

Úlohy

- 1 Jaký je rozdíl mezi indukčním ohřevem a ohřevem v mikrovlnné troubě?
- 2 Materiál nádob pro vaření na indukčním vařiči nesmí mít příliš malou rezistivitu (např. měď). Vysvětlete.
- 3 Proč k indukčnímu ohřevu přispívá také jev hystereze feromagnetického materiálu, ze kterého je vyrobena nádoba na vaření?
- 4 Oblíbeným prostředkem pro udržení tělesné kondice je rotoped. Zátěž při cvičení na rotopedu se řídí pomocí magnetického brzdného systému nebo indukční brzdou. Na internetu najdete popis principu těchto systémů. Vyložte z fyzikálního hlediska rozdíl mezi nimi a způsob regulace zátěže.

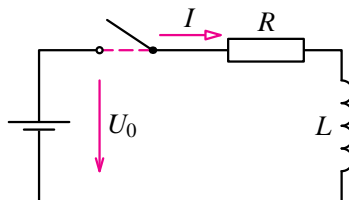
R6.3 Elektrický obvod s cívkou a kondenzátorem

Jestliže elektrický obvod s cívkou nebo kondenzátorem připojíme ke zdroji elektrického napětí, jehož hodnota je konstantní, nezačne obvodem procházet ihned ustálený elektrický proud jako v případě obvodu s rezistorem. Ustálený stav nastane až po určité době, během níž probíhá tzv. *přechodný děj*. V obvodu s cívkou proud narůstá postupně, až se ustálí na hodnotě, která odpovídá odporu cívky, popř. celého obvodu. Naopak v obvodu s kondenzátorem se kondenzátor v průběhu přechodného děje postupně nabíjí, přičemž se nabíjecí proud zmenšuje a klesne na nulu v okamžiku, kdy je kondenzátor nabit na hodnotu připojeného zdroje napětí.

Popíšeme si děje v obvodu s cívkou a s kondenzátorem podrobněji.

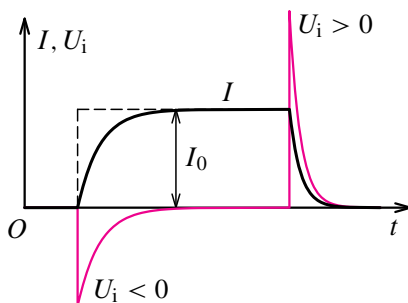
Přechodný děj v obvodu s cívkou

Přechodný děj v obvodu s cívkou ukážeme pokusem podle obr. R6-6. Obvod tvoří cívka s indukčností L , s níž je sériově spojen rezistor o odporu R (může to být odpor vinutí cívky). V okamžiku, kdy je obvod připojen ke zdroji napětí U_0 , začíná cívkou procházet proud a v okolí závitů cívky vzniká magnetické pole. To podle Lenzova zákona



R6-6 Demonstrace přechodného děje v cívce

svými účinky působí proti příčině, která ho vyvolala, tzn. proti vzniku proudu v obvodu. V cívkě se indukuje napětí U_i opačné polarity, než je napětí zdroje. Proud tedy nemůže dosáhnout ustálené hodnoty $I_0 = U_0/R$ okamžitě, ale narůstá postupně (obr. R6-7).



R6-7 Časový diagram přechodného děje

Průběh děje je tedy ovlivněn elektromagnetickou indukcí. Na koncích cívky vzniká indukované napětí

$$U_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

a cívkou prochází proud

$$I = \frac{U_0 + U_i}{R} = \frac{U_0 - L \frac{\Delta I}{\Delta t}}{R}.$$

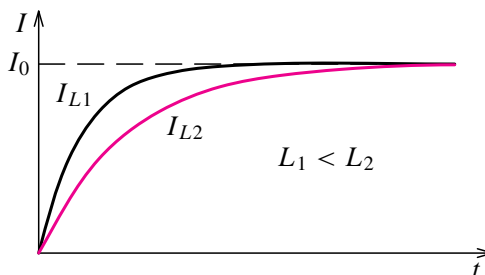
V okamžiku připojení zdroje napětí je $I = 0$ a indukované napětí má stejnou hodnotu, ale opačnou polaritu než zdroj ($U_i = -U_0$). Poněvadž indukované napětí existuje jen při změnách proudu, začíná se proud zvětšovat, ale postupně se přírůstky proudu zmenšují, až nastane ustálený stav, kterému odpovídá proud I_0 .

Obdobný přechodný děj nastane i při odpojení obvodu zdroje napětí a spojení cívky jen s rezistorem. V obvodu s cívkou vzniká indukované napětí, které se snaží proud v obvodu udržet. Napětí má tedy stejnou polaritu, jakou má zdroj napětí. Proto proud v obvodu nezaniká okamžitě, ale postupně (viz opět graf časové závislosti na obr. R6-7).

Poznámka: V praxi často dochází k rozpojení obvodu s cívkou. Protože rozpojením obvodu se jeho odpor skokem změní na velkou hodnotu ($R \rightarrow \infty$), poklesne proud v obvodu rychle k nule. Tomu odpovídá velká hodnota indukovaného napětí, která několikanásobně překračuje hodnotu napětí zdroje ($U_i \gg U_0$). Velké indukované napětí při přerušení obvodu je příčinou vzniku jiskrového výboje v místě přerušení (např. mezi kontakty vypínače). To je nežádoucí,

poněvadž se kontakty opalují, jiskření ruší příjem rozhlasu a ve výbušném prostředí může dojít k explozi. Tomu lze zabránit např. připojením kondenzátoru paralelně ke kontaktům vypínače. V některých zařízeních se naopak velké indukované napětí využívá. Příkladem je startér zářivky (viz čl. R4.4).

Čím větší je indukčnost cívky, tím delší dobu se bude magnetické pole vytvářet a proud narůstá pomaleji. To je patrné z grafu na obr. R6-8, na němž je zobrazen časový průběh přechodného děje pro dvě cívky s různou indukčností ($L_1 < L_2$).

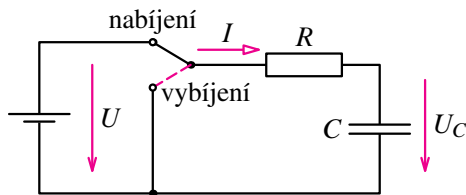


R6-8 Časové diagramy přechodného děje pro dvě cívky s různou indukčností

Podrobněji je přechodný děj v obvodu s cívkou popsán ve Slovníčku pojmů na CD **AS6**.

Přechodný děj v obvodu s kondenzátorem

Obdobný pokus jako s cívkou můžeme provést podle obr. R6-9 také s kondenzátorem, který je spojen v sérii s rezistorem (bez rezistoru by nabití kondenzátoru



R6-9 Demonstrace nabíjení a vybíjení kondenzátoru

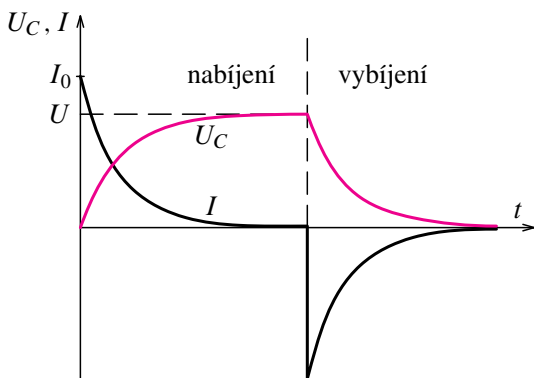
proběhlo prakticky okamžitě). Po připojení ke zdroji napětí U začne obvodem procházet proud I , kondenzátor se začíná nabíjet a napětí U_C se postupně zvětšuje. Rozdíl potenciálů mezi kladným pólem zdroje a kladně nabitou deskou kondenzátoru se zmenšuje. To má za následek postupné zmenšování nabíjecího proudu a když $U_C = U$, je kondenzátor nabit a obvodem proud přestane procházet. Mezi deskami kondenzátoru je elektrické pole, které má

energii (viz čl. 1.6)

$$E_e = \frac{1}{2} C U^2.$$

Při vybíjení kondenzátoru přes rezistor R se napětí postupně zmenšuje, elektrická energie se v rezistoru mění v jeho vnitřní energii (rezistor se zahřívá) a elektrické pole kondenzátoru zaniká. Časový průběh nabíjení a vybíjení kondenzátoru je na obr. R6-10.

Podrobněji je přechodný děj v obvodu s kondenzátorem popsán ve Slovníčku pojmů **↗S1**.



R6-10 Časové diagramy proudu a napětí při nabíjení a vybíjení kondenzátoru

R6.4 Energie magnetického pole cívky

V čl. 6.4 je uveden vztah pro energii magnetického pole

$$E_m = \frac{1}{2} L I^2.$$

K tomuto vztahu dospějeme následující úvahou. Sériový obvod s rezistorem a cívkou (obvod RL ; obr. 6-6) připojíme ke zdroji napětí a obvodem prochází proud, který se postupně zvětšuje. Za velmi krátkou dobu Δt se proud zvětší o ΔI a energie magnetického pole se zvětší o ΔE_m . Tuto energii získalo magnetické pole cívky přeměnou stejně velké části elektrické energie zdroje. Elektrické síly působící na volné elektrony ve vodiči cívky vykonaly při této přeměně práci, jejíž velikost je právě rovna ΔE_m . Velikost této práce je dána součinem velikosti elektromotorického napětí $|U_i|$ indukovaného v cívce,