

10. tétel

Milyen mérési feladatokat kell elvégeznie a kördiagram megszerkesztéséhez?  
Rajzolja meg a kördiagram felhasználásával a teljes nyomatéki függvényt!

Az aszinkron gép egyszerűsített kördiagramja

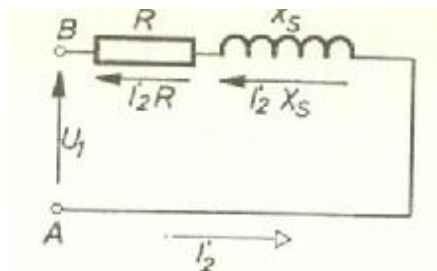
Foglalkozunk az egyszerűsített helyettesítő kapcsolásnak az A és B csomóponttól jobbra eső részével. Az  $I_2'$  áram az  $X_s$  reaktancián és az R ellenálláson  $I_2' X_s$  és  $I_2' R$  feszültségeséseket hoz létre. A huroktörvény alapján

$$U_1 = I_2' X_s + I_2' R$$

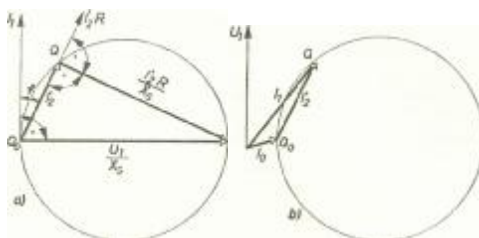
Osszuk végig az egyenlet mindkét oldalát  $X_s$ -sel:

$$\frac{U_1}{X_s} = I_2' + \frac{I_2' R}{X_s}$$

Ez utóbbi egyenlet áram-vektorokat tartalmaz, hiszen  $I_2'$  áram és a másik két tag is az, mert feszültség és reaktancia hányadosa mindig áramot ad, bár  $U_1/X_s$  és  $I_2' R/X_s$  ténylegesen nem folyik sehol sem. Rajzoljuk meg az áram-vektor egyenletnek megfelelő vektorábrát! Először vegyük fel az  $U_1$  feszültség vektorát a + valós tengely irányában! Az  $U_1/X_s$  áram tiszta induktív, mert  $X_s$  induktív reaktancia, ezért vektora  $U_1$ -hez képest  $90^\circ$ -ot késik.  $I_2'$  induktív jellegű, ezért  $\varphi$  szöggel késik  $U_1$  mögött.  $I_2' R$  feszültség az  $I_2'$  árammal fázisban van. Az  $I_2' R/X_s$  áram az  $I_2' R$  feszültséghez képest, azaz az  $I_2'$  áramhoz képest  $90^\circ$ -ot késik. Az áram-vektor egyenletnek megfelelően úgy rajzoljuk meg az  $I_2' R/X_s$  vektorát, hogy az  $I_2'$  vektorához hozzáadjuk. Az eredő az  $U_1/X_s$  áram vektora.



Az egyszerűsített helyettesítő kapcsolat részlete



A kördiagram származtatása

Ha változik a gép terhelése, akkor  $I_2'$  és R, mely a szliptól függ, valamint az  $I_2' R/X_s$  áram változik, de a Q pontnál lévő szög mindig  $90^\circ$  marad. Ez azt jelenti, hogy a Q pont mindig rajta van azon a körön, melynek  $U_1/X_s$  az átmérője. Ez a kör a forgórész-áram kördiagramja. Az állórész-áram vektorát az A csomópontra felírt

$$I_1 = I_0 + I_2'$$

csomóponti egyenlet alapján úgy kapjuk, ha  $I_0$  és  $I_2'$  vektorait összeadjuk. Ezért az ábra körének Q<sub>0</sub> pontját a b ábrán az  $I_0$  áram vektorának végpontjához illesztjük. Az  $I_1$  vektor

## Villamos gépek tantárgy tételei

végpontja minden terhelési állapotban rajta van a körön. Ez a kör az aszinkron gép kördiagramja.

Az aszinkron gép kördiagramja tehát az állórész áramvektor végpontjának mértani helye különböző terhelési állapotokban.

A kördiagram szerkesztése mérési adatok alapján

A kör megrajzolható, ha három pontját ismerjük. Ennek az alapelvek a felhasználásával szokás megszerkeszteni az aszinkron motor kördiagramját az üresjárási, a rövidzárási és a végtelen szliphez tartozó áram vektorainak végpontjaiból. Ezeket az áramvektorokat méréssel ill. számítással lehet megállapítani. A következő példában bemutatjuk, hogy milyen mérési adatokból, hogyan lehet a szükséges áramvektorokat meghatározni. Tudni kell, hogy egy áram vektora csak úgy rajzolható meg, ha ismerjük abszolút értékét (hosszát) és fázishelyzetét (a feszültséggel bezárt szögét vagy annak koszinuszát).

Példa. Egy háromfázisú aszinkron motor csillagkapcsolású állórész tekercselésének névleges vonali feszültsége  $U_{1v} = 380 \text{ V}$ .

A motor árama és teljesítményfelvétele üresjárásban.  $I_0 = 9,12 \text{ A}$ ,  $P_0 = 718 \text{ W}$

Rövidzárási (álló gépen) a fellépő nagy áram és rossz hűtési viszonyok miatt névleges feszültségen a mérést nem lehetett elvégezni.  $U_{1zc} = 200 \text{ V}$ -nál a rövidzárási áram és teljesítményfelvétel

$$I_{1zc} = 46,2 \text{ A}, P_{zc} = 6350 \text{ W}.$$

A c index a csökkentett feszültségre utal.

A csillagkapcsolású, állórész egyik fázistekercsének rezisztenciája:  $R_1 = 0,52 \Omega$ . Határozzuk meg az üresjárási-, rövidzárási- és a végtelen szliphez tartozó áram vektorait! Az üresjárási áram vektorának abszolút értékét ismerjük, az üresjárási teljesítménytényező:

A rövidzárási áramot annak feltételezésével határozzuk meg, hogy a feszültség növelésével az áram lineárisan növekszik. Ennek alapján

Ha feltételezzük, hogy  $x$  feszültség növelésével a teljesítménytényező állandó, akkor

A végtelen szliphez tartozó áram meghatározásának alapgondolata a következő: a rövidzárási- és a végtelen szliphez tartozó áramhoz képest az  $I_0$  áram elhanyagolhatóan kicsi. Ezért a rövidzárási helyettesítő kapcsolást alkalmazzuk ( $s=1$ ). A motor olyan fogyasztónak tekinthető, amelynek fázisonkénti impedanciája:

A meghatározott három áramvektor alapján a kördiagram megszerkeszthető. A szerkesztést a következő példában mutatjuk meg.

Egy háromfázisú aszinkron motor üresjárási-, rövidzárási- és végtelen szliphez tartozó áramai, valamint teljesítménytényezői:

Szerkesszük meg a gép kördiagramját!

Elsőként vegyük fel az  $U_1$  fázisfeszültség vektorát. Az áramok helyes felrajzolása érdekében áramléptéket kell felvenni és  $\cos\varphi$  skálát kell a feszültségvektorra rajzolni.

Az áramlépték:  $1 \text{ A} = 1 \text{ mm}$ .

Az üresjárási-, rövidzárási- és végtelen szliphez tartozó áramvektorok végpontjait az ezekben a pontokban fellépő  $s = 0$ ,  $s = 1$  és  $s = \infty$  szlipek alapján  $-Q_0$ ,  $Q_1$ , és  $Q_{\infty}$ -nel jelöljük.

Felhasznált irodalom: Magyar István: Villamos gépek I.

## Villamos gépek tantárgy tételei

Két-két pontot összekötünk és az így nyert szakaszokra felező merőlegeseket rajzolunk. Két ilyen merőleges metszéspontjában van a kör középpontja. Ennek alapján a gép kördiagramja megrajzolható.

### A kördiagram alkalmazása

Szlipiskála szerkesztése. Rövidrezárt motor álló állapotban a hálózathoz  $I_{1z}$  áramot vesz fel. Az  $I_{1z}$  áram vektorának végpontja a kördiagram  $O_1$  pontjában van. Tudjuk, hogy ebben a pontban  $s = 1$ . Ha a motor megindul, akkor áramának végpontja a körön balra tolódik. Terheletlen állapotban az áramvektor végpontja megközelíti a  $Q_0$  pontot ( $s = 0$ ). A terhelt motor áramvektorának végpontja a  $Q_0$  és  $O_1$  pont között van. Helyét a szlip határozza meg, de a kör kerületén a különböző szlipekhez tartozó pontok nem egyenletesen helyezkednek el. Ezért ún. szlipiskála szerkesztésére van szükség, melyen a szlip egyenletes. E skála segítségével minden kerületi ponthoz tartozó szlip megállapítható.

A szlipiskálát a következőképpen szerkesztjük: A kör kerületén célszerű az alsó részén - felvesszünk egy ún.  $S$  sorozópontot. Ezt összekötjük a  $Q_0$ ,  $Q_1$ , és  $Q_\infty$  pontokkal. Az  $S$  és a  $Q_\infty$  pontokat összekötő egyenessel párhuzamosot húzunk. Ezen készítjük el a szlipiskálát úgy, hogy a párhuzamos és az  $SQ_0$  egyenes metszés pontjához  $s = 0$ -át, a párhuzamos és az  $SQ_1$  egyenes metszéspontjához  $s = 1$ -et írunk. A két megjelölt pont között egyenletes 10-es beosztást készíthetünk 0,1; 0,2; 0,3 stb. jelöléssel. Ezeket a szlipeket az  $S$  sorozópont segítségével a kör kerületére vetíthetjük. A kör tetszés szerinti pontját az  $S$  sorozóponttal összekötve a szlipiskálán leolvasható a ponthoz tartozó szlip.

Teljesítmény- és nyomatékmetszések. A kördiagramból a gép teljesítményei és nyomatéka minden terhelési állapotban meghatározhatók. Ha az  $U_1$ , fázisfeszültségű motor  $I_1$  áramot vesz fel a hálózathoz  $\cos \varphi_1$  teljesítménytényező mellett, akkor a motor felvett villamos teljesítménye

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

Jelöljük az  $I_1$  áramvektor végpontját  $Q$ -val. Bocsássunk a  $Q$  pontból az ábra vízszintes tengelyére merőlegest, azaz szerkesszük meg a  $Q$  pont ordinátáját és hosszát jelöljük  $y_1$ -gyel.  $y_1 = I_1 \cos \varphi_1$ , tehát a motor felvett villamos teljesítménye

$$P_1 = 3 U_1 y_1.$$

$y_1$ -et áramléptékben kell e képletbe helyettesíteni.

Hasonló módszerrel határozhatók meg a gép többi teljesítményei is.

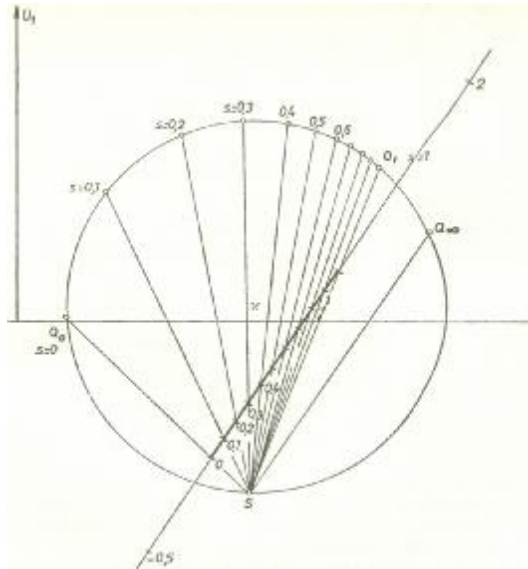
Már megállapítottuk, hogy üresjárásban ( $O_0$  pont) és rövidzársban ( $Q_1$  pont) a gépnek mechanikai teljesítménye nincs. Ennek alapján kimondhatjuk, hogy a  $Q_0$  és a  $Q_1$  pontokat összekötő egyenes mentén mindenütt  $P_{\text{mech}} = 0$ . Ezért ezt az egyenest a mechanikai teljesítmény nulla vonalának nevezzük. A kör kerületi pontjainak a mechanikai teljesítmény nulla vonalától mért függőleges távolságai gép mechanikai teljesítményével arányosak. A  $Q$  pont ordinátájának a mechanikai teljesítmény vonala fölötti részét jelöljük  $y_m$ -mel. Ha ezt áramléptékben olvassuk le, akkor

$$P_{\text{mech}} = 3 U_1 y_m$$

Tudjuk, hogy üresjárásban ( $O_0$  pont) és végtelen szlipnél ( $Q_\infty$  pont) a légrésteljesítmény zérus. Ennek alapján kimondhatjuk, hogy a  $Q$  pont ordinátájának a  $Q_0$  és  $Q_\infty$  pontokat összekötő ún. légrésteljesítmény) nulla vonal fölötti része-melyet  $y_1$  -el jelölünk -- a légrésteljesítménnyel arányos.

$$P_1 = U_1 y_1$$

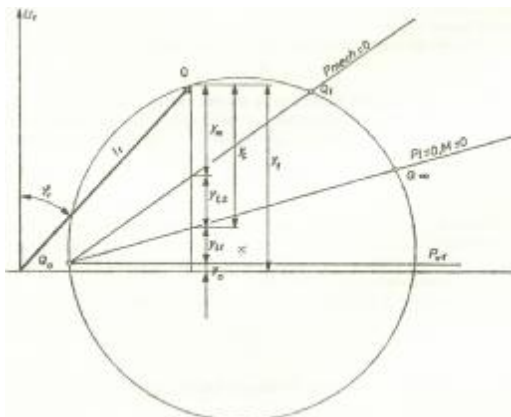
## Villamos gépek tantárgy tételei



A szlipkóta szerkesztése

A forgórész tekercsvesztése a légrésteljesítmény és a mechanikai teljesítmény különbsége. Ennek alapján az  $y_1 - y_m$  metszék, melyet az ábrán  $y_{t2}$ -vel jelöltünk a forgórész tekercsvesztésével arányos, tehát

$$P_{t2} = 3U_1 y_{t2}$$



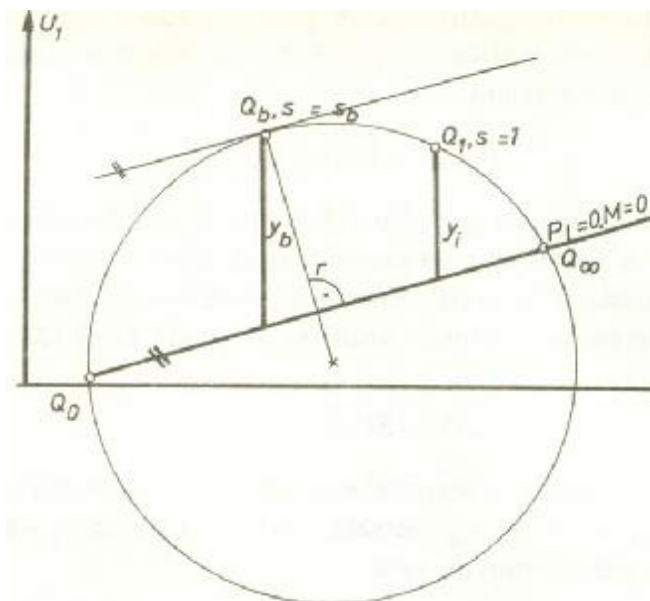
Teljesítménymetszék a kördiagramban

A gép állórészének vasvesztése az  $I_0$  áram hatásos összetevőjével arányos. A  $Q_0$  pontból húzott vízszintest ezért a vasvesztés vonalának nevezhetjük. A vízszintes tengelytől mért távolságát  $y_0$ -al jelöljük. A gép vasvesztése:

$$P_{v1} = 3U_1 y_0.$$

A  $P_1$  és  $P_1$ , teljesítmények különbsége az állórész tekercs- és vasvesztését adja. Ha az  $y_1$ , és  $y_1$ , metszék különbségének  $y_0$ -al jelölt része a vasvesztéssel arányos, akkor a fennmaradó rész—melyet  $y_{t1}$ -gyel jelöltünk—az állórész tekercsvesztését adja:

$$P_{t1} = 3U_1 y_{t1}.$$



### A billenő- és az indítónyomaték meghatározása szerkesztéssel

A motor névleges áramának környékén és a névlegesnél kisebb áramoknál  $y_{t1}$  és  $y_{t2}$  oly kicsi, hogy azokból  $P_{t1}$  és  $P_{t2}$  csak pontatlanul számítható ki. Ezért a névleges, és annál kisebb áramoknál a kördiagramot csak a mechanikai-, a légrésteljesítmény és a hálózathoz felvett teljesítmény meghatározására szokás felhasználni. Az  $y_0$  metszékéből a vasvesztés mindig pontatlanul adódik.

A gép nyomatéka a légrésteljesítményből határozható meg

$$M = \frac{3U_1 y_1}{\omega_{g0}}$$

Az  $y_1$  metszék tehát a nyomatékkal is arányos. Ezért a  $Q_0$   $Q_\infty$  egyenest a nyomaték nulla vonalának is szokás nevezni.

A motor maximális nyomatékát billenőnyomatéknak ( $M_b$ ) nevezzük. Az  $M_b$ -hez tartozó  $Q_b$  pontnak a  $P_1 = 0$  vonaltól (a légrésteljesítmény nulla vonalától vagy nyomatékvonaltól) függőlegesen mérve a legnagyobb a távolsága ( $y_b$ ). Ha a körhöz a  $P_1 = 0$  vonallal párhuzamos érintőt húzunk, akkor az érintési pont éppen a  $O_b$  pont.

Az érintési pontot a  $P_1 = 0$  vonalra merőleges sugár ( $r$ ) segítségével határozzuk meg. Ez metszi ki a kör kerületén a  $Q_b$  pontot. Ehhez a ponthoz tartozó szlipet billenőszlipnek nevezzük és  $s_b$ -vel jelöljük. Meghatározása a szlipskála segítségével történhet. A billenőnyomaték az

$$M_b = \frac{3U_1 y_b}{\omega_{g0}}$$

összefüggéssel határozható meg.

A motor álló állapotban az ún. indító nyomatékot ( $M_i$ ) fejt ki. A  $Q_1$  pont függőleges távolsága a  $P_1 = 0$  vonaltól ( $y_i$ ) arányos az indító nyomatékkal.  $M_i$  meghatározása az

$$M_i = \frac{3U_1 y_i}{\omega_{g0}}$$

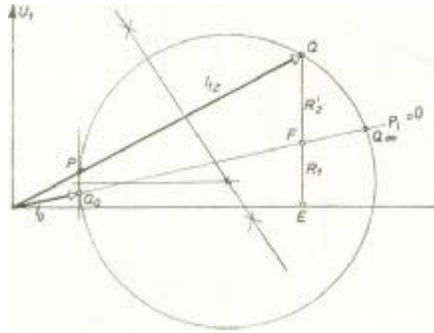
összefüggéssel történik.

A kördiagram közelítő szerkesztése. A kördiagram az üresjárási és a rövidzárási áram vektorok ismeretében, tehát két mért pont alapján is megszerkeszthető. A  $Q_0$  pontból húzott függőleges egyenes az  $I_{1z}$  áram vektorát a  $P$  pontban metszi. Ez lesz a kör harmadik pontja.

## Villamos gépek tantárgy tételei

Ha tehát felező merőlegeseket rajzolunk a  $Q_0P$  és a  $Q_0Q_1$  távolságokra, akkor ezek metszéspontja megadja a kör középpontját.

Ha a kördiagramot ezzel a közelítő módszerrel szerkesztjük, akkor a  $O_\infty$  pont helyét az  $\frac{R_2'}{R_1}$  arány felhasználásával kell kijelölni.



A kördiagram közelítő szerkesztése

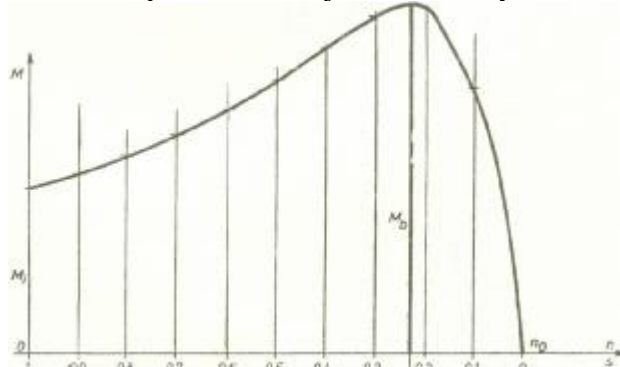
Ez azt jelenti, hogy a  $Q_0E$  metszékét  $\frac{R_2'}{R_1}$  arányban fel kell osztani. Az így nyert  $F$  pontot a

$Q_0$  ponttal összekötve kapjuk a légrésteljesítmény nulla vonalát. Ez a körből kimetszi a  $Q_\infty$  pontot.

Így határozhatjuk meg a  $Q_\infty$  pont helyét akkor is, ha a kört három pontból szerkesztjük meg ugyan, de a harmadik pont nem a  $Q_\infty$ , hanem valamilyen más pont, például a névleges áram végpontja.

Az aszinkron motor nyomaték fordulatszám vagy nyomaték-szlip jelleggörbéje a motor nyomatékát adja meg a fordulatszám vagy a szlip függvényében [ $M = f(n)$  vagy  $M = f(s)$ ]. Szerkesszük meg háromfázisú aszinkron motor nyomaték jelleggörbéjét a motor kördiagramja alapján.

Az ábra koordinátarendszerének vízszintes tengelyén kijelöljük a 0 és a szinkron fordulatszámot. A köztük lévő távolságot beosztjuk 10 egyenlő részre. Az osztásvonalakhoz a megfelelő szlip értékeket írjuk 1-től 0-ig, majd minden osztásvonalhoz függőleges egyeneseket húzunk és azokra rámérjük a kördiagramból a nyomaték metszékeket. A metszékek felső végét összekötve megkapjuk a motor nyomaték-fordulatszám jelleggörbéjét. A pontosabb szerkesztés érdekében a billenő szliphez felmérhetjük a billenő nyomatékot.



Nyomaték-fordulatszám jelleggörbe