



VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektrických strojů a přístrojů



Předmět:
Elektrické přístroje

Protokol č.5
Přechodné děje při vypínání

Skupina:	
Datum:	

Vypracoval:

--

Zadání:

Pro vypínač na jmenovité napětí $U = \dots \text{ kV}$ a jmenovitý vypínací proud $I_{kn} = \dots \text{ kA}$ vypočtete:

- a) hodnotu paralelního tlumicího odporu tak, aby tlumil kmity zotaveného napětí počínaje kmitočtem $f_m = 5000 \text{ Hz}$. Vypočtenou hodnotu zaokrouhlete na desítky Ohmů a zpětně přepočtete hodnotu mezního kmitočtu f_m .
- b) velikost proudu a jeho fázový posuv protékajícího paralelním tlumicím odporem po uhasnutí oblouku v hlavním zhášecím systému. Srovnajte požadavky na dimenzování hlavního zhášela a zhášela pro vypnutí paralelního odporu.
- c) Průběh zotaveného napětí při vypínání obvodu s vlastním kmitočtem:
 - $f_o = 5000 \text{ Hz}$ bez tlumicího odporu ($\alpha = 1000$)
 - $f_o = f_{mskut.}$ (viz. zadání bod a))
 - $f_o < f_m$
 - $f_o > f_m$

Poznámka :

Vypínaný obvod považujte za ryze induktivní. Časové průběhy zotaveného napětí vynesete do společného grafu včetně průběhu napětí obnoveného.

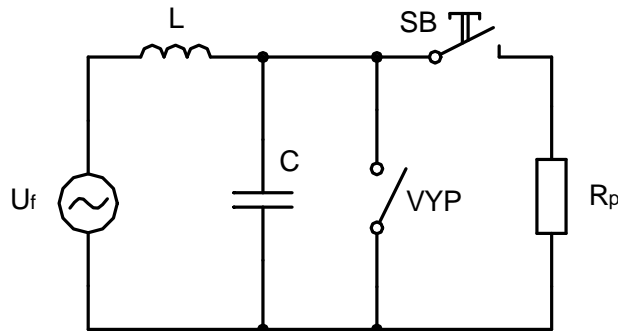
Rozbor:

Při určování průběhu zotaveného napětí je nejdůležitější hodnotou obvodu její kapacita, respektive vlastní kmitočet obvodu. Nejnepříznivější případ nastane při vypínání vysoce induktivních obvodů, kdy napětí předbíhá proud o téměř 90° ($\pi/2$), tzn. při průchodu proudu nulou (okamžik vypnutí) je napětí zdroje právě maximální. Přitom přechodná složka napětí má kmitavý charakter.

Vypracování:

a) Výpočet paralelního tlumicího odporu

Na obr.1 je znázorněn náhradní obvod jedné fáze vypínaného obvodu. Budeme předpokládat, že jednotlivé fáze reálného obvodu se neovlivňují a reálné parametry obvodu nahradíme parametry soustředěnými.



Obr.1. Schéma náhradního obvodu pro výpočet zotaveného napětí

Určení parametrů obvodu:

Pro impedanci obvodu platí (viz. zadání)

$$Z_n = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{kn}} = X_L = \omega \cdot L \Rightarrow L = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{kn} \cdot 2\pi f}$$

Při výpočtu hodnoty náhradní kapacity vyjdeme ze zadaného kmitočtu $f_m = 5000 \text{ Hz}$ a vztahu pro vlastní kmitočet elektrického obvodu.

$$\omega_o = 2\pi \cdot f_m = \sqrt{\frac{1}{LC}} \Rightarrow C = \frac{1}{4\pi^2 f_m^2 \cdot L} \quad (1)$$

Známe-li nyní parametry vypínaného obvodu můžeme stanovit hodnotu paralelního tlumicího odporu, pro který platí:

$$R_p = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Hodnotu odporu zaokrouhlíme na celé desítky Ohmů, přepočteme hodnotu náhradní kapacity a zpětným dosazením do vztahu (1) vypočteme skutečný vlastní kmitočet f_{mskut} .

b) Výpočet proudu paralelním tlumícím odporem

Pro impedanci obvodu s paralelním tlumícím odporem a proud jím procházející platí:

$$Z_p = \sqrt{R_p^2 + X_L^2}, \quad I_p = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_p},$$

Nyní zbývá jen určit fázový posuv tohoto proudu vůči napětí. Platí

$$j = \arctan \frac{X_L}{R_p}$$

c) výpočet zotaveného napětí

Při vypínání mohou nastat dva možné stavy. Zaprvé stav kdy vypínáme obvod vysoce induktivní ($L \gg R$), potom zotavené napětí kmitá kolem napětí zdroje (tzv. obnovené napětí), nebo kdy vypínáme obvod málo induktivní ($L \ll R$), potom je zotavené napětí aperiodicky přetlumené. Obecně lze oba případy popsat těmito rovnicemi:

$$a) \quad U_{zn} = U_{ob} \cdot \left[\sin(\omega \cdot t + j) - \sin j \cdot \left(\frac{a}{\omega_o} \cdot \sin \omega_o t + \cos \omega_o t \right) \cdot e^{-at} \right] \quad (2)$$

$$b) \quad U_{zn} = U_{ob} \cdot \left[\sin(\omega \cdot t + j) - \sin j \cdot \left(\frac{a}{d} \cdot \sinh dt + \cosh dt \right) \cdot e^{-at} \right] \quad (3)$$

Pro případ kdy jeden děj přechází do druhého, tzn. děj kmitavý do aperiodicky přetlumeného (děj na mezi aperiodicity) platí

$$c) \quad U_{zn} = U_{ob} \cdot \left[\sin(\omega \cdot t + j) - \sin j \cdot (1 + at) \cdot e^{-at} \right] \quad (4)$$

Vlastní řešení:

- obvod bez tlumícího odporu ($f_o = 5000 \text{ Hz}$, $\alpha = 1000$)
pro zadané hodnoty postupně vypočteme:

$$w_o = 2 \cdot p \cdot f_o, \quad U_{ob} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_n}{\sqrt{3}} = U_{fm},$$

Dosažením do rovnice (2) a řešením pro $\sin j = 1$ ($j = p/2$) vypočteme průběh zotaveného napětí v rozsahu cca jedné půlperiody napětí zdroje.

- obvod s tlumícím odporem pro mezní kmitočet ($f_o = f_{mskut.}$)

Pro tento případ musíme vyčíslit hodnotu tlumícího činitele α , pro který platí

$$a = \frac{1}{2 \cdot R_p \cdot C}$$

a dosažením do vztahu (4) za stejných podmínek jako u obvodu bez tlumícího odporu vypočteme průběh zotaveného napětí na mezi periodicity.

- obvod s tlumícím odporem pro vlastní kmitočet ($f_o < f_m$)

Protože vlastní kmitočet vypínaného obvodu je menší než mezní, neprojeví se vliv tlumícího odporu, tzn. průběh zotaveného napětí bude kmitavý. Obdobně jako v předešlých případech vypočteme postupně jednotlivé veličiny potřebné pro dosažení do vztahu (2), a to :

Vlastní úhlovou frekvenci ω_o , náhradní kapacitu obvodu C' a činitel tlumení α' a vypočteme průběh zotaveného napětí pro stejný časový interval jako v předešlých bodech.

- obvod s tlumícím odporem pro vlastní kmitočet ($f_o > f_m$)

Protože vlastní kmitočet vypínaného obvodu je nyní větší než mezní, projeví se vliv tlumícího odporu ještě více, tzn. průběh zotaveného napětí bude aperiodicky přetlumený. Vlastní výpočet je identický jako v předchozím bodě, s tím rozdílem, že místo úhlové frekvence ω_o vypočteme činitel δ a dosadíme do vztahu (3).

$$d = \sqrt{\frac{1}{4 \cdot R_p^2 \cdot C''^2} - \frac{1}{L \cdot C''}} \quad \text{kde } C'' \text{ je náhradní kapacita obvodu pro zadané } f_o.$$

Všechny čtyři vypočtené průběhy vyneseme ve společném grafu a vyhodnotíme.

Poznámky:

Vlastní zadané hodnoty zvolte z tab.

Zadání	U_n [kV]	I_{kn} [kA]	f_{o1} [Hz]	f_{o2} [kHz]
1	22	16	500	10
2	35	25	600	12
3	110	32.5	750	14
4	220	40	900	15
5	400	63	1000	16
6	22	25	1000	16
7	35	32.5	900	15
8	110	40	600	10
9	220	25	500	12
10	400	25	750	10