

A SOROS KONDENZÁTOR HATÁSA A SZINKRON GÉP ÜZEMÉRE*

CSÁKI FRIGYES

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA, BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM

[Beérkezett 1955. november 10-én]

Két elméleti vonatkozású dolgozat [1, 2] a szinkron gépből és soros kondenzátorból álló rendszer CRARY [3] által megadott alap egyenleteit fejleszteti tovább: a) az egyenleteket egyszerűbb és szemléletesebb alakra hozza, b) figyelembe veszi a csillapítótekercesek hatását is, c) különböző egyszerűsítő feltevésekkel bizonyos esetekre általános megoldást ad. Fontosabb eredmények a következők:

1. A szinkron gép alapegyenleteit, ha soros kondenzátor van az armatúrák körben, az alábbi alakban adja meg:

$$\begin{aligned}
 u_d &= p \psi_d - \omega \psi_q + r i_d + \frac{p}{C(p^2 + \omega^2)} i_d + \frac{\omega}{C(p^2 + \omega^2)} i_q \\
 u_q &= p \psi_q + \omega \psi_d + r i_q + \frac{p}{C(p^2 + \omega^2)} i_q - \frac{\omega}{C(p^2 + \omega^2)} i_d \\
 u_0 &= p \psi_0 + r i_0 + \frac{1}{Cp} i_0.
 \end{aligned} \tag{1}$$

a) A fenti egyenletrendszer az

$$\underline{u}_S = p \underline{\psi}_S + r \underline{i}_S + \frac{1}{Cp} \underline{i}_S \tag{2}$$

állórész koordináta-rendszerben felírt *vektoregyenletből* származó

$$\underline{u}_R = \underline{R}^{-1} p \underline{R} \underline{\psi}_R + r \underline{i}_R + \underline{R}^{-1} \frac{1}{Cp} \underline{R} \underline{i}_R \tag{3}$$

* Kivonat szerzőnek az Acta Technica XII. és XV. kötetében, két részben, angol nyelven megjelent ily című tanulmányából.

forgórészrel együttforgó koordináta-rendszerbe áttranszformált vektoregyenlet rendezőikben kiírt alakja, ahol

$$\underline{v}_S = \begin{bmatrix} v_a & v_b & v_c \end{bmatrix} \quad \underline{v}_R = \begin{bmatrix} v_d & v_q & v_o \end{bmatrix} \quad (4)$$

($v = u, \psi, i$)

és

$$R = \begin{bmatrix} \cos \Theta & -\sin \Theta & 1 \\ \cos \left(\Theta - \frac{2\pi}{3} \right) & -\sin \left(\Theta - \frac{2\pi}{3} \right) & 1 \\ \cos \left(\Theta + \frac{2\pi}{3} \right) & -\sin \left(\Theta + \frac{2\pi}{3} \right) & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

b) A fenti (1) egyenletrendszer első két egyenlete az

$$\bar{u}_S = p \bar{\psi}_S + r \bar{i}_S + \frac{1}{C_p} \bar{i}_S \quad (6)$$

komplex mennyiségekkel felírt egyenletekhez hasonló

$$\bar{u}_R = (p + j\omega) \bar{\psi}_R + r \bar{i}_R + \frac{1}{C(p + j\omega)} \bar{i}_R \quad (7)$$

komplex egyenlet d és q irányú összetevőinek valós alakja.

c) A fenti (1) egyenletrendszer előnyei:

Az u_d , u_q , u_o feszültségösszetevők explicite szerepelnek. Magának a szinkron gépnek az alapegyenlete $1/C = 0$ helyettesítéssel azonnal megkapható, így közvetlenül látszik a soros kondenzátor okozta változás. Az egyes feszültségösszetevők jellege világosan látszik.

2. A forgórészen keresztirányban k csillapítótekerceset, hosszirányban pedig f gerjesztőtekerceset és h csillapítótekerceset feltételezve (továbbá d , f , h között azonos nagyságú kölcsönös induktivitást véve) az [1] cikk megadja a d , f , h , q , k , o körök feszültség egyenletét. Ebből kiegyenlített üzemre és állandó gerjesztés esetére az alábbi egyenletrendszer kapható meg:

$$\begin{aligned} u_d &= \left[p l_d(p) + r + \frac{p}{C(p^2 + \omega^2)} \right] i_d - \left[\omega l_q(p) - \frac{\omega}{C(p^2 + \omega^2)} \right] i_q \\ u_q &= \left[\omega l_d(p) - \frac{\omega}{C(p^2 + \omega^2)} \right] i_d + \left[p l_q(p) + r + \frac{p}{C(p^2 + \omega^2)} \right] i_q \end{aligned} \quad (8)$$

ahol

$$l_q(p) = \frac{x_q}{\omega_0} \frac{p T_q'' + 1}{p T_{q0}'' + 1} \quad (9)$$

és

$$l_d(p) = \frac{x_d}{\omega_0} \frac{p^2 T_d'' T_d' + p(T_d' + T_d') + 1}{p^2 T_{d0}'' T_{d0}' + p(T_{d0}' + T_{d0}') + 1} \quad (10)$$

$1/C = 0$ helyettesítéssel (8)-ből ismét magának a szinkron gépnek alapegyenletrendszere kapható meg.

3. A fenti alapegyenletrendszer segítségével megvizsgálhatók a szinkron gépből és soros kondenzátorból álló rendszer különböző üzemállapotai.

Így például megállapítható, hogy a csillapítótekeres jelenléte a csillapítótekeres nélküli gép első öngerjedési tartományát egyáltalán nem, a második öngerjedési tartományt gyakorlatilag nem befolyásolja. A csillapítótekeres jelenléte miatt azonban a fentiekén kívül újabb öngerjedési tartományok jönnek létre.

4. Ha a szinkron gép soros kondenzátoron keresziül kerül háromfázisú rövidzárlatba, a következők állapíthatók meg: A (8) egyenletekbe u_d és u_q helyébe a terhelési állapotnak megfelelő $-u_{d0}$ és $-u_{q0}$ kezdeti feszültségeket behelyettesítve, és $\omega = \omega_0$ figyelembevételével, a rövidzárlati áram szuperpozíciós összetevői:

$$i_d = - \frac{\left[p l_q(p) + r + \frac{p}{C(p^2 + \omega_0^2)} \right] u_{d0} + \left[\omega_0 l_q(p) - \frac{\omega_0}{C(p^2 + \omega_0^2)} \right] u_{q0}}{Z(p)} \quad (11)$$

$$i_q = \frac{\left[\omega_0 l_d(p) - \frac{\omega_0}{C(p^2 + \omega_0^2)} \right] u_{d0} - \left[p l_d(p) + r + \frac{p}{C(p^2 + \omega_0^2)} \right] u_{q0}}{Z(p)},$$

ahol

$$Z(p) = \left[p l_d(p) + r + \frac{p}{C(p^2 + \omega_0^2)} \right] \left[p l_q(p) + r + \frac{p}{C(p^2 + \omega_0^2)} \right] + \left[\omega_0 l_d(p) - \frac{\omega_0}{C(p^2 + \omega_0^2)} \right] \left[\omega_0 l_q(p) - \frac{\omega_0}{C(p^2 + \omega_0^2)} \right] \quad (12)$$

A fenti (11) egyenletrendszerből numerikus értékek behelyettesítése után meghatározható a rövidzárlati áram. Általános alakban azonban a (11) egyenletrendszer nem oldható meg. Ezért néhány egyszerűsítő feltevés segítségével igyekszünk megközelíteni a rövidzárlati áram fizikáját.

Egyes esetekben sikerült zárt alakban közelítő kifejezéseket megadni az állórész rövidzárlati áramának ω_0 körfrekvenciájú összetevőjére, másrészt sikerült közelítő kifejezéseket találni a szabad rezgések körfrekvenciájára és

időállandójára. Bár a rövidzárlati áram teljes kifejezését nem tudjuk megadni, a közelítések alapján felvázolható a rövidzárlati áram lefolyása.

5. A dolgozat második része [2] a szinkronozó és csillapító nyomatékokkal foglalkozik. Mint ismeretes [4], kis amplitudójú lengés esetén a nyomatékváltozás és szögváltozás között kapcsolatot létesítő

$$\Delta T = -f(p) \Delta \delta \quad (13)$$

függvény segítségével kiszámítható a szinkronozó nyomaték:

$$T_s = \operatorname{Re} f(j\nu), \quad (14)$$

a csillapító nyomaték pedig:

$$\nu T_d = \operatorname{Im} f(j\nu). \quad (15)$$

A (13) összefüggést az alábbi alakban adtuk meg:

$$\begin{aligned} & [\psi_{d0} - i_{d0} l_q(p)] \times \\ & \times \left[\left(u_{d0} + \psi_{d0} p + \frac{1}{C} \frac{p}{p^2 + \omega_0^2} i_{d0} - \frac{1}{C \omega_0} \frac{p^2}{p^2 + \omega_0^2} i_{q0} \right) \times \right. \\ & \quad \times \left(p l_d(p) + r + \frac{1}{C} \frac{p}{p^2 + \omega_0^2} \right) + \\ & + \left(u_{q0} + \psi_{q0} p + \frac{1}{C \omega_0} \frac{p^2}{p^2 + \omega_0^2} i_{d0} + \frac{1}{C} \frac{p}{p^2 + \omega_0^2} i_{q0} \right) \times \\ & \quad \times \left(\omega_0 l_d(p) - \frac{1}{C} \frac{\omega_0}{p^2 + \omega_0^2} \right) \Big] - \\ & \quad - [\psi_{q0} - i_{q0} l_d(p)] \times \\ & \times \left[\left(u_{d0} + \psi_{q0} p + \frac{1}{C} \frac{p}{p^2 + \omega_0^2} i_{d0} - \frac{1}{C \omega_0} \frac{p^2}{p^2 + \omega_0^2} i_{q0} \right) \times \right. \\ & \quad \times \left(\omega_0 l_q(p) - \frac{1}{C} \frac{\omega_0}{p^2 + \omega_0^2} \right) - \\ & - \left(u_{q0} + \psi_{q0} p + \frac{1}{C \omega_0} \frac{p^2}{p^2 + \omega_0^2} i_{d0} + \frac{1}{C} \frac{p}{p^2 + \omega_0^2} i_{q0} \right) \times \\ & \quad \times \left. \left(p l_q(p) + r + \frac{1}{C} \frac{p}{p^2 + \omega_0^2} \right) \right] \quad (16) \\ \Delta T = & - \frac{\left(p l_d(p) + r + \frac{1}{C} \frac{p}{p^2 + \omega_0^2} \right) \left(p l_q(p) + r + \frac{1}{C} \frac{p}{p^2 + \omega_0^2} \right) +}{\left(\omega_0 l_d(p) - \frac{1}{C} \frac{\omega_0}{p^2 + \omega_0^2} \right) \left(\omega_0 l_q(p) - \frac{1}{C} \frac{\omega_0}{p^2 + \omega_0^2} \right)} \Delta \delta \end{aligned}$$

Az $f(p)$ megadott kifejezése közvetlen általánosítása az $1/C = 0$ esetre kiszámítható $f(p)$ függvénynek.

Néhány különleges esetre (igen lassú, szinkron, igen gyors forgórészlengek, üresjárási állapot stb.) kiszámítottuk a szinkronozó és csillapító nyomatékokat. A vizsgálatok során két kérdést tartottunk szem előtt: Milyen változást idéz elő a soros kondenzátor az $X_C = 0$ esethez képest? Milyen változást jelent a csillapítótekerces figyelembevétele?

IRODALOM

1. CSÁKI, F.: Influence of Series Capacitors on the operation of Synchronous Machines. Acta Technica XII/1—2. 49. old.
2. CSÁKI, F.: Influence of Series Capacitors on the operation of Synchronous Machines. (Continued.) Synchronizing and Damping Torques. Acta Technica XV/3—4. 457. old.
3. CRARY, S. B.: Two Reaction Theories of Synchronous Machines. Electrical Engineering Transactions 1937. 27. old.
4. PARK, R. H.: Two Reaction Theories of Synchronous Machines. I—II. AIEE Transactions 1929. 716. old. AIEE Transactions 1933. 352. old.