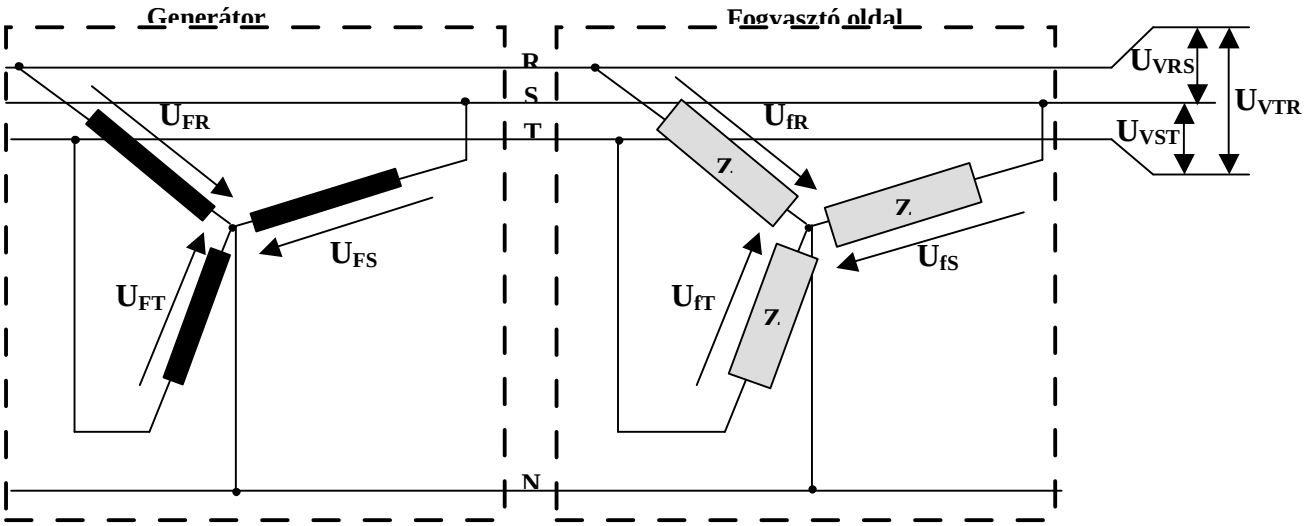
A háromfázisú rendszer jellemzői, a szimmetrikus csillag- és deltakapcsolás, egyfázisú fogyasztók bekötése a háromfázisú hálózatba

A háromfázisú rendszert alapvetően négy vezeték alkotja. Ebből három vezeték az úgynevezett fázisvezeték (**R**, **S**, **T**), ezek feszültségei a referencia- vagy nulla vezetékhez (**N**) képest 230V effektív értékűek, és csak fázisban térnek el egymástól (120°-kal). A fázisvezetők egymáshoz képest 400V effektív értékű feszültségben különböznek. Ezeket vonali feszültségeknek nevezzük, és igaz, hogy ezek a feszültségek is 120°-kal térnek el egymástól. A fázisfeszültséget mindig valamelyik fázisvezető és nulla vezeték- a vonali feszültséget pedig mindig két fázisvezető között értjük. A vonali áramnak a fázisvezetőben folyó áramot nevezzük. Megemlítjük, hogy az R,S,T,N helyett elterjedt jelölés az **L1**, **L2**, **L3**, **LG** is.

A **csillagkapcsolású** fogyasztó esetén mindhárom fázisvezető árama a fogyasztó impedanciáin áthaladva a nulla vezetékhez csatlakozik. Gondolhatnánk, hogy ha a három fázisvezetőn a fogyasztóba egyenként I áram folyik, akkor a nulla vezetéknek $3I$ nagyságú áramot kell elbírnia. Ez azonban nem így van, ugyanis az egyes fázisfeszültségekhez hasonlóan a megfelelő áramok is 120°-kal különböznek fázisban, s mint az könnyen belátható, ez esetben a *három fázis összege mindig 0.* A nulla vezetéken emiatt nem folyik különösebb áram. (Persze, mivel a gyakorlatban nem pont 120°-os eltolással érkeznek a nulla vezetőre a fázisok, valamennyi áram jelenléte mindig kimutatható a nulla vezetéken is, de ez elhanyagolhatóan kicsiny.) Ezért többnyire a nulla vezetéket szokták kitüntetni földpontként is. Korai lenne viszont azt gondolnunk, hogy biztosítékokkal csak a fázisvezetőket kell védeni. Nem árt a nulla vezetéket is védelemmel ellátni arra az esetre, ha valamelyik fázis kiesik. Ez a védelem azonban inkább érintésvédelemre mint a túláramvédelemre alapoz. Itt jutnak szerephez a különböző balesetvédelmi előírások, földelési technikák.

Nézzük most meg, hogyan néz ki a háromfázisú, szimmetrikus csillagkapcsolású fogyasztó bekötése. A fekete téglalap most tekercset jelenít meg.



Mint láthatjuk is, a fogyasztó oldalon mindhárom fázist azonos nagyságú impedancia (Z) terheli, ezért nevezzük a kapcsolást szimmetrikusnak. A későbbiekben látott módon egyfázisú fogyasztók is beköthetők a háromfázisú hálózatba, ekkor nincs garancia arra, hogy az egyes vezetékek egyformán lesznek terheltek, ezért az egyfázisú fogyasztók összességére tekinthetünk úgy is, mintha egy darab aszimmetrikus háromfázisú fogyasztónk lenne.

A rendszerre jellemző mennyiségek jelölései:

$\overline{U}_{F_X}$ - Fázisfeszültség az X vezetéken a nulla vezetékhez képest, ahol $X = R, S, T$ bármelyike lehet.

U_F - a fázisfeszültség effektív értéke, 230 V.

$\overline{U}_{f_X}$ - a fogyasztó X vezeték(ek)hez csatlakozó impedanciáján eső feszültség, *X= R, S, T vagy RS, ST, TR* lehet attól függően, hogy csillag- vagy deltakapcsolásról van-e szó.

U_f - a fogyasztó tetszőleges impedanciáján eső feszültség abszolút értéke.

$\overline{U}_{V_X}$ - Vonali feszültség, az X vonalpárok között. Itt *X= RS, ST, TR* lehet.

U_V - tetszőleges két vonal közötti feszültség effektív értéke, $U_V = \sqrt{3} \cdot U_F = 400\,V$

$\overline{I}_{V_X}$ - az X fázisvezetőn folyó vonali áram, *X= R, S, T* bármelyike lehet.

I_V - a vonali áramok bármelyikének abszolút értéke.

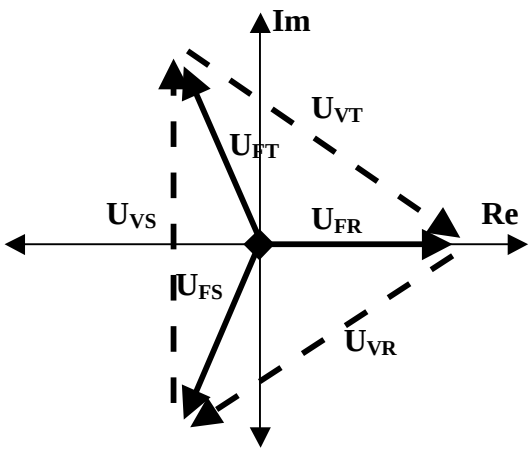
$\overline{I}_{f_x}$ - a fogyasztón átfolyó áram komplex értéke. Ha *X= R, S, T*; az áram az adott vezeték és a nulla között folyik át az impedancián, ha *X= RS, ST, TR*, az áram a jelzett vezetékpár között folyik át az impedancián.

I_f - a fogyasztó tetszőleges impedanciáján folyó áram abszolút értéke.

A vonali feszültség $\sqrt{3}$-szoros nagysága az alábbi vektorábra alapján a fázisfeszültségek egyenlőszárú háromszögeinek átfogójának számolása alapján is belátható.

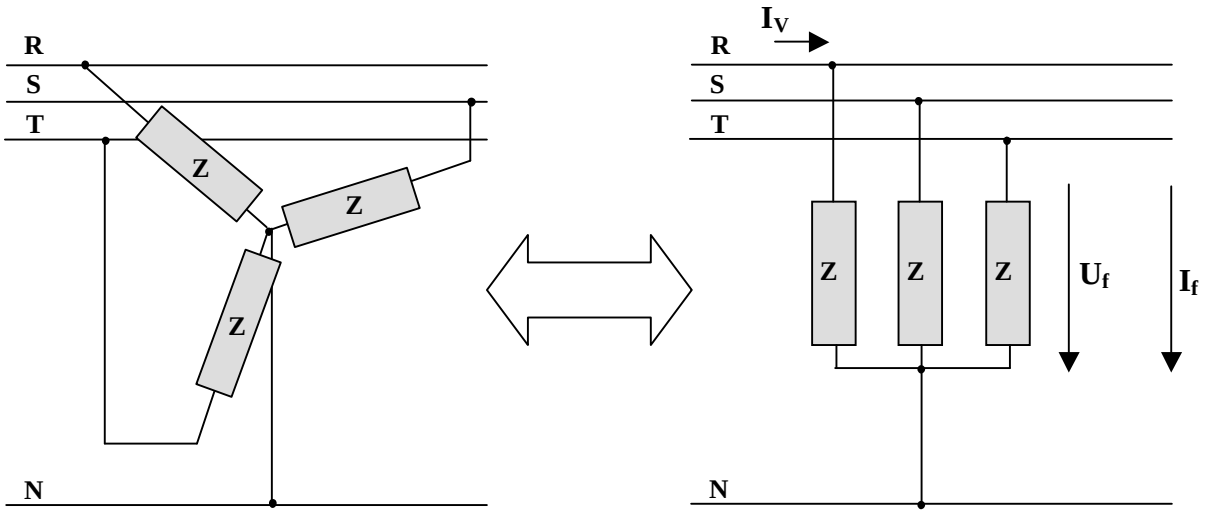
$$\overline{U}_{F_R} = U_F \cdot e^{j \cdot 0°}$$
$$\overline{U}_{F_S} = U_F \cdot e^{-j \cdot 120°}$$
$$\overline{U}_{F_T} = U_F \cdot e^{-j \cdot 240°}$$

$$\overline{U}_{V_{RS}} = U_V \cdot e^{-j \cdot 150°}$$
$$\overline{U}_{V_{ST}} = U_V \cdot e^{-j \cdot 270°}$$
$$\overline{U}_{V_{TR}} = U_V \cdot e^{-j \cdot 30°}$$



A háromfázisú, szimmetrikus, csillagkapcsolású fogyasztó

A csillagkapcsolású fogyasztónak létezik egy könnyebben áttekinthető ábrázolása is (lent). Itt jól látható, hogy az egyes fázisfeszültségek valóban a nekik megfelelő impedanciákon esnek. Az is világos hogy az egyes fázisvezetékekben folyó áramok, a vonali áramok (I_V) megegyeznek az adott ágra kapcsolódó impedanciák áramaival (I_f).



A jelölések és az ábra alapján az alábbiak nyilvánvalóak: *(ezek effektív értékek!)*

$$U_f = U_F\,;\ \left|\overline{U}_{F_X}\right| = \left|\overline{U}_{f_X}\right| = 230\,V\,; \qquad \left|\overline{I}_{f_X}\right| = \left|\overline{I}_{V_X}\right|;\ (X = R, S, T)$$

• Ezek alapján, az egyes fogyasztókon (és így a vonalakon) folyó áramok *(X = R, S, T)*:

$$\boxed{\overline{I}_{f_X} = \overline{I}_{V_X} = \frac{\overline{U}_{f_X}}{Z};}$$

• A kiindulásnál effektív értékeket használtunk. A ma forgalomban lévő biztosítékok többsége hőkioldás elvén működik, így ez szintén az effektív értékre méretezett. Mivel a motorok (különösen a nagy méretűek esetén) indításkor jelentős áramlökés keletkezik, esetenként érdemes a rendszert kissé felülméretezni. Ilyenkor a vonali áram csúcsértékére lehet a biztosítékot választani. Most ezt elhanyagoljuk, azaz olyan **biztosíték** szükséges, amely biztosan **nagyobb**, **mint**:

$$\boxed{I_V}$$

• A teljesítményt a fenti ábra alapján a következőképp írhatjuk fel:

$$\boxed{S_{\ddot{o}} = 3 \cdot U_f \cdot I_f = \sqrt{3} \cdot \sqrt{3} \cdot U_f \cdot I_f = \sqrt{3} \cdot U_V \cdot I_f = \sqrt{3} \cdot U_V \cdot I_V}$$

Az imént felírt egyenletek a hálózatban szereplő mennyiségek abszolút értékeire vonatkoztak. Belátható, hogy a komplex számítás is ezekre az eredményekre vezet:

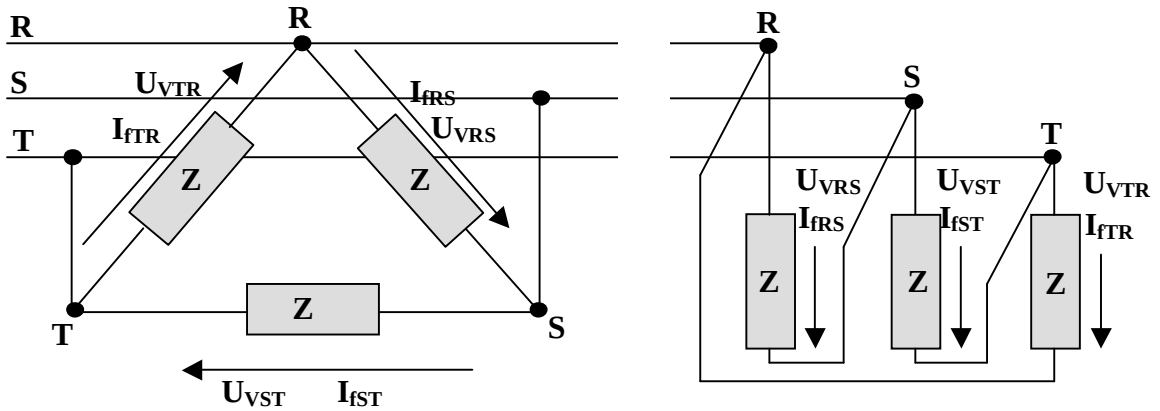
$$\left|\overline{S}_{\ddot{o}}\right| = S_{\ddot{O}} \Leftrightarrow \left|\sum_{X=R,S,T} \overline{U}_{f_X} \cdot \overline{I}^{*}{}_{f_X}\right| = \sqrt{3} \cdot U_V \cdot I_V$$

• Az előbbi komplex összeg kiszámításával az is belátható, hogy a komplex teljesítmény csak az impedancia fázisszögétől függ:

$$\overline{S}_{\ddot{o}} = S_{\ddot{O}} \cdot e^{jj_Z}$$

alakú, ahol φ_Z a háromfázisú fogyasztó impedanciájának (Z) fázisszöge.

A háromfázisú, szimmetrikus, deltakapcsolású fogyasztó. Bár első hallásra meglepőnek tűnhet, ugyanazon feszültségek mellett ugyanazokból az alkatrészekből egy nagyobb teljesítményű fogyasztó is összeállítható, pusztán a fogyasztó impedanciáinak kapcsolási topológiájának megváltoztatásával. Erre mutatjuk be példaként a következő ábra bal oldali részén látható deltakapcsolású fogyasztót. A másik ábra szintén a deltakapcsolású fogyasztót jeleníti meg, egy másik ábrázolásban.



Látható, hogy itt az egyes impedanciák tulajdonképpen egy-egy fázis közé vannak bekötve *(ellentétben az előző csillagkapcsolással, ahol az egyes impedanciák a megfelelő fázis és a nulla között voltak).* Ennek megfelelően most az egyes impedanciákon a 400 volt nagyságú $\overline{U}_{V_{RS}}\,;\overline{U}_{V_{ST}}\,;\overline{U}_{V_{TR}}$ vonali feszültségek esnek, azaz itt $U_f = U_V$. A kapcsolás sajátossága, hogy itt a nulla vezetékre nincs szükség,

emiatt az érintésvédelemre külön figyelmet kell fordítani. A deltakapcsolás jellemzőinek kiszámításakor hasonlóan járunk el, mint a csillagkapcsolás esetén.

• Az egyes impedanciákon átfolyó áramokat az $\bar{I}_{f_X} = \frac{\bar{U}_{f_X}}{Z} = \frac{\bar{U}_{V_X}}{Z}$ alapján számíthatjuk ki. *(X= RS, ST, TR)*

• A most számolt áramok azonban jól láthatóan nem a vonali áramok. Ha ki akarjuk ezeket számolni valamely fázisvezetőre, akkor ezek szintén két komplex mennyiség (áram) különbségeként adódnak. Nevezetesen az X *(X=R, S, T)* vezetéken folyó vonali áram -a fentebbi ábra konvencionális irányítottságát figyelembe véve- az X pontba bemenő és az abból kimenő áram különbségeként kapható:

$$\bar{I}_{VR} = \bar{I}_{f_{TR}} - \bar{I}_{f_{RS}} .$$

$$\bar{I}_{VS} = \bar{I}_{Vf_{RS}} - \bar{I}_{Vf_{ST}}$$

$$\bar{I}_{VT} = \bar{I}_{Vf_{ST}} - \bar{I}_{Vf_{TR}}$$

Ezek értékeit pontosan is meg lehet határozni, de a fázisfüggés a biztosíték számításához kevésbé jelentékeny, mint az abszolút érték, ezért a továbbiakban az abszolút értékek számolására korlátozzuk figyelmünket. A fentebbi vonali áramokra ismételten, a már ismertetett komplex vektorábrához hasonló vektorábra nyerhető, mely alapján belátható, hogy:

$$\boxed{I_V = \sqrt{3} \cdot I_f}.$$

• Mivel a kiindulásnál az effektív értéket használtuk, az előző esethez hasonló szempontok érvényesek itt is, a rendszert az effektív értékre kell méretezni.

• **A**zaz a szükséges 3 **biztosíték**nak külön külön **nagyobb**nak kell lenni, **mint**

$$\boxed{I_V}.$$

• A delta kapcsolású fogyasztó teljesítményét a következőképp számíthatjuk ki:

$$\bar{S}_{Ö} = \sum_{X=RS,ST,TR} \bar{U}_{f_X} \cdot \bar{I}_{f_X} = \sum_{X=RS,ST,TR} \bar{U}_{V_X} \cdot \bar{I}_{f_X}$$

A képlet kiszámításával ellenőrizhető, hogy a teljesítmény nagysága ismét

$$\boxed{S_{Ö} = \sqrt{3} \cdot U_V \cdot I_V}$$

alakú, és a komplex teljesítmény fázisszöge ismét csak az impedanciától függ:

$$\bar{S}_{ö} = S_{Ö} \cdot e^{jj_Z}$$

ahol φ_Z a háromfázisú fogyasztó impedanciájának (Z) fázisszöge.