

453-512/1: Silnoproudá elektrotechnika

Studijní cíle

Seznámit se se základy elektrických přístrojů, elektrických strojů a pohonů a elektroenergetiky, dimenzování přístrojů a pohonů a naučit se orientovat v hlavních technických údajích a provádět základní výpočty.

V předmětu jsou probírány základní principy elektrických přístrojů, strojů a pohonů a jejich chování v energetických sítích. Studenti získají zkušenosti s měřicími metodami a s provozem těchto zařízení.

Předmět je rozdělen do následujících bloků, které musí student zvládnout s pomocí studijních materiálů.

Část elektrické přístroje

1. Elektrický oblouk
Statická charakteristika, zkrácená rovnice Ayrtonové, stabilita oblouku
2. Vypínání stejnosměrných obvodů
3. Vypínání střídavých obvodů
4. Zhášení elektrického oblouku
5. Kontakty
6. Elektromagnety
7. Stykače
8. Tepelná relé
9. Jističe
10. Pojistky
11. Omezující schopnost pojistky
12. Vypínací schopnost pojistky
13. Tavný proud
14. Nadproudová spoušť jističe
15. Zkratová spoušť jističe
16. Princip závitu nakrátko u stykače
17. Funkce stykače v elektrickém obvodu
18. Funkce pojistky v elektrickém obvodu
19. Funkce tepelného nadproudového relé v elektrickém obvodu
20. Porovnejte pojistku s jističem
21. Krytí elektrických přístrojů, značka IP

Část elektrické stroje

1. Ideální jednofázový transformátor
2. Náhradní schéma technického jednofázového transformátoru
3. Trojfázový transformátor
4. Princip funkce asynchronního motoru
5. Vznik rotačního pole v trojfázovém vinutí
6. Druhy asynchronních motorů
7. Momentová charakteristika asynchronního motoru

8. Princip funkce synchronního motoru
9. Průběh momentu v závislosti na zátěžném úhlu β
10. Porovnejte průběh momentu turbostroje a hydrostroje
11. Princip funkce stejnosměrného motoru
12. Napište základní rovnice stejnosměrného stroje pro U a M
13. Motor s cizím buzením
14. Derivační motor
15. Seriový motor
16. Jednofázový asynchronní motor
17. Reluktanční motor
18. Krokový motor
19. Stejnosměrný motor s permanentními magnety
20. Komutátorový motor
21. Provedení motorů, značka IM

Část pohony a výkonová elektronika

1. Regulace otáček asynchronních motorů
2. Regulace otáček stejnosměrných cize buzených motorů
3. Regulace otáček krokových motorů
4. Jednopulzní usměrňovač
5. Jednofázový můstek
6. Trojpulzní usměrňovač
7. Trojfázový můstek
8. Princip řízených usměrňovačů
9. Střední hodnota usměrněného napětí
10. Výkonová dioda
11. Tyristor
12. Spínací tranzistor
13. Nepřímý měnič kmitočtu s proudovým meziobvodem
14. Nepřímý měnič kmitočtu s napět'ovým meziobvodem
15. Pulzně šířková modulace
16. Regulace otáček asynchronních elektromotorů měničem kmitočtu s napět'ovým meziobvodem
17. Elektromagnetická kompatibilita u frekvenčních měničů
18. Filtry pro omezení rušení
19. Stínění
20. Chlazení elektrických strojů, značka IC

Doporučená literatura:

Příručka silnoproudé elektrotechniky; Heřman J. a kol.
SNTL Praha, 1984

Část elektrické přístroje

1. Elektrický oblouk

Studijní cíle

- Umět popsat vlastnosti elektrického oblouku.
- Umět definovat obloukové napětí a napsat a vysvětlit rovnici Ayrtonové.
- Umět definovat stabilitu oblouku a nakreslit body stabilního a labilního hoření oblouku a bod na mezi stability oblouku mezi kontakty vypínače obvodu stejnosměrného proudu.
- Umět vysvětlit pojem dynamická charakteristika oblouku a nakreslit dynamickou charakteristiku oblouku při střídavém proudu.

Elektrické přístroje jsou konstruovány pro působení v elektrických obvodech jejichž základem je zdroj a zátěž. K tomu abychom mohli elektrickou energii přenést ze zdroje do zátěže potřebujeme vodiče, vypínače, odpojovače, odpínače, stykače, relé. Proti zabránění poškození elektrických obvodů potřebujeme jistící prvky jako pojistky, jističe, přepětíové ochrany atd. Základem činnosti elektrických obvodů je tedy spínací a vypínací děj.

Při **spínacím** ději se pohyblivý kontakt přístroje přibližuje k pevnému kontaktu a v určité vzdálenosti dojde k elektrickému průrazu mezi kontakty a zapálí se oblouk. Spínací děj má tedy proběhnout rychle tak, aby hoření oblouku bylo co nejkratší. Kontakty přístroje nesmí při nárazu na sebe odskočit a musí být mezi nimi dostatečný tlak.

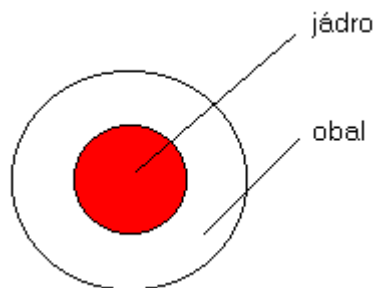
Při **vypínacím** ději se pohyblivý kontakt vzdaluje od pevného kontaktu, mezi kontakty hoří oblouk a k vypnutí elektrického obvodu dojde až v okamžiku uhasnutí oblouku. Fyzikální podstatou vypínání je tedy teorie oblouku a jeho zhášení. Protože vypínáme jak stejnosměrné tak střídavé elektrické obvody dělíme oblouk na stejnosměrný a střídavý. Stejnosměrné elektrické obvody vypínáme vždy s obloukem. U střídavých elektrických obvodů oblouk zhasíná při průchodu proudu nulou.

Vlastnosti elektrického oblouku.

Elektrický oblouk je elektrický výboj válcového tvaru soustředěný do tenkého sloupce jehož jádro tvoří ionizovaný plyn (plazma). Výboj je charakteristický jasnou září (obloukové lampy, svařování). Základními vlastnostmi elektrického oblouku jsou :

- Velké proudové hustoty
- Malé katodové spády
- Vysoká teplota elektrod
- Vysoká teplota ionizovaného plynu

Elektrický oblouk se skládá z jádra a obalu viz. obr.1.1. Teplota jádra je vysoká a pohybuje se až do hodnot 16000K. Teplota obalu je až 7000K. Teplota závisí na prostředí hoření oblouku a na intenzitě jeho chlazení.



Obr.1.1. Řez obloukem.

Charakteristickou veličinou oblouku je *obloukové napětí*, pro které platí rovnice

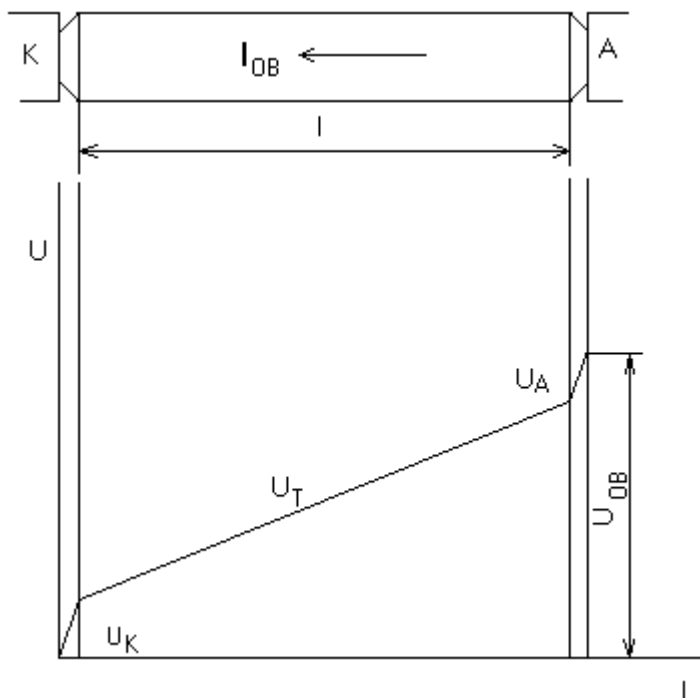
$$U_{OB} = U_K + U_A + U_T \quad (1.1)$$

U_K je katodový úbytek

U_A je anodový úbytek

U_T je napětí na trupu oblouku dané součinem intenzity elektrického pole v trupu oblouku a délky oblouku

Rozložení napětí na oblouku je ukázáno na obr.1.2.



Obr.1.2. Rozložení napětí na oblouku

Statickou voltampérovou charakteristiku oblouku určuje rovnice Ayrtonové

$$U_{OB} = A + B \cdot l + \frac{C + D \cdot l}{I_{OB}} \quad (1.2)$$

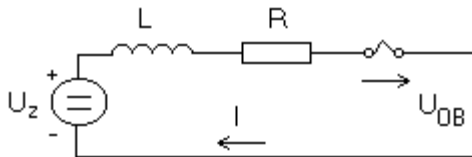
A, B, C, D jsou konstanty uspořádání oblouku
 l je délka oblouku
 I_{OB} proud oblouku

Pro velké proudy se v rovnici zanedbává člen s I_{OB} ve jmenovateli a rovnice oblouku se zjednoduší na tvar

$$U_{OB} \cong A + B \cdot l \quad (1.3)$$

Elektrický oblouk dělíme podle jeho délky na dlouhý a krátký. Napětí pro dlouhý oblouk pro $U_T \gg U_A + U_K$ pak představuje člen B.l, ve kterém B je intenzita elektrického pole v trupu oblouku. Napětí pro krátký oblouk pro $U_A + U_K \gg U_T$ pak představuje člen A, který je součtem katodového a anodového úbytku napětí.

Stabilitu oblouku vyšetřujeme v elektrickém obvodu. Mějme stejnosměrný elektrický obvod charakteru R, L, ve kterém je vřazen vypínač. V okamžiku vypínání hoří mezi kontakty vypínače elektrický oblouk. Pro určení stability musíme napsat napěťovou rovnici elektrického obvodu a můžeme provést grafické vyjádření viz. obr.1.3. a obr. 1.4.



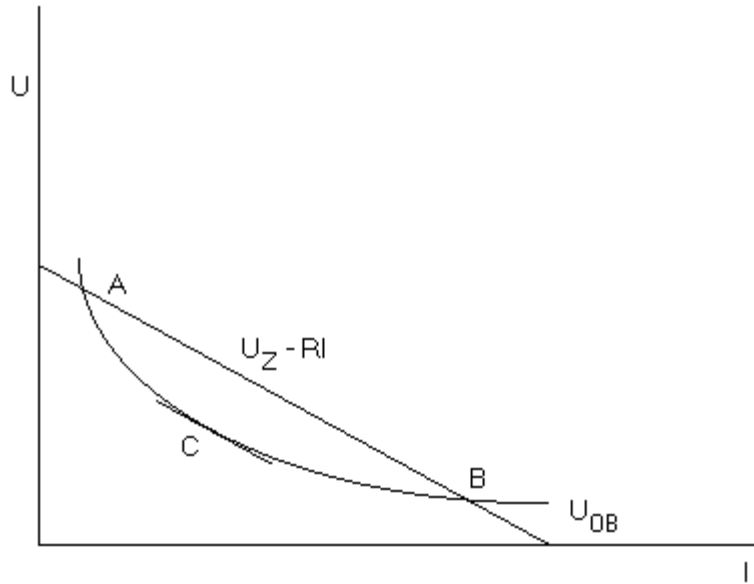
Obr.1.3 Obvod stejnosměrného proudu s obloukem

$$U_Z = L \frac{di}{dt} + Ri + u_{OB} \quad (1.4)$$

Pro stabilní hoření platí $i = I = \text{konst.}$ a $u_{OB} = U_{OB} = \text{konst.}$ a celá rovnice přejde na tvar

$$U_Z = R \cdot I + U_{OB} \quad (1.5)$$

Body hoření oblouku mohou být v průsečíku křivky obloukového napětí a přímky $U_Z - RI$ jak je ukázáno na obr.1.4.



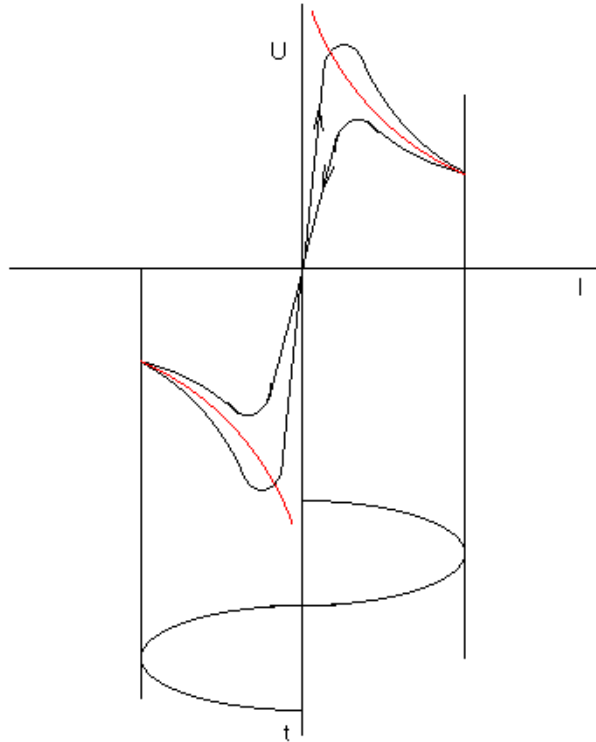
Obr. 1.4. Grafické vyjádření stabilního a labilního bodu hoření oblouku a meze stability

Pro hoření oblouku jsou podmínky splněny v bodech A,B,C. Stabilní hoření je pouze v bodě B. Bod A je labilní a z něho oblouk přechází do bodu B. O bodu C říkáme, že leží na mezi stability. K tomu, aby oblouk stabilně nehořel nesmí existovat průsečík odporové přímky s charakteristikou oblouku. To můžeme zajistit následujícími způsoby:

- Posunutím charakteristiky oblouku k vyšším napětím
- Zvětšením odporu obvodu R
- Snížením napětí zdroje

Pokud se proud mění v závislosti na čase nesleduje obloukové napětí statickou charakteristiku, ale pohybuje se po *dynamické charakteristice*. Odvození dynamické charakteristiky pro střídavý proud sinusového průběhu je na obr.1.5.

Pro dynamickou charakteristiku platí, že pro změnu proudu od menšího k většímu leží nad statickou charakteristikou (vyznačena červeně) a pro změnu proudu od většího k menšímu leží pod statickou charakteristikou.



Obr.1.5 Dynamická charakteristika oblouku při střídavém sinusovém proudu

Odpovězte

- ❑ Napište charakteristické vlastnosti elektrického oblouku
- ❑ Napište rovnici Ayrttonové a vysvětlete její členy
- ❑ Nakreslete statickou VA charakteristiku oblouku
- ❑ Definujte bod stabilního hoření oblouku
- ❑ Co musíte udělat pro to, aby oblouk hořící mezi kontakty uhasnul

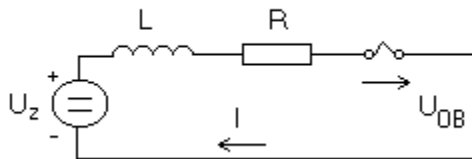
Část elektrické přístroje

2. Vypínání stejnosměrných obvodů

Studijní cíle

- Umět nakreslit obvod stejnosměrného proudu
- Umět napsat rovnici obvodu stejnosměrného proudu
- Umět napsat energetickou rovnici vypínání obvodu stejnosměrného proudu.
- Umět nakreslit průběh napětí a proudu na kontaktech vypínače při vypínání proudu v obvodu stejnosměrného proudu.

Jesliže vypínáme obvody stejnosměrného proudu musíme na oblouku dosáhnout takový úbytek napětí, aby proud klesal k nule tj. aby došlo k uhasnutí oblouku.



$$U_Z = L \frac{di}{dt} + Ri + u_{OB}$$

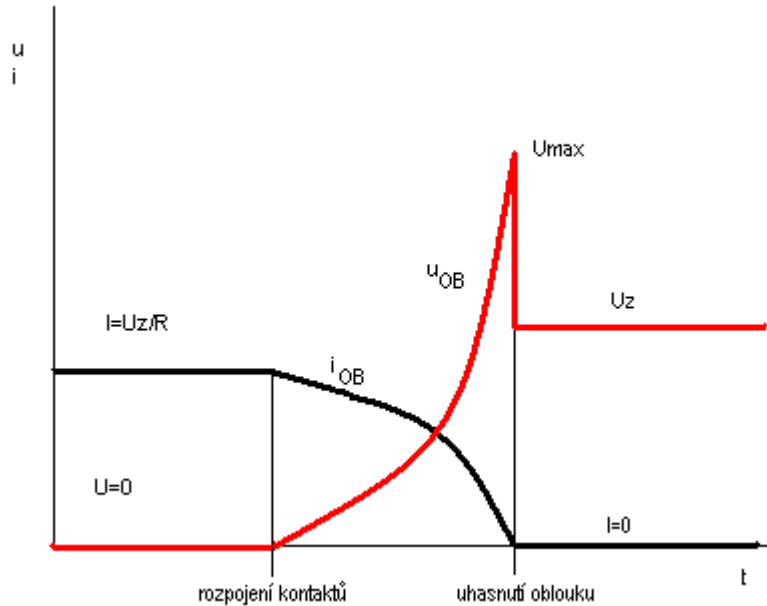
$$\frac{di}{dt} = \frac{U_Z - Ri - u_{OB}}{L} \quad \text{a pro uhasínání proudu musí být tento výraz menší než 0, to znamená, že}$$

čitatel zlomku musí být menší než 0

$$U_Z - Ri - u_{OB} < 0$$

$u_{OB} > U_Z - Ri$ je základní podmínka pro uhasnutí oblouku ve stejnosměrném obvodu.

Můžeme tedy zvýšit napětí na oblouku u_{OB} zvětšením délky oblouku l nebo jeho chlazením nebo v praxi většinou kombinací obou způsobů.



Na kontaktech vypínače ve stejnosměrném obvodu je při vypínání průběh napětí a proudu podle obrázku. Napišeme energetickou rovnici oblouku

$$W_{OB} = \int_{t_1}^{t_2} U_Z \cdot i \cdot dt - \int_{t_1}^{t_2} R \cdot i^2 \cdot dt - \int_I^0 L \cdot i \cdot di = W_Z - W_R + \frac{1}{2} \cdot L \cdot i^2 = W_Z - W_R + W_L$$

Energie oblouku závisí na energii zdroje zmenšenou o energii zmařenou na odporu, ale zvýšenou o energii na indukčnosti. Oblouk hoří déle v obvodech s indukčností a zhasnutí oblouku je obtížné. V obvodech vzniká spínací přepětí s velikostí U_{max} .

Odpovězte

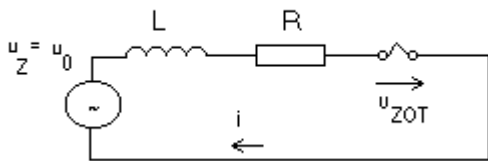
- Nakreslete obvod vypínání stejnosměrného proudu
- Napište napěťovou rovnici obvodu
- Odvoďte podmínku pro uhasnutí oblouku ve stejnosměrném obvodu
- Nakreslete průběh napětí a proudu při vypínání stejnosměrného obvodu
- Napište energetickou rovnici oblouku

Část elektrické přístroje

3. Vypínání střídavých obvodů

Studijní cíle

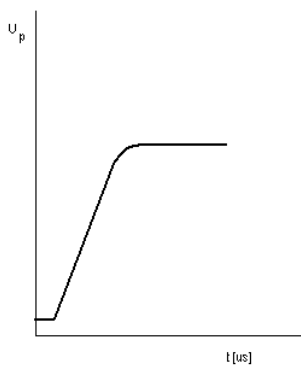
- Umět nakreslit obvod střídavého proudu
- Umět popsat název průrazná pevnost
- Umět popsat výraz zotavené napětí
- Umět nakreslit jednofrekvenční a dvoufrekvenční průběh zotaveného napětí
- Umět napsat rovnici frekvence zotaveného napětí



V obvodech střídavého proudu uhasíná oblouk v nule vypínaného proudu. Po okamžiku průchodu proudu nulou (oblouk uhasl) musíme zabránit znovuzapálení oblouku, které závisí na vzrůstu průrazné pevnosti mezi kontakty a na vzrůstu zotaveného napětí mezi kontakty.

Vzrůst průrazné pevnosti

Závisí na vypínači, druhu chlazení oblouku a mediu, ve kterém oblouk hořel. Prostředí, ve kterém oblouk hořel je po uhasnutí oblouku stále vodivé a musíme ho změnit na nevodivé deionizací prostoru mezi kontakty intenzivním chlazením a mechanickým pohybem ionizovaných částic mimo prostor kontaktů. Přibližný průběh závislosti průrazného napětí na čase je na následujícím obrázku.



Zotavené napětí

Je to napětí, které je mezi kontakty vypínače po uhasnutí napětí. Skládá se z obnoveného napětí (napětí dodávané zdrojem) a z přechodné složky s frekvencí f_0 začínající v nule a končící na obnoveném napětí.

Průběh zotaveného napětí můžeme vyjádřit vztahem

$$u_{zOT} = U_0 \cdot (1 - e^{-\alpha t} \cos \omega_0 t)$$

ve kterém je U_0 obnovené napětí, α součinitel tlumení přechodné složky a ω_0 úhlová frekvence přechodné složky.

Frekvence přechodné složky závisí na parametrech obvodu t.j. na indukčnosti L a na kapacitě C.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}} = \frac{\omega_0}{2\pi}$$

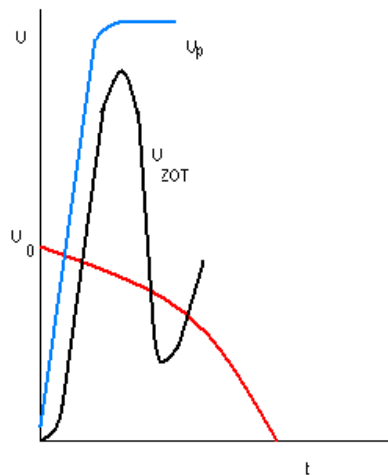
Překmit zotaveného napětí je

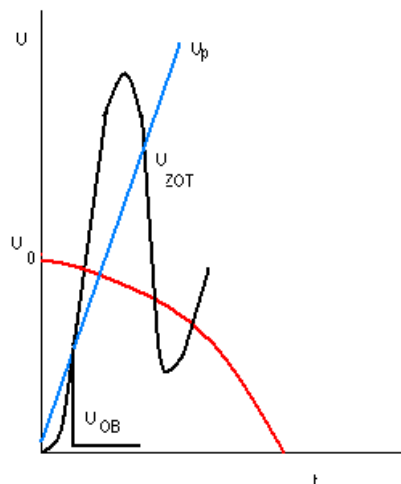
$$p = \frac{U_M}{U_0}$$

a strmost zotaveného napětí je

$$s = 2pf_0U_0$$

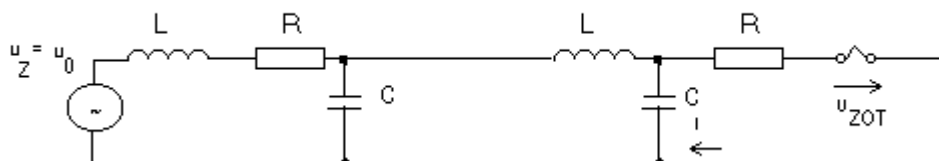
Na dalším obrázku je průběh zotaveného napětí a vzrůst průrazné pevnosti při správném vypnutí proudu.



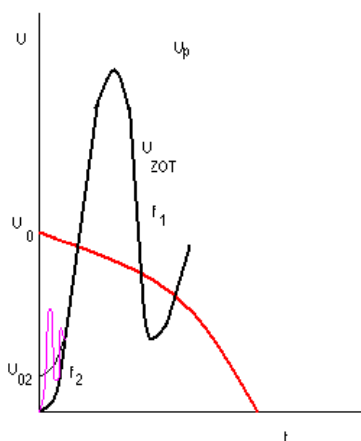


Na tomto obrázku vidíme průběh napětí při neúspěšném vypnutí, kdy došlo k novému zapálení oblouku.

Dvoufrekvenční průběh zotaveného napětí, odpovídající elektrickému obvodu



je na dalším obrázku.



Odpovězte

- Čím je charakteristické vypínání střídavého obvodu
- Napište rovnici pro zotavené napětí
- Nakreslete průběh průrazné pevnosti
- Nakreslete jednofrekvenční průběh zotaveného napětí s úspěšným vypnutím
- Nakreslete jednofrekvenční průběh zotaveného napětí s neúspěšným vypnutím
- Nakreslete dvoufrekvenční průběh zotaveného napětí

Část elektrické přístroje

4. Zhášení elektrického oblouku

Studijní cíle

- Umět definovat vypínací schopnost přístroje a vypínací výkon
- Umět popsat zhášedla na stejnosměrný proud
- Umět popsat zhášedla na střídavý proud
- Umět popsat základní rozdíl mezi zhášedly na stejnosměrný a střídavý proud

Největší proud, který je schopen kontaktní prvek vypnout určuje jeho vypínací výkon. Jmenovitý vypínací proud udává vypínací schopnost při daném nejvyšším provozním napětí. Vypínací schopnost kontaktů v normální atmosféře je malá (desítky-stovky A). Výšší hodnotu dosáhneme pomocí zhášedel. Zhášedlo je zařízení, pomocí kterého působíme na oblouk tak, aby uhasl a konečným účelem je deionizace dráhy oblouku.

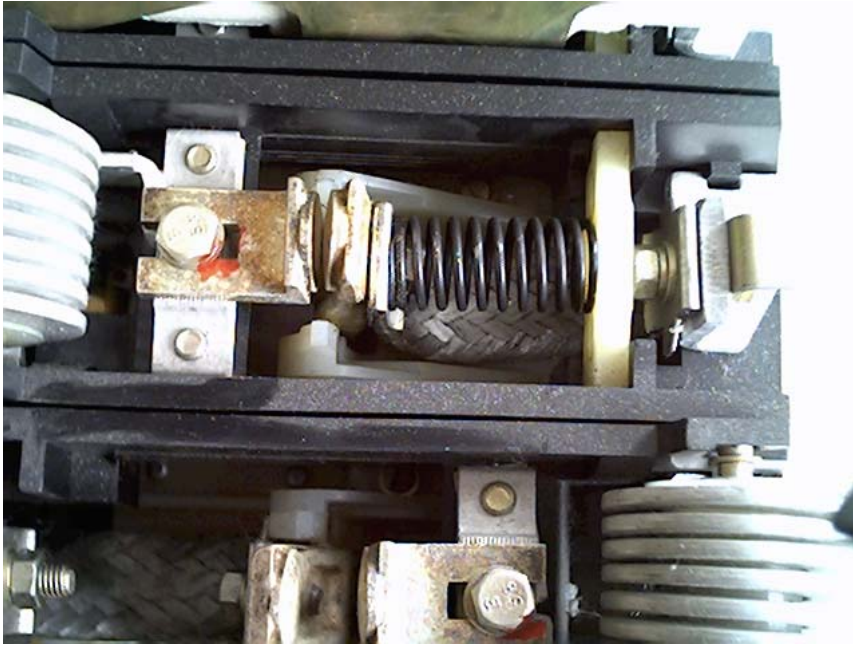
Zhášedla na stejnosměrný proud.

Z podstaty zhášení oblouku (viz podmínku uhasnutí oblouku) vyplývá, že na stejnosměrném oblouku musí být velké napětí. Zhášedlo, které má malé obloukové napětí má krátký málo chlazený oblouk a při vypínání hrozí trvalé hoření oblouku. Používá se většinou systém s magnetickým vyfukováním oblouku do zhášecích komor. V pomocném vinutí protékaném vypínaným proudem se vytváří pomocné magnetické pole, které spolu s polem oblouku vytvoří sílu, která žene oblouk do zhášecí komory. Zhášecí komora se dnes tvoří hlavně z izolačních roštů. Používají se komory s izolačním roštem a komory šterbinové.

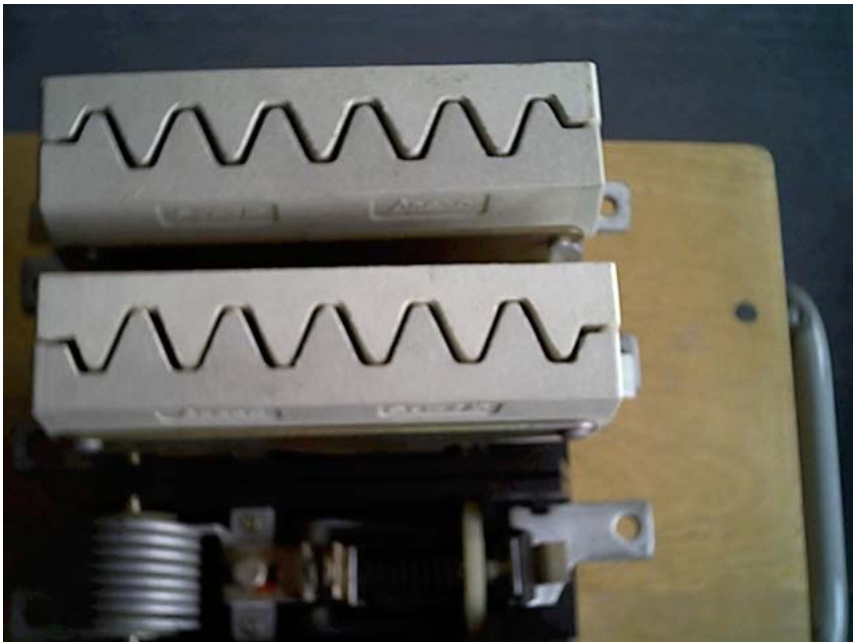
Princip komory s izolačním roštem je vysvětlen podle obrázku. Na jádro vyfukovací cívky jsou upevněny pólové nástavce, mezi kterými se uzavírá magnetické pole. Když se mezi kontakty vytáhne elektrický oblouk působí na něj síla (síla na vodič protékaný proudem v magnetickém poli – pravidlo pravé ruky), která ho tlačí směrem na izolační rošty. Vyfukovací komora je nahoře otevřená, aby mohly unikat obloukové plyny.

Princip šterbinové komory je fyzikálně stejný. Komoru obepínají pólové nástavce. Stěny komory jsou v horní části zesíleny a prostor se zužuje do šterbin, do které je hnán magnetickým polem oblouk. Dobrý styk oblouku se stěnami zlepšuje jeho chlazení a tím i vypínání.

Nejlepší zhášecí systém pracující s velkým obloukovým napětím je zhášecí systém pojistek plněných zrnitým hasivem. Jedná se zpravidla o čistý křemičitý písek SiO_2 s velikostí zrn několik desetin milimetru.



Kontakt stejnosměrného stykače a pomocné vinutí pro elektromagnetické vyfukování oblouku



Izolační komory (všimněte si prodloužení dráhy oblouku)



Zhášedla na střídavý proud.

Z teorie střídavého oblouku víme, že na rozdíl od stejnosměrného oblouku střídavý oblouk uhasíná sám v nule proudu. Úkolem zhášedla střídavého oblouku je zabránit jeho opětovnému zapálení. Zatímco u zhášedel stejnosměrného proudu pracujeme s dlouhými oblouky (potřebujeme vysoké obloukové napětí pro uhasnutí oblouku), tak u zhášedel na střídavý proud pracujeme s krátkými oblouky se zaměřením na deionizaci prostoru po uhasnutí oblouku. Problém u magnetického vyfukování je v tom, že k vyfukování oblouku dochází před nulou proudu, ale v nule proudu pohyb ustává. Proto se často setkáváme s vypínači tlakovzdušnými nebo s elektronegativními plyny (SF₆) hlavně u vypínačů vn a vvn. Na obrázku vidíme zhášecí komory s kovovými rošty u kontaktů stykačů.





Detail kovových roštů komory

Odpovězte

- Čím je charakteristické uhasínání stejnosměrného oblouku
- Čím je charakteristické uhasínání střídavého oblouku
- Jaký je rozdíl mezi zhášecí komorou stejnosměrného oblouku a střídavého oblouku
- Jaká je definice zhášedla oblouku

Část elektrické přístroje

5.Kontakty

Studijní cíle

- Umět definovat fáze funkce kontaktů
- Umět definovat podmínky kontaktů
- Umět popsat konstrukce kontaktů
- Umět napsat rovnici pro odpor kontaktů

U kontaktů rozeznáváme čtyři fáze funkce:

1. zapínací pochod
2. dlouhodobě sepnutý stav
3. vypínací pochod
4. dlouhodobě vypnutý stav

Při zapínacím a vypínacím pochodu nás zajímá působení elektrického oblouku a tím vznik opalu a úbytku materiálu kontaktů, které souvisí se životností kontaktů. Při zapínání může být elektrický oblouk příčinou svaření kontaktů (dynamické svaření kontaktů).

Při trvalém sepnutí kontaktů je stykové místo kontaktů zahříváno proudem a může dojít ke svaření kontaktů (statické svaření kontaktů) vlivem přítláčné kontaktní síly.

Při dlouhodobě vypnutém stavu je mezi kontakty elektrické pole. Izolační prostor mezi kontakty je namáhán jmenovitým napětím nebo přepětím mezi kontakty.

Elektrické kontakty musí splňovat podmínky:

- minimální stykový odpor
- odolnost proti svaření
- minimální opal

Elektrické kontakty se konstruují se stykem

- bodovým
- přímkovým
- plošným

Pro výpočet odporu kontaktů platí vzorec

$$R_K = \frac{K}{(0.1 \cdot F_K)^m} \quad [\Omega]$$

F_K přítláčná síla mezi kontakty
 K činitel vlivu materiálu kontaktů
 m činitel tvaru kontaktů



Obrázky plošných kontaktů

Některé hodnoty

K	Cu-Cu	80-140
	Ag-Ag	70-100
	Al-Al	3000-6700

m	bodový	0.5
	přímkový	0.7
	pošný	1.0

Odpovězte

- Co je charakteristické pro zapínací pochod kontaktů
- Co je charakteristické pro vypínací pochod kontaktů
- Co je charakteristické pro dlouhodobě sepnutý stav kontaktů
- Co je charakteristické pro dlouhodobě vypnutý stav kontaktů
- Napište rovnici pro stykový odpor kontaktů a vysvětlete

Část elektrické přístroje

6. Elektromagnety

Studijní cíle

- Umět odvodit závislost podélné síly elektromagnetu na vzdálenosti mezi póly
- Umět popsat stejnosměrný elektromagnet
- Umět popsat střídavý elektromagnet
- Umět vysvětlit princip závitu nakrátko u střídavých elektromagnetů

Ovládání kontaktů elektrických přístrojů nn se většinou provádí pomocí pohybových elektromagnetů, které vykonávají práci při působení pevné části na pohyblivou část (kotvu). Cívky elektromagnetů jsou napájeny střídavým nebo stejnosměrným proudem. Pohyb kotvy může být otočný nebo přímočarý.

Stejnoseměrné elektromagnety.

Stejnoseměrné elektromagnety se skládají z magnetického obvodu z plného ferromagnetického materiálu a z cívky na stejnosměrný proud. Můžeme využívat elektromagnety s podélným tahem nebo s příčným tahem. U přístrojů se většinou používá elektromagnetů s podélným tahem. Tahová síla se snižuje se čtvercem vzdálenosti. Stejnoseměrný proud budící cívky je po celou dobu přitahu elektromagnetu konstantní daný napětím cívky a jejím odporem. Protože proud cívky je úměrný magnetickému napětí elektromagnetu, je po přitažení kotvy nutná jen malá síla pro držení a tudíž i malý proud. Cívky velkých stejnosměrných elektromagnetů stykačů, se proto někdy navrhuje poddimenzované a při přitažení elektromagnetu se proud cívkou zmenší zapojením odporu, aby nedošlo ke spálení cívky. Podélná síla mezi elektromagnety je dána rovnicí

$$F_d = \frac{B^2 \cdot S_d}{2 \cdot \mu_0}$$

Dosadíme-li do této rovnice za magnetickou indukci a vyjádříme-li sílu jako funkci vzdálenosti x pólů elektromagnetu dostaneme výraz

$$F_d = \frac{\phi^2}{S_d^2} \cdot \frac{S_d}{2 \cdot \mu_0} = \frac{U_{mag}^2}{R_{mag}^2} \cdot \frac{1}{2 \cdot \mu_0 \cdot S_d} = \frac{U_{mag}^2 \cdot \mu_0 \cdot S_d}{2 \cdot x^2}$$

To znamená, že závislost síly elektromagnetu v N je nepřímo úměrná čtverci vzdálenosti v m.

Střídavé elektromagnety.

Střídavé elektromagnety jsou napájeny ze střídavé sítě 50Hz a magnetický obvod se z důvodu snížení ztrát vířivými proudy skládá z tenkých izolovaných plechů. Tažná síla střídavého elektromagnetu kolísá mezi nulou a maximem s frekvencí 100Hz a počítá se její střední hodnota.

$$F_{stř} = \frac{B_{ef}^2 \cdot S_d}{2 \cdot \mu_0}$$

Protože tažná síla střídavého elektromagnetu kolísá, dochází ke chvění kotvy a nepříjemnému hluku. To se u přístrojových elektromagnetů řeší pomocí závitu nakrátko zabudovaném v pólu elektromagnetu, který vytvoří posun výsledné síly tak, že neklesá k nule. Záběrný proud a příkon střídavého elektromagnetu je velký a po přitažení klesá na přídržnou hodnotu, protože při velké vzduchové mezeře je velký magnetický odpor a tudíž malá indukčnost a tím i reaktance a naopak při nepatrné vzduchové mezeře se zmenší magnetický odpor obvodu a vzroste indukčnost a tím reaktance. Proud je úměrný podílu napětí a impedance, která se skládá z odporu vinutí a z reaktance. U střídavých elektromagnetů se proto vždy udává záběrový a přídržný proud.

Odpovězte

- ❑ Napište rovnici pro sílu stejnosměrného elektromagnetu a vysvětlete
- ❑ Napište rovnici pro sílu střídavého elektromagnetu a vysvětlete
- ❑ Co je to závit nakrátko u střídavého pohybového elektromagnetu
- ❑ Jak se mění budící proud střídavých elektromagnetů přístrojů během funkce zapnutí
- ❑ Na čem závisí záběrový a přídržný proud u střídavých elektromagnetů

Část elektrické přístroje

7.Stykače a pomocná relé

Studijní cíle

- Umět popsat rozdělení stykačů
- Umět popsat základní veličiny stykačů
- Umět popsat kategorie použití stykačů
- Umět vysvětlit spínací schopnost stykače

Stykače jsou nejrozšířenější automatické kontaktní prvky v elektrických silových obvodech. Na jejich správné volbě a dimenzování závisí spolehlivý a bezporuchový chod zařízení. Je určen pro časté spínání a vypínání elektrického obvodu. Nehodí se pro občasná dlouhodobá sepnutí.

Základní rozdělení stykačů je podle několika hlavních klasifikací:

1. Podle ovládání
Elektromagnetické, pneumatické
2. Podle zhašecího media mezi kontakty
Vzduchové, vakuové
3. Podle druhu proudové soustavy hlavních kontaktů
Stejnoseměrné, střídavé
4. Podle druhu proudové soustavy ovládacího elektromagnetu
S ovládací cívkou na stejnosměrné napětí nebo na střídavé napětí

V oblasti nízkého napětí se většinou používají trojpólové elektromagnetické vzduchové stykače s ovládací cívkou na střídavý nebo stejnosměrný proud. Pouze stykače pro domovní aplikace se dělají dvoupólové nebo jednopólové. Jsou však i speciální stykače s různými kombinacemi kontaktů. U každého stykače musíme znát hodnoty jeho základních veličin, abychom ho mohli správně dimenzovat.

Izolační a jmenovité napětí - Nejvyšší pracovní napětí může být rovno jmenovitému izolačnímu napětí nebo může mít nižší hodnotu, která je dána jeho provozními vlastnostmi

Jmenovitý proud I_e - Je to proud, který je stykač schopen vydržet, bereme-li v úvahu jmenovité napětí, dobu operace, kategorii užití a teplotu okolí

Trvalý proud I_u - Proud, který stykač vydrží při nepřetržitém provozu

Hustota spínání, zatěživatel- Stykač většinou pracuje při přerušovaném provozu, u kterého se udává zatěživatel (15,25,40,60%).

Kategorie užití- Je dána mechanickou a elektrickou trvanlivostí kontaktů. Elektrická trvanlivost kontaktů závisí na zatížení kontaktů. Normy IEC stanovují základní kategorie

pro AC: AC1 Neinduktivní zátěž
AC2 Kroužkové asynchronní motory

- AC3 Spouštění asynchronního motoru s kotvou nakrátko a vypínání z ustáleného Chodu
- AC4 Spouštění asynchronního motoru s kotvou nakrátko a vypínání ve fázi rozběhu

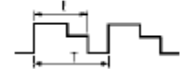
- Pro DC:
- DC1 Neinduktivní zátěž
 - DC2 Zapínání derivačních motorů a vypínání za chodu
 - DC3 Zapínání derivačních motorů a vypínání při rozběhu
 - DC4 Zapínání seriových motorů a vypínání za chodu
 - DC5 Zapínání seriových motorů a vypínání při rozběhu

Spínací schopnost stykače je dána proudem, který stykač může zapínat a vypínat. Proud a spotřeba ovládacích cívek- ovládací napětí cívek se volí podle celkového odběru při záběru a při trvalém provozu s ohledem na úbytek napětí na cívkách a s ohledem na kapacitu dlouhých kabelů.

Definice a komentář

Nadmořská výška	Zředěná atmosféra ve vysoké nadmořské výšce snižuje dielektrickou pevnost vzduchu, a tím i jmenovité pracovní napětí stykače. Snižuje se i chladič účinek vzduchu a v důsledku toho i jmenovitý pracovní proud stykače (neplatí v případě současného poklesu teploty). Až do 3 000 m nemusí docházet k omezení jmenovitých hodnot. Nad touto nadmořskou výškou nutno aplikovat následující koeficienty na jmenovité pracovní napětí a proud hlavních kontaktů (AC napájení):															
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nadmořská výška</th> <th>3 500 m</th> <th>4 000 m</th> <th>4 500 m</th> <th>5 000 m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Jmen. prac. napětí</td> <td>0,90</td> <td>0,80</td> <td>0,70</td> <td>0,60</td> </tr> <tr> <td>Jmen. prac. proud</td> <td>0,92</td> <td>0,90</td> <td>0,88</td> <td>0,86</td> </tr> </tbody> </table>	Nadmořská výška	3 500 m	4 000 m	4 500 m	5 000 m	Jmen. prac. napětí	0,90	0,80	0,70	0,60	Jmen. prac. proud	0,92	0,90	0,88	0,86
Nadmořská výška	3 500 m	4 000 m	4 500 m	5 000 m												
Jmen. prac. napětí	0,90	0,80	0,70	0,60												
Jmen. prac. proud	0,92	0,90	0,88	0,86												
Teplota okolního prostředí přístroje	Teplota vzduchu měřená v bezprostřední blízkosti přístroje. Provozní údaje platí: – bez omezení pro teploty mezi -5 až +55 °C, – s omezením (v případě nutnosti) pro teploty mezi -50 a +70 °C.															
Jmenovitý pracovní proud (Ie)	Je definován s přihlédnutím ke jmenovitému pracovnímu napětí, četnosti spínání, pracovním podmínkám a teplotě okolního prostředí přístroje.															
Smluvený tepelný proud bez krytu (Ith) (1)	Je proud, který je zapnutý stykač schopen vydržet minimálně po dobu 8 hodin bez toho, aby jeho oteplení překročilo mez uvedenou v normách.															
Přípustný krátkodobý proud	Je proud, který zapnutý stykač má vydržet krátkou dobu po období bez zatížení, bez nebezpečného přehřátí.															
Jmenovité pracovní napětí (Ue)	Jmenovité pracovní napětí je napětí, hodnota, které ve spojitosti s jmenovitým pracovním proudem určuje použití stykače nebo spouštěče, a na kterém jsou založeny příslušné testy a kategorie užití. Pro 3fázové obvody je vyláčen jako napětí mezi fázemi. Kromě výjimečných případů, jako je zkratování rotoru, jmenovité pracovní napětí Ue je menší nebo rovno jmenovitému izolačnímu napětí Ui.															
Jmenovité napětí ovládacího obvodu (Uc)	Je jmenovitá hodnota ovládacího napětí obvodu, na které jsou založeny pracovní charakteristiky. Pro AC aplikace jsou hodnoty dány pro přibližnou sinusoidu (méně než 5 % harmonického zkreslení).															
Jmenovité izolační napětí (Ui)	Je hodnota napětí, která se používá pro určení izolačních charakteristik přístroje a která se vztahuje k dielektrickým testům určujícím povrchové cesty a vzdušné vzdálenosti. Protože specifikace nejsou stejné pro všechny normy, jmenovitá hodnota zadaná pro každou z nich nemusí být nutně stejná.															
Jmenovité impulzní výdržné napětí (Uimp)	Vrcholová hodnota napěťové špičky, kterou je schopen přístroj vydržet bez poškození.															

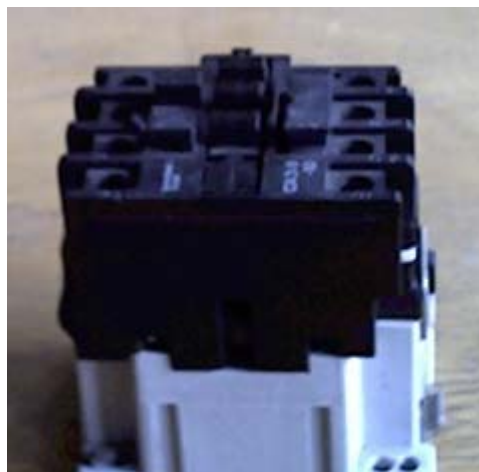
Jmenovitý pracovní výkon (vyjádřený v kW)	Jmenovitý výkon standardního motoru, který je schopen stykač sepnout při stanoveném pracovním napětí.
Jmenovitá vypínací schopnost (2)	Je hodnota proudu, kterou je schopen stykač vypnout v souladu s vypínacími podmínkami stanovenými v normě IEC.
Jmenovitá zapínací schopnost (2)	Je hodnota proudu, kterou je schopen stykač zapnout v souladu se zapínacími podmínkami stanovenými v normě IEC.
Zatěžovatel (m)	Je poměr mezi dobou, kdy má proud nenulovou hodnotu (t), a dobou cyklu (T). $m = \frac{t}{T}$
Impedance pólu	Impedance pólu je suma impedancí všech prvků obvodu mezi vstupní a výstupní svorkou. Impedance zahrnuje odporovou složku (R) a induktivní složku ($X = L\omega$). Celková impedance proto závisí na frekvenci a udává se obvykle pro 50 Hz. Průměrná hodnota je udávána při jmenovitém pracovním proudu pólu.
Elektrická trvanlivost	Je průměrný počet spínacích cyklů pod zatížením, který jsou schopny vykonat kontakty hlavního pólu bez nutnosti údržby. Elektrická trvanlivost závisí na kategorii užití, jmenovitém pracovním proudu a jmenovitém pracovním napětí.
Mechanická trvanlivost	Je průměrný počet spínacích cyklů bez zatížení (tj. když proud neteče hlavními póly), který je stykač schopen vykonat bez mechanického poškození. (1) Smluvený tepelný proud ve volném ovzduší, podle norem IEC. (2) Pro AC aplikace, vypínací a zapínací schopnost je vyjádřena v ef. hodnotě symetrické složky zkratového proudu. Když vezmeme v úvahu největší asymetrii, která může existovat v obvodu, kontakty musí tedy vydržet vrcholový asymetrický proud, který může být dvojnásobkem ef. hodnoty symetrické složky.

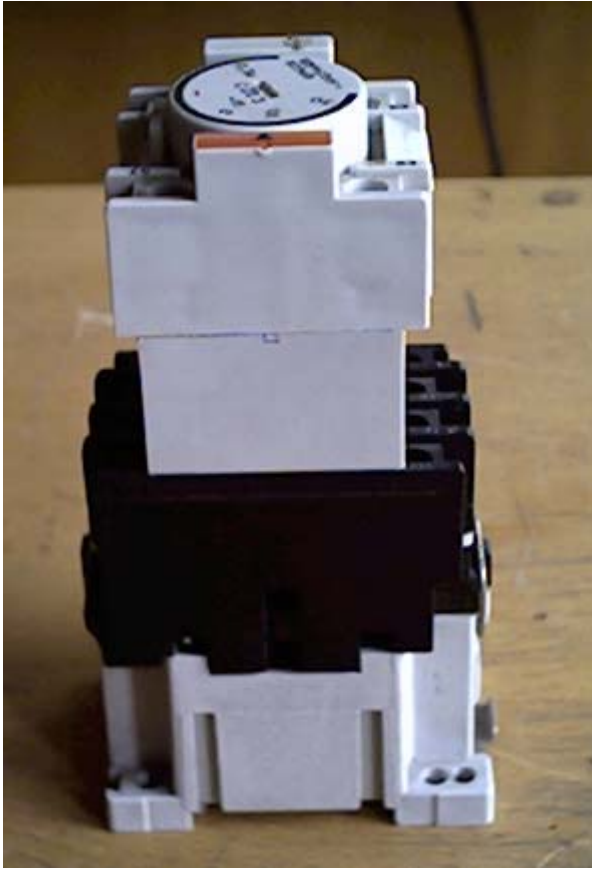


Poznámka: tyto definice jsou výňatkem z normy IEC 947-1.

Převzato z katalogu firmy Schneider.

Kontaktní systémy stykačů se dělí na hlavní kontakty většinou zapínací pro spínání hlavního proudového obvodu a na pomocné kontakty pro použití v ovládacích obvodech. Dříve byly stykače dodávány s pevným počtem pomocných kontaktů 2/2 t.j. dva kontakty zapínací a dva rozpínací. Dnes se stykače dodávají většinou s pomocnými kontakty 1/1 a je možné rozšíření přídatnými bloky kontaktů shora nebo z boku stykače.





Odpovězte

- ❑ Popište rozdělení stykačů
- ❑ Co je to spínací schopnost stykače.
- ❑ Jakým způsobem se ovládá elektromagnetický stykač
- ❑ Jakou funkci mají hlavní a pomocné kontakty stykače
- ❑ Jakou hodnotu napětí na svorkách může mít ještě cívka stykače, aby došlo k sepnutí

Část elektrické přístroje

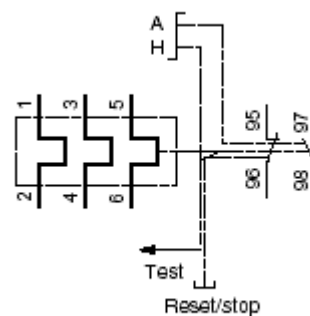
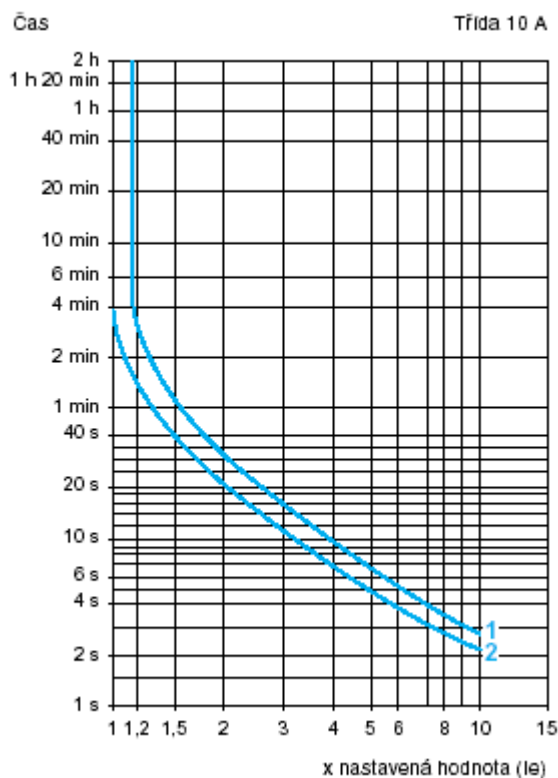
8. Tepelná relé

Studijní cíle

- Umět popsat princip činnosti tepelného relé
- Funkce tepelného relé v elektrickém obvodu
- Vypínací charakteristika tepelného relé

Tepelná relé jsou konstruována na principu bimetalových pásků a patří k dokonalým a nejlevnějším nadproudovým ochranám elektromotorů. Vyrábějí se v trojpólovém provedení a v každé fázi je zařazen bimetalový pásek vyhříváný buď přímým průchodem proudu, nebo topným vinutím ovinutým kolem pásku nebo topítkem vedle pásku. Prohnutím pásku se posune izolační tyč, která rozeprne pomocný kontakt relé. Tímto kontaktem se pak rozepíná obvod cívky stykače, který vypne hlavní obvod elektromotoru. Tepelná relé mají kromě vypínacího kontaktu ještě kontakt zapínací pro možnost signalizace poruchového stavu. Hodnota relé se může seřídit v malém rozmezí proudů předechnutím pásku (např. 8-10-12A).

Vypínací charakteristika tepelného relé



Převzato z katalogu firmy Schneider.
Odpovězte

Schematická značka tepelného relé

- Popište funkci tepelného relé a varianty provedení
- Jaký je průběh vypínací charakteristiky tepelného relé
- Jakým způsobem se ovládá tepelné relé vypnutím hlavního obvodu

Část elektrické přístroje

9. Jističe

14. Nadproudová spoušť jističe

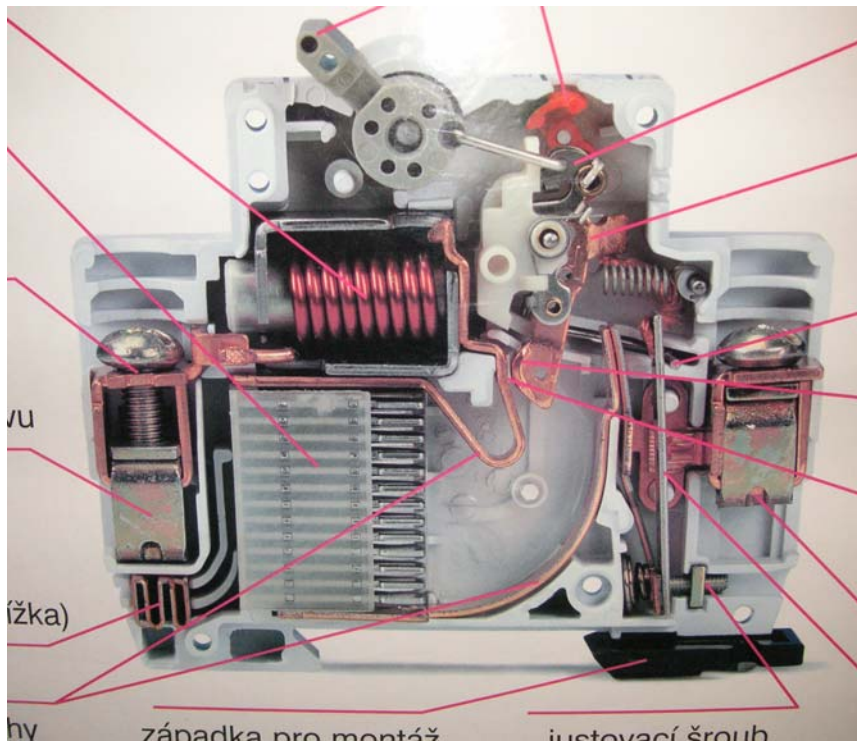
15. Zkratová spoušť jističe

Studijní cíle

- Umět popsat princip činnosti jističe
- Umět popsat nadproudovou a zkratovou ochranu jističe
- Vypínací charakteristiky jističů

Jistič je samočinný vypínač, který zahrnuje v jednom přístroji funkce jištění a vypínání. Při zapínání jističe se mechanicky napne vypínací pružina, která pak zpětně působí na pohyblivé kontakty při vypínání. V zapnuté poloze drží jistič západkou, která je uvolněna spouštěmi při nadproudu nebo zkratu. Jističe jako mechanické vypínače mají reakční dobu při zkratech 3-4 ms. Nehodí se proto pro jištění polovodičových prvků.

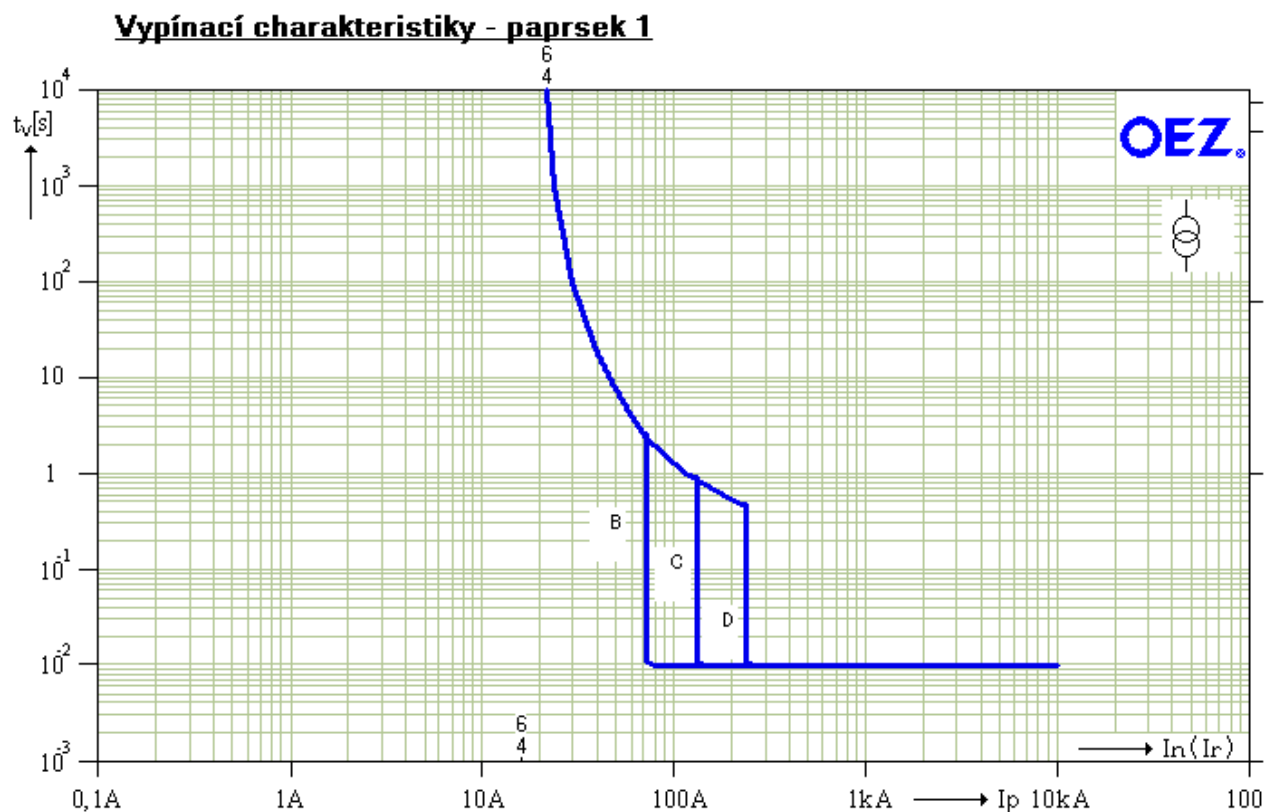
Pro vypínání malých nadproudů má jistič obvod s tepelným prvkem, jehož teplota je závislá na proudovém zatížení ($I^2 \cdot t$). Kromě toho toto čidlo teploty integruje i okolní účinky oteplení nebo ochlazení. Velikost a konstrukce tepelného prvku (nadproudové ochrany) jističe určuje jeho proudovou kapacitu. Jističe s tepelnou ochranou jsou vhodné zejména pro jištění vedení.



Pro vypínání zkratových proudů má jistič elektromagnetický obvod (zkratovou spoušť), která působí na principu vtahování jádra do cívky.

Na vypínací charakteristice jističe rozeznáváme dvě části. Na obr. Jsou nakresleny 3 charakteristiky jističů se jmenovitým proudem 16A určené pro jištění vedení (B), motorů (C) a transformátorů (D). Nadproudová část charakteristiky odpovídající tepelné spoušti jističe je pro

všechny tři typy jističů stejná. Zkratová část charakteristiky se liší. Nejnižší hodnotu zkratového proudu má jistič vedení, jistič pro motory má hodnotu zkratového proudu zvýšenou kvůli záběrovému proudu asynchronního motoru a jistič pro transformátory má hodnotu zkratového proudu nejvyšší kvůli zapínacímu proudu transformátoru. Pro jištění v domovních instalacích se výhradně používají jističe s charakteristikou B.



Odpovězte

- Popište funkci jističe
- Jaký je průběh vypínací charakteristiky jističe
- Jakým způsobem ovládají nadproudová a zkratová spoušť vypínání jističe

Část elektrické přístroje

10.Pojistky

Studijní cíle

- Umět popsat princip činnosti pojistky
- Umět popsat konstrukci pojistky
- Vypínací charakteristiky pojistek

Pojistka je jističí prvek, který používá princip nejslabšího místa proudové dráhy elektrického obvodu. Z hlediska působení pojistky v elektrickém obvodu rozeznáváme přetížení a zkrat. Pojistka je vhodná zejména pro vypínání zkratů. Působí velmi rychle a je tím rychlejší čím je větší zkratový proud. Tavná vložka pojistky se ohřívá stejně jako vodiče jištěného zařízení. Protože působí rychle omezuje velikost zkratového proudu. Zkratový proud nedosáhne své vrcholové hodnoty a přeruší se dříve. Pojistka je malá a levná a nenáročná na údržbu. Pojistka musí trvale snést jmenovitý proud. Proud při kterém se pojistka přetaví nazýváme krajním proudem. Ten musí mít dostatečný odstup od jmenovitého proudu a bývá v rozmezí 1.3-1.6 In pro nn pojistky a 1.3-2.0 In pro vn pojistky. Oblast krajního proudu je charakteristická také velkým rozptylem. Provedení pojistek může být závitové, nožové, válcové, patronové, trubičkové a ploché. Konstrukčně se všechny typy vyznačují uzavřenou tavnou vložkou s výplní zhašecím sytkým materiálem-křemičitým pískem.

Proudové hodnoty pojistek jsou normalizované

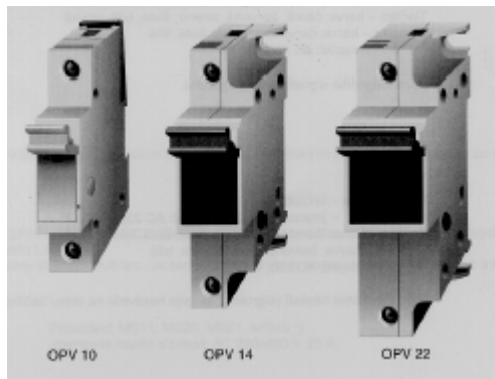
Závitová pojistka se skládá z pojistkového spodku, vymezovacího kroužku, tavné vložky a hlavice. Přívod je na dotykovém kontaktu ve vymezovacím kroužku a vývod je spojen s normalizovaným závitem. Tavné vložky a vymezovací kroužky jsou barevně odlišené podle proudové velikosti pojistkové vložky. Závitové pojistky se vyrábějí ve velikosti E27 (velikost normalizovaného závitu) a E33. Velikost E27 je do 25A a E33 od 32A do 63A. Se závitovými pojistkami nikdy nemanipulujeme pod zatížením.

Tavná vložka je tvořena porcelánovým tělesem v jehož dutině je v křemenném písku vložen tavný vodič provedený obvykle ze stříbrného drátku nebo pásku a pomocný tavný vodič pro ovládání ukazatele z odporového materiálu. Oba tavné vodiče jsou na spodním konci připevněny na dolní uzavírací víčko. Pomocný tavný vodič je na horním konci připojen na barevný terčík.

Nožová pojistka se skládá z pojistkového spodku a pojistkové vložky, která má kontakty ve tvaru nožů. Vyrábějí se pro větší vypínací výkony a větší jmenovité proudy. Jejich velikosti jsou normalizované označované číslicemi **000** (4A-100A), **00** (63A-160A), **1** (6A-250A), **2** (35A-400A), **3** (100A-630A), **4** (800A-1600A). V současné době jsou ve většině instalací nahrazovány pojistkové spodky pojistkovými odpínači, které umožňují vypínat obvody pod zatížením.



Válcová pojistka je svým charakterem moderním jisticím prvkem a skládá se z tavné válcové vložky a pojistkového spodku nebo pojistkového odpínače. Vyrábí se ve třech velikostech 10 (0.25A-32A), 14(0.25A-63A), 22(16A-125A). Vypínací schopnost válcových pojistek je 120kA.



Patronová pojistka pro VN. Patrona pojistky je tvořena porcelánovou trubkou ukončenou na koncích dvěma kovovými víčky. Hlavní tavný vodič je složen z paralelních Ag drátků navinutých šroubovitě na keramickém tělese.



Část elektrické přístroje

11. Omezující schopnost pojistky

Studijní cíle

- Co to znamená omezující schopnost pojistky
- Nakreslete průběh zkratového proudu po okamžiku zkratu u ss a st obvodů
- Jak namáhá zkratový proud elektrický obvod

Omezující schopnost pojistky je dána schopností pojistky omezit zkratový proud dříve než dosáhne své vrcholové hodnoty. Kdybychom zařadili do elektrického obvodu místo pojistky vodič, protékal by obvodem zkratový proud. Ve stejnosměrných obvodech má zkratový proud tvar exponenciální křivky a dosáhne hodnoty max.

$$I_k = \frac{U}{R}$$

a ve střídavých obvodech je to maximální hodnota první půlvlny zkratového proudu. Zařazená pojistka se za tavnou dobu přetaví a zařadí do obvodu obloukové napětí vyšší než napětí soustavy a tím začne klesat proud k nule až oblouk uhasne. Doba od doby přetavení pojistky do doby uhasnutí oblouku se nazývá dobou hoření oblouku. Protože se tento děj odehrává ve stoupající části zkratového proudu dosáhne výrazně nižší hodnoty v okamžiku přetavení než je vrcholová hodnota zkratového proudu a tak pojistka omezí tepelné a silové namáhání elektrických obvodů při zkratech.

Část elektrické přístroje

12.Vypínací schopnost pojistky

Studijní cíle

- Co to je vypínací schopnost pojistky

Vypínací schopnost pojistky je dána ve střídavých obvodech efektivní hodnotou souměrné složky zkratového proudu a ve stejnosměrných obvodech ustálenou hodnotou zkratového proudu.

Část elektrické přístroje

13. Tavný proud

Studijní cíle

- Co je tavný proud pojistky

Tavný proud obvykle ztotožňujeme s maximální hodnotou omezeného proudu. Je to okamžitá hodnota proudu, která se mění v závislosti na tvaru proudu na počátku zkratu. Doba hoření oblouku závisí pak na velikosti tavného proudu.

Část elektrické přístroje

16. Princip závitů nakrátko u stykače

Studijní cíle

- Umět popsat princip činnosti závitů nakrátko

Závit nakrátko se používá u stykačů s cívkou elektromagnetu na střídavý proud, aby se odstranilo mechanický hluk vznikající při kolísání přitažné síly elektromagnetu mezi maximální hodnotou a nulou s frekvencí 100Hz.

Část elektrické přístroje

21. Krytí elektrických zařízení, značka IP

Studijní cíle

- Umět popsat tvary značení krytí elektrických zařízení IP

Značka krytí elektrických zařízení má obecný tvar IPXXx

Za značkou International Protection je první charakteristická číslice 0-6 představující stupeň krytí proti dotyku a vniknutí cizích těles.

- | | |
|---|--------------------------------------|
| 0 | nechráněno |
| 1 | hřbetem ruky a tělesa o průměru 50mm |
| 2 | prstem a tělesa o průměru 12.5mm |
| 3 | nástrojem a tělesa o průměru 2.5mm |
| 4 | drátem a tělesa o průměru 1.0mm |
| 5 | drátem a chráněno před prachem |
| 6 | drátem a prachotěsné |

Druhá číslice za značkou IP je ochrana před vniknutím vody

- | | |
|---|---|
| 0 | nechráněno |
| 1 | chráněno před svisle dopadajícími kapkami |
| 2 | chráněno před šikmo dopadajícími kapkami |
| 3 | chráněno před kropením vodou, deštěm |
| 4 | chráněno před stříkající vodou |
| 5 | chráněno před tryskající vodou |
| 6 | chráněno před intenzivně tryskající vodou |
| 7 | chráněno před dočasným ponořením |
| 8 | chráněno před trvalým ponořením |

a přidavné písmeno pro rychlejší identifikaci

- | | |
|---|--|
| A | ochrana před dotykem nebezpečných částí hřbetem ruky |
| B | ochrana před dotykem nebezpečných částí prstem |
| C | ochrana před dotykem nebezpečných částí nástrojem |
| D | ochrana před dotykem nebezpečných částí drátem |

Běžné krytí např. rozvaděčů pro venkovní prostory je IP54.