

Dr. Rethy Gyula

Villamos energia-átalakítók 1.

9. ASZINKRON GENERÁTOR ÖNGERJEDÉSE

86 műnck

görbét, változó-
ását az I_2 isme-

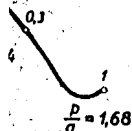
e kell azonban

t számítjuk ki
andó $\alpha = 180^\circ$
lip mellett p/a
e. A 8.25. ábra
a különböző p/a

Eddigi tanulmányaink folyamán láttuk, hogy kivéve a hátsó gépekkel gerjesztett aszinkron motor esetét, az aszinkron gép a mágnesezéséhez szükséges wattnélküli teljesítményét a hálózathoz veszi. Ez ökből aszinkron gép, mint generátor önállóan nem működhet, mert ez esetben is a gép gerjesztését a táplált hálózathoz kell venni. Bizonyos körülmények között azonban, amikor az aszinkron gép kapcsaihoz kapacitív jellegű áramkör csatlakozik, az aszinkron generátor magától felgerjedhet, és mint önálló generátor képes teljesítményt szolgáltatni.

A 6.7. fejezetben foglalkoztunk az aszinkron gép generátoros üzemével, ahol, mint fentebb említettük, láttuk, hogy az aszinkron generátort csak akkor tarthatjuk üzemben, ha megfelelő állandó periódusszámú és állandó feszültségű hálózat áll rendelkezésre, amely a szükséges mágnesező wattnélküli teljesítményt szolgáltatja. Miután sztatikus kondenzátorok is képesek wattnélküli teljesítményt szolgáltatni, ezért közelítőleg a gondolat, hogy olyan aszinkron generátorok, amelyeknek kapcsolata sztatikus kondenzátorokat kapcsolunk, képesek önálló generátorként működni. Valóban, ha az aszinkron gépet, külső hajtóerővel tartjuk forgásban és az állórész kapcsolata kondenzátorokat kapcsolunk, vagy olyan hálózattal kapcsoljuk össze, amelynek tekintélyes kapacitása van, akkor a gép magától felgerjed és felgerjedt állapotában teljesítményt szolgáltatására is képes.

Bár egészen különleges alkalmazásoktól eltekintve, az aszinkron gépet, mint önálló generátort nem szokták alkalmazni, az aszinkron generátor öngerjedési jelensége mégis nagyfontosságú üzemi szempontból. Ugyanis egyre több lesz a különböző villamos energia fogyasztói helyeken és különösen aszinkron motoros fogyasztók közelében elhelyezett sztatikus fázisjavító kondenzátorok száma. Az 5 és 10 éves államgazdasági terveink módszeresen gondoskodnak a fázistényezőnek sztatikus kondenzátorokkal történő általános javításáról. Miután az aszinkron motornak éppen az az egyik legnagyobb hiányossága, hogy a terhelés csökkenésével erősen romlik a primer fázistényező, ezért a gyakorlatban a fázistényező javítását sok esetben közvetlenül a motornál felállított sztatikus kondenzátorral végzik. Így azután az az aszinkron motor, amelyet a hálózatról való lekapcsolás után pl. a vele mechanikailag együttforgó tömegek forgásban tartanak, a fázisjavító kondenzátor hatására felgerjedhet és a kapcsolai mindaddig képes feszültséget adni, sőt teljesítményt is szolgáltatni, amíg még elég nagy fordulatszámmal forog. Ha ezt a körülményt nem ismerjük, vagy nem tulajdonítunk fontosságot e kérdésnek, akkor könnyen következhet be baleset, vagy üzembizavár. Ezen túlmenően többször találkozunk kisebb elosztó hálózathoz kapcsolódó vízerőművekkel, amelyekben az egyszerűség kedvéért aszinkron generátort alkalmaznak. Aszinkron generátornak ilyen irányú felhasználása gazdasági terveinkben szereplő törpevízerőművek építésével kapcsolatban egyre nagyobb teret fog kapni. Mivel ilyen esetben is szokásos fázisjavítás céljára sztatikus kondenzátort alkalmazni, ezért a biztonsági megszakító berendezéseket az aszinkron gép felgerjedési jelenségeinek ismeretében megfelelően kell megválasztani és alkalmazni. Ha az aszinkron generátor, amely nagyobb kiterjedésű hálózathoz csatlakozik, e hálózattal akkor is összeköttetésben marad, ha a hálózat felőli feszültség valamilyen kapcsolási művelet, vagy meghibásodás miatt megszűnik, akkor a generátor még külön sztatikus kondenzátorok alkalmazása nélkül, a hálózati kapacitás hatására is felgerjedhet. Ez az eset külön-

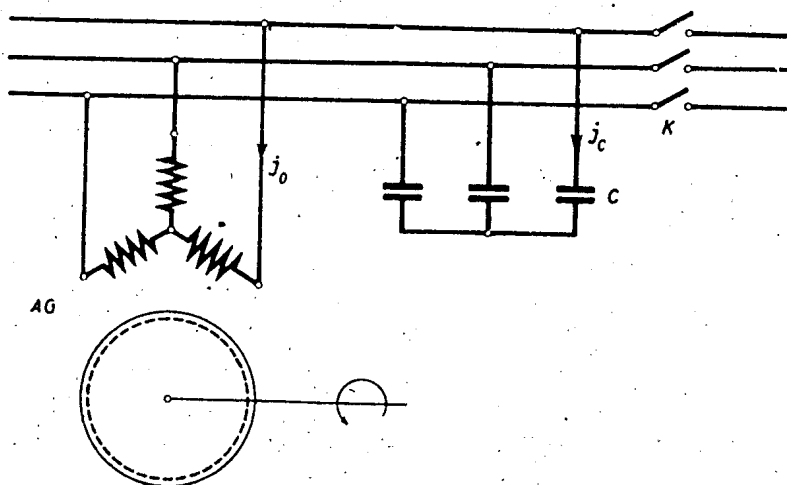


$\frac{p}{a} = 1,68$

diagrammjai

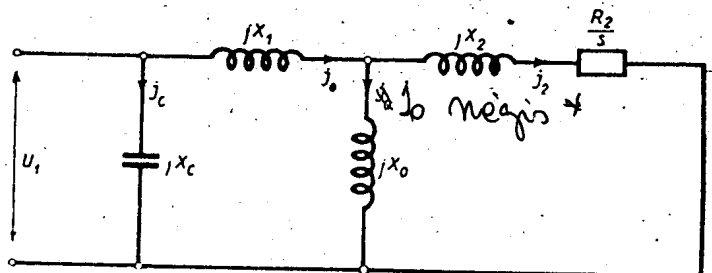
nösen veszélyes, ha a hálózaton abban a tudatban, hogy a táplálási feszültség kima-
radt, dolgozni kezdenek. Szükséges tehát foglalkozni az aszinkron generátor önger-
jedési kérdéseivel.

Elsősorban a kondenzátorral gerjesztett aszinkron generátor üresjárási állapotát
vizsgáljuk. A 9.1. ábrán látjuk az aszinkron generátor (AG) kapcsolását. A generátor
állórész tekercselésének kapcsaira háromfázisú sztatikus kondenzátort kapcsoltunk.



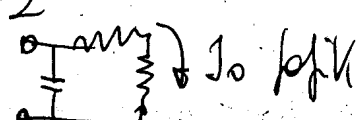
9.1 ábra. Kondenzátorral gerjesztett aszinkron generátor kapcsolási vázlatja üresjáráskor

A K kapcsoló nyitva van és az aszinkron generátor — amelyet pl. vízturbina
hajt — üresjárásban szalad. Hogy az aszinkron generátor felgerjedési jelenségét meg-
érthessük, felrajzoljuk a generátor helyettesítő kapcsolását a kondenzátorral (lásd
9.2 ábrát). Egyelőre feltételezzük anélkül, hogy a felgerjedési folyamattal közelebbről
foglalkoznánk, hogy a generátor a kondenzátor hatására felgerjed és a forgórészt
forgatva a kapcsokon állandó periódusszámú feszültség jelenik meg: Állórész veszteség



9.2 ábra. Üresjárásban kondenzátorral gerjesztett aszinkron generátor helyettesítő kapcsolása

nélküli gépet képzelünk. Az aszinkron gép súrlódási veszteségeit a hajtógép fedezi
és miután nincs állórészveszteség és a külső körben levő kondenzátort is veszteség-
mentesnek képzeljük, ezért a forgórésznek a gép felgerjedt állapotában üresjáráskor
nem lesz szlipje az állórész forgómezőhöz képest, a forgórészben így áram nem foly-
nik. A valóságban ezzel szemben a forgórész üresjáráskor egészen kis negatív szlippel fog
jágni, mert mint aszinkron gép csak ilyen módon képes az állórész és kondenzátor

* mivel $S \approx 0$ $\frac{R_2}{s} \rightarrow \infty$ a jobb pólusra a szlip $s \rightarrow 0$
($j_2 = 0$)


i feszültség kima-
generátor önger-

esjárás állapotát
ását. A generátor
tort kapcsoltunk.

vesztességi teljesítményét szolgáltatni. Üresjárásban a gép állórész árama (I_0) és a kondenzátor árama (I_c) egyenlő nagyságok:

$$I_0 + I_c = 0 \quad (9.1)$$

A helyettesítő kapcsolás alapján: $I_c = -\frac{U_1}{jX_c}$, $X_c = \frac{1}{C\omega}$

$$\text{és} \quad \frac{I_c}{U_1} = j\omega C \quad (9.2)$$

Magára a generátorra az ismert összefüggés alapján az állórész kapcsokra vonatkozó impedancia z_0 szlipnél:

$$Z_0 = jX_1 + \frac{jX_0 \left(jX_2 + \frac{R_2}{s_0} \right)}{j(X_0 + X_2) + \frac{R_2}{s_0}}$$

*2. módszer + egy párhuzamos
(koncentrikus)
áramú* (9.3)

Az üresjárási áramerősség $I_0 = \frac{U_1}{Z_0}$ és a (9.3) felhasználásával:

$$\frac{I_0}{U_1} = \frac{j(X_0 + X_2) + \frac{R_2}{s_0}}{-(X_1 X_0 + X_2 X_0 + X_1 X_2) + j(X_1 + X_0) \frac{R_2}{s_0}} \quad (9.4)$$

(9.1), (9.2) és (9.4)-ből

$$\frac{I_c + I_0}{U_1} = \frac{j(X_0 + X_2) + \frac{R_2}{s_0}}{-(X_1 X_0 + X_2 X_0 + X_1 X_2) + j(X_1 + X_0) \frac{R_2}{s_0}} + j\omega C = 0$$

$$X_1 = \omega L_1, \quad X_2 = \omega L_2 \quad \text{és} \quad X_0 = \omega L_0$$

helyettesítéssel:

$$j(L_2 + L_0)\omega - j\omega^3 C(L_1 L_0 + L_2 L_0 + L_1 L_2) + \frac{R_2}{s_0} [1 - C(L_1 + L_0)\omega^2] = 0 \quad (9.5)$$

A (9.5) kifejezés csak akkor lehet nullával egyenlő, ha mind a képzetes, mind a valós rész külön-külön 0-val egyenlő. E feltétel a valós részre a következő eredményt szolgáltatja:

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{(L_1 + L_0)C}} \quad \text{nagy indukciós kis kapacitás} \quad (9.6)$$

ω_1 csak akkor lehet a (9.5) egyenlet gyöke, ha behelyettesítésekor a képzetes rész is 0. Üresjárás esetén ez gyakorlatilag teljesül, mert s_0 közel 0 és így a valós részben szereplő R_2/s_0 nagy értéke mellett a képzetes rész elhanyagolható. Fordítva, ha s_0 nagy és így R_2/s_0 kicsi, akkor a (9.5) egyenlet valós része hanyagolható el és a képzetes részből:

$$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{\left(L_1 + \frac{L_2 L_0}{L_2 + L_0} \right) C}} \quad \text{helyett jobb a kis ind. nagy C} \quad (9.7)$$

C helyére 2C $\omega_2 \rightarrow 0,71 \omega_{eredet}$
C helyére 4C $\omega_2 \rightarrow 0,5 \omega_{eredet}$

$$L = \frac{1}{C 4\pi^2 f^2} = \frac{10^6}{75 \cdot 4 \cdot 10^2 \cdot 2500} = \frac{10}{75} = 0,135 \text{ H}$$

data üresjáráskor

t pl. vízturbina
i jelenségét meg-
lenzátorral (lásd
attal közelebbről
és a forgórészt
állórész veszteség

on

hajtógép fedezi
rt is veszteség-
an üresjáráskor
m nem folynék;
atív szlippel fog
és kondenzátor

A (9.6) és (9.7) összefüggések megmutatják, hogy a primer frekvenciának az aszinkron-gép kondenzátorral történő öngerjedésénél két értéke lehetséges. Az elsőnél (ω_1) a (9.6) összefüggés szerint az aszinkron gépnek az $s_0 = 0$ -hoz tartozó induktivitása a C kondenzátor kapacitással rezonáns áramkört alkot, amelynek saját frekvenciája egyúttal a generátor primer frekvenciája is. Mivel ennek az állapotnak üresjárásnak kell lennie, ω_1 -nek a forgórész szögsebességével (villamos szögben mérve) kell egyeznie. Ezért a gép akkora feszültségre fog felgerjedni, amelynél a telítés hatására az $L_1 + L_0$ érték a (9.6) összefüggést teljesíti.

A második esetben a (9.7) összefüggés alapján az aszinkron gépnek az $s_0 = \infty$ sziliphez tartozó induktivitása alkot a kondenzátorral rezonáns kört. Ennek a rezonáns frekvenciának az üzem szempontjából gyakorlati jelentősége nincsen. Végeredményben, ha a felgerjedési folyamat végbement, akkor kb. a forgórész fordulatszámának és a pólusszámnak megfelelő üresjárási periódusszám fog az állórész kapesokon jelentkezni. Az öngerjesztő aszinkron generátor üresjárásban az állórész periódusszám és a forgórész fordulatszám összefüggés tekintetében úgy viselkedik, mintha szinkron gép lenne. Ha a fordulatszámot csökkentjük, akkor amíg a felgerjedt állapot tart, az állórész periódusszám a fordulatszám és pólusszám által megadott értékű lesz (pl. 4 pólus esetén $n = 1200/\text{perc-nél } 40 \text{ Hz}$). Növekvő fordulatszámnal az egyszer felgerjedt gép gerjesztve marad üresjárásban és a primer periódusszám növekvő fordulatszámmal arányosan növekedni fog.

Fentieket előrebocsátva részletesebben foglalkozunk magával a felgerjedés jelenségével. Eddig aszinkron gépek vizsgálatánál X_0 értékét általában állandónak vettük, vagyis bizonyos telítést feltételezve, a permeabilitást állandó értékűnek tételeztük fel. A felgerjedés jelenségének vizsgálatánál e szemlélettől el kell térnünk. Ugyanis amint láttuk, felgerjedt állapotban a gép mágnesező áramának a kondenzátorárammal, valamint a kondenzátorfeszültségnek a gépfeszültséggel kell egyenlőnek lennie. Mind a kondenzátornak, mind az üresen járó aszinkron gépnek megvan azonban a maga feszültség-áram jelleggörbéje és e két jelleggörbe független egymástól. A felgerjedt állapot feltétele tehát csak akkor nyerhet kielégítést, ha a két jelleggörbe metszi egymást. Ez a metszés valóban csak akkor következhet be, ha a kondenzátor egyenes (a kondenzátoráram a feszültség függvényében) metszi az aszinkron-gép üresjárási jelleggörbéjét (a mágnesező áram a kapcsolófeszültség függvényében, lásd 9.3/a. ábra). A felgerjedésnek tehát az a feltétele, hogy az aszinkrongép telítési görbéjét a kondenzátor egyenes messe. Ha a gép telítési görbéjének a kezdeti egyenes részéhez tartozó induktivitását X_{0i} -vel jelöljük, akkor a biztos felgerjedés feltétele:

$$X_1 + X_{0i} > X_c \quad (9.8)$$

Ha $X_1 + X_{0i} = X_c$, tehát a kondenzátor egyenes egybeesik a telítési görbe kezdeti, telítetlen állapotnak megfelelő egyenes részével, akkor a felgerjedés teljesen bizonytalan, általában nem következik be, mert a két görbének végtelen sok metszéspontja van. Végül, ha $X_1 + X_{0i} < X_c$, akkor felgerjedés egyáltalában nem következhet be.

A felgerjedés folyamata a névleges periódusszámnak megfelelő fordulatszámmal hajtott aszinkrongépénél hosszabb, rövidebb idő alatt következhet be a kondenzátornak az állórész kapesokra történt kapcsolása után. A felgerjedés az egyenáramú gépek öngerjesztéséhez hasonlóan csak akkor történhet meg, ha a forgórésznek van remanens mágnessége, aminek hatására a pólusszámnak megfelelő forgórészmező kialakulhat. Ha ez a remanens mágnesség nagyon kis értékű, a felgerjedés hosszabb, ha nagyobb értékű, rövidebb ideig tart. Ha a gépnek, illetve a gép forgórészének nincs remanens mágnessége, akkor az öngerjesztés bevezetésére több lehetőség kínálkozik: vagy rövid időre összekapcsoljuk az állórészt feszültség alatt levő hálózattal és azután a gépet

ak az aszinkron-
Az elsőnél (ω_1)
zó induktivitása
ját frekvenciája
ak üresjárásinak
nére) kell meg-
telítés hatására

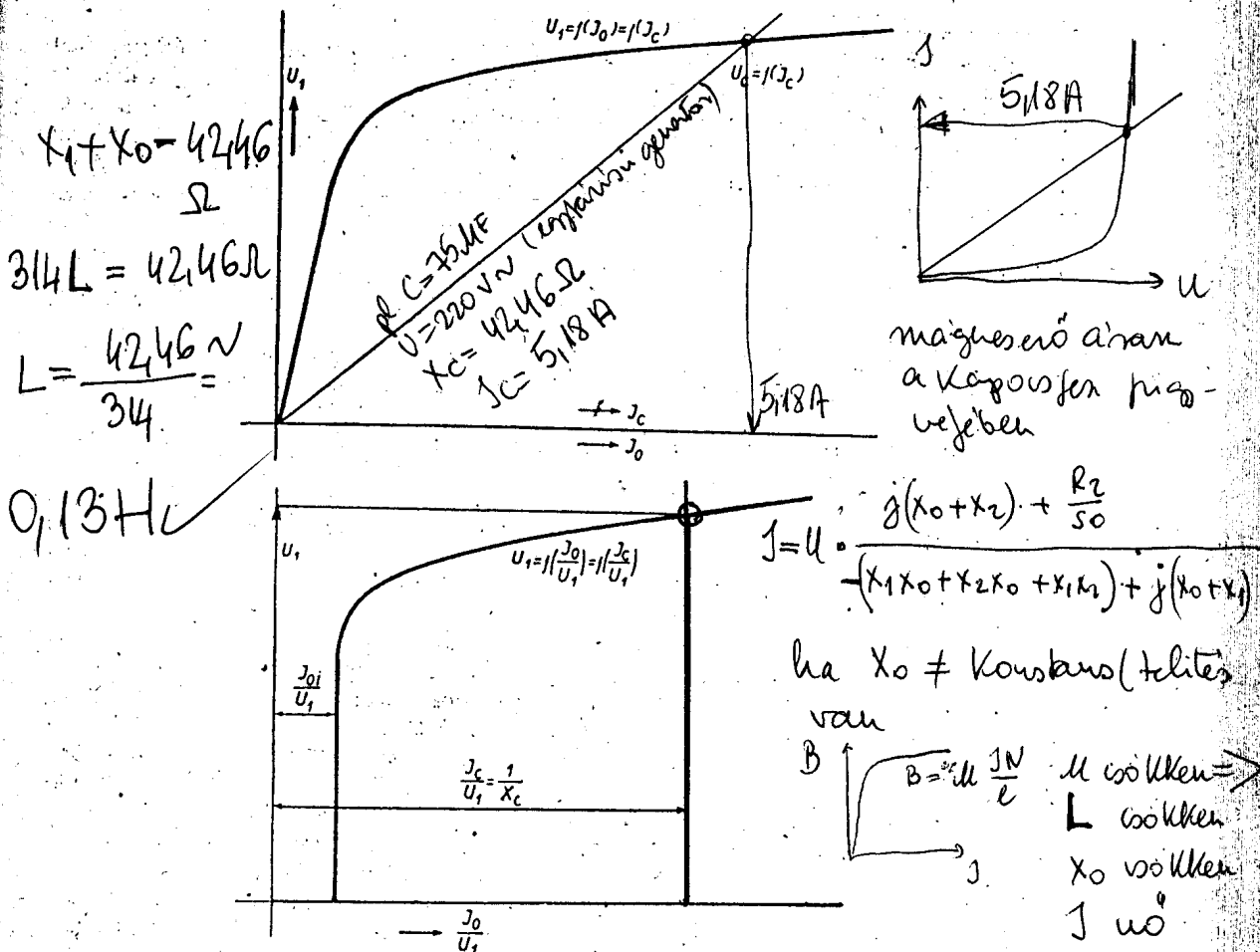
nek az $s_0 = \infty$
nek a rezonáns
Végeredmény-
rdulatszámának
pcokon jelent-
periódusszám és
intha szinkron-
lt állapot tart,
értékű lesz (pl.
egyszer felger-
ekvő fordulat-

Igerjedés jelen-
dónak vettük,
nek tételeztük
ünk. Ugyanis
zátóárammal,
nlőnek lennie.
an azonban a
nástól. A fel-
ét jelleggörbe
kondenzátor
aszinkron-gép
nyében, lásd
telítési gör-
zeti egyenes
edés feltétele:

(9.8)

örbe kezdeti
esen bizony-
etszéspontja
etkezhetsz be-
ulatszámmal
kondenzátor-
áramú gépek
in remanens
kialakulhat.
ha nagyobb
s remanens
vagy rövid
tán a gépet

a hálózatról lekapcsoljuk, a gép felgerjedve marad; vagy csúszógyűrűs forgórész esetén rövid ideig tartó egyenáramú gerjesztést adunk a forgórésznek; vagy rövidrezárt forgórészű gép esetén az állórészre tett egyenárammal adhatunk az álló állapotban



9.3 a és b ábra. Az aszinkron generátor mágnesszeési jelleggörbéje és a kondenzátor egyenes

levő forgórésznek remanens mágnességet. A felgerjedési folyamat időtartama tehát a gép előéletétől, a felgerjesztési folyamat pillanatában adott forgórész remanens mágnességtől függ.

A névleges fordulatszámmal járó felgerjesztett gép fordulatszámát csökkentve azzal együtt csökkenni fog a feszültség. A csökkenő feszültséggel egyrészt a gép mágnesszező görbéje a csökkenő periódusszám miatt laposabbá válik (ugyanahhoz a gerjesztő áramhoz kisebb feszültség tartozik), másrészt viszont a kondenzátor-egyenes meredekebbé lesz (a kondenzátor-feszültség csökkenő periódusszámnál, de ugyanannál a kondenzátor-áramnál megnő). A csökkenő fordulatszámmal azzal arányosan csökkenő periódusszám tehát azt okozza, hogy a gép telítési görbéjének és a kondenzátor-egyenesnek a metszéspontja elvándorol a telítési görbe telítetlen része felé. Így el fog érkezni

$$L = \frac{1}{2} \mu \cdot A \cdot l \quad \text{faradok}$$

$$L = \frac{1}{2} \mu \cdot n \cdot k \quad k = \text{geometriai állandó}$$

$$x_L = \omega \cdot \frac{1}{2} \mu \cdot k$$

$$\frac{U}{x_L} = \frac{U}{\omega \cdot \frac{1}{2} \mu \cdot k} \quad \text{ha } \mu \neq \text{konst} \text{ ha } \omega \text{ nőlken } \Rightarrow \text{a tekercs áraml}$$

$$\text{pl a jelére} \quad J = \frac{2 \cdot U}{\omega \cdot \frac{1}{2} \mu \cdot k} \quad \text{ha a tekercs áraml} \Rightarrow J \text{ nő}$$

$$\omega \text{ nőlken } \Rightarrow J = \text{konst}$$

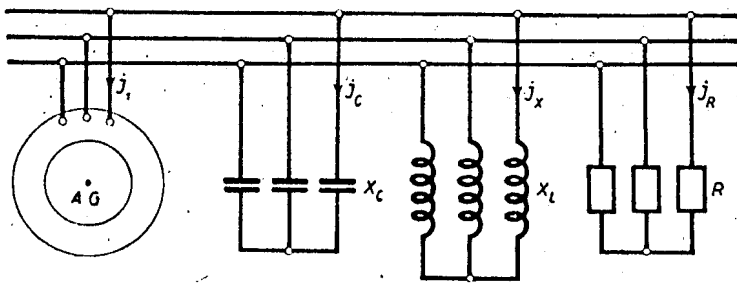
a csökkenő fordulatszámmal üresjárásban a kritikus periódusszám, amelynél a kondenzátor egyenes egybeesik a mágnesezési görbe egyenes részével, amikor bekövetkezik a legerjedés. Hasonlóan: növekvő fordulatszámmal lesz egy kritikus fordulatszám — ill. periódusszám — amelynél az aszinkron generátor kapcsaira tett kondenzátor hatására a felgerjedés bekövetkezik.

Az aszinkrongép mágnesezési görbéjét egyszerűbben használhatjuk a felgerjedési feszültség megítélésére, ha nem a mágnesező áram függvényében rajzoljuk fel a feszültséget, hanem I_0/U_1 viszonyozámtól függően. A megszokott mágnesezési görbe helyett a 9.3/b. képen látható jelleggörbét kapjuk. A mágnesezési görbe egyenes részén leolvasható telítetlen értékekre $I_{0i}/U_1 = \text{állandó}$, vagyis a 9.3. ábra b. képen rajzolt jelleggörbe kezdő része az $U_1 = 0$ értékről az I_{0i}/U_1 kezdeti abszcissza értékkel az ordinátatengellyel párhuzamosan indul és csak akkor hajlik el az abszcissza irányában, amikor a telítés kezd éreztetni hatását. A 9.3. ábra b. kép szerinti ábrázolásnak az a nagy előnye, hogy az $\frac{1}{X_c} = \frac{I_c}{U_1} = \frac{I_0}{U_1}$ értéknél közvetlenül leolvashatjuk a felgerjedési feszültséget.

Az ábrából az is tisztán látszik, hogyha $1/X_c$ értéke kisebb, vagy egyenlő a mágnesezési görbe kezdő tangensének megfelelő I_{0i}/U_1 értékkel, akkor a felgerjedés nem következhet be.

Ha az aszinkron generátor a forgórész kezdeti remanenciájának, valamint a kapcsokra tett megfelelő nagyságú kondenzátor hatására felgerjed, akkor a kapcsaira villamos terhelést kapcsolhatunk. A villamos terhelésnek megfelelő teljesítményt, eltekintve a veszteségektől, a gépnek a tengelyén mechanikai munka formájában kell bevezetni. A következőkben vizsgálat tárgyává tesszük az öngerjesztő aszinkron generátor-feszültség-, áram- és fordulatszám-viszonyait a villamos terhelés bekapcsolása után.

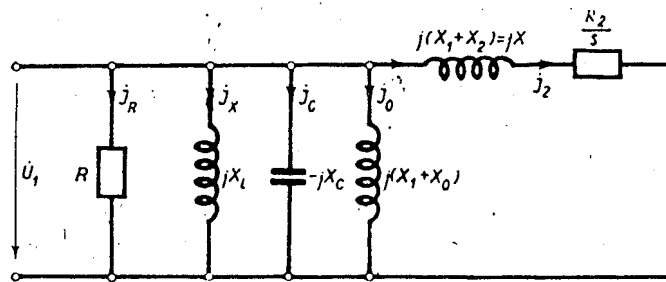
A gép kapcsolását a 9.4. ábra a. kép mutatja, a b. képen a helyettesítő kapcsolást látjuk. A generátor villamos terhelését a párhuzamosan kapcsolt jX_L , tiszta induktív és R tiszta ohmos ellenállások képviselik. A jX_L ellenálláson át folyik az $I_x = U_1/jX_L$ áramerősség, az ohmos ellenálláson át $I_R = U_1/R$ wattáram. Magát a gépet állórész-vesztesség nélkül képzeljük és az egyszerűsített helyettesítő kapcsolást alkalmazzuk. Ahhoz, hogy a gép a kapcsain wattos teljesítményt leadhasson, az aszinkron generátorokról mondottak szerint, a forgórésznek az állórész forgómezőhöz képest (— s) szlippel kell előresietnie. Ha a kondenzátorral gerjesztett aszinkron generátort állandó fordulatszámmal járatjuk, és az állórész ohmos terhelést növeljük, akkor az abszolút értékben növekvő negatív szlipnek megfelelően az állórész periódusszámnak csökkennie kell. A jelenségeknek a követése a változó periódusszám miatt nehézségeket okoz és ezért inkább feltételezzük, hogy a változó külső wattos terhelés növekedésekor a hajtó-



9.4 a. ábra. Kondenzátorral gerjesztett aszinkron generátor kapcsolása ohmos és induktív terheléssel

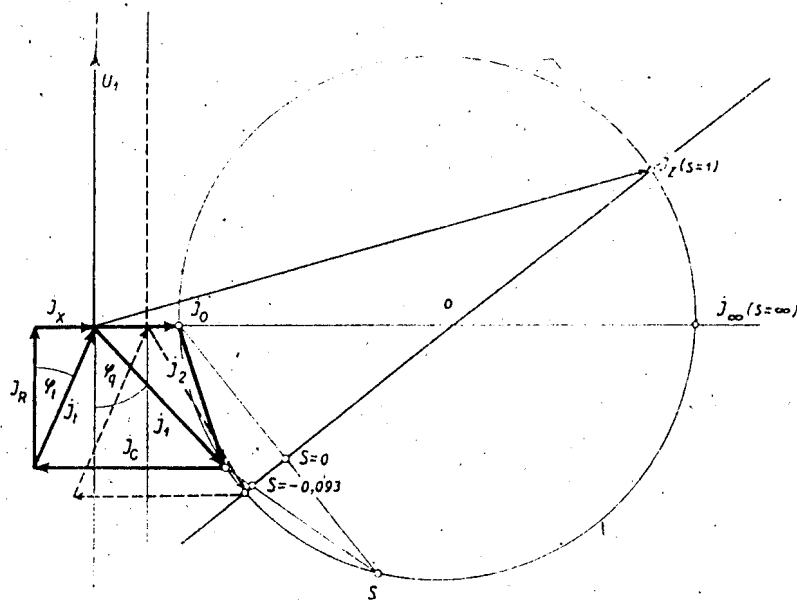
gép fordulatszámát a negatív szlipnek megfelelően mindenkor $n = n_0(1 + s)$ értékre szabályozzuk. Ha ezt a feltételt elfogadjuk, akkor állandó primer periódusszám mellett vizsgálhatjuk az állórész feszültségviszonyait, változó külső terhelés esetében. A helyettesítő kapcsolásból kiolvasható, hogy

$$I_2 + I_0 + I_c + I_x + I_R = 0 \quad (9.9)$$



9.4 b ábra. Kondenzátorral gerjesztett aszinkron generátor helyettesítő kapcsolása terheléskor

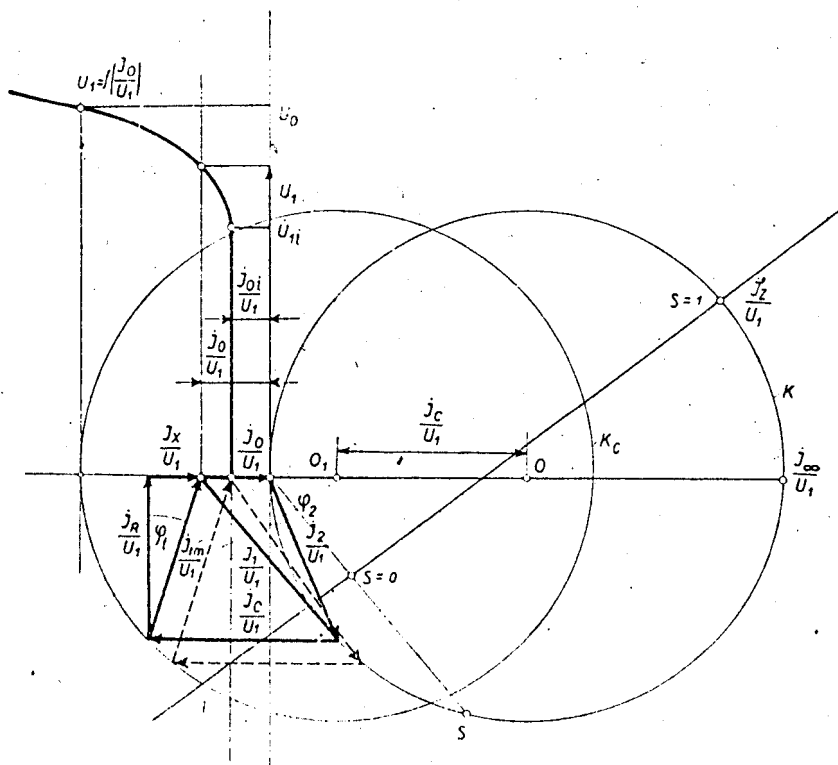
A helyettesítő kapcsolásban szereplő ellenállások közül egyedül az X_0 függ a feszültségtől, ezért az egyszerűsített helyettesítő kapcsolásban szereplő $jX + \frac{R_2}{s}$ belső gépellenállás a feszültség mindenkorai értékétől függetlenül határozza meg az I_2 áram kördiagrammját, amely ezek szerint egyezik az aszinkron gép ismert kördiagramm-jával. Meg kell azonban jegyezni, hogy amennyiben terheléskor változik a feszültség, akkor a primeráram meghatározásánál a mágnesezési áramot a telítési görbének megfelelően változtatni kell, ugyanakkor változik a különböző feszültségértékeknek megfelelően az áramoknak a léptéke is. A 9.5 ábrán felrajzoltuk az I_2 áram kördiagramm-



9.5 ábra. Kondenzátorral gerjesztett aszinkron generátor kördiagrammja

ját, valamely közepes U_1 feszültség mellett. Az I_1 áram kördiagrammja állandó feszültség mellett az I_2 kördiagrammjától az I_0 mágnesező árammal különbözik. Az ábrába berajzoltuk a (9.9) egyenlettel meghatározott áramokat. Végeredményben a generátor primer áramának (I_1) a gerjesztő kondenzátorban folyó áramnak (I_c) és az induktív terhelésnek megfelelő (I_l) áramnak zárt áramvektor-háromszöget kell alkotniok. Ebben az állapotban a fogyasztói és generátor áramok a terhelésnek megfelelő egyensúlyi állapotban vannak.

Ha változatlan kondenzátor mellett és állandó terhelési teljesítménytényezőt feltételezve (φ , állandó, $R/X_L = \text{állandó}$) a terhelést növeljük, akkor ahhoz, hogy újabb egyensúlyi állapot állhasson elő az I_0 áramerősségnek csökkennie kell, ami csak a feszültség csökkenése mellett következhet be (lásd 9.5. ábra szaggatott vonallal rajzolt áram-sokszöget). A mágnesező áram és a feszültség közötti összefüggés nem lineáris, ezért a 9.3 ábra b képen adott ábrázolási mód segítségével fogjuk a különböző terhelési állapotokhoz tartozó feszültségértékeket meghatározni. Ahhoz, hogy ezt az ábrázolást beilleszthessük a kördiagrammal történő szerkesztésbe, az I vektorok helyett mindenütt I/U_1 vektorokat fogunk rajzolni. Az U_1 -gyel történt osztás a vektorok viszonylagos helyzetét nem befolyásolja, ellenben elérjük, hogy azok az I/U_1 vektorok, amelyek feszültségtől nem függő ellenálláson átfolyó áramokra vonatkoznak, ne változtassák értéküket. A léptéket különböző feszültségeknél megváltoztatni nem kell. I_R/U_1 , I_x/U_1 és I_c/U_1 értékei változó U_1 feszültségnél állandók maradnak. Az I/U vektorok kördiagrammját a 9.6 ábrán rajzoltuk meg. Az I_2/U_1 kördiagrammját az I_2 kör-



9.6 ábra. Kondenzátorral gerjesztett aszinkron generátor kapcsolási feszültségének meghatározása

diagramm
olyan kö
pontja v
berajzolt
ismerjük
tengely l
a másik
szlip a
hatóan r
jellegző
 I_0/U_1 fü
 I_0/U_1 ért
változik
lenül le
adott ko
szaggato

vagy

Az ábrá
ráskor f
 U_0 érté
 φ , fáziss
lésnél az
változik
kapunk,
mert ek
wattos t
lülmúlja
hető leg
hangúly
saink
számra
kor érhe
górészén
diagram
kori neg
hajtógép
megfelel
ábrán g
a feszült
leadott
vényébe
értékekr
esetében
élesen k

a állandó feszültségű. Az ábrában yben a generátor) és az induktív kell alkotniok. megfelelő egyen-

sítménytényezőt hhoz, hogy újabb mi csak a feszültséggel rajzolt áramm lineáris, ezért különböző terhelési azt az ábrázolást helyett mindenütt rok viszonylagos ktorok, amelyek ne változtassák sem kell. I_R/U_1 . Az I/U vektorok mját az I_2 kör-

diagrammájához hasonlóan kapjuk. Az I_c/U_1 iránya és értéke állandó, ezért a végpontja olyan körön mozog, amelynek átmérője I_2/U_1 kör átmérőjével egyezik, csak a középpontja van a kapacitív áramok irányában $OO_1 = I_c/U_1$ távolsággal eltolva. Az ábrában berajzoltuk az így meghatározott K_c kört. Ha a terhelés I_R/U_1 watt összetevőjét ismerjük, és ezt berajzoljuk az ordináta-tengely irányában a K_c kör és az abszcissza-tengely közé, akkor megkapjuk az I_c/U_1 vektor egyik végpontját a K_c körön, amelynek a másik végpontja az I_2/U_1 körön van rajta. Utóbbiból e terhelési állapothoz tartozó szlip a skála segítségével leolvasható. I_x/U_1 , ill. φ_t ismeretében az ábrában láthatóan megkapjuk I_0/U_1 értékét is. Ugyanebbe az ábrában berajzoljuk a mágnesesési jelleggörbét az I_0/U_1 függvényében a 9.3. ábra b kép szerint. Így U_1 -et kapjuk az I_0/U_1 függvényében, amelyből korábbiak szerint közvetlenül kivehetjük a különböző I_0/U_1 értéknek megfelelő U_1 feszültséget. Ha a wattos terhelés változik, akkor egyúttal változik I_0/U_1 értéke is, amihez tartozó feszültséget minden üzemállapotban közvetlenül leolvashatunk. Az ábrából kiolvasható az a legnagyobb terhelés is, amelynél az adott kondenzátorérték mellett a feszültség már letörik, a gép legerjed. (A 9.6. ábrán szaggatott áramháromszög). Ezek szerint a stabilis üzemnek a feltétele

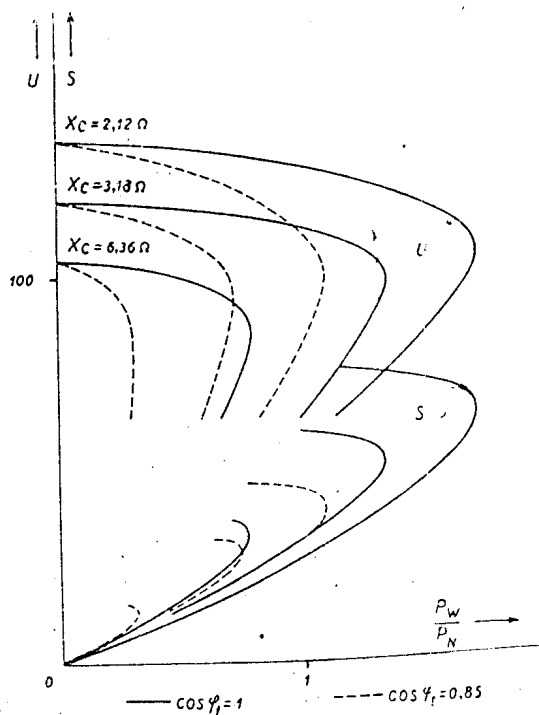
$$\frac{I_c}{U_1} - \frac{I_2}{U_1} \sin \varphi_2 - \frac{I_x}{U_1} > \frac{I_{0i}}{U_1} \quad (9.10)$$

vagy

$$\frac{1}{X_c} > \frac{1}{X} + \frac{I_2}{U_1} \sin \varphi_2 + \frac{I_{0i}}{U_1} \quad (9.10/a)$$

Az ábrából kiolvasható az üresjáráskor fellépő legnagyobb feszültség U_0 értéke is. A feszültség állandó φ_t fázisszög mellett növekvő terhelésnél az U_0 és U_{1i} értékek között változik. Kedvezőbb viszonyokat kapunk, ha a terhelés tiszta ohmos, mert ekkor az átvihető legnagyobb wattos teljesítmény lényegesen felülmúlja az induktív terhelésnél elérhető legnagyobb értéket. Ismételten hangsúlyozzuk, hogy meggondolásaink állandó primer periódusszámra vonatkoznak, ami csak akkor érhető el, ha a generátor forgórészének a fordulatszáma a kördiagrammból kiolvasható mindenkor negatív szlipnek felel meg; a hajtógép fordulatszámát ennek megfelelően kell szabályozni. A 9.7 ábrán gyakorlati esetre felrajzoltuk a feszültség és a szlip változását a leadott wattos teljesítmény függvényében különböző kondenzátor értékeknél, $\cos \varphi_t = 1$ és $\cos \varphi_t = 0,85$ esetében. Az ábrából különösen élesen kiviláglik, hogy a konden-

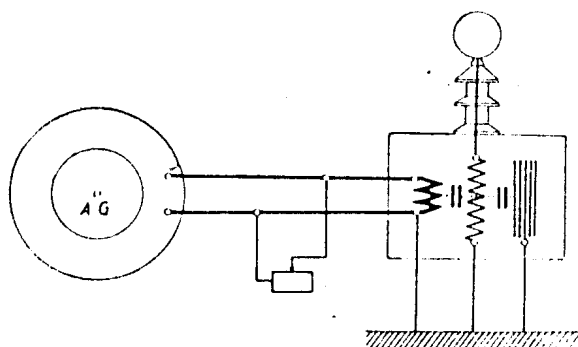
13*



9.7 ábra. Kondenzátorral gorjesztett aszinkron generátor terhelhetősége

zátórral gerjesztett önálló aszinkron generátor ohmos terhelésnél kedvezőbb feszültségviszonyokat, kisebb feszültségváltozást ad. Általában azonban a kondenzátorral gerjesztett önálló aszinkron generátor inkább, mint különleges üzemi állapot szokott jelentkezni és e vonatkozásban vet fel, mint korábban láttuk, fontos üzemi, illetve védelmi kérdéseket.

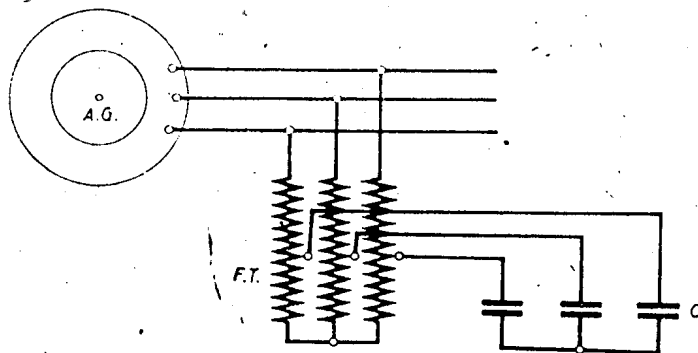
Érdekes megjegyezni, hogy bizonyos mérési célokra szívesen alkalmazzák a kondenzátorral gerjesztett aszinkron generátort, mert a kapesain nyert feszültség igen jó szinuszos alakú anélkül, hogy maga a gép különleges tekercseléssel lenne ellátva. Ennek az az oka, hogy a kondenzátor a felső harmonikus feszültségekre rövidzárlatot jelent,



9.8 ábra. Szigetelési próbánál használt elrendezés. Az áramforrás aszinkron generátor

így azok a fogyasztónál a kondenzátor kapesok után már nem jelentkeznek. Ilyen kísérleti elrendezést mutat a 9.8. ábrán látható kapcsolás, amelyet a Ganz-gyárban szigetelési próbák céljára alkalmaztak. A jó szinuszos alakú feszültség a szigetelési próbánál fontos követelmény. Ebben az egyfázisú kapcsolásban a kondenzátor szerepét a próbatranszformátor belső kapacitása játssza; a feszültség szabályozása a generátor kapesaihoz párhuzamosan kapesolt ohmos ellenállás beállításával történt.

Végül meg kell említenünk, hogy oly esetben, amikor a kondenzátorral gerjesztett aszinkron generátort üzemszerűen kívánjuk használni, akkor célszerű a generátor kapesaira a kondenzátorral párhuzamosan kapesolt telített fojtótekercset kapesolni (lásd 9.9. ábrát). A fojtótekercsnek az a célja, hogy a csökkenő terheléskor előálló túlzott feszültségváltozást kiküszöbölje a telítés következtében hirtelen növekvő mágnesező áram hatásaként. A fojtótekercset szükség szerint felhasználhatjuk takarékkapcsolásban a kondenzátorok legcélszerűbb feszültségű táplálására is.



9.9 ábra. Kondenzátorral gerjesztett aszinkron generátor, párhuzamosan kapesolt telített fojtótekercs az üresjárási feszültség csökkentésére

Az gépekre az egyeztetéshez képest háromfázisú, de elegendően magas frekvenciájú fázisú szinuszos feszültség, amelyben a feszültség egyfázisú, de a frekvencia egyszerűen körülmények között.

A gép aszinkron, amikor a mesterségesen egyetemes vizsgálati azonban metrikus. Az aszinkron teszt, a viselkedés működő, a szerelésnek elő.

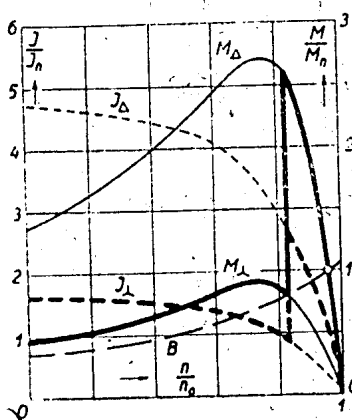
a) I. átmenet

Tartók határbiztosító földzár üzemszerűen fázis me

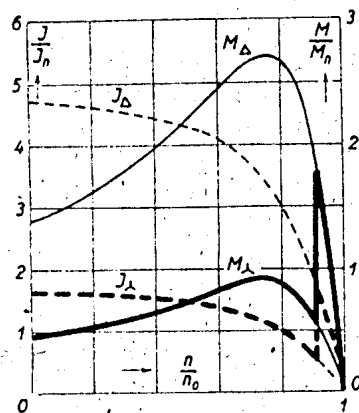
b) S (pl. egyi

c) S (pl. egyi különböző

ellenyomatékkal induló motoroknál gyorsan kell átkapcsolnia (pillanatkapcsoló), mert ellenkező esetben az átkapcsolás alatt kellemetlen mértékben lelassulhat a forgórész és az átkapcsolás csillagból háromszögbe meg nem engedett áramlökést okoz és az egész kapcsolás célját veszíti.



6.17. a) ábra. Indítás csillag-háromszög kapcsoló segítségével. Az átkapcsolást csillagból háromszögbe akkor fogatosítjuk, amikor a motor csillagkapcsolásban már nem gyorsul tovább.



6.17. b) ábra. A háromszögbe való átkapcsoláskor ugyanakkora áramlökést engedünk meg, mint a csillagban való indításkor.

6.7. Aszinkron generátor. Aszinkron motor mint fék

Ha az aszinkron motort a szinkron fordulatszám felett külső hajtóerővel forgatjuk, akkor $n > n_0$ és $s = \frac{n_0 - n}{n_0} < 0$ a szlip negatív. Amint a kördiagramból

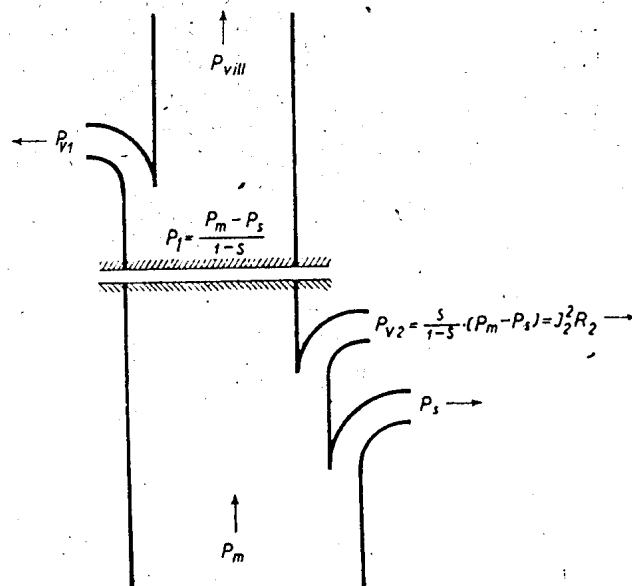
a szlip egyenes segítségével megállapítható, a körön a negatív szlippekhez a P_0 üresjárási ponttól P_∞ pontig terjedő alsó körpontok tartoznak (az $s = -0,1$ szliphez tartozó áramerősséget a 6.4. ábrába berajzoltuk a szlip egyenes segítségével).

Vizsgáljuk meg negatív szlippeknél az energia útját a gépben. A forgórész rézvesztés: $P_{r2} = s P_l$ mindig pozitív, de miután s negatív, tehát P_l -nek, a légrésteljesítménynek kell negatívnak lennie ahhoz, hogy a forgórész rézvesztés pozitív lehessen. A negatív légrésteljesítmény azt jelenti, hogy a gép nem vesz fel a hálózathoz teljesítményt, hanem ellenkezőleg, a hálózathoz visszajuttat energiát. Ugyanakkor a gép mechanikai teljesítménye $P_m = (1 - s) P_l$ és $(1 - s)$ s negatív értékeinél mindig pozitív, tehát negatív P_l légrésteljesítmény mellett a P_m mechanikai teljesítmény is negatív. Az eddigiekben pozitív mechanikai munkán a gép tengelyén motorként nyert munkát értettünk, negatív mechanikai munkán tehát a gép tengelyén bevezetett mechanikai hajtóenergiát értjük. Az aszinkron gép a szinkron feletti fordulatszámokon (negatív szlippeknél) mint aszinkron generátor dolgozik. Eltekintve a veszteségektől, a gép tengelyén bevezetett teljesítményt az állórész tekercselésén át a hálózatnak leadja.

A 6.18. ábrában felrajzoltuk az aszinkron generátor energia-folyam ábráját. A tengelyen bevezetett teljesítmény egy része a súrlódási és ventilációs veszteségek

(P_s) fedezésére szolgál. A megmaradó teljesítmény fedezi az $\frac{s}{1-s}(P_m - P_s) = P_{v2}$ forgórész rézvesztéseket, valamint szolgáltatja a légrésteljesítményt: $P_l = \frac{P_m - P_s}{1-s}$.

A légrésteljesítmény fedezi az állórész réz- és vasvesztéseket, ezeket levonva a légrésteljesítményből, kapjuk az állórész tekercsén át a hálózathoz átadott teljesítményt. Ha a gép generátoros üzemére is felrajzoljuk a nyomaték (légrésteljesítmény) és a fordulatszám összefüggését különböző forgórész-kör ellenállásokkal feltételezve (különböző p értékeknél), akkor a 6.6 képen a negatív szlipekhez tartozó nyomaték összefüggéseket kapjuk. Hasonlóan a motor-üzemhez, itt is eltolhatjuk a billenő nyomaték helyét, a billenő szlipet, ohmos ellenállásnak a forgórész körbe történő iktatásával.



6.18. ábra. Az aszinkron generátor energiafolyam ábrája.

A generátoros üzem nyomatékát is a (6.22) képlettel számíthatjuk, de a szlip itt negatív előjelű. A generátoros üzem billenő szlipjét (6.19) határozza meg, de itt a négyzetgyököt negatív előjellel kell vennünk:

$$s_{bg} = -s_b = -\frac{R_2}{\sqrt{R_1^2 + X^2}} \approx -\frac{R_2}{X}$$

A generátoros billenő nyomatékot megkapjuk, ha a (6.22)-be $s = -s_b$ -t helyettesítünk:

$$\frac{M_{bg}}{M_b} = \frac{2(1+\varepsilon)}{-2+2\varepsilon} = -\frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon}$$

Ha $\varepsilon = 0,1$, akkor $M_{bg}/M_b = -1,1/0,9 = -1,22$. A generátoros billenő nyomaték a felvett példában 22%-kal nagyobb, a motoros billenő nyomatéknál. A különbséget a motoros és generátoros billenő nyomaték között az állórészvesztések okozzák. Ha

iatkapcsoló),
lhat a forgó-
st okoz és az



való átkap-
ókést enge-
való indi-

fék

rővel forgat-
liagrammból

z a P_0 üres-
0,1 szliphez
(ével).

sz rézveszte-
teljesítmény-
ív lehessen.
tból teljesít-
ekkor a gép
einél mindig
teljesítmény
a motorként
p tengelyén
kron. feletti

Eltételezve
ercselésen át

am ábráját.
vesztések

$R_1 = 0$, $\varepsilon = 0$, vagyis állórész rézvesztés-nélküli gépben a vasvesztésektől eltekintve, a generátoros és motoros billenő nyomaték egyenlő nagy.

Igen fontos megjegyezni, hogy amint a 6.4. ábrán rajzolt kördiagrammból kiolvasható, a közönséges aszinkron gép akár motor, akár generátorként dolgozik, a szükséges mágnesező energiát a hálózatról veszi fel. Az aszinkron gép a hálózat felől nézve mindig induktív terhelést jelent. Ebből következik, hogy az aszinkron gép mint önálló generátor dolgozni nem tud, a gerjesztéséről valamilyen módon gondoskodni kell. Ez vagy azáltal történik, hogy a gép állórész tekercsei háromfázisú hálózattal vannak összekapcsolva, és a szükséges gerjesztő teljesítményt a hálózat szolgáltatja, vagy pedig amint később látni fogjuk, a mágneses gerjesztő teljesítményt az állórész kapcsolókra kapcsolt sztatikus kondenzátorok szolgáltatják. Az aszinkron generátor használata különösen kisebb teljesítményeknél, pl. kisebb vízerőműveknél előnyös, ahol a hálózattal történő összekapcsolás egyszerűsége (nem kíván szinkronizálást), és a gerjesztésszabályozás elmaradása a teljesen önműködő berendezések létesítését könnyen lehetővé teszi.

Az aszinkron gépnél a kördiagramm alapján eddig először vizsgálat tárgyává tettük a P_z ($s = 1$) és P_0 ($s = 0$) közé eső üzem pontjait, amikor a gép az állórészen a hálózatról felvesz teljesítményt, és eltekintve a veszteségektől, azt a tengelyen mechanikai munka alakjában leadja. Azután megvizsgáltuk a P_0 ($s = 0$) és P_∞ ($s = -\infty$) körpontok közé tartozó üzemi állapotokat, amikor az aszinkron gép mint generátor dolgozik: a gép tengelyen mechanikai munka alakjában bevezetett energiát, eltekintve a veszteségektől, az állórész tekercselésen át a hálózatnak leadja.

Fenti üzemállapotokon kívül vizsgálni kell még azokat az üzemállapotokat, amikor a gépet $s > 1$ pozitív szlipeknek megfelelő fordulatszámmal hajtjuk. Ekkor $s = \frac{n_0 - n}{n_0} > 1$;

$n_0 - n > n_0$; $-n > 0$, ami csak negatív fordulatszámoknál lehetséges. Ez annyit jelent, hogy a forgórészt a forgómező forgásiránya ellenében forgatjuk. Vizsgáljuk meg az energia áramlását $s > 1$ szlipeknél. A szekunder villamos teljesítmény $P_{v2} = sP_1$ több, mint a légrésteljesítmény. Miután a mechanikai teljesítmény $P_m = (1 - s)P_1$ negatív ($1 - s < 0$), tehát ebben az esetben a tengelyen kell bevezetni mechanikai munka formájában a forgórész villamos teljesítmény és a légrésteljesítmény közötti különbséget. A forgórész villamos teljesítmény tehát, eltekintve a veszteségektől $1/(1 - s)$ arányban oszlik meg az állórészbe villamosan és a forgórészbe mechanikailag bevezetett teljesítmények között. Az aszinkron gépet ebben az üzemállapotban fékezésre lehet felhasználni a szinkron alatti fordulatszámokon olyan módon, hogy részben az állórész áramoknak üzemileg elfogadható értékre történő csökkentése céljából, részben a szükséges fékező teljesítmény létrehozására ohmos ellenállást iktatunk a forgórész-körbe.

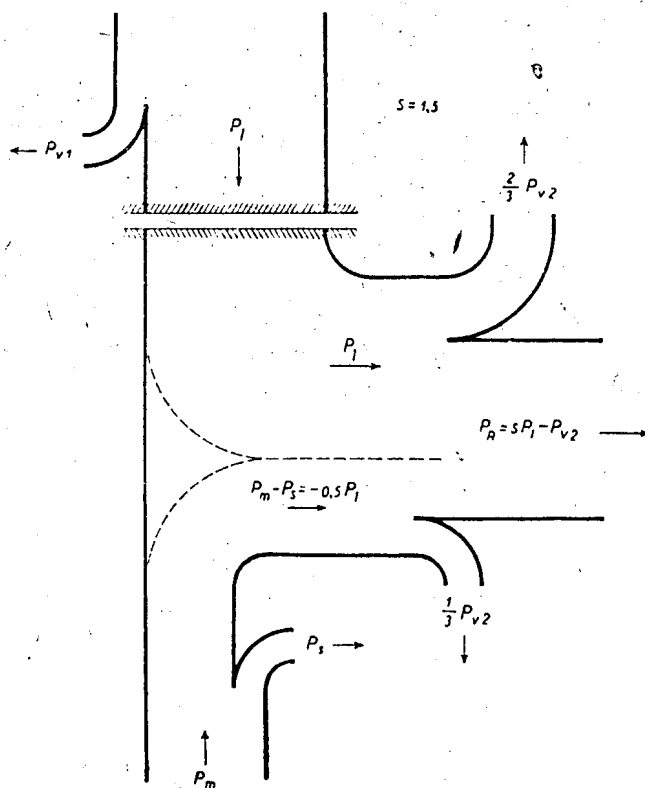
Az aszinkron gépnek mint féknek az energiafolyam ábráját a 6.19. ábrán rajzoltuk meg, ahol a példaképpen felvett $s = 1,5$ szlip esetében (a gép forgórészét fél szinkron sebességgel forgatjuk, a forgómező forgásiránya ellenében) az állórészen bevezetett villamos teljesítmény szolgáltatja az állórész veszteségek levonása után a forgórész villamos teljesítményének $2/3$ részét. A forgórész villamos teljesítményének $1/3$ -át a forgórész tengelyén bevezetett mechanikai teljesítmény fedezi a súrlódási veszteségek levonása után. Az összes forgórész villamos teljesítményből a forgórész rézvesztéséget kell levonni, hogy a csúszógyűrűkre kapcsolt ohmos ellenállásban keletkező veszteségteljesítményt (P_R) kapjuk. Ebben az üzemállapotban azokat a tömegeket, amelyeket a gép motorként felgyorsított, a szinkron sebességnél kisebb fordulatszámmal tudjuk fékezni, feltéve, hogy a forgórész körbe megfelelő ohmos ellenállást iktattunk, és az állórész forgómező forgásirányát a háromfázisú hálózati csatlakozás

közül kettőn
Amíg a forgó
gelyen bevez
ellentétesen

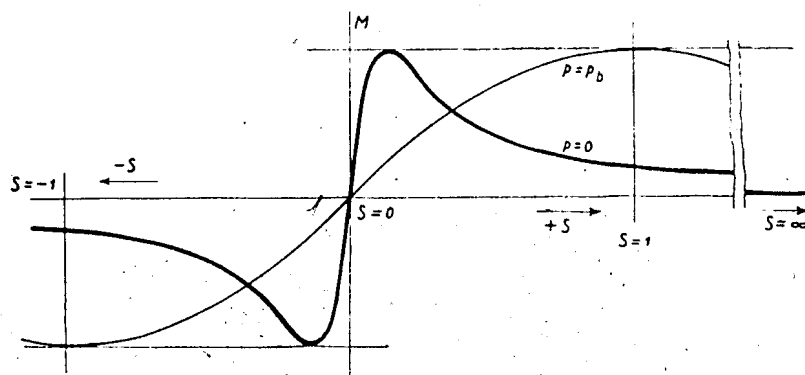
$s = -1$

6.20. á

közül kettőnek felcserélésével a forgórész mozgáshoz képest ellentétesre változtattuk. Amíg a forgórész meg nem áll, a forgó tömegek kinetikai energiája szolgáltatja a tengelyen bevezetett teljesítményt. Amint a gép megáll, akkor az előbbi forgásiránnyal ellentétesen el akar indulni.

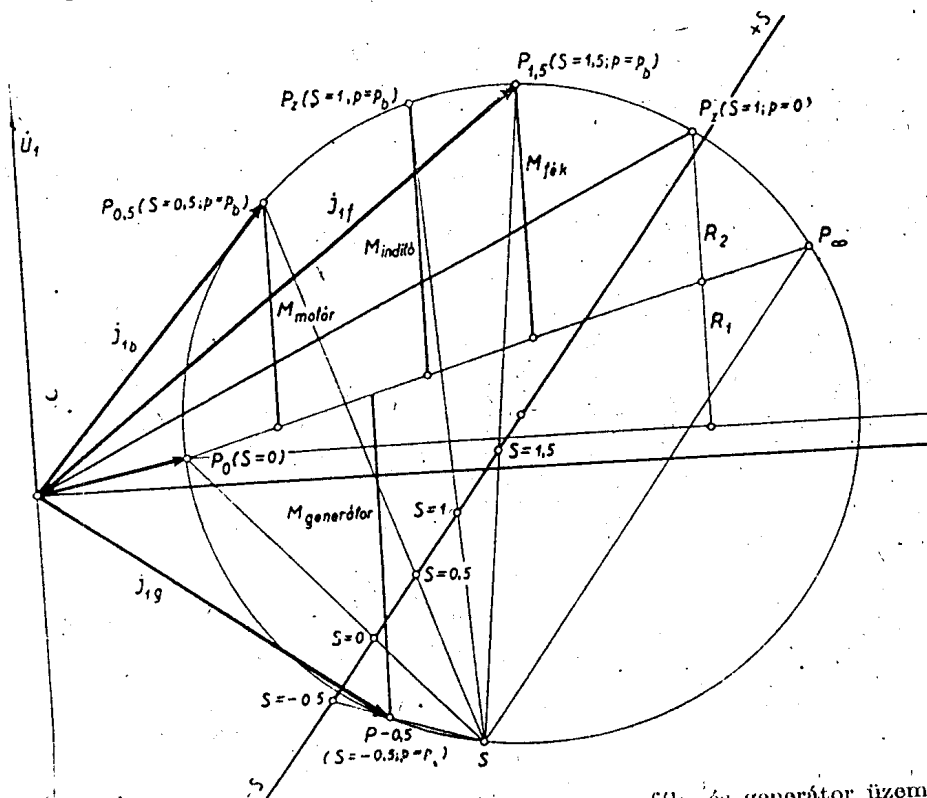


6.19. ábra. Az $s > 1$ szlippel történő (ú. n. ellenáramú) fékezés energiaszármazéka ábrája.



6.20. ábra. A csúszógyűrűs aszinkron motor nyomaték szlip összefüggése.

Ezek után felrajzolhatjuk a csúszógyűrűs aszinkron motor teljes — mindhárom üzemiállapot teljes tartományát felölelő — nyomatékszlip összefüggését. A 6.20. ábrán feltüntettük a görbét rövidrezárt forgórész ($p = 0$), valamint $p = p_b$ esetében, tehát amikor a forgórész körbe annyi ellenállást kapcsolunk, hogy a billenő szlip $s_b = 1$ legyen.



6.21. ábra. A kördiagram jellemző pontjai motor-, fék- és generátor üzemben.

Láttuk, hogy az aszinkron motor működését lényegében három jól megkülönböztethető üzemiállapot jellemzi: a) motor-üzem, b) generátor-üzem, c) fék-üzem. A 6.21. ábrán megrajzoltuk a kördiagramot és feltüntettük az $s_b = 1$ -nek megfelelő szekunder ohmos ellenállás esetére mindegyik üzemiállapotban a jellemző pontokat, motorként $s = 0,5$, generátorként $s = -0,5$ és fék-üzem esetére $s = 1,5$ mellett.

Érdeemes még vizsgálat tárgyává tenni, hogy a háromfázisú aszinkron motor indítási és fékezési folyamatai alatt, milyen melegképződésre számíthatunk a forgó- és állórész tekercsekben.

6.8. Indítási és fékezési folyamat

Az eddigiekben a csúszógyűrűs motor indítási kérdését néztük, és azt láttuk, hogy a forgórész kör külső ellenállásának helyes megválasztásával tetszés szerinti, egészen a legnagyobb értéket jelentő, billenő nyomatékig terjedő nyomatékkal indíthatjuk a gépet. A háromfázisú aszinkron gépek nagy elterjedését azonban nem elsősorban a csúszógyűrűs gépeknek köszönheti, hanem a különböző rövidrezárt kalicka forgórészű

gépeknek. A k...
erőteljes felépít...
különösen a k...
amint láttuk, a...
fokot lehet el...
azokra a közös...
jából független...

Jelöljük a...
nek. Ha valam...
gyorsításához...
rendelkezésre.

ahol Θ az egy...
nyomatéka.

Az $M(n)$...
alakban mate...
lefolyása rend...
akkor fejezi...
ahol $M_e(n) =$

és

A (6.56)-ban...
fordulatszám

Ha az $M(n)$...
grafikus in...
szükséges in...
 $n = n_0(1 -$

A forgórész

$$= 3 \int_{t_1}^{t_2} I_2^2 R$$