

5-ma'ruza: Transformatorning ikkilamchi chulg'am elektr parametrlarini birlamchi chulg'am o'ramlar soniga keltirish va unga simmetrik yuklama ulanganda ro'y beradigan elektromagnit jarayon

REJA:

1. Transformatorning kuchlanish tenglamasini differentsial ko'rinishi
2. Transformatorning kuchlanish tenglamasini kompleks ko'rinishi
3. Transformatorning chulg'amlarini keltirish

1. Transformatorning kuchlanish tenglamasini differentsial ko'rinishi

Transformatorlarning ish rejimlarini kuchlanish tenglamalari yordamida o'rganish mumkin. Manbaning kuchlanishini o'zgarish chastotasi $f_q=5\text{kHz}$ dan kichik bo'lganda, transformatorning elementlari orasidagi (o'ramlar va g'altaklar) sig'im toklari nominal tokka nisbatan juda kichik bo'ladi, shuning uchun ularni hisobga olinmasa ham bo'ladi. U holda, bir fazali ikki chulg'amli transformatorning kuchlanish tenglamasini differentsial ko'rinishi quyidagicha yoziladi:

$$\begin{aligned} U_1 &= r_1 i_1 + L_{11} \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} \\ -U_2 &= r_2 i_2 + L_{22} \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt} \end{aligned} \quad (5.1)$$

bu yerda U_1 , U_2 va i_1 , i_2 - lar transformatorlarning birlamchi va ikkilamchi chulg'amlaridagi kuchlanish va toklarning oniy qiymatlari; r_1 , r_2 va L_{11} , L_{22} -lar birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarning aktiv qarshiliklari va to'la o'zinduktivliklari; M - chulg'amlarning o'zaro induksiya induktivliklari.

Transformatorning yuqorida keltirilgan kuchlanish tenglamasidan ko'rinib turibdiki, birlamchi chulg'amdagi kuchlanish chulg'amda kuchlanishning aktiv pasayishi $r_1 i_1$ va birlamchi chulg'amning elektr yurituvchi kuchi e_1 ni muvozanatlashga sarflanar ekan.

Kuchlanishlar tenglamalarini tuzishda birlamchi chulg'amni elektr energiyani qabul qiluvchi va ikkilamchi chulg'amni esa, istehmolchilar uchun elektr energiya manbai deb hisoblanadi.

2. Transformatorning kuchlanish tenglamasini kompleks ko'rinishi

Bizga mahlumki, kuch transformatorlari va maxsus transformatorlar sinusoidal o'zgaruvchan tok va kuchlanishda ishlaydi. Shuning uchun transformatorlarning kuchlanish tenglamalarini differentsial ko'rinishidan ko'ra tok va kuchlanishning tahsir etayotgan qiymatlari uchun, kuchlanishlar tenglamalarini kompleks formada ifodalash qulayroq. Buning uchun transformatorning differentsial ko'rinishdagi kuchlanishlar tenglamasiga quyidagi belgilashlarni kiritamiz:

$$\begin{aligned} i_1 &= \sqrt{2} \dot{I}_1 e^{j\omega t} & U_1 &= \sqrt{2} \dot{U}_1 e^{j\omega t} \\ i_2 &= \sqrt{2} \dot{I}_2 e^{j\omega t} & U_2 &= \sqrt{2} \dot{U}_2 e^{j\omega t} \end{aligned} \quad (5.2)$$

Kuchlanish tenglamasini kompleks ko'rinishida ifodalash uchun yuqoridagi (5.1) tenglamaga (5.2) belgilashlarini qo'yib, differentsiallab, $\sqrt{2}e^{j\omega t}$ ga bo'lib, quyidagi tenglamalar sistemasiga ega bo'lamiz.

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= r_1 \dot{I}_1 + jX_{11} \dot{I}_1 + jX_{12} \dot{I}_2 \\ -\dot{U}_2 &= r_2 \dot{I}_2 + jX_{22} \dot{I}_2 + jX_{12} \dot{I}_1 \end{aligned} \quad (5.3)$$

bu yerda $X_{11}=\omega L_{11}$; $X_{22}=\omega L_{22}$; $X_{12}=\omega M$ - lar transformatorning birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarining o'zinduktisiya va o'zaro induksiya induktiv qarshiliklarini ifodalaydi.

Yuqoridagi tenglamalar sistemasi simmetrik yuklamaga ulangan transformatorlarda bo'lib o'tadigan elektromagnit jarayonlarni to'la ifodalaydi. Transformatorning kuchlanishlar

tenglamalari sistemasi faqat magnit o'zakdagi quvvat isroflarini hisobga olmaydi, bu isroflarni hisobga olgan holda tenglamalar sistemasini yozish, alohida masalani tashkil etadi.

3. Transformatorning chulg'amlarini keltirish

Agar transformatorlarning birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarining o'ramlar soni teng bo'lsa, ikkilamchi chulg'ama dagi tok kuchlanishlarni bir xil tartibda yozish mumkin bo'ladi. Shuning uchun real transformator o'rniga o'nga ekvivalent bo'lgan, ya'ni birlamchi va ikkilamchi chulg'amlari bir xil o'ramlar soniga teng bo'lgan keltirilgan transformatorni ko'rib o'tamiz.

Yuqorida ko'rsatilganidek, tok, kuchlanish va boshqa o'zgaruvchilarni kompleks shaklida vektorlar bilan ifodalash mumkinligi transformatorlarni hisoblash va ularning ish rejimlarini o'rganishda ancha qulayliklar yaratadi. Transformatorning chulg'amlarining o'ramlar soni teng emasligi ($W_2 \neq W_1$) elektr yurituvchi kuchlar ($E_2 \neq E_1$), toklar ($I_2 \neq I_1$) va chulg'amlarning boshqa ko'pchilik parametrlarini, ya'ni aktiv ($r_2 \neq r_1$) va induktiv ($X_2 \neq X_1$) qarshiliklarning teng bo'lmasligiga olib keladi. Bu esa, ayniqsa, transformatsiyalash koeffitsienti katta bo'lgan transformatorlardagi sodir bo'layotgan jarayonlarini hisoblashni, vektor diagrammalarini qurish va undan foydalanishni qiyinlashtiradi. Bunday qiyinchiliklardan qutilish maqsadida transformatorlarning chulg'amlarini bir-biriga keltirish usulidan foydalaniladi. Ko'pincha ikkilamchi chulg'amni birlamchiga keltiriladi. Buning uchun ikkilamchi chulg'amni qayta hisoblanadi. O'ramlar soni W_2 ga teng bo'lgan ikkilamchi chulg'am birlamchi chulg'amga shunday keltiriladiki, yangi ekvivalent ikkilamchi chulg'amning o'ramlar sonini W_1 ga teng deb qabul qilinadi. Sodaroq qilib aytganda, ikkilamchi chulg'amning o'ramlar sonini W_1 ga teng deb hisoblanadi.

Buning uchun real va keltirilgan chulg'amlar bir xil kattalikdagi magnit maydonni hosil qilishlari shart. Keltirilgan ikkilamchi chulg'amning geometrik o'lchamlari va tashqi ko'rinishi real transformatornikiga o'xshash bo'lib, magnit o'zakda real ikkilamchi chulg'amga o'xshash o'rnatilishi kerak.

Keltirish usulining asosiy sharti shundaki, keltirish natijasida transformatorning elektromagnit jarayonlari o'zgarmasdan qolishi va birlamchi chulg'amning ish jarayoniga ta'sir etmasligi kerak.

Keltirilgan chulg'amga taaluqli hamma qiymatlar keltirilgan qiymatlar deb nomlanadilar va ilgarigi simvollarining o'ng yuqori qismiga shtrix chizig'i chizish bilan xaqiqiy ikkilamchi chulg'am qiymatlaridan farqlanadi.

U xolda ikkilamchi chulg'amning o'ramlar soni

$$K = \frac{W_2'}{W_2} = \frac{W_1}{W_2} \quad (5.4)$$

marta o'zgaradi. K - kattalik transformatorning keltirish yoki transformatsiyalash koeffitsienti deb ataladi. Bunday almashtirish natijasida transformatorlarning E_2' va U_2' kattaliklari keltirilmagan transformatorning U_2 va E_2 lariga nisbatan K marta o'zgaradi.

$$\dot{E}_2' = KE_2 \quad \dot{U}_2' = KU_2 \quad (5.5)$$

Keltirilgan va real transformatorlarning hamma rejimlarida quvvatlari teng bo'lganligi

uchun quyidagi muvozanat tenglamasini yozishimiz mumkin.

$$\dot{U}_2' \dot{I}_2' = \dot{U}_2 \dot{I}_2 \quad (5.6)$$

bu erda \dot{I}_2' - keltirilgan ikkilamchi tok; (5.5) va (5.6) lardan keltirilgan ikkilamchi tok:

$$\dot{I}_2' = \frac{\dot{I}_2}{K} \quad (5.7)$$

Shuning uchun keltirilgan chulg'amning ko'ndalang kesimi real chulg'amnikiga teng bo'ladi, lekin chulg'amning har bir o'ramini ko'ndalang kesimi esa K marta kamayadi.

CHulgʻamlari keltirilgan transformatorlarning aktiv va induktiv qarshiliklarini ham keltirish koeffitsienti orqali aniqlash mumkin.

Ikkilamchi chulgʻam birlamchi chulgʻamga keltirilganda quvvatlar oʻzgarmasligi uchun haqiqiy va keltirilgan chulgʻamlarning mislaridagi quvvat isroflari ham oʻzgarmasligi kerak

$$I_2'^2 \cdot r_2' = I_2^2 \cdot r_2 \quad (5.8)$$

bundan va (5.7) ni xisobga olib, keltirilgan chulgʻamning aktiv qarshiligini aniqlaymiz

$$r_2' = \left(\frac{I_2}{I_2'} \right)^2 \cdot r_2 = K^2 \cdot r_2 \quad (5.9)$$

yahni keltirilgan transformatorning ikkilamchi chulgʻamini aktiv qarshiligi r_2' ning qiymatini aniqlash uchun xaqiqiy transformatorning ikkilamchi chulgʻamini aktiv qarshiligi r_2 ni transformatsiyalash koeffitsientining kvadrati marta oshirish kerak. Fizik nuqtai nazardan qaralganda, chulgʻamning oʻramlar soni K marta oʻzgarganda, masalan ortsa chulgʻamni uzunligi ham K marta ortadi chulgʻamdagi tokning zichligi oʻzgarmaydi deb taxmin qilinganda (chunki, I_2' K marta kamayadi), oʻramning koʻndalang kesim yuzasi K marta kamayadi, shuning uchun aktiv qarshilik K^2 marta ortadi.

Ixtiyoriy gʻaltakning induktiv qarshiligi $X_q \omega L_q 2\pi f L$ ifoda yordamida aniqlanadi. Bunda L - konturning induktivligi. Induktivlik L – konturdan oʻtayotgan $1A$ tok hosil qilgan magnit maydonning har bir oʻramni kesib oʻtishlar yigʻindisidan hosil boʻladi. Agar oʻramlar soni K marta oshsa, u holda magnit oʻzakning magnit oʻtkazuvchanligi oʻzgarmas boʻlganda, $F_{(Iq1A)}$ ham K marta oshadi, shu tufayli $L_q \omega \cdot K \cdot \Phi_{(Iq1A)}$ ham K marta ortadi

$$X_2' = \left(\frac{W_1}{W_2} \right)^2 \cdot X_2 = K^2 \cdot X_2 \quad (5.10)$$

yahni keltirilgan transformatorning ikkilamchi chulgʻamining induktiv qarshiligini aniqlash uchun, r_2' ga oʻxshash, xaqiqiy transformatorning ikkilamchi chulgʻamining induktiv qarshiligini transformatsiyalash koeffitsientining kvadrati marta orttirish kerak. Keltirilgan transformatorning toʻla qarshiligini aniqlashni yuqoridagi tartibda bajarish mumkin. Ikkilamchi chulgʻamning toʻla qarshiligi $Z_2 = r_2 + jX_2$ boʻlgani uchun

$$Z_2' = r_2' + jX_2' = K^2 Z_2 \quad (5.11)$$

Agar Z_{tar} – ikkilamchi chulgʻam tahminlayotgan yuklamaning qarshiligi boʻlsa, Z_2' singari Z_{tar} ni ham keltirish mumkin

$$Z_{tap}' = K^2 \cdot Z_{tap} \quad (5.12)$$

Yuqorida aytilganlarga asosan transformatorlarning tenglamalar sistemasida quyidagi oʻzgartirishni kiritamiz.

$$\dot{U}_2 = \frac{\dot{U}_2'}{K} \quad \dot{I}_2 = K \dot{I}_2' \quad (5.13)$$

Bunday oʻzgartirish matematik nuqtai-nazardan boshlangʻich real \dot{U}_2 va \dot{I}_2 oʻzgaruvchilardan yangi keltirilgan \dot{U}_2' va \dot{I}_2' kattaliklarga oʻtilgan deb hisoblash mumkinligini koʻrsatadi. Transformatorning kompleks koʻrinishida yozilgan kuchlanishlar tenglamalarini sistemasiga keltirilgan chulgʻamlar uchun yangi oʻzgartirishlar va bahzi soddalashtirishlar kiritilgandan soʻng chulgʻamlari keltirilgan transformatorning quyidagi tenglamalar sistemasiga ega boʻlamiz:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= r_1 \dot{I}_1 + jX_{11} \dot{I}_1 + jX'_{12} (\dot{I}_1 + \dot{I}'_2) \\ -\dot{U}'_2 &= r'_2 \dot{I}'_2 + jX'_{22} \dot{I}'_2 + jX'_{12} (\dot{I}_1 + \dot{I}'_2) \end{aligned} \quad (5.14)$$

bu erda X'_{12} va X_{12} transformatorning birlamchi va ikkilamchi chulgʻamlarini orasidagi oʻzaro induksiya induktiv qarshiligi; r_1 -birlamchi chulgʻamning aktiv qarshiligi; r'_2 -ikkilamchi chulgʻam-ning keltirilgan aktiv qarshiligi; X'_{22} -ikkilamchi chulgʻamning keltirilgan sochilish induktiv qarshiligi; X_{11} -birlamchi chulgʻamning sochilish induktiv qarshiligi; X_{22} -ikkilamchi chulgʻamning sochilish induktiv qarshiligi.