

**3.10 Mutassa be a végtelen hálózatra dolgozó szinkron generátor statikus stabilitását fázorábrán és teljesítménygörbén!**

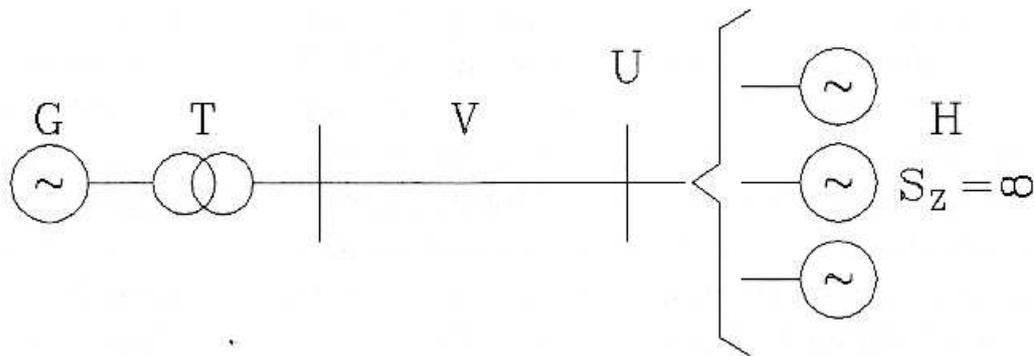
Akkor stabil egy rendszer, ha különböző hatások ellenére visszatér eredeti stabil helyzetébe, azaz a rendszer összetartó erői (szinkronozó nyomaték) nagyobbak, mint a zavaró, kitérítő erők. Ha ezek a zavaró tényezők lassú folyamatos hatást fejtenek ki a szinkron generátorra nézve, akkor beszélünk statikus stabilitásról (blokk kapcsolású erőmű termel végtelen hálózatra)

Statikusan stabilis egy rendszer, ha a szinkrongépek állandósult üzemviszonyok között képesek párhuzamos üzemre, ill. lassú folyamatos változások esetén is fennmarad a rendszer ezen tulajdonsága. A szinkron generátor transzformátoron és távvezetéken keresztül csatlakozik a végtelen hálózathoz, így az átviteli út reaktanciája, azaz a gép és a hálózati pont közötti átviteli reaktancia  $X_{12}$  kerül az összefüggés nevezőjébe.

$$P = \frac{U_P * U}{X_{12}} * \sin \delta =$$

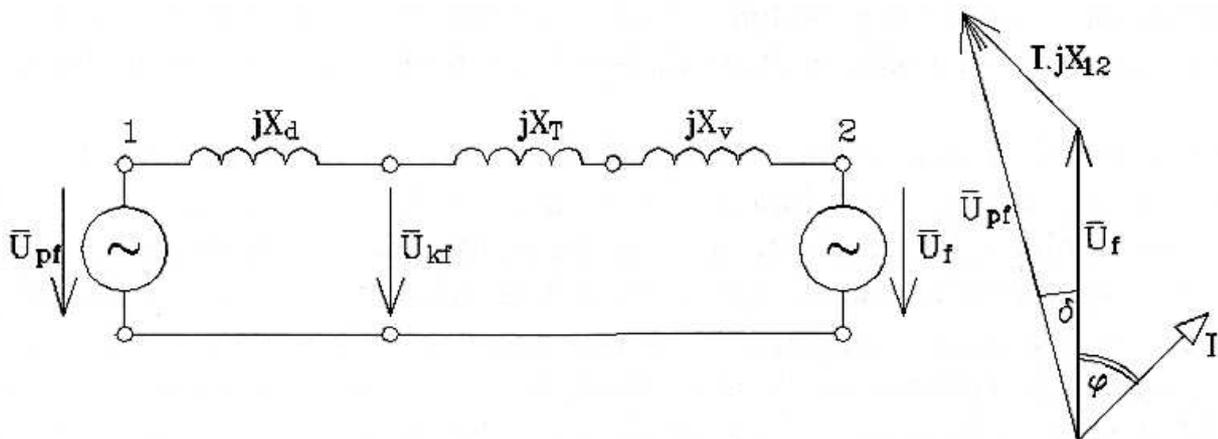
$$P = \frac{U_P * U}{X_d + X_{Tr} + X_v} * \sin \delta,$$

ahol  $\delta$  az  $U_p$  és  $U$  feszültségfázorok közötti szög.



9.2.-1. ábra

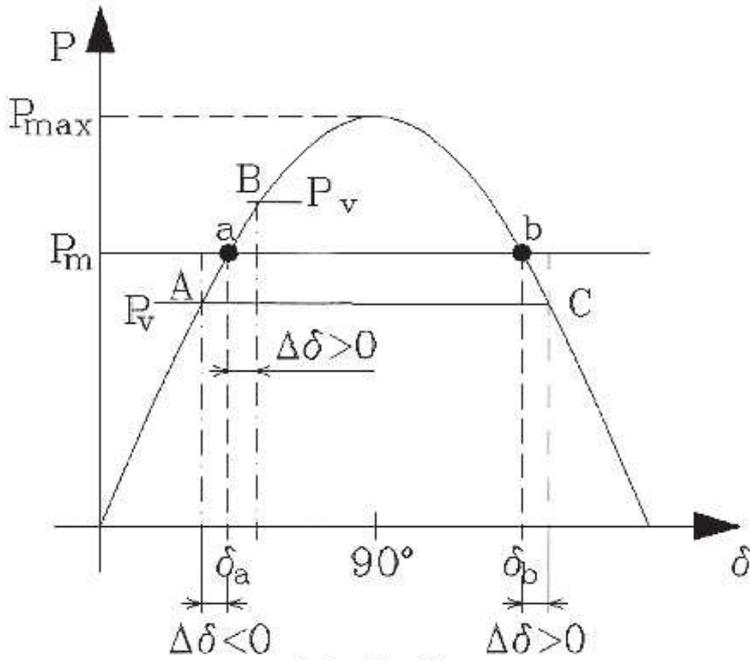
Végtelen hálózatra dolgozó blokk-kapcsolású szinkron generátor



9.2.-2. ábra

Végtelen hálózatra dolgozó blokk-kapcsolású szinkrongenerátor egyfázisú helyettesítő vázlatja és fázorábrája

**Természetes statikus stabilitás:**



9.2.-3. ábra  
Stabil és instabil pontok

$$I_g^G = \text{áll}, U_p = \text{áll}, P_m = \text{áll. (mechanikai teljesítmény)}$$

a stabilitás fokát a stabilitási tényező (min.15-20%) adja meg.

$$k = \frac{P_{\max} - P}{P} * 100\% \text{ ahol } P_{\max} = \frac{U_p * U}{X}$$

Szinkronozó teljesítmény:

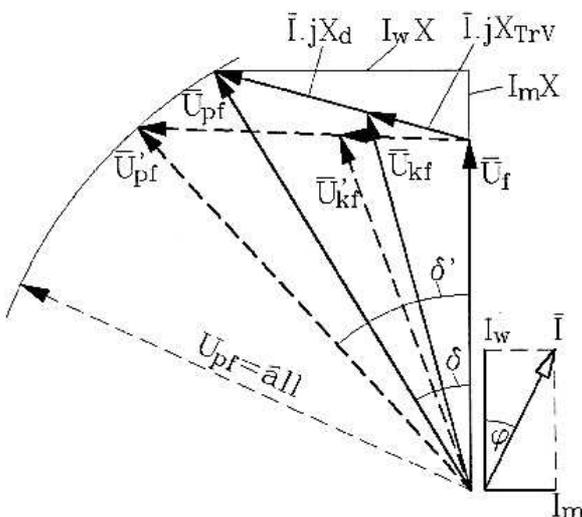
$$P_{\max} = \frac{U_p * U}{X} \cos \delta, \text{ ha } U_p = \text{áll}$$

→ természetes stabilitás (szabályozás nélküli)

A terhelési szög  $0 < \delta < 90^\circ$  -os tartománya stabil üzemállapot.

**A  $\delta_a$ -val jelölt kiindulási üzemállapotban a turbina és a generátor teljesítménye** ( $P_m$  és  $P$ ) egyensúlyban van „a” pont. Az állandó turbinateljesítményt – ami megegyezik a generátor tengelyét hajtó  $P_m$  mechanikai teljesítménnyel – az ábrán egy vízszintes vonallal jelöltük. Most tételezzük fel, hogy a terhelési szög valamilyen oknál fogva kis értékű  $\Delta\delta$  szöggel lecsökken, aminek megfelelően a generátor teljesítménye – a jelleggörbének megfelelően „A” pontra -  $\Delta P$  értékkel csökken. Minthogy a  $P_m$  turbinateljesítmény állandó, a turbina és a generátor közötti egyensúly megbomlik, a generátor szolgáltatott villamos teljesítmény kisebb lesz a turbina által szolgáltatott teljesítménynél. Tekintve, hogy a teljesítmény – állandó szögsebesség esetén – arányos a nyomatékkal, úgy is mondhatjuk, hogy a nyomatékok egyensúlya megbomlott, a generátor fékezőnyomatéka kisebb lesz, mint a turbina hajtónyomatéka. Így a turbina-generátor gépcsoport tengelyén gyorsítónyomaték lép fel, amely a generátor forgórészét gyorsítja. Ennek megfelelően a  $\delta$  terhelési szög nő, egészen addig, amíg a gyorsító- és fékezőnyomaték ismét egyensúlyba kerül, azaz a jelleggörbe „a” pontja. Fékezőnyomaték ugyanez fordítva →  $\Delta\delta$  szöggel nő

$U_p = \text{áll}$ . Melletti terhelési szögváltozás hatása. Látható hogy ha a  $\delta$  szög  $\delta'$ -re nő, akkor a /felülvonás/  $U_{pf}$  fázor  $\delta$  ról  $\delta'$  re



9.2.-4. ábra

A terhelési szög változásának hatása fázorábrán ( $U_p = \text{állandó}$ )

elfordul. Tekintve, hogy a /felülvonás/  $U_f$  feszültség is áll., a kapocsfeszültség lecsökken és helyzetét az  $X_d$  és  $X_{Tr} + X_v = X_{Trv}$  aránya szabja meg. A kapocsfeszültség abszolút értékének lecsökkenése mellett azonban a rendszer minden egyes pontjának a feszültsége is lecsökken a szögnövekedés következtében.

→ a terhelési szög változásának hatása fázorábrán.  $U_p = \text{áll}$ .

### 3.11 Hogyan változik a végtelenre dolgozó szinkron generátor statikus stabilitása $U_k = \text{áll.}$ esetén?

Ha a gerjesztőáram  $I_g$  változtatásával a generátor kapocsfeszültségét tartjuk állandónak  $U_k = \text{áll.}$   $\rightarrow U_p$  nem áll. (ma már a meddőt, vagy a  $\cos\phi$ -t tartjuk állandónak)

A különböző teljesítménygörbék egyenlete:  $P = \frac{U_{pi} * U}{X_e} * \sin \delta_i$  ;

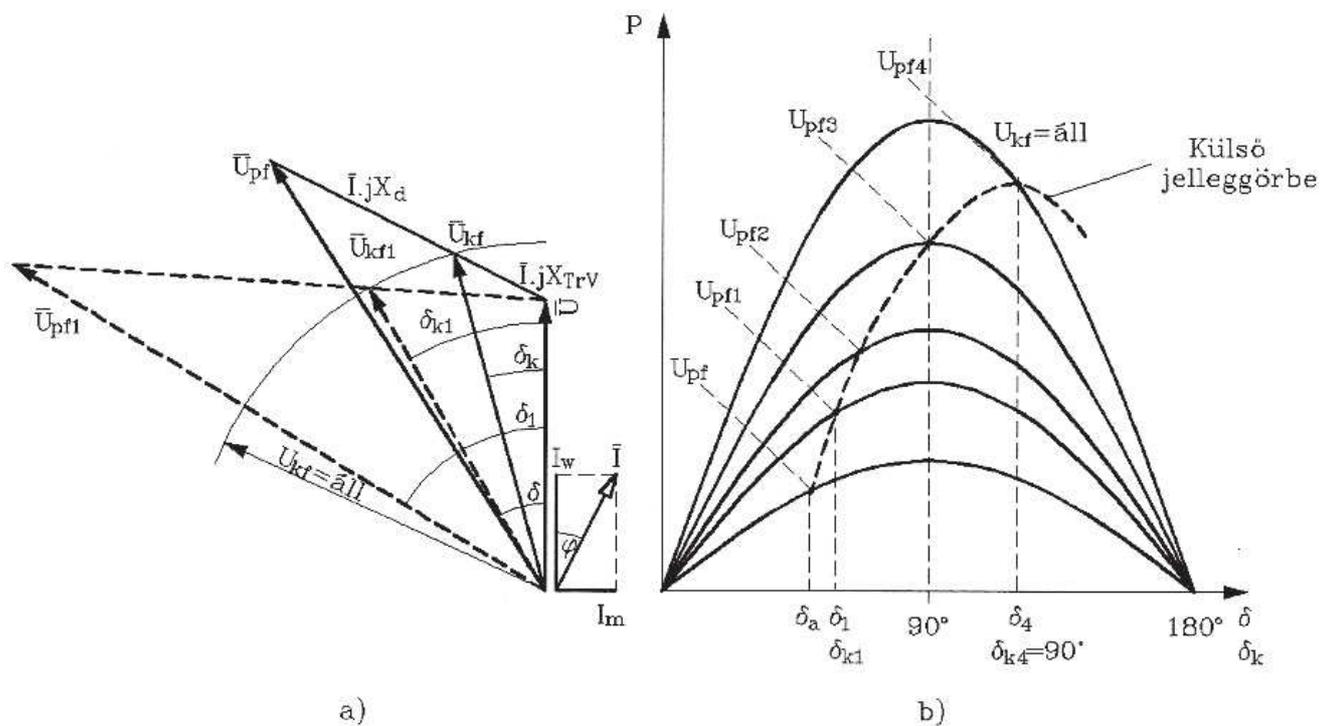
Átvihető telj.:  $P_{\text{átvihető}} = \frac{U_k * U}{X_k} * \sin \delta_k$  ; ahol  $X_k = X_{Tr} + X_v$

$\delta_k$  -  $U_k$  és  $U_{gyűjtősín}$  közötti szög a fazonon;  $X_{Trv} * I_w = U_{kf} * \sin \delta_k$

A két áll. fesz. között értelmezett az átviteli reaktancia.

Ha  $\delta > 90^\circ$  esetén a generátor csak külső beavatkozó feszültségszabályzóval képes stabil üzemre.  $\rightarrow$  mesterséges stabilitás

Természetes stabilitás tartománya:  $\delta < 90^\circ$  és  $\delta_k < 90^\circ$  mesterséges stabilitás tartománya:  $\delta > 90^\circ$  és  $\delta_k < 90^\circ$



9.2.-5. ábra

Viszonyok ( $U_k = \text{állandó}$ ) esetén

a.) fázorábra (két terhelési esetre),

b.) a mesterséges stabilitás tartománya (öt terhelési esetre)

1. ábra:  $U_k = \text{áll.}$ ,  $U_p$  vált. A terhelési szög fg-ben. Kapocsfesz  $r = U_{kf}$  körön mozog, mivel  $X_d/X_{Tr}$  arány áll. A különböző szögű kapocsfeszhez az  $I_{X_{Trv}}$  növekedési arányának ismeretében az  $I_{Xd}$  kiszámítható.

Az átvihető teljesítmény maximuma  $P_{\text{átvihető}} = \frac{U_k * U}{X_k}$ . A  $\delta_k$  szög kisebb mint a  $\delta$ , tehát a  $\delta_k = 90^\circ$  szögnél a  $\delta$  már

jóval nagyobb értéket ér el, mint  $90^\circ$ . Szaggatott vonal  $\rightarrow$  külső jelleggörbe. Csak akkor képes stabil üzemre, ha igen gyors működésű feszszabályzóval van ellátva, amely a kapocsfeszültségét állandó értéken tartja.

### 3.12 Mit jelent a végtelen hálózatra dolgozó szinkron generátor esetében, hogy tranziensen stabil. Mi az egyenlő területek szabálya, mekkora a forgórész kilendülésének legnagyobb szöge?

A tranziens stabilitás egy rendszernek kizárólagosan átmeneti üzemi viszonyok között értelmezett tulajdonsága. Az átmeneti üzemi viszonyok hirtelen üzemállapot változások következtében lépnek fel, ilyenek a hálózati hibák (elsősorban zárlatok), avagy vezetékek be ill. ki kapcsolása. A tranziens stabilitás problémája ezek alapján így fogalmazható meg: milyen típusú ill. nagyságú zavarok azok, amelyek által kiváltott tranziens jelenség még nem járnak a rendszer egyes generátorai között meglévő szinkronizmus megbomlásával? A tranziens stabilitás hatását tehát a zavarhatás típusa és mértéke együttesen határozzák meg.

A rendszerben fellépő hirtelen zavarok hatása az erőművek gépeinek lengésében jelentkezik. A statikus stabilitás vizsgálatához képest az eltérés az, hogy a generátort a tranziens reaktancia mögötti feszültséggel  $U'$  és a tranziens reaktanciával  $X_d'$  helyettesítjük. A kikapcsolás előtti és utáni állapotok között az átviteli reaktancia értékében van nagy különbség.

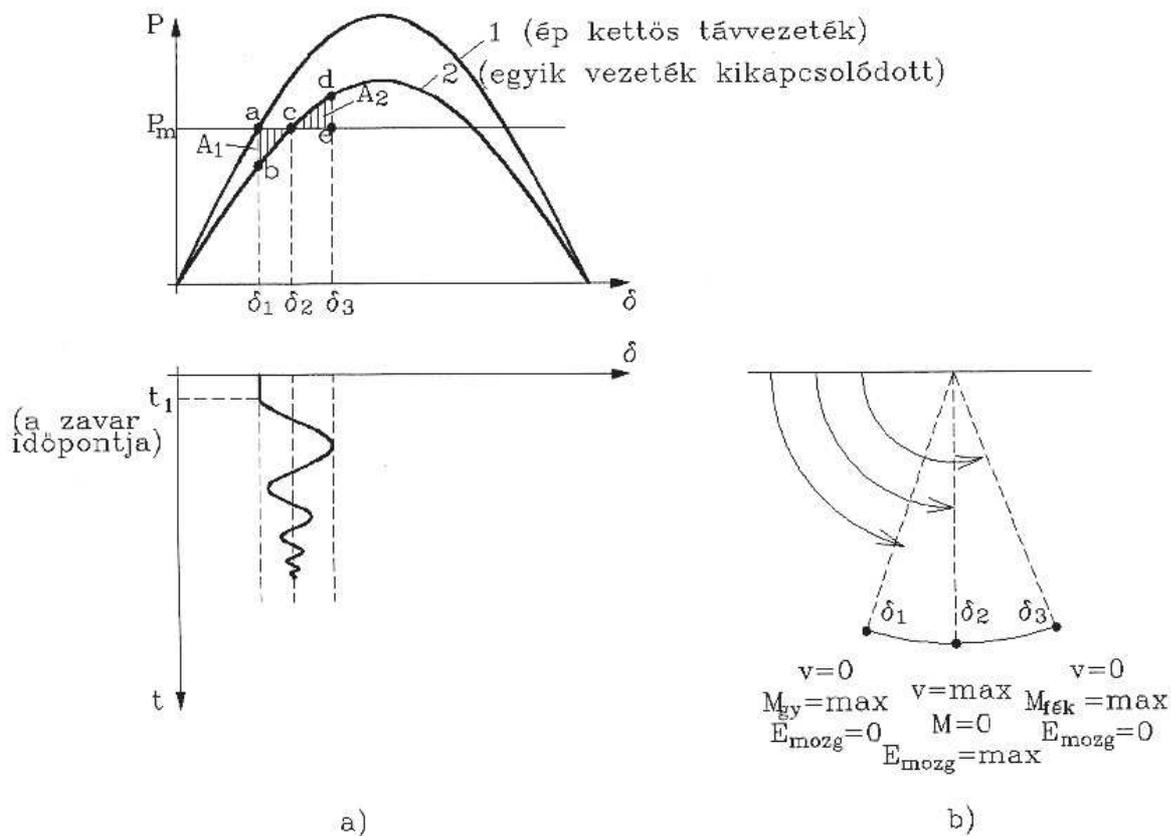
Az üzemi munkapont a két vezetékes üzemállapotra az 1. jelű görbén az „a” pont. A vizsgált generátor forgórésze a rendszerhez képest ekkor  $\delta_1$  szöggel siet előre. Ha a teljesítménygörbe az átviteli út valamilyen zavara hatására megváltozik és lecsökken a 2. görbére, akkor a villamos teljesítmény is lecsökken a 2. görbe „b” pontjára, mivel a generátor forgórésze - tehetetlenség folytán – relatív szögsebességét ugrásszerűen – nulla idő alatt – nem tudja megváltoztatni. Azaz az „a” és „b” munkapont ugyan ahhoz a  $\delta_1$  szögelforduláshoz tartozik. Pontosan ez az eset áll elő, ha a kettős távvezeték közül az egyik kikapcsolódik, az átviteli reaktancia megnő, az átvihető teljesítmény lecsökken.

A „b” pontra lecsökkent villamos teljesítménynél nagyobb a turbina hajtó teljesítménye.  $P=M*\omega$ , de  $\omega$ =állandó, így a teljesítmény arányos a nyomatékkal. Így a teljesítménykülönbséggel arányos nyomaték a forgórészt is gyorsítani fogja, a  $\delta$  szög – és vele a villamos teljesítmény – növekszik  $\delta_1$ -ről  $\delta_2$ -re. A „c” ponton a mechanikai és a villamos teljesítmény egyensúlyba kerül ugyan, de a folyamat nem ér véget, mert az új  $\delta_2$  szöghelyzetbe a gép forgórésze felgyorsulva – sebességgel- érkezik, így a forgórész – annak ellenére, hogy a nyomaték nem hat rá – tehetetlensége folytán a „c” pontos túllendül. Ezáltal viszont a generátor fékező teljesítménye lesz a nagyobb a turbina szolgáltatja hajtó teljesítménynél, a nyomatékkülönbség értéke előjelet vált, s a forgórész fékeződni kezd. A forgórész lassul, de a  $\delta$  szög továbbra is nő egészen  $\delta_3$  értékig „d” pontig, ahol a relatív szögsebesség ismét nulla. A fékező teljesítmény, a nyomaték maximális, így a forgórész úgy lassul, hogy a  $\delta$  és vele a villamos teljesítmény csökken, amíg a terhelési szög  $\delta_3$ -ról  $\delta_2$ -re nem csökken, ahol s teljesítmények és nyomatékok egyensúlyban vannak. A „c” ponton a forgórész tehetetlensége miatt ismét túllendül a „b” pont irányába és így tovább, több csillapodó lengés után beáll az új állandósult állapot a „c” pontnál, a  $\delta_2$  terhelési szögnél. Az  $A_1$  munka a forgó tömegek kinetikai energiájának változásával egyenlő, amelynek az ábrán tehát az a-b-c pontokkal meghatározott és bevonalkázott terület felel meg  $\rightarrow$  gyorsító terület. Az  $A_2$  az a munka, amely a forgórész fékezésére fordítódik, ennek az ábrán a c-d-e pontokkal meghatározott bevonalkázott terület felel meg  $\rightarrow$  fékező terület. Az előzőek alapján a tranziens stabilitás fennmaradásának feltétele az, hogy a fékezéskor felhasználandó kinetikus energia egyenlő legyen a gyorsításkor keletkező kinetikus energiával, azaz a gyorsító terület egyenlő legyen a fékező területtel  $A_1=A_2$ .  $\rightarrow$  **egyenlő területek szabálya.**

$$W_{\text{gyorsító}} = \int_{\delta_1}^{\delta_2} \Delta M(\delta) d\delta \qquad A_1 = \int_{\delta_1}^{\delta_2} \Delta P(\delta) d\delta$$

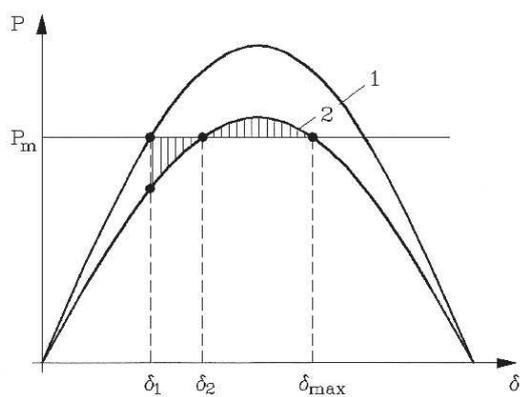
Ha a rendelkezésre álló fékező terület a gyorsítónál nagyobb, a stabilitás megmarad, ha kisebb a stabilitás megszűnik.

A területek egyenlőtlenségéből meg lehet állapítani azt a **legnagyobb szögértéket** is, ameddig a forgórész kilendül. Az egyenlő területek szabálya alapján a  $\delta_{\text{max}}$  szinuszos görbe süllyedő ágára is kerülhet, ez mégsem jelenti a tranziens stabilitás megszűnését ugyanis a lengés közben olyan fékező nyomaték lép fel, amely a generátor forgórészét ismét a görbe emelkedő ágára lendíti vissza.



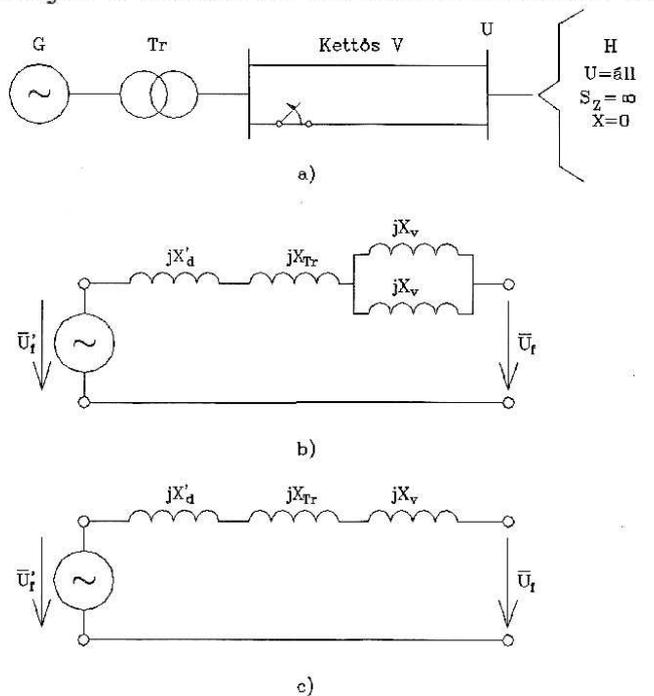
9.3.-2. ábra

a.) Szinkrongép lengési folyamata      b.) A lengés ingamozgásra emlékeztető analógiája  
 A szabály alkalmazásával lehetőség nyílik a tranziens stabilitás gyors és könnyen áttekinthető megítélésére. A két üzemállapotra kiszámítjuk a különböző  $\delta$  értékekhez tartozó villamos



9.3.-3. ábra

Az egyenlő területek szabálya,  $\delta_{max}$  a görbe süllyedő ágán



9.3.-1. ábra

- a.) Végtelen hálózatra kettős távvezetéken energiát szállító blokkerőmű  
 b.) Az „a” ábra hálózatának egyfázisú kapcsolási vázlata a kikapcsolás előtti két vezetékű üzemállapotra ( $t = -0.s$ )  
 c.) Az „a” ábra hálózatának egyfázisú kapcsolási vázlata az egyik távvezeték kikapcsolása utáni állapotra ( $t = +0.s$ )

### 3.13 Hogyan befolyásolja a szinkrongép tranziens stabilitását az átviteli hálózat soros vagy sönt hibája? Hogyan menthető a nem kívánt állapot?

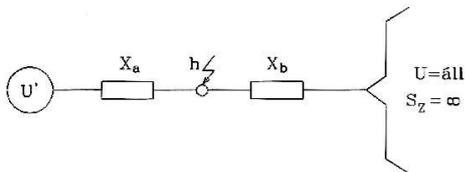
#### Sönthibák hatása a tranziens stabilitásra:

A feltételek alapján a generátor szolgáltatotta villamos teljesítmény:  $P = \frac{U_P * U}{X_{12}} * \sin \delta$

- konduktív ellenállásokat figyelmen kívül hagyjuk
- tisztán hosszirányú összeköttetést tételezünk fel

Ahol az  $X_{12}$  a generátor és a hálózat közötti rövidzárási átviteli reaktancia. (tranziens állapotpotra.)

Összevont helyettesítő vázlattal adjuk meg, az ábrán zárlati helyzet ábrázolunk, amely a generátor és a végtelen hálózat közötti átviteli reaktanciát két részre osztja.  $X_{12} = X_a + X_b$



9.3.-4. ábra

Egy végtelen hálózatba dolgozó szinkron generátor leképzése tranziens stabilitási vizsgálatokhoz

$$X_{12}^{FN} = X_a + X_b + \frac{X_a * X_b}{X_2 + X_0}$$

A hibamentes esettel összevetve látható, hogy az FN zárlati

$X_{12}^{FN}$  egy harmadik taggal bővült, azaz értéke megnövekedett.

**2F:** a zérus sorrendű hiányzik ezért csak az  $X_2$  negatív eredő reaktancia iktatódik be.

$$X_{12}^{2F} = X_a + X_b + \frac{X_a * X_b}{X_2}$$

**2FN:** a negatív és zérus sorrendű hálózat reaktanciáinak  $X_2$  párhuzamos eredője iktatódik be.

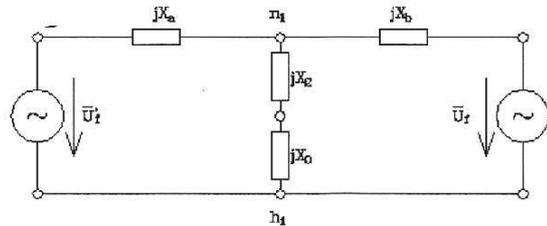
$$X_{12}^{2FN} = X_a + X_b + \frac{X_a * X_b}{\frac{X_2 * X_0}{X_2 + X_0}}$$

**3F:** a vezeték feszültsége a hibahelyen a zárlat idején nulla, teljesítmény egyáltalán nem vihető át, azaz az átviteli végtelen nagy.

$$X_{12}^{3F} = X_a + X_b + \frac{X_a * X_b}{0} = \infty$$

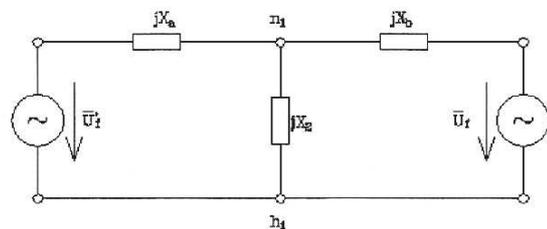
→ Az átvihető teljesítmény változása, ha a hálózaton zárlatfajták lépnek fel.

**FN:** a hiba helyére  $X_h = X_2 + X_0$  nagyságú impedanciát kell beiktatni, ahol  $X_2$  és  $X_0$  a teljes rendszer hibahelyre redukált negatív és zérus sorrendű reaktanciája. Az átviteli impedancia kifejezése:



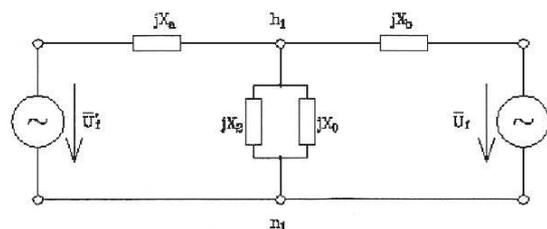
a) FN zárlat

esetben



b) 2F zárlat

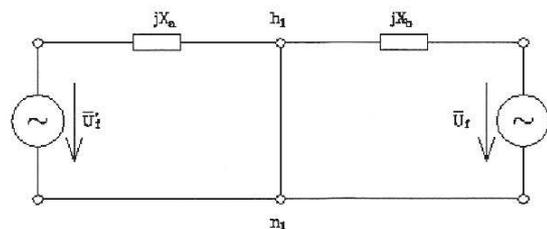
sorrendű



c) 2FN zárlat

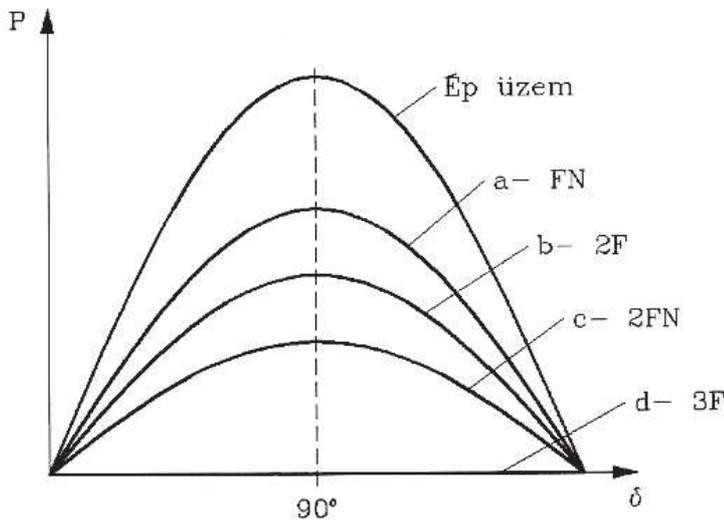
és  $X_0$  a

ezért a reaktancia



d) 3F zárlat

különböző



9.3.-6. ábra

Zárlatok hatása az átvihető teljesítményre

a.) FN, b.) 2F, c.) 2FN, d.) 3F, e.) ép üzem

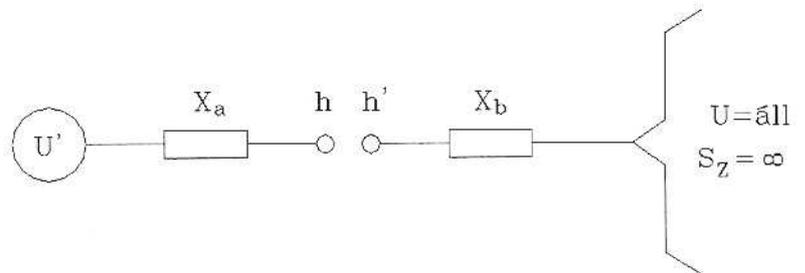
$$X_{12} < X_{12}^{FN} < X_{12}^{2F} < X_{12}^{2FN} < X_{12}^{3F}$$

A legkedvezőbb az FN, míg a legkedvezőtlenebb a 3F fémes zárlat.

**Soros hibák hatása tranzien stabilitásra:**

Soros hibahely kialakítása:

**1F szakadás:** a pozitív sorrendű hálózatba a szakadás helyén beiktatódik az  $X_2$  és az  $X_0$  reaktancia párhuzamos eredője, így az átviteli reaktancia

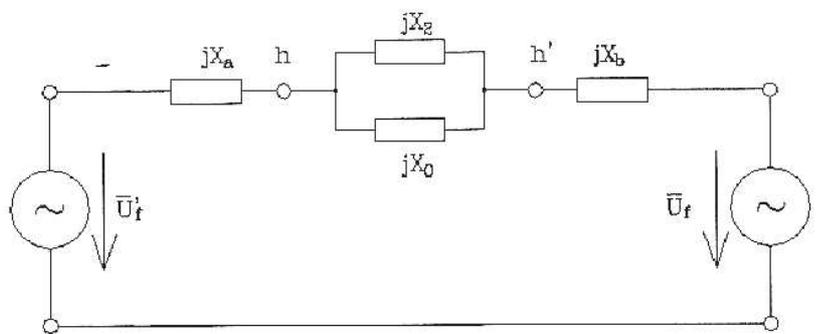


9.3.-7. ábra. Az átviteli hálózaton soros hiba

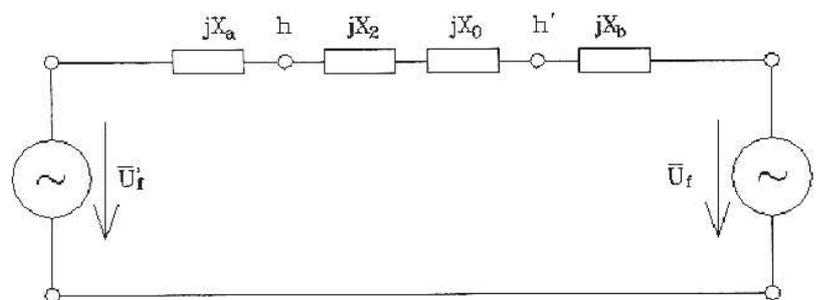
$$X_{12}^{1F} = X_a + X_b + \frac{X_2 * X_0}{X_2 + X_0}$$

**2F:** szakadás esetén az  $X_2$  és az  $X_0$  reaktancia soros eredője iktatódik be a pozitív sorrendű hálózatba:

$X_{12} = X_a + X_b + X_2 + X_0$  a kétféle szakadás összevetéséből látható, hogy a 2F szakadás hatása kedvezőtlenebb.



a) 1f szakadás

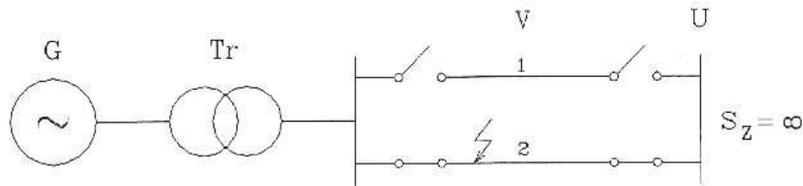


b) 2f szakadás

### A tranziens stabilitás mentése gyorsrágérsztéssel:

A tranziens stabilitás feltétlen megmentésére irányuló törekvés a gyakorlatban azt jelenti, hogy a gép stabilitását veszélyeztető rövidzárlatokat olyan gyorsan kell lekapcsolni, hogy gyorsító terület minél kisebb legyen, és a fékező terület minél nagyobb legyen. PL.: kettős távvezeték karbantartása → egyik kikapcsolva → másikon zárlat lép fel.

A tranziens stabilitás fokozásának fontos üzemviteli eszközt képezi az ún. Gyorsrágérsztés. Zárlat felléptekor a generátor gerjesztését a lehetséges legnagyobb értékig megnövelik, ezáltal a teljesítménygörbe magasabb lesz, - szaggatott vonalú görbék -, mind a zárlati, mind az ép üzemre vonatkozóan.



9.3.-9. ábra

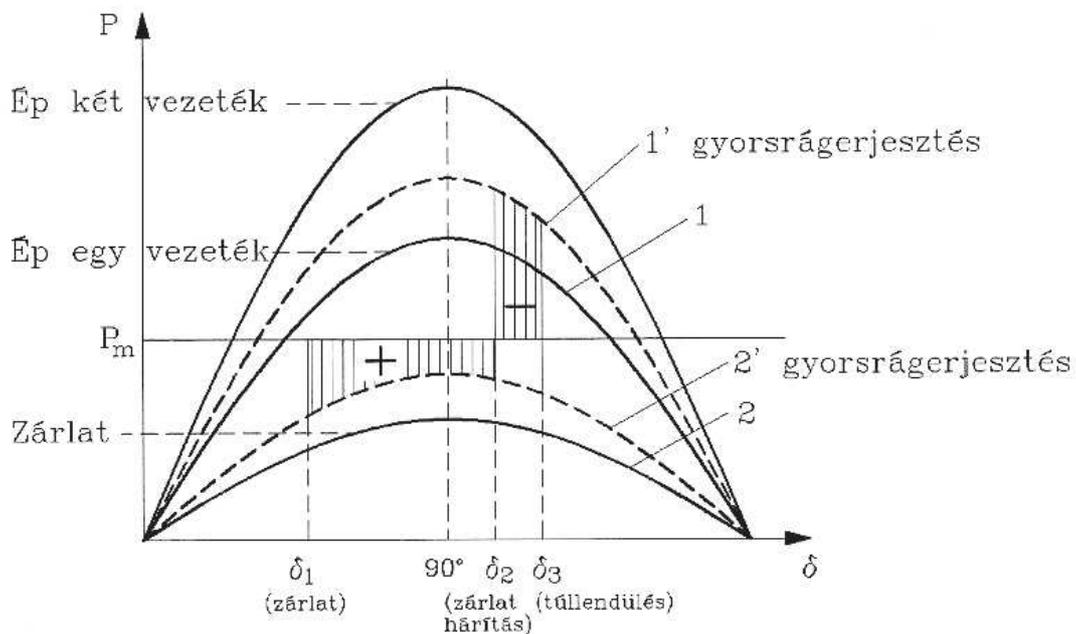
Erőmű teljesítményszállításának vizsgálata a távvezeték karbantartása esetén

$$\text{2vezetékes üzem: } P = \frac{U' * U}{X_{12}^{2vez}} * \sin \delta'; \quad \text{1vezetékes üzem: } P_1 = \frac{U' * U}{X_{12}^{1vez}} * \sin \delta'$$

$$\text{Az egyetlen vezetéken zárlat lép fel: } P_2 = \frac{U' * U}{X_{12}^Z} * \sin \delta'$$

$$\text{Az ép 1 vezetékek gyorsrágérsztési állapot: } P_1' = \frac{U'_{gy} * U}{X_{12}^{1vez}} * \sin \delta'$$

Az egyetlen vezetéken zárlat lép fel → gyorsrágérsztés:



9.3.-10. ábra

A gyorsrágérsztés hatása a tranziens stabilitásra

A gyorsrágérsztés hatására csökken a gyorsító terület és egyben növekszik a fékező terület. Így az üzemvitelben olyan esetben is megmenthető a stabilitás, amikor normál gerjesztés mellett (folyamatos vonal) a gép kiesne a szinkronizmusból.

**Astabilitási vizsgálatokat két fontos esetben kell elvégezni:**

- az erőművi betáplálásokkal kiegészített hurkolt alaphálózat tervezése
- ha egy ipari fogyasztó saját hálózatának ellátásán kívül a közcélú hálózattal párhuzamosan járó erőművel is rendelkezik, és a fogyasztó hálózatra csatlakoztatásának tervezése a feladat.