

3. **Szinkron gép 3F zárlatakor az egyenáramú összetevő időbeli változása és oka.**
4. **Szinkron gép 3F zárlatakor a váltakozó áramú összetevő időbeli változása és oka.**

Zárlatfajták:

A villamos energia rendszerben a zárlati áram forrása az összes párhuzamosan járó szinkrongép.

A szinkrongépen fellépő zárlat következményei súlyosak, egyrészt a villamos energia átvitel korlátozása, másrészt komoly károkozás – dinamikus, melegeedés, olvasztás, ív – következhet be (Megszakító kikapcsolásával gyors zárlathárítás.)

Háromféle zárlat jöhet létre: 1. egyfázisú-; 2. kétfázisú-; 3. háromfázisú zárlat. (Egyfázisú földzárlat nem lép fel, mert a generátorok csillagpontja szigetelt.)

Szinkrongép hirtelen 3F kapocszárlata

Vizsgálati feltételek:

- Szimmetrikus forgórészű szinkrongépet tekintünk;
- A rövidzárás a szinkron fordulattal és a névleges feszültségre gerjesztett üresen járó gépen következik be ($U_k = U_p = \frac{U_n}{\sqrt{3}}$);
- A fázistekercsek ellenállását az induktív reaktancia mellett elhanyagolhatjuk.

A zárlati áram – az állórésztekercselés ellenállásának elhanyagolása miatt – a feszültséghez képest 90°-kal késő tisztán induktív áram, amely a forgórészre erős lemágnesező hatást fejt ki. Ez az indukált feszültség gyors letörését eredményezi, így – állandó reaktanciát feltételezve – a zárlati áram is csökken.

A zárlati áram időbeli lezajlása szerint két eset léphet fel:

- Szimmetrikus lefolyású zárlati folyamat; (3F a fesz. maximumánál lép fel $u_{(0)}=u_m$)
- Asszimmetrikus lefolyású zárlati folyamat; (3F a fesz. pozitív félhullámának nulla átmeneténél $u_{(0)}=0$)

A kialakuló folyamatokat a szinkrongép átmeneti jelenségeinek nevezzük.

Vizsgálatuk alapja egy soros R-L kör, amelyre $t = 0$ időpillanatban szinuszos, és az időben állandó amplitúdójú „u” feszültséget kapcsolunk. (eltekinthetünk attól a feltételtől, hogy az ellenállást elhanyagolhatjuk.)

A jelenséget leíró differenciálegyenlet: $R_i + L \frac{di}{dt} = u(t) = u_m \cdot \sin(\omega t + \psi)$

Ahol: Ψ – a feszültségfázor a $t=0$ pillanatban az ordinátatengellyel bezárt szöge.

Az egyenlet i-re történő megoldása két tagból áll:

- i_a állandósult állapotot leíró, vagy **váltakozó áramú összetevőből**,

- i_t átmeneti állapotot leíró, ún. **egyenáramú összetevőből**.

$$\mathbf{i}_{(t)} = \mathbf{i} = \mathbf{i}_a + \mathbf{i}_t = \mathbf{i}_{zv} + \mathbf{i}_{ze} = \mathbf{i}_z ; \quad \text{ahol „Z” index a zárlatra utal.}$$

$$i_z = \frac{u_m}{Z} \left[\sin(\omega t + \psi - \varphi) - e^{-\frac{t}{T_e}} \sin(\psi - \varphi) \right]$$

ahol:

- $\varphi = \varphi_u - \varphi_i$ a fázisszög;
- $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$ az áramkör impedanciája;
- T_e az egyenáramú összetevő időállandója;
- Ψ a zárlatra kapcsolás pillanatában a feszültség szöghelyzete (ha a fesz. maximális $t=0$ -ban akkor $\psi = \frac{\pi}{2}$);

A zárlati folyamatok jellegét két szélső esetre – azon belül két kitüntetett időpontra – vizsgáljuk:

a. eset: $\psi = \frac{\pi}{2}; \varphi = \frac{\pi}{2},$ azaz $\psi - \pi = 0$

a1 eset: $t=0$

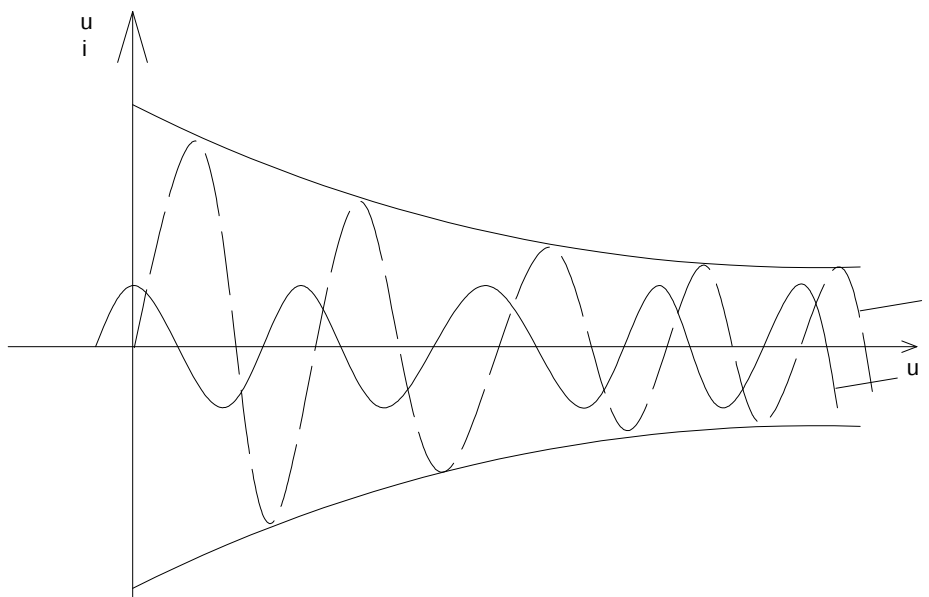
$$u = u_m \sin\left(-\frac{\pi}{2}\right) = -u_m$$

$i_{zv} = 0; i_{ze} = 0$ azaz: $i_z = 0$

a2 eset: $t = \frac{T}{4}$ (T a periodusidő)

$$u = u_m \sin\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{2}\right) = 0$$

$$i_{zv} = \frac{u_m}{Z} = \frac{\sqrt{2}U_f}{Z} = \sqrt{2}I_z = i_{m_{zv}} \quad i_{ze} = 0$$



Szimmetrikus lefolyású zárlat áramgörbéje.

Ezt az átmeneti jelenséget, amikor a szinkrongép hirtelen háromfázisú kapocszárlata a feszültség maximális értékénél lép fel, **szimmetrikus lefolyású zárlati áramnak** nevezzük. Az áram az időtengelyre szimmetrikus, és **nincs egyenáramú összetevő!**

b. eset: $\Psi = 0$ $\varphi = \frac{\pi}{2}$, azaz $\psi - \varphi = -\frac{\pi}{2}$

b₁ eset: $t = 0$ $u = 0$

$$i_{zv} = -\frac{u_m}{Z} \quad i_{ze} = \frac{u_m}{Z} \quad \text{azaz} \quad i_z = 0$$

b₂ eset: $u = 0$

$$i_{zv} = \frac{u_m}{Z} \quad i_{ze} = \frac{u_m}{Z} e^{-\frac{T}{T_e}}$$

Zárlati áram legnagyobb pillanatértékei:

- A csillapítás elhanyagolásával ($T_e = \infty$)

$$i_{zcs} = 2 \frac{u_m}{Z} = 2\sqrt{2} \frac{U_f}{Z} = 2\sqrt{2} I_z$$

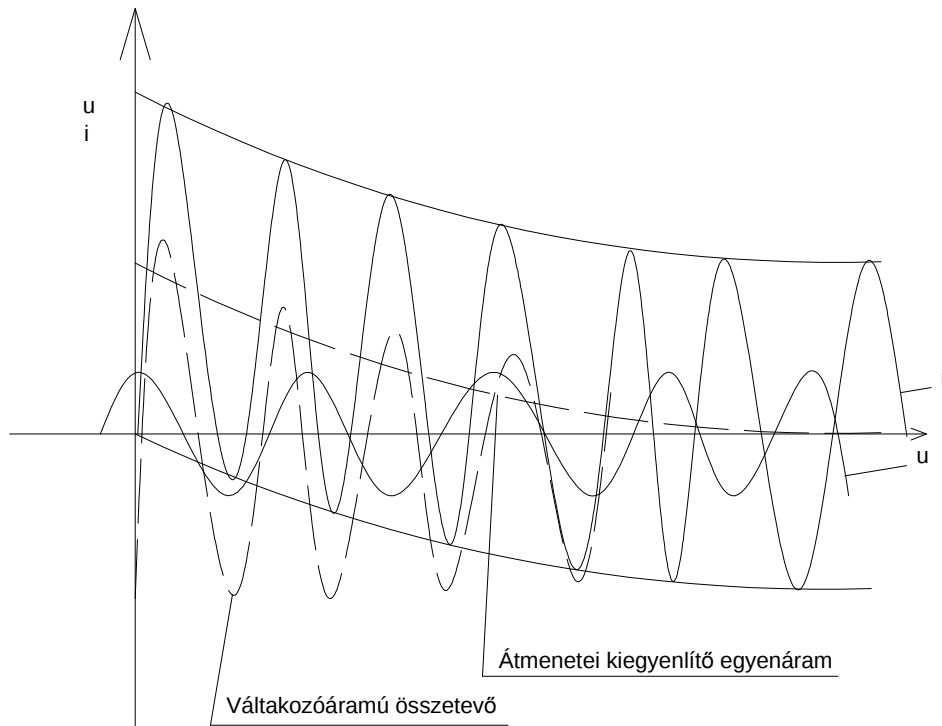
- A csillapítás figyelembevételével:

$$i_{zcs} = k\sqrt{2} I_z$$

ahol: k – a csúcs vagy lökési tényező;

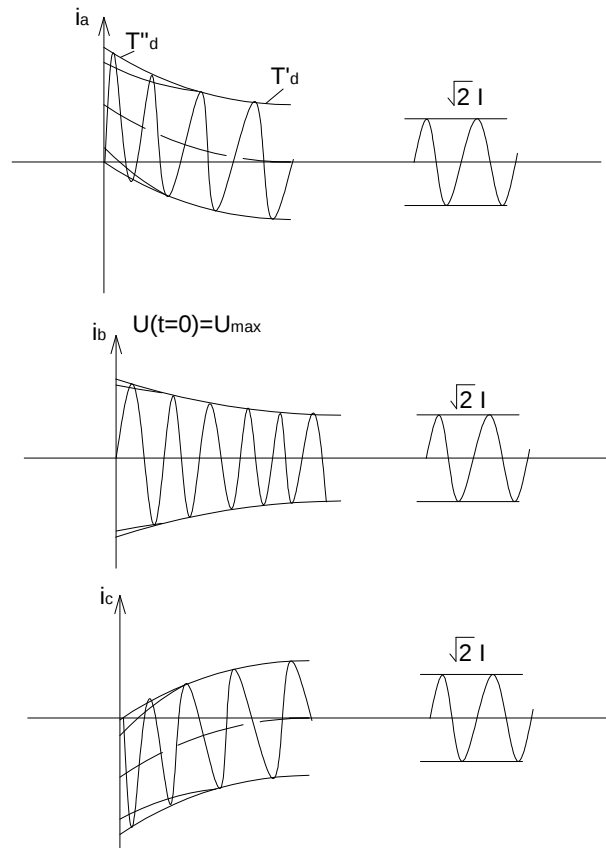
Azt az átmeneti jelenséget, amikor a szinkrongép hirtelen 3F-kapocszárlata a feszültség pozitív nullaátmeneténél lép fel, **aszimmetrikus lefolyású zárlati áramnak** nevezzük.

A kialakuló áramgörbe szimmetriatengelye az **egyenáramú összetevő**. (Ez utóbbi, gyorsan bekövetkező lecsengése után az aszimmetrikus zárlati áram szimmetrikussá válik, végül a szimmetrikus zárlat állandósuló értékére csökken.



Aszimmetrikus lefolyású zárlat áramgörbéje

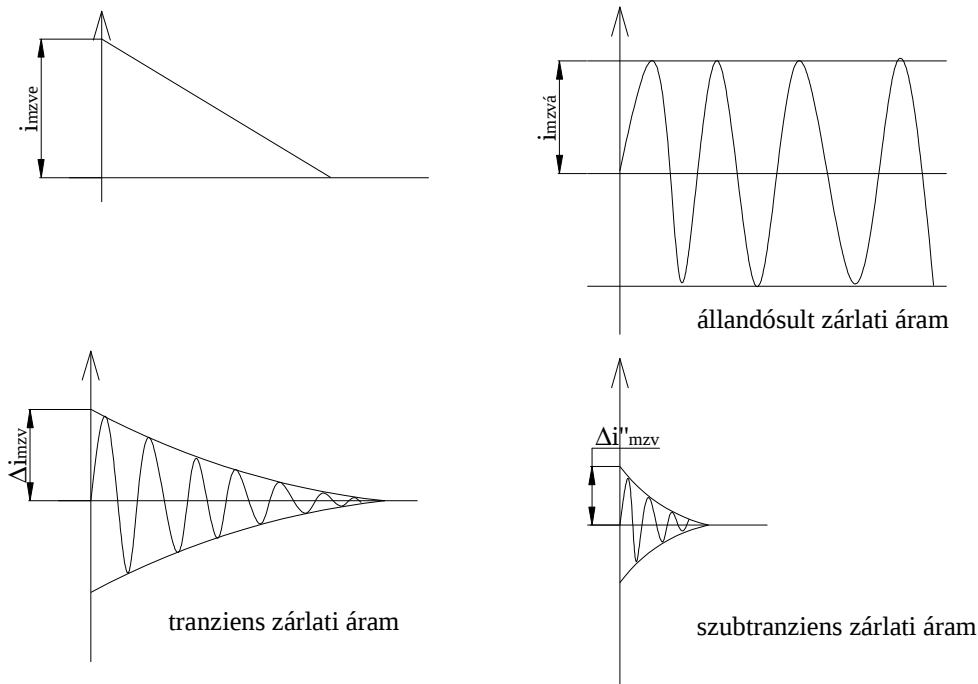
Háromfázisú szinkrongenerátorok rövidzárlati áramában az állandósult váltakozó áramú összetevő mindegyik fázisában ugyanakkora, ellenben az egyenáramú összetevő fázisonként más-más értékű aszerint, hogy a zárlat az illető fázis feszültség hullámának mely pontján következett be.



Egy háromfázisú generátor fázisainak rövidzárlati áramlefordása

A zárlati áram mindhárom fázisban felbontható négy összetevőre:

- Egy csillapodó egyenáramú,
 - Állandósult váltakozó áramú,
 - Tranziens váltakozó áramú,
 - Szubtranziens váltakozó áramú
- ÖSSZETEVŐKRE.



A zárlati áram négy összetevője (fiktív)

Ez fizikailag azt jelenti, hogy a zárlati áram, a zárlatot követő első néhány periódus alatt gyorsabban csillapodik, mint később.

A csillapodó áramok olyan, a hirtelen állapotváltozás miatt létrejövő kiegyenlítő áramok, amelyek nem léphetnek fel, ha a szinkron gép külső (terhelési) áramkörének impedanciáját folyamatosan csökkentenénk le nullára.

Megértése: FLUXUSÁLLANDÓSÁG elve: A mágneses mező energiát tartalmaz, a mágneses mező (fluxus) nem tud ugrásszerűen megváltozni, csak folyamatosan.

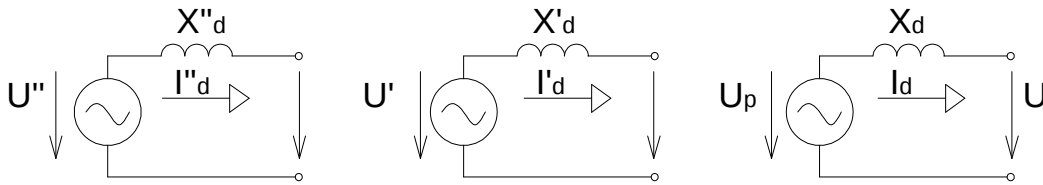
Az állórészben fellépő zárlati áram olyan együtt forgó mágneses mezőt hoz létre, amely a forgórész mágneses mezejét gyöngíti (**armatúra reakció**).

Az állórész zárlati áramának megfelelő mező erővonalai az első pillanatban csak a szórási utakon (fogak közt, forgórész pólusain, stb.) záródnak, amelyek túlnyomóan levegőutak.

Ezek:

- Tranziens reaktancia: nagy mágneses ellenállás, kis reaktancia, nagy tranziens zárlati áram.
- Szubtranziens reaktancia: kisebb a tranziensnél, a szubtranziens áram nagyobb a tranziensnél.

Helyettesítő kép:



A szinkrongép egyf. hely. kapcsolási vázlatai.

A zárlati áram átmeneti jelenségének (transziens jelenségének) leírása:

$$i_z(t) = \left(\Delta i_m'' e^{\frac{t}{T''}} + \Delta i_m' e^{\frac{t}{T'}} + i_{má} \right) \sin(\omega t + \psi - \phi) + i_{me} e^{\frac{t}{T_e}} \sin(\psi - \phi)$$

szubtransziens áram: i_m''

$$i_m'' = \sqrt{2} \frac{U_f}{X_d''} \quad X_d'' = \frac{\varepsilon_d''}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n}$$

A szubtransziens áram T'' időállandó szerint csillapodik!

transziens áram: i_m'

$$i_m' = \sqrt{2} \frac{U_f}{X_d'} \quad i_{mZv}' = \sqrt{2} \frac{U_f}{X_d'} \quad X_d' = \frac{\varepsilon_d'}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} \quad \text{A transziens áram } T' \text{ időállandóval csillapodik.}$$

állandósult áram: i_{me}

$$\text{csúcserő: } i_{me} = \sqrt{2} \frac{U_f}{X_d} \quad \text{ahol } X_d - \text{szinkron reaktancia.}$$

A szubtransziens időállandóval csillapodó váltakozó áramú összetevő:

$$\Delta i_m'' = i_m'' - i_m' = \sqrt{2} U_f \left(\frac{1}{X_d''} - \frac{1}{X_d'} \right)$$

A transziens időállandóval csillapodó váltakozó áramú összetevő:

$$\Delta i_m' = i_m' - i_{má}' = \sqrt{2} U_f \left(\frac{1}{X_d'} - \frac{1}{X_d} \right)$$

Az állandósult zárlati áram csúcserőke:

$$i_{má} = \sqrt{2} U_f \frac{1}{X_d}$$

Az egyenáramú összetevő maximális értéke:

$$i_{me} = \sqrt{2} U_f \frac{1}{X_d''} \sin(\psi - \varphi) \quad \text{ez az összetevő } T_e \text{ időállandóval csillapodik.}$$

A szinkrongenerátor zárlati áramának egyenlete $U_{mf} = \sqrt{2} U_f$ figyelembevételével:

$$i_z = U_{mf} \cdot \left\{ \left(\left(\frac{1}{X_d''} - \frac{1}{X_d'} \right) e^{-\frac{t}{T''}} + \left(\frac{1}{X_d'} - \frac{1}{X_d} \right) e^{-\frac{t}{T'}} + \frac{1}{X_d} \right) \sin(\omega t + \psi - \varphi) + \frac{1}{X_d''} e^{-\frac{t}{T_e}} \sin(\psi - \varphi) \right\}$$