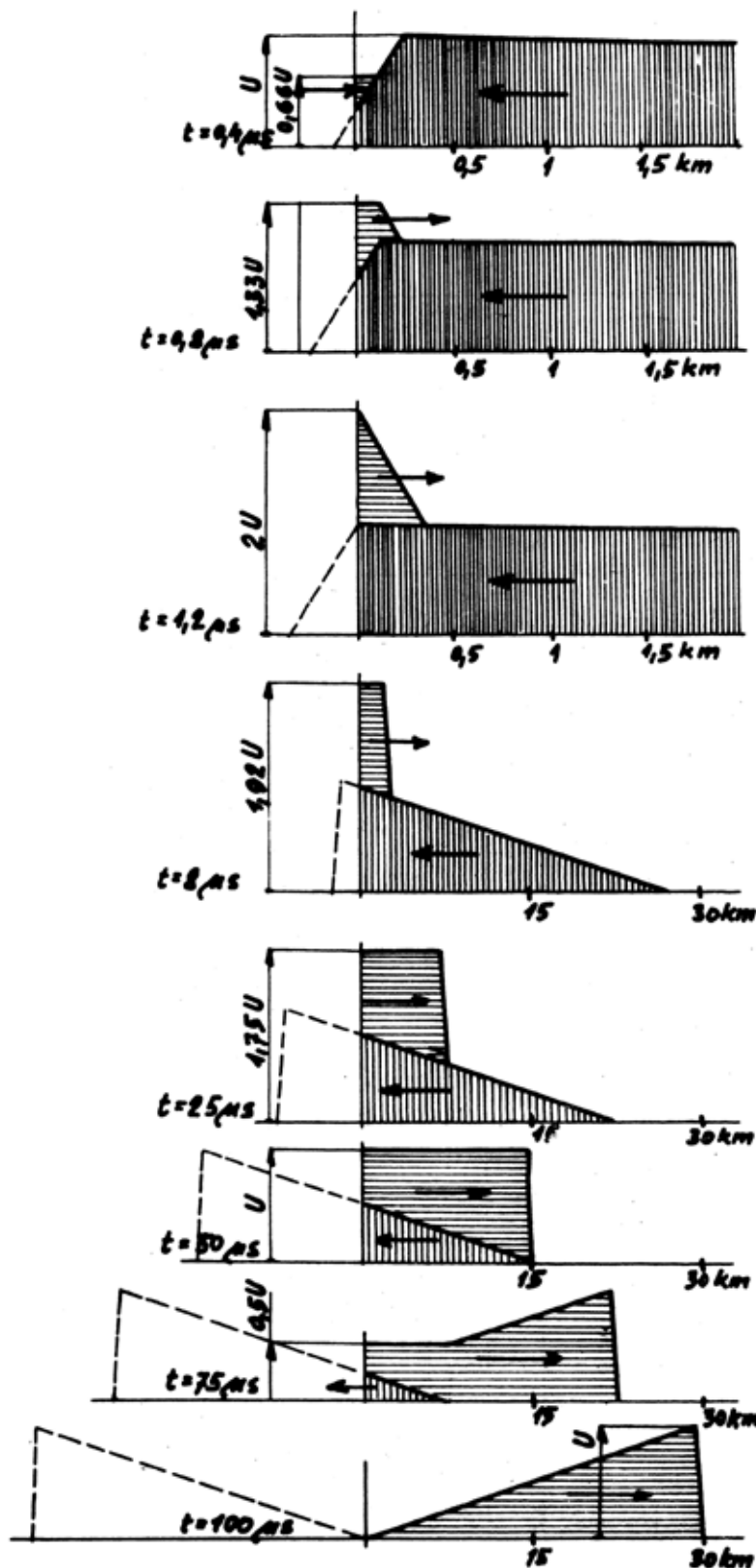


Obr. 13.1. – Normalizovaný tvar zkušební vlny

Čelo je rozloženo na 360 m, půltýl na délce 15 km. Tvar vlny se řídí vlnovou impedancí $Z_v = \sqrt{\frac{L}{C}}$. Při velké indukčnosti a malé kapacitě bude mít vlna čelo strmé, při malé indukčnosti a velké kapacitě ploché. Pro orientaci jsou zde uvedeny přibližné vlnové impedance některých vodičů a zařízení.

Kabely	 50 Ω
Venkovní vedení	 330 až 500 Ω
Vinutí transformátoru řádově	 5000 Ω

Tvar čela vlny se při pohybu vlny mění vlivem indukčností a kapacit rozložených podél vedení a kapacit závěsných izolátorů, měřících transformátorů, a pod.



Obr. 13.2 – Příklad odrazu normalizované vlny na konci vedení

Vlna při své cestě po vedení dospívá do míst, kde se mění vlnová impedance. Jsou to třeba místa, kde se mění druhy vodičů (venkovní vedení-kabel), vstupy do rozveden, vypnutá či zkratovaná vedení. Na těchto místech dochází k úplnému nebo částečnému odrazu vlny. Na obr. 13.2. je příklad odrazu normalizované vlny $1,2/50$ do otevřeného konce vedení, tedy přechod na nekonečně velkou vlnovou impedanci.

První obrázek znázorňuje situaci těsně po nárazu vlny na konec vedení. Náboj, který se nemůže šířit dál, nabíjí koncové kapacity na vyšší napětí než odpovídá čelu a rychlosti vlny. Napětí stoupá dvojnásobnou rychlostí než je původní strmota vlny. Na třetím obrázku v čase $1,2 \mu\text{s}$ přišel vrchol vlny na konec vedení. Přepětí dosáhlo dvojnásobku vrcholového napětí původní vlny.

Na dalších obrázcích odražená vlna klouže po týlu vlny přicházející. Na posledním se vlna původního tvaru a velikosti pohybuje opačným směrem.

Putující vlny přicházejí do rozveden a namáhají izolaci transformátorů, vinutí el. strojů, protože ta mají několikanásobně vyšší vlnovou impedanci než vedení a znamenají pro vlnu stejný případ jako otevřený konec vedení a napětí se prakticky zdvojnásobí. Z tohoto důvodu je potřeba především transformátory chránit bleskojiskami proti účinkům přepětí.

V elektrických soustavách se na ochranu proti přepětí používá těchto zařízení:

- a) Zemní lana na vedení
- b) Ochranné neboli koordinační jiskřiště
- c) Trubkové bleskojistky
- d) Ventilové bleskojistky
- e) Kondenzátory a kondenzátorové bleskojistky



Shrnutí pojmů

Přepětí, vnější, vnitřní, krátko a dlouhodobá

Rázová vlna, půltýl

Vlnová impedance

13.2. Obecná provedení svodičů přepětí



Čas ke studiu: 60 min



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat typy a funkci svodičů přepětí



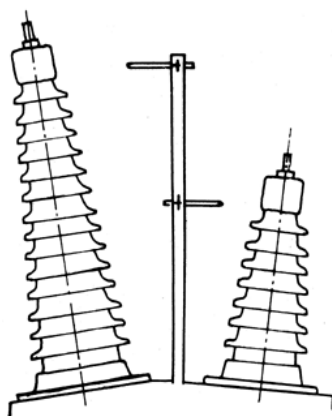
Výklad

13.2.1. Zemní lana

Nejúčinnějším zařízením na ochranu proti atmosférickému přepětí, zabraňujícím z největší části přímým úderům blesků do fázových vodičů, jsou zemní lana, která jsou v počtu jednoho až dvou zavěšena nad fázovými vodiči dlouhých vedení a na každém stožáru jsou zemněna. Přepětí prakticky snižují přímo u jeho zrodu. Zemní lana jsou ovšem účinná pouze proti atmosférickým přepětím a neodstraňují je úplně. Ostatní dále uvedená zařízení snižují přepětí již vzniklá, nemohou však zabránit ani omezit jejich vznik.

13.2.2. Koordinační jiskřiště

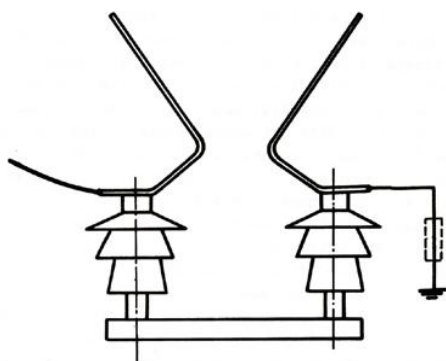
Je zpravidla tvořeno jednoduchou tyčovou elektrodou spojenou se zemí, jejíž konec je ve vhodné vzdálenosti od vhodné části proudového obvodu (čepičky transformátorové průchodky). Na obr. 13.3. je jedno z možných uspořádání ochranného jiskřiště.



Obr. 13.3. – Jedno z možných uspořádání ochranného jiskřiště – čepička transformátorové průchodky – jednoduchá tyčová elektroda.

Při průchodu přepětové vlny se doskoková vzdálenost prorazí a přepětí se svede na zem. Tím se vytvoří vodivá cesta mezi fází a zemí, kterou v soustavách s uzemněným uzlem teče zkratový proud. Tento proud musí být tedy následně vypnut vypínačem. Další velkou nevýhodou tohoto jednoduchého provedení je závislost elektrické pevnosti jiskřiště na atmosférických podmínkách, na čistotě a hladkosti povrchu elektrod (koroze). Z těchto důvodů se koordinačních jiskřišť používá jen společně s bleskojistkami jako záložní ochrany nastavené na vyšší napětí, než je napětí, při kterém působí bleskojistka. Další možné řešení ochranného jiskřiště je na obr. 13.4.

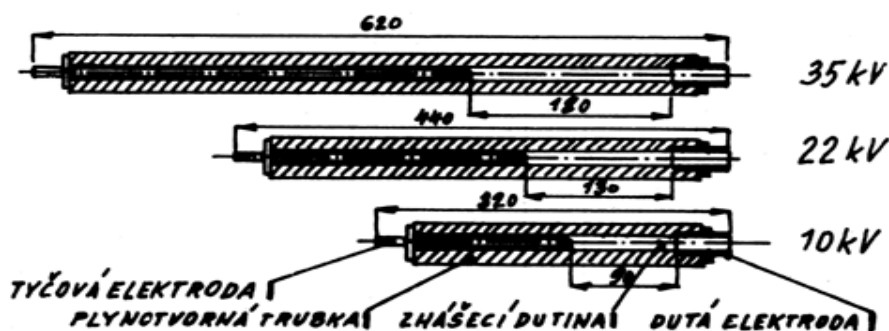
Oblouk se vlivem elektromagnetických sil pohybuje vzhůru po opalovacích růžcích obdobně jako u úsečníků a v nule proudu zaniká. Následný proud však bývá tak velký, že vypnutí musí provést vypínač.



Obr. 13.4. – Další možné řešení ochranného jiskřiště

13.2.3. Trubkové bleskojistky

Nejznámější je tak zvaná Torokova trubice (podle vynálezce). Skládá se z tyčové jiskřiště uloženého v trubce z plynotvorného materiálu. Obr.13.5.

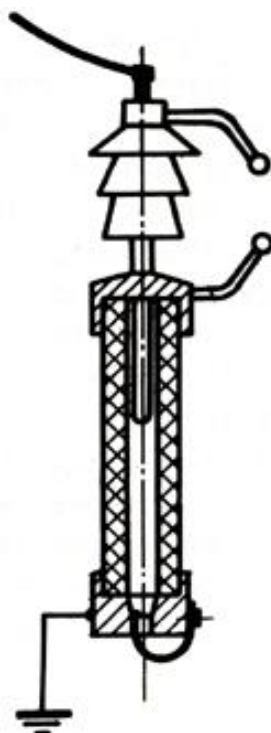


Obr. 13.5. – Trubkové bleskojistky

Přepětí způsobí přeskok mezi elektrodami jiskřiště, vedení se spojí se zemí a přepětí se odstraní. Mezi elektrodami jiskřiště však zůstává hořet oblouk a vodivé spojení se zemí je zachováno a protéká jím zkratový proud. Oblouk hoří v trubce z plynotvorného materiálu, materiál rozkládá, mění ho na plyny a tím se zvyšuje tlak v trubce. Plyny proudící dutou elektrodou ven rozrušují v nule proudu zbytkový ionizovaný sloupec a brání znovuzapálení oblouku.

Vlastnosti trubkových bleskojistek lze vylepšit vnějším jiskřištěm, zapojeným do série s vnitřním zhášecím jiskřištěm. Obr. 13.6.

Vnější jiskřiště má funkci rozpojovače. Činnost vnitřního jiskřiště se upravuje tak, že se na vnější stranu trubky nanese polovodivá vrstva, která upravuje elektrické pole uvnitř trubky a tedy vnitřního jiskřiště a zlepšuje jeho rázovou charakteristiku (je to závislost doby do průrazu na nejvyšší hodnotě napětí rázové vlny) a v klidovém stavu přivádí zemní potenciál až na dolní elektrodu vnějšího jiskřiště. Při přepětí nastane nejdříve průraz na vnějším jiskřišti a proud protékající odporovou vrstvou na ní vytvoří úbytek napětí, který způsobí přeskok na vnitřním jiskřišti. Postup při následném vypínání zkratového proudu je opačný. Nejprve uhasne oblouk vnitřního jiskřiště a potom velmi malý proud na vnějším jiskřišti, omezený odporovou vrstvou.



Obr. 13.6.– Trubková bleskojistka s vnějším jiskřištěm

Z popsané činnosti trubkové bleskojistky je patrné, že je dokonalejším zařízením než ochranné jiskřiště, neboť cestu k zemi, vytvořenou pro svedení přebytečného náboje k zemi, opět samočinně uzavře. Provoz se tedy nepřerušuje a bleskojistka je připravena k další činnosti. Použitý zhašecí systém však naznačuje, že vypínací schopnost bleskojistky nebude veliká. Udává se horní a dolní mezí proudu. Pod dolní mezí není vývin plynů dostatečný pro uhašení oblouku, nad horní mezí je nadměrný a příliš vysokým tlakem se trubka roztrhne.



Shrnutí pojmů

Zemní lano

Koordinální jiskřiště

Trubková bleskojistka

13.2.4. Ventilové bleskojistky**Čas ke studiu:** 60 min**Cíl:** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

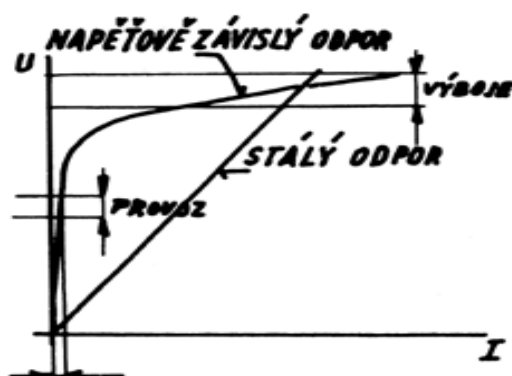
- vysvětlit konstrukci a funkci ventilové bleskojistky

**Výklad**

Ventilové bleskojistky mají obdobnou funkci jako pojistný ventil u tlakových nádob. Ventil otevře v okamžiku, kdy tlak v nádobě dosáhne či překročí předem nastavenou hodnotu, vypustí část tlakového media a opět tlakovou nádobu uzavře. Na základě této analogie dostala ventilová bleskojistka název. Žádáme od ní, aby omezila přepětí na takovou hodnotu, která není chráněnému zařízení nebezpečná. To znamená odvést přebytečný náboj vedení do země. K tomu musí bleskojistka vytvořit vodivé spojení se zemí, ale vzápětí musí být schopna cestu do země uzavřít, aby vedení nebylo vodivě spojeno se zemí, tedy zkratováno.

Bleskojistky musí být dále provedeny tak, aby mohly působit opakovaně bez přívodu další energie, bez poškození a bez dohledu. Je vyloučeno, aby toto splnily jakékoliv mechanické prostředky.

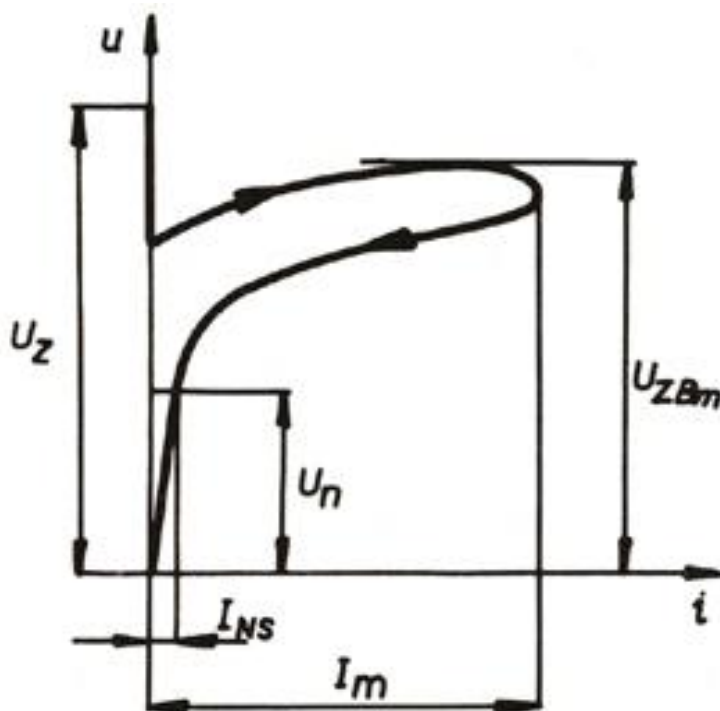
Základními součástmi ventilové bleskojistky jsou dílčí jiskřiště za sebou a napětově závislé nelineární odpory zapojené do série mezi zem a chráněný objekt. Nelineární odpory mají při vysokém působícím napětí malý odpor, při poklesu napětí odpor stoupne na velkou hodnotu.



Obr. 13.7. – Charakteristika nelineárního napětově závislého odporu

Na obr. 13.7. je zobrazena charakteristika takového odporu. Na vodorovné ose je proud, na svislé napětí. Křivka napětově závislého odporu má v oblasti provozních napětí velmi strmý vzrůst, to znamená velký odpor. V oblasti přepětí, kde se předpokládá výboj a odporem protéká proud, má charakteristiku plochou, tedy odpor podstatně nižší.

Celkový obraz o působení ventilové bleskojistky je na obr. 13.8.



Obr. 13.8. – Průběh napětí a proudu na ventilové bleskojistce

Při příchodu rázové vlny stoupne napětí na jiskřišti jen na hodnotu zapalovacího napětí U_Z , které vyvolá průraz jiskřiště. Okamžikem průrazu začíná bleskojistkou téci proud. Napětí klesne na úbytek napětí na pracovním odporu. Velikost do země sváděného výbojového proudu I_{VVB} roste postupně až na nejvyšší hodnotu I_m a současně se mírně mění i zbytkové napětí až do maximální hodnoty U_{ZBm} . Po svedení náboje do země napětí klesá a pracovní bod se posouvá po charakteristice dolů, takže odpor roste. V oblasti jmenovitého napětí prochází odporem pouze proud dodávaný síťovými zdroji. Tento proud I_{NS} nazýváme následným proudem a bleskojistkou prochází pouze do prvního průchodu proudu nulou, kde se přeruší. Jiskřiště musí mít jistou zhášecí schopnost, vyjádřenou velikostí proudu, při kterém v něm oblouk spolehlivě uhasne. V tom okamžiku je bleskojistka opět připravena zapůsobit. Průchodem

proudu se nelineární odpor zahřeje a jeho vodivost se zvětší. Proto při poklesu výbojového proudu nesleduje napětí stejnou křivku jako při vzestupu.

Z hlediska požadavků stanovených na začátku této kapitoly a to:

- 1)** omezit přepětí
- 2)** svést přebytečný náboj do země
- 3)** uzavřít cestu síťovému proudu do země pracuje ventilová bleskojistka takto:

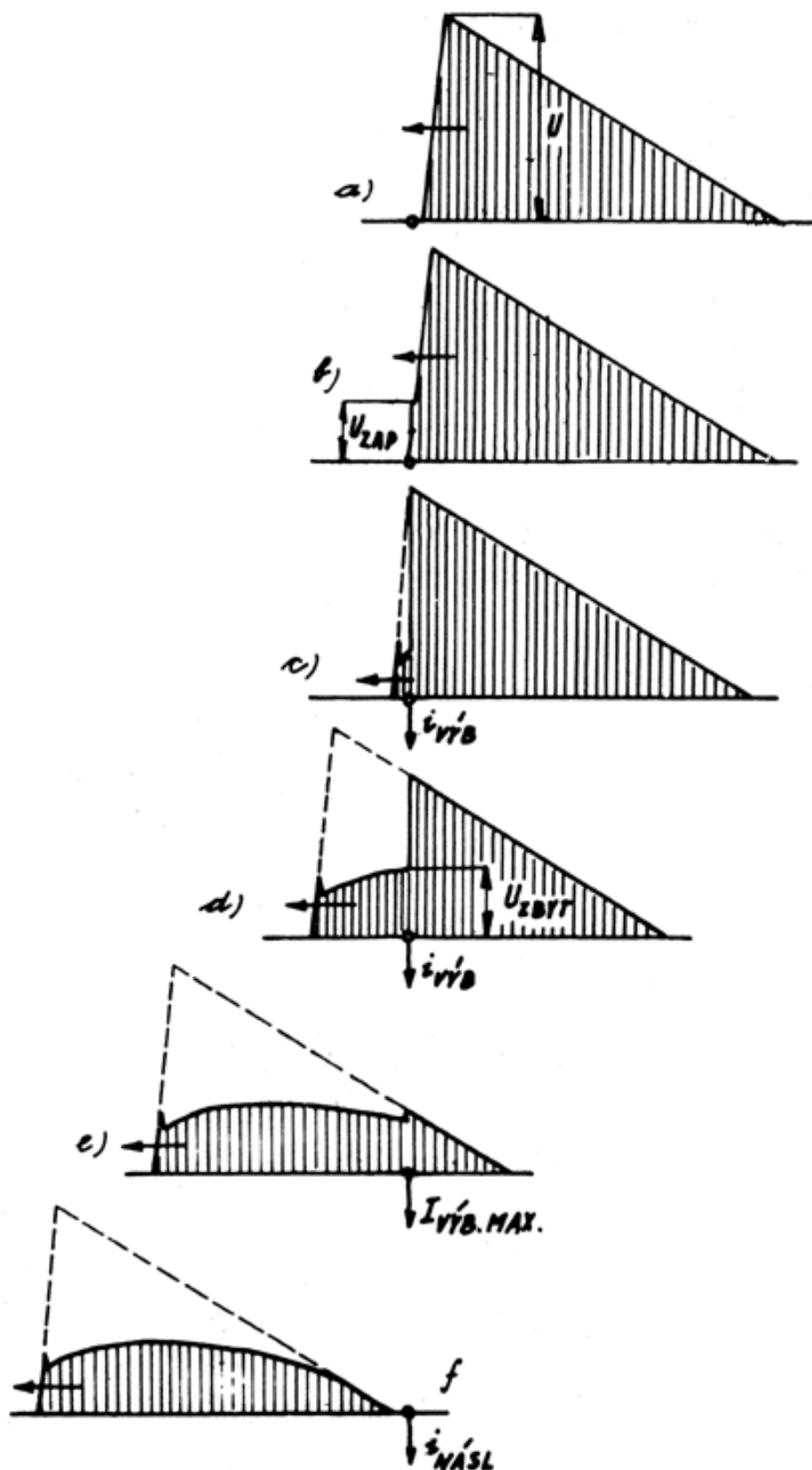
ad 1) Omezení přepětí je dáno přeskokem jiskřiště při zapalovacím napětí a vlastnostmi pracovního odporu. Výbojový proud tekoucí odporem nezpůsobí vyšší úbytek napětí než napětí zbytkové. Obě hodnoty napětí leží pod ochrannou hladinou, tedy hladinou, nad níž by nemělo napětí vzrůst..

ad 2) Vytvořeným zemním spojením se přebytečný náboj svede do země. Pracovní odpory přitom nesmí být procházejícím výbojovým proudem tepelně poškozeny

ad 3) Uzavření cesty síťovému proudu k zemi je uskutečněno spoluprací jiskřiště a odporu. Při poklesu napětí odpor zvýší svou hodnotu, čímž sníží proud na hodnotu následného proudu. Jiskřiště je schopno tento proud v následující nule proudu spolehlivě uhasit.

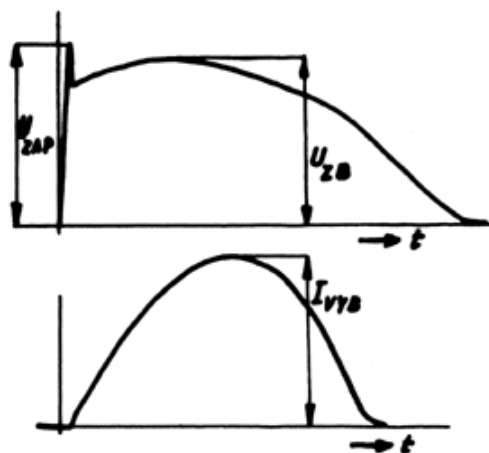
Na obr. 13.9. je ukázáno omezení přepětíové vlny při průchodu místem s připojenou ventilovou bleskojistkou.

- a)** Rázová vlna se blíží místu s připojenou bleskojistkou.
- b)** Čelo vlny dosáhlo bleskojistky, napětí na bleskojistce dosáhlo zapalovacího napětí, jiskřiště zapálilo.
- c)** Napětí na bleskojistce kleslo na úbytek na pracovním odporu, výbojový proud roste i napětí roste, ale pomalu.
- d)** Úbytek napětí na odporu dosáhl maxima, tj. napětí zbytkového U_{ZBYT} , výbojový proud roste.
- e)** Výbojový proud dosáhl maxima a prudce klesá
- f)** Napětí na bleskojistce kleslo na provozní napětí, přepětíová vlna je již za bleskojistkou, pokračuje omezená na velikost zbytkového napětí v cestě do chráněného zařízení. Bleskojistkou protéká zbytkový proud.



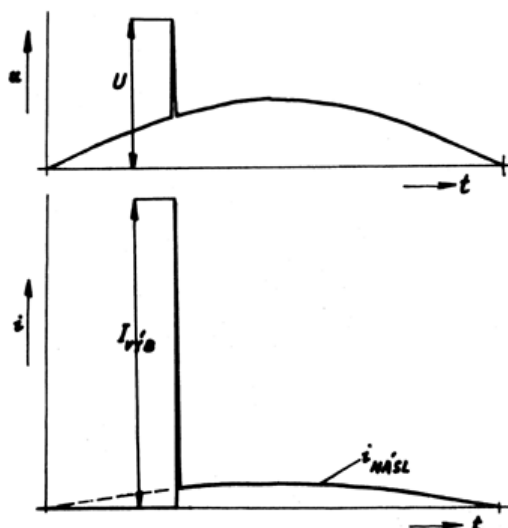
Obr. 13.9. – Omezení strmé vlny napětí při průchodu místem s ventilovou bleskojistkou

Na obrázcích 13.10. a 13.11. je časový rozklad napětí a proudu pro různá časová měřítka (doba trvání přepětíové vlny je cca 100 μ s).



Obr. 13.10. – Časový rozklad průběhu napětí a proudu na ventilové bleskojistce (t [μ s])

Přepětí vznikne samozřejmě náhodně v kterémkoliv okamžiku vlny napětí. Následný proud, který je ve fázi s vlnou napětí, protéká tedy do prvního průchodu proudu nulou, kdy je přerušen. V nejhorším případě protéká následný proud bleskojistkou po dobu jedné půlvlny síťového kmitočtu. Výbojový proud a následný proud se ve skutečnosti liší o dva až tři řády.

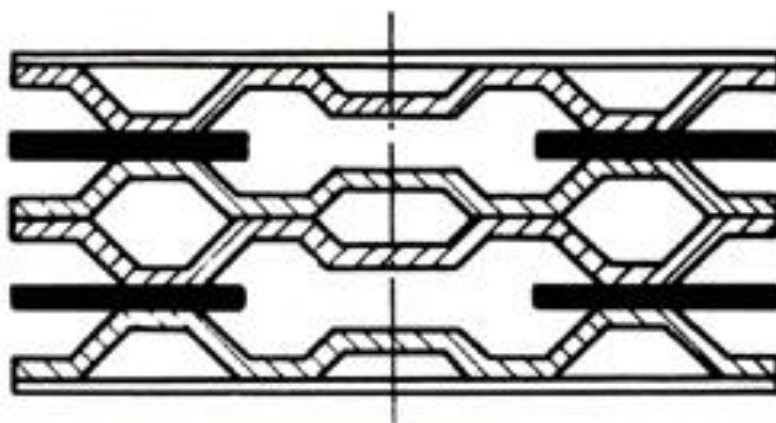


Obr. 13.11. – Časový rozklad průběhu napětí a proudu z hlediska frekvence 50 Hz na ventilové bleskojistce (t [ms])

Jiskřiště ventilové bleskojistky bývá složeno z řady dílčích jiskřišť a plní dvě funkce:

- a) zajišťuje jako nejslabší izolační místo průraz k zemi s co nejmenším zpožděním
- b) zhasí oblouk následného proudu velikosti několika desítek ampérů.

Aby přeskok mezi elektrodami proběhl co nejrychleji, je činnost jiskřiště založena na předionizaci prostoru mezi nimi, tedy vytvoření dostatečné zásoby volných elektronů v tomto prostoru. Toho se docílí tím, že mosazné elektrody jsou odděleny izolačními materiály o rozdílné permitivitě, např. slídou s poměrnou permitivitou $\epsilon_r = 7$ a vzduchem s malou permitivitou ($\epsilon_r = 1$). V takovém případě se elektrické pole rozdělí v opačném poměru dielektrických konstant. Obr. 13.12.



Obr. 13.12. – Jiskřiště ventilové bleskojistky s mosaznými elektrodami a slídou jako izolací.

Vzduch tedy bude velmi zatížen a dojde v něm ke vzniku doutnavého výboje, který bude hořet mezi mosazí a slídou již při jmenovitém napětí sítě. Materiály ho trvale snesou, neboť jde o výboj studený. Vlastní přeskoková vzdálenost jiskřiště je dána tloušťkou slídového kroužku. Celkové přeskokové napětí není dáno součtem dílčích přeskokových napětí, protože napětí se podél jiskřiště rozloží nerovnoměrně. Vznik přeskoku je dán jiskřištěm nejvíce namáhaným.

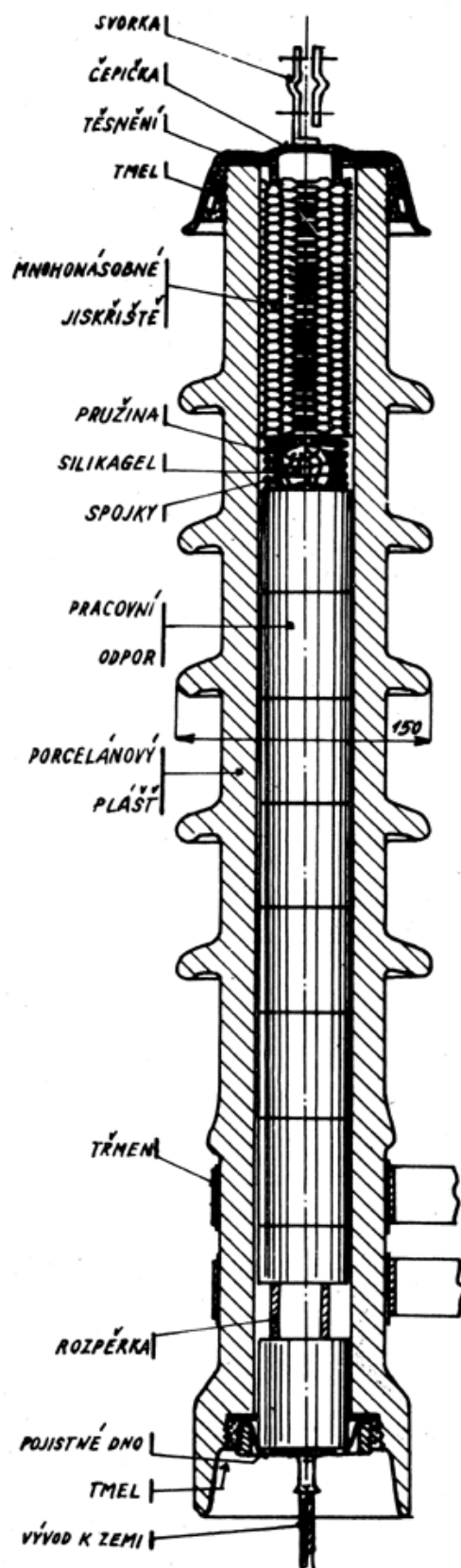
Oblouk zapaluje ve střední části, hnán elektrodynamickými silami proudových smyček k okraji, kde se elektrody vzdalují, takže se jeho délka zvětšuje. V nule proudu zde pak dochází k deionizaci výbojové dráhy

radiální výměnou částic. Zánik oblouku je podpořen průběhem zotaveného napětí.

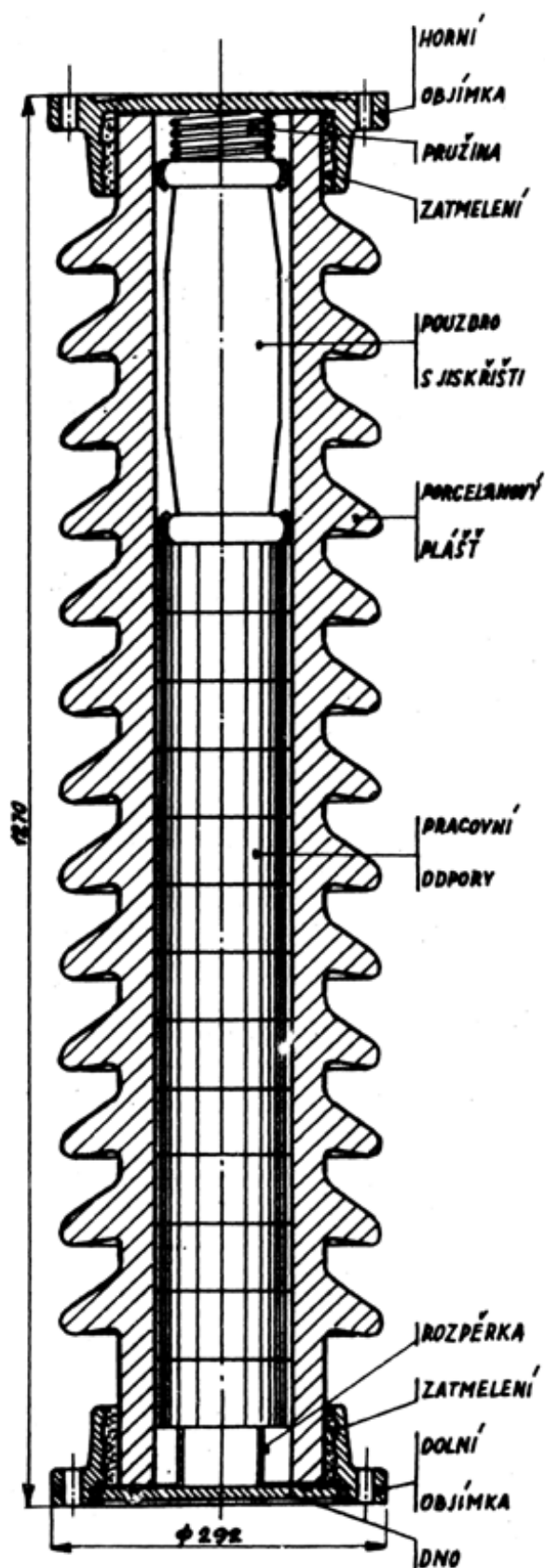
Pracovní odpor ventilové bleskojistky se skládá z odporových bloků tvaru válcových kotoučů. Základním materiálem pro výrobu je uhličitán křemičitý SiC, vyráběný v elektrické peci při teplotách nad 2000 °C z mletého koksu a křemenného písku podle rovnice $\text{SiO}_2 + 2\text{C} = \text{SiC} + \text{CO}_2$. Karbid křemíku, tvořící v peci krystaly, se mele, čistí v magnetických odlučovačích, pere v kyselině sírové, promývá destilovanou vodou, prosívá na sítích různé hustoty ok. Poté se smísí s vodním sklem, lisuje do vhodného válcového tvaru a suší při teplotě 200° C. Válcová plocha se natírá izolačním lakem, podstavy se stříkají hliníkem. Výška válců se určuje dle vlastností čistého mletého prášku na základě měření. Po dohotovení každé várky se namátkově vybrané bloky proměří, nevyhoví-li, jde celá várka opět do mlýnů.

Na obr. 13.13. je řez sloupovou ventilovou bleskojistkou VO22. Funkce jednotlivých částí je zřejmá. Porcelánové pouzdro bleskojistky je z obou stran uzavřeno a utěsněno. Jednou z nejdůležitějších podmínek správné funkce a trvanlivosti bleskojistky je zbavení vnitřku pouzdra vlhkosti, k čemuž slouží silikagel. Spodní víko je upraveno jako pojistný ventil. Nastane-li přetížení bleskojistky vlivem velkého množství uvolněného tepla a ohřátí vzduchu uvnitř porcelánové trubky, víko povolí dříve než dojde k porušení porcelánové konstrukce a odporové bloky i s jiskřištěm se vysypou a systém se odpojí od sítě. Z tohoto důvodu musí být pod bleskojistkou ponecháno dostatečné místo.

Způsobem uvedeným výše se sestavují bleskojistky vn. Na obr. 13.14. je v řezu ventilová bleskojistka sloužící jako stavební jednotka pro sestavování bleskojistek na vyšší napětí.

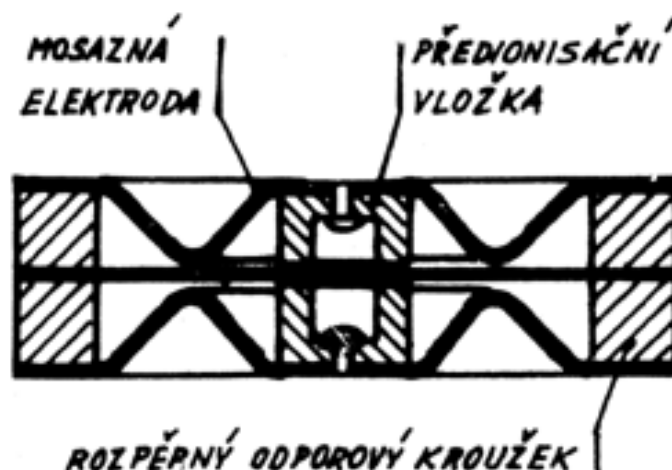


Obr. 13.13. – Řez ventilovou sloupovou bleskojistkou



Obr. 13.14. – Jeden modul ventilové bleskojistky vn

Koncepce je stejná jako u předchozí bleskojistky, odpory však mají čtyřikrát větší průřez a jiskřiště má jinou konstrukci. Jako celek je vloženo do porcelánového hermeticky uzavřeného pouzdra, které je dále vloženo do porcelánového pláště. Dílčí jiskřiště je na obrázku obr. 13.15.

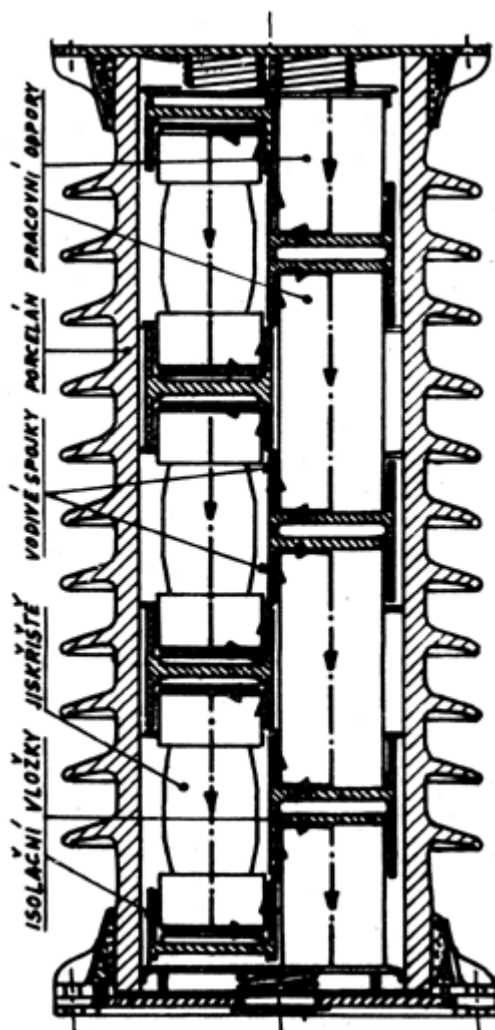


Obr. 13.15. – Jiskřiště ventilové bleskojistky na vyšší napětí

Mosazné elektrody jsou drženy v příslušné vzdálenosti vysoce odporovými kroužky, které současně tvoří napěťový dělič pro rovnoměrné rozložení potenciálu na dílčích jiskřištích. Tím se zlepšují zapalovací i zhášecí vlastnosti jiskřiště. V ose jiskřiště jsou keramické bloky z materiálu s velmi vysokou poměrnou permitivitou ϵ_r kolem 80 (rutil, kysličník titaničitý). Elektrické pole se tak vytlačí do malé vzduchové mezery mezi keramikou a elektrodou, v níž hoří trvale doutnavý výboj i při jmenovitém napětí. Toto opatření zkracuje časy do zapálení jiskřiště při velmi strmých vlnách. Právě velmi krátké zapalovací časy jsou hlavní devizou ventilových bleskojistik proti vyfukovacím bleskojiskám.

Bleskojistky na napětí 220 kV a vyšší by při jednoduchém sloupovém pojetí vycházely příliš vysoké. Proto se staví v provedení dle obr. 13.16.

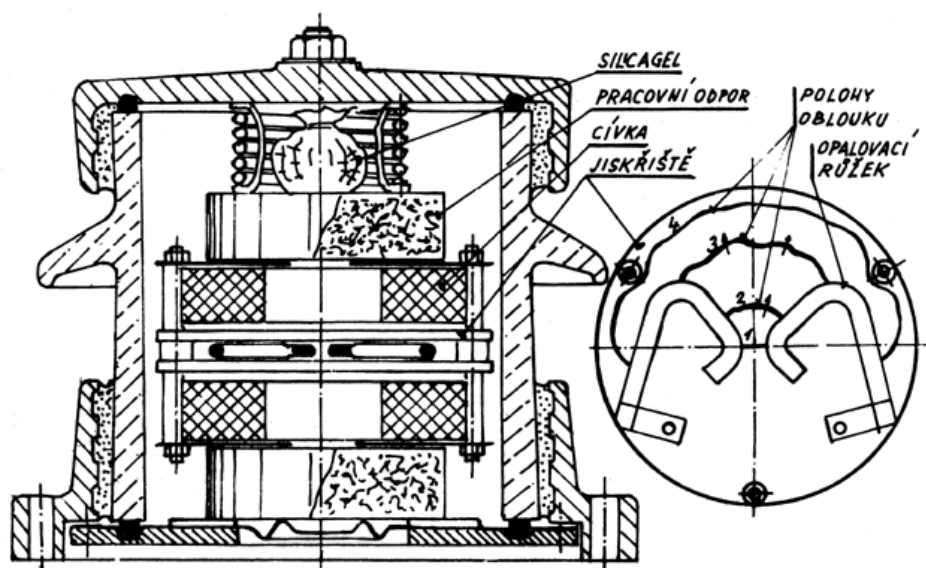
Bleskojistka je v podstatě sestavena z dílů bleskojistky obr. 13.14., pouze jejich uspořádání je odlišné. V porcelánovém plášti o větším průměru jsou pracovní odpory a jiskřiště uspořádány ve dvou sloupcích propojených vodivými spojkami.



Obr. 13.16. –Příklad možného provedení bleskojistky vvn složené z modulů

Pro nejtěžší pracovní podmínky, zejména pro velmi dlouhá vedení na napětí 400 kV a vyšší se užívají bleskojistky s magnetickým zhášením oblouku. Velké energie nahromaděné v kapacitách vedení, zvláště při vzniku přepětí při vypínání vedení naprázdno, vyžadují podstatně větší tepelnou odolnost odporových bloků. Mletý karbid křemíku se tmelí keramickými tmely, nikoliv vodním sklem, při teplotách nad 1000°C . Zvětší se tím sice tepelná odolnost odporů, ale má to za následek zvýšení následného proudu až na 400 A. Na přerušení takového oblouku se užívají různé typy magnetického zhášení oblouku.

Magnetického zhášení oblouku se rovněž používá u bleskojistik pro stejnosměrné soustavy. Následný stejnosměrný proud se zde zháší značně obtížněji než u proudu střídavého. Příklad takové bleskojistky je na obr. 13.17.



Obr.13.17. – Provedení bleskojistky pro ss soustavy



Obr.13.18 – Ukázka ventilové bleskojistky VVN (Siemens)



Shrnutí pojmů

Ventilová bleskojistka

Jiskřiště ventilové bleskojistky

Napěťově závislý odpor

Literatura

- [1] O. Havelka a kol., Elektrické přístroje, SNTL/Alfa, Praha/Bratislava, 1985
- [2] Ing. Vladimír Novotný, CSc., Elektrické přístroje silnoprůdové, Ediční středisko ČVUT, Praha 1982
- [3] V. Novotný, Z. Vávra, Spínací přístroje a rozváděče na vysoké napětí, SNTL, Praha, 1986
- [4] Doc. Ing. Zdeněk Vávra CSc., Ing. Vladimír Novotný, CSc., Ing. Zdeněk Vostrácký, CSc., Stavba elektrických přístrojů II, VUT Brno, 1985
- [5] Firemní literatura OEZ Letohrad s.r.o, 2003, www.oez.cz
- [6] Firemní literatura SERW Sedlec spol.s.r.o., 2003, www.serw.cz
- [7] Firemní literatura IVEP a.s., 2003, www.ivep.cz
- [8] Firemní literatura MEP Postřelmov a.s., www.mep.cz
- [9] Firemní literatura ABB, 2003, www.abb.cz
- [10] Firemní literatura SIEMENS, 2003, www.siemens.cz
- [11] Firemní literatura Schneider Electric, 2003, www.schneider-electric.cz