

1. Fejezet
Szinkron gépek

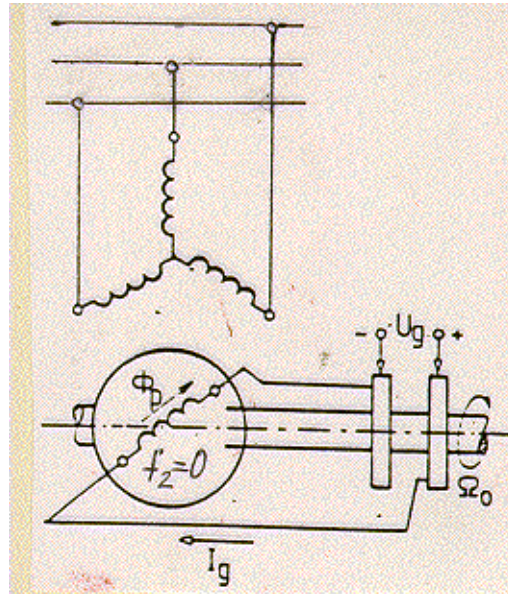
TARTALOMJEGYZÉK

1. FEJEZET SZINKRON GÉPEK	1
1.1. Működési elv, alapgondolat	3
1.2. Felépítés	4
1.3. Helyettesítő áramkör	5
1.4. Fázorábra	7
1.5. Hálózatra kapcsolás és terhelésfelvétel	8
1.6. Hengeres gép nyomatéka	9

1.1. Működési elv, alapgondolat

Láttuk, hogy v.á. gépeink működésének alapja két szinkron forgó forgómező, képletesen két összetapadt, együttfutó pólusrendszer. Tengelyeik között - a terhelő nyomaték hatására - szögeltérés, szögelfordulás előáll de fordulatszámeltérés nem lehetséges.

A szinkron gép állórészének a hálózatra kötött háromfázisú tekercselése (l. 1.1. ábra) a légrésben szinkron fordulatszámú forgómezőt hoz létre.



1.12 ábra

Az egyetlen forgórész tekercset egyenárammal tápláljuk. (Kis gépeknél lehet állandó mágneses.)

A forgórész mező így a forgórészhez képest áll, nyugalomban van (állandó mező), ahhoz rögzített, "hozzá van ragasztva":

$$f_2 = 0 \rightarrow n_2 = 0 \quad (1-1)$$

Ebből következik, hogy a forgórésznek az állórész mezővel együtt, azzal szinkron kell forognia

$$n = n_1 \quad (1-2)$$

A gép tehát csak egyetlen fordulatszámmal, az n_1 szinkron fordulatszámmal képes forogni. Ha fordulatszáma ettől eltér, tehát "kiesik" a szinkronizmusból, akkor üzemképtelenné válik. Minden relatív fordulatlétérés alatt a teljes - később megismerendő - zérus középértékű nyomatékgörbét befutva csak lengő nyomaték keletkezik és a gép hálózatra nézve gyakorlatilag rövidzárlatot jelent.

A forgórész mező a forgó mező "legegyszerűbb" alakja, nevezhetnénk "forgatott forgó mezőnek" miután egy állandó mező mechanikai forgatásával jött létre.

Az elmondottakból következik, hogy a szinkron gép nem tud indulni. A generátort a hajtó gép - pl. a turbina - forgatja névleges fordulatra, a motort kalickával indukciós

motorként vagy a tápláló inverter nulláról növekvő frekvenciájával kell a szinkron fordulat közelébe juttatni. A szinkron fordulat elérésekor mind a generátort, mind a motort - mint később látjuk - megfelelő módon kell a hálózatra kapcsolni, szinkronizálni kell.

A szinkron gép lengőképes, lengésre hajlamos rendszer. Az indukció vonalak rugalmas gumiszalagokként viselkednek. Az aszinkron gép lengését a kalicka - a rövidrezárt szekunder - indukált áramai fékezik. Hasonló hatások szinkron gépben is fellépnek.

Ugyanakkor mivel a forgórész áramok révén "saját" mágneses tere van - azt nem a hálózathoz felvett áramkomponensnek kell létesíteni - a szinkron gép képes meddő - kapacitív meddő - teljesítményt szolgáltatni, azaz úgy viselkedni mint egy kondenzátor telep.

Szokásos a rögzített pólusokkal ellátott forgórészt póluskeréknek, mezejét pólusmezőnek nevezni. Az állórész háromfázisú tekercselésének neve armatúra tekercselés, mezeje az armatúra mező. Armatúra tekercselésnek azt nevezzük, amelyben állandósult szimmetrikus állapotban feszültség indukálódik. Indukciós gépnél mindkét oldal ilyen így ott ez a megnevezés nem használatos.

Az indukciós gépnél az eredő légrésmezőben gondolkodtunk. Bár a két mező a szinkron gép légrésében is egyetlen eredő mezővé tevődik össze és csak ez mérhető, miután a két részmező - az azokat létesítő áramok - itt egymástól függetlenül változtathatnak célszerű a szinkron gépnél a két részmezőben gondolkodni.

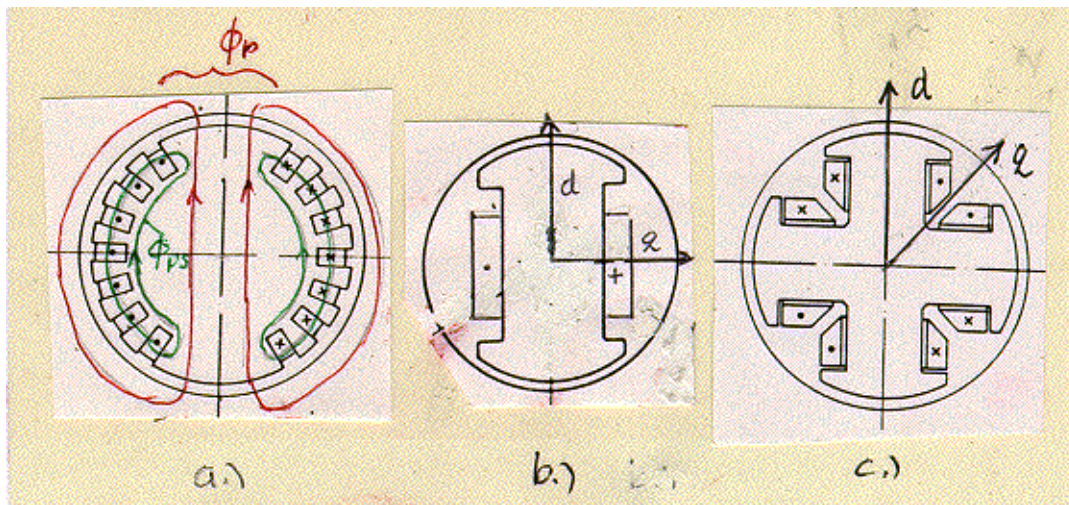
A szinkron gép elsősorban mind áramszolgáltató nagy generátor fontos. Míg az indukciós motor "hajtja a világ iparát", belátható időn belül a villamos energia döntő részét továbbra is szinkron generátorok szolgáltatják. A következőkben ezért általában a szinkron gép generátoros állandósult állapotát vizsgáljuk.

A hajtógép gőz-, víz vagy gázturbina. A nagy gőzturbinás generátorok 2-4 pólusúak a vízturbinások gyakran nagy pólusszámúak, lassú fordulatszámúak.

1.2. Felépítés

Az állórész tekercselés ugyanolyan háromfázisú mint az indukciós gépeké. Miután a vas igénybevétele a fogak telítődése miatt nem növelhető a nagy gépek áramsűrűségét, a kerületi áramot kell növelni, amihez erőteljes hűtés, lég, hidrogén- ill. vízhűtés szükséges. Az állórész lemezelt.

A forgórész két alaptípusa a hengeres és a kiálló pólusú változat az utóbbi az ábrán két és négy pólusú változatban (b. és c.) (l. 1.2. ábra).



1.2 ábra

Szimmetrikus állandósult állapotban a forgórész együtt fut az állórész mezővel így abban indukálás, átmágnesezés nincs. Így, főleg a nagy röperő ellen, a hengeres változat lehet tömör.

1.3. Helyettesítő áramkör

Származtatása - itt - egyszerű. Oka ennek, hogy a szinkron gépben csak egyirányú (unilaterális), nevezetesen forgórész → állórész kölcsönhatás, indukálás van, az állórész a forgórészre - az indukálást tekintve - nem hat vissza, abban nem indukál feszültséget.

Az állandósult, szimmetrikus állapotban ugyanis a forgórész pontosan együtt halad az állórész körforgó mezejével, így erővonalmetszés, ezáltal indukálás nincs.

Az állórész egy fázistekercse így nyugvó áramkörként nyugvó helyettesítő áramkörként kínálkozik. Ebben a nyugvó áramkörben a forgórésznek, a póluskeréknek egyetlen hatása van az un. pólusfeszültség indukálása, amely ideális feszültségforrásként jelenik meg.

Az indukált $\bar{U}_p$ pólusfeszültség effektív értékének kifejezését már az aszinkron gépnél a (7-18) kifejezéssel megismertük

$$U_p = 4,44 f_1 \xi_1 N_1 \phi_{pm} \quad f_1 = \frac{\omega_1}{2\pi} = \frac{p\Omega_1}{2\pi} \quad (1-3)$$

A feszültség indukálása szempontjából nyilván teljesen mindegy, hogy a forgó mező mechanikailag forgatott, vagy azt háromfázisú tekercselés létesítette.

Üresjárásban - amikor az armatúra árammentes - az armatúrában csak ez jelenik meg

$$\bar{U}_p = \bar{U}_o = \bar{U}_{ko} \quad (1-4)$$

Terheléskor a másik mező, az állórész áramok által létesített armaturamező is megjelenik. Az ezáltal indukált önindukciós feszültséget a ϕ_a armatúra fluxussal ugyanúgy kifejezhetnénk mint azt a (1-3) kifejezéssel tettük.

Ezt a feszültség komponensét sokkal célszerűbb nem "aktív" módon mint indukált feszültséget, feszültségforrást, hanem "passzív" módon mint feszültségesést figyelembe venni.

Így

$$\bar{U}_a = jX_a \bar{I}_a \quad (1-5)$$

Itt $X_a = \omega_1 L_a = \omega_1 \psi_a / I_a$ az armatúra főmező - röviden az armatúra mező reaktanciája.

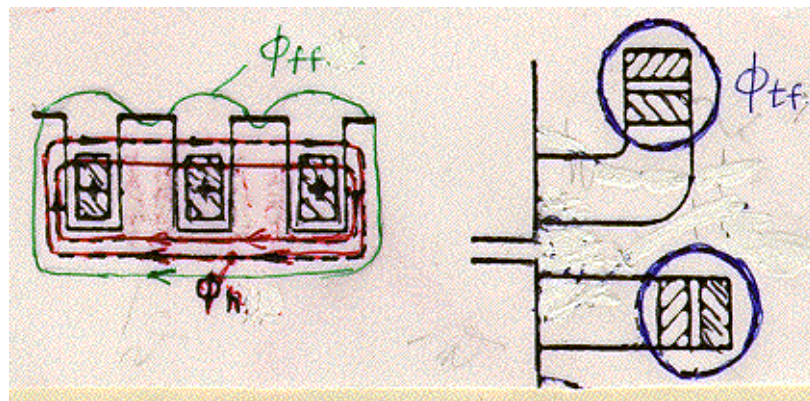
Az armatúra tekercselésnek, ugyanúgy mint az aszinkron gép álló- ill. forgórész tekercselésének a légrésen át a forgórészbe átmenő ϕ_a hasznos- vagy főfluxusa mellett van szórása, szórt fluxusa is. Az armatúra ϕ_s szórt fluxusa az armatúra fluxusnak csak az állórész tekercseléssel kapcsolódó része.

Kitérő:

A szórt fluxust a fluxusvonalak elhelyezkedését követve három jellegzetes részre, a horonyszórásra, a fogfejszórásra és a tekercsfaj szórásra

$$\phi_s = \phi_h + \phi_{ff} + \phi_{tf} \quad (1-6)$$

szokás felosztani. A három típus vázlatosan a 1.3. ábrán látható.



1.3 ábra

A szórt fluxusok a "hasznos munkában" a nyomatékképzésben nem vesznek részt, ugyanakkor - mint az indukciós gépnél láttuk - az általuk indukált feszültség vektoros eltérést okoz a generátor indukált feszültsége és a kapcsolófeszültsége között.

A szórt armatúra mezőt is mint

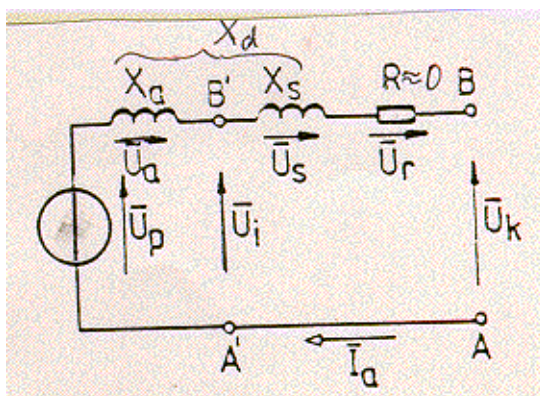
$$\bar{U}_s = jX_s \bar{I}_a \quad (1-7)$$

feszültségesést vesszük figyelembe.

Az ohmos feszültségeséssel kiegészítve gépünk feszültségegyenlete

$$\bar{U}_k = \bar{U}_p + jX_a \bar{I}_a + jX_s \bar{I}_a + R \bar{I}_a = \bar{U}_i + jX_s \bar{I}_a + R \bar{I}_a \quad (1-8)$$

$\bar{U}_i$ az eredő légrésmező által indukált feszültség. A (1-8) feszültségegyenlet alapján a helyettesítő kapcsolás a 1.4. ábrán látható.



1.4 ábra

A helyettesítő kapcsoláshoz érdemes néhány megjegyzést fűzni.

1./ Mi látszik az ábrában és mi nem? Soros kapcsolás lévén az árammal arányos "mennyiségek" megjelennek. Hiányzik viszont pl. az armatúrában keletkező vasvesztést jellemző ellenállás, valamint - az indukciós géphez hasonlóan - nem jelenik meg a súrlódási veszteség sem. Miután a nagy generátorok hatásfoka 99% körül van az üzemi vizsgálatok kielégítő módon végezhetők. Gazdasági és melegedési szempontból már nagyon kis százalékos veszteségértékek is fontosak.

2./ A növekedési törvényeknél láttuk, hogy a teljesítmény növekedésével az R ellenállás értékek csökkennek. A következőkben - szokásos módon - az armatúra ellenállását általában elhanyagoljuk.

3./ Mint megbeszéltük valójában a légrésben az eredő fluxust találjuk, csak az és U_i mérhető.

4./ Az X_a és X_s összevonásával nyert

$$X_d = X_a + X_s \quad (1-9)$$

szinkron reaktancia, a gép fontos jellemzője.

Kitérő:

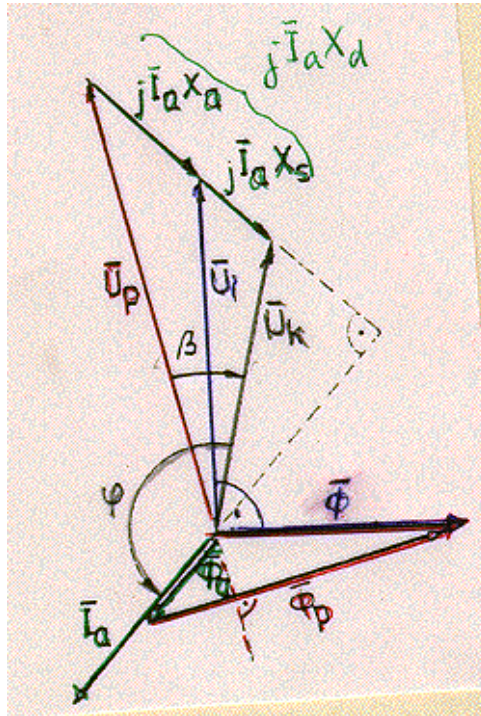
A d index az angol direct=direkt azaz pólustengely-irányú szóból ered. A kiálló pólusú gépnél (l. 1.2.b. ábra) ugyanis - amellyel nem foglalkozunk - a póluskerék hossz- és keresztirányában eltérő a légrés így a két irányhoz tartozó reaktancia. A d jelölést a szakirodalom a hengeres gépre is átvette. A hosszirányú induktivitás ill. reaktancia jele L_d ill. X_d a keresztirányúaké L_q ill. X_q .

1.4. Fázorábra

Tegyük fel, hogy $\bar{U}_k$ és $\bar{I}_a$ ismert - irányra és nagyságra - és $\bar{U}_p$ -t keressük. A rajzolt áramfázor (1.5. ábra) induktív jellegű fogyasztókat tápláló generátort jellemez. Az $R=0$ elhanyagolással (1-8)-ból:

$$\bar{U}_p = \bar{U}_k - jX_s\bar{I}_a - jX_a\bar{I}_a = \bar{U}_i - jX_d\bar{I}_a \quad (1-10)$$

$jX_s \bar{I}_a$ -t $\bar{U}_k$ -hoz visszafelé hozzáfűzve $\bar{U}_i$ -t nyerjük (1.5. ábra) majd $\bar{U}_i$ -hez $-jX_a \bar{I}_a$ -t felmérve $\bar{U}_p$ -t. $\bar{I}_a$, $\bar{U}_i$ és $\bar{U}_p$ ismeretében megszerkeszthetjük a $\bar{\Phi}_a$ -ból, $\bar{\Phi}_b$ -ből és $\bar{\Phi}$ -ből álló fluxusháromszöget.



1.5 ábra

1.5. Hálózatra kapcsolás és terhelésvétel

a./ Szinkronozás

A hajtó gőzturbina a generátort szinkron fordulatra hozza, majd a hálózat $\bar{U}_h$ feszültségének és a gép $\bar{U}_p = \bar{U}_k$ kapocsfeszültségének "illesztése" után a gépet a hálózatra kapcsolják.

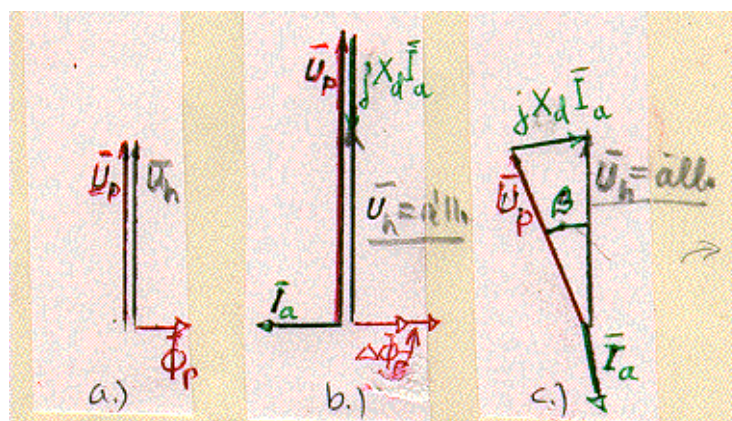
A pontos - un. finom - szinkronozáskor $\bar{U}_h$ és $\bar{U}_p$ szinuszgörbéinek egybe kell esni, amihez egyezni kell

- 1./ a fázissorrendnek
- 2./ a frekvenciának
- 3./ a nagyságnak
- 4./ a fázishelyzetnek

A gyakorlatban un. durva szinkronozás is szokásos.

b./ Meddő és hatásos teljesítmény leadás

Pontos szinkronozás esetén a rákapcsolás után a két szembekapcsolt feszültség fázor (1.6.a. ábra) egybeesik így "nem történik semmi", magyarul a generátor nem szolgáltat áramot.



1.6 ábra

Ha a gerjesztő áram, a $\bar{\Phi}_p$ pólusfluxus, növelésével $\bar{U}_p$ nagyságát növeljük, akkor a 1.6.b. ábra szerint a megjelenő feszültségkülönbséghez tiszta kapacitív meddő áram, azaz meddő teljesítmény leadás tartozik.

Ha a turbina gőzbeömlésének növelésével a tengelyen kifejtett nyomatékkal a 1.6.c. ábra szerint $\bar{U}_p$ -t előre forgatjuk, akkor a megjelenő $\bar{I}_a$ árammal közel tiszta hatásos teljesítmény leadást létesítünk.

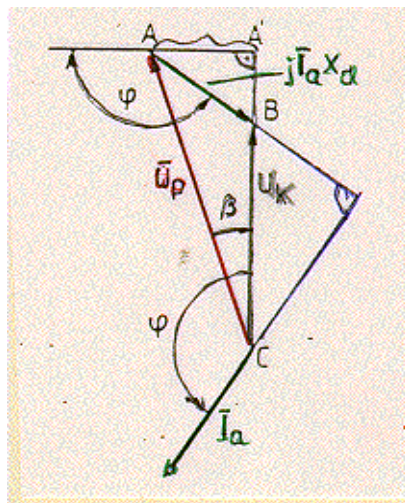
A hatásos teljesítményt tehát a tengelyen a meddőt a forgórész egyenáramának változtatásával lehet módosítani. Az elmondottakat energetikai megfontolások is alátámasztják. Miután az armatúra nem hat - indukálás révén - a pólusokra az energetikai folyamat, a mechanikai $\rightarrow$ villamos energiaátalakítás az armatúrában folyik le. A gerjesztő tekercselésbe betáplált villamos energia teljes egészében joule hővé alakul.

1.6. Hengeres gép nyomatéka

A veszteségeknek - a nagy hatásfok értékek alapján történő - elhanyagolásával

$$P_{\text{mech}} = P_{\text{hál}} = 3U_k I_a \cos \varphi \quad (1-11)$$

A φ fázisszög helyett a β nyomatéki vagy terhelési szöget (l. 1.5. ábra) kívánjuk behozni.



1.7 ábra

A 1.7. ábra egyszerűsített fázorábrájából az AA' vetületre $\cos(\pi - \varphi) = -\cos\varphi$; $\sin(-\beta) = -\sin\beta$ - mivel az ábrán β negatív - érvényes, hogy

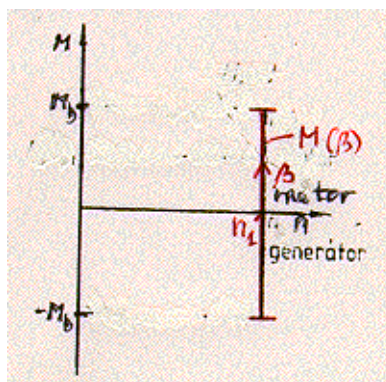
$$X_d I_a \cos\varphi = -U_p \sin\beta$$

Ezzel a nyomaték kifejezése

$$M = \frac{P_{\text{mech}}}{\Omega_0} = \frac{3p}{\omega_1} \frac{U_k U_p}{X_d} \sin\beta = M_b \sin\beta \quad (1-12)$$

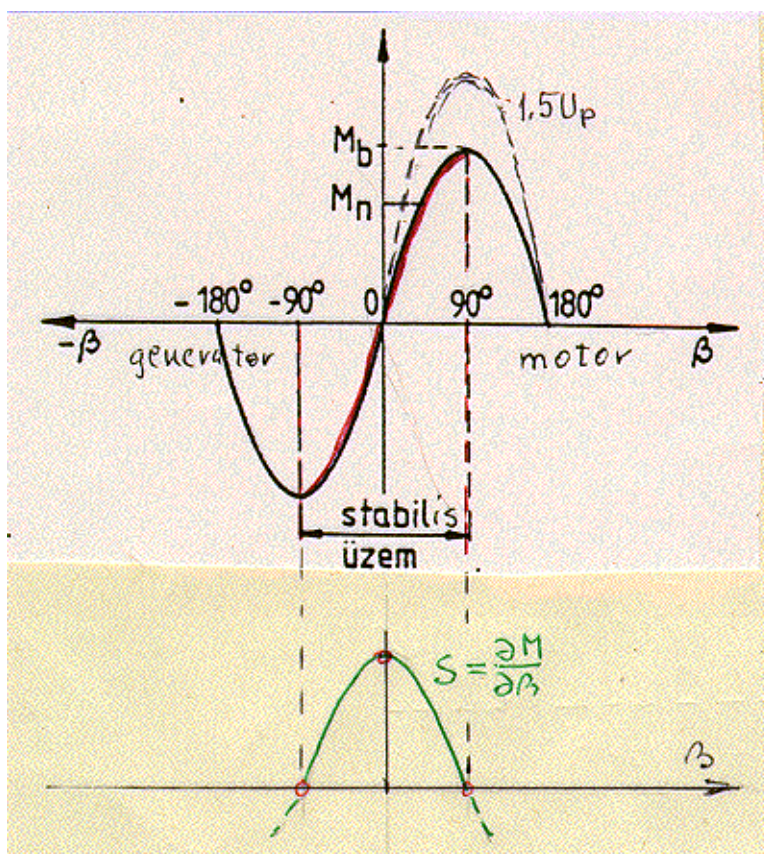
E fontos egyenlethez érdekes és nagyrészt fontos megjegyzéseket lehet fűzni.

1./ Az $M(n)$ "jelleggörbe" (1.8. ábra) felrajzolásának itt láthatóan nincs értelme.



1.8 ábra

2./ $U_k = \text{áll}$ és $U_p = \text{áll.}$ esetén az $M = M_b \sin\beta$ nyomatékgörbét a 1.1. ábrán látjuk.



1.9 ábra

3./ A nyomatékgörbe statikusan stabilis szakasza a motoros- és generátoros billenő nyomatéka között található. A terhelő - vagy hajtó - nyomatékról általában feltehető, hogy a β szögnek nem függvénye.

4./ Az

$$S = \frac{\partial M}{\partial \beta} = M_b \cos \beta \quad (1-13)$$

szinkronozó - visszatérítő - nyomaték görbéje is a 1.1. ábrán látható. $\beta=0$ -nál maximális értékű, $\beta=90^\circ$ -nál zérussá, majd negatívvá válik.

5./ Az $U_k \cdot U_p$ szorzatnak indukciós motornál U^2 felel meg. Az egyik feszültséggel a fluxus a másikkal az áram tekinthető arányosnak.

6./ Terheléslökéseket a gerjesztés, ezzel U_p rövid idejű megnövelésével (l. 1.1. szaggatott görbéje) lehet kivédeni.