

28. Transformatoriaus tyrimas

Užduotis

1. Ištirti neapkrauto transformatoriaus antrinės apvijos įtampos priklausomybę nuo įtampos pirminėje apvijoje, pirminės apvijos vijų skaičiaus ir antrinės apvijos vijų skaičiaus.
2. Ištirti apkrauto transformatoriaus srovės stiprio pirminėje apvijoje priklausomybę nuo srovės stiprio antrinėje apvijoje, antrinės apvijos vijų skaičiaus ir pirminės apvijos vijų skaičiaus.

Pagrindiniai teoriniai klausimai

1. Elektromagnetinės indukcijos Faradėjaus dėsnis.
2. Abipusė indukcija ir saviindukcija.
3. Neapkrauto ir apkrauto transformatoriaus veikimo ypatumai.
4. Fuko srovės.

Tyrimo metodika

Transformatoriaus paskirtis – kintamosios įtampos keitimas arba izoliuotų grandinių elektromagnetinio ryšio sudarymas nekeičiant dažnio. Jo veikimas pagrįstas elektromagnetinės indukcijos Faradėjaus dėsniu, pagal kurį indukuota elektrovara E_i yra proporcinga magnetinio srauto per laidininko kontūro ribojamą plotą kitimo spartai $d\Phi/dt$, o dėl šios elektrovaros indukuotos elektros srovės kryptis tokia, kad jos magnetinis laukas mažintų pirminio magnetinio srauto kitimą.

$$E_i = -\frac{d\Phi}{dt}. \quad (1)$$

Transformatorių sudaro dvi apvijos – pirminė ir antrinė (antrinių apvijų gali būti ne viena), suvyniotos ant šerdies iš didelę magnetinę skvarbą turinčios medžiagos. Pirminę apviją prijungus prie kintamosios įtampos U_1 šaltinio, o prie antrinės apvijos nieko neprijungus (neapkrautas transformatorius), šerdyje atsiras kintamasis magnetinis srautas Φ . Šis srautas kirs abi apvijas ir sukurs jose indukcijos elektrovaras. Transformatoriaus šerdis yra gaminama iš tokių medžiagų ir tokios konfigūracijos, kad magnetinis srautas koncentruotųsi pačioje šerdyje. Todėl abi apvijas kerta praktiškai tas pats magnetinis srautas ir kiekvienoje apvijų vijoje kuria vienodas elektrovaras, nusakomas (1) lygtimi. Jeigu pirminėje apvijoje yra N_1 vijų, o antrinėje yra N_2 vijų, tai pirminėje apvijoje indukuosis elektrovara

$$E_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt}, \quad (2)$$

o antrinėje - elektrovara

$$E_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}. \quad (3)$$

Šios formulės aprašo idealų transformatorių, kuriame nėra energijos nuostolių.

Panagrinėkime neapkrautą realų transformatorių. Kai antrinės apvijos grandinė yra atvira ir elektros srovė ja neteka, pirminę apviją įjungus į įtampos U_1 tinklą, ja teka itin mažo stiprio I_{01} elektros srovė magnetiniam srautui šerdyje palaikyti ir energijos nuostoliams dėl apvijos indukcinės X_1 bei ominės R_1 elektrinių varžų ir šerdies įmagnetėjimo bei histerezės kompensuoti.

Pagal antrąją Kirchhofo taisyklę pirminės apvijos grandinei

$$U_1 + E_1 = I_{01}(X_1 + R_1). \quad (4)$$

Kai $E_1 \gg I_{01}(X_1 + R_1)$, tai $U_1 \approx -E_1$, transformatorių galime laikyti idealiu, ir

$$U_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt}. \quad (5)$$

Nagrinėjamu atveju $I_2 = 0$, todėl $U_2 = -E_2$ ir

$$U_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt}, \quad (6)$$

todėl įtampų U_1 ir U_2 santykis yra tam transformatoriui pastovus dydis, priklausantis tik nuo vijų skaičiaus pirminėje ir antrinėje apvijoje santykio, vadinamo transformacijos koeficientu:

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}. \quad (7)$$

Transformatoriaus apvijos turi didelį induktyvumą ir mažą aktyviąją varžą. Todėl, kol transformatoriaus antrinės apvijos grandinė nesujungta, pirminės apvijos grandinėje įtampos ir srovės stiprio fazių skirtumas yra beveik lygus $\pi/2$, vadinasi, ja teka taip vadinama bevatė, energijos beveik nesunaudojanti elektros srovė. Sujungus antrinės apvijos grandinę (apkrautas transformatorius), dėl pastarosios induktyvaus grįžtamojo veikimo pirminės grandinės įtampos ir srovės fazių skirtumas sumažėja. Apkrauto aktyviaja varža transformatoriaus antrinės apvijos vijomis teka stiprio I_2 indukuota elektros srovė, jos sukurtas magnetinis srautas pagal Lenco taisyklę mažina magnetinį srautą šerdyje ir tuo pačiu pirminėje apvijoje. Kad palaikytų buvusį srautą pirminėje apvijoje, joje tekančios elektros srovės stipris padidėja iki $I_1 \gg I_{01}$. Apkrautame transformatoriuje magnetinį srautą kuria pirmine ir antrine apvijomis tekančios elektros srovės, tačiau suminis magnetinis srautas išlieka maždaug toks pats, kaip ir esant tuščiajai eigai. Kai energijos nuostoliai nedideli (gerų transformatorių jie tesiekia vos 2%), apytiksliai galime laikyti, kad kintamųjų elektros srovių galios pirminėje ir antrinėje apvijoje yra vienodos:

$$U_1 I_1 \approx U_2 I_2. \quad (8)$$

Tada transformacijos koeficientas pagal (7):

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}. \quad (9)$$

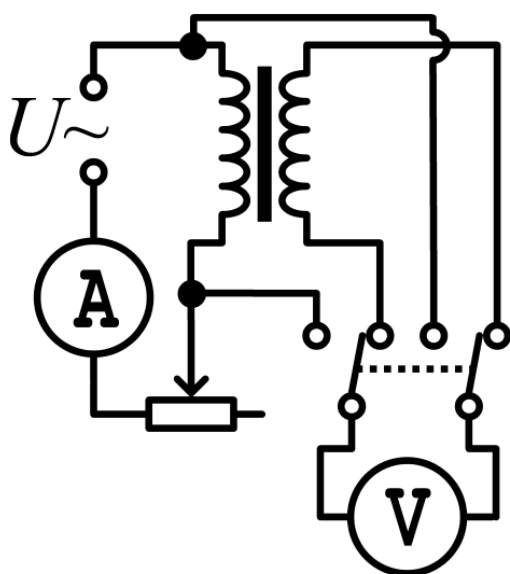
Vadinasi, kiek kartų padidiname transformuodami įtampą antrinėje apvijoje, tiek pat kartų sumažiname elektros srovės stiprį joje.

Tyrimo eiga

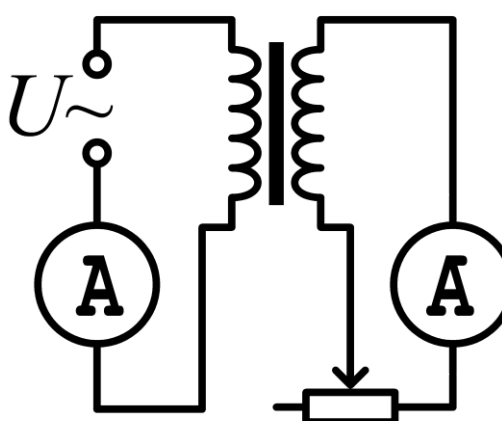
Darbo priemonės yra parodytos 1 pav. Tyrime naudojamas transformatorius, kintamos įtampos maitinimo šaltinis, keičiamos varžos rezistorius, dvikryptis jungiklis ir trys multimetrai. Du iš jų naudojami kaip ampermetrai transformatoriaus apvijomis tekančios srovės stiprio matavimui. Trečiasis multimetras naudojamas kaip voltmetras ir gali būti prijungiamas arba prie pirminės arba prie antrinės apvijų ričių dvipoliu dviejų kryptių jungikliu. Kiekviena iš dviejų vienodų tyrime naudojamo transformatoriaus ričių turi po šešis skirtingus prijungimo lizdus, atinkančius skirtingą tarp lizdų esančių vijų skaičių. Vijų skaičius tarp gnybtų yra nurodytas ant transformatoriaus korpuso. Tai leidžia pasirinkti skirtingus vijų skaičius abiejose apvijose.



1 pav. Transformatoriaus tyrimo laboratoriniai reikmenys.



2 pav. Neapkrauto transformatoriaus tyrimo schema.



3 pav. Apkrauto transformatoriaus tyrimo schema.

Neapkrauto transformatoriaus antrinės apvijos įtampos priklausomybės nuo įtampos pirminėje apvijoje, pirminės apvijos vijų skaičiaus ir antrinės apvijos vijų skaičiaus tyrimas:

1. Sujunkite 2 pav. pavaizduotą grandinę.

Pastaba!!!

Įsitikinkite, kad multimetrai nustatyti kintamos įtampos/srovės matavimo režime (multimetro ekrano kairėje turi degti AC simbolis). Multimetro GDM-396 AC/DC režimo jungiklis pavaizduotas Priede 1 esančiame paveiksle P1 pav.

2. **Pakvieskite dėstytoją, kad šis patikrintų, ar teisingai sujungta grandinė.**

Neapkrauto transformatoriaus antrinės apvijos įtampos priklausomybės nuo įtampos pirminėje apvijoje. $U_2 = f(U_1)$, kai $N_1 = \text{const}$ ir $N_2 = \text{const}$

3. Išmatuokite įtampos antrinėje apvijoje U_2 priklausomybę nuo įtampos pirminėje apvijoje U_1 . Įtampą U_1 galite keisti tolygiai naudodami reostatą arba šuoliais perjungdami maitinimo šaltinio ciferblatinį kištukinį jungiklį. Įtampas U_1 ir U_2 matuokite voltmetrą dvikrypčiu jungikliu pakaitom prijungiant prie abiejų apvijų. Įtampą pirminėje apvijoje U_1 keiskite intervale nuo 1 iki 6 V.

Neapkrauto transformatoriaus antrinės apvijos įtampos priklausomybės nuo pirminės apvijos vijų skaičiaus. $U_2 = f(N_1)$, kai $U_1 = \text{const}$ ir $N_2 = \text{const}$

4. Išmatuokite įtampos antrinėje apvijoje U_2 priklausomybę nuo pirminės apvijos vijų skaičiaus, kai U_1 ir N_2 pastovūs. Vijų skaičius keičiamas vieną iš ritė jungiančių kištukų perjungiant į vieną iš 6 ritės korpuse esančių lizdų, kai kito padėtis nekeičiama.

Neapkrauto transformatoriaus antrinės apvijos įtampos priklausomybės nuo antrinės apvijos vijų skaičiaus. $U_2 = f(N_2)$, kai $U_1 = \text{const}$ ir $N_1 = \text{const}$

5. Išmatuokite įtampos antrinėje apvijoje U_2 priklausomybę nuo antrinės apvijos vijų skaičiaus, kai U_1 ir N_1 pastovūs. Vijų skaičius keičiamas vieną iš ritė jungiančių kištukų perjungiant į vieną iš 6 ritės korpuse esančių lizdų, kai kito padėtis nekeičiama.

Išmatuotas priklausomybes pavaizduokite grafiškai. Pagal (7) sąryšį raskite transformacijos koeficientą.

Apkrauto transformatoriaus srovės stiprio pirminėje apvijoje priklausomybės nuo srovės stiprio antrinėje apvijoje, antrinės apvijos vijų skaičiaus ir pirminės apvijos vijų skaičiaus tyrimas:

6. Sujunkite 3 pav. pavaizduotą grandinę. **Maitinimo šaltinio ciferblatinį kištukinį įtampos jungiklį nustatykite į padėtį 4 V ir matavimų metu jos nekeiskite!**

Pastaba!!!

Įsitikinkite, kad multimetrai nustatyti kintamos įtampos/srovės matavimo režime (multimetro ekrano kairėje turi degti AC simbolis). Multimetro GDM-396 AC/DC režimo jungiklis pavaizduotas Priede 1 esančiame paveiksle P1 pav.

7. **Pakvieskite dėstytoją, kad šis patikrintų, ar teisingai sujungta grandinė.**

Apkrauto transformatoriaus srovės stiprio pirminėje apvijoje priklausomybė nuo srovės stiprio antrinėje apvijoje. $I_1 = f(I_2)$, kai $N_1 = \text{const}$ ir $N_2 = \text{const}$

8. Vijų skaičių pirminėje ir antrinėje apvijoje nustatykite vienodą $N_1=N_2=\text{max}$ (naudokite kraštinius ričių kištukus) ir matavimo metu nekeiskite. Išmatuokite srovės stiprio pirminėje transformatoriaus apvijoje priklausomybę nuo srovės

stiprio antrinėje apvijoje. Srovės stiprį antrinėje apvijoje keiskite reguliuodami transformatoriaus apkrovą antrinės apvijos grandinėje esančiu reostatu.

Apkrauto transformatoriaus srovės stiprio pirminėje apvijoje priklausomybė nuo pirminės apvijos vijų skaičiaus. $I_1 = f(N_1)$, kai $I_2 = \text{const}$ ir $N_2 = \text{const}$

9. Nustatykite antrinės apvijos vijų skaičių lygų 28 vijoms (vijų skaičius tarp apatinių dviejų ritės kištukų yra lygus 28) ir matavimų metu nekeiskite. Išmatuokite srovės stiprio transformatoriaus pirminėje apvijoje priklausomybę nuo pirminės apvijos vijų skaičiaus, kai N_2 ir I_2 pastovūs. Pakeitę pirminės apvijos vijų skaičių srovės stiprio vertę antrinėje apvijoje palaikykite pastovią ir lygią 1 A reguliuodami transformatoriaus apkrovą antrinės apvijos grandinėje esančiu reostatu.

Apkrauto transformatoriaus srovės stiprio pirminėje apvijoje priklausomybė nuo antrinės apvijos vijų skaičiaus. $I_1 = f(N_2)$, kai $I_2 = \text{const}$ ir $N_1 = \text{const}$

10. Nustatykite maksimalų pirminės apvijos vijų skaičių (maksimalų vijų skaičių gausite naudodami kraštinius ritės kištukus) ir matavimų metu nekeiskite. Išmatuokite srovės stiprio transformatoriaus pirminėje apvijoje priklausomybę nuo antrinės apvijos vijų skaičiaus, kai N_1 ir I_2 pastovūs. Pakeitę antrinės apvijos vijų skaičių srovės stiprio vertę antrinėje apvijoje palaikykite pastovią ir lygią 1 A reguliuodami transformatoriaus apkrovą antrinės apvijos grandinėje esančiu reostatu.

Išmatuotas priklausomybes pavaizduokite grafiškai. Patikrinkite, ar galioja transformacijos koeficientą pagal (9) išreiškiantis įtampų ir srovių stiprių sąryšis.

Baigę darbą neužmirškite išjungti prietaisų!

Paklaidų įvertinimas

Transformacijos koeficiento, randamo pagal elektrinių įtampų matavimo rezultatus, paklaidą lemia pirminės ir antrinės apvijų įtampų nustatymo paklaidos ΔU_1 ir ΔU_2 :

$$\Delta k = k \sqrt{\left(\frac{\Delta U_1}{U_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U_2}{U_2}\right)^2}. \quad (10)$$

Literatūra

1. A. Medeišis, „Mechanika, molekulinė fizika, elektra ir magnetizmas. Fizikos praktikumas“, Vilnius, *Vilniaus universiteto leidykla*, 2000, 353 p.
2. A. Matvejevas, „Mechanika ir reliatyvumo teorija“, Vilnius, *Mokslas*, 1982, 334 p.



P1 pav. Transformatoriaus tyrime naudojamas multimetras GDM-396.

1 – įjungimo mygtukas; **2** – AC/DC matavimo režimo jungiklis; **3** – matavimo režimo pasirinkimo jungiklis; “**4 ir 5**” – gnybtai naudojami įtampos matavime; “**4 ir 6**” – gnybtai naudojami srovės stiprio matavime.