

Převinutí cívek relé a elektromagnetů

Poškodí-li se vinutí relé nebo elektromagnetu, nebo je-li je potřeba použít pro jiné napětí nebo pro jiný druh proudu, potřebujeme původní vinutí přepočítat a navinout pro nové poměry. Přitom je potřeba zachovat stejný magnetický tok a stejné místo pro vinutí.

Snadněji řešitelný je případ, kdy známe údaje původního vinutí. Jsou to napětí U , proud I , činný odpor R , počet závitů N , průměr holého vodiče d , kmitočet f nebo úhlový kmitočet $\omega = 2\pi f$. Dále při odvození vztahů pro přepočet budeme počítat s indukčností L a impedancí $Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$.

Obtížnější je případ, neznáme-li údaje vinutí nebo nemá-li cívka žádné vinutí. V tom případě cívku plně navineme pomocným vinutím, a napětí nařídíme na velikost, při níž relé nebo elektromagnet správně funguje. Takto zjištěné údaje pomocného vinutí potom přepočteme na napětí a druh proudu, pro které má být cívka určena po převinutí.

Obvykleji převínáme cívku pro stejný druh proudu, ale pro jiné napětí. Pro úplnost však odvodíme i vztahy pro přepočet na střídavé napětí jiného kmitočtu. V dále uvedených vztazích označíme výpočtové veličiny původního vinutí indexem 1, a veličiny nového vinutí indexem 2.

Nejprve odvodíme vztahy pro převinutí cívky určené pro střídavé napětí U_1 , jejíž proud je I_1 , činný odpor R_1 , úhlový kmitočet ω_1 nebo kmitočet f_1 , počet závitů N_1 a průměr (holého) vodiče vinutí d_1 . Tato cívka má být převinuta pro nové napětí U_2 , proud I_2 a nový úhlový kmitočet ω_2 , případně kmitočet f_2 . Takový obecný případ není častý, ale mohl by se vyskytnout např. u cívky určené pro kmitočet $f_1 = 60$ Hz, a jež má být nově určena pro kmitočet $f_2 = 50$ Hz nebo naopak.

Magnetický tok bude u převinuté cívky stejný, bude-li v obou případech stejné magnetomotorické napětí

$$N_1 I_1 = N_2 I_2 \quad (1)$$

neboli

$$\frac{N_1 U_1}{\sqrt{R_1^2 + \omega_1^2 L_1^2}} = \frac{N_2 U_2}{\sqrt{R_2^2 + \omega_2^2 L_2^2}} \quad (2)$$

Protože činný i indukční odpor převinuté cívky ještě neznáme, vyjádříme je veličinami původního vinutí

$$R_2 = R_1 \frac{N_2}{N_1} \cdot \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \omega_2 L_2 &= \omega_2 L_1 \frac{N_2}{N_1} = \frac{\omega_2}{\omega_1} \cdot \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 \cdot (\omega_1 L_1) = \\ &= \frac{f_2}{f_1} \cdot \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 \cdot (\omega_1 L_1) \end{aligned} \quad (4)$$

Dosadíme-li (3) a (4) do (2), dostaneme pro nový průměr vinutí

$$d_2 = d_1 \sqrt{\frac{\sqrt{R_1 I_1^2}}{U_2^2 - \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2 \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 (U_1^2 - R_1^2 I_1^2)}} \quad (5)$$

a pro nový počet závitů

$$N_2 = N_1 \sqrt{\frac{U_2^2 - R_1^2 I_1^2 (d_1/d_2)^4}{\left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2 (U_1^2 - R_1^2 I_1^2)}} \quad (6)$$

Rovnice (5) a (6) jsou na sobě závislé, neboť jedna je odvozena z druhé, a nemůžeme proto z nich vypočítat obě neznámé veličiny d_2 a N_2 .

Přibereme proto na pomoc podmínku, že po převinutí bude cívka zaplněna stejným celkovým průřezem mědi, tedy

$$N_1 d_1^2 = N_2 d_2^2 \quad (7)$$

což předpokládá stejný činitel plnění mědi místa pro vinutí v obou případech. Dosadíme-li (7) do (5) a (6), dostaneme

$$d_2 = d_1 \sqrt{\frac{\sqrt{R_1^2 I_1^2 + \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2 (U_1^2 - R_1^2 I_1^2)}}{\sqrt{U_2}}} \quad (8)$$

$$N_2 = N_1 \frac{U_2}{\sqrt{R_1^2 I_1^2 + \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2 (U_1^2 - R_1^2 I_1^2)}} \quad (9)$$

Tyto vztahy umožňují přepočítat vinutí pro střídavý proud jiného napětí a jiného kmitočtu. Pro další, běžnější a jednodušší případy je nyní upravíme.

Je-li cívka určena pro napětí stejného kmitočtu jako před převinutím, je $f_2 = f_1$ a potom je

$$d_2 = d_1 \sqrt{\frac{U_1}{U_2}} \quad (10)$$

$$N_2 = N_1 \frac{U_2}{U_1} \quad (11)$$

Má-li být cívka, původně určená pro střídavé napětí s kmitočtem f_1 , použita pro stejnosměrné napětí U_2 , dosadíme $f_2 = 0$ do (8) a (9) a dostaneme

$$d_2 = d_1 \sqrt{\frac{R_1 I_1}{U_2}} \quad (12)$$

$$N_2 = N_1 \frac{U_2}{R_1 I_1} \quad (13)$$

Má-li být cívka původně určená pro stejnosměrné napětí U_1 nově určena pro střídavé napětí U_2 s kmitočtem f_2 , neznáme údaje charakterizující její indukčnost. V tom případě cívku připojíme na střídavé napětí kmitočtu f_2 a velikost napětí nařídíme na hodnotu U_1 při níž relé nebo elektromagnet správně funguje. Potom při stejnosměrném napětí změříme (činný) odpor R_1 . Nemá-li cívka žádné vinutí, poslouží nám pomocné vinutí, které navineme libovolným vodičem a potom přepočteme a převíneme pro napětí U_2 podle vztahů (10) a (11). Podmínkou ovšem je, aby relé nebo elektromagnet nebyl nevhodný pro střídavý proud, tj. aby se nadměrně neoteploval a aby jeho kotva nevíbrovala.

Konečně pro přepočet vinutí cívky z jednoho stejnosměrného napětí U_1 na druhé stejnosměrné napětí U_2 dosadíme $R_1 I_1 = U_1$ do (12) a (13) a dostaneme výrazy

$$d_2 = d_1 \sqrt{\frac{U_1}{U_2}} \quad (14)$$

$$N_2 = N_1 \frac{U_2}{U_1} \quad (15)$$

jež jsou formálně shodné s výrazy (10) a (11).

Při vlastním přepočtu vinutí nejprve vypočítáme nový průměr vodiče d_2 a ten zaokrouhlíme na nejbližší vyráběnou velikost. Protože vyráběné průměry jsou odstupňovány poměrně hustě, vzniklá chyba bude velmi malá.

Zkontrolujeme ještě oteplení převinuté cívky. Za předpokladu, že oteplení cívky s původním vinutím vyhovovalo, bude pro teplo vyvinuté proudem v cívkě platit

$$R_2 I_2^2 = \frac{R_2 U_2^2}{R_2^2 + (\omega_2 L_2)^2} \leq R_1 I_1^2 \quad (16)$$

a po dosazení (3) a (4) do (16) bude

$$\begin{aligned} R_2 I_2^2 &= \\ &= \frac{U_2^2 R_1 \frac{N_2}{N_1} \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2}{R_1^2 \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^4 + \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2 \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^4 (U_1^2 - R_1^2 I_1^2)} \leq R_1 I_1^2 \end{aligned} \quad (17)$$

Pro převinutí ze střídavého napětí na jiné střídavé napětí se stejným kmitočtem do (17) dosadíme $f_2 = f_1$. Pro převinutí ze stejnosměrného napětí na jiné stejno-

směrné nebo ze střídavého na stejnosměrné do (17) dosadíme $f_2 = 0$ a v tom případě je

$$R_2 I_2^2 = \frac{U_2^2}{R_1} \cdot \frac{N_1}{N_2} \cdot \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 \leq R_1 I_1^2 \quad (18)$$

Pro případ, že by celkové ztrátové teplo vyhovovalo vztahu (17) nebo (18), ale hustota proudu byla příliš velká, zkontrolujeme ještě hustotu proudu σ_2 vodiče převinuté cívky. Pro hustoty proudu v obou případech platí

$$\sigma_2 = \sigma_1 \cdot \frac{I_2}{I_1} \cdot \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 \leq \sigma_1 \quad (19)$$

Při splnění podmínky (1) bude

$$\sigma_2 = \sigma_1 \cdot \frac{N_1}{N_2} \cdot \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 \leq \sigma_1 \quad (20)$$

a při splnění vztahu (7) je $\sigma_2 = \sigma_1$.

Při přepočtu vinutí ze střídavého napětí na jiné střídavé napětí může dojít při počítání podle (8) a (9) k chybě tím, že by se nové vinutí nevešlo do stejného místa, ačkoli jsme to předpokládali zavedením vztahu (7). V tom případě je potřeba průměr d_2 vypočítaný podle (8) dosadit do (6) a takto přesněji vypočítaný počet závitů zkontrolovat podle (7) zda se nové vinutí vejde. Kdyby se nevešlo, zvolíme menší průměr d_2 , znovu podle (6) vypočítáme počet závitů N_2 a znovu zkontrolujeme dodržení vztahu (7). Vejde-li se již nyní nové vinutí, je nutno zkontrolovat hustotu proudu σ_2 . Nevejde-li se nové vinutí ani s průměrem, při kterém již hustota proudu je tak velká, že ji nemůžeme zvětšit, buď pro nové vinutí můžeme využít více místa než podle (7), nebo cívku nelze pro požadované poměry převinout a použít.

Převinutí cívky na stejnosměrné napětí pro jiné stejnosměrné napětí nebo cívky na střídavé napětí pro jiné střídavé napětí stejného či blízkého kmitočtu je snadné a zpravidla vždy možné.

Převinutí cívky na stejnosměrné napětí pro střídavé napětí nebo naopak (popř. pro podstatně odlišný kmitočet, třeba 50 Hz a 500 Hz) nebývá většinou možné;

a) elektromagnety pro stejnosměrný proud mívají masivní jádro nebo i vodivou kostru cívky, což vadí pro střídavé magnetování;

b) elektromagnety pro střídavý proud mají zcela odlišnou charakteristiku, tj. závislost síly na poloze kotvy [$F = f(x)$], neboť u nich závisí na poloze kotvy velikost indukčnosti i proudu v cívkách [$L = f(x)$ a $I = f(x)$]. Při stejnosměrném napájení je takový magnet obvykle neschopný funkce a potřebuje pomocné obvody ke zvětšení síly při odpadlé kotvě (dvojí vinutí nebo předřadný odpor přepínané kontakty v závislosti na poloze kotvy apod.). Elektromagnety pro střídavý proud mají závitů nakrátko (pro potlačení chvění a bručení);

c) podobné rozdíly se uplatní i při podstatně odlišných kmitočtech, např. 50 Hz a 500 Hz.

Ke konci uvedeme několik příkladů přepočtu.

Příklad 1

Cívka pro střídavé napětí $U_1 = 380$ V, proud $I_1 = 0,03$ A, kmitočet $f_1 = 50$ Hz, má činný odpor $R_1 = 2000$ Ω , počet závitů $N_1 = 10\,000$ a je navinuta vodičem s průměrem $d_1 = 0,12$ mm. Má se převinout pro nové střídavé napětí $U_2 = 220$ V s kmitočtem $f_2 = 50$ Hz.

Podle (10) vypočítáme nový průměr vodiče $d_2 = 0,157$ mm a ten zaokrouhlíme na $d_2 = 0,16$ mm. Podle (11) vypočítáme počet závitů $N_2 = 5780$. Podle (7) máme místo jen pro $N_2 = 5630$ závitů. Proto volíme průměr $d_2 = 0,15$ mm a počet závitů vypočítáme přesněji podle (6) a vyjde $N_2 = 5720$ závitů. V tom případě podle (7) máme místo pro $N_2 = 6400$ závitů, což již vyhovuje. Hustoty proudu jsou $\sigma_1 = 2,65$ A/mm²; $\sigma_2 = 2,97$ A/mm².

Příklad 2

Cívka pro stejnosměrné napětí $U_1 = 220$ V, proud $I_1 = 0,2$ A, má počet závitů $N_1 = 35\,000$ a je navinuta vodičem s průměrem $d_1 = 0,35$ mm. Má se převinout pro nové stejnosměrné napětí $U_2 = 48$ V.

Nový průměr podle (14) je $d_2 = 0,75$ mm, nový počet závitů podle (15) je $N_2 = 7620$. Podle (7) máme místo právě pro $N_2 = 7620$ závitů. Hustoty proudu jsou $\sigma_2 = \sigma_1 = 2,07$ A/mm².

Příklad 3

Cívka pro střídavé napětí $U_1 = 47$ V, proud $I_1 = 0,1$ A, kmitočet $f_1 = 50$ Hz má činný odpor $R_1 = 3000$ Ω , počet závitů $N_1 = 9000$ a je navinuta vodičem s průměrem $d_1 = 0,26$ mm. Má se převinout pro stejnosměrné napětí $U_2 = 12$ V.

Nový průměr vodiče podle (12) je $d_2 = 0,412$ mm a zaokrouhlíme jej na $d_2 = 0,4$ mm. Nový počet závitů podle (13) je $N_2 = 3600$. Podle (7) máme místo pro $N_2 = 3800$ závitů. Hustoty proudu jsou $\sigma_1 = 1,88$ A/mm²; $\sigma_2 = 2$ A/mm².

Literatura

- [1] Sterlin, S. E.: *Peresčet obmotek elektromagnitnykh apparatov. Promyšlennaja energetika* (1972), č. 5, str. 22–23.

621.318.4

František Kašpar

Previjate na iné napätie?

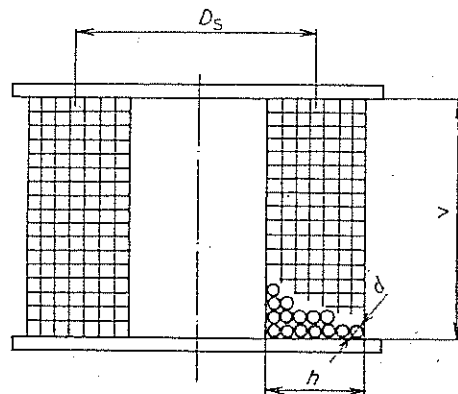
V praxi sa často používajú rôzne tabuľky pri určovaní parametrov nových vinutí elektrických strojov a prístrojov, ktoré chceme používať pri inom napätí, než na aké boli vyrobené. Nižeznačený postup dokazuje, že pri splnení určitých podmienok stačí k previnutiu pôvodného vinutia z napätia U_1 na napätie U_2 vedieť iba priemer vodiča d_1 u pôvodného vinutia, nakoľko vzťah pre výpočet

priemeru nového vodiča d_2 , ktorým navinieme nové vinutie, môžeme zjednodušene napísať v tvare

$$d_2 = d_1 \frac{U_1}{U_2} \quad (1)$$

Tento vzťah už naznačuje, že i medzi ostatnými parametrami pôvodného vinutia (indexy 1) a nového vinutia (indexy 2) môžu za určitých predpokladov platiť formálne rovnaké vzťahy ako medzi primárnymi a sekundárnymi veličinami v rovnici prevodu ideálneho transformátora. Vyplynie to z nasledovnej úvahy:

Majme jednoduché vinutie podľa obr. 1, napájané jednosmerným napätím (výsledky sú použiteľné aj u striedavého napätia, ak sa nemení jeho frekvencia), pričom odpor vinutia nech je R . Počet závitov N tu určíme ako súčin



Obr. 1. Rozmery previjaného vinutia

počtu vrstiev (h/d) a počtu závitov v jednej vrstve (v/d). Stanovme podmienky, aby počet závitov N_2 nového vinutia vytvoril rovnakú hrúbku vinutia h , ako bola pôvodná, resp. i rovnakú výšku v , teda aby nové vinutie zabralo rovnaký priestor ako pôvodné, a súčasne aby magnetomotorické napätia nového a pôvodného vinutia boli rovnaké, t. j. $N_2 I_2 = N_1 I_1$. Potom po dosadení do tejto rovnice máme:

$$\frac{h}{d_2} \frac{v}{d_2} \frac{U_2}{R_2} = \frac{h}{d_1} \frac{v}{d_1} \frac{U_1}{R_1} \quad (2)$$

Za odpory vinutí R by sme mohli dosadiť známy vzorec $R = \rho l/S$, kde prierez vodičov S možno písať v tvare $\pi d^2/4$ a dĺžky vodičov l v tvare $\pi D_s N$, pričom D_s je stredný priemer vinutia. Tak by sme po rozsiahlejšej úprave dostali uvedený vzťah (1) pre výpočet priemeru nového vodiča d_2 . Vidíme, že ak použijeme rovnaký druh izolácie vodiča a nové vinutie navinieme čo najtesnejšie do rovnakého priestoru, ako bolo pôvodné vinutie, potom nemusíme poznať počet závitov pôvodného, ani nového vinutia, ba netreba uvažovať ani s pôvodným a novým koeficientom plnenia, nakoľko jeho určovanie je i tak problematické a koniec koncov malé percento závitov viac či menej podstatne neovplyvní vlastnosti zariadení.

Ak by sme však prádsa len z nejakého dôvodu chceli vedieť počet závitov nového vinutia N_2 (napr. k určeniu množstva drôtu — jeho hmotnosti, resp. dĺžky), potom môžeme použiť vlastne už uvažované vzťahy:

$$N_2 = \frac{hv}{d_2^2} = \frac{hv}{\left(d_1 \sqrt{\frac{U_1}{U_2}}\right)^2} = \frac{hv}{d_1^2} \frac{U_2}{U_1} = N_1 \frac{U_2}{U_1} \quad (3)$$

Z uvedeného vyplýva, že pri prevíjaní elektrických strojov a prístrojov na iné parametre (u striedavého napätia uvažujeme s rovnakou frekvenciou) možno naozaj s výhodou využiť rovnicu prevodu ideálneho transformátora

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 \quad (4)$$

teda parametre nového vinutia môžeme určiť bez zložitých výpočtov a tabuliek.