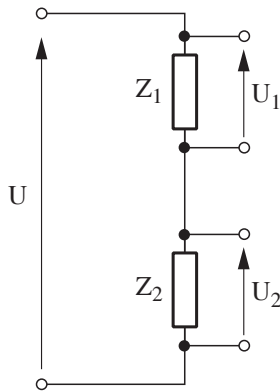


מקום נבחרת נבחן

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון במבוא להנדסת חשמל לכיתה י"ג

(14 עמודים)

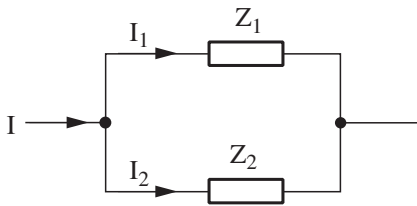


מחלק מתח

$$U_1 = \frac{U \cdot Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

$$U_2 = \frac{U \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

מחלק זרם



$$I_1 = \frac{I \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

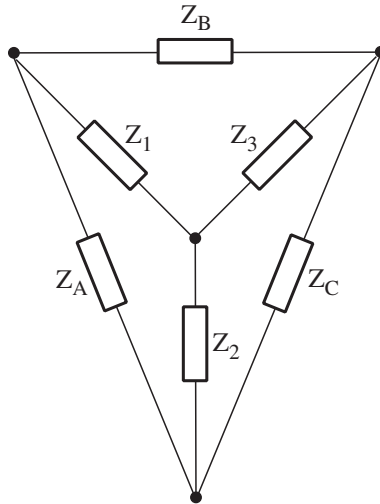
$$I_2 = \frac{I \cdot Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

ההמרה של כוכב במשולש

$Y \rightarrow \Delta$
$Z_A = \frac{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3}{Z_3}$
$Z_B = \frac{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3}{Z_2}$
$Z_C = \frac{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3}{Z_1}$

ההמרה של משולש בכוכב

$\Delta \rightarrow Y$
$Z_1 = \frac{Z_A Z_B}{Z_A + Z_B + Z_C}$
$Z_2 = \frac{Z_A Z_C}{Z_A + Z_B + Z_C}$
$Z_3 = \frac{Z_B Z_C}{Z_A + Z_B + Z_C}$



זרם חילופין סינוסואידלי

ערך רגעי של הזרם - $i(t)$ [A]

$$i(t) = I_{\max} \sin(\omega t + \alpha)$$

ערך מרבי של הזרם (תנופת הזרם) - I_{\max} [A]

$$u(t) = U_{\max} \sin(\omega t + \alpha)$$

זווית מופע - α [rad]

זמן - t [sec]

$$I_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} I_{\max}$$

ערך רגעי של המתח - $u(t)$ [V]

ערך מרבי של המתח (תנופת המתח) - U_{\max} [V]

$$U_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} U_{\max}$$

ערך יעיל של הזרם - I_{eff} [A]

ערך יעיל של המתח - U_{eff} [V]

זמן המחזור - T [sec]

$$T = \frac{1}{f}$$

תדירות זוויתית - ω [rad / sec]

תדירות - f [Hz]

$$\omega = 2\pi f$$

היגב השראותי - X_L [Ω]

היגב קיבולי - X_C [Ω]

$$X_C = \frac{1}{j\omega C} = \frac{-j}{\omega C}$$

$$X_L = j\omega L$$

השראות החדית - M [H]

$$M = k \sqrt{L_1 \cdot L_2}$$

מקדם הצימוד ($0 \leq k \leq 1$) - k

השראות עצמית של סליל 1 - L_1 [H]

השראות עצמית של סליל 2 - L_2 [H]

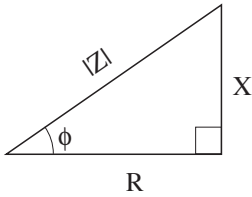
היגב ההשראות ההדדית - X_M [Ω]

$$X_M = j\omega M = j k \sqrt{|X_{L_1}| \cdot |X_{L_2}|}$$

- התנגדות המעגל - R [Ω]
- היגב המעגל - X [Ω]
- עכבת המעגל - Z [Ω]

$$Z = R \pm jX$$

משולש העכבות



$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$\sin \phi = \frac{X}{|Z|}$$

$$\cos \phi = \frac{R}{|Z|}$$

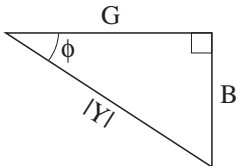
$$\text{tg } \phi = \frac{X}{R}$$

- מוליכות המעגל - G [S]
- מניחות המעגל - B [S]
- מתירות המעגל - Y [S]

$$Y = G \pm jB$$

$$Y = \frac{1}{Z}$$

משולש המתירויות



$$|Y| = \sqrt{G^2 + B^2}$$

$$\sin \phi = \frac{B}{|Y|}$$

$$\cos \phi = \frac{G}{|Y|}$$

$$\text{tg } \phi = \frac{B}{G}$$

הספקים בזרם חילופין

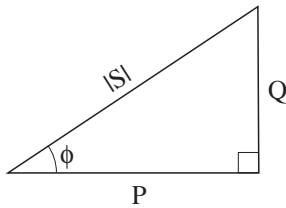
- [W] P - הספק פעיל
- [A] |I_R| - הערך המוחלט של הזרם בנגד
- [V] |U_R| - הערך המוחלט של המתח על הנגד
- [VA_r] Q - הספק היגבי
- [A] |I_X| - הערך המוחלט של זרם ההיגב
- [V] |U_X| - הערך המוחלט של מתח ההיגב
- [VA] S - הספק מדומה
- [A] |I_Z| - הערך המוחלט של זרם העכבה
- [V] |U_Z| - הערך המוחלט של מתח העכבה
- [A] |I_Z^{*}| - הצמוד של זרם העכבה

$$P = |I_R| \cdot |U_R| = |I_R|^2 \cdot R = \frac{|U_R|^2}{R}$$

$$Q = |I_X| \cdot |U_X| = |I_X|^2 \cdot |X| = \frac{|U_X|^2}{|X|}$$

$$|S| = |I_Z| \cdot |U_Z| = |I_Z|^2 \cdot |Z| = \frac{|U_Z|^2}{|Z|}$$

$$S = P \pm jQ = U_Z \cdot I_Z^*$$



משולש ההספקים

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$Q = |S| \cdot \sin \phi$$

$$P = |S| \cdot \cos \phi$$

מעגל תהודה

טורי/מקבילי

- תדירות התהודה - f_0 [Hz]
- השראות - L [H]
- קיבול - C [F]
- גורם הטיב של המעגל בתהודה - Q_0
- רוחב הפס - BW [Hz]

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$BW = \frac{f_0}{Q_0}$$

גורם הטיב במעגל טורי

- תדירות זוויתית בתהודה - ω_0 [rad / sec]
- התנגדות - R [Ω]

$$Q_0 = \frac{\omega_0 L}{R}$$

גורם הטיב במעגל מקבילי

$$Q_0 = \frac{R}{\omega_0 L}$$

מקדמים של רשת זוגיים

ABCD מקדמי

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_2 \\ I_2 \end{pmatrix}$$

$$V_1 = A \cdot V_2 + B \cdot I_2$$

$$I_1 = C \cdot V_2 + D \cdot I_2$$

Z מקדמי

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix}$$

$$V_1 = Z_{11} \cdot I_1 + Z_{12} \cdot I_2$$

$$V_2 = Z_{21} \cdot I_1 + Z_{22} \cdot I_2$$

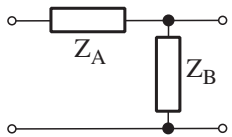
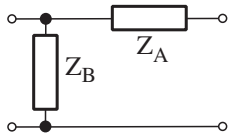
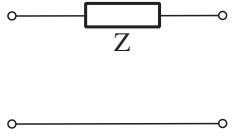
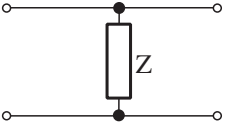
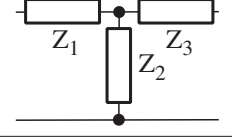
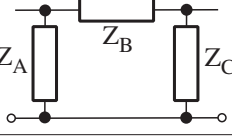
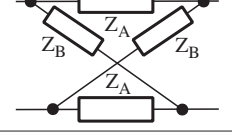
Y מקדמי

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix}$$

$$I_1 = Y_{11} \cdot V_1 + Y_{12} \cdot V_2$$

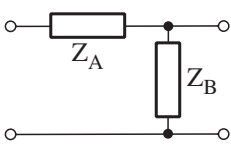
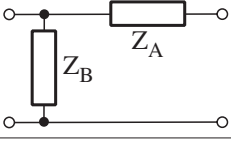
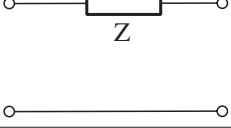
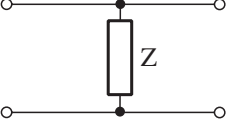
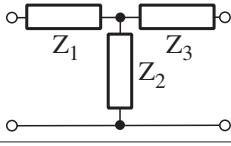
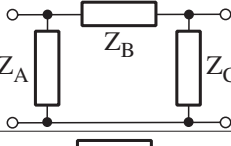
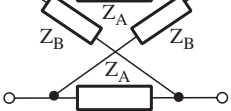
$$I_2 = Y_{21} \cdot V_1 + Y_{22} \cdot V_2$$

מקדמי ABCD של רשת זוגיים

	A	B	C	D
	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_B}$	Z_A	$\frac{1}{Z_B}$	1
	1	Z_A	$\frac{1}{Z_B}$	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_B}$
	1	Z	0	1
	1	0	$\frac{1}{Z}$	1
	$1 + \frac{Z_1}{Z_2}$	$\frac{Z_1 \cdot Z_3}{Z_2} + Z_1 + Z_3$	$\frac{1}{Z_2}$	$1 + \frac{Z_3}{Z_2}$
	$1 + \frac{Z_B}{Z_C}$	Z_B	$\frac{Z_A + Z_B + Z_C}{Z_A \cdot Z_C}$	$1 + \frac{Z_B}{Z_A}$
	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_B - Z_A}$	$\frac{2Z_A + Z_B}{Z_B - Z_A}$	$\frac{2}{Z_B - Z_A}$	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_B - Z_A}$

הערה: זרם המבוא I_1 נכנס לרשת, וזרם המוצא I_2 יוצא מהרשת.

מקדמי Z ו-Y של רשת זוגיים

	Z			Y		
	Z_{11}	$Z_{12} = Z_{21}$	Z_{22}	Y_{11}	$Y_{12} = Y_{21}$	Y_{22}
	$Z_A + Z_B$	Z_B	Z_B	$\frac{1}{Z_A}$	$-\frac{1}{Z_A}$	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_A \cdot Z_B}$
	Z_B	Z_B	$Z_A + Z_B$	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_A \cdot Z_B}$	$-\frac{1}{Z_A}$	$\frac{1}{Z_A}$
	∞	∞	∞	$\frac{1}{Z}$	$-\frac{1}{Z}$	$\frac{1}{Z}$
	Z	Z	Z	∞	∞	∞
	$Z_1 + Z_2$	Z_2	$Z_2 + Z_3$	$\frac{Z_2 + Z_3}{Z_1 Z_3 + Z_2(Z_1 + Z_3)}$	$\frac{-Z_2}{Z_1 Z_3 + Z_2(Z_1 + Z_3)}$	$\frac{Z_1 + Z_2}{Z_1 Z_3 + Z_2(Z_1 + Z_3)}$
	$\frac{Z_A(Z_B + Z_C)}{Z_A + Z_B + Z_C}$	$\frac{Z_A \cdot Z_C}{Z_A + Z_B + Z_C}$	$\frac{Z_C(Z_A + Z_B)}{Z_A + Z_B + Z_C}$	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_A \cdot Z_B}$	$-\frac{1}{Z_B}$	$\frac{Z_B + Z_C}{Z_B \cdot Z_C}$
	$\frac{Z_B + Z_A}{2}$	$\frac{Z_B - Z_A}{2}$	$\frac{Z_A + Z_B}{2}$	$\frac{Z_A + Z_B}{2 Z_A \cdot Z_B}$	$\frac{Z_A - Z_B}{2 Z_A \cdot Z_B}$	$\frac{Z_A + Z_B}{2 Z_A \cdot Z_B}$

הערה: זרם המבוא I_1 וזרם המוצא I_2 נכנסים לרשת.

טבלה השוואתית של מקדמי זוגיים

	[Z]		[Y]		A	B	C	D
[Z]	Z_{11}	Z_{12}	$\frac{Y_{22}}{ Y }$	$\frac{-Y_{12}}{ Y }$	$\frac{A}{C}$		$\frac{AD-BC}{C}$	
	Z_{21}	Z_{22}	$\frac{-Y_{21}}{ Y }$	$\frac{Y_{11}}{ Y }$	$\frac{1}{C}$		$\frac{D}{C}$	
[Y]	$\frac{Z_{22}}{ Z }$	$\frac{-Z_{12}}{ Z }$	Y_{11}	Y_{12}	$\frac{D}{B}$		$\frac{-(AD-BC)}{B}$	
	$\frac{-Z_{21}}{ Z }$	$\frac{Z_{11}}{ Z }$	Y_{21}	Y_{22}	$\frac{-1}{B}$		$\frac{A}{B}$	
A	$\frac{Z_{11}}{Z_{21}}$	$\frac{ Z }{Z_{21}}$	$\frac{-Y_{22}}{Y_{21}}$	$\frac{-1}{Y_{21}}$	A			B
B								
C	$\frac{1}{Z_{21}}$	$\frac{Z_{22}}{Z_{21}}$	$\frac{- Y }{Y_{21}}$	$\frac{-Y_{11}}{Y_{21}}$	C			D
D								

הערות

- א. עבור מקדמי ABCD – זרם המוצא I_2 יוצא מהרשת.
 עבור מקדמי Y ו-Z – זרם המוצא I_2 נכנס לרשת.
- ב. $|Y|$, $|Z|$ הם דטרמיננטים של המטריצות [Y] ו-[Z], בהתאמה.

רשתות זוגיים

$$Z_O = \sqrt{Z_{SC} Z_{OC}}$$

עכבה אופיינית - Z_O [Ω]

עכבת המבוא כאשר המוצא בקצר - Z_{SC} [Ω]

עכבת המבוא כאשר המוצא בנתק - Z_{OC} [Ω]

עבור רשת סימטרית מתקיים:

$$Z_O = \sqrt{\frac{B}{C}}$$

מקדם זוגיים - B

מקדם זוגיים - C

עכבת הברואה - Z_{O1} [Ω]

מהצד האחד { עכבת המבוא כאשר המוצא בקצר - Z_{SC1} [Ω]
 עכבת המבוא כאשר המוצא בנתק - Z_{OC1} [Ω]

$$Z_{O1} = \sqrt{Z_{SC1} Z_{OC1}}$$

$$Z_{O2} = \sqrt{Z_{SC2} Z_{OC2}}$$

עכבת הברואה - Z_{O2} [Ω]

מהצד האחר { עכבת המבוא כאשר המוצא בקצר - Z_{SC2} [Ω]
 עכבת המבוא כאשר המוצא בנתק - Z_{OC2} [Ω]

$$e^\gamma = e^{\alpha + j\beta} = e^\alpha \angle \beta$$

קבוע ההתפשטות - γ

קבוע הניחות - α [neper]

קבוע המופע, זווית המופע - β [rad]

בין הזרמים I_1 ו- I_2

ניחות - N

$$N = e^\alpha = \left| \frac{I_1}{I_2} \right|$$

$$N_{[dB]} = 20 \log N$$

$$1 \text{ neper} = 8.69 \text{ dB}$$

מסננים מסוג K קבוע

התנגדות אופיינית - R_o [Ω]

$$R_o = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

מסנן LPF

תדר פוגה - f_c [Hz]

$$f_c = \frac{1}{\pi\sqrt{LC}}$$

כאשר $\omega < \omega_c$:

$$\beta = 2 \sin^{-1} \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)$$

כאשר $\omega > \omega_c$:

$$\alpha = 2 \cosh^{-1} \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)$$

עכבה אופיינית של רשת T - Z_{OT} [Ω]
סימטרית מעבירה נמוכים

$$Z_{OT}(\omega) = R_o \sqrt{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^2}$$

עכבה אופיינית של רשת π - $Z_{O\pi}$ [Ω]
סימטרית מעבירה נמוכים

$$Z_{O\pi}(\omega) = \frac{R_o}{\sqrt{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^2}}$$

constant-K LOW PASS FILTER		
CONFIGURATION	ATTENUATION	IMPEDANCE
<p>"T" (FULL SECTION)</p>		
<p>"pi"</p>		
$L_1 = \frac{R_0}{\pi f_c} \quad ; \quad C_2 = \frac{1}{\pi f_c R_0}$		$R_0 = \text{LINE IMPEDANCE}$

מסנן HPF

תדר פוגה - f_c [Hz]

$$f_c = \frac{1}{4\pi\sqrt{LC}}$$

כאשר $\omega > \omega_c$:

$$\beta = -2 \sin^{-1} \left(\frac{\omega_c}{\omega} \right)$$

כאשר $\omega < \omega_c$:

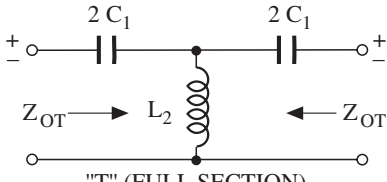
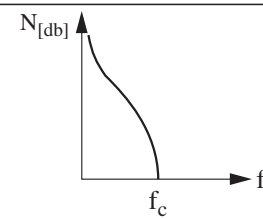
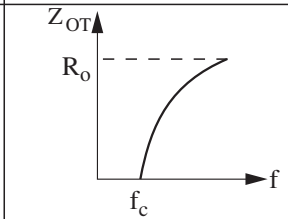
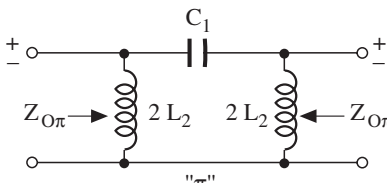
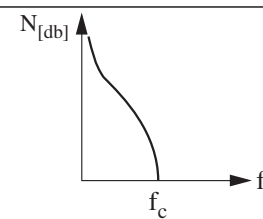
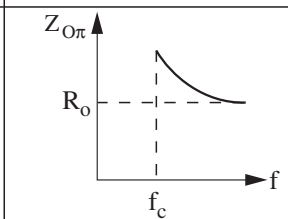
$$\alpha = 2 \cosh^{-1} \left(\frac{\omega_c}{\omega} \right)$$

$$Z_{OT}(\omega) = R_o \sqrt{1 - \left(\frac{\omega_c}{\omega}\right)^2}$$

$Z_{OT} [\Omega]$ - עכבה אופיינית של רשת T
סימטרית מעבירה גבוהים

$$Z_{O\pi}(\omega) = \frac{R_o}{\sqrt{1 - \left(\frac{\omega_c}{\omega}\right)^2}}$$

$Z_{O\pi} [\Omega]$ - עכבה אופיינית של רשת π
סימטרית מעבירה גבוהים

constant-K HIGH PASS FILTER		
CONFIGURATION	ATTENUATION	IMPEDANCE
 <p>"T" (FULL SECTION)</p>		
 <p>"π"</p>		
$L_2 = \frac{R_o}{4 \pi f_c} ; \quad C_1 = \frac{1}{4 \pi f_c R_o}$		$R_o = \text{LINE IMPEDANCE}$

בהצלחה!