

אפנונים:

$$AM : f(t) = A(1 + m(t)) \cos(\omega_c t + \varphi)$$

עבור רכיב ספקטרי בודד: ($m_a < 1$)

$$f(t) = A[1 + m_a \cos(\omega_m t + \varphi_m)] \cos(\omega_c t + \varphi_c)$$

$$= A\{\cos(\omega_c t + \varphi_c) + \frac{m_a}{2} \cos[(\omega_c + \omega_m)t + (\varphi_c + \varphi_m)]\}$$

$$+ \frac{m_a}{2} \cos[(\omega_c - \omega_m)t + (\varphi_c - \varphi_m)]\}$$

הספק משודר: $P_C \propto A^2$, $P_{SB} \propto A^2 m_a^2 / 4$

$$P_t = P_C + 2P_{SB} = P_C \left(1 + \frac{m_a^2}{2}\right)$$

$$\frac{P_{SB}}{P_t} = \frac{m_a^2/4}{1 + m_a^2/4} \leq \frac{1}{6}$$

הספק השיא גדול פי 4 מהספק הגל הנושא. שיטות נוספות:

DSBSC : Double Side Band Suppressed Carrier

SSB : Single Side Band

$$f_{PM}(t) = E_c \cos\left(\omega_c t + \beta \overbrace{\cos}^{\varphi(t)} \omega_m t\right)$$

$$f_{FM}(t) = E_c \cos\left(\omega_c t + \beta \overbrace{\sin}^{\varphi(t)} \omega_m t\right)$$

$$PM : \varphi(t) = K_P E_m \cos(\omega_m t) \quad \beta = K_P E_m$$

$$FM : \dot{\varphi}(t) = K_F E_m \cos(\omega_m t) \quad \beta = K_F E_m / \omega_m$$

סטיית תדר: $\Delta\omega = \beta\omega_m$

רוחב סרט (נוסחת קרטון): $BW = 2(\beta + 1)\omega_m$

רעש:

רעש מתח תרמי של נגד: $\langle v^2 \rangle = 4kTBR$

$$kT @ T_0 = 290K^\circ = 4 \cdot 10^{-21} [W / Hz]$$

$$= -114 [dBm / MHz]$$

הספק הרעש המקסימלי המועבר לעומס: kTB

$$F = \frac{SNR_{in}}{SNR_{out}} \Big|_{N_{in}=kT_0B} = \frac{N_{out}}{kT_0BG} \Rightarrow N_{out} = kT_0BGF$$

ספרת רחש של מנחת: $F = L^{-1} > 1$

$$F_{TOT} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots : \text{Friis}$$

$$M = \frac{F - 1}{1 - G^{-1}} : \text{מידת רחש}$$

עבור מנחת:

לצורך מינימום ספרת רחש נדרוש לסדר את הרכיבים לפי מידת הרחש, מהנמוכה לגבוהה.

$$T_{eq} = T_0 (F - 1) : \text{טמפרטורת רעש}$$

$$N_{out} = k(T_a + T_{eq})BG : \text{רעש בטמפרטורה שונה}$$

$$T_{tot} = T_1 + \frac{T_2}{G_1} + \frac{T_3}{G_1 G_2} + \dots : \text{רעש של מספר מגברים}$$

$$N_{in} = k(T_a + T_{eq})B \stackrel{T_a=T_0}{=} kT_0BF : \text{ריצפת רחש}$$

מערכות תקשורת:

תקשורת חד כיוונית:

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{G_t A_r}{4\pi R^2}, \quad SNR = \frac{P_t G_t A_r}{4\pi R^2 kTBF}$$

תקשורת דו-כיוונית (מכ"ם):

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{G_t A_t \sigma}{16\pi^2 R^4}, \quad SNR = \frac{P_t G_t A_t \sigma}{16\pi^2 R^4 kTBF}$$

$$\frac{A}{G} = \frac{\lambda^2}{4\pi}, \quad \lambda f = c : \text{יחס אפרטורה-שבח של אנטנה}$$

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2$$

הערה: $A = A(\theta, \phi)$, $G = G(\theta, \phi)$

$$\Delta R = \frac{c}{BW}, \quad \Delta\theta = \frac{\lambda}{D} : \text{דיוק מרחק וזווית}$$

המרה ממספרים ל dB:

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$10 \log_{10} n$	0	3	4.8	6	7	7.8	8.5	9	9.5	10

עיוותים:

מערכת לא לינארית חסרת זכרון: $y = \sum_{i=0}^{\infty} a_i x^i \cong a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3$

תגובה לתדר בודד:

$$y = \left[a_0 + \frac{1}{2} a_2 V^2 \right] + \left[a_1 V + \frac{3}{4} a_3 V^3 \right] \cos(\omega t) + \left[\frac{1}{2} a_2 V^2 \right] \cos(2\omega t) + \left[\frac{1}{4} a_3 V^3 \right] \cos(3\omega t)$$

עיוותי הרמוניה (גודל העיוות ביחס ל $a_1 V$): $HD_2 = 0.5 \frac{a_2}{a_1} V$ $HD_3 = 0.25 \frac{a_3}{a_1} V^2$

אינטרמודולציות: $IM_{2[dB]} = HD_2 + 6[dB]$ $IM_{3[dB]} = HD_3 + 9.5[dB]$

אות הכניסה לנקודת הדחיסה: $V_{CP,1dB} \cong 0.38 \sqrt{|a_1/a_3|}$

אות הכניסה לנקודת דחיסות הרגישות: $V_{DP,1dB} \cong 0.27 \sqrt{|a_1/a_3|}$

אות הכניסה לנקודת הפגישה: $V_{IP3} \cong 1.16 \sqrt{|a_1/a_3|}$

אותות אקויוולנטים בעלי אותו עיוות $P_{eq[dBm]} = \frac{2P_{strong} + P_{weak}}{3}$

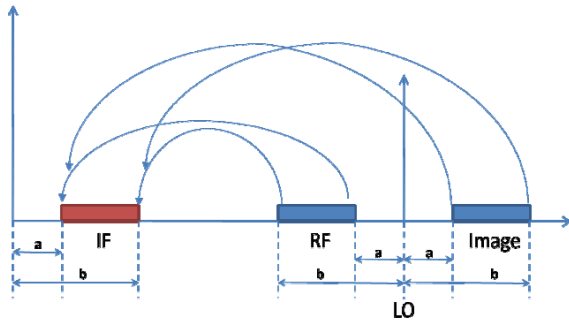
חישוב נקודת הפגישה: $IP_{3[dBm]} = 1.5P_{eq} - 0.5P_D$

קשרים בין הנקודות השונות: $CP = IP_3 - 10[dB]$ $DP = CP - 3[dB]$

Super Heterodyne והמרות תדר:

תדר מתנד הביניים: $f_{LO} = |f_{RF} \pm f_{IF}|$

תדר הבבואה: $f_{image} = |f_{LO} \pm f_{IF}|$



תחום דינאמי:

$$P_{min} = N_0 = kT BFG, \quad P_{D,max} = P_{min}$$

$$\Rightarrow P_{max[dBm]} = \frac{1}{3}(N_0 + 2IP_3)$$

$$DR_{[dB]} = P_{max} - P_{min} = \frac{2}{3}(IP_3 - N_0)$$

עבור תקשורת חד-כיוונית:

$$DR_{[dB]} = 20 \log_{10} (R_{max}/R_{min})$$

עבור תקשורת דו-כיוונית:

$$DR_{[dB]} = 40 \log_{10} (R_{max}/R_{min})$$

$$DR_{sys[dB]} = DR_{receiver} - SNR$$

רשתות לינאריות:

$$\begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} \quad Y = Z^{-1}$$

עבור חיבורי טורי $Z_{tot} = \prod_i Z_i$ ועבור חיבור מקבילי $Y_{tot} = \prod_i Y_i$

עבור רשת הפיכה מתקיים: $y_{12} = y_{21}$ וגם $z_{12} = z_{21}$

$$Z_{in} = z_{11} - \frac{z_{12}z_{21}}{z_{22} + Z_L} \quad Z_{out} = z_{22} - \frac{z_{12}z_{21}}{z_{11} + Z_S} \quad Y_{in} = y_{11} - \frac{y_{12}y_{21}}{y_{22} + Y_L} \quad Y_{out} = y_{22} - \frac{y_{12}y_{21}}{y_{11} + Y_S}$$

מסננים:














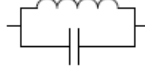

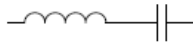
משפט: אם אימפדנס הכניסה לרשת הוא positive real, ניתן לממשה באמצעות רכיבים פסיביים.

$$\text{Positive Real: } \begin{cases} \operatorname{Re}[Z(s)] > 0 & \text{for } \operatorname{Re}[s] > 0 \\ \operatorname{Im}[Z(s)] = 0 & \text{for } \operatorname{Im}[s] = 0 \end{cases}$$

$$SF_{LP} = \frac{f_s}{f_p} \quad SF_{HP} = \frac{f_p}{f_s} \quad SF_{BP} = \frac{f_{s_1} - f_{s_2}}{f_{p_1} - f_{p_2}} \quad SF_{BS} = \frac{f_{p_1} - f_{p_2}}{f_{s_1} - f_{s_2}} \quad (f_{p_1} f_{p_2} = f_{s_1} f_{s_2} = f_0^2)$$

$$LP \rightarrow HP: p = \frac{1}{s} \quad LP \rightarrow BP: p = \frac{s^2 + \omega_0^2}{s \cdot BW} \quad LP \rightarrow BS: p = \frac{s \cdot BW}{s^2 + \omega_0^2}$$

התמרות רכיבים: (תדר + אימפדנס)

עבר	ערך מסנן אב טיפוס	ערך מסנן רצוי
LP->LP	 $L = g_i$	 $L = \frac{g_i \cdot Z_0}{\Delta \omega}$
	 $C = g_i$	 $C = \frac{g_i \cdot Y_0}{\Delta \omega}$
LP->HP	 $L = g_i$	 $C = \frac{Y_0}{g_i \cdot \Delta \omega}$
	 $C = g_i$	 $L = \frac{Z_0}{g_i \cdot \Delta \omega}$
LP->BP	 $L = g_i$	 $L = \frac{g_i \cdot Z_0}{\Delta \omega}, C = \frac{1}{\omega_0^2 \cdot L}$
	 $C = g_i$	 $C = \frac{g_i \cdot Y_0}{\Delta \omega}, L = \frac{1}{\omega_0^2 \cdot C}$
LP->BS	 $L = g_i$	 $C = \frac{Y_0}{g_i \cdot \Delta \omega}, L = \frac{1}{\omega_0^2 \cdot C}$
	 $C = g_i$	 $L = \frac{Z_0}{g_i \cdot \Delta \omega}, C = \frac{1}{\omega_0^2 \cdot L}$

$\Delta \omega$ – Bandwidth in rad/sec, ω_0 – Central freq. in rad/sec כאשר

פונקציות קירוב LP מנורמלות לתדר קטעון: $\omega_c = 1 \frac{Rad}{Sec}$

הערה: יש להציב במקום ω , לקבלת הניחות במסנן שאיננו LP מנורמל.

$$\text{Butterworth: } |T(\omega)|^2 = \frac{1}{1 + \varepsilon(\omega)^{2n}} \stackrel{\substack{\varepsilon=1 \text{ for } -3\text{dB} \\ \text{at } \omega=1}}{=} \frac{1}{1 + (\omega)^{2n}}$$

$$L[dB] = 10 \log [1 + (\omega)^{2n}]$$

$$\text{Chebychev: } |T(\omega)|^2 = \frac{1}{1 + \varepsilon(T_n(\omega))^2} \quad T_n = \cos(n \arccos(\omega))$$

$$L[dB] = \begin{cases} 10 \log [1 + \varepsilon^2 \cos^2(n \arccos(\omega))] & \omega < 1 \\ 10 \log [1 + \varepsilon^2 \cos^2(n \arccos h(\omega))] & \omega > 1 \end{cases}$$

הפסדים במסננים:

$$Q_C = (\omega CR)^{-1} \quad Q_L = \omega L/R \quad Q_u = \min \{Q_{Ci}, Q_{Li}\}$$

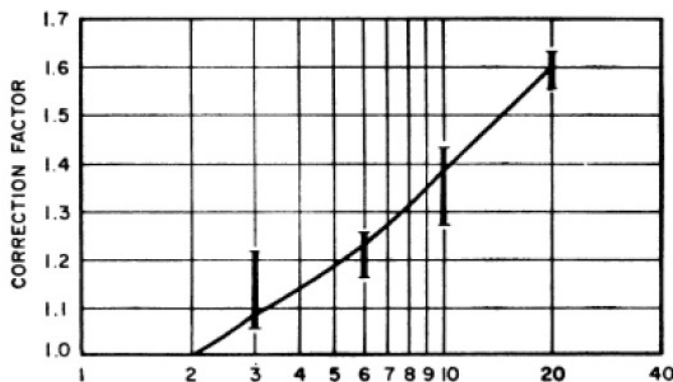
q_{\min} עבור מסנני HP, LP

n	q_{\min} for Butterworth	q_{\min} for Chebyshev with Ripple of [dB]							
		10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	0.01	0.1	0.3	1	3
1	1								
2	1.4					1.65	1.8	2.3	3.15
3	2				2.3	2.8	3.4	4.5	6.6
4	2.6			3.2	3.5	4.5	5.4	7.5	11.8
5	3.24		3.9	4.3	5.1	6.3	8.4	11.8	18.3
6	3.86		5.1	5.7	7.0	9.5	12.7	16.8	26.2
7	4.6	5.9	6.6	7.6	9.6	13.0	16.3	21.9	36.1
8	5.1	7.3	9.0	9.4	11.3	16.5	23.0	29.0	46.4

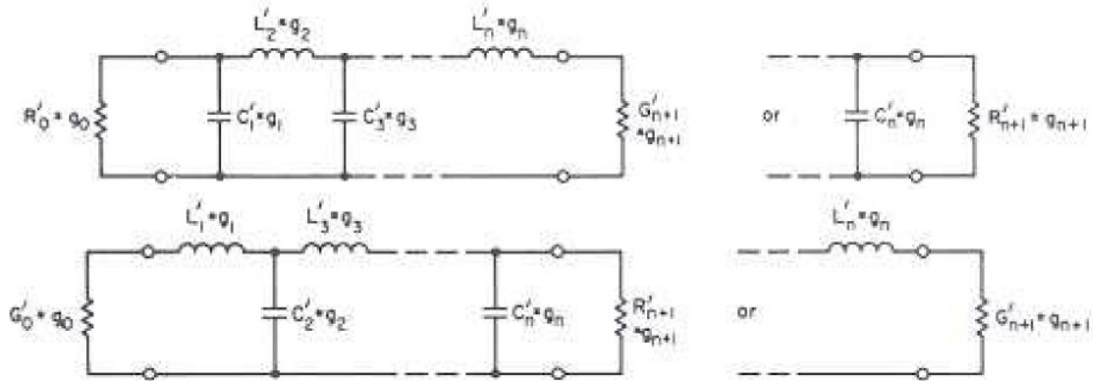
$$Q_{\min} = q_{\min} \frac{f_0}{BW} \quad \text{עבור מסנני BP, BS}$$

$$IL_{[dB]} = CF(n) \cdot 20 \log \left(\frac{u}{u-1} \right) \quad u \triangleq \begin{cases} Q_u / q_{\min} & \text{HP, LP} \\ Q_u / Q_{\min} & \text{BP, BS} \end{cases}$$

$$u = 1 + \left[10^{\frac{IL}{20 \cdot CF}} - 1 \right]^{-1} \quad \text{לחילוץ } u \text{ מן הפסדי המסנן:}$$

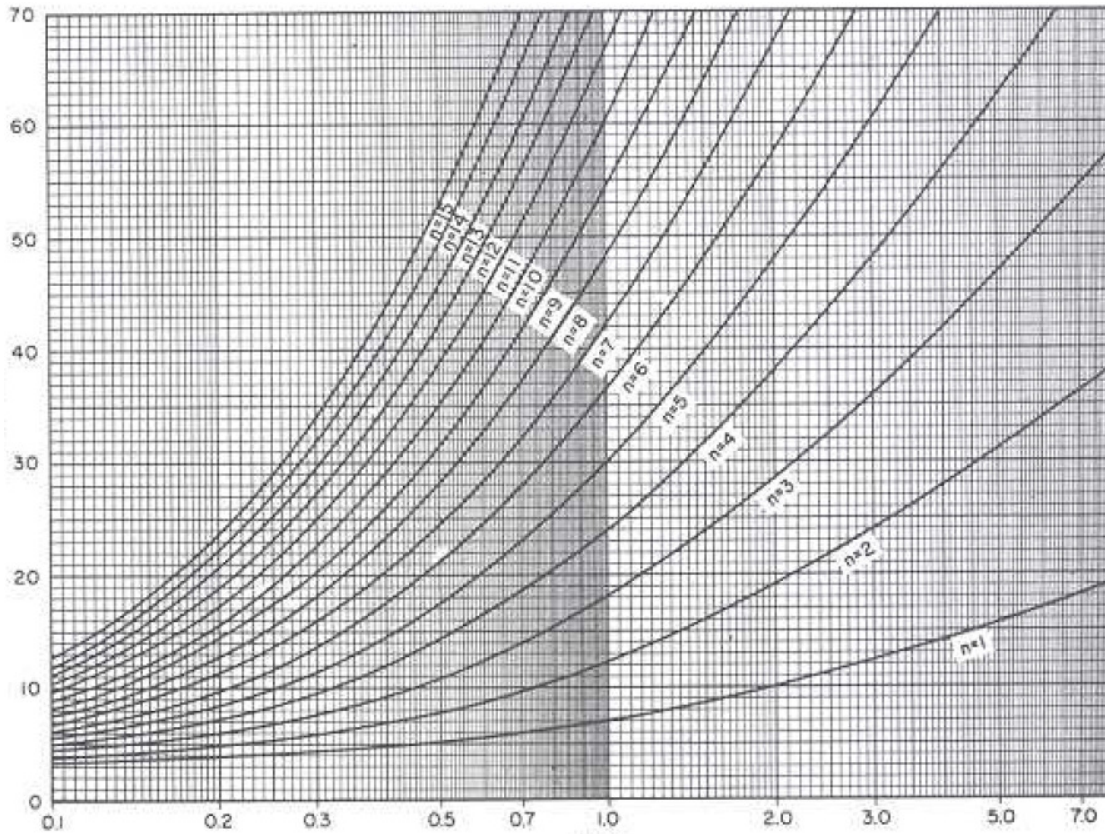


מימוש המסננים:



טבלאות עבור מסנן Butterworth:

ניחות ב dB כפונקציה של $(SF - 1)$

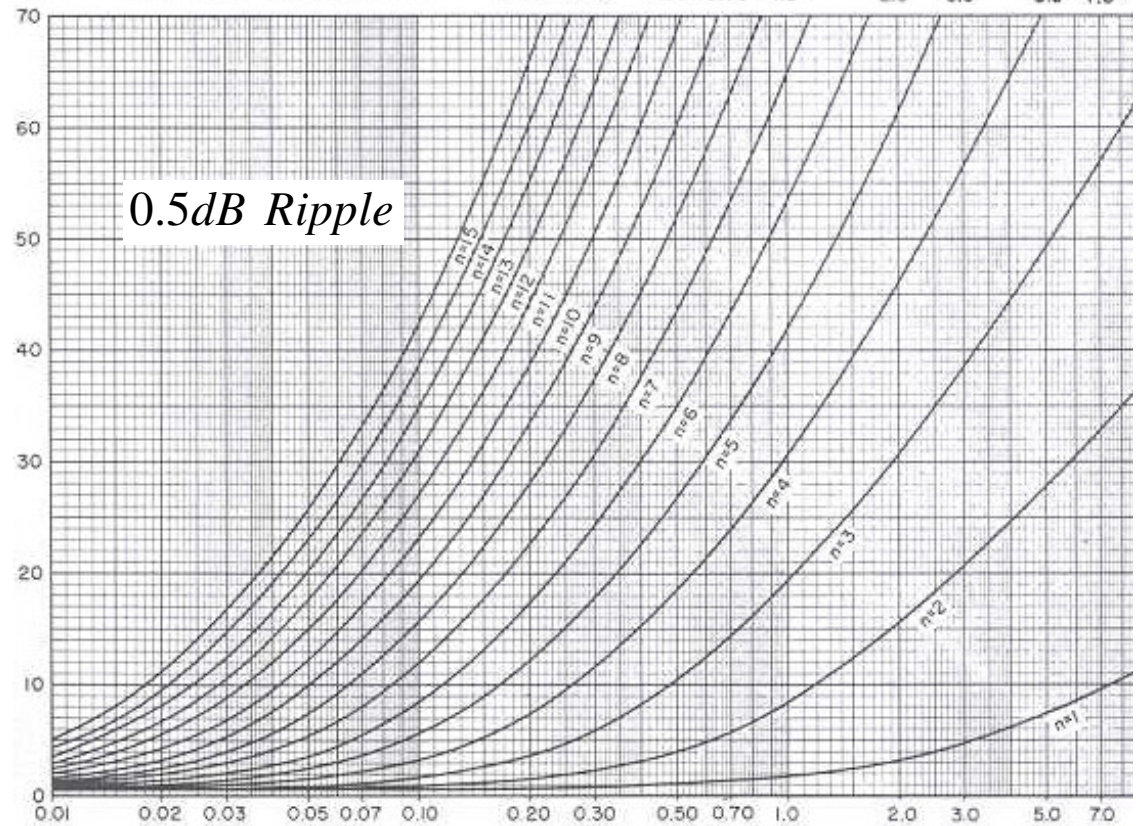
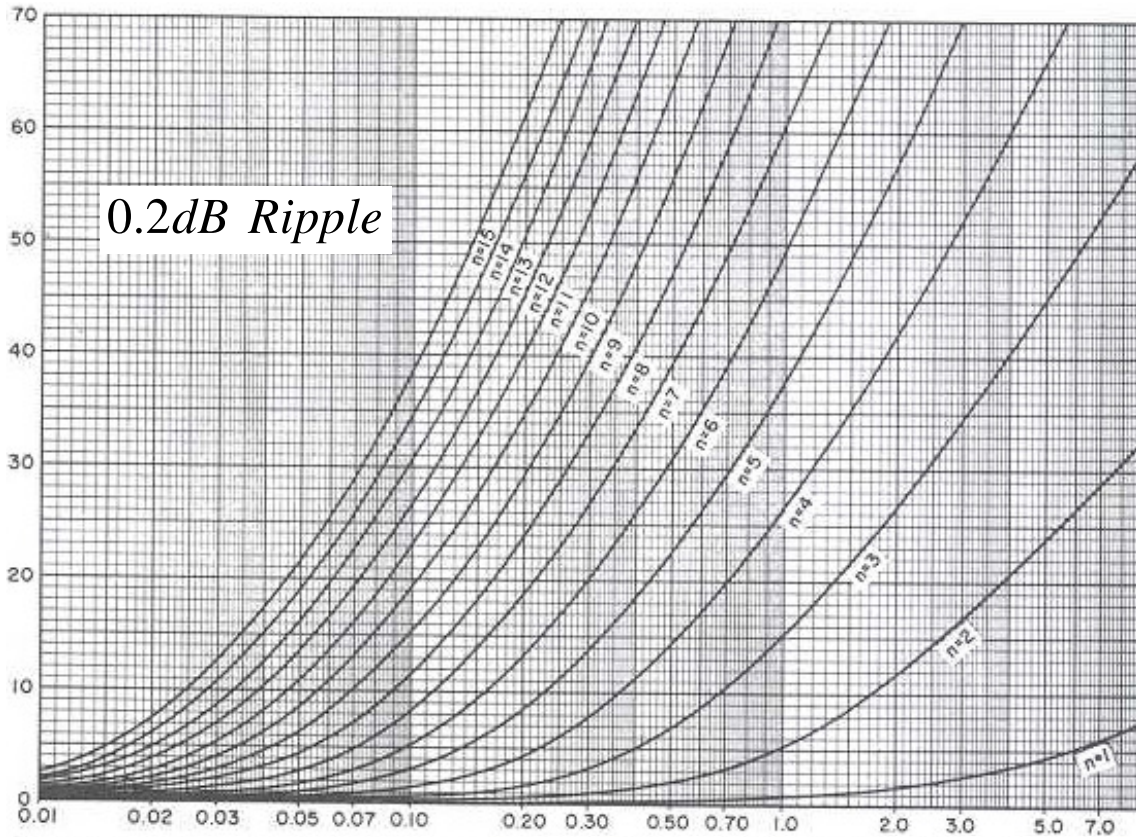


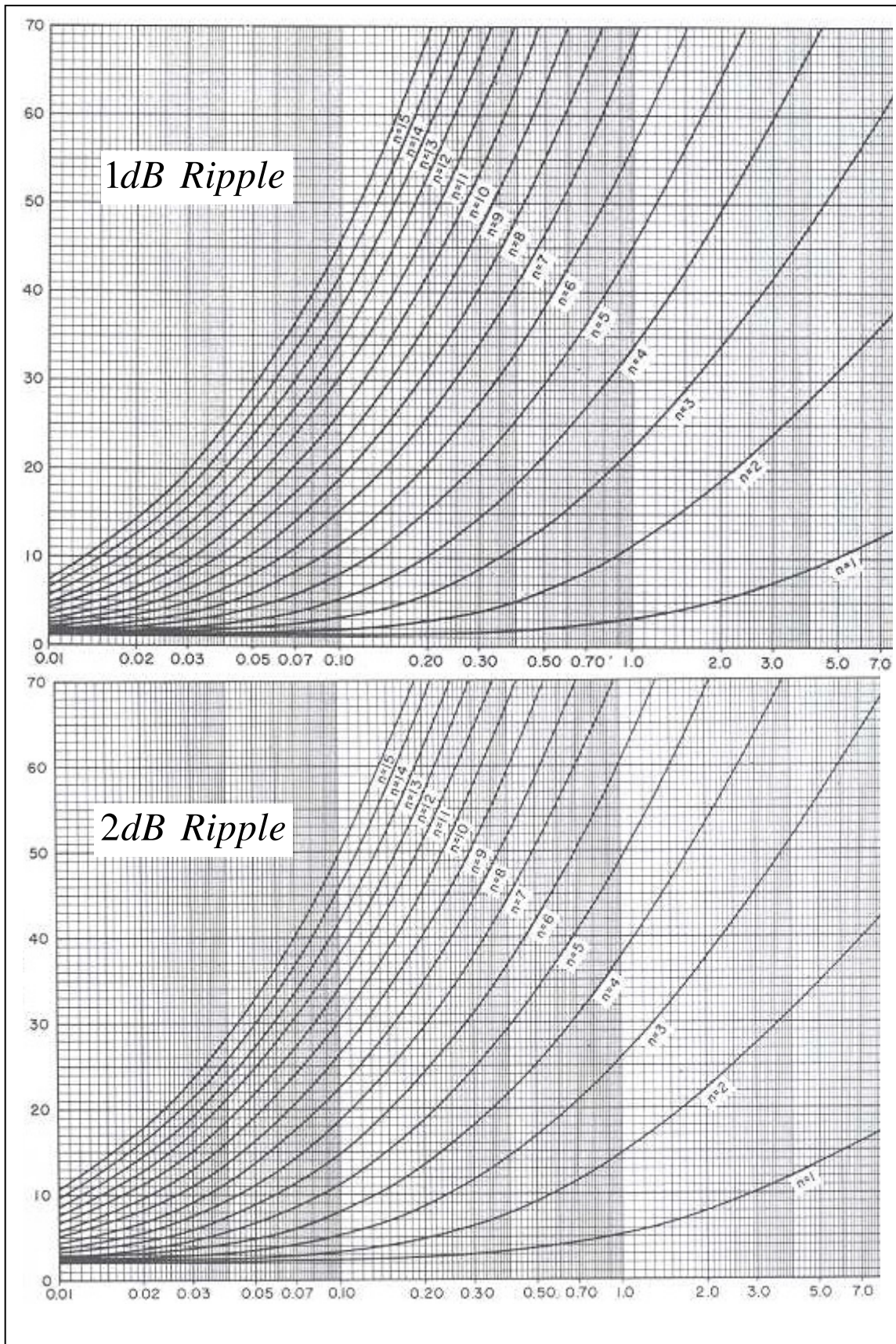
ערכי רכיבים מנורמלים לתדר $\omega = 1 \frac{\text{Rad}}{\text{Sec}}$ ורמת אימפדנס $g_0 = 1\Omega$

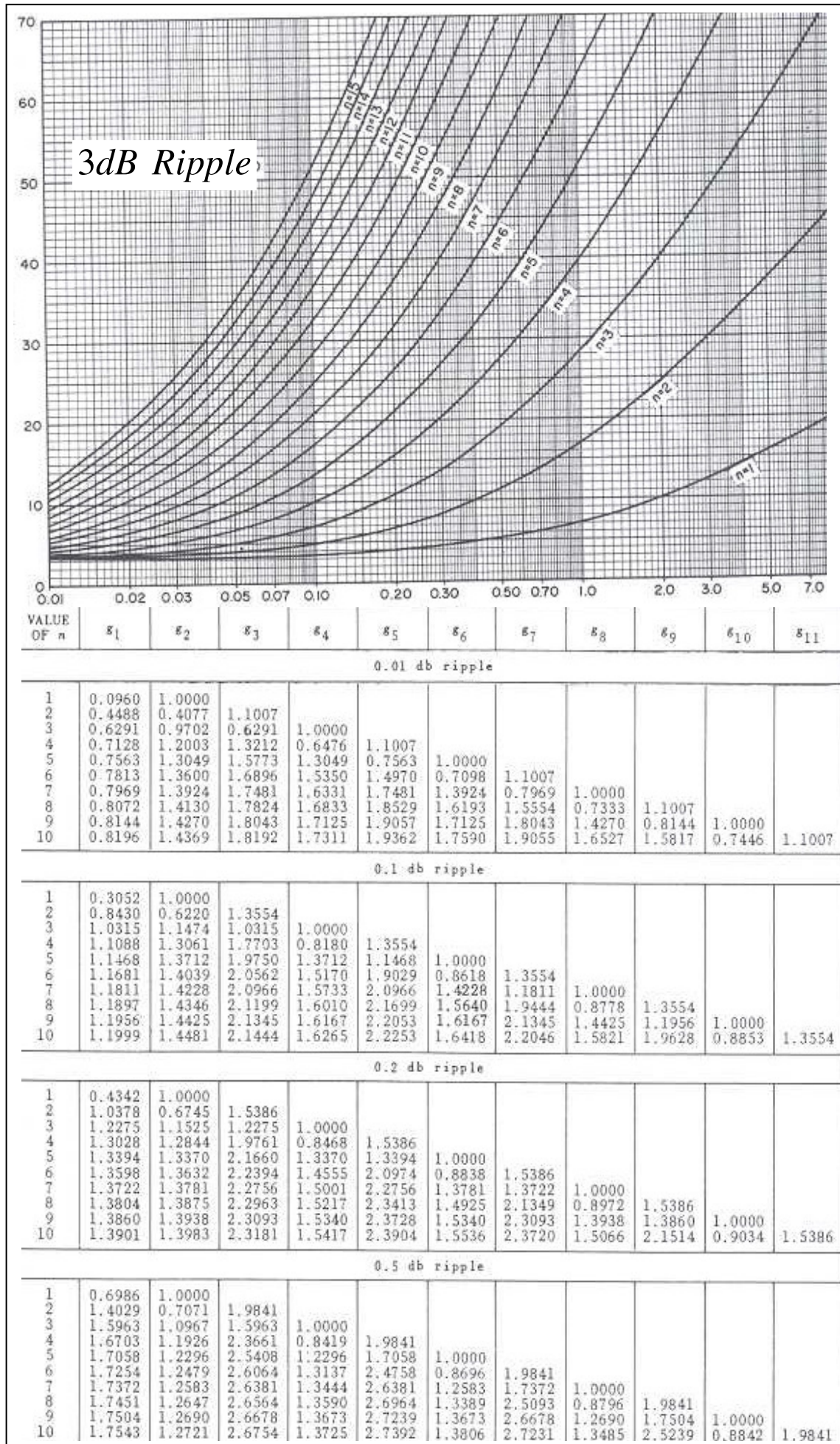
VALUE OF n	ϵ_1	ϵ_2	ϵ_3	ϵ_4	ϵ_5	ϵ_6	ϵ_7	ϵ_8	ϵ_9	ϵ_{10}	ϵ_{11}
1	2.000	1.000									
2	1.414	1.414	1.000								
3	1.000	2.000	1.000	1.000							
4	0.7654	1.848	1.848	0.7654	1.000						
5	0.6180	1.618	2.000	1.618	0.6180	1.000					
6	0.5176	1.414	1.932	1.932	1.414	0.5176	1.000				
7	0.4450	1.247	1.802	2.000	1.802	1.247	0.4450	1.000			
8	0.3902	1.111	1.663	1.962	1.962	1.663	1.111	0.3902	1.000		
9	0.3473	1.000	1.532	1.879	2.000	1.879	1.532	1.000	0.3473	1.000	
10	0.3129	0.9080	1.414	1.782	1.975	1.975	1.782	1.414	0.9080	0.3129	1.000

טבלאות עבור מסנן Chebychev:

ניחות ב dB כפונקציה של $(SF - 1)$







1.0 db ripple										
1	1.0177	1.0000								
2	1.8219	0.6850	2.6599							
3	2.0236	0.9941	2.0236	1.0000						
4	2.0991	1.0644	2.8311	0.7892	2.6599					
5	2.1349	1.0911	3.0009	1.0911	2.1349	1.0000				
6	2.1546	1.1041	3.0634	1.1518	2.9367	0.8101	2.6599			
7	2.1664	1.1116	3.0934	1.1736	3.0934	1.1116	2.1664	1.0000		
8	2.1744	1.1161	3.1107	1.1839	3.1488	1.1696	2.9685	0.8175	2.6599	
9	2.1797	1.1192	3.1215	1.1897	3.1747	1.1897	3.1215	1.1192	2.1797	1.0000
10	2.1836	1.1213	3.1286	1.1933	3.1890	1.1990	3.1738	1.1763	2.9824	0.8210
										2.6599

2.0 db ripple										
1	1.5296	1.0000								
2	2.4881	0.6075	4.0957							
3	2.7107	0.8327	2.7107	1.0000						
4	2.7925	0.8806	3.6063	0.6819	4.0957					
5	2.8310	0.8985	3.7827	0.8985	2.8310	1.0000				
6	2.8521	0.9071	3.8467	0.9393	3.7151	0.6964	4.0957			
7	2.8655	0.9119	3.8780	0.9535	3.8780	0.9119	2.8655	1.0000		
8	2.8733	0.9151	3.8948	0.9605	3.9335	0.9510	3.7477	0.7016	4.0957	
9	2.8790	0.9171	3.9056	0.9643	3.9598	0.9643	3.9056	0.9171	2.8790	1.0000
10	2.8831	0.9186	3.9128	0.9667	3.9743	0.9704	3.9589	0.9554	3.7619	0.7040
										4.0957

3.0 db ripple										
1	1.9953	1.0000								
2	3.1013	0.5339	5.8095							
3	3.3487	0.7117	3.3487	1.0000						
4	3.4389	0.7483	4.3471	0.5920	5.8095					
5	3.4817	0.7618	4.5381	0.7618	3.4817	1.0000				
6	3.5045	0.7685	4.6061	0.7929	4.4641	0.6033	5.8095			
7	3.5182	0.7723	4.6386	0.8039	4.6386	0.7723	3.5182	1.0000		
8	3.5277	0.7745	4.6575	0.8089	4.6990	0.8018	4.4990	0.6073	5.8095	
9	3.5340	0.7760	4.6692	0.8118	4.7272	0.8118	4.6692	0.7760	3.5340	1.0000
10	3.5384	0.7771	4.6768	0.8136	4.7425	0.8164	4.7260	0.8051	4.5142	0.6091
										5.8095

הגברי רשת:

הגבר מתמר:

$$G_T = \frac{P_L}{P_{AV,in}} = \frac{1 - |\Gamma_S|^2}{|1 - \Gamma_{in}\Gamma_S|^2} |S_{21}|^2 \frac{1 - |\Gamma_L|^2}{|1 - S_{22}\Gamma_L|^2}$$

הגבר הספק:

$$G_P = \frac{P_L}{P_{in}} = G_T (\Gamma_S = \Gamma_{in}^*) = \frac{1}{1 - |\Gamma_{in}|^2} |S_{21}|^2 \frac{1 - |\Gamma_L|^2}{|1 - S_{22}\Gamma_L|^2}$$

הגבר מצוי:

$$G_A = \frac{P_{AV,out}}{P_{AV,in}} = G_T (\Gamma_L = \Gamma_{out}^*) = \frac{1 - |\Gamma_S|^2}{|1 - S_{11}\Gamma_S|^2} |S_{21}|^2 \frac{1}{|1 - \Gamma_{out}|^2}$$

קשרים בין ההגברים:

$$\max(P_{in}) = P_{AV,in} \quad \max(P_L) = P_{AV,out}$$

$$G_A \geq G_T \quad G_P \geq G_T$$

עבור מגבר יציב באופן מוחלט:

$$MAG = G_{T,max} = G_{P,max} = G_{A,max}$$

פרמטרי S:

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Gamma_1 & T_1 \\ T_2 & \Gamma_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix}$$

$$a_i = \frac{1}{2\sqrt{Z_0}} (V_i + Z_0 I_i) \quad b_i = \frac{1}{2\sqrt{Z_0}} (V_i - Z_0 I_i)$$

$$\vec{V}_i = \frac{1}{2} (V_i + Z_0 I_i) \quad \vec{V}_i = \frac{1}{2} (V_i - Z_0 I_i)$$

$$\begin{pmatrix} \vec{V}_1 \\ \vec{V}_2 \end{pmatrix} = S \begin{pmatrix} \vec{V}_1 \\ \vec{V}_2 \end{pmatrix}$$

הערה: חץ שמאלה- גל נסוג, חץ ימנה- גל מתקדם.
עבור רשת חסרת הפסדים:

$$|s_{11}|^2 + |s_{12}|^2 = 1, \quad |s_{21}|^2 + |s_{22}|^2 = 1$$

עבור רשת הפיכה:

$$s_{12} = s_{21} = T$$

נוסחאות כלליות:

$$Z(\Gamma) = Z_0 \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} \quad \Gamma(Z) = \frac{Z-Z_0}{Z+Z_0}$$

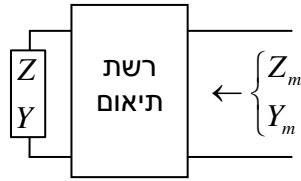
$$|\Gamma| < 1 \Leftrightarrow \text{Re}(Z) > 0$$

$$\Gamma_{in} = s_{11} + \frac{s_{12}s_{21}\Gamma_L}{1-s_{22}\Gamma_L} \quad \Gamma_{out} = s_{22} + \frac{s_{12}s_{21}\Gamma_S}{1-s_{22}\Gamma_S}$$

$$Z_{in} = z_{11} - \frac{z_{12}z_{21}}{z_{22} + Z_L} \quad Z_{out} = z_{22} - \frac{z_{12}z_{21}}{z_{11} + Z_S}$$

רשתות תיאום:

תיאום בתדר בודד!



$$Z = R + jX = Y^{-1} = (G + jB)^{-1}$$

$$Z_m = R_m + jX_m = Y_m^{-1} = (G_m + jB_m)^{-1}$$

מקרה A: $G_m^{-1} - R \geq 0$

$$X_A = -X \pm \sqrt{R(G_m^{-1} - R)}$$

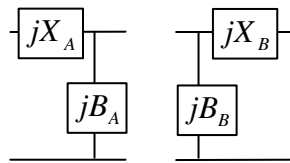
$$B_A = B_m + \frac{X + X_A}{R^2 + (X + X_A)^2}$$

מקרה B: $R_m^{-1} - G \geq 0$

$$B_B = -B \pm \sqrt{G(R_m^{-1} - G)}$$

$$X_B = X_m + \frac{B + B_B}{G^2 + (B + B_B)^2}$$

בהכרח, לפחות אחד משני התנאים מתקיים. רשתות התיאום:



ריאקטנס וסוספנטס של סליל וקבל:

$$X_C = -(\omega C)^{-1} \quad B_C = \omega C$$

$$X_L = \omega L \quad B_L = -(\omega L)^{-1}$$

מגברים דלי רחש:

ספרת הרחש של זוגיים:

$$F = F_m + R_n G_s^{-1} |Y_s - Y_m|^2$$

$$G_s = \text{Re}\{Y_s\}$$

מעגלים שווי ספרת רחש:

$$N_i \triangleq \frac{F_i - F_m}{4R_n Y_0} |1 + \Gamma_m|^2, \quad \Gamma_m = \frac{Y_0 - Y_m}{Y_0 + Y_m}$$

$$C_F = \Gamma_m (1 + N_i)^{-1} \quad \text{מרכז המעגל:}$$

$$r_F = \frac{\sqrt{N_i^2 + N_i (1 - |\Gamma_m|^2)}}{(1 + N_i)} \quad \text{רדיוסו:}$$

תיאום סימולטני:

$$\Gamma_L = \Gamma_{ML} = \Gamma_{out}^* \quad \& \quad \Gamma_S = \Gamma_{MS} = \Gamma_{in}^*$$

התקן יוניטרלי ($S_{12} = 0$):

$$G_T = \frac{1 - |\Gamma_S|^2}{|1 - S_{11}\Gamma_S|^2} |S_{21}|^2 \frac{1 - |\Gamma_L|^2}{|1 - S_{22}\Gamma_L|^2}$$

$$MAG = \frac{1}{1 - |S_{11}|^2} |S_{21}|^2 \frac{1}{1 - |S_{22}|^2}$$

מקרה כללי:

$$\Gamma_{MS} = \frac{1}{2C_1} \left[B_1 \pm \sqrt{B_1^2 - 4|C_1|^2} \right]$$

$$\Gamma_{ML} = \frac{1}{2C_2} \left[B_2 \pm \sqrt{B_2^2 - 4|C_2|^2} \right]$$

סימן השורש הפוך לסימן של B_i .

$$B_1 = 1 + |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 - |\Delta|^2$$

$$B_2 = 1 - |S_{11}|^2 + |S_{22}|^2 - |\Delta|^2$$

$$C_1 = S_{11} - \Delta \cdot S_{22}^*$$

$$C_2 = S_{22} - \Delta \cdot S_{11}^*$$

$$\Delta = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}$$

התנאי לתיאום סימולטני:

$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2|S_{12}S_{21}|} > 1$$

ואז מתקיים:

$$MAG = \left| \frac{S_{21}}{S_{12}} \right| \left(K \pm \sqrt{K^2 - 1} \right)$$

סימן השורש הפוך לסימן של B_i .

יציבות מוחלטת:

הגדרה:

$$\forall |\Gamma_L|, |\Gamma_S| < 1: |\Gamma_{in}|, |\Gamma_{out}| < 1$$

תנאי מספיק והכרחי: $K > 1$ & $|\Delta| < 1$

יציבות מוחלטת \Leftarrow תיאום סימולטני.

תיאום סימולטני $\not\Leftarrow$ יציבות מוחלטת.

ייצוב ע"י אלמנטים חיצוניים:

נניח את המערכת ע"י הגדלת K מקדם היציבות K במונחי Y, Z :

$$K = \frac{2 \operatorname{Re}(Y_{11}) \operatorname{Re}(Y_{22}) - \operatorname{Re}(Y_{12} Y_{21})}{2 |Y_{12} Y_{21}|}$$

$$= \frac{2 \operatorname{Re}(Z_{11}) \operatorname{Re}(Z_{22}) - \operatorname{Re}(Z_{12} Z_{21})}{2 |Z_{12} Z_{21}|}$$

עבור נגד מקבילי: $Y_{ii}' = Y_{ii} + G$

עבור נגד טורי: $Z_{ii}' = Z_{ii} + R$

$-i$ המתאים לשער אליו חובר הנגד.

מטריצת S של מנחת: $S_\alpha = \begin{pmatrix} 0 & \alpha \\ \alpha & 0 \end{pmatrix}$

מטריצת S של קסקדה:

$$S = \begin{pmatrix} S_{11}^A + \frac{S_{21}^A S_{11}^B}{1 - S_{11}^B S_{22}^A} & \frac{S_{12}^A S_{12}^B}{1 - S_{11}^B S_{22}^A} \\ \frac{S_{21}^A S_{21}^B}{1 - S_{11}^B S_{22}^A} & S_{22}^B + \frac{S_{12}^B S_{22}^A S_{21}^B}{1 - S_{11}^B S_{22}^A} \end{pmatrix}$$

עבור מנחת בכניסה:

$$S' = \begin{pmatrix} \alpha^2 S_{11} & \alpha S_{12} \\ \alpha S_{21} & S_{22} \end{pmatrix}$$

עבור מנחת במוצא:

$$S' = \begin{pmatrix} S_{11} & \alpha S_{12} \\ \alpha S_{21} & \alpha^2 S_{22} \end{pmatrix}$$

בשני המקרים: $\Delta' = \alpha^2 \cdot \Delta$

בדיקת תחומי יציבות מגברים:

העתקה למישור Γ_L : $\Gamma_L = \frac{S_{11} - \Gamma_{in}}{\Delta - S_{22} \Gamma_{in}}$

העתקת $|\Gamma_{in}| = 1$ למישור Γ_L היא מעגל

מרכז המעגל: $C_L = \frac{S_{11} \Delta^* - S_{22}^*}{|\Delta|^2 - |S_{22}|^2}$

רדיוסו: $r_L = \left| \frac{S_{12} S_{21}}{|\Delta|^2 - |S_{22}|^2} \right|$

יש לקבוע לפי העתקה זו לאן $\Gamma_{in} (\Gamma_L = 0) = S_{11}$

מועתק $|\Gamma_{in}| < 1$

העתקה למישור Γ_S : $\Gamma_S = \frac{S_{22} - \Gamma_{out}}{\Delta - S_{11} \Gamma_{out}}$

העתקת $|\Gamma_{out}| = 1$ למישור Γ_S היא מעגל

מרכז המעגל: $C_S = \frac{S_{22} \Delta^* - S_{11}^*}{|\Delta|^2 - |S_{11}|^2}$

רדיוסו: $r_L = \left| \frac{S_{12} S_{21}}{|\Delta|^2 - |S_{11}|^2} \right|$

יש לקבוע לפי העתקה זו לאן $\Gamma_{out} (\Gamma_S = 0)$

מועתק $|\Gamma_{out}| < 1$

תכנון מגברים שווי הגבר:

מניחים כי המקור מתואם! ($G_p = G_T$) ומגדירים הגבר מנורמל: $g_p = \frac{G_p}{|S_{21}|^2}$

מעגלים שווי הגבר במישור Γ_L :

מרכז המעגל: $C_p = g_p C_2 (1 + D_2 g_p)^{-1}$

רדיוסו: $r_p = \frac{\sqrt{1 - 2K \cdot |S_{12} S_{21}| g_p + |S_{12} S_{21}|^2 g_p^2}}{|1 + D_2 g_p|}$

כאשר: $C_2 \triangleq S_{22} - \Delta \cdot S_{11}^*$ $D_2 \triangleq |S_{22}|^2 - |\Delta|^2$

קריטריון רוזמריין: אם $G_p \leq 2K \left| \frac{S_{21}}{S_{12}} \right| \triangleq \text{ROSMAG}$ מובטח כי קיים Γ_S באזור היציב.

עבור התקן יציב על תנאי: $MSG \triangleq \left| \frac{S_{21}}{S_{12}} \right|$ - קנה מידה להגבר "סביר".