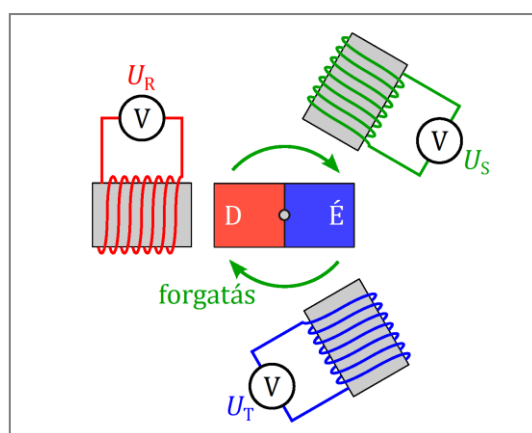


◀	<i>Tartalom</i>	<i>Fogalmak</i>	<i>Törvények</i>	<i>Képletek</i>	<i>Lexikon</i>	▶
---	-----------------	-----------------	------------------	-----------------	----------------	---

A váltakozó áram ipari előállítása és felhasználása

A gyakorlatban a világon mindenütt a váltakozó áramú elektromos hálózatok terjedtek el, mert a váltakozó áram ipari méretű előállítása és szállítása egyszerűbb, gazdaságosabb, mint az egyenáramé. Az erőművekben ezért ma már szinte mindenütt háromfázisú, váltakozó áramú generátorok működnek.

A *háromfázisú generátor* működését a következő kísérlettel lehet szemléltetni. Három ugyanolyan tekercset a rajz szerint úgy helyezünk el, hogy tengelyeik 120° -ot zárjanak be egymással. Közöttük egy állandó mágnezt forgatva a tekercsekhez kapcsolt középpólású feszültségmérő műszerek jelzik az indukált feszültséget.



Megfigyelhető, hogy a műszerek mutatója nem mozog együtt. A három tekercs eltérő helyzetéből adódóan ugyanis az egyes tekercsekben keletkező feszültségek között fáziskülönbség van. A második tekercsben keltett feszültség 120° -ot, a harmadikban létrejövő pedig 240° -ot késik az első tekercsben indukált feszültséghez képest.

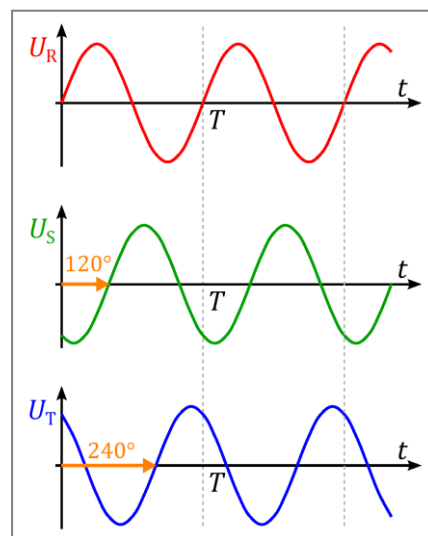
A gyakorlatban használt háromfázisú generátorokban szinuszos váltakozó feszültség keletkezik. Ilyen generátoroknál a három tekercs feszültsége:

$$U_R = U_0 \cdot \sin(\omega \cdot t),$$

$$U_S = U_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - 120^\circ),$$

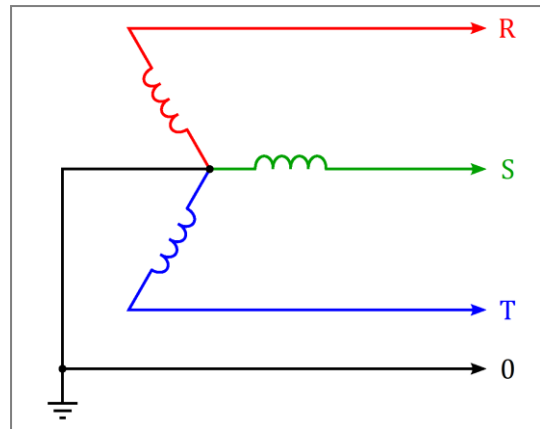
$$U_T = U_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - 240^\circ).$$

Ha a feszültségeket az idő függvényeként ábrázoljuk, három szinuszfüggvényt kapunk, amelyek között 120° -os fáziskülönbség van.



A háromfázisú rendszerben a három tekercs által szolgáltatott feszültséget azonban nem hat, hanem csupán négy (néha három) vezetékkel juttatják el a fogyasztóhoz.

A *csillagkapcsolás* esetén négy vezetékkel használnak. A generátor tekercseinek egy-egy kivezetését összekapcsolják egymással. Ezt a közös vezetékét (0) leföldelik, azaz összekötik a földdel. Ennek a vezetéknek a neve *földvezeték* vagy *nullvezeték*. A szabadon maradó kivezetések szintén egy-egy vezetékhez (R, S és T) csatlakoznak, ezek a *fázisvezetékek*.



A fázisvezeték és a földvezeték közötti effektív feszültséget *fázisfeszültségnek* nevezzük. Két fázisvezeték közötti effektív feszültség a *vonalfeszültség*. Igazolható, illetve mérésekkel ellenőrizhető, hogy a vonalfeszültség a fázisfeszültségnél $\sqrt{3}$ -szor nagyobb.

$$U_v = \sqrt{3} \cdot U_f. \quad (1)$$

A fogyasztó számára ennél a rendszernél kétféle feszültség áll rendelkezésre. A fázisfeszültség, amely Magyarországon és Európa nagy részén 230 V, és a vonalfeszültség, amely a fentiek szerint

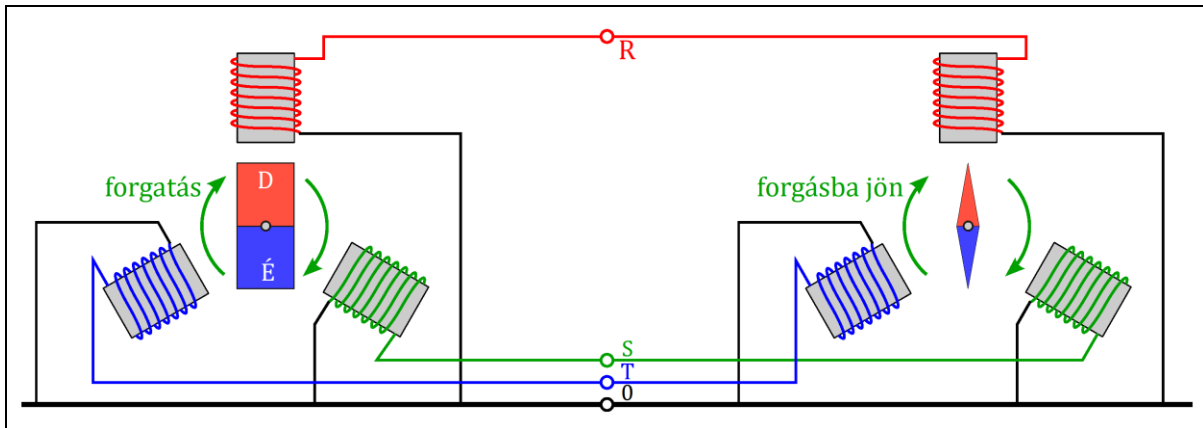
$$U_v = \sqrt{3} \cdot U_f = \sqrt{3} \cdot 230 \text{ V} \approx 400 \text{ V}.$$

A lakásokban a világításhoz és a háztartási készülékek többségéhez egyfázisú áramot használnak. Ezeket a fogyasztókat a fázisvezetékhez és a földvezetékhez kapcsolják. A nagyobb gépeket, berendezéseket háromfázisú motorral működtetik, ezek a három fázisvezetékhez és a nullvezetékhez kapcsolódnak.

A gyakorlatban a veszteségek csökkentése érdekében az erőműveknél a feszültséget feltranszformálják. (Ennek okáról [A transzformátor](#) című fejezetben lesz szó.) A magyarországi alaphálózatban a távvezetékek feszültsége 220 kV és 750 kV között van. A feszültséget csak a fogyasztók közelében transzformálják le 230 V-ra.

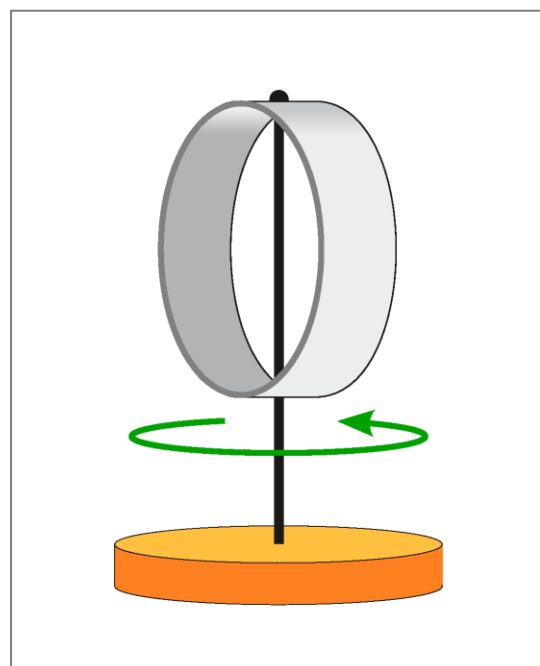


A *háromfázisú motor* működését a következő kísérlettel lehet szemléltetni. Három-három ugyanolyan tekercset a rajz szerint úgy helyezünk el, hogy tengelyeik 120° -ot zárjanak be egymással. A két rendszert csillagkapcsolást alkalmazva összekötjük egymással. Ha az egyik rendszerben mágnest forgatunk, akkor a másik rendszerbe helyezett iránytű forgásba jön. Az iránytű fordulatszáma megegyezik a mágnes fordulatszámával. A tekercsek közé helyezett iránytű akkor is forgásba jön, ha a három tekercsre (letranszformált) háromfázisú hálózati váltakozó feszültséget kapcsolunk.



Az iránytű forgása mindkét esetben azzal magyarázható, hogy a három tekercs közötti térben olyan mágneses mező jön létre, amelyben az indukcióvektor állandó szögsebességgel körfordul. Az ilyen motorokat, *háromfázisú szinkronmotorok*nak nevezzük. Az ilyen motorok forgórésze ugyanis a tekercsek által létrehozott forgó mágneses mezővel együtt, azaz szinkronban forog.

Ha az előző kísérletben az iránytű helyére a rajzon látható módon egy tengely körül szabadon elforduló alumíniumgyűrűt helyezünk, akkor a gyűrű forgásba jön. A forgó mágneses mező miatt ugyanis az eredetileg nyugvó gyűrűben áram indukálódik. Ez Lenz törvényének megfelelően olyan mágneses mezőt kelt, amelynek hatására a gyűrű a forgó mágneses mezővel megegyező irányú forgásba jön. A gyűrű forgásának szögsebessége azonban most kisebb, mint a mező forgásának szögsebessége. Együttforgáskor ugyanis a



gyűrűben a mágneses fluxus nem változna, és így nem jönne létre indukált áram. A fenti elven működő motorokat *háromfázisú aszinkronmotoroknak* nevezzük. E motorok előnye, hogy a forgórészbe nem kell áramot vezetni, így nincs szükség a könnyen meghibásodó szénkefékre, csúszógyűrűkre stb.

Kiegészítések

1. A hálózati feszültséget előállító generátorok fordulatszáma 50 s^{-1} , így a keletkezett váltakozó feszültség frekvenciája 50 Hz. Néhány erőműben a fordulatszám ennél kisebb, ezekben olyan generátorokat használnak, amelyekben az állórész nem 3, hanem 6–9–12... tekercset tartalmaz. A gyakorlatban a váltakozó áramú generátorokban állandó mágnes helyett egyenárammal táplált elektromágnes alkotja a forgórészt.

A képen az első magyarországi vízerőmű (Ikervár, 1895) egyik, 1925-től napjainkig működő generátora látható. A jobb oldali kisebb egység egy egyenáramú generátor, amely a vele közös tengelyen lévő váltóáramú generátor (bal oldali egység) forgórészét táplálja. A háromfázisú váltóáram a generátor állórészének



tekercseiben indukálódik. A generátort a falon túl elhelyezkedő vízturbina hajtja. (Az erőműről további fotók: http://www.fizkapu.hu/fiztan/toltes/t_0007.html és információk: http://www.fizkapu.hu/fiztan/cikkek/c_04_013.doc)

2. A háromfázisú áramrendszer elvét John *Hopkinson* angol mérnök dolgozta ki 1880-ban.
3. A háromfázisú motort Nikola *Tesla* (1856–1943) horvátországi születésű, de főleg Amerikában tevékenykedő szerb fizikus találta fel 1887-ben. Ugyancsak Tesla ismerte fel 1888-ban, hogy a háromfázisú áram továbbítására négy vezeték is elegendő. Később rájött arra is, hogy ha a három fázisvezeték terhelése ugyanakkora, akkor a nullvezetékben nem folyik áram, tehát akár el is hagyható.

4. Ha a három fázisvezeték terhelése ugyanakkora, akkor az áramerősségeket *bármely* t időpontra felírva, majd az $\omega \cdot t - \varphi = \alpha$ jelölést bevezetve:

$$I_R = I_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - \varphi) = I_0 \cdot \sin(\alpha),$$

$$I_S = I_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - \varphi - 120^\circ) = I_0 \cdot \sin(\alpha - 120^\circ),$$

$$I_T = I_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - \varphi - 240^\circ) = I_0 \cdot \sin(\alpha - 240^\circ).$$

A csillagkapcsolásnál a nullvezetéken a három fázisvezetékben folyó áram összege folyik, azaz

$$I_{\text{null}} = I_R + I_S + I_T,$$

$$I_{\text{null}} = I_0 \cdot \sin(\alpha) + I_0 \cdot \sin(\alpha - 120^\circ) + I_0 \cdot \sin(\alpha - 240^\circ),$$

$$I_{\text{null}} = I_0 \cdot [\sin(\alpha) + \sin(\alpha - 120^\circ) + \sin(\alpha - 240^\circ)]. \quad (2)$$

A trigonometriából ismert $\sin(\alpha - \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta - \cos \alpha \cdot \sin \beta$ azonosságot felhasználva:

$$\begin{aligned} \sin(\alpha - 120^\circ) &= \sin(\alpha) \cdot \cos(120^\circ) - \cos(\alpha) \cdot \sin(120^\circ) = \\ &= \sin(\alpha) \cdot \left(-\frac{1}{2}\right) - \cos(\alpha) \cdot \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right), \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \sin(\alpha - 240^\circ) &= \sin(\alpha) \cdot \cos(240^\circ) - \cos(\alpha) \cdot \sin(240^\circ) = \\ &= \sin(\alpha) \cdot \left(-\frac{1}{2}\right) - \cos(\alpha) \cdot \left(-\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = \\ &= \sin(\alpha) \cdot \left(-\frac{1}{2}\right) + \cos(\alpha) \cdot \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right). \end{aligned} \quad (4)$$

Ezeket a (2) összefüggésbe behelyettesítve:

$$I_{\text{null}} = I_0 \cdot \left[\sin(\alpha) + 2 \cdot \sin(\alpha) \cdot \left(-\frac{1}{2}\right) \right] = I_0 \cdot [\sin(\alpha) - \sin(\alpha)] = 0$$

Eszerint ha a három fázisvezeték terhelése ugyanakkora, akkor a nullvezetékben folyó áram erőssége bármely t időpontban 0. (Ha a fázisok terhelése nem pontosan ugyanakkora, akkor folyhat egy gyenge áram a nullvezetékben.) Mindezek miatt a nullvezeték lényegesen vékonyabb lehet, mint a fázisvezetékek.

5. A csillagkapcsolást bemutató rajz alapján belátható, hogy a fázisfeszültségek valójában megegyeznek a nullvezetékhez (földeléshez) viszonyított potenciállal.

Emiatt a vonalfeszültség megegyezik a két fázisvezeték potenciáljának különbségével.

Például az S feszültsége a T-hez viszonyítva:

$$\begin{aligned}U_{ST} &= U_S - U_T = U_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - 120^\circ) - U_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - 240^\circ) = \\ &= U_0 \cdot [\sin(\omega \cdot t - 120^\circ) - \sin(\omega \cdot t - 240^\circ)].\end{aligned}$$

Az $\omega \cdot t = \alpha$ jelölést bevezetve:

$$U_{ST} = U_0 \cdot [\sin(\alpha - 120^\circ) - \sin(\alpha - 240^\circ)].$$

A (3) és (4) összefüggéseket felhasználva:

$$\begin{aligned}U_{ST} &= U_0 \cdot \left[-\cos(\alpha) \cdot \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right) - \cos(\alpha) \cdot \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \right] = -2 \cdot U_0 \cdot \cos(\alpha) \cdot \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = \\ &= -\sqrt{3} \cdot U_0 \cdot \cos(\alpha) = \sqrt{3} \cdot U_0 \cdot \sin(\alpha - 90^\circ).\end{aligned}$$

Az α értékét visszahelyettesítve:

$$U_{ST} = \sqrt{3} \cdot U_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - 90^\circ).$$

Ebből leolvasható, hogy a vonalfeszültség (a [Rezgések összegzése és felbontása](#) fejezetben látottakkal összhangban) ugyanolyan frekvenciájú, szinuszos váltakozó feszültség, mint a fázisfeszültség. Az is látható, hogy az U_{ST} csúcserőértéke $\sqrt{3}$ -szor nagyobb, mint U_0 . Emiatt ugyanez az összefüggés az effektív értékekre, azaz a fázisfeszültségre és a vonalfeszültségre is érvényes:

$$U_v = \sqrt{3} \cdot U_f.$$

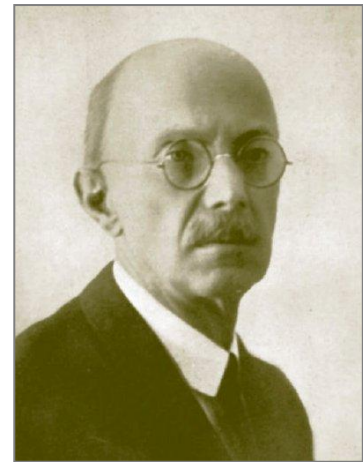
Ez a képlet pedig éppen megegyezik a már említett (1) összefüggéssel.

6. A háromfázisú aszinkronmotorok kedvező tulajdonsága, hogy a megnövekedett terhelés hatására a motor által kifejtett forgatónyomaték nő. Ha ugyanis a fordulatszám csökken, akkor a forgórészben gyorsabb a fluxusváltozás, és így nagyobb indukált áram keletkezik benne. A nagyobb áramerősség miatt az állórész és a forgórész közti kölcsönhatás erősebb lesz, így nő a forgatónyomaték.



7. Ha egy háromfázisú motor egyik tekercsére váltakozó feszültséget kapcsolunk, és a forgórészt a tengelyére csavart zsineg megrántásával forgásba hozzuk, akkor a forgás nem áll le. A forgórészben ugyanis ebben az esetben is indukálódik áram, és ez az aszinkron motoroknál látott módon fenntartja a forgást. Érdekes azonban, hogy ilyenkor a másik két tekercsben is feszültség indukálódik, melyek a motorra kapcsolt feszültséghez képest 120° -ot, illetve 240° -ot késnek. Ez a feszültség voltmérővel kimutatható, sőt gyakorlati célokra is felhasználható. Ezt az eszközt *fázisváltónak* nevezik.

8. A fázisváltót *Kandó Kálmán* (1869–1931) magyar mérnök dolgozta ki, és ezt használta az általa tervezett V40 és V60 típusú villanymozdonyban. Kandó Kálmán 1894–1905, illetve 1917–1922 között a *Ganz-gyár* tervezőmérnöke, később műszaki igazgatója volt. 1902-ben az ő vezetésével villamosították az olaszországi Valtellina-vasútvonalat. A fázisváltós rendszert az 1920-as években dolgozta ki. A fázisváltó a felsővezetékéről kapott, 50 Hz-es, egyfázisú hálózati áramból háromfázisú áramot hozott



létre, és ez működtette a mozdonyt meghajtó háromfázisú aszinkron motort. Ezzel lehetővé vált az 50 Hz-es, egyfázisú hálózati áram vasúti felhasználása. A *Kandó-féle fázisváltós mozdonyokkal* indult meg a forgalom 1932-ben Magyarország első villamosított vasútvonalán, a Budapest–Hegyeshalom vonalon.

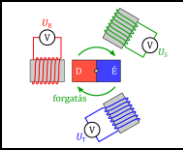
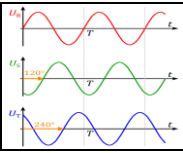
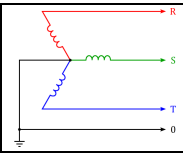

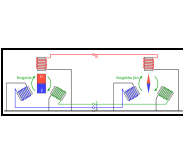
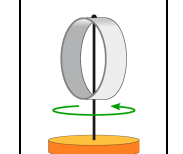








9. A fázisváltóhoz hasonlóan működik az *egyfázisú aszinkronmotor* is, de ebből természetesen hiányzik a másik két tekercspár. Ezeknek a motoroknak a forgórészében is az indukció hoz létre áramot. Az egyfázisú és a háromfázisú aszinkronmotorokat ezért közös néven *indukciós motoroknak* is nevezik.

10. A napelemek egyenáramot állítanak elő, ez közvetlenül nem táplálható be a váltóáramú elektromos hálózatba. Ezért az egyenáramot az úgynevezett inverterrel váltóárammá alakítják. Az *inverter* egy elektronikai elemekből felépített berendezés, amely a napelemekből érkező *egyenáramot megfelelő feszültségű, frekvenciájú, jelalakú, és a hálózattal megegyező fázisú váltóárammá alakítja*. Az inverterek egy része háromfázisú váltóáram előállítására is képes. Az inverter ezenkívül adatokat gyűjthet a megtermelt villamos energiáról, és ezeket az adatokat az interneten keresztül továbbíthatja a rendszer üzemeltetőjének.



Képek jegyzéke

	<p>A háromfázisú generátor elve © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0560.svg</p>
	<p>A három fázis feszültség–idő diagrammja © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0561.svg</p>
	<p>A csillagkapcsolás © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0562.svg</p>
	<p>Távvezeték © http://www.fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0731.jpg</p>
	<p>A háromfázisú szinkronmotor elve © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0563.svg</p>
	<p>A háromfázisú aszinkronmotor elve © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0564.svg</p>
	<p>Az ikervári vízerőmű egyik generátora © http://www.fizkapu.hu/fiztan/toletes/t_0007/t0007_11.jpg</p>
	<p>Háromfázisú aszinkronmotor metszete W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:TMW_50906_Schnittmodell_einer_Drehstrommaschine_(Asynchronmaschine).jpg</p>

	<p>Kándó Kálmán arcképe</p> <p>W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kand%C3%B3_K%C3%A1lm%C3%A1n.jpg</p>
	<p>A Kandó-féle villanymozdony</p> <p>W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kando_mozdony.jpg</p>
	<p>A Budapest–Hegyeshalom vasútvonal</p> <p>W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Budapest%E2%80%93Hegyeshalom%E2%80%93Rajka-vas%C3%BAtvonal.svg</p>
	<p>Inverter napelemekhez (névleges váltóáramú teljesítmény 4000 W)</p> <p>W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Growatt_MOD_4000TL3-X_inverter.jpg</p>

Jelmagyarázat:

- ©** **Jogvéde**tt anyag, felhasználása csak a szerző (és az egyéb jogtulajdonosok) írásos engedélyével.
- W** A *Wikimedia Commons*-ból származó kép, felhasználása az eredeti kép leírásának megfelelően.