

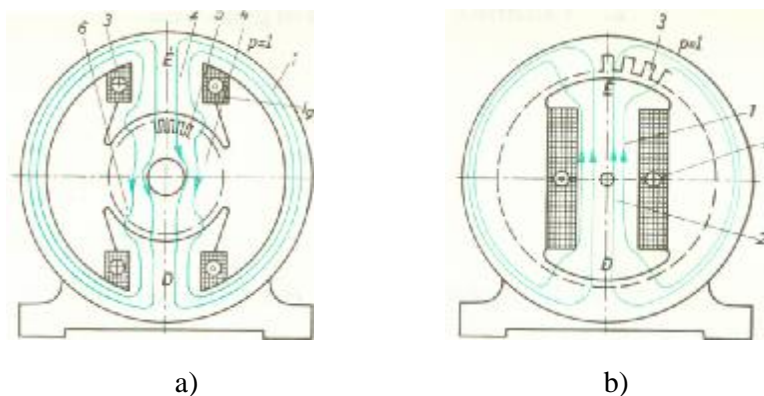
## Villamos forgógépek

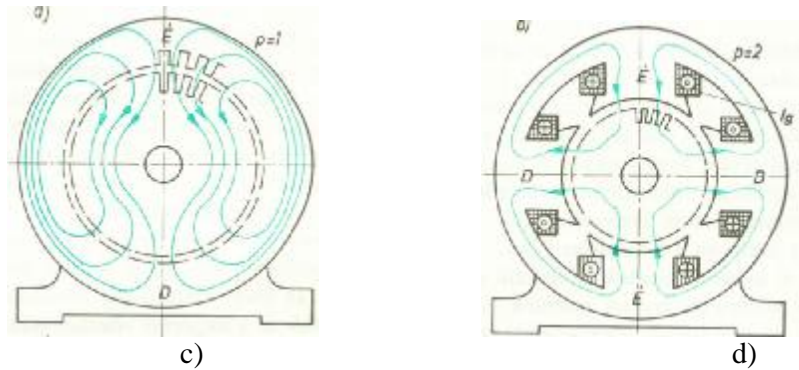
### Forgógépek elvi felépítése

A villamos forgógépek két fő része: az álló- és a forgórész. Az állórészen elhelyezett tekercsek árama mágneses teret létesít. Ez a mágneses tér a mozgási indukció alapján feszültséget indukál a forgórész tekercseiben. A forgórész tekercseiben folyó áram és a mágneses tér kölcsönhatása nyomatékot létesít. Minden villamos forgógép használható generátorként és motorként. A gép álló- és forgórésze szerepet cserélhet.

Az 1a ábrán az 1 állórész koszorún elhelyezett 2 pólusok 3 gerjesztő tekercseiben folyó  $I_g$  gerjesztő áram (melynek irányát az ábrán jelöltük) létesíti a mágneses teret. Generátor üzemben a 4 forgórész 5 hornyaiban elhelyezett tekercsek metszik e mágneses tér 6 indukcióvonalait és bennük feszültség indukálódik. Motor üzemben a forgórész tekercseibe áramot vezetünk. Az 1b ábrán látható gép szerkezete elvileg az a ábra gépével teljesen azonos, csak az álló- és a forgórész villamos szempontból szerepet cserélt. Generátor üzemben az 1 forgó póluskerék gerjesztő tekercseiben folyó  $I_g$  gerjesztő áram létesíti a mágneses teret, amelynek 2 indukcióvonalai metszik az állórész 3 hornyaiban elhelyezett tekercseket és azokban feszültséget indukálnak. Motor-üzemben az állórész tekercseibe áramot vezetünk. Az álló- és forgórész közötti nyomaték természetesen ebben az esetben is csak a forgórészt képes forgatni. Az 1c ábrán az álló- és forgórészen egyaránt hornyokban vannak a tekercsek. Az a, b és c ábrának megfelelő szerkezeti megoldású gépek kettőnél nagyobb pólusszámú kivitelben is készülnek. A d ábra az a ábrának megfelelő megoldást mutatja négy pólusú kivitelben.

Jegyezzük meg, hogy nemcsak a generátorban, hanem a motorban is indukálódik feszültség. Ez tart egyensúlyt a motorra kapcsolt hálózati feszültséggel, mint ahogyan a transzformátor primer tekercsében indukált feszültség is a hálózati feszültséget egyensúlyozza. Forgó gépekben általában csak váltakozó feszültség indukálódhat. Ha egyenfeszültség szükséges, akkor egyenirányítani kell. Az egyenirányítást kommutátor vagy félvezető egyenirányító végezheti. A kommutátor csak forgás közben egyenirányít, ezért az egyenáramú gépek szerkezete az 1 a ábra szerinti, a forgórészen kommutátorral. Motor üzemben a kommutátor az egyenáramot váltóirányítja. A nagyteljesítményű szinkron gépek szokásos szerkezeti megoldása a b ábra szerinti, mert a nagy váltakozóáramú teljesítmény elvezetése a forgórésztől nem volna lehetséges. A forgórész viszonylag kis gerjesztő teljesítményét két csúszógyűrűn keresztül lehet a gépbe vezetni. *Armatúra* a forgó gépeknek az a része, amelyikben a feszültség indukálódik, tehát az a ábrán a forgórész, a b ábrán az állórész. Az aszinkron gépek elvileg a c ábra szerintiek. tulajdonképpen itt is kialakulnak pólusok.





### Forgógépek mágneses köre

Szem előtt tartva az 1 ábrákat megfigyelhetjük, hogy az  $I_g$  gerjesztő áram mágneses terének indukcióvonalai az álló- és forgórészen át záródnak s közben kétszer haladnak át a légrésen. Az indukált feszültség az armatúra vezetőit metsző mágneses tér  $B$  mágneses indukciójával, a mágneses indukció pedig a pólusok  $\Phi_p$  pólusfluxusával arányos. A pólusfluxus az  $I_g$  gerjesztő áramtól, azaz az  $N I_g$  gerjesztéstől függ.  $N$  egy pólustekercs menetszáma.

A különféle szerkezeti kialakítású forgógépek mágneses köre is különböző. Példaként vizsgáljuk meg az 1d ábrát. Tulajdonképpen négy mágneses köre van. Egyiket a 2 ábrán rajzoltuk meg kinagyítva. A mágneses kör mentén a fluxus mindenütt állandó, de mivel itt a pólusok fluxusa két irányban záródik, ezért az  $A_{k1}$  keresztmetszetű és  $l_{k1}$  hosszúságú állórész-, valamint az  $A_{k2}$  keresztmetszetű és  $l_{k2}$  hosszúságú forgórész koszorúján csak  $\frac{\Phi_p}{2}$  fluxus halad át, míg az  $A_p$  keresztmetszetű és  $l_p$  hosszúságú pólustörzsön, az  $l_{ps}$  hosszúságú pólussarun, a  $\delta$  méretű légrésen és az  $l_f$  hosszúságú fogakon a teljes  $\Phi_p$  pólusfluxus áthalad. A mágneses kör teljes hossza

$$l_{k1} + 2l_p + 2l_{ps} + 2\delta + 2l_f + l_{k2},$$

mert a fluxus két póluson kell áthaladjon.

Ha a légrésben  $B_\delta$  mágneses indukció szükséges, akkor a pólus fluxusa

$$\Phi_p = B_\delta A$$

ahol  $A$  a pólussaru felülete, azaz - az ábra jelöléseivel -  $ab$ . Itt  $a$  a pólus tengelyirányú mérete.  $\Phi_p$ -ből kiszámítható a mágneses indukció a mágneses kör mindegyik szakaszában és ebből meghatározható mindegyik szakasz  $H$  térerőssége. Például a pólustörzsben a mágneses indukció

$$B_p = \frac{\Phi_p}{A_p}.$$

A pólustörzs anyagának mágnesezési görbéjéből ehhez  $H$ - térerősség tartozik (2.3 ábra). Ugyanígy például az állórész koszorúban

$$B_{k1} = \frac{\Phi_p}{2} \frac{1}{A_{k1}}$$

## Villamos gépek

Az ehhez tartozó térerősséget ( $H_{kl}$ -et) az állórész koszorú mágnesezési görbéje alapján határozhatjuk meg. Hasonlóan határozható meg  $H_{ps}$  értéke a pólussaruban,  $H_f$  értéke a fogakban és  $H_{k2}$  értéke a forgórész koszorúban. Mivel a pólussaru és a fogak keresztmetszete változó, ezért itt átlagos keresztmetszettel kell számolni. A légrésben a térerősség az ismert

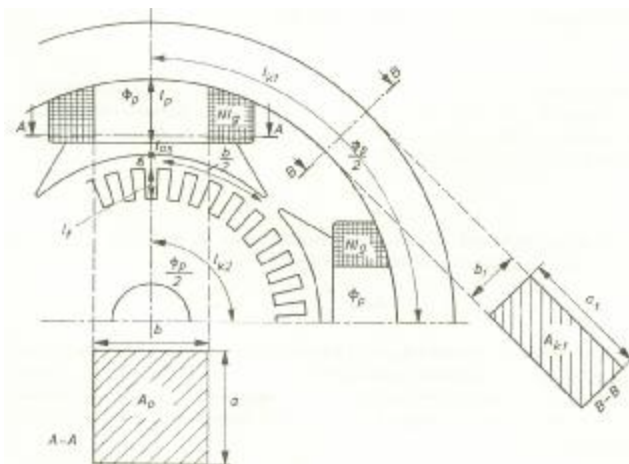
$$H_{\delta} = \frac{B_{\delta}}{\mu_0}$$

összefüggéssel határozható meg. A térerősségek ismeretében a mágneses körte felírható a gerjesztési törvény:

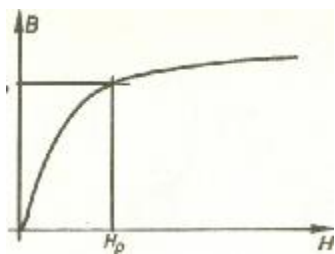
$$H_{k1}l_{k1} + 2H_p l_p + 2H_{ps}l_{ps} + 2H_{\delta}l_{\delta} + 2H_f l_f + H_{k2}l_{k2} = 2Nl_g.$$

Egy pólus gerjesztését azért kell kétszer venni, mert egy mágneses kört két pólus gerjeszt.

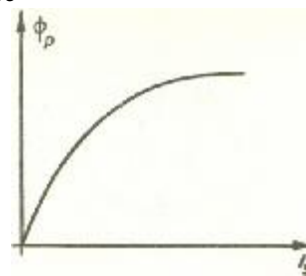
A mágneses indukció a légrésben a térerősséggel egyenesen arányos. Kis indukciónál - a mágnesezési görbék lineáris szakaszán - a vasban is arányosnak tekinthető. Ez azt jelenti, hogy kis gerjesztésnél a gerjesztés növelésével a gépben mindenütt arányosan nő a  $H$  térerősség, a  $B$  mágneses indukció és a  $\Phi_p$  pólusfluxus. A levegő rossz mágneses vezető,  $\mu_0$  kicsi, tehát  $H_{\delta}$  igen nagy, a gerjesztési törvény bal oldalán szereplő  $2H_{\delta}$  kis gerjesztésnél nagy érték, szinte az egész gerjesztés a légrésre jut, a légrést mágnesezi. Nagyobb gerjesztéseknél a vasanyagokban a mágneses indukció és a fluxus növekedése a térerősség növekedésétől elmarad. A vasban  $H$  erősen meg kell növekedjék, hogy  $B$  és  $\Phi$  megnövekedhessen.  $\Phi_p$  a körben mindenütt azonos, tehát a gerjesztési törvény bal oldalán a vasanyagokra vonatkozó  $HI$  szorzatok is megnövekszenek. Nagyobb fluxus eléréséhez már aránytalanul nagy gerjesztésre lenne szükség: a vasmag telítődik. A gép  $\Phi_p = f(I_g)$  jelleggörbáját a.4 ábra mutatja. Ez tulajdonképpen a gép mágneses köreinek a mágnesezési görbéje.



### 2. Forgó villamos gép mágneses köre



3. Pólustörzs anyagának mágnesezési görbéje



4. Villamos gép mágnesezési görbéje

## A váltakozó feszültség

Az egyfázisú feszültség előállítás.

Az 1b ábra alapján rajzoltuk meg az 5a ábrát. Az állórészen egyetlen egyemenetű tekercs van, a megrajzolt két tekercsoldal a gép mögött össze van kötve, kezdete és vége elől ki van vezetve. A forgórész ábrázolt helyzetében a tekercs síkján nem halad át fluxus,  $\Phi$  pillanatértéke zérus (ez látható a vektorábrán is). Ha a forgórész  $90^\circ$ -ot elfordul, akkor minden indukciójonal átmegy a tekercs síkján:  $\Phi$  pillanatértéke maximális:  $\Phi_m$ , azaz, a teljes pólusfluxus:  $\Phi = \Phi_p$ . Az  $U$  indukált feszültség a fluxushoz képest  $90^\circ$ -ot siet. Effektív értéke

$$U = 4,44\Phi_m f,$$

ahol az  $f$  frekvencia a másodpercenkénti fordulatszámmal azonos, azaz  $f = \frac{n}{60}$ , ha  $n$  a percenkénti fordulatszám.

Az 5b ábrán a gép kerülete mentén  $30^\circ$ -onként helyeztünk el egy-egy egyemenetű tekercselemet.  $1-1'$ ,  $2-2'$  stb, jelenti egy-egy tekercselem két oldalát. A tekercselemek elől sorba vannak egymással kötve:  $1'$  kivezetés a  $2$ -vel,  $2'$  a  $3$ -mal,  $3'$  a  $4$ -gyel stb. Így az indukált feszültségek összeadódnak, a tekercselés  $I$  és  $6'$  kivezetései között nagyobb feszültség mérhető. Tovább növelhető a feszültség, ha még több tekercselemet helyezünk el a kerület mentén és ha a tekercselemeket több menetűre készítjük.

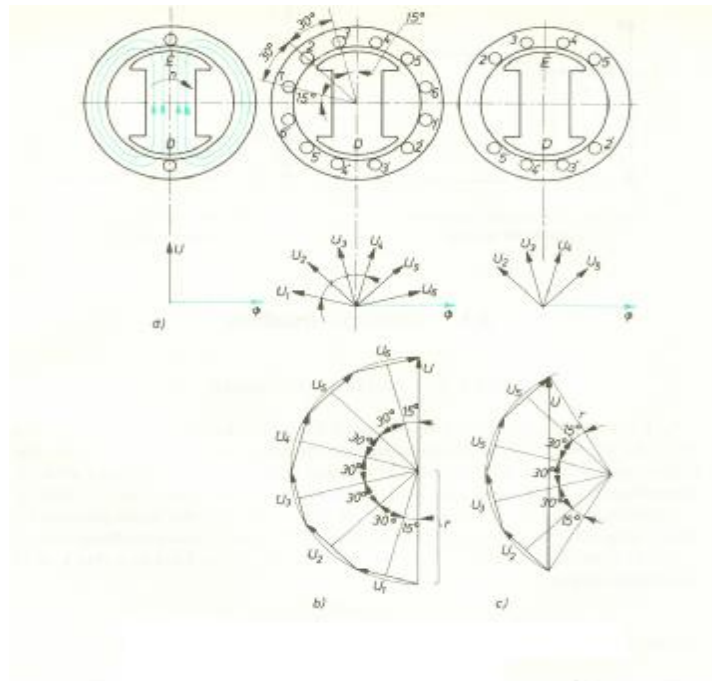
A tekercsoldalak összekötő vezetékai alkotják a tekercsfejeket. Ezeket az ábrán nem tüntettük fel. Ugyancsak hiányoznak az ábráról - a jobb áttekinthetőség kedvéért - az indukciójonalak is. Jegyezzük meg, hogy a tekercseket nem szükséges az előbb ismerteteti sorrendben összekötni. Más sorrendben is ugyanazt az eredő feszültséget kapjuk, csak az a lényeges, hogy vesszövel jelzett véget (pl.  $4'$ ) mindig jelzetlen véggel (pl.  $5$ ) kössük össze.

A tekercselési tényező. Az 5b ábrán a forgórészt az **a** ábra forgórészének helyzetében rajzoltuk meg. Fluxusának vektora is olyan helyzetű tekercsre vonatkozik, mint amilyen helyzetűt az **a** ábrán megrajzoltunk, de itt ilyen tekercs nincs. A 3 tekercs  $15^\circ$ -kal (a forgásirányhoz viszonyítva) „hátrább” van, ezért  $15^\circ$ -kal korábban indukálódott benne maximális feszültség. Így tüntettük fel az  $U_3$  feszültséget a vektorábrában. Ennél is  $30^\circ$ -kal korábban indukálódott az  $U_2$  feszültség maximuma a 2 tekercsben és további  $30^\circ$ -kal korábban indukálódott  $U_1$  maximális értéke.  $U_4$  maximuma  $U_3$  maximumához képest  $30^\circ$ -kal később indukálódik és így tovább  $U_5$  és  $U_6$  is  $30^\circ$ -ot siet  $U_4$  -hez képest. Mivel a tekercselemekben indukált feszültségek nincsenek egymással fázisban, nem algebrailag, hanem vektorosan adódnak össze. Ezt az összegezést is elvégeztük az 5b ábrán: az eredő  $U$  feszültség kisebb mint a tekercselemekben indukálódott feszültségek algebrai összege.

A tekercselemek számát  $q$ -val, az egy tekercselemben indukált feszültséget  $U_1$  -gyel jelölve (ábránkon  $q = 6$ ) az indukált feszültségek algebrai összege:  $qU_1$ . A tekercselési tényező

$$\xi = \frac{U}{qU_1}.$$

Tekercselési tényezőnek nevezzük a fázistekercs sorbakapcsolt tekercselemeiben indukált különböző fázisú feszültségek vektoros összegeként kapott eredő feszültség arányát az indukált feszültségek algebrai összegéhez. A tekercselési tényező mindig 1-nél kisebb. Az előbbi összefüggésből  $U = \xi qU_1$ .



Beláthatjuk, hogy a tekercsekben indukált feszültségek az összegező vektorábrán köríven helyezkednek el. Mennél több tekercset helyezünk el sűrűn a gép kerülete mentén a vektorábra annál jobban belesimul a körívbe. Ennek alapján jó közelítéssel

$$\xi = \frac{\text{húr}}{\text{ív}}$$

Mivel az 5b ábra összegző vektorábrája egy teljes félkört foglal el, az egyfázisú tekercselés tekercselési tényezője, a teljes gépkerület betekercselése esetén:

$$\xi = \frac{\text{húr}}{\text{ív}} = \frac{2r}{r\pi} = \frac{2}{\pi} = 0,64$$

Ez azt jelenti, hogy ha egy menet helyett  $N$  menetet kötünk sorba s azt elosztjuk a gép teljes kerülete mentén, akkor nem  $N$ -szeres, hanem csak  $\xi N$ -szeres, azaz ebben az esetben  $0,64 N$ -szeres feszültséget kapunk. Ez a megoldás gazdaságtalan, mert a tekercselés anyagának rossz kihasználását eredményezi. Jobb volna minden menetet koncentráltan közvetlenül egymás mellett egy horonypárban elhelyezni (5a ábra), mert akkor  $\xi = 1$ . Egy horonyban egyrészt csak korlátozott hely áll rendelkezésre, másrészt a szinuszos mezőeloszlás jobb megközelítése érdekében mégis csak szét kell osztani a meneteket a kerület mentén, de a gazdaságosság érdekében csak a kerület  $2/3$ -át tekercselik be. Ez a megoldás látható a c



A 6 ábrán a hornyok egymástól geometriaiag  $\alpha_g = 15^\circ$ -ra vannak. Egy póluspár alatti geometriai szöget villamosan  $360^\circ$ -nak tekintünk. Így  $p = 1$  esetén  $\alpha = \alpha_g$  ( $\alpha$ , a villamos szög),  $p = 2$  esetén  $\alpha = 2\alpha_g$  és általában:  $\alpha = p\alpha_g$ .

### A háromfázisú feszültség

A háromfázisú feszültség előállítására. A 8a ábra gépének állórészén három egy menetű tekercset (vezető keretet) helyeztünk el. Az első tekercs kezdete U1, vége U2. A második és harmadik tekercs kezdetei és végei V1 és V2, valamint W1 és W2. A kezdetek a gép kerülete mentén  $120^\circ$ -ra vannak egymástól. Az U fázishoz tartozó vezetőket zöld, a V fázishoz tartozókat fekete, a W fázis vezetőit piros karikával jelöltük. Az ábrázolt helyzetben az U fázis vezetőkeretének síkján áthaladó fluxus zérus. Ezt mutatja a vektorábra is. Ilyenkor az U fázisban a feszültség maximuma indukálódik. A U fázisban  $120^\circ$ -kal később, a W fázisban újabb  $120^\circ$  múlva indukálódik a feszültség maximuma.

Ha nagyobb feszültség szükséges, akkor a fázisonkénti vezetőkeretek számát meg kell növelni. Fázisonként három tekercselemet rajzoltunk a 8b ábrán. Ez fázisonként 6, összesen 18 hornyot jelent. A hornyok távolsága  $20^\circ$ , mert  $20^\circ \cdot 18 = 360^\circ$ . Az 1, 2 és 3 tekercselemekben indukált feszültségek között  $20^\circ$ -os fázisszög van. Az összegző vektorábrán láthatjuk, hogy a három feszültség egy félkör harmadához simul. tehát három fázis esetén a tekercselési tényező

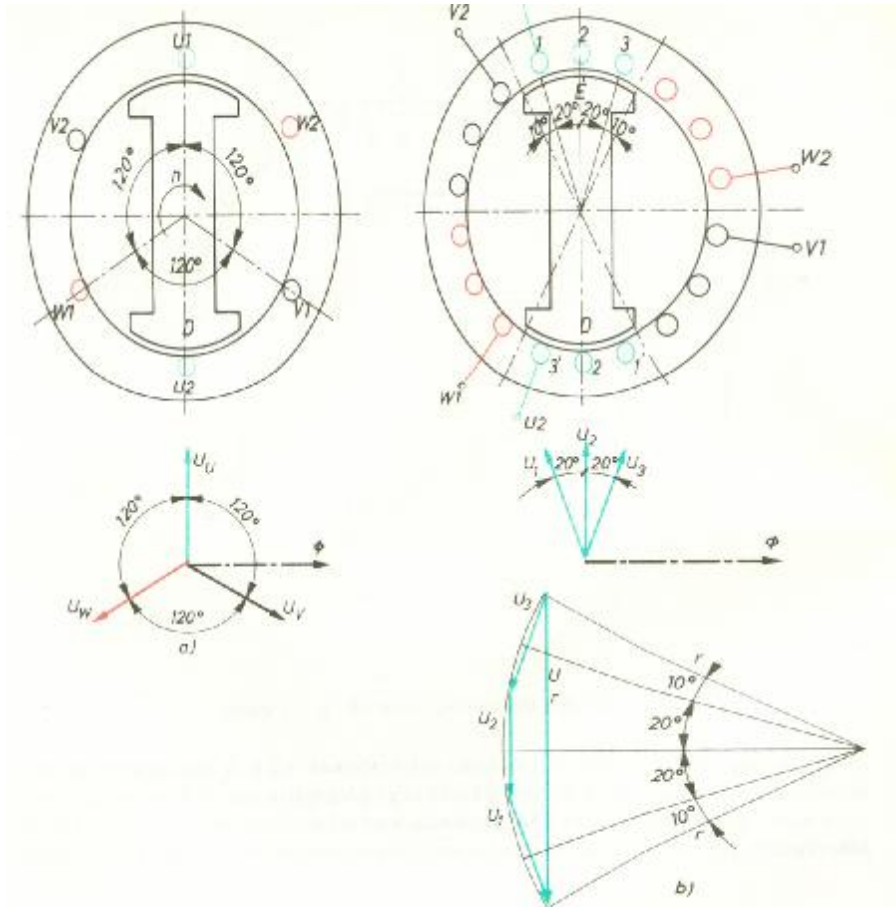
$$\xi = \frac{\text{húr}}{\text{ív}} = \frac{r}{\frac{r\pi}{3}} = \frac{3}{\pi} = 0,96$$

azaz jót megközelíti az egységet. (A húr azért  $r$ , mert egyenlő oldalú szabályos háromszög egyik oldala.)

A 9 ábrán  $p = 2$  póluspátú háromfázisú tekercselés látható. A hornyok geometriai szöge  $10^\circ$ , villamos szöge  $20^\circ$ . Az összes hornyok száma 36, ebből egy fázisra 12, fázisonként egy póluspárra 6, egy pólusra 3 jut. Az itt látható tekercselés tulajdonképpen a 8b ábra tekercselésének kétszerese. A tekercsetek fázisonként úgy kell összekötni, mint a 6 ábra egyfázisú tekercselésénél. A fázisok kezdetei (U1, V1 és W1) villamosan  $120^\circ$ -ra vannak egymástól.

A háromfázisú tekercselés forgó mágneses mezőt létesít, ha a térben  $\alpha = 120^\circ$ -ra elhelyezett tekercsetek egymáshoz képest  $120^\circ$ -os fáziseltolódású áramokkal gerjesztjük.





2N ultra Háromfázisú tekercselések: a) fázisonként egyetlen tekercs, b) fázisonként három tekercs



## Villamos gépek