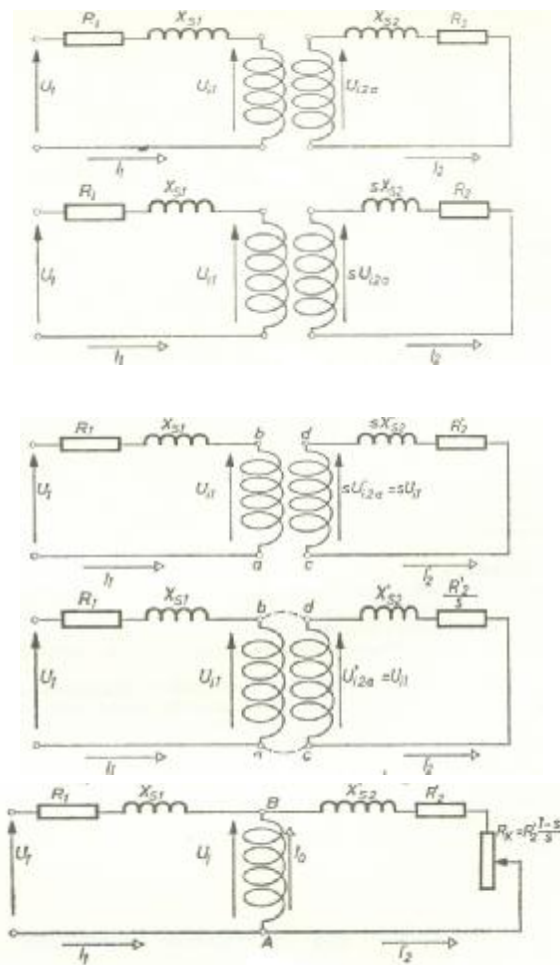


19. tétel.

Hogyan származtatható az aszinkrongép helyettesítő kapcsolási vázlata a transzformátoréból? Milyen elhanyagolásokkal hozható létre az egyszerűsített változat?

Az aszinkron gép helyettesítő kapcsolása alapján a gép működésének részletei - a transzformátorhoz hasonlóan - jobban megérthetők. A helyettesítő kapcsolás rezisztenciákat és induktív reaktanciákat tartalmaz, a feszültségek és az áramok szempontjából úgy viselkedik mint maga az aszinkron gép. Elég egy fázisra megrajzolni, mert a három fázis teljesen azonos.

Az ábra álló, rövidrezárt gépre vonatkozik, azaz kalickás vagy olyan tekercselt forgórészű gépre, melynek csúszógyűrűt közvetlenül rövidre zártuk. A forgó mágneses mezőnek az a része, mely az átló- és a forgórész vezetőit egyaránt metszi – melynek maximális értékét Φ_m -mel jelöltük - az állórész és a forgórész egy-egy fázistekercsében az U_{i1} és U_{i2a} feszültséget indukálja. Az álló- és a forgórésznek van szórt fluxusa. Ez az I_1 illetve az I_2 árammal arányos.



Az állórész szórt fluxusa csak az állórész vezetői körül záródik és nem metszi a forgórész vezetőit, a forgórész szórt fluxusa csak a forgórész vezetői körül záródik. E szórt fluxusok hatását -a transzformátornál tanultakhoz hasonlóan - az X_{s1} és X_{s2} szórási reaktanciákkal vehetjük figyelembe. Az álló- és a forgórész tekercselésének rezisztenciáját R_1 -gyel és R_2 -vel jelöljük. Az ábrán megrajzoltuk a szórástól és rezisztenciától mentes „ideális” tekercseket és ezekkel sorba kapcsoltuk szórási reaktanciáikat és rezisztenciáikat. Feltüntettük az ábrán az

U_1 hálózati feszültséget, az indukált feszültségeket valamint az álló- és a forgórész áramát. Az áramirányok megrajzolásánál figyelembe vettük, hogy az állórész áramot az U_1 hálózati feszültség, a forgórész áramot pedig az U_{i2a} feszültség létesíti.

Az ábra nem elég általános, hiszen csak álló állapotra vonatkozik. Forgó állapotra a 2. ábra vonatkozik. Forgás közben a forgórész frekvenciájának megváltozása miatt a forgórész indukált feszültsége és szórási reaktanciája s-szerese változik. A rezisztencia változatlan marad.

Célunk a transzformátorhoz hasonló helyettesítő kapcsolás lezármasztatása, ezért a két ideális tekercset egyesíteni kell. A transzformátornál ez egyetlen lépéssel, a redukálással sikerült. Itt két lépésre lesz szükségünk.

Első lépésben végezzük el a forgórész-mennyiségek redukálását az állórészre a transzformátornál megismert módon, az álló állapotra érvényes a_a áttétel segítségével:

$$\begin{aligned} U'_{i2a} &= a_a U_{i2a} = U_{i1} \\ R'_2 &= a_a^2 R_2 \\ X'_{s2} &= a_a^2 X_{s2} \\ I'_2 &= \frac{I_2}{a_a} \end{aligned}$$

A 3. ábrán a redukált mennyiségeket tüntettük fel. A forgás miatt az indukált feszültség és a szórási reaktancia s-szeres. Az a és c valamint a h és d pontok még nem köthetők össze, mert az indukált feszültségek még nem egyenlők.

Második lépésként a forgórész áramkörében végezzünk olyan átalakítást, hogy az indukált feszültségek váljanak egyenlőkké, de az I_2 áram ne változzék meg, hiszen ez hozza létre a gép nyomatékát. Ez azért lényeges, mert a helyettesítő kapcsolásból a nyomatékot is helyesen akarjuk majd meghatározni. Írjuk fel az I'_2 áramot, mint a forgórészben indukált feszültség és a forgórész impedancia hányadosát:

$$I'_2 = \frac{sU_{i1}}{\sqrt{R_2'^2 + s^2 X_{s2}'^2}}$$

Az egyenlet jobb oldalának számlálóját és nevezőjét osszuk el a szlippel, majd a nevezőben $\frac{1}{s}$ -t négyzetre emelve vigyük be a gyökjel alá:

$$I'_2 = \frac{U_{i1}}{\frac{1}{s} \sqrt{R_2'^2 + s^2 X_{s2}'^2}} = \frac{U_{i1}}{\sqrt{\left(\frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{s2}'^2}}$$

Változatlan marad tehát az I'_2 áram, ha a feszültséget sU_{i1} -ről U_{i1} -re, a reaktanciát sX_{s2}' -ről X_{s2}' -re és a rezisztenciát R_2' -ről $\frac{R_2'}{s}$ -re változtatjuk. Ezt az állapotot tükrözi a 4. ábra.

Érdekes, hogy ezzel az átalakítással a forgórész reaktancia a szliptől függetlenné, a rezisztencia a szliptől függővé vált. A valóságban természetesen mindig a reaktancia függ a szliptől.

Most már az indukált feszültségek egyenlők, tehát az a és c, valamint a b és d pontok egymással összeköthetők. Így jutunk az 5. ábrához. Ebben az ábrában az R_2'/s rezisztenciát két részre bontottuk. Az egyik a szliptől független R_2' , a másikat R_k' vel jelöljük:

$$\frac{R_2'}{s} = R_2' + R_k'. \text{ Ebből}$$

$$R_k' = \frac{R_2'}{s} - R_2' = \frac{R_2' - sR_2'}{s} = R_2' \frac{1-s}{s}$$

A helyettesítő kapcsolásban a forgórésznek megfelelő körben most már tehát csak az R_k ellenállás függ a szlipről. Mivel a szlip a terhelés függvénye, azt is mondhatjuk, hogy R_k a terheléstől függ. Az ábrára tekintve megállapíthatjuk, hogy az aszinkron gép helyettesíthető kapcsolása a transzformátoréhoz hasonló. A terhelés az R_k ellenállás.

Az állórészből a forgórészben P_1 teljesítmény megy át. Ez a valóságban részben mechanikai teljesítménnyé, részben hővé alakul az R_2 ellenálláson.

$$P_1 = P_{V2} + P_{\text{mech}}$$

A hővé alakuló teljesítmény a három fázisban a redukálás előtti és utáni mennyiségekkel felírva:

$$P_{V2} = 3I_2'^2 R_2 = 3I_2'^2 R_2', \text{ tehát } P_1 = 3I_2'^2 R_2' + P_{\text{mech}}.$$

A helyettesítő kapcsolásban a P_1 teljesítmény az R_2 és az R_k rezisztenciákon teljes egészében hővé alakul:

$$P_1 = 3I_2'^2 R_2' + 3I_2'^2 R_k'$$

A két utóbbi összefüggést összehasonlítva megállapíthatjuk, hogy a helyettesítő kapcsolás R_k rezisztenciáján hővé alakuló teljesítmény a valóságos gép mechanikai teljesítményével egyezik meg:

$$P_{\text{mech}} = 3I_2'^2 R_k' = 3I_2'^2 R_2' \frac{1-s}{s}$$

A helyettesítő kapcsolás használatakor tisztában kell lennünk azzal, hogy a valóságban a gép forgórészének áramkörében nincs bekötve az R_k ellenállás, de a gép s szlip esetén úgy viselkedik -azaz akkora áramot vesz fel és akkora a légrésteljesítménye - mint az álló motoré bekötött R_k ellenállással.

Az aszinkron gépek terhelési állapotai

Üresjárás. A transzformátor akkor jár üresen, ha szekunder oldalán nem folyik áram. Ehhez hasonlóan az aszinkron gép is akkor van üresjárási állapotban, ha $I_2 = 0$. A forgórészben akkor nem folyik áram, ha nem indukálódik benne feszültség. Ez csak szinkron fordulatszám ($n = n_0$), azaz $s = 0$ szlip esetén fordulhat elő.

Az aszinkron gép tehát akkor van üresjárási állapotban, ha szinkron fordulatszámmal forog (ideális üresjárás).

Ez a megállapítás teljesen általánosan kalickás és tekercselt forgórészű gépekre egyaránt igaz. Tekercselt gépeknél az $I_2 = 0$ állapot nyitott csúszógyűrűk mellett álló állapotban is megvalósítható (transzformátoros üresjárás).

A gyakorlatban üresjárásnak nevezik azt az állapotot is, amikor a gép tengelye terheletlenül forog (valóságos üresjárás). Tudjuk, hogy fordulatszáma ilyenkor csak megközelíti a szinkron fordulatszámot, folyik forgórész-áram, hiszen a súrlódási nyomaték legyőzésére a gépnek hajtó nyomatékot kell kifejtenie. Ideális üresjárási állapot csak úgy valósítható meg, ha a tengelyt külső nyomatékkal hajtjuk.

A helyettesítő kapcsolásban üresjárásban, azaz $s = 0$ szlip esetén

$$R_k' = R_2' \frac{1-s}{s} = \infty$$

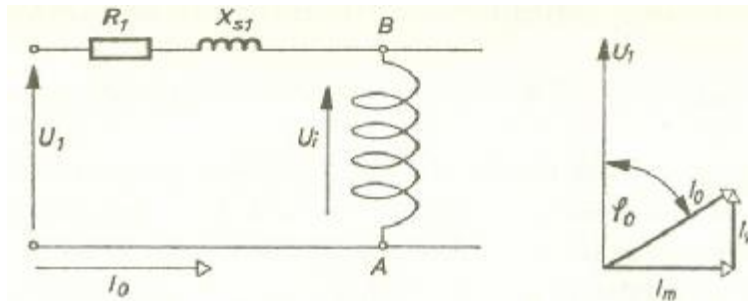
Ugyanis s a nevezőben is szerepel, tehát ha s csökken, akkor R_k' nő, ha s nagyon kicsi, akkor R_k' igen nagy és ha s zérushoz tart, akkor R_k' értéke közeledik a végtelenhez. Végtelen nagy R_k' esetén $I_2' = 0$. Tehát a helyettesítő kapcsolás helyesen tükrözi az üresjárási állapotot.

Üresjárásban a helyettesítő kapcsolásnak a forgórészt helyettesítő részét felesleges megrajzolni, hiszen abban úgy sem folyik áram.

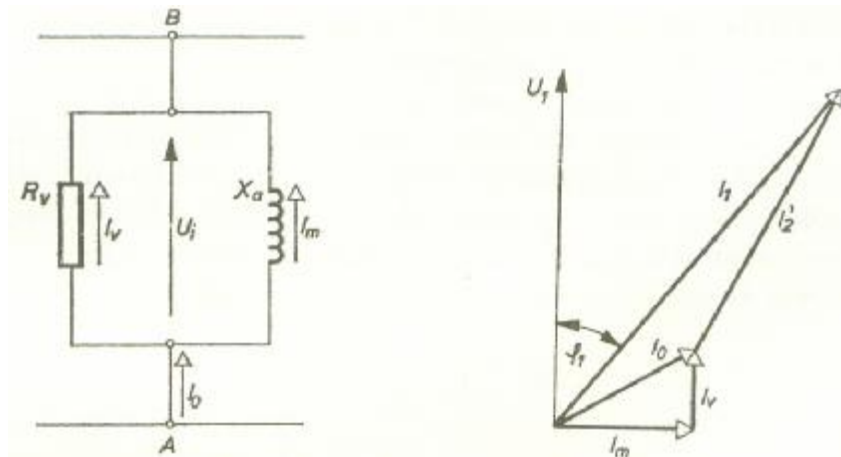
Az állórész áramát üresjárásban I_0 -al jelöljük. Ez az aszinkron gép üresjárási árama. Elsősorban a forgó mágneses mezőt gerjeszti, ezért erősen induktív jellegű. Az üresjárási $\cos \varphi \approx 0,1$.

I_0 két összetevőre bontható. Az I_m mágnesező összetevő az indukált feszültséghez képest 90° -ot késik. Ez gerjeszti a mágneses mezőt. I_v az indukált feszültséggel fázisban van, a vasvesztéséget fedezi. U_1 és U_i közel fázisban van, ezért az ábrán U_i , helyett U_1 -et rajzoltuk meg.

Az üresjárási áram két összetevője alapján a helyettesítő kapcsolás áthidaló ágát, az ideális tekercset, helyettesíthetjük-a transzformátornál tanultakhoz hasonlóan - párhuzamosan kapcsolt rezisztenciával és induktív reaktanciával. Az R_v ellenálláson I_v az X_a reaktancián I_m áram folyik.



Üresjárási helyettesítő kapcsolás és vektorábra



Helyettesítő kapcsolás áthidaló ága

Terhelési vektorábra

Az aszinkron gép üresjárási árama a transzformátorénál nagyobb, mert míg a transzformátor vasmagja zárt, addig az aszinkron gépnél a fluxus útjában van az álló- és forgórész közötti légrés.

$$I_0 \approx 1/4 \dots 1/2 I_{1n}$$

I_{n1} a gép névleges állórész árama.

Üresjárásban $P_1 = 0$ és $P_{\text{mech}} = 0$. Ez természetes, mert ha a forgórészben nem folyik áram, akkor ez azt jelenti, hogy az állórészből nem jön át teljesítmény a forgórészbe.

Ha az aszinkron gép tengelyét nyomatékkal terheljük, tehát a gépet motorként üzemeltetjük, akkor fordulatszáma csökken, szlipje növekszik és már folyik a forgórészben áram. A forgórész-áram annál nagyobb, mennél nagyobb a terhelés. A szlip növekedtével ($1-s$)/s

számlálója csökken, nevezője növekszik, tehát R_k' csökken és ezért I_2' nő. Természetesen I_2' -vel együtt növekszik I_1 is.

Az I_1 áram az állórész R_1 rezisztenciáján és X_{s1} , reaktanciáján feszültségesést létesít. Aszinkron gépeknél a légrés miatt nagyobbak a szórt fluxusok és ezért nagyobbak a szórási reaktanciák is, mint a transzformátoroknál. A nagyobb reaktancián létrejövő nagyobb feszültségesés miatt U_i , nem tekinthető állandónak, mint transzformátornál. U_i , a terhelés növekedésével csökken, tehát csökken az áthidaló ágon az U_i feszültség által áthajtott áram is. Üresjárásban U_i az áthidaló ágon I_0 áramot létesített. Terheléskor ez az áram csökken. Névleges terhelésig I_0 csökkenése még nem jelentős. Írjuk fel a csomóponti törvényt az A csomópontra!

$$I_1 = I_0 + I_2'$$

Ennek alapján rajzoltuk meg a terhelési vektorábrát.

Terheléskor a légrésteljesítmény a helyettesítő kapcsolásban az R_2' és az R_k' , azaz az R_2'/s rezisztencián hővé alakul, tehát

$$P_1 = 3I_2'^2 \frac{R_2'}{s}$$

A mechanikai teljesítmény $P_{\text{mech}} = P_1 (1 - s) = 3I_2'^2 R_2' \frac{1-s}{s}$

A gép nyomatéka $M = P_1 / \omega_{g0}$

Az aszinkron motort egyre nagyobb nyomatékkal terhelve fordulatszámja egyre jobban csökken, szlipje és árama növekszik. Nagy túlterhelésnél a gép megáll. Ilyenkor $s = 1$ és a helyettesítő kapcsolásban

$$R_k' = R_2' \frac{1-s}{s} = 0$$

Az 5. ábra -- $R_k = 0$ esetén - ugyan olyan, mint egy rövidrezárt transzformátor helyettesítő kapcsolása, ezért az aszinkron gépnek ezt a terhelési állapotát rövidzárásnak nevezzük.

Rövidrezárt állapotban van tehát a. aszinkron motor, ha áll. Tekercselt forgórészű gép akkor van rövidrezárt állapotban, ha áll és csúszógyűrűk rövidre vannak zárva.

A rövidzárási teljesítménytényező $\cos \varphi_z \approx 0,2 \dots 0,5$

Az állórész rövidzárási árama $I_{1z} = 3 \dots 9 I_{1n}$, tehát -a transzformátoréval összehasonlítva - rányilag kicsi, mert nagyok a szórási reaktanciák. Ez az áram ezért elég nagy ahhoz, hogy rövidzárársban a motor rövid idő alatt tönkremenjen.

Rövidzárársban a légrésteljesítmény $P_1 = 3I_2'^2 R_2'$.

Ebből meghatározható a gép nyomatéka álló állapotban. Mechanikai teljesítmény rövidrezárásban nincs, hiszen a teljesítmény az $M \times n$ szorzattal arányos és rövidzárársban $n = 0$.

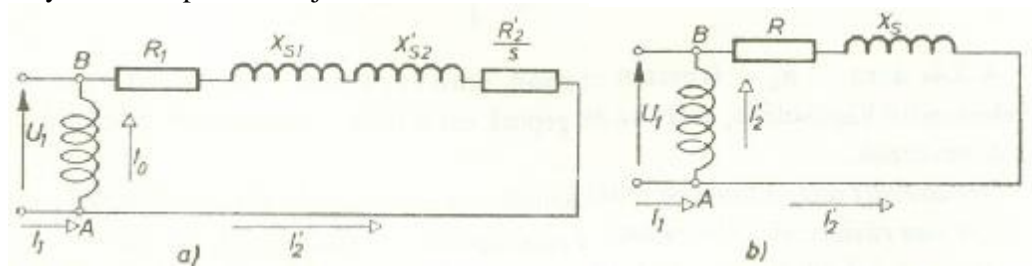
A rövidzárárs nem különleges, ritkán előforduló üzemállapot. Amikor a gépet hálózatra kapcsoljuk, még áll, tehát a kalickás forgórészű gép ilyenkor mindig rövidzárársban van. A fellépő nyomaték a motor indító nyomatéka. tekercselt forgórészű gépeknél ez az állapot akkor fordul elő, ha rövidrezárt csúszógyűrűkkel indítjuk

A gép viselkedése végtelen fordulatszámom. Ha $s = \infty$ $R_2' / s = 0$, azaz a helyettesítő kapcsolásban a forgórésznek nincs rezisztenciája, csak reaktanciája. Ha nincs rezisztencia, akkor nincs hővé alakuló teljesítmény se, azaz végtelen szlipnél $P_1 = 0$.

Az egyszerűsített helyettesítő kapcsolás

A helyettesítő kapcsolás áthidaló ágán az U_i feszültség létesíti az I_0 áramot. U_i nem állandó és ezért I_0 sem az, de gyakran nem követünk el nagy hibát, ha U_i -t és I_0 -t állandónak tekintjük,

sőt U_i -t azonosnak vesszük U_1 -gyel. Ez azt jelenti, hogy az. áthidaló ágat áthelyezzük a helyettesítő kapcsolás elejére.



A rezisztenciák és a reaktancák összeadásával a b. ábrához jutunk. Itt

$$R = R_1 + \frac{R_2}{s} \text{ és } X_s = X_{s1} + X_{s2}$$