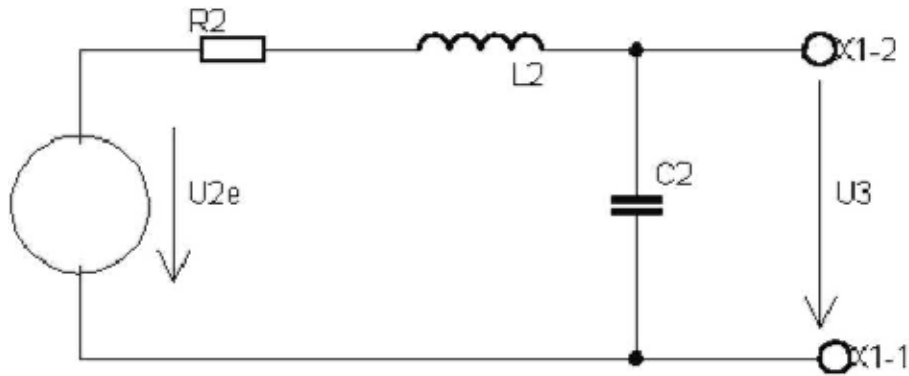


## Rezonanční transformátor - pokračování

Nyní se blíže podíváme na podmínku rezonance sekundáru. Pro tento účel nakreslíme náhradní schéma sekundární části rezonančního transformátoru.



Obr. 5

Zdroj napětí na obr. 5 je napětí  $U_{L1}$  vydělené převodem  $p$ :

$$U_{2e} = U_{L1}/p = U_{L1} N_2/N_1 = U_{L1} \sqrt{L_2/L_1} \quad (19)$$

Podmínku rezonance

$$1 - \omega^2 L_2 C_2 = 0$$

upravíme:

$$\begin{aligned} \omega^2 L_2 C_2 &= 1 \\ j\omega L_2 &= -j \frac{1}{\omega C_2} \end{aligned} \quad (20)$$

Znamená to, že v rezonanci se reaktance cívky rovná reaktanci kondenzátoru ( $X_L = X_C$ ), tudíž je na obou prvcích stejné napětí opačné polarity. Je zřejmé, že sekundár teoreticky nikdy nemůže být v rezonanci, ale prakticky se k ní může velmi přiblížit. Je to dáno tím, že napětí na cívce se skládá ze součtu vektorů napětí  $U_{2e}$  a  $U_{L2}$  a tento součet se rovná napětí na kondenzátoru  $C_2$ :

$$U_{C2} = I_2/\omega C = \sqrt{U_{2e}^2 + I_2^2 \omega^2 L^2} \quad (21)$$

Po úpravě vztahu (21) dostaneme vzorec pro výpočet indukčnosti

$$L_2 = \frac{\sqrt{U_{C2}^2 - U_{2e}^2}}{\omega L_2} \quad (22)$$

a kapacity

$$C_2 = \frac{I_2}{\omega U_{C2}} \quad (23)$$

Proud sekundárem  $I_2$  se rovná podílu napětí  $U_{2e}$  a celkové impedance sekundáru:

$$I_2 = \frac{U_{2e}}{\sqrt{((\omega L_2 - 1/(\omega C_2))^2 + R_2^2)}} \quad (24)$$

Ze vzorce (24) pro výpočet proudu  $I_2$  odvodíme vztah pro výpočet činného odporu sekundáru:

$$R_2 = \sqrt{(U_{2e}/I_2)^2 - (\omega L_2 - 1/(\omega C_2))^2} \quad (25)$$

Nyní zbývá vztahy odvozené teoreticky ověřit v praxi. Máme rezonanční transformátor podle obr. 1 s následujícími změřenými parametry:

Kapacity kondenzátorů:

$$C_1 = 142\text{nF}, C_2 = 6,9\text{nF},$$

Amplitudy napětí na primáru a sekundáru:

$$U_{L1} = 68\text{V}, U_{C2} = 850\text{V},$$

Amplitudy proudů primárem a sekundárem:

$$I_1 = 320\text{mA}, I_2 = 220\text{mA},$$

Perioda a frekvence:

$$T = 190\mu\text{s}, f = 5263\text{Hz},$$

Stejnoseměrné napájecí napětí a proud:

$$U = 10\text{V}, I = 96\text{mA},$$

Změřená statická indukčnost primární a sekundární cívky:

$$L_1 = 143\text{mH}, L_2 = 437\text{mH}.$$

-----  
Příkon transformátoru:

$$P_1 = UI = 10 \cdot 0,096 = 0,96\text{W}.$$

Pomocí metody se zařazením odporu  $\Delta R$  jsme zjistili, že činný ztrátový odpor primáru je:

$$R_1 = 27\Omega.$$

Amplituda ekvivalentního harmonického napájecího napětí:

$$U_{1e} = I_1 R_1 = 0,32 \cdot 27 = 8,64\text{V}.$$

Výkon ekvivalentního zdroje harmonického napětí:

$$P_{1H} = \frac{I_1 U_{1e}}{2} = \frac{0,32 \cdot 8,64}{2} = 1,3824\text{W}.$$

*Poznámka: Poslední výsledek je velmi zajímavý, neboť výkon ekvivalentního zdroje harmonického napětí je znatelně vyšší než skutečný příkon, od něhož je navíc nutné odečíst spotřebu elektronických obvodů (cca 20mA). Znamená to, že pulsní buzení je efektivnější než buzení proudem harmonického průběhu.*

Napěťový přenos primáru:

$$A_{u1} = \frac{U_{L1}}{U_{1e}} = \frac{68}{8,64} = 7,87$$

Dynamická indukčnost primární cívky:

$$L_1 = \frac{A_{u1} R_1}{\omega} = \frac{7,87 \cdot 27}{2\pi \cdot 5263} = 6,27 \text{mH}$$

Kapacita primáru:

$$C_1 = \frac{1}{\omega^2 L} = \frac{1}{(2\pi \cdot 5263)^2 \cdot 6,27 \cdot 10^{-3}} = 145,85 \text{nF}$$

Amplituda ekvivalentního napájecího napětí sekundáru:

$$U_{2e} = U_{L1}/p = U_{L1} \cdot \sqrt{L_2/L_1} = 68 \cdot \sqrt{437/143} = 118,9 \text{V}$$

Napěťový přenos sekundáru:

$$A_{u2} = \frac{U_2}{U_{2e}} = \frac{850}{118,9} = 7,15$$

Indukčnost sekundární cívky:

$$L_2 = \frac{\sqrt{U_{C2}^2 - U_{2e}^2}}{\omega l_2} = \frac{\sqrt{850^2 - 118,9^2}}{2\pi \cdot 5263 \cdot 0,22} = 115,7 \text{mH}$$

Kapacita sekundáru:

$$C_2 = \frac{I_2}{\omega U_{C2}} = \frac{0,22}{2\pi \cdot 5263 \cdot 850} = 7,83 \text{nF}$$

Činný odpor sekundáru:

$$R_2 = \sqrt{(U_{2e}/I_2)^2 - (\omega L_2 - 1/(\omega C_2))^2} = \sqrt{(118,8/0,22)^2 - (2\pi \cdot 5263 \cdot 0,1157 - 1/(2\pi \cdot 5263 \cdot$$

$$7,83 \cdot 10^{-9})^2} = 539,14 \Omega$$

Výkon sekundární cívky:

$$P_2 = 1/2 L I^2 f = 0,5 \cdot 0,1157 \cdot 0,22^2 \cdot 5263 = 14,736 \text{W}$$

Účinnost:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{14,736}{0,96} = 15,35 = 1525\%$$

## **Závěr**

Nejzajímavějším poznatkem je, dynamická indukčnost primární a sekundární cívky se podstatně liší od změřené statické indukčnosti co do velikosti i pokud jde o jejich poměr a je závislá na velikostech kondenzátorů  $C_1$  a  $C_2$ .

Praxe dále ukázala, že pomocí rezonančního transformátoru je možné dosáhnout vyšší účinnosti než u impulsního LC oscilátoru s jedinou cívkou, a to minimálně dvojnásobně. Dále bylo zjištěno, že je vhodné zvolit kapacitu  $C_2$  podle vzorce (3) nebo (4) pro  $k=2$ . Tato podmínka však nemusí být přesně dodržena. Pokud však zvolíme kapacitu vyšší, mohou být kmity nestabilní (mění se jejich amplituda). Pokud zvolíme kapacitu vyšší, sníží se velikost výstupního napětí, protože vzroste napětí  $U_{2e}$  a sekundár bude mít dál k rezonanci.

Toto zapojení je vhodné především jako vysokofrekvenční zdroj vysokého napětí, jehož hlavní výhodou je, že není třeba ladit přesně rezonanci, ale stačí zhruba vypočítat velikost kondenzátoru na sekundáru.

## **Literatura**

- [1] Jaroslav Dvořáček a kol. - Kurs Radiotechniky
- [2] Ladislav Kopecký - [Rezonanční obvod jako zdroj volné energie](#)
- [3] Ladislav Kopecký - [Impulsní LC oscilátor](#)