

مدارهای توالی تجهیزات سیستم قدرت

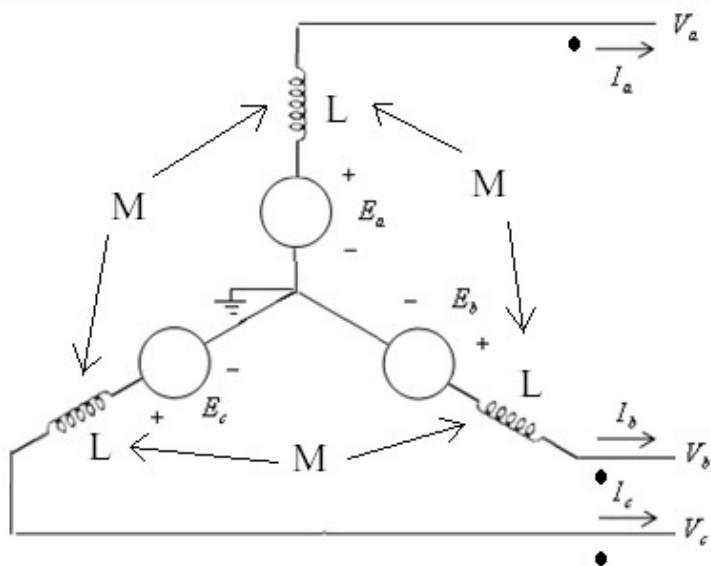
حمدی عبدی

گروه مهندسی برق - دانشگاه رازی

الف) ماشین های سنکرون (ژنراتورها)
ب) خطوط انتقال
ج) ترانسفورماتورها

الف) ماشین های سنکرون (ژنراتورها)

بار گذاری متقارن



$$E_a = V_a + j\omega LI_a + j\omega MI_b + j\omega MI_c$$

$$E_b = V_b + j\omega MI_a + j\omega LI_b + j\omega MI_c$$

$$E_c = V_c + j\omega MI_a + j\omega MI_b + j\omega LI_c$$

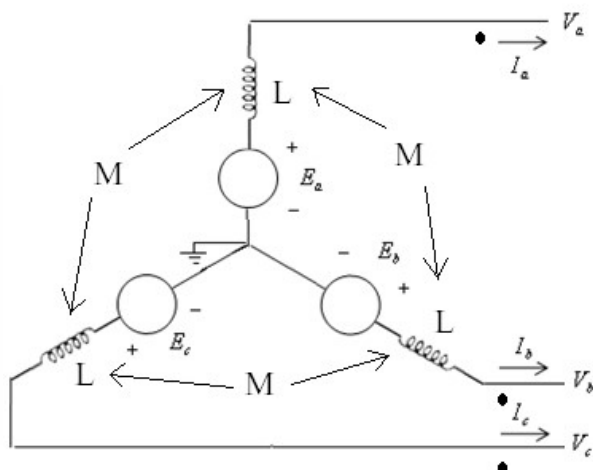
$$I_a + I_b + I_c = 0$$

حالت کار متعادل

$$V_a = E_a - j\omega LI_a - j\omega MI_b - j\omega MI_c = E_a - j\omega LI_a - j\omega M(I_b + I_c) = E_a - j\omega(L - M)I_a = E_a - j\omega L_s I_a$$

$$V_b = E_b - j\omega MI_a - j\omega LI_b - j\omega MI_c = E_b - j\omega MI_a - j\omega LI_b - j\omega M(I_a + I_c) = E_b - j\omega(L - M)I_b = E_b - j\omega L_s I_b$$

$$V_c = E_c - j\omega MI_a - j\omega MI_b - j\omega LI_c = E_c - j\omega MI_a - j\omega MI_b - j\omega LI_c = E_c - j\omega(L - M)I_c = E_c - j\omega L_s I_c$$



$$E_a = V_a + j\omega L I_a + j\omega M I_b + j\omega M I_c$$

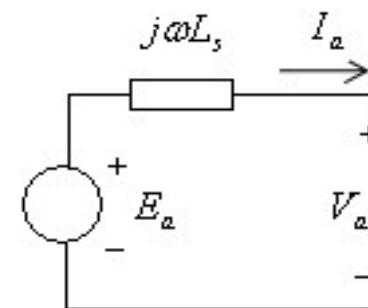
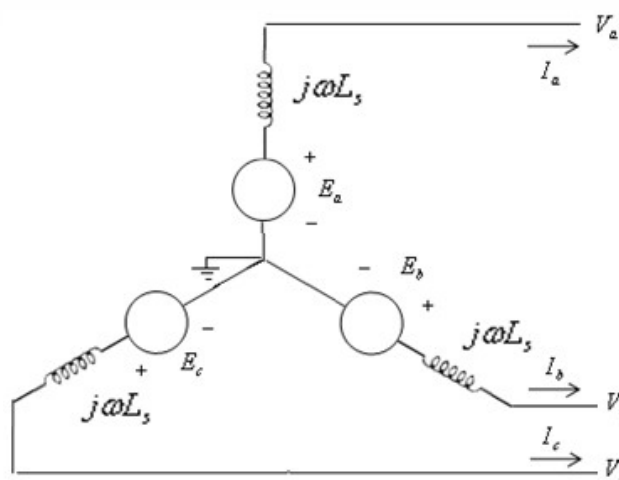
$$E_b = V_b + j\omega M I_a + j\omega L I_b + j\omega M I_c$$

$$E_c = V_c + j\omega M I_a + j\omega M I_b + j\omega L I_c$$

$$V_a = E_a - j\omega L_s I_a$$

$$V_b = E_b - j\omega L_s I_b$$

$$V_c = E_c - j\omega L_s I_c$$



مدار معادل یک فاز

حالت کار نامتعادل

$$\begin{aligned}
 V_a &= E_a - j\omega LI_a - j\omega MI_b - j\omega MI_c \\
 V_b &= E_b - j\omega MI_a - j\omega LI_b - j\omega MI_c \\
 V_c &= E_c - j\omega MI_a - j\omega MI_b - j\omega LI_c
 \end{aligned}$$

$$E_{abc} = \begin{bmatrix} E_a \\ E_b \\ E_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_a \\ \alpha^2 E_a \\ \alpha E_a \end{bmatrix}$$

$$V_{abc} = \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad I_{abc} = \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

$$V_{abc} = E_{abc} - Z_{abc} I_{abc}$$

$$Z_{abc} = \begin{bmatrix} j\omega L & j\omega M & j\omega M \\ j\omega M & j\omega L & j\omega M \\ j\omega M & j\omega M & j\omega L \end{bmatrix}$$

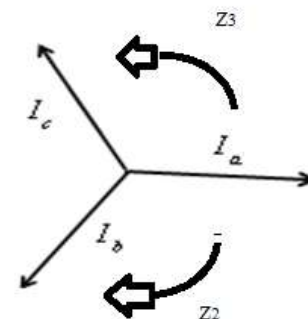
$$V_{abc} = E_{abc} - Z_{abc} I_{abc} \quad Z_{abc} = \begin{bmatrix} j\omega L & j\omega M & j\omega M \\ j\omega M & j\omega L & j\omega M \\ j\omega M & j\omega M & j\omega L \end{bmatrix}$$

$$A_s V_s = E_{abc} - Z_{abc} A_s I_s \Rightarrow V_s = A_s^{-1} E_{abc} - A_s^{-1} Z_{abc} A_s I_s$$

$$E_s = A_s^{-1} E_{abc} = A_s^{-1} \begin{bmatrix} E_a \\ \alpha^2 E_a \\ \alpha E_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad V_s = E_s - Z_s I_s$$

هنگام وقوع اتصال کوتاه

$$Z_{abc} = \begin{bmatrix} z_1 & z_2 & z_3 \\ z_3 & z_1 & z_2 \\ z_2 & z_3 & z_1 \end{bmatrix}$$



$$A_s V_s = E_{abc} - Z_{abc} A_s I_s \Rightarrow V_s = A_s^{-1} E_{abc} - A_s^{-1} Z_{abc} A_s I_s$$

$$V_s = E_s - Z_s I_s$$

$$E_s = A_s^{-1} E_{abc} = A_s^{-1} \begin{bmatrix} E_a \\ \alpha^2 E_a \\ \alpha E_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$Z_s = A_s^{-1} Z_{abc} A_s = \begin{bmatrix} j\omega(L-M) & 0 & 0 \\ 0 & j\omega(L-M) & 0 \\ 0 & 0 & j\omega(L+2M) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_+ & 0 & 0 \\ 0 & z_- & 0 \\ 0 & 0 & z_0 \end{bmatrix}$$

امپدانس های توالی + و - با هم برابر و امپدانس توالی صفر متفاوت با آنها می باشد.

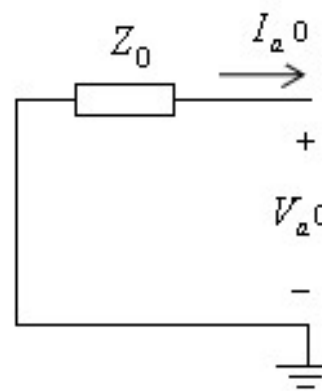
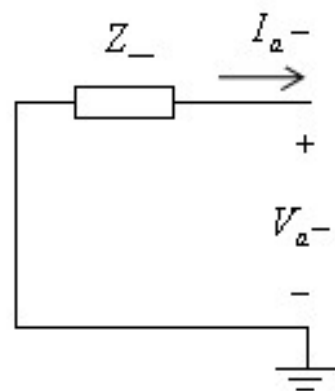
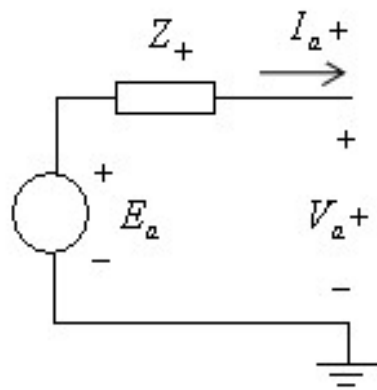
$$V_s = E_s - Z_s I_s$$

$$E_s = \begin{bmatrix} E_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad Z_s = \begin{bmatrix} z_+ & 0 & 0 \\ 0 & z_- & 0 \\ 0 & 0 & z_0 \end{bmatrix}$$

$$V_{a^+} = E_a - Z_+ I_{a^+}$$

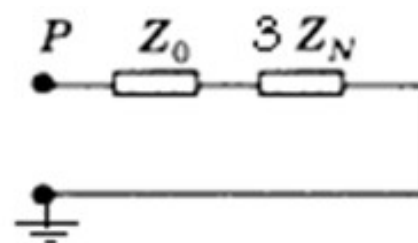
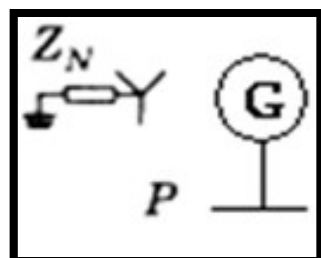
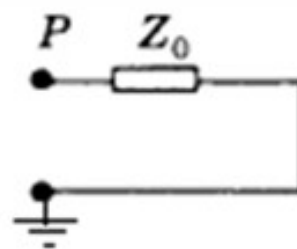
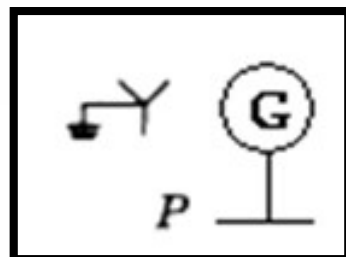
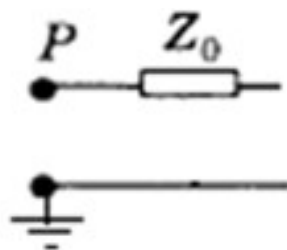
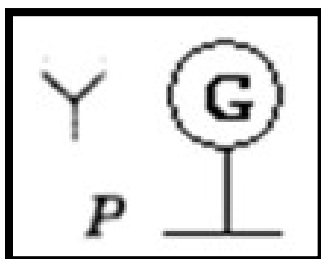
$$V_{a^-} = -Z_- I_{a^-}$$

$$V_{a^0} = -Z_0 I_{a^0}$$

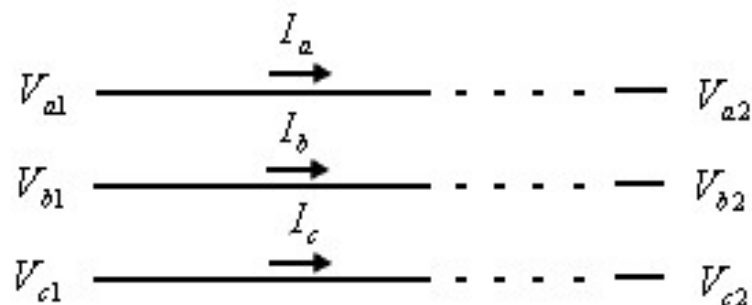


مدار معادل ژنراتور
سنکرون در
حالت نامتعادل

انواع مدارهای توالی صفر در ژنراتورهای سنکرون



(ب) خطوط انتقال



$$V_{a1} = Z_1 I_a + M I_b + M I_c + V_{a2}$$

$$V_{b1} = M I_a + Z_1 I_b + M I_c + V_{b2}$$

$$V_{c1} = M I_a + M I_b + Z_1 I_c + V_{c2}$$

$$V_{abc1} = Z_L I_{abc} + V_{abc2}$$

$$A_s V_{s1} = \begin{bmatrix} Z_1 & M & M \\ M & Z_1 & M \\ M & M & Z_1 \end{bmatrix} A_s I_s + A_s V_{s2} \quad V_{s1} = A_s^{-1} \begin{bmatrix} Z_1 & M & M \\ M & Z_1 & M \\ M & M & Z_1 \end{bmatrix} A_s I_s + V_{s2}$$

$$V_{s1} = Z_{Ls} I_s + V_{s2} \quad , \quad Z_{Ls} = \begin{bmatrix} Z_1 - M & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 - M & 0 \\ 0 & 0 & Z_1 + 2M \end{bmatrix}$$

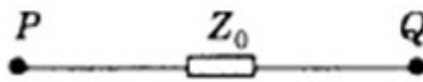
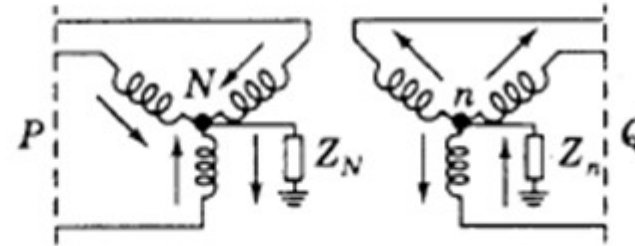
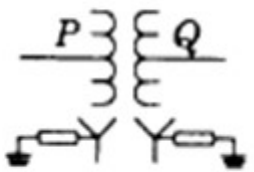

مقادیر امپدانس های توالی + و - با هم برابر و مقدار امپدانس توالی صفر متفاوت با آنها می باشد.

ج) ترانسفورماتورها

امپدانس توالی مثبت و منفی با یکدیگر برابر می باشد (اندوکتانس نشتی)

$$X_{Tr+} = X_{Tr-} = X_{Tr}$$

امپدانس توالی صفر تابع نوع ترانس بوده و بر اساس مشخصات ساخت بیان می شود.

مدار معادل توالی صفر	نمودار اتصال	نماد
 $Z_0 = Z_T + 3 Z_N + 3 Z_n$		
 $Z_0 = Z_T + 3 Z_N$	