

4. TRANSFORMATORIŲ ĮRENGIMAS IR EKSPLOATAVIMAS

4.1. Transformatoriai

Transformatorius yra prietaisas, skirtas keisti kintamajai įtampai ir srovės stipriui. Jį sudaro geležinė šerdis ir ant jos užmautos dvi vielos ritės. Ritė, prie kurios jungiama kintamoji įtampa, vadinama pirmine, o ritė, kurioje indukuojama įtampa (elektrovara) prijungus kintamąją įtampą (elektrovarą) prie pirminės ritės, vadinama antrine. Kai kurie transformatoriai turi dvi ar daugiau antrinių ričių.

Transformatorius yra statinis elektromagnetinis įtaisas, skirtas kintamosios srovės elektros energijos parametrams keisti nekeičiant jos dažnio.



Transformatoriai dažniausiai naudojami paaugštinti arba pažeminti įtampą elektros tinkluose bei įvairiuose elektros įrenginiuose. Transformatoriai būna vienfaziai ir trifaziai. Pagal apvijų skaičių jie būna dviejų apvijų ir daugelio apvijų. Pagal aušinimo būdą jie skirstomi į aušinamus alyva ir oru. Daugumoje transformatorių apvijos uždedamos ant feromagnetinės šerdis, kuri skirta sukcentruoti magnetinį lauką ir sustiprinti magnetinį ryšį tarp apvijų. Tačiau gali būti naudojami transformatoriai ir be šerdis – aukštuose dažniuose, elektronikoje.

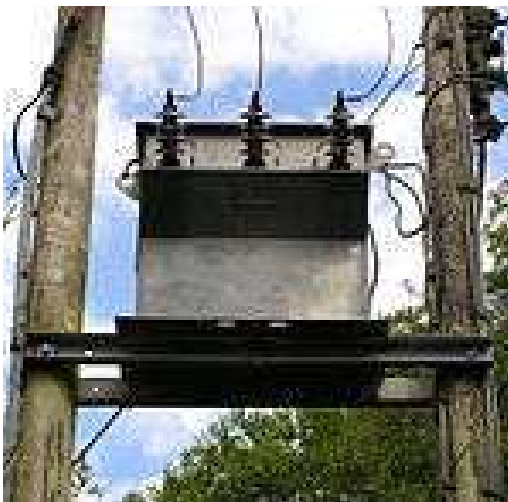
Galingi aukštos įtampos transformatoriai yra sudėtingi įrenginiai. Pagrindiniai konstrukciniai elementai yra magnetinė sistema (magnetolaidis), apvijos, izoliacija, bakas, įvadai, aušinimo sistema, įtampos reguliavimo mechanizmas, apsaugos ir matavimo prietaisai, važiuoklė ir kita.

Transformatoriaus bakas skirtas magnetolaidžiui ir apvijoms patalpinti bei alyvai užpilti. Prie transformatoriaus bako tvirtinami termometras ir žemo alyvos lygio relės. Prie bako dugno tvirtinamos važiuoklės, kad būtų galima pastotės teritorijoje pervežti transformatorių. Kad bako nekaitintų sklaidos magnetiniai srautai jie ekranuojami iš vidinės pusės elektrotechniniu plieniu arba nemagnetinėmis medžiagomis (variu, aliuminiu).

Alyvos išsiplėtimo bakas yra cilindrinis indas virš transformatoriaus bako, sujungtas su juo vamzdžiu. Išsiplėtimo bakas skirtas alyvos lygiui svyruoti, kai keičiasi apkrova ir alyvos temperatūra. Alyvos kiekio matavimui yra įrengtas alyvos lygio rodiklis. Alyva labai imli drėgmei, todėl išsiplėtimo bake įrengiamas oro džiovintuvas iš silikagelio arba naudojamos inertinės dujos (azotas).

Jungiamasis vamzdis yra vamzdis jungiantis transformatoriaus baką su alyvos išsiplėtimo baku. Šiame vamzdyje įrengiama dujinė relė.

Apsauginis vamzdis skirtas alyvos ir dujų išmetimui esant vidiniam transformatoriaus gedimui. Tai apsaugoja baką nuo sprogo. Transformatoriaus konstrukcija priklauso nuo aušinimo sistemos, o pastaroji – nuo transformatoriaus galios. Sausų transformatorių konstrukcija gali būti atviro išpildymo, apsaugoti (uždari), hermetizuoti ir su oro apipūtimu. Sausi transformatoriai yra padidintų matmenų, todėl naudojami patalpose, kur gaisras ir sprogo yra labai pavojingi.



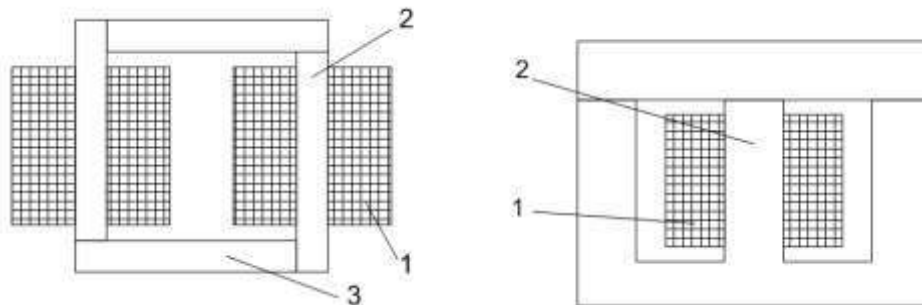


4.2 Transformatoriaus konstrukcija

Transformatorius sudarytas iš magnetolaidžio ir apvijų. Magnetolaidis surenkamas iš elektrotechninio plieno izoliuotų lakštų (plokštelių), kurių storis $0,35 \div 0,5$ mm.

Lakštai iš abiejų pusių padengiami laku, kad susilpnėtų sukūrinės srovės. Pagal magnetolaidžio konstrukciją transformatoriai skirstomi į šerdinius ir gaubtinius. Mažos galios transformatoriai dažniausiai būna gaubtiniai, didelės galios transformatoriai – šerdiniai.

Magnetolaidžio dalis, ant kurios uždedamos apvijos, vadinama šerdis. Šerdys tarp savęs sujungiamos jungais. Apvijos dažniausiai gaminamos iš varinio laido, kuris izoliuojamas laku.



Šerdinis (a) ir gaubtinis (b) gaubtinis transformatoriai: 1 – apvijos; 2 – šerdis; 3 – jungas

4.3 Transformatoriaus veikimo principas

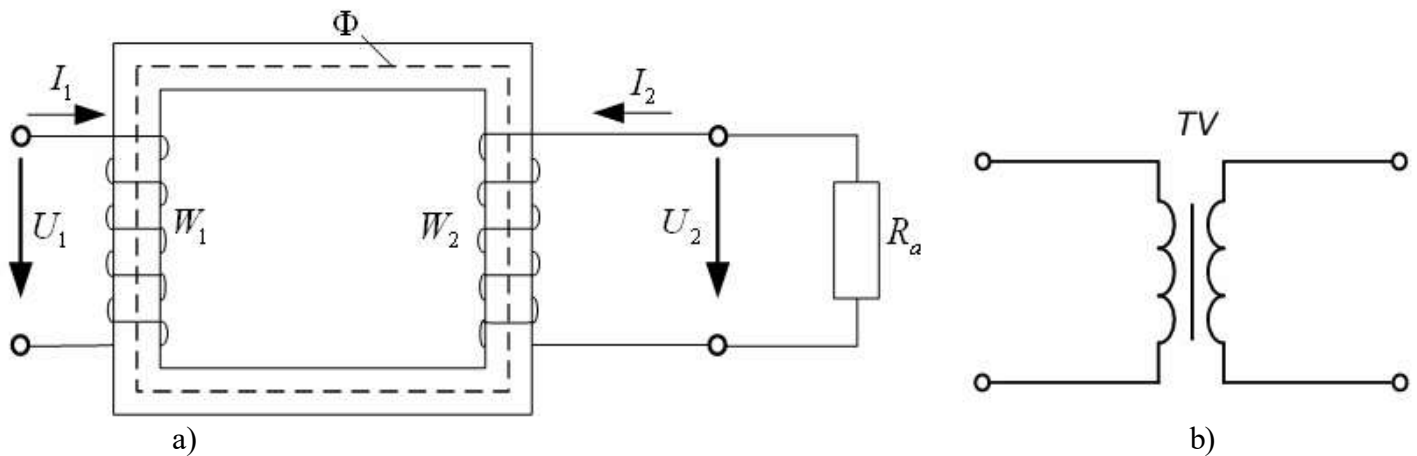
Transformatoriaus veikimas pagrįstas tarpusavio indukcijos reiškiniu. Apvija, kuri jungiama prie tinklo (prie įtampos, kurią norima keisti) vadinama pirmine, o apvija, prie kurios jungiamas imtuvas (kurioje yra transformuota įtampa) vadinama antrine. Vienfazis transformatorius visada turi vieną pirminę ir gali turėti n antrinių apvijų. Trifazis transformatorius visada turi tris pirmines apvijas ir gali turėti $3 \cdot n$ antrinių apvijų.

Transformatorius, turintis mažiau vijų antrinėje apvijoje, negu pirminėje vadinamas žeminančiuoju (žemins įtampą, didins srovę). Atvirkščiai, transformatorius, turintis mažiau vijų pirminėje apvijoje, negu antrinėje vadinamas aukštinančiuoju (didins įtampą, mažins srovę).

Transformatoriaus pagrindinis parametras vadinamas transformacijos koeficientu K .

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{W_1}{W_2}$$

čia U_1 – įtampa pirminėje apvijoje; U_2 – įtampa antrinėje apvijoje; I_1 – srovė pirminėje apvijoje; I_2 – srovė antrinėje apvijoje; W_1 – vijų skaičius pirminėje apvijoje; W_2 – vijų skaičius antrinėje apvijoje.



Transformatoriaus struktūrinė schema (a); transformatoriaus sutartinis žymėjimo ženklas (b)

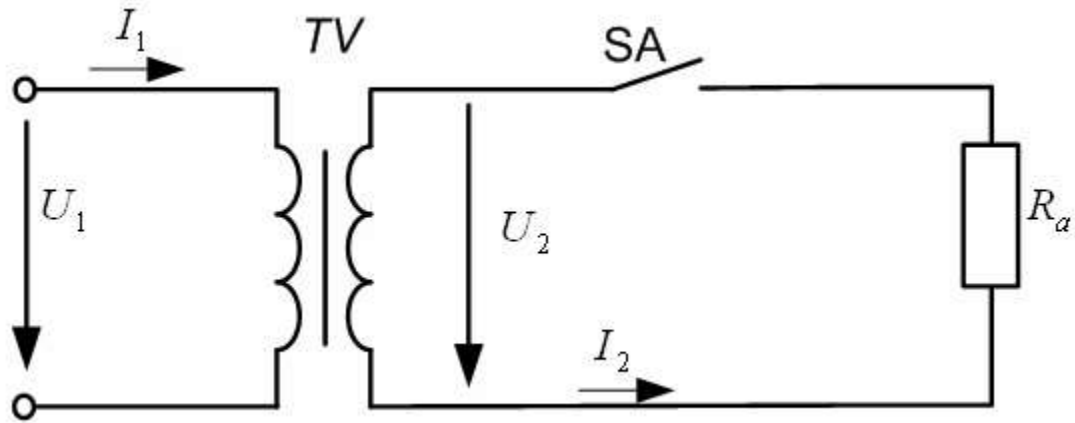
Transformatorių šilimas ir aušinimas

Dirbant transformatoriui, jo apvijos ir magnetolaidyje išsiskiria šiluma. Šiluma turi būti išsklaidyta į aplinką, nes nuo šilumos sensta apvijų izoliacija. Jėgos transformatoriai dažniausiai aušinami alyva, kuri ne tik gerai aušina apvijas, bet ir saugo jas nuo drėgmės ir oro deguonies poveikio. Mažos galios transformatoriai aušinami oru.

Transformatorių darbo režimai

Yra trys režimai: tuščios eigos, darbo ir trumpojo jungimo.

Transformatoriaus tuščiajį eiga vadinamas toks darbo režimas, kuomet pirminė apvija prijungta prie vardinės įtampos, o antrinė atjungta (jungiklis SA atjungtas).



Darbo režimas bus tuomet, kai jungikliu SA bus įjungtas imtuvas R_a ir apvijomis tekės srovės I_1 , I_2 . Didinant transformatoriaus apkrovą, didėja antrinė srovė I_2 , tačiau didėja ir pirminė srovė I_1 . Šios srovės pasiskirsto atvirkščiai proporcingai įtampoms arba apvijų vijų skaičiui.

Trumpojo jungimo režimo metu transformatoriaus antrinė apvija yra sujungta trumpai, todėl $U_2 = 0$. Šiuo atveju srovė I_2 apvijose padidėja 10-20 kartų. Toks režimas labai pavojingas transformatoriui ir yra avarinis.

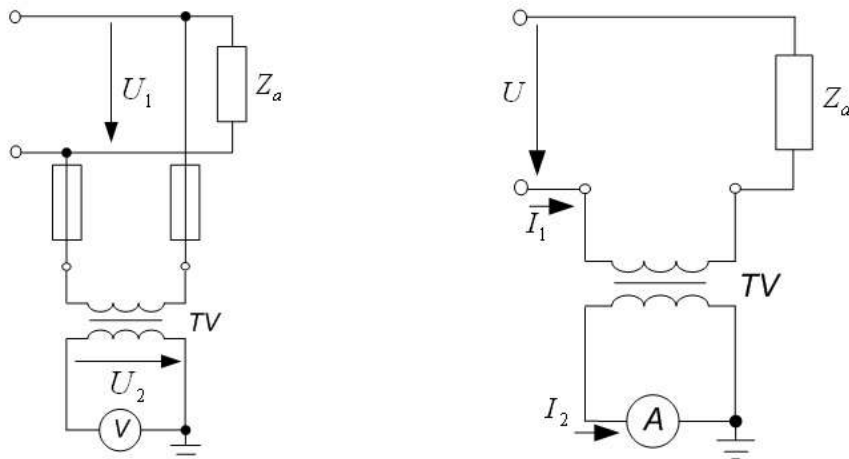
Transformatoriaus naudingumo koeficientas priklauso nuo apkrovos ir siekia 0,96 – 0,995.

Didžiausias naudingumo koeficientas būna tada, kai apkrova būna 50-70 % vardinės.

4.4. Specialieji transformatoriai

Prie specialiųjų transformatorių priskiriami: srovės matavimo transformatoriai, įtampos matavimo transformatoriai, autotransformatoriai, skiriamieji transformatoriai, toroidiniai transformatoriai.

Įtampos ir srovės matavimo transformatoriai naudojami kintamosios elektros srovės grandinėse matavimo prietaisų riboms praplėsti. Be to jie atskiria matavimo prietaisus nuo aukštos įtampos grandinių ir užtikrina aptarnaujančio personalo saugumą.

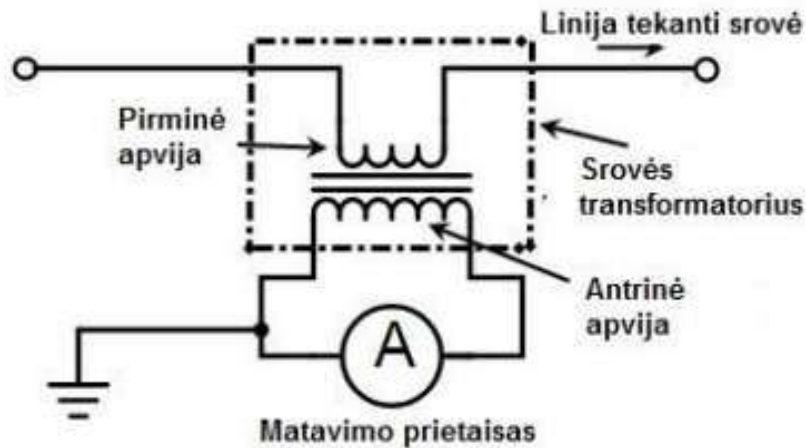


Įtampos matavimo transformatoriaus pajungimo struktūrinė schema (a);
srovės matavimo transformatoriaus pajungimo struktūrinė schema (b)

4.4.1. Srovės matavimo transformatoriai

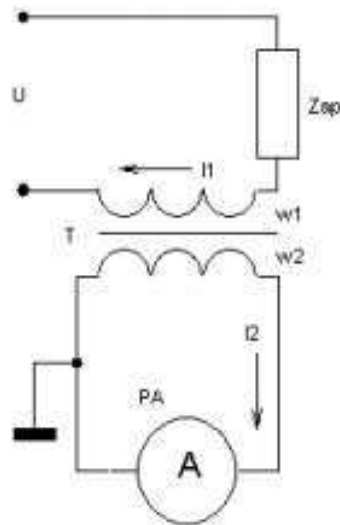
Srovės matavimo transformatorius - tai srovės keitiklis, kuris antrinėje grandinėje išduoda srovės dydį, proporcingą srovei, tekančiai pirminėje grandinėje. Jie naudojami didelėms srovėms iš elektros grandinės konvertuoti į srovę, kurią gali matuoti matavimo ir valdymo įrenginiai. Be to, jie užtikrina izoliaciją įrenginiams nuo aukštos įtampos grandinių.

Srovės transformatoriaus pirminė apvija susideda iš vienos ar kelių vijų, turinčių didelį skerspjūvio plotą ir sujungtą su grandine, kurioje turi būti nustatomas tekančios srovės dydis. Antrinė apvija sudaryta iš daug plonų vijų. Ji yra prijungta prie relės veikimo ritės arba matavimo prietaiso ritės, kaip parodyta paveiksle. Dažniausiai naudojami srovės transformatoriai yra kuriami taip, kad, esant nominaliai pirminei srovei, antrinėse grandinėse srovės dydis yra 1A arba 5A.



Srovės transformatoriaus principinė schema.

Srovės matavimo transformatoriai yra iš esmės funkciniai keitikliai, keičiantys dideles sroves į mažas įtampas. Dažniausiai naudojami kintamosios pramoninio dažnio srovės grandinėse. Dar naudingi tuo, kad galvaniškai atskiria matavimo grandinę nuo srovės grandinės, kas ypač yra svarbu aukštų įtampų atveju. Srovės matavimo transformatoriai sudaryti iš dviejų izoliuotų viena nuo kitos apvijų: pirminės, kurios vijų skaičius w_1 ir antrinės, kurios vijų skaičius yra w_2 , suvyniotų ant feromagnetinės šerdies. Pirminė apvija įjungiama nuosekliai į srovės grandinę, o prie antrinės apvijos jungiamas ampermetras.



Srovės matavimo transformatoriaus pirminė apvija daroma iš didelio skerspjūvio laido ir turi vieną arba kelias vijas. Ji įjungiama nuosekliai su imtuvu $a Z$, kurio vartojamą srovę norima išmatuoti. Matuojama srovė

$$I_1 = I_2 \cdot K_I$$

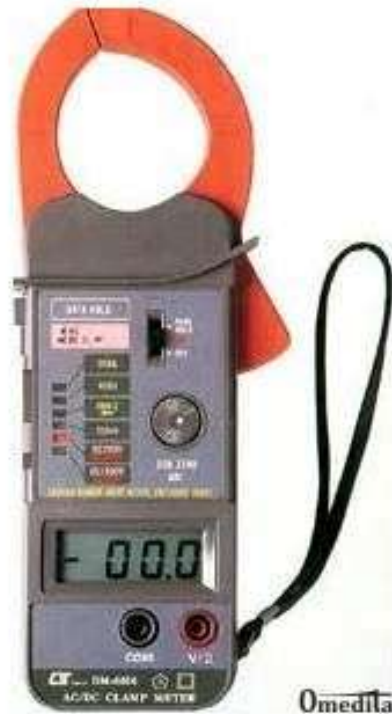
čia K_I – srovės transformacijos koeficientas.

Srovės transformatoriuose paprastai, pirminė srovė I_1 didesnė už antrinę I_2 . K_I parodo kiek pakeičiamas srovės mastelis ir vadinamas srovės transformacijos koeficientu. Tačiau jis nėra pastovus dydis, o dėl apvijų aktyviųjų ir reaktyviųjų varžų priklauso nuo tekančių per apvijas srovių, t.y. nuo srovės transformatoriaus elektrinio režimo.

Pirminė srovė būna nuo 0,1 A iki 30 kA. Pirminė transformatoriaus apvija daroma priklausomai nuo pirminės srovės stiprumo iš skirtingo skerspjūvio vielos ir, srovei didesnei už 500 A, daroma iš vienos vijos, t.y. stačiakampio skerspjūvio strypo (šynos), pravertos per transformatoriaus magnetolaidžio langą. Antrinė apvija vyniojama mažo skerspjūvio laidu. Antrinės apvijos srovės yra standartizuojamos, kad mažesnė būtų elektrinio režimo įtaka srovės matavimo tikslumui ir būna dažniausiai 5 A, rečiau 1 A ir 2 A. Laboratoriniai kilnojami srovės matavimo transformatoriai daromi daugiaribiai. Matavimo ribos keičiamos keičiant pirminės apvijos vijų skaičių.



Kilnojamo srovės matavimo transformatoriaus atmaina yra **srovės matavimo replės**. Srovės matavimo replių magnetolaidžio dalys su rankenomis sujungtos šarnyru ir gali apkabinti laidą su matuojama srove. Paprastai prie srovės replių yra pritvirtintas ampermetras. Matavimo replių tikslumas nėra aukštas, bet pakankamas darbiniam matavimams.



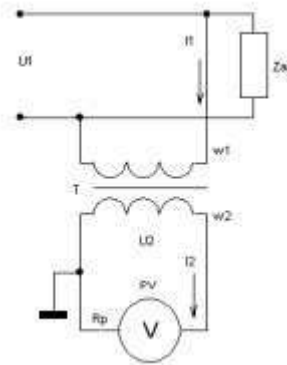
4.4.2. Įtampos matavimo transformatoriai

Įtampos matavimo transformatorius visuomet yra žeminantysis. Pirminė apvija jungiama prie aukštos įtampos, o antrinė apvija prie matavimo prietaiso (voltmetro). Matuojama įtampa

$$U_1 = U_2 \cdot K_U$$

čia K_U – įtampos transformacijos koeficientas.

Įtampos matavimo transformatoriai yra iš esmės funkciniai keitikliai, keičiantys dideles įtampas į mažas sroves. Jie dažniausiai naudojami kintamosios pramoninio dažnio srovės grandinėse. Galvaniškai atskiria matavimo grandinę nuo pirminės grandinės, kas ypač yra svarbu aukštų pirminių įtampų atveju. Jungiami lygiagrečiai apkrovai ir yra žeminantys įtampą. Jų $w_1 > w_2$. Esant įvairioms vardinėms įtampoms U_1 nuo 220 V iki 35 kV, įtampos U_2 vardinės vertės paprastai normuojamos ir yra 150 V, 100 V ir 100/3 V. Jų konstrukcija yra panaši į jėgos transformatorių konstrukciją.



Įtampos matavimo transformatoriaus faktinis įtampos transformacijos koeficientas

$$k_u = \frac{U_1}{U_2}$$

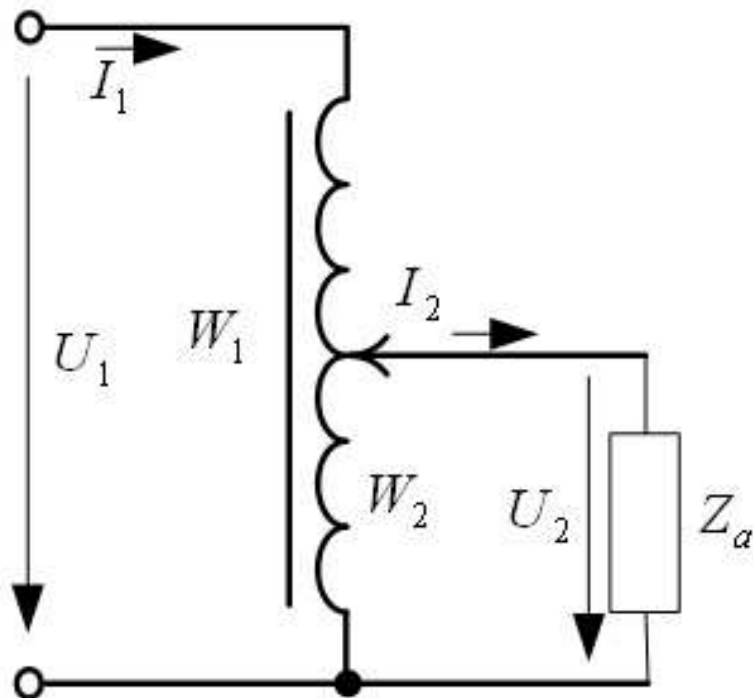
skiriasi nuo vardinio, kurį nusako pirminės ir antrinės apvijų vijų skaičių santykis ir priklauso nuo transformatoriaus elektrinio darbo režimo. Kadangi įtampos transformatorius apkrautas voltmetru, tai jo antrinė srovė yra maža ir jis veikia praktiškai tuščios eigos režimu.



4.4.3. Autotransformatoriai

Autotransformatorius - (auto- + lot. *transformatio* - pasikeitimas) -el. elektros transformatorius, kurio žemesnės įtampos apvija sudaro aukštesnės įtampos apvijos dalį.

Autotransformatoriuose yra tik viena apvija, kurios dalis vijų priklauso ir pirminei, ir antrinei grandinei (apvijai)



Autotransformatoriaus struktūrinė schema

Pirminė įtampa U_1 vienodai pasiskirsto ant visų apvijos vijų. Antrinė įtampa U_2 proporcinga vijų skaičiui W_2

$$U_2 \approx \frac{W_2}{W_1} \cdot U_1$$

Autotransformatoriai dažniausiai būna reguliuojami, gali būti vienfaziai ir trifaziai. Jie naudojami aukštos įtampos tinkluose, asinchroniniams varikliams paleisti, laboratorijose. Autotransformatoriai pasižymi šiais privalumais: mažiau sunaudojama vario bei elektrotechninio plieno, mažesni gabaritai, didesnis naudingumo koeficientas, pigesnis. Pagrindinis trūkumas yra tas, kad aukštos ir žemos įtampos apvijos elektriškai sujungtos, o tai yra nesaugu.



4.4.4. Skiriamieji transformatoriai

Skiriamasis saugos transformatorius - specialus transformatorius, kurio įėjimo apvija atskirta elektriškai nuo išėjimo apvijos izoliacija, lygiaverte mažiausiai dvigubai izoliacijai arba sustiprintajai izoliacijai, ir kuris skirtas prietaisui arba grandinei saugia žemiausiaja įtampa maitinti.

Tai dažniausiai 1:1 transformatorius su gerai izoliuotomis apvijomis. Į vieną galą paduodame tinklo įtampą (dabar 240V), kitame gale gauname tą pačią įtampą, tik ji nėra galvaniškai susijungusi su žeme. Todėl drąsiai galima „čiupinėti“ vieną išeinantį transformatoriaus išvadą. Aišku, jei pačiupsime už dviejų laidų, bus elektros smūgis.

Papildoma „paslauga“ naudojant skiriamąjį transformatorių yra tokia, kad dingsta visi aukšto dažnio trukdžiai iš (ir į) tinklo. Paprasčiausiai aukšto dažnio signalai nuslobsta masyvioje metalinėje transformatoriaus šerdyje.

Transformatorinė technologija išsiskiria sistemos tvirtumu, keitiklio išėjimo vietoje, suteikiančiu sistemai galvaninį atskyrimą ir sumažinančiu trikdžių tikimybę bei visiškai panaikinančiu nuolatinės srovės patekimo į apkrovą galimybę. Nepertraukiamo maitinimo šaltiniai su integruotu transformatoriumi puikiai tinka apsaugoti pramonės įrenginiams, kurie dirba, esant asimetrinei ar nelinijinei apkrovai.



Skiriamasis transformatorius 230/12 V





Trifazis skiriamasis transformatorius



4.4.5. Toroidiniai transformatoriai

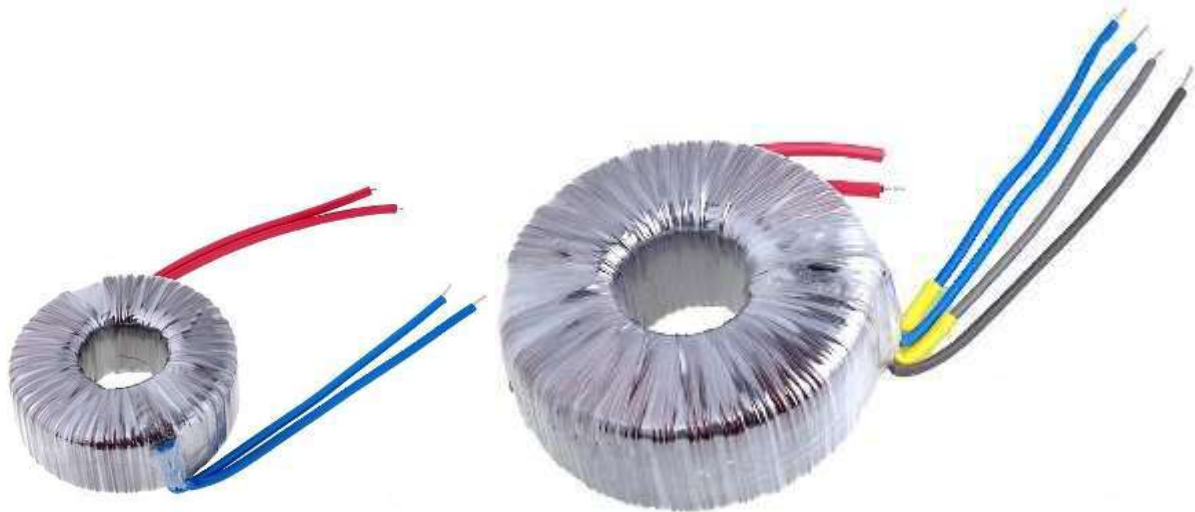
Toroidiniai transformatoriai nuo įprastų transformatorių skiriasi specifine konstrukcija. Šerdis yra žiedo, kuriame yra apvijos, formos. Toroidiniai transformatoriai yra naudojami **garso ir apšvietimo sistemose**. Skirtumai tarp transformatorių yra susiję su matmenimis bei su jų galia, leistina įtampa ir srove.

Mažiausia toroidinių transformatorių nominali galia 10VA, bet yra modelių pasižyminčių kelis tūkstančius kartų didesne galia. Pasirenkant toroidinį transformatorių svarbi yra **įtampa aukštosios įtampos pusėje**.

Šie elementai dažniausiai naudojami, kaip tinklų **įvesties maitinimo blokai**, todėl dauguma modelių yra pritaikyti darbui su 230V AC tinklo įtampa. Taip pat **prienami trijų fazių toroidiniai transformatoriai** - 3 x 400V AC. **Antrinės įtampos diapazonas** yra daug platesnis bei jį galima pasirinkti pagal atitinkamo prietaiso poreikius. Tarp dažniausiai pasirenkamų yra toroidiniai transformatoriai su 12V, 24V ir 14V antrine įtampa. Taip pat negalima pamiršti apie atitinkamą antrinės srovės pasirinkimą, nes tai vienas svarbiausių parametru.

Toroidiniai transformatoriai sveria nuo 200 gramų. Svoris yra svarbus, nes šie elementai yra pakankamai sunkūs bei projektuojant juos būtina **atsižvelgti į spaudimą ant spausdintos schemos**. Didelių toroidinių transformatorių svoris gali siekti iki kelių šimtų kilogramų, todėl tik kai kurie iš jų turi išvestis skirtas montavimui ant spausdintos schemos.

Dauguma jų turi laidus, kuriuos galima prijungti bet koku būdu. Jų dalys turi specialiai **paruoštas gnybtų juosteles**, prie kurių būtina prijungti išorinius laidus. Tokia konstrukcija yra dažnai naudojama aukštos sandarumo klasės modeliuose, apsaugotuose nuo aplinkos sąlygų poveikio.



Toroidiniai transformatoriai

