

---

VILLANYSZERELŐ KÉPZÉS

2015

# VILLAMOS GÉPEK 2.

HÁROMFÁZISÚ TRANSZFORMÁTOR

ÖSSZEÁLLÍTOTTA  
NAGY LÁSZLÓ  
MÉRNÖKTANÁR

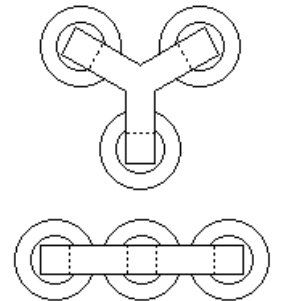
---

## Tartalomjegyzék

Háromfázisú transzformátor elvi felépítése .....	3
Háromfázisú transzformátor kapcsolási csoportjai .....	3
Háromfázisú transzformátor üresjárási üzeme .....	5
Háromfázisú transzformátor szimmetrikus terhelése .....	5
Háromfázisú transzformátor aszimmetrikus terhelése .....	6
Transzformátorok párhuzamos kapcsolása .....	7
Háromfázisú transzformátor hatásfoka .....	8
Háromfázisú transzformátor szerkezeti felépítése .....	8

## Háromfázisú transzformátor elvi felépítése

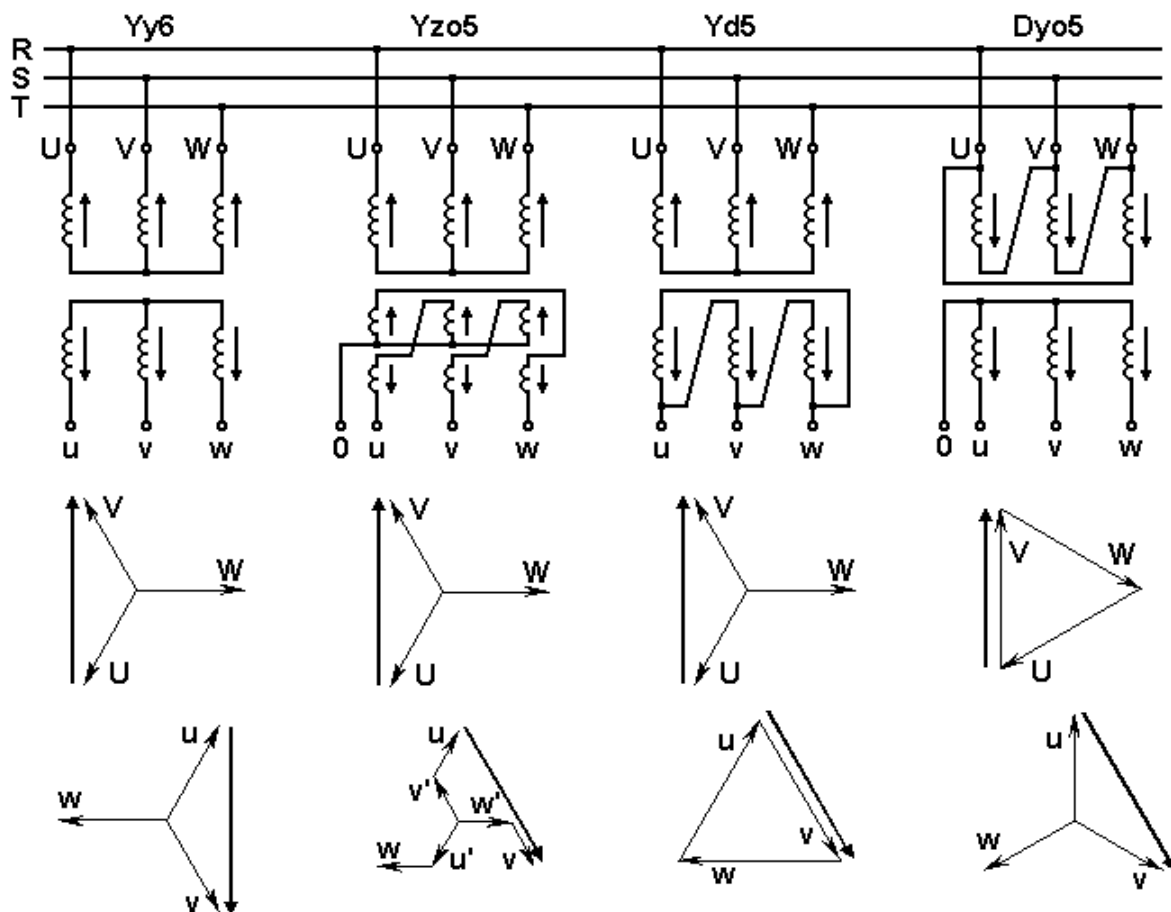
A háromfázisú transzformátoroknak erőátviteli szempontból nagyobb a jelentősége mint az egyfázisúaknak, mivel a villamos energia termelése, szétosztása és felhasználása - gazdasági előnyei miatt - többnyire háromfázisú rendszerrel történik. Háromfázisú hálózat villamos jellemzőinek átalakításához, három darab, azonos műszaki paraméterekkel rendelkező egyfázisú transzformátor szükséges. Ez a megoldás csak nagyon ritkán és indokolt esetben kerül alkalmazásra (pl. a szállíthatóságot a vasúti úrszerelvény korlátozza), mivel költsége-sebb és hatásfoka is rosszabb. Háromfázisú transzformátor elvi felépítése, három darab lánc típusú transzformátor vasmagjának közösítéséből származik. A háromfázisú hálózat ki-egyensúlyozottságából következik, hogy a közösített vasmagban a fluxus eredője nulla, tehát jelenléte szükségtelen. Ennek a közös vasmagrésznek az elhagyásával jön létre a háromoszlopos mag típusú háromfázisú transzformátor. A primer illetve a szekunder tekercseket a vasmag három oszlopára fűzik fel hengeres tekercselrendezésben. Működés közben az egyes fázisok főfluxusai nem függetlenek egymástól, mivel bármely időpillanatra vett összegüknek nullának kell lennie. Tehát pl. R fázis csúcsának pillanatában, az S és T fázis a csúcs fele és ellenkező irányú, és ez érvényes a fluxusra is. Folyamatában nézve, egy periódus alatt mindhárom oszlopban létrejön egy pozitív és egy negatív fluxus csúcs.



## Háromfázisú transzformátor kapcsolási csoportjai

Az egyfázisú transzformátorok szekunder feszültsége a mérőiránytól függően vagy azonos fázisban vagy ellen fázisban van a primer feszültséggel. A megfelelő fázishelyzet, akár a primer, akár a szekunder oldalon, a kapcsok felcserélésével biztosítható. Egyfázisú transzformátorok esetén a szabvány előírja az U-V és az u-v kapcsok közötti feszültségek azonos fázisát. Háromfázisú transzformátorok esetén a helyzet már nem ilyen egyszerű, mivel a tekercsek csillagba, deltába vagy zezzugba is kapcsolhatók. Ugyanannak a transzformátornak más kapcsolású lehet a nagyobb feszültségű tekercsrendszere és más a kisebb feszültségűé. Ennek következtében a két oldal feszültségei egymáshoz viszonyítva különböző szöget zárhatnak be. A különböző kapcsolású és fázishelyzetű transzformátorokat kapcsolási módokkal jelöli a szabvány. A kapcsolási módok azonosítására a primer oldal kapcsolását jelölő nagybetű (YDZ), a szekunder oldal kapcsolását jelölő kisbetű (ydz) és az úgynevezett óráállásra vonatkozó számjegy szolgál. Kivezetett csillagpontot az alsó indexbe írt 0 illetve o betűk jelzik. A szabvány azzal a feltételezéssel, hogy a primer és a szekunder tekercsek tekercselési iránya azonos, tehát egy oszlopon lévő tekercsekben azonos irányú feszültség indukálódik, rögzíti a feszültségek pozitív vonatkozási irányait is. Ennek alapján, csillagkap-

csolás esetén a fázisfeszültségek irányait mindkét oldalon, a csillagponttól a kapcsok felé mutatónak, háromszökapcsolás esetén a vonalfeszültségek irányait mindkét oldalon, a kapcsok jelölésének U V W sorrend szerint mutatónak kell értelmezni. A kapcsolási módok száma igen nagy, de a gyakorlatban mindössze négy biztosítja a megfelelő működési jellemzőket. Ezek a Yy6, Yz5, Yd5 és a Dyo5.



Ha az egyes kapcsolások módok vektorábráiban a primer  $U_{UV}$  feszültséget függőleges irányban, tehát 12 órára mutatónak vesszük fel, akkor a szekunder  $U_{uv}$  feszültség arra az órára mutat ahányszor  $30^\circ$  a fázishelyzete. Az azonos óraállású transzformátorok azonos kapcsolási csoportba tartoznak.

Az Yy6 jelzésű, csillag-csillag kapcsolású transzformátor primer és szekunder oldalán a feszültségek ellenfázisban vannak. Az ilyen transzformátort 6 órásnak mondjuk. Ha a szekunder csillagpontot a tekercsek másik végén hozzuk létre, akkor a transzformátor 0 órás lesz.

Az Yz5 jelzésű, csillag-zegzug kapcsolású transzformátor kisebb feszültségű oldala oszlopként két, azonos menetszámú tekercsből áll. Ezek a tekercsek lényegében sorba és csillagba vannak kapcsolva, de a soros fél tekercsek másik fázison vannak. Az  $U_{uv}$  feszültség fázishelyzete  $150^\circ$ , tehát a transzformátor 5 órás. A 0 index a kivezetett csillagpontra utal.

Az Yd5 jelzésű, csillag-háromszög kapcsolású transzformátorban az egyes oszlopok primer és szekunder feszültségei ellenfázisban vannak egymással. Az u és v kapocs között a kö-


zepső oszlop feszültsége mérhető, a transzformátor 5 órás.

A  $Dy_0/5$  jelzésű, háromszög-csillag kapcsolású transzformátorban az  $U_{uv}$  feszültség két primer oldali feszültség erdőjének irányába mutat. Ez a transzformátor is 5 órás. A kisebb feszültségű oldal nulla pont kivezetéssel készült.

### Háromfázisú transzformátor üresjárási üzeme

A háromoszlopos magtípusú transzformátor üresjárási árama fázisonként nem egyenlő, mert a vasmag mágneses szempontból nem szimmetrikus. A középső oszlop fluxusának hossza két járom hosszúsággal rövidebb, mint a két szélső oszlop fluxusának hossza. A fluxus hosszúságok eltérése miatt, a középső oszlopot gerjesztő áram kb. 20 - 30 %-al kisebb mint a szélső oszlopokat gerjesztő áram. A különböző kapcsolású transzformátorokban a fázisáramok aszimmetriája, eltérő hatással van az üresjárási vonali áramokra.

Ha a primer oldal csillag kapcsolású és van kivezetett nulla vezetője, akkor a kiegyenlítő áram ezen jön létre. Ez a kiegyenlítő áram fázisban van a középső oszlop áramával, nagysága a középső és a szélső oszlop áramának különbségével azonos.

Ha a primer oldal csillag kapcsolású és nincs kivezetett nulla vezetője, akkor a kiegyenlítő áram egy-egy harmada a fázistekercseken jön létre. A kiegyenlítő áramok minden oszlopban azonos irányú fluxust gerjesztenek, melyek - mivel a vasmagon belül nem tudnak záródni - a jármoknál kilépve a vasmagon kívül záródnak. Ezek az azonos fázisú fluxusok az egyes fázistekercsekben azonos fázisú feszültséget indukálnak, melyek a rendes fázisfeszültségekre szuperponálódva megváltoztatják a csillagpont és a kapcsok közötti feszültségek nagyságát, fázisát és a görbe alakját. Az azonos fázisú fluxusok hatását az úgynevezett járommenetek alkalmazásával lehet csökkenteni. A járommenetek kis ellenállású vezető keretek, melyek szorosan a tekercsek alatt és felett  mindhárom oszlopot körülveszik. A járommenetekben a fő fluxusok által indukált feszültség, mivel eredőjük minden időpillanatban nulla, nem hoz létre áramot. A járomfluxusok által indukált feszültség azonban, olyan áramot hajt a deltába kapcsolt járommenetekben, mely az indukáló fluxus ellen hat, azaz az azonos fázisú fluxusok elhanyagolhatóan kicsinyek lesznek.

Ha a transzformátor bármelyik oldala háromszög kapcsolású, akkor nincs szükség járommenetekre, mivel a tekercselésben létre tud jönni az azonos fázisú fluxusokat gyengítő áram.

### Háromfázisú transzformátor szimmetrikus terhelése

A háromfázisú transzformátor terhelése akkor szimmetrikus, ha az egyes fázistekercsek

áramai azonosak. Ebben az esetben egy fázis látszólagos teljesítménye:

$$S_f = U_f I_f$$

A három fázis teljesítménye:

$$S = 3 S_f = 3 U_f I_f$$

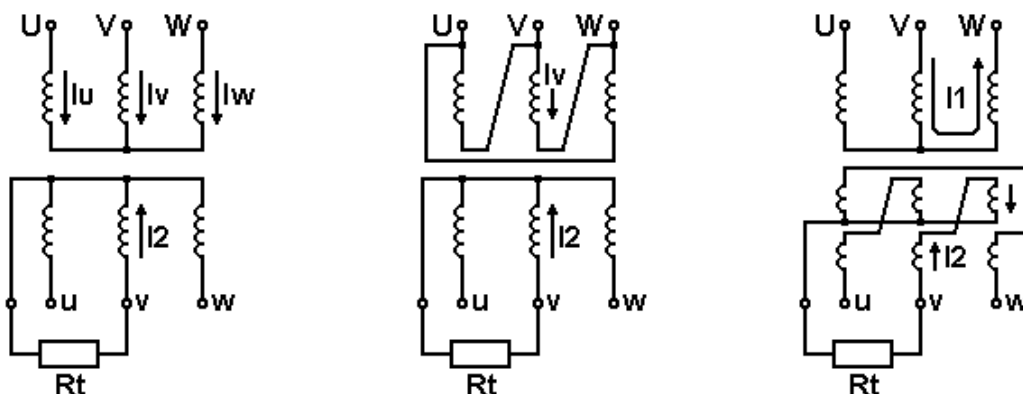
Delta kapcsolásban a fázisfeszültség azonos a vonalfeszültséggel és a fázisáram a vonaláram  $\sqrt{3}$ -ad része. Csillag kapcsolásban a fázisáram azonos a vonalárammal és a fázisfeszültség a vonalfeszültség  $\sqrt{3}$ -ad része.

A látszólagos teljesítmény a vonali adatokkal:

$$S = \sqrt{3} U_v I_v$$

### Háromfázisú transzformátor aszimmetrikus terhelése

A háromfázisú transzformátor terhelése akkor aszimmetrikus, ha a szekunder oldali áramok értéke közötti eltérés nagyobb, mint ami üzemszerűen megengedett. Az aszimmetrikus terhelés szélső esete az egyfázisú terhelés, melynek hatására a különböző kapcsolású transzformátorok eltérő működést mutatnak.



A csillag-csillag kapcsolású, mag típusú transzformátor egyoldalú terhelése esetén, a szekunder oldalon csak a terhelt fázisban folyik áram. A szekunder oldali gerjesztéssel egyensúlyt tartó primer áram csak a két terheletlen fázis tekercsein keresztül tud záródni. Emiatt mindhárom oszlopban egymással kapcsolódni nem tudó, azonos irányú járomfluxusok lépnek fel. Ezek a fluxusok azonos irányú és nagyságú járomfeszültséget indukálnak a fázistekercsekben, aminek következtében a fázisfeszültségek torzulnak, a szekunder csillagpont eltolódik. A mag típusú, csillag-csillag kapcsolású transzformátornál a névleges teljesítmény 10%-ának, ha járommenet van, akkor 25%-ának megfelelő egyoldalú terhelés engedhető csak meg. Ennél nagyobb aszimmetria, a kevésbé terhelt fázisok feszültségének olyan mértékű növekedését okozhatja, ami már a világítási fogyasztók számára megengedhetetlen.

A csillag-csillag kapcsolású, köpeny típusú transzformátorban egyoldalú terhelés esetén, a fellépő járom fluxusok igen nagy értékűek lehetnek, mivel a vasmagon keresztül tudnak záródni. Az ilyen transzformátorokat nem szabad egyoldalúan terhelni.

A háromszög-csillag kapcsolású transzformátoroknál a teljes egyoldalú terhelés is megen-

gedhető. Kiegyenlített gerjesztések nem jönnek létre, mert a primer oldalon csak abban a fázistekercsben folyik áram amelyiknek megfelelő szekunder fázis meg van terhelve. A másik két primer tekercsben csak az üresjárási áram folyik.

A csillag-zegzug kapcsolású transzformátor két oszlopán egyensúlyt tart a primer és a szekunder gerjesztés, a harmadik oszlopon csak üresjárási gerjesztés lép fel. Az egyoldalú terhelés szintén megengedhető. Jellemzően nagy primer feszültség és kisebb teljesítmény esetén használatos. A zegzug kapcsolat hátránya, hogy ugyanakkora fázis feszültség eléréséhez  $2/\sqrt{3}$ -szor nagyobb menetszám szükséges, így nagyobb a rézvesztés és költségesebb is.

### Transzformátorok párhuzamos kapcsolása

Gyakran előfordul, hogy két különböző feszültségű hálózat között egy transzformátor nem képes a szükséges teljesítményt átadni. Ilyenkor több transzformátor párhuzamos kapcsolásával lehet a szükséges teljesítményt biztosítani. Biztonsági szempontból is szükséges lehet egy nagyobb teljesítményű transzformátor helyett két vagy több kisebb teljesítményű párhuzamos működtetése, mert az egyik meghibásodása esetén nem marad ellátás nélkül a hálózat. Gazdaságos üzemvitel valósítható meg több párhuzamos transzformátor üzemeltetésével, ugyanis a szekunder hálózat terheléséhez csak a szükséges transzformátorokat kell működtetni, míg a többi kikapcsolásával csökkenthetők a hálózat állandó veszteségei. A párhuzamos kapcsolást illetve a párhuzamos üzemet, két feltétel egyidejű teljesülése esetén tekintjük kifogástalannak:

- 1 ha a párhuzamosan kapcsolt transzformátorok között kiegyenlítő áramok nem jönnek létre.
- 2 ha a terhelés a transzformátorok között névleges teljesítményeik arányában oszlik meg.

Ezek a feltételek akkor teljesülnek:

- A ha a primer és szekunder tekercsek névleges feszültsége megegyezik (azonos áttétel)
- B ha a megfelelő fázisok feszültség vektorai megegyeznek (azonos kapcsolási csoport)
- C ha transzformátorok rövidzárási feszültségei megegyeznek (azonos drop).
- D ha a párhuzamosan kapcsolt transzformátorok névleges teljesítménye és dropja is azonos, akkor a közös terhelés egyenletesen oszlik meg.
- E ha a párhuzamosan kapcsolt transzformátorok névleges teljesítménye azonos de a dropjuk eltérő, akkor a közös terhelés a dropok arányában oszlik meg.
- F ha a párhuzamosan kapcsolt transzformátorok névleges teljesítménye eltérő, de a dropjuk azonos, akkor a közös terhelés a névleges teljesítmények arányában oszlik meg.
- G ha a párhuzamosan kapcsolt transzformátorok névleges teljesítménye és a dropja is

eltérő, akkor a közös terhelés a belső impedanciák arányában oszlik meg. Ilyenkor az a transzformátor veszi magára a nagyobb terhet amelyiknek kisebb a belső impedanciája.

A transzformátorok teljesítőképességének kihasználása érdekében párhuzamos üzemen olyan egységeket alkalmaznak, amelyek rövidzárási feszültségei  $\pm 10\%$  tolerancián belül egyenlők.

### Háromfázisú transzformátor hatásfoka

A háromfázisú transzformátor hatásfoka az egyfázisúéhoz hasonlóan, a leadott és felvett teljesítmények viszonya alapján határozható meg, tehát:

$$\eta = P_2 / P_1$$

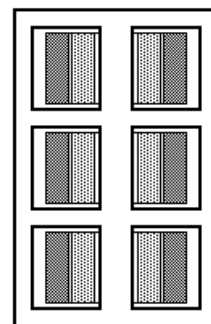
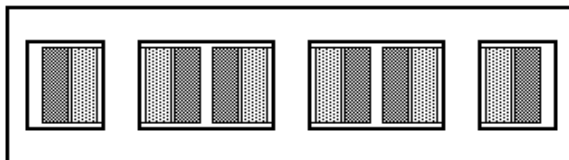
Mivel a felvett teljesítmény a leadott és a veszteségi teljesítmények összege, ezért:

$$\eta = P_2 / P_2 + P_v + P_{tn}$$

A  $P_v$  vasveszteség és  $P_{tn}$  tekercsveszteség üresjárási illetve rövidzárási mérésekkel határozható meg.

### Háromfázisú transzformátor szerkezeti felépítése

Az egyfázisú transzformátoroknál megismert lánc típusú transzformátor háromfázisú kivitelben nem létezik. A gyakorlatban többnyire a mag típusú kerül alkalmazásra. A vasmagot I alakú lemezekből hozzák létre. Különböző szélességű lemezekből hengeres tekercstartókhoz jobban illeszkedő, kör keresztmetszetet közelítő vasmag alakítható ki. Speciális felépítésű az úgynevezett ötoszlopos vasmag, melynek három oszlopa és két, az oszlopokkal párhuzamos járma van. Az egyes fázisok fluxusai függetlenek lehetnek egymástól és a transzformátor magassági méretei is csökkenthetők. A háromfázisú köpenytípusú transzformátorban szintén függetlenek lehetnek az egyes fázisok fluxusai.



A villamos energia átalakítására, továbbítására jellemzően a háromfázisú transzformátorok a használatosak. A fellépő veszteségek miatt a transzformátorban hő fejlődik. Mivel a fejlődő hő a villamosan vezető részek ellenállását növeli, a vasmag mágneses tulajdonságait rontja, ezért a transzformátor megfelelő hűtéséről gondoskodni kell. A hűtőközeg lehet levegő (száraztranszformátor) vagy olaj (olajtranszformátor). Ha a hűtőközeg mozgását a felmelegedés miatt bekövetkező fajsúly csökkenés idézi elő akkor a hűtés természetes. Ha a hűtőközeg áramlását ventilátor vagy szivattyú segíti elő, akkor a hűtés mesterséges. A szá-



raztranszformátorok általában beltéri üzemeltetésre, kb. 50 kVA teljesítményig és 10 kV feszültségig készülnek. Az olajtranszformátorok jellemzően nagyfeszültségűek, mivel az olaj itt nem csak hűtőközeg, hanem a szigetelési tulajdonságokat is jelentősen javítja. Az olaj átütési szilárdsága 160 kV/cm, a levegőé csak 21 kV/cm. A transzformátorolaj nagy tisztaságú kis viszkozitású kőolaj származék, mely víz, szerves sav és lebegő szennyezés mentes. Az olajtranszformátorok fontos szerkezeti eleme az olajóvó berendezés, mely biztosítja az olaj akadálytalan térfogatváltozását úgy, hogy a szabad levegőből a lehető legkevesebb nedvességet szívja magába. Nagyfeszültségű transzformátorok tekercsei mázas porcelánból készült hengeres forgástesteken keresztül vannak kivezetve. Ezek az átvezető szigetelők gallérszerűen tagolt palástartalakkal készülnek, így kültéri üzemeltetés esetén kedvezőtlen időjárási körülmények között, a nedves és poros felületen nehezebben alakulnak ki a kúszóáramok.

\*\*\*