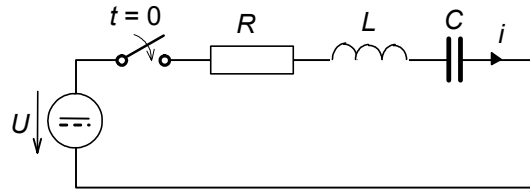


Prechodné javy v elektrických obvodoch

Meranie na sériovom RLC obvode

Všeobecne

Budeme vyšetrovať priebeh prúdu $i(t)$ v sériovom RLC obvode po náhlom pripojení stacionárneho napätia U (obr. 1). V uvažovanom obvode sú nulové počiatkové podmienky, t. j. nulový prúd cez induktor $i_L(0^-) = 0$ a nulové napätie na kapacitore $u_C(0^-) = 0$. Po doznení prechodného javu bude prúd v obvode nulový, na kapacitore bude napätie U .



Obr. 1 Vyšetovaný sériový RLC obvod

Tvar časového priebehu prúdu po zapnutí vypínača závisí od hodnôt parametrov R , L , C . Môžu nastať tri prípady:

a) $R > 2 \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$ (1)

Prúd v čase $t > 0$ je

$$i(t) = \frac{U}{L \cdot \sqrt{D}} \cdot e^{-\frac{R}{2L}t} \cdot \sinh(\sqrt{D} \cdot t) \quad \text{kde } D = \frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC} \quad (2)$$

Prúd je aperiodicky tlmený (obr. 2a).

b) $R = 2 \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} = R_h$ kde R_h je tzv. hraničný odpor (3)

Prúd v čase $t > 0$ je

$$i(t) = \frac{U}{L} \cdot t \cdot e^{-\frac{R}{2L}t} \quad (4)$$

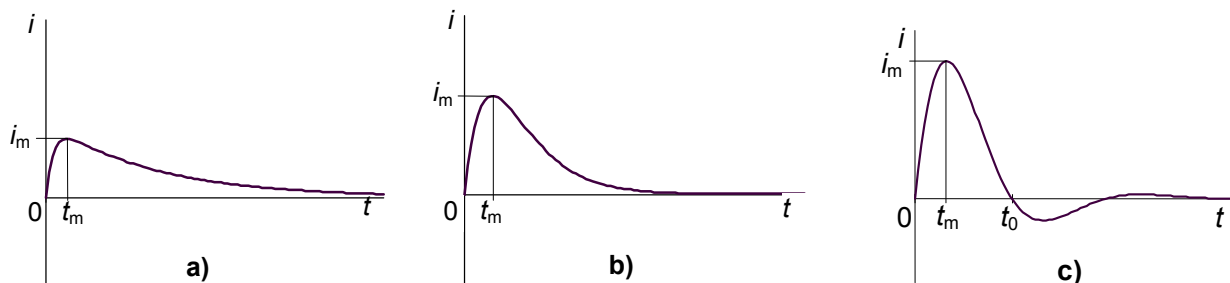
Prúd je tlmený na hranici aperiodicity (obr. 2b).

c) $R < 2 \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$ (5)

Prúd v čase $t > 0$ je

$$i(t) = \frac{U}{\omega \cdot L} \cdot e^{-\frac{R}{2L}t} \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad \text{kde uhlová frekvencia } \omega = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C} - \left(\frac{R}{2 \cdot L}\right)^2} \quad (6)$$

Prúd je periodicky tlmený s uhlovou frekvenciou ω (obr. 2c).



Obr. 2

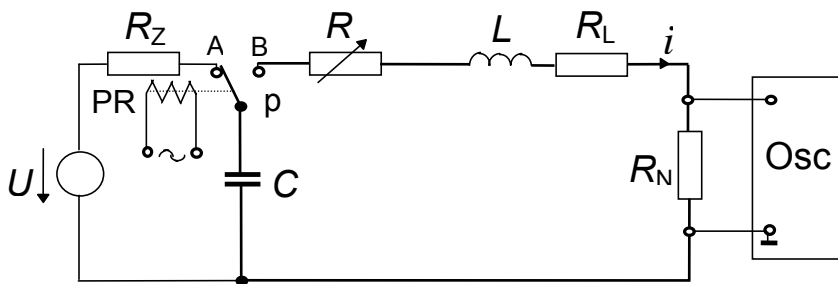
Poznámka: Význam stavu na hranici aperiodicity je najmä v tom, že predstavuje hranicu medzi dvoma kvalitatívne odlišnými stavmi, líšiacimi sa charakterom odoziev. Napr. v meracej a riadiacej technike sú nevýhodné systavy, ktoré sú značne kmitavé (podtlmené), alebo značne aperiodické (pretlmené). Čas trvania prechodného javu je v oboch prípadoch dlhý. Preto sa parametre navrhujú tak, aby boli blízko hranice aperiodicity, kedy je prechodný jav najkratší.

Rovnaký časový priebeh ako po pripojení napätia U k obvodu s nulovými počiatočnými podmienkami (t. j. nabíjanie kondenzátora) má prúd, avšak s opačným znamienkom, v prípade, ak v obvode nie je zdroj napätia, ale je nenulová počiatočná podmienka pred zapnutím vypínača, ktorou je napätie U na kapacitore C (v reálnom obvode ide o vybíjanie nabitého kondenzátora do obvodu). Práve túto skutočnosť využijeme pri našom meraní.

Úloha

1. Vypočítajte hraničný odpor R_h zadaného RLC obvodu.
2. Celkový odpor obvodu R nastavte väčší alebo rovnajúci sa hraničnému odporu R_h . Na osciloskope pozorujte priebeh prúdu $i(t)$ a určite maximum prúdu i_m a čas maxima prúdu t_m .
3. Celkový odpor obvodu R nastavte menší ako hraničný odpor R_h . Na osciloskope pozorujte priebeh prúdu $i(t)$ a určite prvé maximum prúdu i_m , čas prvého maxima prúdu t_m a čas t_0 , keď prúd prvý raz prechádza cez nulovú hodnotu.
4. Analytickým riešením pre hodnoty R z úlohy 2, resp. 3 vypočítajte hodnoty i_m a t_m a pre úlohu 3 aj hodnotu t_0 . Porovnajte hodnoty určené z merania a výpočtu.

Zapojenie meracieho zariadenia



U – jednosmerný zdroj napätia	C – kondenzátor
R_Z – ochranný odpor	OSC – osciloskop
R_D – odporová dekáda	PR – polarizované relé
R_N – odporový normál	
R_L, L – vzduchová cievka s indukčnosťou L a odporom R_L	

Ak chceme sledovať prechodný jav, čiže časový priebeh prúdu na bežnom (nie pamäťovom) osciloskope, prechodný jav sa musí periodicky opakovať, aby na obrazovke osciloskopu bol trvalý obraz. Periodické opakovanie prechodného javu dosiahneme tak, že v jednej polperióde opakovacej frekvencie nabijeme kondenzátor C na napätie U (prepínač p je v polohe A). V druhej polperióde sa kondenzátor vybíja do obvodu (prepínač p je v polohe B), pričom osciloskopom snímame časový priebeh vyšetřovaného prúdu $i(t)$.

Ako prepínač p slúži polarizované relé PR, ktoré je pripojené na sieťové napätie s frekvenciou 50 Hz. Časová konštanta vyšetřovaného obvodu (a tým aj trvanie sledovaného prechodného javu) je pritom oveľa menšia ako polperióda sieťového napätia. Časový priebeh prúdu je úmerný napätiu na normálovom odpore R_N , ktoré privádzame na osciloskop.

Postup pri meraní a výpočte

1. Pre zadané hodnoty indukčnosti L a kapacity C vypočítame hraničný odpor obvodu R_h zo vzťahu (3).
2. Podľa požiadaviek úlohy 2 zvolíme celkový odpor obvodu $R = R_D + R_L + R_N \geq R_h$ (pre $R > R_h$ je odporúčaná hodnota $R = 1,5$ až 2-násobok R_h). Zapneme zdroj napätia U a napájanie polarizovaného relé. Na osciloskope sledujeme časový priebeh napätia na odporovom normále R_N . Odčítame čas prvého maxima prúdu t_m a zodpovedajúce napätie u_m . Maximum prúdu určíme zo vzťahu $i_m = u_m/R_N$. Hodnoty i_m a t_m zapíšeme do tabuľky nameraných a vypočítaných hodnôt.

Poznámka: Správne určenie napätia a času je možné len ak poznáme napätovú a časovú kalibráciu osciloskopu (príslušné prepínače musia byť v aretovanej „kalibrovannej“ polohe).

3. Meranie zopakujeme pre celkový odpor obvodu $R \leq R_h$ (odporúčaná hodnota R je 1,5 až 2-krát menšia ako R_h). Do tabuľky zapíšeme hodnoty i_m , t_m a t_0 .

4. Hodnoty i_m a t_m (pre úlohy 2 a 3), stanovíme výpočtom tak, že určíme čas, v ktorom je extrém funkcie priebehu prúdu [vzťah (2) alebo (4) podľa zvolenej hodnoty R pri úlohe 2, resp. vzťah (6) pri úlohe 3]. Pre takto určené časy t_m určíme extrém funkcie i_m dosadením do príslušného vzťahu pre prúd. Čas t_0 v úlohe 3 určíme zo vzťahu (6) pre nulovú hodnotu prúdu. Výsledky výpočtu zaznamenáme do tabuľky. Výsledky určené z merania a výpočtu porovnáme.

Tabuľka nameraných a vypočítaných hodnôt

Hodnoty	$R < R_n$		$R \geq R_n$	
	namerané	vypočítané	namerané	vypočítané
$i(t_m)$ (mA)				
t_m (ms)				
t_0 (ms)				