

8. tétel

Ismertesse az aszinkron gép szerkezeti felépítését és működését!
Értelmezze az üresjárási állapothoz tartozó villamos jellemzőket!

Az aszinkron indukciós gép a leggyakrabban alkalmazott villamos forgógép. Szerkezete egyszerű, működése üzembiztos, beszerzési ára aránylag alacsony. Használható motorként és generátorként, de általában motorként alkalmazzuk.

A gép elnevezésében szereplő aszinkron szó azt jelenti, hogy általában nem szinkron fordulatszámmal jár. A gép azért indukciós, mert forgórészében a transzformátor szekunder tekercséhez hasonlóan feszültség indukálódik. Ez létesít abban áramot, tehát a forgórészbe általában kívülről nem vezetünk be áramot. A gépet röviden csak aszinkron gépnek is szokás nevezni.

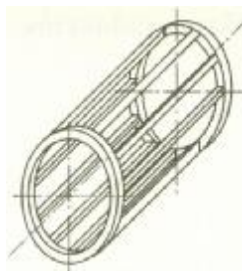
Az aszinkron gépek szerkezete és működése

Az aszinkron gépek lemezelt állórészének hornyaiban többfázisú, a leggyakrabban háromfázisú tekercselés van. Ha ezt a tekercselést megfelelő fázisszámú hálózatra kapcsoljuk, akkor a tekercsekben meginduló áramok forgó mágneses mezőt létesítenek. Ennek percnkénti fordulatszáma, azaz a szinkron fordulatszám:

$$n_0 = \frac{60f_1}{p}$$

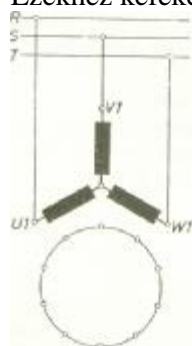
f_1 a hálózat frekvenciája, p a tekercselés póluspár-száma.

A forgó mágneses mező indukcióvonalai metszik az állórész tekercselését és a lemezelt forgórész hornyaiban elhelyezett vezetőket is. Az indukcióvonal-metszés következtében az álló- és a forgórészben feszültség indukálódik. A forgórész lehet kalickás (más néven: rövidrezárt), vagy tekercselt (más néven: csúszógyűrűs). A kalicka tulajdonképpen rövidre zárt rúdtekercselés.

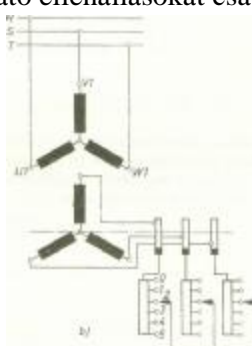


Kalicka

A tekercselt forgórész általában háromfázisú és tekercsvégeit csúszógyűrűkhöz vezetik. Ezekhez keféken keresztül változtatható ellenállásokat csatlakoztatnak



Kalickás gép



Kalickás gép

Az állórészben indukált feszültség egyensúlyt tart a hálózati feszültséggel. A hálózati feszültség és az indukált feszültség különbsége létesíti az állórész lekeresek áramát. A forgórészben indukált feszültség hatására a forgórész vezetőkeiben áram indul meg. A tekercselt forgórészű gépek forgórészében természetesen csak akkor, ha áramkörüket a csúszógyűrűk keféire kapcsolt rezisztenciákon át zárjuk, vagy közvetlenül rövidzárjuk. Az állórész forgó mágneses mezejének és a forgórész vezetőkeiben folyó áramoknak a kölcsönhatása nyomatékot létesít. Ez a gép hajtónyomatéka (M_h) A gép motorként működik. A hajtó nyomaték -a motor tengelyére ható terhelő nyomaték (M_t) ellenében - a forgórészt a mágneses mező forgásirányával megegyező irányban forgatja. Így érvényesül ugyanis Lenc törvénye, mely szerint az indukált feszültség által létesített áram hatásával mindig akadályozza a feszültséget indukáló okot. Itt a forgórészben azért indukálódik feszültség, mert a forgó mágneses mező metszi a forgórész vezetőkeit. Ez az indukáló ok. Ha a forgórész a mezővel azonos irányban forog, akkor csökken a mező és a forgórész viszonylagos fordulatszáma s ezért lassul az indukcióvonalmetszés.

A forgórész fordulatszáma üzemszerűen nem érheti el a szinkron fordulatszámot, azaz a forgórész nem foroghat együtt a forgó mágneses mezővel. Ha ugyanis együtt forognának, akkor nem volna indukcióvonal-metszés, nem indukálna feszültség, a forgórészben nem folya áram és ezért nem jönne létre hajtó nyomaték. Kis hajtó nyomatéokra még akkor is szükség van, ha a gép tengelyvége szabad, hiszen a forgórészre mindig hat a csapágy- és légsúrlódás- A motor forgórésze tehát a szinkronnál kisebb fordulatszámmal (n) jár. Szokás ezt aszinkron fordulatszámnak is nevezni.

Ha a motor tengelyére ható terhelő nyomatékot megnöveljük, akkor növekednie kell a hajtó nyomatéknak is. Nagyobb nyomatékot csak nagyobb forgórész-áram létesíthet. Nagyobb áramot csak nagyobb indukált feszültség képes létrehozni. Nagyobb feszültség csak úgy indukálódhat, ha a forgó mező indukcióvonalai nagyobb sebességgel metszik a forgórész vezetőit. A forgó mező viszonylagos fordulatszámának tehát meg kell növekednie. Ez csak úgy következhet be, ha a forgórész lassul.

A szinkron fordulatszám és a gép üzemi fordulatszáma közti eltérésre jellemző a szlip. A szlip megmutatja, hogy mialatt a forgó mágneses mező megtesz egy teljes fordulatot, azalatt a forgórész mennyivel (a teljes fordulat hányad részével) tesz meg kevesebbet. A forgórész percnként $n_0 \cdot n$ - fordulattal forog a szinkron fordulatszámánál kevesebbet. Ennek a viszonylagos fordulatszámának a mező egy fordulatára eső része éppen a szlip (s). Tehát

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0}$$

A szlip százalékokban is kifejezhető. Ekkor

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} 100$$

Ha a motor tengelyére nem hat terhelő nyomaték, akkor a forgórész majdnem szinkron fordulatszámmal forog, tehát a szlip elenyészően kicsi. A motort névleges nyomatékkal terhelve szlipje 0,04•0,07-re (azaz 4••7%-ra) növekszik.

A szlip ismeretében a fordulatszám:

$$n = n_0 - sn_0 = n_0 (1-s)$$

A táblázatban összefoglaltuk $f_1 = 50$ Hz frekvencia és $s = 0,04$ szlip esetére a különböző póluspár-számú motorok szinkron és aszinkron fordulatszámait.

Az aszinkron motor forgórészének árama is hoz létre mágneses mezőt. Ez az állórész mezejét csökkenti, de nem jelentősen, mert ha csökken az állórész mezeje, akkor csökken az állórészben indukált feszültség, növekszik a hálózati feszültség és az indukált feszültség különbsége, s ez nagyobb áramot indít meg az állórész tekercselésében, mely a mezőt közel eredeti értékére állítja vissza. Tehát, ha növekszik a motor terhelése, azaz forgórészének árama, akkor növekszik az állórész áram is.

A motor terhelésének növekedése tehát a fordulatszám csökkenésével és a hálózati áramfelvétel növekedésével jár.

Az aszinkron indukciós gép használható generátorként is. Generátoros működésére a későbbiekben visszatérünk.

A forgórész frekvenciája, indukált feszültsége és reaktanciája

Az állórészben folyó áram f_1 frekvenciája $f_1 = \frac{pn_0}{60}$.

n_0 fordulatszámmal forog a mágneses mező az állórészhez viszonyítva. Hasonló összefüggéssel számítható ki a forgórészben folyó áram f_2 frekvenciája is, csak n_0 helyébe a mágneses mezőnek a forgórészhez viszonyított n_0-n fordulatszámát kell írni. Tehát

$$f_2 = \frac{p(n_0 - n)}{60}$$

Bővítsük az egyenlet jobb oldalán lévő törtet n_0 -al, akkor $f_2 = \frac{pn_0}{60} \frac{n_0 - n}{n_0}$

Fz utóbbi összefüggésben a jobb oldalon álló első tört az f_1 frekvencia, a második a gép s szlipje, tehát $f_2 = sf_1$

A forgórész áramának frekvenciája az állórész frekvencia szlipszerese.

A forgórész f_2 frekvenciájú árama a forgórész körül $\frac{60f_2}{p}$ fordulatszámmal forgó mágneses

mezőt létesít. A fentiek szerint:

$$\frac{60f_2}{p} = \frac{60sf_1}{p} = \frac{60f_1}{p} \frac{n_0 - n}{n_0} = n_0 \frac{n_0 - n}{n_0} = n_0 - n$$

Ezzel a fordulatszámmal forog tehát a forgórész mezeje a forgórész körül. A forgórész mezejének az állórészhez viszonyított fordulatszámát úgy kapjuk meg, ha ehhez a fordulatszámhoz még hozzáadjuk a forgórész n fordulatszámát:

$$(n_0-n)-n + n = n_0$$

E szerint az álló és forgórész mezeje együtt forog és így lehetővé válik összekapcsolódásuk.

A forgórész frekvenciáját és a forgórész mágneses mezejének fordulatszámát azonos póluspár-számra határoztuk meg. E szerint a gép működésének feltétele, hogy az álló- és forgórész tekercselésének póluspár száma azonos legyen. A kalicka mindig az állórészszel azonos póluspár számú tekercselésként viselkedik. A levezetésekben sehol sem szerepel a fázisszám, tehát az álló- és forgórész tekercselése lehet különböző fázisszámú (csak egyfázisú nem, mert az nem hoz létre forgó mezőt).

A következőkben vizsgáljuk meg, hogy álló állapotban és különböző fordulatszámokon mekkora a szlip és a forgórész-frekvencia!

Álló állapotban ($n = 0$) a szlip: $s = 1$. Ez könnyen belátható, hiszen mialatt az állórész forgó mezeje egy fordulatot tesz meg, az alatt a forgórész nem tesz meg semmit, tehát egy fordulattal tesz meg kevesebbet. Kiszámítható a szlip-képletből is:

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} = \frac{n_0 - 0}{n_0} = 1$$

Álló állapotban a forgórész frekvenciája megegyezik az állórész frekvenciájával, mert

$$f_2 = sf_1 = 1f_1 = f_1$$

Álló állapotban tehát az aszinkron gép a transzformátorhoz hasonlóan viselkedik. A szinkron fordulatszámot a gép csak úgy érheti el, ha tengelyét egy másik géppel forgatjuk. Szinkron fordulaton ($n = n_0$) a szlip: $s = 0$. Ez természetes, hiszen ilyenkor a forgórész együtt forog a forgó mezővel. Ez ki is számítható:

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} = \frac{n_0 - n_0}{n_0} = 0$$

Szinkron fordulaton a forgórész frekvenciája is zérus, mert $f_2 = sf_1 = 0f_1 = 0$

Az állórész forgómezejével együttforgó forgórész tekercselésben nem indukálódik feszültség, áram se folyik, ezért forgórész frekvenciáról sem beszélhetünk.

A motor álló állapotból indul és terhelés nélkül megközelíti a szinkron fordulatszámot. E szerint fordulatszáma 0 és közel n_0 között változik, szlipje 1 és közel 0 között van.

Forgassuk a gépet a fargó mező forgásirányában kétszeres szinkron fordulatszámmal ($n = 2n_0$) Mialatt az állórész forgó mezeje megtesz egy fordulatot, az alatt a forgórész nem kevesebbet tesz meg, hanem éppen eggyel többet. Tehát $s = -1$. A szlip képletből is ezt az eredményt kapjuk:

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} = \frac{n_0 - 2n_0}{n_0} = -1$$

Tehát szinkron fordulatszám fölött a szlip negatív, mert a szinkron fordulattól való lemaradást jellemeztük pozitív szlippel, így a sietés lesz negatív.

Kétszeres szinkron fordulatszámon a forgórész frekvenciája az állórészével megegyezik:

$$f_2 = sf_1 = -1f_1 = -f_1 \text{ A negatív előjelnek itt nincs jelentősége.}$$

Ha a gépet mező ellen forgatjuk szinkron fordulatszámmal ($n = -n_0$), akkor mialatt az állórész forgó mezeje megtesz egy fordulatot, az alatt a forgórész szintén egy fordulatot tesz meg, de visszafelé, tehát két fordulattal tesz meg kevesebbet: $s = 2$. Számítással

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} = \frac{n_0 - (-n_0)}{n_0} = \frac{2n_0}{n_0} = 2$$

A forgórészt mező ellen forgatva a szlip egynél nagyobb. A forgórész frekvencia:

$$f_2 = sf_1 = 2f_1$$

Végtelen fordulatszámon ($n = \infty$) a szlip és a frekvencia is végtelen, hiszen

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} = \frac{n_0 - \infty}{n_0} = -\infty \text{ és } f_2 = sf_1 = -\infty f_1 = -\infty$$

Gyakorlatilag a végtelen fordulatszámnak jelentősége nincs, de a gép működésének megismerésében ez utóbbi két összefüggést fel fogjuk használni.

Az állórész tekercselésében indukált feszültség $U_{i1} = 4,44\Phi_m f_1 N_1 \xi_1$
Ahol Φ_m a forgó mágneses mező fluxusának maximális értéke, f_1 a hálózat frekvenciája, N_1 az állórész fázistekercsének menetszáma és ξ_1 az állórész tekercselési tényezője. A forgórész tekercselésében

Villamos gépek tantárgy tételei

$$U_{i2} = 4,44 \Phi_m f_2 N_2 \xi_2$$

feszültség indukálódik. N_2 a forgórész egy fázisának menetszáma, f_2 a forgórész frekvenciája és ξ_2 a forgórész tekercselési tényező. Álló állapotban $f_2 = f_1$, tehát a forgórészben álló állapotban

$$U_{i2a} = 4,44 \Phi_m f_2 N_2 \xi_2$$

feszültség indukálódik. A gép áttétele álló állapotban:

$$a_a = \frac{U_{i1}}{U_{i2a}} = \frac{4,44 \Phi_m f_1 N_1 \xi_1}{4,44 \Phi_m f_1 N_2 \xi_2} = \frac{N_1 \xi_1}{N_2 \xi_2}.$$

Forgás közben $f_2 = sf_1$. A forgórészben indukált feszültség forgás közben

$$U_{i2} = 4,44 \Phi_m sf_1 N_2 \xi_2$$

A forgás közben indukált feszültség képletét az álló állapotban indukált feszültség képletével összehasonlítva megállapíthatjuk, hogy

$$U_{i2} = sU_{i2a}.$$

A forgórészben forgás közben az álló állapotban indukált feszültség szlipszerese indukálódik.

Ha a motor tengelyén nincs terhelés, akkor közel szinkron fordulatszámmal forog, szlipje közel 0, tehát a forgórészben nagyon kis feszültség indukálódik. A tengelyt terhelve a szlip és ezzel a forgórész indukált feszültsége is növekszik. A nagyobb feszültség nagyobb forgórész áramot indít meg és ez adja a nagyobb nyomatékot. Forgó állapotban az áttétel:

$$a = \frac{U_{i1}}{U_{i2}} = \frac{U_{i1}}{sU_{i2a}} = \frac{a_a}{s}$$

Forgás közben tehát az áttétel az álló állapotban érvényes áttétel $1/s$ -szeresére változik.

Álló állapotban a forgórész tekercselés szórási reaktanciája:

$$X_{s2a} = \omega L_2 = 2\pi f_2 L_2 = 2\pi f_1 L_2,$$

ahol L_2 a forgórész önindukciós tényezője és figyelembe vettük, hogy álló állapotban $f_2 = f_1$.

Forgó állapotban tehát a szórási reaktancia forgó állapotban

$$X_{s2} = 2\pi sf_1 L_2 = sX_{s2a}.$$

Forgás közben a forgórész szórási reaktanciája az álló állapotban érvényes szórási reaktancia szlip-szeresére változik.

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy forgás közben a forgórész frekvenciája, indukált feszültsége és szórási reaktanciája az álló állapotban érvényes értékek szlip-szeresei.

Az energia útja az aszinkron motorban

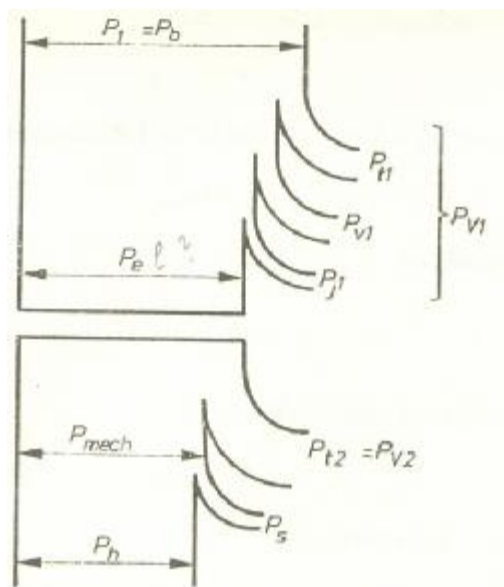
Az aszinkron motor a kapcsain bevezetett P_1 villamos teljesítményt mechanikai teljesítménnyé alakítja át miközben természetesen hővé alakuló veszteségek is keletkeznek. A teljesítményeket és a veszteségeket szemléletesen mutatja az ábra.

$$P_1 = 3 U_1 I_1 \cos \varphi_1,$$

U_1 az állórész egy fázistekercsére kapcsolt feszültség, I_1 a fázisban folyó áram., $\cos \varphi$ a köztük lévő fázisszög koszinusza.

Az állórész tekercseiben hővé alakuló tekercsvesztésé: $P_{t1} = 3 I_1^2 R_1$, ahol R_1 az állórész egy fázisának ellenállása.

A forgó mágneses mező - a lemezelés ellenére - vasvesztéséget is létesít az állórészben. Ezt P_{v1} -gyel jelöljük. Az állórészben létrejövő járulékos veszteség P_{j1} .



Az állórész összes vesztesége:

$$P_{VI} = P_{ti} + P_{vi} + P_{ji}$$

Az állórészből a forgórészbe a légrésen keresztül átmenő teljesítményt légrésteljesítménynek (P_l) nevezzük:

$$P_l = P_1 - P_{VI}$$

A légrésteljesítményt a szinkron fordulatszámmal forgó mágneses mező viszi át az állórésztől a forgórészre. A forgó mező hozza létre a nyomatékot is, tehát a légrésteljesítmény W -ban:

$$P_l = M\omega_{g0},$$

ahol M a gép nyomatéka Nm -ben, ω_{g0} pedig a forgó mágneses mező szinkron szögsebessége:

$$\omega_{g0} = \frac{2\pi n_0}{60}$$

A forgórész tekercsvesztése

$$P_{t2} = 3 I_2^2 R_2$$

I_2 a forgórész fázisárama, R_2 egy fázis ellenállása. A forgórészben a néhány százalékos üzemi szliphez tartozó kis frekvencia következtében elhanyagolható vas- és járulékos veszteség jön létre. Tehát a forgórész összes villamos vesztesége:

$$P_{V2} = P_{t2}$$

A tengelyen leadott mechanikai teljesítmény:

$$P_{mech} = P_l - P_{V2}$$

A mechanikai teljesítményt a gép az aszinkron fordulatszámon szolgáltatja, tehát

$$P_{mech} = M\omega_g$$

Ahol ω_g a forgórész aszinkron szögsebessége:

$$\omega_g = \frac{2\pi n}{60}$$

Az $n = n_0 - sn_0$ összefüggés alapján írható, hogy

$$\omega_g = \omega_{g0} - s\omega_{g0}$$

Ezt P_{mech} összefüggésébe helyettesítve:

$$P_{mech} = M(\omega_{g0} - s\omega_{g0}) = M\omega_{g0} - Ms\omega_{g0}$$

Ebből:

$$P_{mech} = P_l - sP_l = P_l(1 - s)$$

Az aszinkron motor mechanikai teljesítménye a légrésteljesítmény $(1-s)$ -szere.

Összehasonlítva az összefüggéseket megállapítható, hogy

$$P_{V2} = sP_l$$

Villamos gépek tantárgy tételei

Az aszinkron motor forgórészén hővé alakuló villamos veszteség a légrésteljesítmény szlisszerese.

A motor P_h hasznos teljesítménye a mechanikai teljesítménynél néhány százalékkal kisebb a P_s surlódási veszteség miatt:

$$P_h = P_{\text{mech}} - P_s$$

Ha az aszinkron motort terheljük, azaz mechanikai teljesítmény adására kényszerítjük, akkor feltétlenül létrejön a forgórészen villamos veszteség, amely a terhelés növekedésével a szlippel arányosan nő. Ez a megállapítás fordítva is igaz: Ha megnöveljük az aszinkron motor forgórészének villamos veszteségét, ekkor szlipje is megnövekszik. Ezt a tényt a motor fordulatszámának változtatására lehet felhasználni.