

СХЕМИ ЗАМІЩЕННЯ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИНАХ

Анпілогов М.Г., к.т.н., доц., Давидов О.М., к.т.н. доц., Низкогуз П.В., студентка

НТУУ «КПІ», кафедра електромеханіки

В електричних машинах для кількісної оцінки перетворення енергії і допоміжних процесів використовують схеми заміщення.

Найбільш поширеною є електрична схема заміщення, параметри якої (активні та реактивні індуктивні опори) дозволяють кількісно оцінити електричні, енергетичні та механічні показники перетворення електромагнітної енергії у сталих режимах. Активні опори характеризують своєю величиною втрати активної енергії в обмотках, а реактивні опори – зв'язок і вплив магнітних потоків (основного чи розсіювання). Ці еквівалентні кількісним показникам електричні опори визначають дослідним або розрахунковим шляхом.

При розрахунках електричних схем заміщення використовують відомі закони електротехніки:

- перший закон Кірхгофа, який у символічній формі запису має вигляд:

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0, \quad (1)$$

тобто сума струмів у k -тому вузлі електричного кола дорівнює нулю;

- другий закон Кірхгофа у символічній формі запису:

$$\sum_{k=1}^n I_k \cdot Z_k = \sum_{k=1}^n E_k, \quad (2)$$

тобто сума добутків струмів на відповідні опори у замкненому електричному колі дорівнює сумі відповідних електрорушійних сил;

- закон Ома, який витікає з (2):

$$\sum_{k=1}^n I_k \cdot Z_k = \Delta U_k, \quad (3)$$

тобто добуток струму на окремій ділянці кола на опір цієї ділянки дорівнює падінню напруги на ній.

Використовують при складанні схем заміщення вираз для активного опору

$$R = \rho \cdot \frac{l_w}{S} \cdot k_R, \quad (4)$$

де ρ – питомий електричний опір металу обмотки, Ω/m ; l_w – довжина послідовних витків у фазі обмотки, m ; S – ефективний переріз провідників у фазі обмотки, m^2 ; k_R – коефіцієнт, який враховує ефект витіснення струму.

Аналогічно електричній можна скласти схему заміщення для розрахунку магнітного кола і використати загальні закони електротехніки (1), (2) і (3). При цьому необхідно провести відповідність між електричними і магнітними величинами:

$$\begin{aligned} U \text{ (напруга)} & \rightarrow F \text{ (магніторушійна сила);} \\ I \text{ (струм)} & \rightarrow \Phi \text{ (магнітний потік);} \\ J \text{ (густина струму)} & \rightarrow B \text{ (індукція або густина магнітного потоку).} \end{aligned} \quad (5)$$

У цьому випадку, використовуючи перший закон Кірхгофа (1), сумарна

магнітна МРС магнітного кола має вигляд:

$$\sum F = \sum H_i \cdot l_i, \quad (6)$$

де H_i – магнітна питома напруженість, A/m ;

l_i – довжина магнітної силової лінії на i -тій ділянці магнітопроводу з однаковою магнітною проникливістю μ , m .

Також можна записати аналогічний зв'язок з іншими виразами:

$$\Delta U_i = I_i \cdot R_i \rightarrow \Delta F_i = \Phi_i \cdot R_{mi} = H_i \cdot l_i; \quad (7)$$

$$I_i = J_i \cdot S_i \rightarrow \Phi_i = B_i \cdot S_{mi}, \quad (8)$$

$$R_e = \rho_i \cdot \frac{l_{wi}}{S} \rightarrow R_{mi} = \frac{1}{\mu_i} \frac{l_i}{S_{mi}}, \quad (9)$$

де входять загальновідомі позначення струму I_i, A , опору R_i, Ω , густина струму $j_i, A/m^2$, переріз провідника S_i, m^2 , довжина провідника l_{wi}, m та питомий опір $\rho_i, \Omega/m$, для i -тої ділянки електричного кола;

для магнітного кола: ΔF_i – МРС (A), Φ_i – магнітний потік (Wb), l_i – довжина ділянки (m), індукція B_i, T , переріз ділянки S_{mi}, m^2 , магнітний опір R_{mi}, H^{-1} для i -тої ділянки магнітопроводу.

Результатом розрахунку магнітного кола електричної машини є визначення струму намагнічування та втрат у магнітопроводі.

Термічну міцність електричних машин перевіряють тепловим розрахунком, мета якого визначити перевищення температур $\Delta\theta_i$ окремих частин конструкції над повітрям оточуючого середовища. В сталих режимах роботи для розрахунків використовують теплову схему заміщення, в якій використовують відомі закони електротехніки (1), (2), (3). При цьому використовують наступні аналогії між величинами:

U (напруга)	→	$\Delta\theta$ (різниця температур або перевищення)	(10)
I (струм)	→	P_{di} (потужність втрат)	
R (опір)	→	$R_{th\lambda} = l/\lambda \cdot S$ або $R_{th\alpha} = 1/\alpha \cdot S$ (тепловий опір),	

де теплові величини (10) мають розмірність: $\Delta\theta - ^\circ C$; $P_{di} - Bm$; $l - m$; $S - m^2$; $\lambda - W/(m \cdot ^\circ C)$; $\alpha - W/(m^2 \cdot ^\circ C)$; $R_{th\lambda}$ і $R_{th\alpha} - ^\circ C/W$.

Знайдені перевищення температур $\Delta\theta$ i -тих частин конструкції не повинні бути більш припустимих згідно класу нагрівостійкості для цих частин.

Наведені аналогії між схемами заміщення показують можливість використання узагальненого математичного підходу до розрахунків процесів, які мають неоднакові фізичні явища.

Перелік посилань

1. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники / Учебник для студентов энергетических и электротехнических вузов. – М.: Высшая школа, 1973. 752с.
2. Копылов И. П. и др.. Проектирование электрических машин. – М.: Энергия, 1980. – 496с.
3. Машини електричні обертові. Терміни та визначення. – ДСТУ 2286-93, 120с.
4. Машини електричні обертові. Позначення літерні та одиниці виміру. – ДСТУ 2818-94, 15с.
5. Електротехніка. Літерні позначення основних величин. – ДСТУ 3120-95, 40с.
6. Анпілогов М. Г., Давидов О. М., Цивінський С. С. Основи автоматизованого проектування електричних машин – 2 / Навчальний посібник для студентів напряму підготовки «Електромеханіка», гриф Метод. Ради НТУУ «КПІ». – Електрон. видання. Київ, НТУУ «КПІ», 2013. – 311с.