Werk

Label: Article

Jahr: 1933

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?31311028X_0062|log96

Kontakt/Contact

Digizeitschriften e.V.
SUB Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen

info@digizeitschriften.de

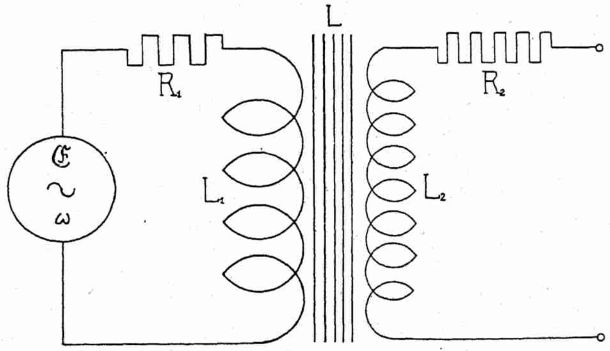
částmi, které mění značně proud vzduchu kolem vrtule a tedy také její práci. Při různých způsobech letu pracuje vrtule při podmínkách velmi různých, které nelze vůbec uvažovati při výpočtu a konstrukci a kterým všem není možno současně vyhověti. Proto zvolí se taková vrtule, aby dodávala letadlu ty vlastnosti, které má toto nejvíce uplatňovati, na př. velikou rychlost, stoupavost a pod. Podle předpokládaného způsobu letu určí se rozměry vrtule a teprve srovnáním výsledků zkoušek s různými vrtulemi určí se nejvýhodnější typ.

Elektrický transformátor.

Vladimír Pilát.

Elektrickým transformátorem (v užším slova smyslu) rozumíme stroj, jímž se mění střídavý proud určitého napětí v střídavý proud jiného libovolného napětí téže frekvence.

Transformátor pro jednofázový střídavý proud nízké frekvence (50 per/sek) se skládá z magneticky vodivého jádra a dvou cívek na něm nasunutých, z nichž jedna má poměrně málo závitů měděného isolovaného drátu a druhá četné závity slabšího drátu. Jádro je složeno z tenkých železných plechů, nejčastěji tvaru uzavřeného čtyřúhelníkového rámce, po jedné straně potřených isolačním



lakem nebo polepených tenkým papírem. Jedna cívka — hlavní, primární — se připojí ke zdroji střídavého proudu o napětí, jež se má transformovati na vyšší nebo nižší, v druhé cívce — vedlejší, sekundární — vzniká žádané střídavé napětí téže frekvence (obr. 1).

Princip ideálního transformátoru. Předpokládejme v dalších úvahách ideální transformátor, t. j. stroj, v němž mimo *Jouleovo* teplo v obou vinutích nevznikají žádné jiné neužitečné ztráty energie, a jehož primární cívka je připojena ke zdroji harmonického napětí $\mathfrak{E}$. Při řešení užijeme symbolické metody komplexních čísel pro střídavé proudy, jež byla vyložena p. prof. dr. Ryšavým v 4. č. III. roč. „Rozhledů" (str. 168—174).

V primárním kruhu způsobuje harmonická elektromotorická síla zdroje $\mathfrak{E} = E e^{j\omega t}$ o konstantní amplitudě E a frekvenci ω (e = základ přirozených logaritmů, $j = \sqrt{-1}$ imaginární jednotka) proud intensity $\mathfrak{J}_{1,0} = J_{1,0}\, e^{j(\omega t + \varphi_{1,0})}$ o úhel $\varphi_{1,0}$ fázově posunutý, který vzbuzuje v magneticky vodivém jádře harmonický magnetický tok $\Phi_{1,0}$, jehož velikost je určena zákonem *Hopkinsonovým*

$$\Phi_{1,0} = \frac{4\pi n_1 \mathfrak{J}_{1,0}}{\dfrac{l}{\mu q}}. \tag{1}$$

Čitatel tohoto výrazu je t. zv. magnetomotorická síla, přímo úměrná součinu počtu závitů primární cívky n_1 a intensity $\mathfrak{J}_{1,0}$ (v abs. jedn. elmg.) [$n_1 \cdot \mathfrak{J}_{1,0} \cdot 10^{-1}$ = ampérzávity]. Jmenovatel se nazývá analogicky podle zákona *Ohmova* magnetický odpor $\mathfrak{R}$ (reluktance), který je přímo úměrný délce střední silokřivky (v cm), nepřímo průřezu magnetického toku q (v cm^2) a permeabilitě jádra μ.

Tento harmonický magnetický tok $\Phi_{1,0}$ shodný fázově s magnetisačním proudem $\mathfrak{J}_{1,0}$ a téže frekvence ω indukuje v primární cívce samoindukční elektromotorickou sílu $\mathfrak{E}_{1,0}$, určenou vztahem *Maxwell-Faradayovým*

$$\mathfrak{E}_{1,0} = -n_1 \frac{d\Phi_{1,0}}{dt} = -L_1 \frac{d\mathfrak{J}_{1,0}}{dt} = -j\omega L_1 \mathfrak{J}_{1,0}, \tag{2}$$

kde $L_1 = \dfrac{4\pi n_1^2 \mu q}{l}$ je t. zv. samoindukční koeficient primární cívky. Symbol $-j$ značí, že samoindukční napětí $\mathfrak{E}_{1,0}$ je opožděno fázově za proudem $\mathfrak{J}_{1,0}$ o 90^0, t. j. podle zákona akce a reakce napětí hledící vyvolati proud, který by zabraňoval vzniklé změně magnetického pole $\Phi_{1,0}$.

Ale i v sekundární otevřené cívce, čili když transformátor běží naprázdno, se indukuje změnou magnetického pole $\Phi_{1,0}$ elektrom. síla $\mathfrak{E}'_{2,1}$

$$\mathfrak{E}'_{2,1} = -n_2 \frac{d\Phi_{1,0}}{dt} = -j\omega L \mathfrak{J}_{1,0}, \tag{3}$$

kde koeficient vzájemné indukce $L = \dfrac{4\pi n_1 n_2 \mu q}{l}$. Elektrom. síly $\mathfrak{E}_{1,0}$ a $\mathfrak{E}'_{2,1}$ se fázově shodují, jsou však opožděny proti $\Phi_{1,0}$ a tedy i proti $\mathfrak{J}_{1,0}$ o 90^0.

Poměry se stanou složitější, když sekundární cívka je uzavřena, t. j. když transformátor je zatížen. Sekundárním kruhem probíhá proud $\mathfrak{J}_2 = J_2 e^{j(\omega t + \varphi_2)}$, o φ_2 proti $\mathfrak{E}$ fázově posunutý, téže frekvence ω jako proud primární, ale směru protivného, bránící podle zákona akce a reakce (pravidlo *Lenzovo*) magnetickým změnám vyvolávaným proudem primárním. I tento proud $\mathfrak{J}_2$ vzbuzuje v jádře nový magnetický tok Φ_2

$$\Phi_2 = \frac{4\pi n_2 \mathfrak{J}_2}{\frac{l}{\mu q}}, \tag{4}$$

jenž indukuje v sekundární cívce samoindukční elm. sílu $\mathfrak{E}_2$

$$\mathfrak{E}_2 = -n_2 \frac{\mathrm{d}\Phi_2}{\mathrm{d}t} = -j\omega L_2 \mathfrak{J}_2, \quad L_2 = \frac{4\pi n_2^2 \mu q}{l}, \tag{5}$$

a v primární cívce elm. sílu $\mathfrak{E}_{1,2}$

$$\mathfrak{E}_{1,2} = -n_1 \frac{\mathrm{d}\Phi_2}{\mathrm{d}t} = -j\omega L \mathfrak{J}_2, \tag{6}$$

kde L je koeficient vzájemné indukce (3).

Při zatížení transformátoru, t. j. při uzavření sekundární cívky, probíhají jádrem dva protisměrné magnet. toky $\Phi_{1,0}$ a Φ_2 se zeslabující. Sekundární strana se stala zdrojem střídavého proudu $\mathfrak{J}_2$, proto podle zákona o zachování energie se okamžitě zvýší primární proud $\mathfrak{J}_{1,0}$ v $\mathfrak{J}_1 = J_1 e^{j(\omega t + \varphi_1)}$, jímž se vzbudí takový magnetický tok Φ_1, že $\Phi_1 - \Phi_2 = \Phi_{1,0}$, magnet. toku vyvolanému proudem při chodu naprázdno $\mathfrak{J}_{1,0}$. Tok Φ_1 vyvolá samoindukční napětí $\mathfrak{E}_1$ a na sekundární straně napětí $\mathfrak{E}_{2,1}$, určená rovnicemi *Maxwell-Faradayovými* (2) a (3), kde klademe $\mathfrak{J}_1$ místo $\mathfrak{J}_{1,0}$. Napětí $\mathfrak{E}_2$ a $\mathfrak{E}_{1,2}$ fázově shodná, ale opožděná o 90^0 za $\mathfrak{J}_2$ a Φ_2, jsou opačná fázově k elm. silám $\mathfrak{E}_1$ a $\mathfrak{E}_{2,1}$.

Řešení. Přihlížíme-li i k ohmickým odporům obou kruhů R_1 a R_2, a tedy spádu napětí podél nich $R_1\mathfrak{J}_1$, $R_2\mathfrak{J}_2$, můžeme sestaviti základní rovnice pro oba kruhy transformátoru. Podle 2. zákona *Kirchhoffova* $\mathfrak{E} = \Sigma\mathfrak{E}_k$ potlačuje v primárním kruhu vnější elm. síla $\mathfrak{E}$ ohmický spád napětí $R_1\mathfrak{J}_1$, samoindukční napětí $\mathfrak{E}_1$ (2) a napětí vzniklé vzájemnou indukcí $\mathfrak{E}_{1,2}$ (6), takže bez ohledu na jejich orientace sestavíme rovnici*)

$$\mathfrak{E} = R_1\mathfrak{J}_1 + j\omega L_1\mathfrak{J}_1 + j\omega L\mathfrak{J}_2. \tag{I}$$

V sekundárním kruhu jsou poměry jednodušší, poněvadž není vnější elm. síly, takže v něm působí dvě indukovaná napětí $\mathfrak{E}_2$ (5) a $\mathfrak{E}_{2,1}$ (3) vedle ohmického spádu napětí $R_2\mathfrak{J}_2$

$$O = R_2\mathfrak{J}_2 + j\omega L_2\mathfrak{J}_2 + j\omega L\mathfrak{J}_1. \tag{II}$$

Tyto dvě základní rovnice platí pro jakoukoli elm. sílu $\mathfrak{E}$, nejen

*) Vl. Novák, Fysika II, str. 732—735.

harmonickou, a mohli jsme je také získati vyšetřováním energetických poměrů na transformátoru.

Z druhé základní rovnice (II) stanovme důležitý poměr intensit

$$\frac{\mathfrak{J}_2}{\mathfrak{J}_1} = -\frac{j\omega L}{R_2 + j\omega L_2} = \tag{7}$$

$$= \frac{-j\omega L\,(R_2 - j\omega L_2)}{R_2^2 + \omega^2 L_2^2} = \frac{-j\omega L R_2 - \omega^2 L L_2}{R_2^2 + \omega^2 L_2^2}.$$

Znaménko minus v rovnici (7) vyznačuje protisměrnost obou proudů a potvrzuje naše předběžné úvahy.

Tento poměr můžeme vyjádřiti i charakteristickými konstantami obou proudů

$$\frac{\mathfrak{J}_2}{\mathfrak{J}_1} = \frac{J_2 e^{j(\omega t + \varphi_2)}}{J_1 e^{j(\omega t + \varphi_1)}} = \frac{J_2}{J_1} e^{j(\varphi_2 - \varphi_1)} = p\,.\,e^{j\psi},$$

kde $p = J_2/J_1$ je t. zv. transformační poměr.

Pro přehled zavedeme t. zv. impedanci sekundárního kruhu

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + \omega^2 L_2^2}.$$

Transformační poměr p vypočteme, přejdeme-li užitím sekundární impendance k absolutní hodnotě poměru (7)

$$\frac{J_2}{J_1} = p = \frac{\sqrt{\omega^2 L^2 R_2^2 + \omega^4 L^2 L_2^2}}{Z_2^2} = \frac{\omega L\,.\,Z_2}{Z_2^2} = \frac{\omega L}{Z_2}$$

$$\frac{J_2}{J_1} = p = \frac{\omega L}{\sqrt{R_2^2 + \omega^2 L_2^2}}. \tag{8}$$

Tangens fázového rozdílu mezi oběma proudy $\mathfrak{J}_1$ a $\mathfrak{J}_2$ je určena poměrem koeficientu při imaginární jednotce k části reálné jejich poměru (7)

$$\operatorname{tg}(\varphi_2 - \varphi_1) = \operatorname{tg}\psi = \frac{\omega L R_2}{\omega^2 L L_2} = \frac{R_2}{\omega L_2}. \tag{8a}$$

Musíme ovšem přihlédnouti k zápornému znaménku poměru (7), takže fázový rozdíl mezi oběma proudy bude $180^0 + \psi$.

Z rovnice (7) určíme $\mathfrak{J}_2$

$$\mathfrak{J}_2 = \frac{-j\omega L R_2 \mathfrak{J}_1 - \omega^2 L L_2 \mathfrak{J}_1}{Z_2^2}$$

a dosadíme do první základní rovnice (I)

$$\mathfrak{E} = R_1 \mathfrak{J}_1 + j\omega L_1 \mathfrak{J}_1 - j^2 \frac{\omega^2 L^2}{Z_2^2} R_2 \mathfrak{J}_1 - j\omega \frac{\omega^2 L^2}{Z_2^2} L_2 \mathfrak{J}_1.$$

Tuto rovnici zjednodušíme rozložením v část reálnou a imaginární, a převedeme užitím transformačního poměru p (8) na tvar

$$\mathfrak{E} = \mathfrak{J}[(R_1 + p^2 R_2) + j\omega\,(L_1 - p^2 L_2)]. \tag{9}$$