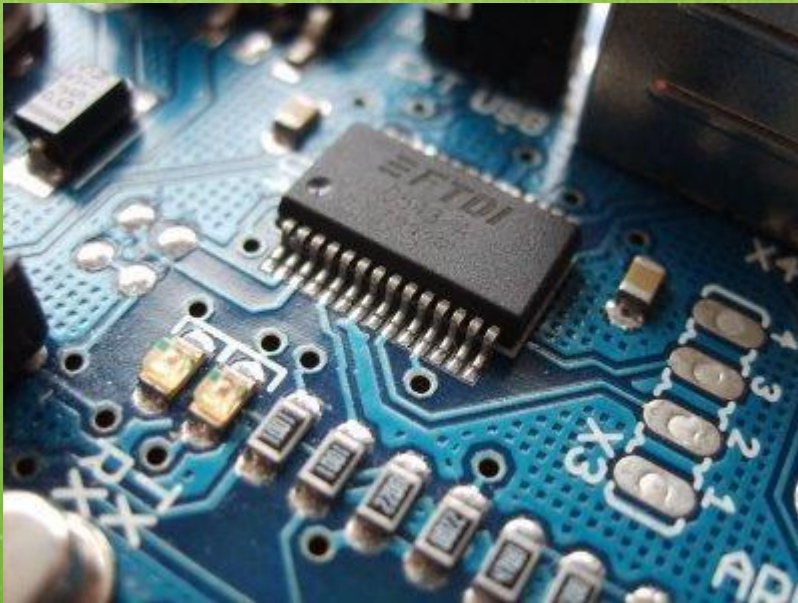
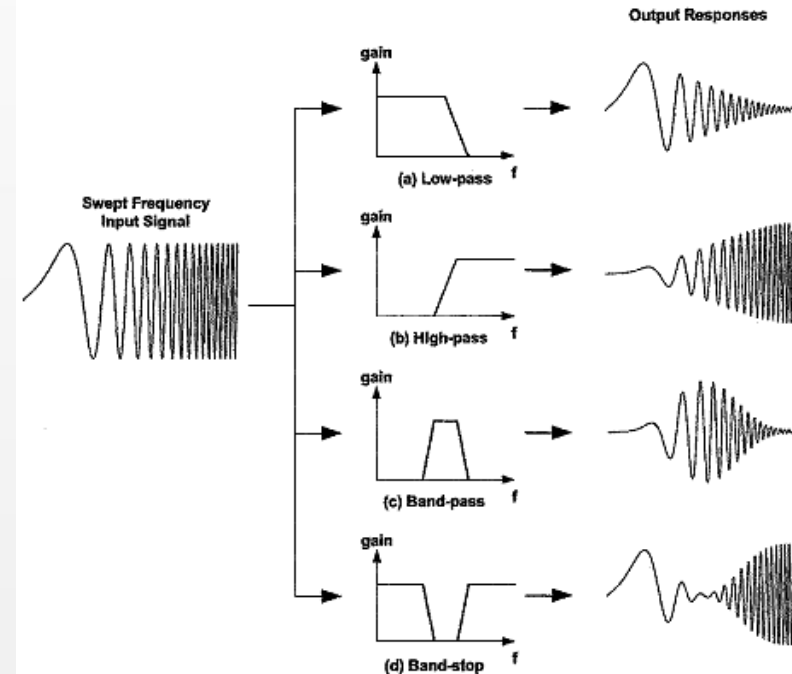


DTG2D3

ELEKTRONIKA TELEKOMUNIKASI



FILTER ANALOG



By : Dwi Andi Nurmantris

RANGKAIAN RESONATOR

Ruang Lingkup Materi

- PENDAHULUAN
- LOW PASS FILTER
- HIGH PASS FILTER
- BAND PASS FILTER
- BAND STOP FILTER

RANGKAIAN RESONATOR



PENDAHULUAN

FILTER ANALOG

Pendahuluan

- Filter: suatu alat yang memiliki fungsi untuk melewatkan frekuensi tertentu. Filter analog berarti filter yang melewatkan sinyal analog dan pengolahan sinyalnya juga dilakukan secara analog
- Filter analog banyak digunakan dalam sistem komunikasi, misalnya pada up-down converter, untuk merancang duplekser, filter sinyal audio, filter RF, filter SSB, dsb.
- Berdasarkan komponen penyusunnya, filter analog dibagi:
 1. Filter LC pasif dan RC aktif
 2. Filter SAW (*Surface Acoustic Waves*)
 3. Filter-filter elektromekanik
 4. Filter kristal piezoelektrik

FILTER ANALOG

Pendahuluan

Filter Analog Vs Filter Digital

FILTER ANALOG	FILTER DIGITAL
Better Speed Performance	Better Ripple passband performance
Better dynamic range (Amplitude or frequency) performance	Better slop/transition band performance
	Better Phase response Characteristic
	can readily modify the coefficients of a digital filter to make an <u>adaptive filter</u> or a user-controllable parametric filter
In very simple cases, it is more cost effective to use an analog filter.	Lower Cost
Analog filters can be used in the design of IIR Only	Digital filters can be used in the design of IIR or FIR
	Digital filters rely less on analog circuitry, potentially allowing for a better <u>signal-to-noise ratio</u>

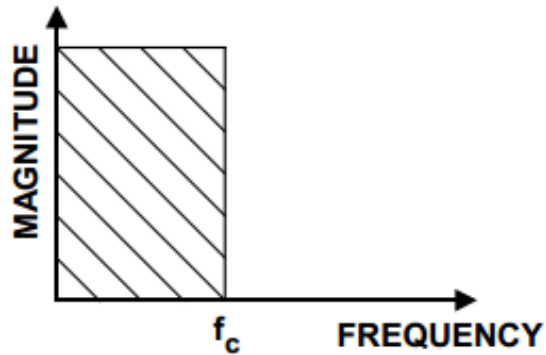
FILTER ANALOG

Pendahuluan

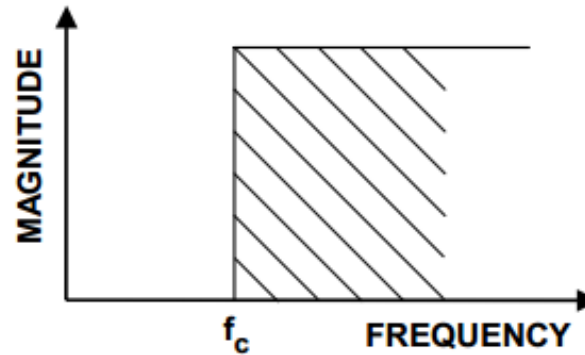
- Berdasarkan daerah frekuensi yang dilewatkan, filter analog dibagi menjadi
 1. **LPF** (*Low Pass Filter*)
 2. **BPF** (*Band Pass Filter*)
 3. **HPF** (*High Pass Filter*)
 4. **BSF/BRF** (*Band Stop Filter/ Band Reject Filter*)
 5. **All Pass Filter** (hanya memperhatikan respon fasa).
- Berdasarkan bentuk respon frekuensi terhadap gain:
 1. Filter Bessel (*Maximally Flat Time Delay*)
 2. Filter Cauer (*Eliptic*)
 3. Filter Butterworth (*maximally flat pass band*)
 4. Filter Chebyshev (*Tchebycheff*)

FILTER ANALOG

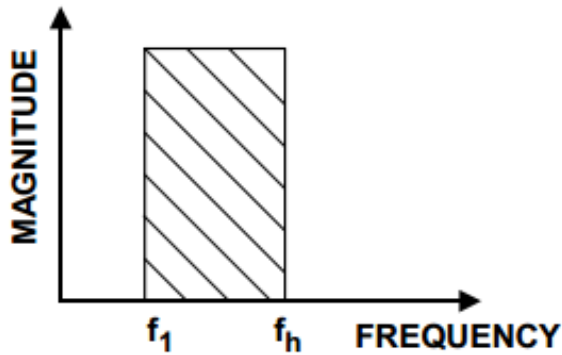
Pendahuluan



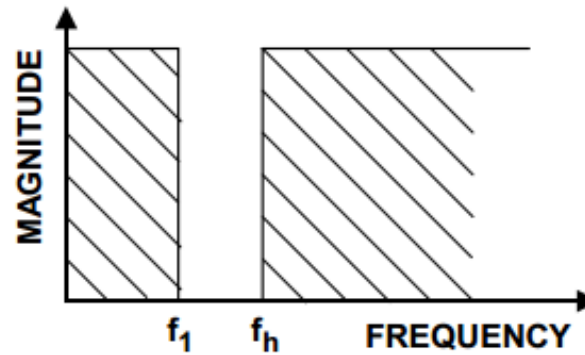
(A) Lowpass



(B) Highpass



(C) Bandpass



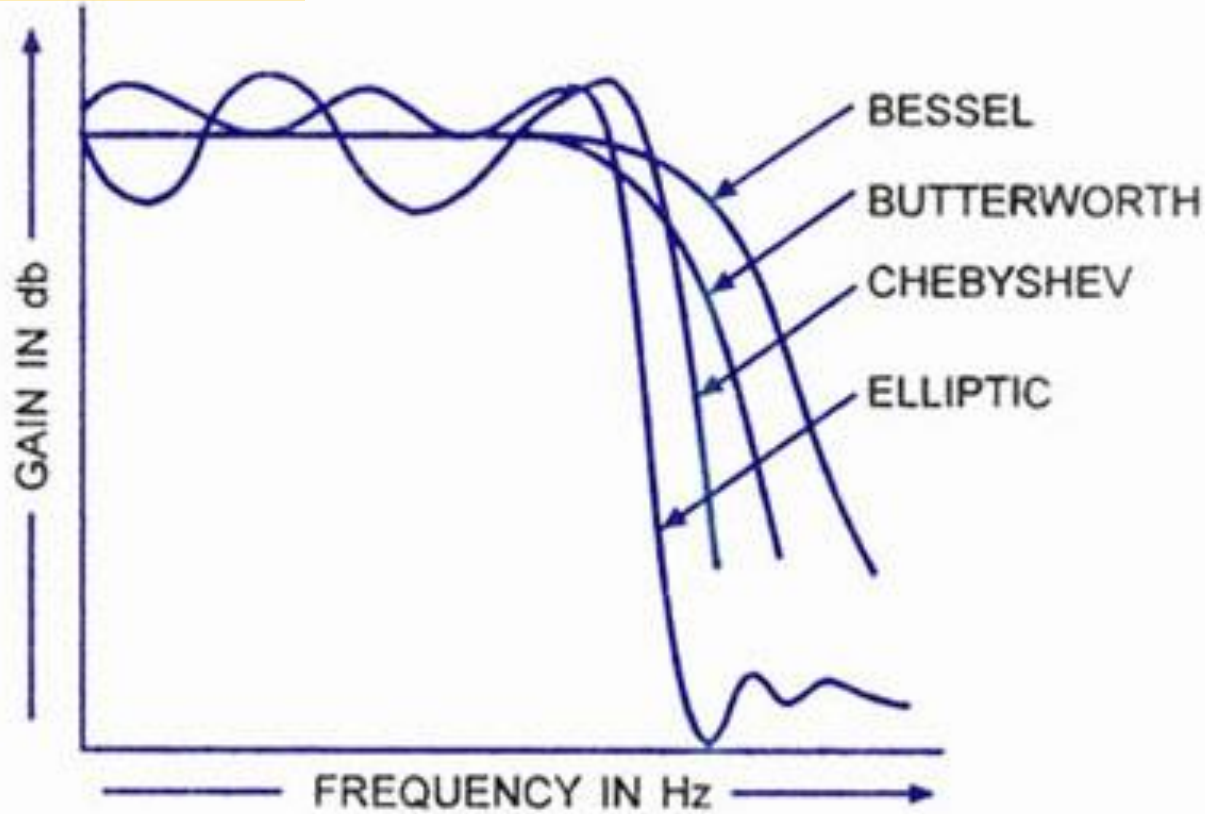
(D) Notch (Bandreject)

Figure 8.1: Idealized Filter Responses

FILTER ANALOG

Pendahuluan

Magnitude Respose



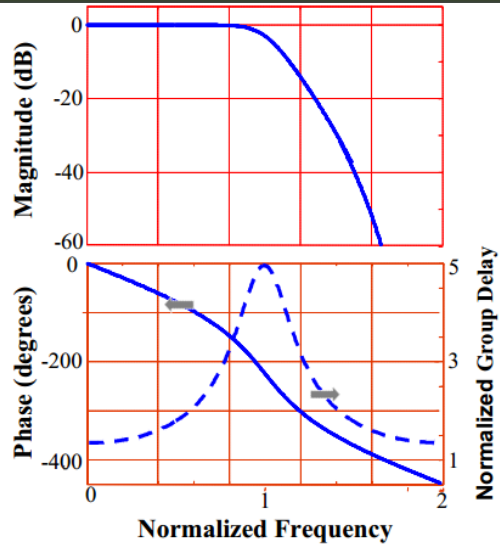
Frequency Response Curve

www.CircuitsToday.com

FILTER ANALOG

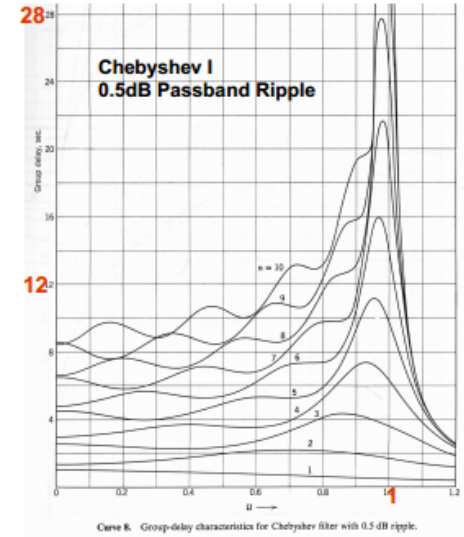
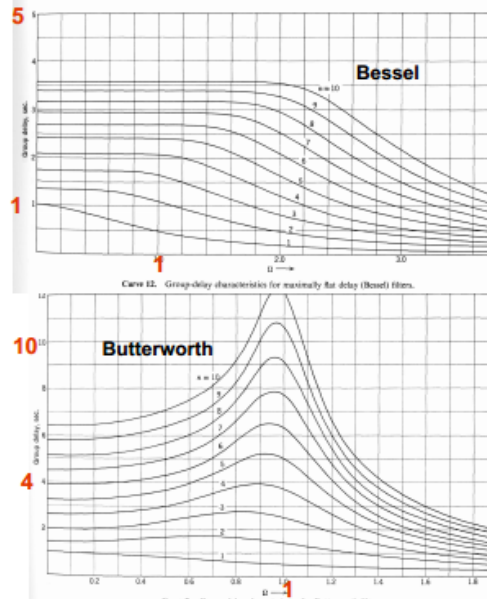
Pendahuluan

Frequency Respose comparison

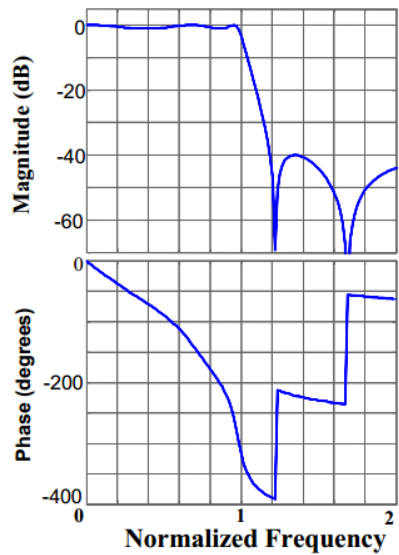


Example: 5th Order Butterworth filter

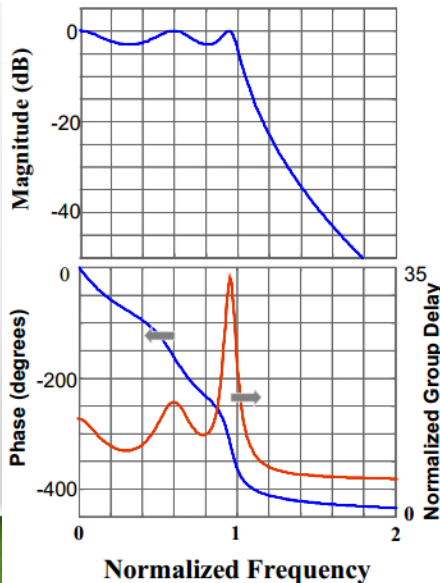
Comparison of Various LPF Groupdelay



Ref: A. Zverev, *Handbook of filter synthesis*, Wiley, 1967.



Example: 5th Order Elliptic filter



Example: 5th Order Chebyshev filter

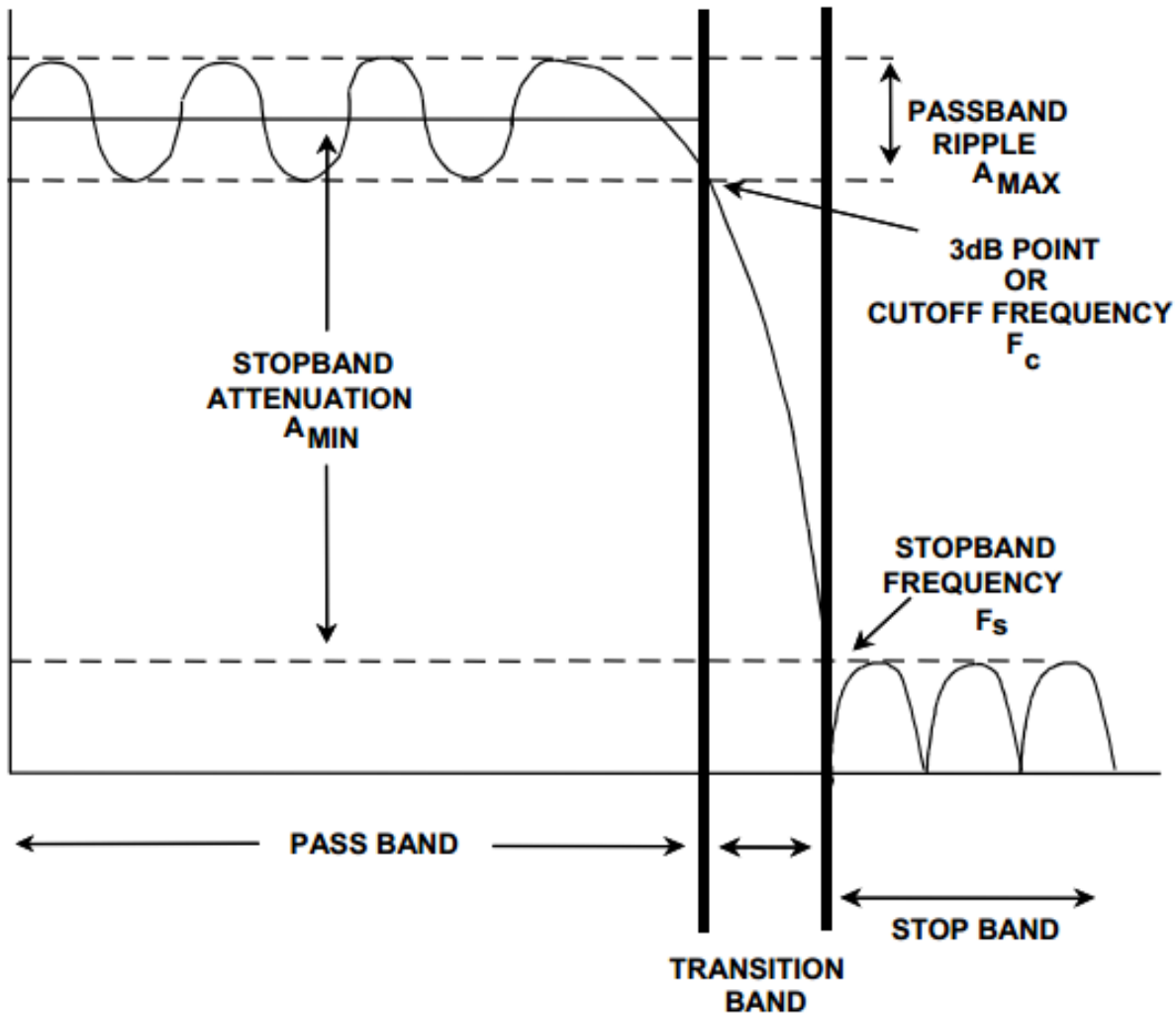
FILTER ANALOG

Pendahuluan

- Berdasarkan sifat penguatannya, filter bisa diklasifikasikan:
 - Filter aktif : bersifat menguatkan, ada catuan tegangan dari luar
 - **Komponen penyusunnya:** penguat, kapasitor dan resistor.
 - **Keuntungan:** ukuran yang lebih kecil, ringan, lebih murah dan lebih fleksibel dalam perancangannya.
 - **Kekurangan:** kebutuhan catu daya eksternal, lebih sensitif terhadap perubahan lingkungan, dan memiliki frekuensi kerja yang tidak terlalu tinggi (hanya sampai ratusan MHz).
 - Filter pasif : bersifat tidak menguatkan
 - **Komponen penyusunnya** : induktor, kapasitor dan resistor.
 - **Kelebihan:** dapat digunakan untuk frekuensi tinggi.
 - **Kekurangan:** dimensi lebih besar daripada Filter aktif

FILTER ANALOG

Pendahuluan



FILTER ANALOG

Langkah umum merancang Filter:



- Tentukan spesifikasi filter: penguatan, frekuensi cut-off, frekuensi stop band, ripple.
- Lakukan Normalisasi frekuensi, kemudian tentukan orde filter dengan bantuan kurva Redaman vs frekuensi ternormalisasi
- Tentukan prototype filter LPF dengan bantuan Tabel orde filter dan harga komponen
- Jika yang dirancang adalah filter HPF dan BPF/BSF Narrowband, lakukan konversi dari prototype LPF ke prototype HPF/BPF/BSF
- Lakukan denormalisasi untuk mendapatkan harga-harga komponen yang sebenarnya

FILTER ANALOG

Model Filter Ternormalisasi (prototype)

- Bertujuan memudahkan analisis dan perhitungan dalam merancang suatu filter
- Bila **LPF ternormalisasi** sudah dibuat, maka dapat dirancang LPF, HPF, BPF maupun BSF **riil** yaitu pada frekuensi yang sebenarnya dengan transformasi tertentu.
- Untuk mengaplikasikan prototype ternormalisasi pada suatu harga frekuensi tertentu (frekuensi sesungguhnya) diperlukan denormalisasi/penskalaan dengan aturan yang ditentukan, karenanya prototype LPF ternormalisasi ini dirancang saat frekuensi $\omega_C = 1$ rad/s.

RANGKAIAN RESONATOR



**LOW PASS
FILTER (LPF)**

FILTER ANALOG

LPF pasif Butterworth ternormalisasi – Respon Magnitude

- Respon magnituda kuadrat LPF Butterworth

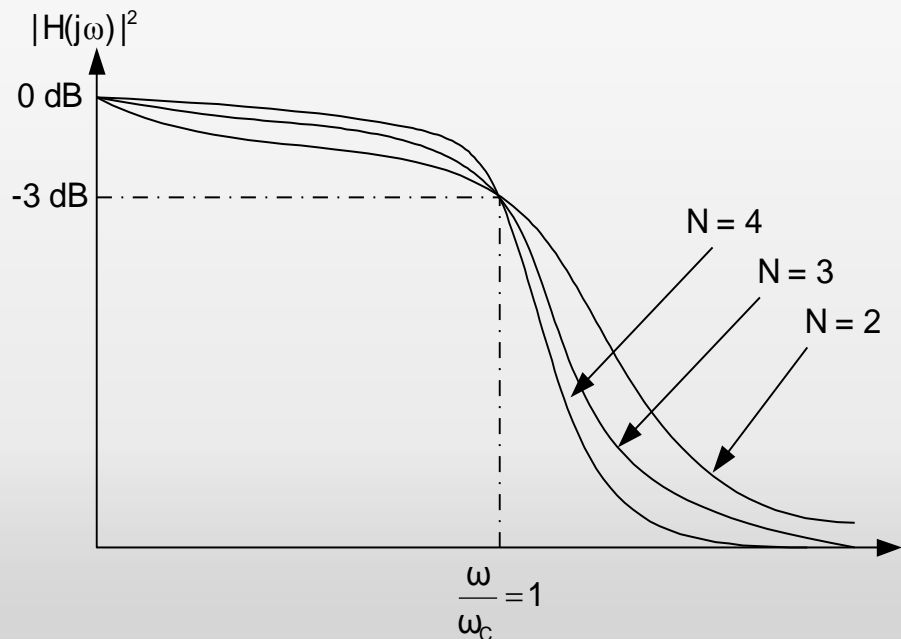
$$|H_N(j\omega)|^2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^{2N}} \Rightarrow \frac{\omega}{\omega_c} = \Omega$$

ω = frekuensi redaman yg diinginkan
 ω_c = frekuensi cutt off 3 dB.

Grafik respon LPF Butterworth

Filter ini memiliki orde N , (N Integer) dan jika N semakin besar maka respon filter mendekati respon filter ideal

Orde filter ini ditentukan oleh jumlah komponen penyimpan energi



FILTER ANALOG

LPF pasif Butterworth ternormalisasi – respon magnitude

- LPF Butterworth ini memiliki respon flat pada daerah passband maupun stopband.
- Dari Persamaan Filter tersebut, untuk mengetahui redaman perdekade (persepuluh kali) setelah frekuensi cut off, dilakukan pendekatan sebagai berikut:

$$|H_N(j\omega)|^2 = \frac{1}{1 + (10)^{2N}} \approx -20N \log(10) \text{ dB} = -20N \text{ dB/dec}$$

- Jadi setelah frekuensi cut off-nya, filter Butterworth ini memiliki respon meredam mendekati 20N dB/ dekade.

FILTER ANALOG

LPF pasif Butterworth ternormalisasi – redaman LPF Butterworth

Berikut ini adalah Redaman pada LPF Butterworth:

$$A_{dB} = 10 \log \left[1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^{2n} \right]$$

where

ω = the frequency at which the attenuation is desired,

ω_c = the cutoff frequency (ω_{3dB}) of the filter,

n = the number of elements in the filter.

FILTER ANALOG

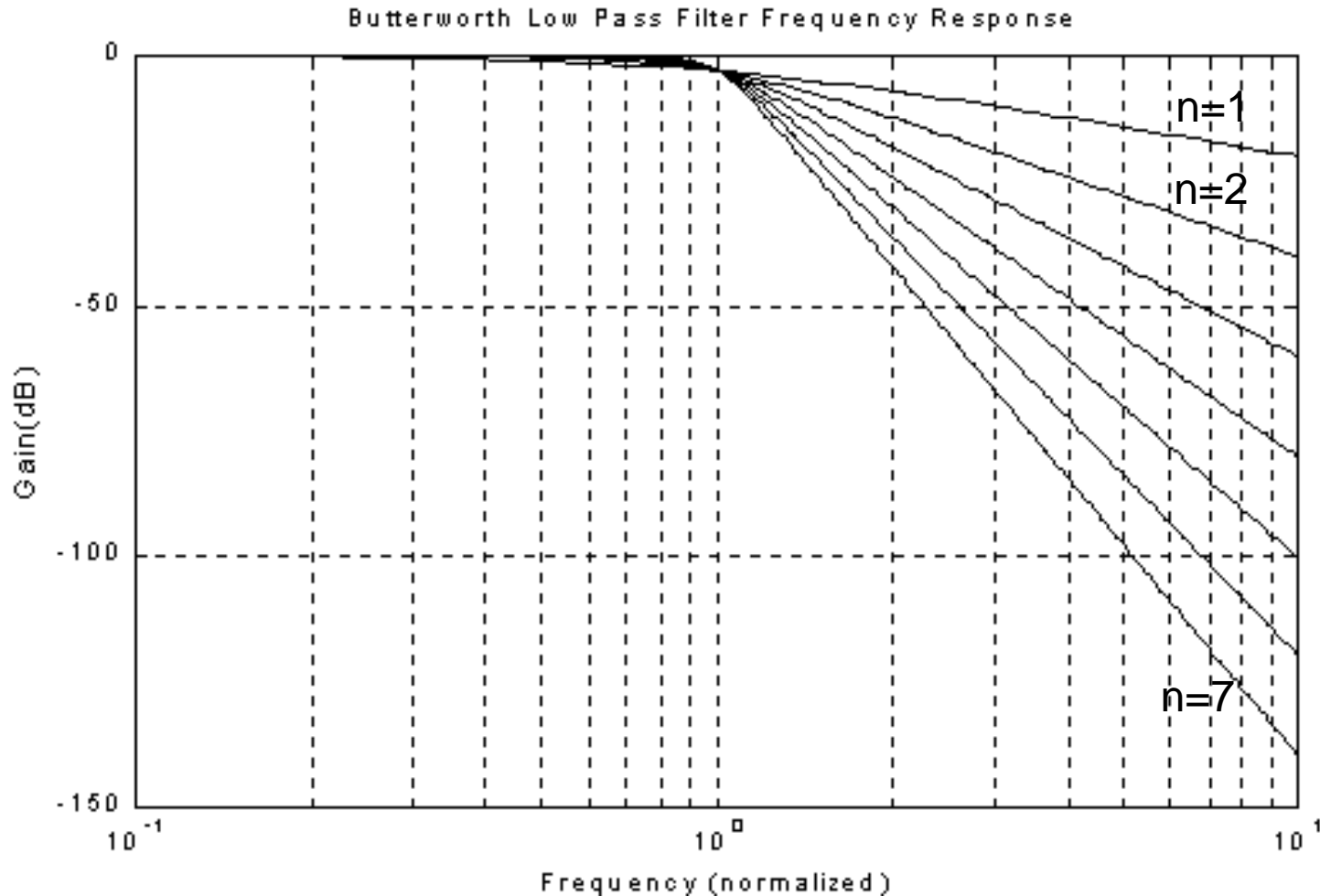
Urutan Perancangan LPF Butterworth

- Tentukan spesifikasi LPF butterworth yaitu spesifikasi resistansi sumber (R_S), resistansi beban (R_L), frekuensi cutoff (ω_C), frekuensi stop band (ω_S) dan redamannya (A_S), bila $\omega_C \neq 1$ rad/s
- Normalisasikan harga ω_C dan ω_S dgn referensi $\omega_C = 1$. Sesuaikan harga ω_C dan ω_S dengan melihat grafik respon frekuensi LPF Butterworth ternormalisasi.
- Pilih orde filter (N) yang sesuai dengan spesifikasi filter (orde filter diperoleh dengan bantuan kurva “penguatan vs frek ternormalisasi” dan lakukan pembulatan ke atas).
- Dengan harga N, tentukan rangkaian yang digunakan berdasarkan spesifikasi filter (R_S dan R_L) dengan cara melihat Tabel harga komponen LPF Butterworth ternormalisasi.
- Lakukan Denormalisasi

FILTER ANALOG

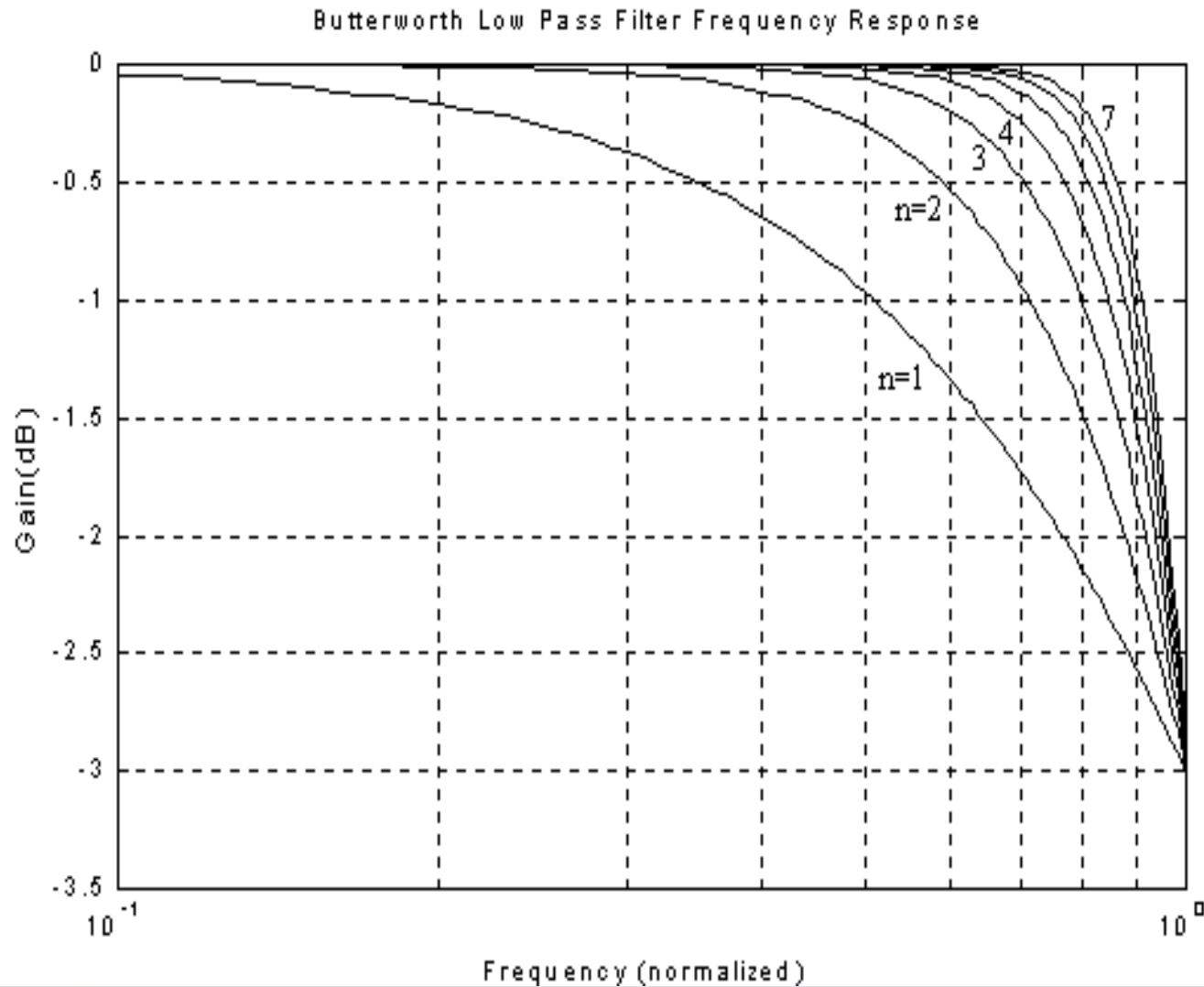
Kurva Penguatan Vs Frekuensi ternormalisasi – Menentukan Orde Filter

Berikut ini adalah respon frekuensi LPF Butterworth ternormalisasi yang disimulasikan menggunakan MATLAB



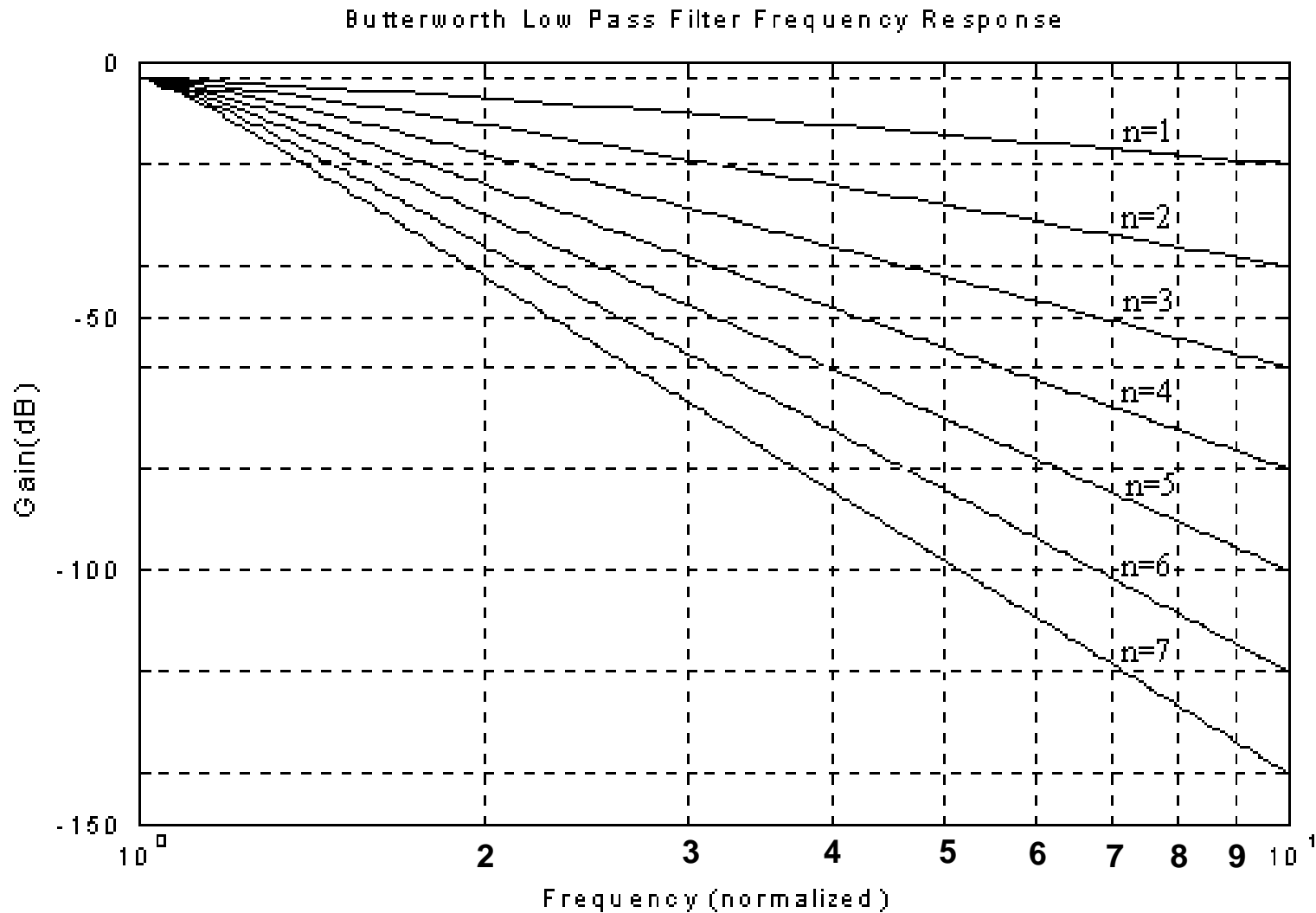
FILTER ANALOG

Kurva Penguatan Vs Frekuensi ternormalisasi – Menentukan Orde Filter



FILTER ANALOG

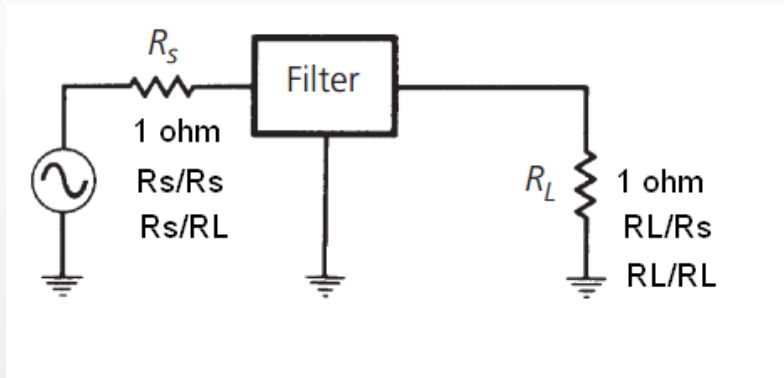
Kurva Penguatan Vs Frekuensi ternormalisasi – Menentukan Orde Filter



FILTER ANALOG

LPF pasif Butterworth ternormalisasi – harga komponen ternormalisasi

- Untuk menentukan komponen yang digunakan untuk LPF pasif butterworth ternormalisasi dan beroperasi antara terminasi (Sumber dan beban) yang sama sebesar 1 ohm, menggunakan persamaan:



$$A_k = 2 \sin \left[\frac{(2k-1)\pi}{2N} \right]$$

$$k = 1, 2, 3 \dots \dots N$$

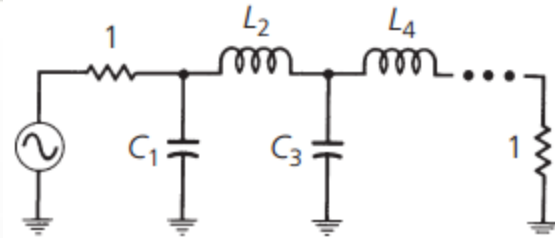
$$N = \text{Orde Filter (=n)}$$

$$A_k = \text{Besarnya komponen L dn C}$$

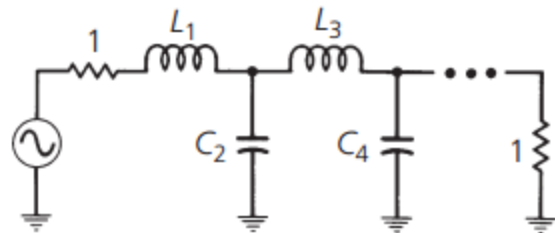
- Harganya dapat dilihat pada tabel berikut :

FILTER ANALOG

Tabel Komponen LPF Butterworth ternormalisasi ($R_S=R_L=1\Omega$)



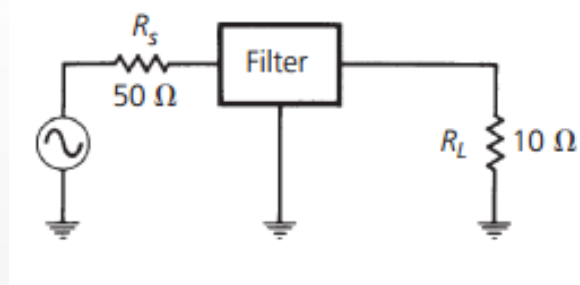
N	C_1	L_2	C_3	L_4	C_5	L_6	C_7
2	1.414	1.414					
3	1.000	2.000	1.000				
4	0.765	1.848	1.848	0.765			
5	0.618	1.618	2.000	1.618	0.618		
6	0.518	1.414	1.932	1.932	1.414	0.518	
7	0.445	1.247	1.802	2.000	1.802	1.247	0.445
N	L_1	C_2	L_3	C_4	L_5	C_6	L_7



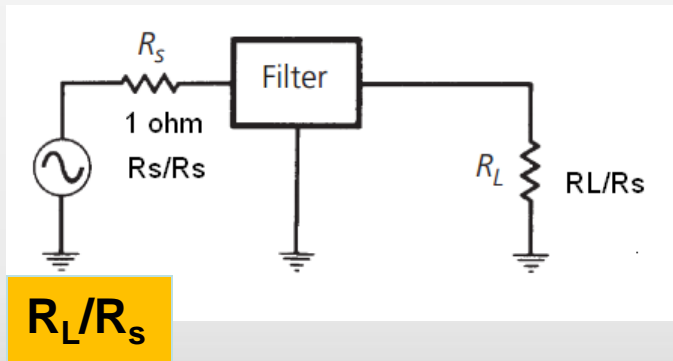
FILTER ANALOG

LPF pasif Butterworth ternormalisasi – harga komponen ternormalisasi

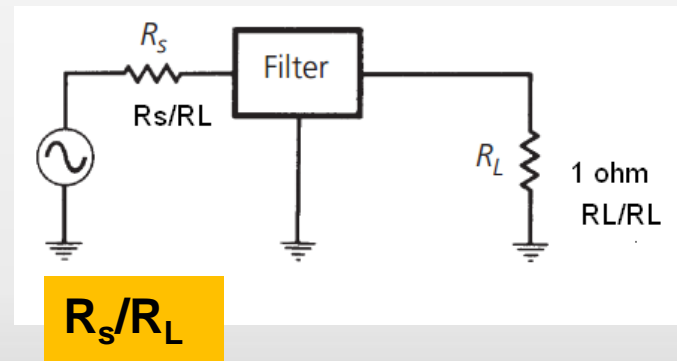
- Kadangkala, kita harus mendesain filter yang dioperasikan antara dua terminasi (sumber dan beban) yang tidak sama seperti dibawah ini :



- Maka kita bisa lakukan normalisasi untuk terminasi diatas



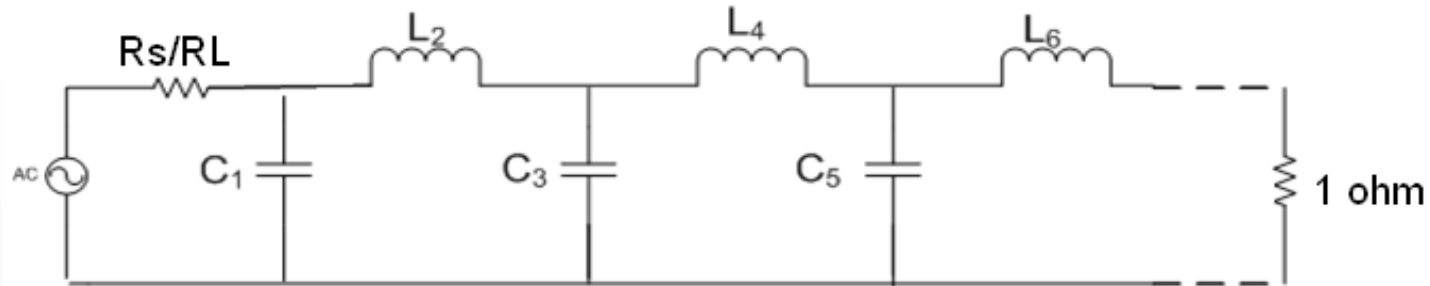
atau



- Harganya dapat dilihat pada tabel berikut :

FILTER ANALOG

Tabel harga komponen LPF Butterworth ternormalisasi ($R_s \neq R_L$):



N	R_s/R_L	C_1	L_2	C_3	L_4	C_5	L_6	C_7
2	1.111	1.035	1.835					
	1.25	0.849	2.121					
	1.429	0.697	2.439					
	1.667	0.566	2.828					
	2	0.448	3.346					
	2.5	0.342	4.095					
	3.333	0.245	5.313					
	5	0.156	7.707					
	10	0.074	14.814					
	∞	1.414	0.707					
3	0.9	0.808	1.633	1.599				
	0.8	0.844	1.384	1.926				
	0.7	0.915	1.165	2.277				
N	R_L/R_s	L_1	C_2	L_3	C_4	L_5	C_6	L_7

FILTER ANALOG

Tabel harga komponen LPF Butterworth ternormalisasi ($R_s \neq R_L$):

N	R_s/R_L	C_1	L_2	C_3	L_4	C_5	L_6	C_7
3	0.6	1.023	0.965	2.702				
	0.5	1.181	0.779	3.261				
	0.4	1.425	0.604	4.064				
	0.3	1.838	0.44	5.363				
	0.2	2.669	0.284	7.91				
	0.1	5.167	0.138	15.455				
	∞	1.5	1.333	0.5				
4	1.111	0.466	1.592	1.744	1.469			
	1.25	0.388	1.695	1.511	1.811			
	1.429	0.325	1.862	1.291	2.175			
	1.667	0.269	2.103	1.082	2.613			
	2	0.218	2.452	0.883	3.187			
	2.5	0.169	2.986	0.691	4.009			
	3.333	0.124	3.883	0.507	5.338			
	5	0.08	5.684	0.331	7.94			
	10	0.039	11.094	0.162	15.642			
	∞	1.531	1.577	1.082	0.383			
5	0.9	0.442	1.027	1.91	1.756	1.389		
	0.8	0.47	0.866	2.061	1.544	1.738		
	0.7	0.517	0.731	2.285	1.333	2.108		
N	R_L/R_s	L_1	C_2	L_3	C_4	L_5	C_6	L_7

FILTER ANALOG

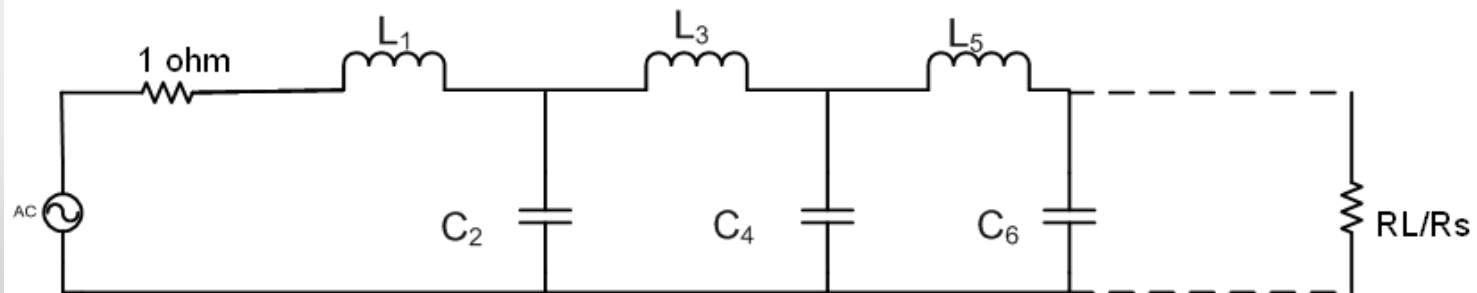
Tabel harga komponen LPF Butterworth ternormalisasi ($R_s \neq R_L$):

N	R_s/R_L	C_1	L_2	C_3	L_4	C_5	L_6	C_7
5	0.6	0.586	0.609	2.6	1.126	2.552		
	0.5	0.686	0.496	3.051	0.924	3.133		
	0.4	0.838	0.388	3.736	0.727	3.965		
	0.3	1.094	0.285	4.884	0.537	5.307		
	0.2	1.608	0.186	7.185	0.352	7.935		
	0.1	3.512	0.091	14.095	0.173	15.71		
	∞	1.545	1.694	1.382	0.894	0.309		
6	1.25	0.245	1.116	1.126	2.239	1.55	1.688	
	1.429	0.207	1.236	0.957	2.499	1.346	2.062	
	1.667	0.173	1.407	0.801	2.858	1.143	2.509	
	2	0.141	1.653	0.654	3.369	0.942	3.094	
	2.5	0.111	2.028	0.514	4.414	0.745	3.931	
	3.333	0.082	2.656	0.379	5.433	0.552	5.28	
	5	0.054	3.917	0.245	8.02	0.363	7.922	
	10	0.026	7.705	0.122	15.786	0.179	15.738	
∞	1.553	1.759	1.553	1.202	0.758	0.259		
N	R_L/R_s	L_1	C_2	L_3	C_4	L_5	C_6	L_7

FILTER ANALOG

Tabel harga komponen LPF Butterworth ternormalisasi ($R_s \neq R_L$):

N	R_s/R_L	C_1	L_2	C_3	L_4	C_5	L_6	C_7
7	0.9	0.299	0.711	1.404	1.489	2.125	1.727	1.296
	0.8	0.322	0.606	1.517	1.278	2.334	1.546	1.652
	0.7	0.357	0.515	1.688	1.091	2.618	1.35	2.028
	0.6	0.408	0.432	1.928	0.917	3.005	1.15	2.477
	0.5	0.48	0.354	2.273	0.751	3.553	0.951	3.064
	0.4	0.59	0.278	2.795	0.592	4.38	0.754	3.904
	0.3	0.775	0.206	3.671	0.437	5.761	0.56	5.258
	0.2	1.145	0.135	5.427	0.287	8.526	0.369	7.908
	0.1	2.257	0.067	10.7	0.142	16.822	0.182	15.748
	∞	1.558	1.799	1.659	1.397	1.055	0.656	0.223
N	R_L/R_s	L_1	C_2	L_3	C_4	L_5	C_6	L_7



FILTER ANALOG

LPF pasif Butterworth ternormalisasi – harga komponen ternormalisasi

EXAMPLE 3-2

Find the low-pass prototype value for an $n = 4$ Butterworth filter with unequal terminations: $R_S = 50$ ohms, $R_L = 100$ ohms.

Solution

Normalizing the two terminations for $R_L = 1$ ohm will yield a value of $R_S = 0.5$. Reading down from the top of Table 3-2, for an $n = 4$ low-pass prototype value, we see that there is no $R_S/R_L = 0.5$ ratio listed. Our second choice, then, is to take the value of $R_L/R_S = 2$, and read up from the bottom of the table while using the schematic below the table as the form for the low-pass prototype values. This approach results in the low-pass prototype circuit of Fig. 3-13.

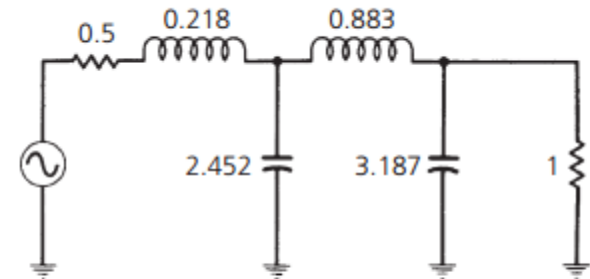


FIG. 3-13. Low-pass prototype circuit for Example 3-2.

FILTER ANALOG

Penskalaan Impedansi dan Frekuensi (Denormalisasi)

- Nilai komponen, L_n dan C_n pada rangkaian LPF ternormalisasi (dari tabel yang tersedia) adalah harga komponen saat frekuensi sudut $\omega_c = 1$ rad/s, sehingga diperlukan proses denormalisasi kembali agar sesuai dengan spesifikasi (besarnya komponen riil)



Nilai Komponen Realnya

$$C = \frac{C_n}{2\pi f_c R}$$

$$L = \frac{RL_n}{2\pi f_c}$$

where

C = the final capacitor value,

L = the final inductor value,

C_n = a low-pass prototype element value,

L_n = a low-pass prototype element value,

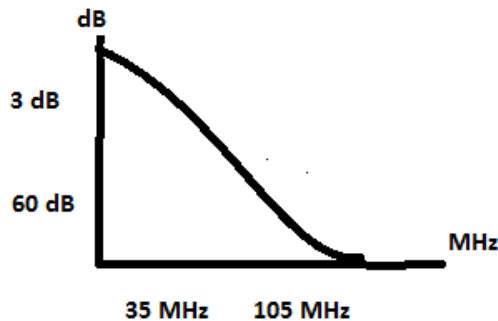
R = the final load resistor value,

f_c = the final cutoff frequency.

FILTER ANALOG

LPF pasif Butterworth – contoh soal

Desainlah sebuah filter LPF dengan $f_c = 35$ MHz dan pada frekuensi 105 MHz mengalami redaman sebesar 60 dB. Tidak ada ripple di pass band. ($R_s = 50$ ohm dan $R_L = 500$ ohm)



LPF prototype/ ternormalisasi

$$R_s/R_L = 50/500 = 0.1 \text{ dan } R_L/R_s = 500/50 = 10$$
$$F_L / F_C = 105 \text{ MHz}/35 \text{ MHz} = 3$$

Menentukan orde filter

menentukan orde dengan memperhatikan **kurva redaman vs kurva frekuensi ternormalisasi**. (60 dB vs 3). Dan diperoleh $N = 7$

Menentukan Harga Komponen ternormalisasi

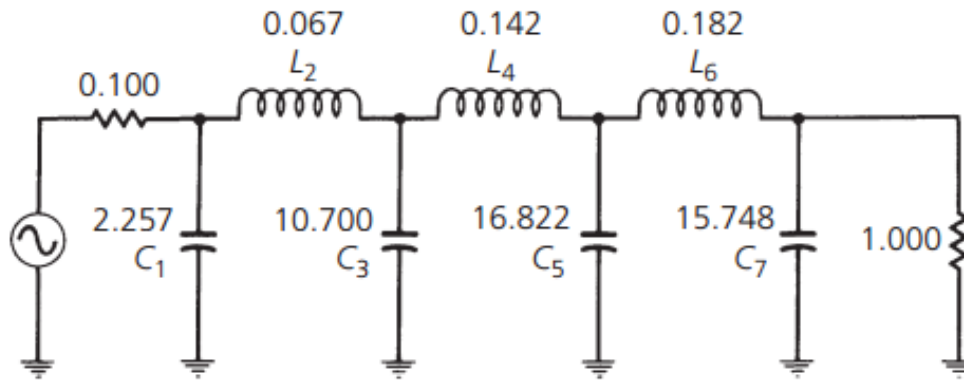
Selanjutnya **menentukan nilai L dan C ternormalisasi** dengan melihat tabel *prototype element value* . (gunakan nilai R_s/R_L atau R_L/R_s) tergantung angka yang tersedia di tabel.

Diperoleh nilai :

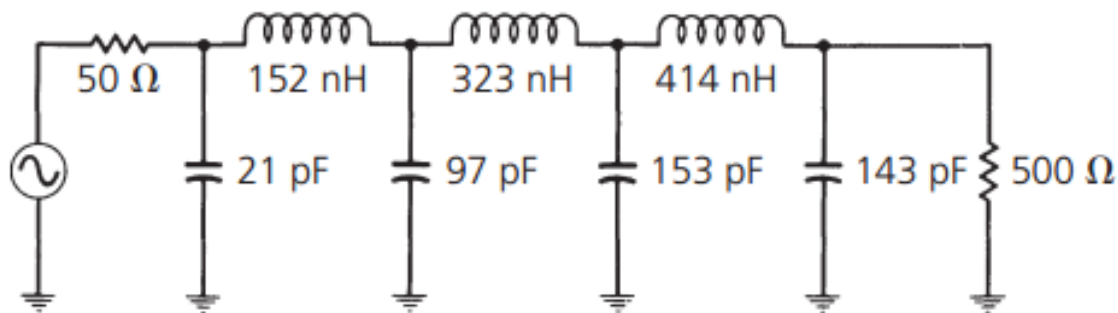
$C1 = 2.257$	$C5 = 16.822$
$L2 = 0.067$	$L6 = 0.182$
$C3 = 10.700$	$C7 = 15.748$
$L4 = 0.142$	

FILTER ANALOG

LPF pasif Butterworth – contoh soal



Lakukan Denormalisasi untuk menentukan Harga Komponen sebenarnya



$$C_1 = \frac{2.257}{2\pi(35 \times 10^6)500} = 21 \text{ pF}$$

$$L_2 = \frac{(500)(0.067)}{2\pi(35 \times 10^6)} = 152 \text{ nH}$$

$$C_3 = 97 \text{ pF,}$$

$$C_5 = 153 \text{ pF,}$$

$$C_7 = 143 \text{ pF,}$$

$$L_4 = 323 \text{ nH,}$$

$$L_6 = 414 \text{ nH,}$$

$$R_S = 50 \text{ ohms,}$$

$$R_L = 500 \text{ ohms.}$$

FILTER ANALOG

LPF pasif Butterworth ternormalisasi

- **Latihan soal:**

Rancanglah suatu filter LPF Butterworth dengan frekuensi cut off 50 MHz, dan filter harus meredam sebesar 50 dB pada 150 MHz, untuk besar hambatan sumber dan beban sebagai berikut:

1. $R_s = R_l = 1 \text{ ohm}$
2. $R_s = 100 \text{ ohm}, R_l = 50 \text{ ohm}$
3. $R_s = 50 \text{ ohm}, R_l = 100 \text{ ohm}$

FILTER ANALOG

LPF pasif Chebyshev ternormalisasi

- Filter ini cocok digunakan bila diinginkan slope yang tajam dan diperbolehkan ripple di passband atau di stopband
- LPF Chebychev ini memiliki respon yang memiliki ripple (disebut *equiripple* pada daerah passband atau daerah stopband)

FILTER ANALOG

Respon magnituda kuadrat LPF Chebychev terhadap frekuensi

$$\left| H_N(j\omega) \right|^2 = \frac{1}{1 + \varepsilon^2 \left[T_N \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right) \right]^2}$$

$T_N \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)$ disebut polinomial Chebyshev yaitu untuk:

$$T_N \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right) = 2 \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right) T_{N-1} \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right) - T_{N-2} \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)$$

$$T_0 \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right) = 1$$

$$T_1 \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right) = \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)$$

FILTER ANALOG

Tujuh polinomial Chebychev pertama

n	Chebyshev Polynomial
1	$\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)$
2	$2\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2 - 1$
3	$4\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^3 - 3\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)$
4	$8\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^4 - 8\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2 + 1$
5	$16\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^5 - 20\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^3 + 5\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)$
6	$32\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^6 - 48\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^4 + 18\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2 - 1$
7	$64\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^7 - 112\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^5 + 58\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^3 - 7\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)$

FILTER ANALOG

LPF pasif Chebyshev ternormalisasi

Redaman Untuk Filter Chebyshev

$$A_{dB} = 10 \log \left[1 + \varepsilon^2 C_n^2 \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)' \right]$$

$$\varepsilon = \sqrt{10^{R_{dB}/10} - 1}$$

$$\left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)' = \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right) \cosh B$$

$$B = \frac{1}{n} \cosh^{-1} \left(\frac{1}{\varepsilon} \right)$$

where

$C_n^2 \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)'$ is the Chebyshev polynomial to the order n evaluated

at $\left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)'$.

R_{dB} is the passband ripple in decibels.

n = the order of the filter,

ε = the parameter defined in Equation 3-8,

\cosh^{-1} = the inverse hyperbolic cosine of the quantity in parentheses.

FILTER ANALOG

LPF pasif Chebyshev ternormalisasi

EXAMPLE 3-3

Find the attenuation of a 4-element, 2.5-dB ripple, low-pass Chebyshev filter at $\omega/\omega_c = 2.5$.

Solution

First evaluate the parameter:

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \sqrt{10^{2.5/10} - 1} \\ &= 0.882\end{aligned}$$

Next, find B .

$$\begin{aligned}B &= \frac{1}{4} \left[\cosh^{-1} \left(\frac{1}{0.882} \right) \right] \\ &= 0.1279\end{aligned}$$

Then, $(\omega/\omega_c)'$ is:

$$\begin{aligned}\left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)' &= 2.5 \cosh 0.1279 \\ &= 2.5204\end{aligned}$$

Finally, we evaluate the fourth order ($n = 4$) Chebyshev polynomial at $(\omega/\omega_c)' = 2.52$.

$$\begin{aligned}C_n^2 \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)' &= 8 \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)'^4 - 8 \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)'^2 + 1 \\ &= 8(2.5204)^4 - 8(2.5204)^2 + 1 \\ &= 273.05\end{aligned}$$

We can now evaluate the final equation.

$$\begin{aligned}A_{\text{dB}} &= 10 \log_{10} \left[1 + \varepsilon^2 C_n^2 \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)' \right] \\ &= 10 \log_{10} [1 + (0.882)^2 (273.05)^2] \\ &= 47.63 \text{ dB}\end{aligned}$$

Thus, at an ω/ω_c of 2.5, you can expect 47.63 dB of attenuation for this filter.

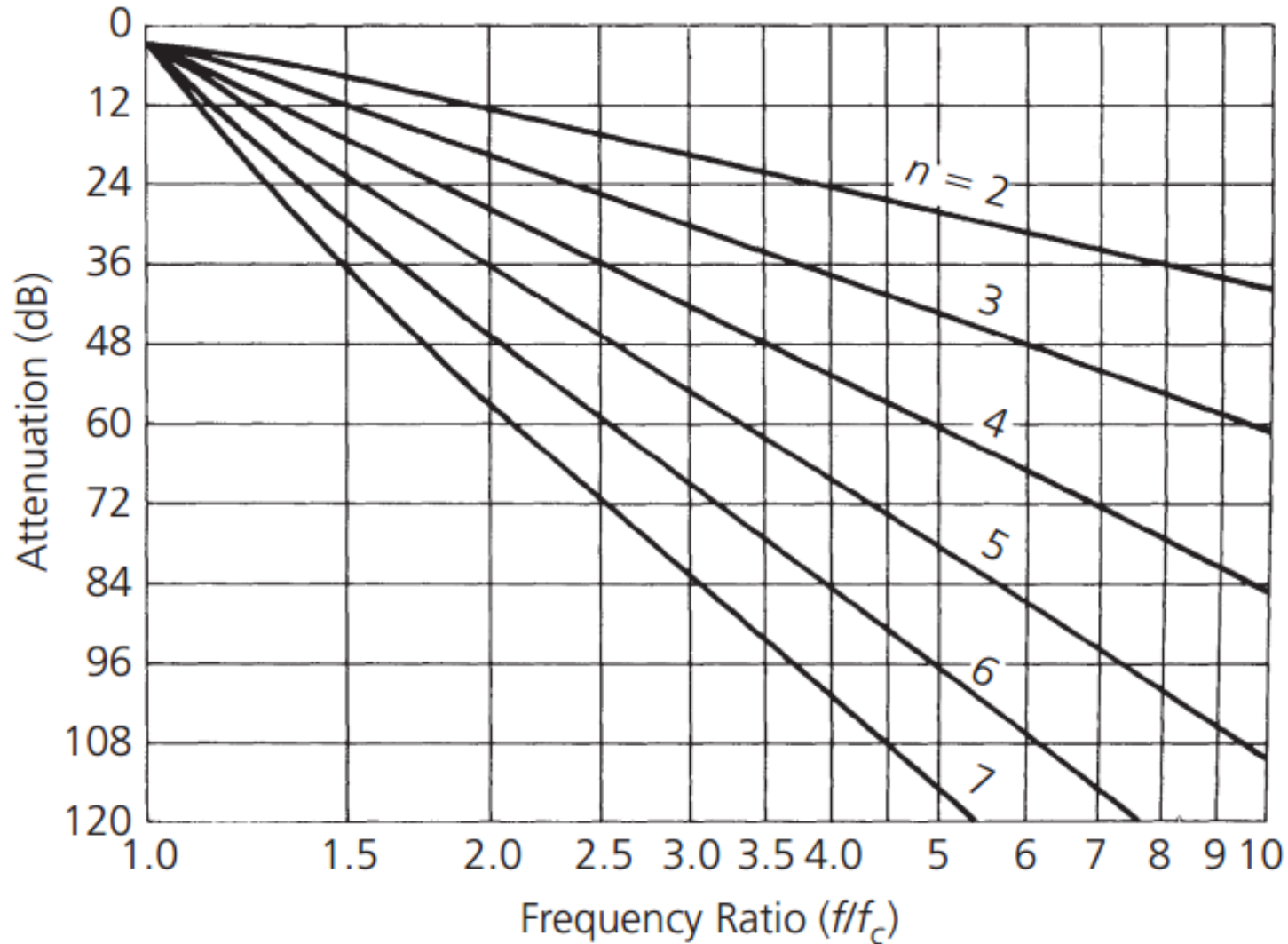
FILTER ANALOG

Urutan perancangan LPF Chebychev :

1. Berdasarkan spesifikasi LPF yang diberikan, yaitu spesifikasi resistansi sumber (R_s), resistansi beban (R_L), ripple yang diperbolehkan (dB), frekuensi cut-off (ω_c), frekuensi stop band (ω_s) dan redamannya (A_s), bila $\omega_c \neq 1$ rad/s maka normalisasikan harga ω_c dan ω_s dengan referensi $\omega_c = 1$
2. Setelah dinormalisasikan, sesuaikan harga ω_c dan ω_s dengan melihat grafik respon frekuensi LPF Chebychev ternormalisasi.
3. Pilih orde filter (N) yang sesuai dengan spesifikasi filter (orde filter diperoleh dengan pembulatan ke atas)
4. Dengan harga N, tentukan rangkaian yang digunakan berdasarkan spesifikasi filter dengan cara melihat Tabel harga komponen LPF Chebychev ternormalisasi
5. Lakukan denormalisasi

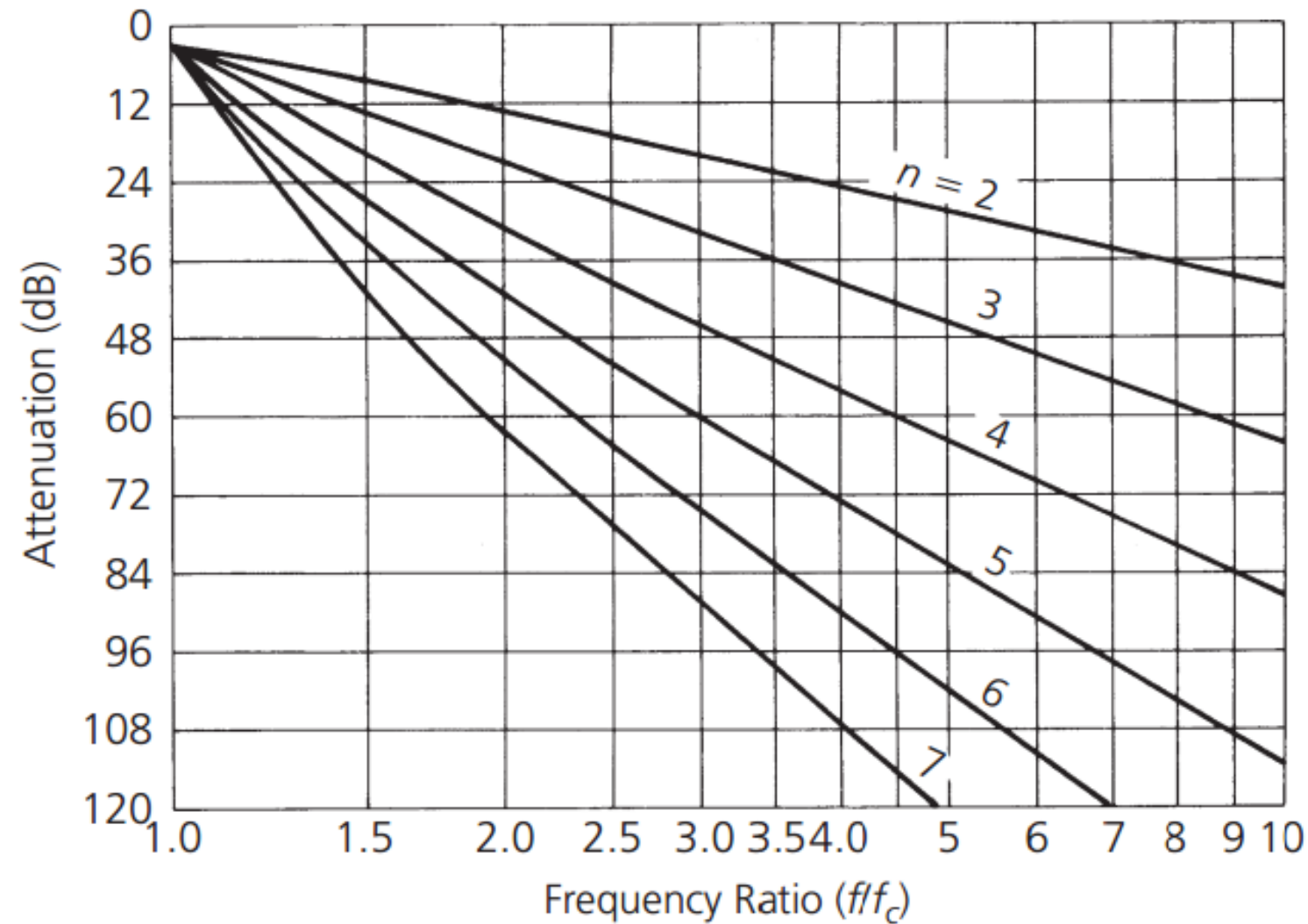
FILTER ANALOG

Grafik respon frekuensi LPF Chebychev ternormalisasi. (Ripple = 0,01 dB)



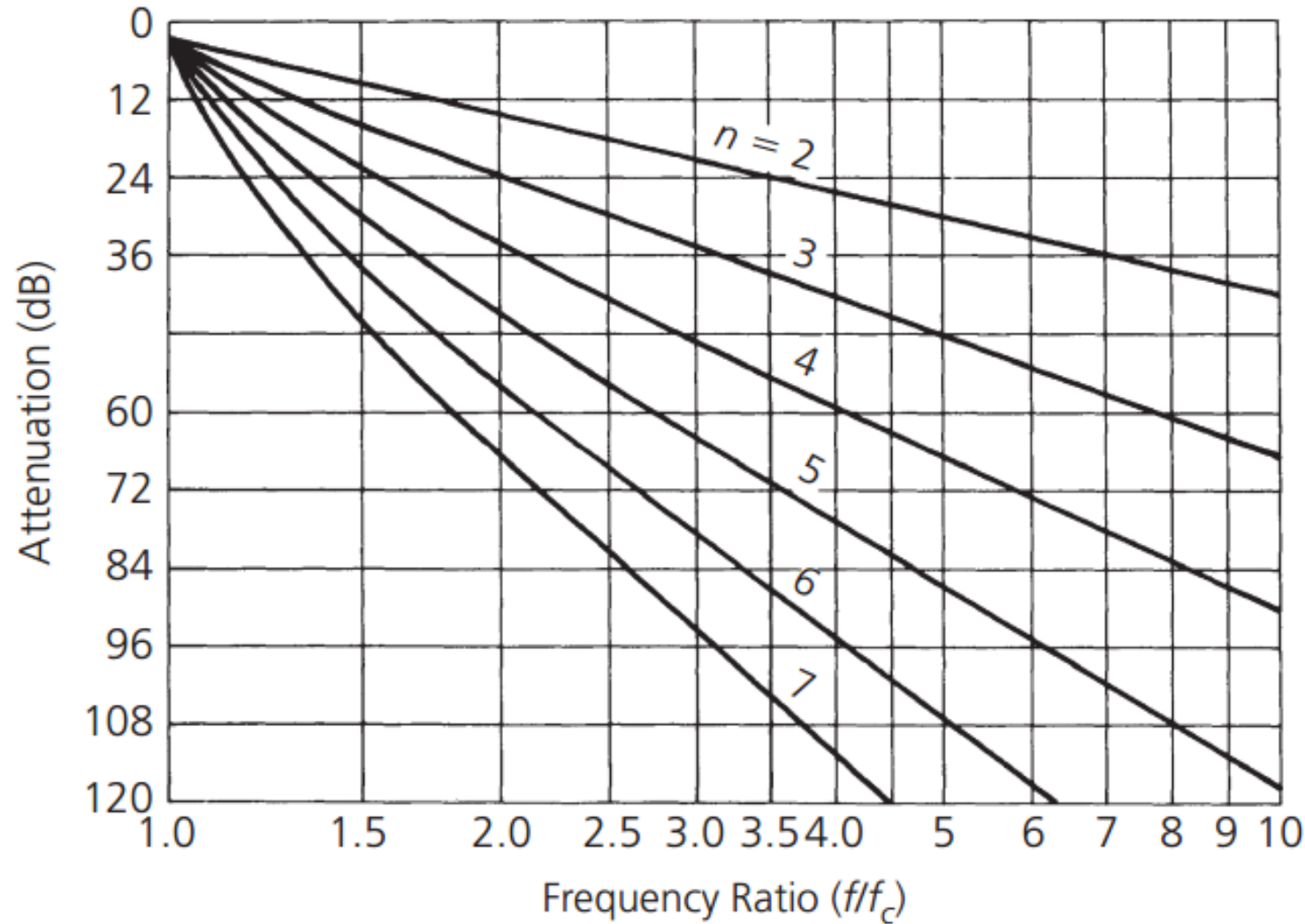
FILTER ANALOG

Grafik respon frekuensi LPF Chebychev ternormalisasi. (Ripple = 0,1 dB)



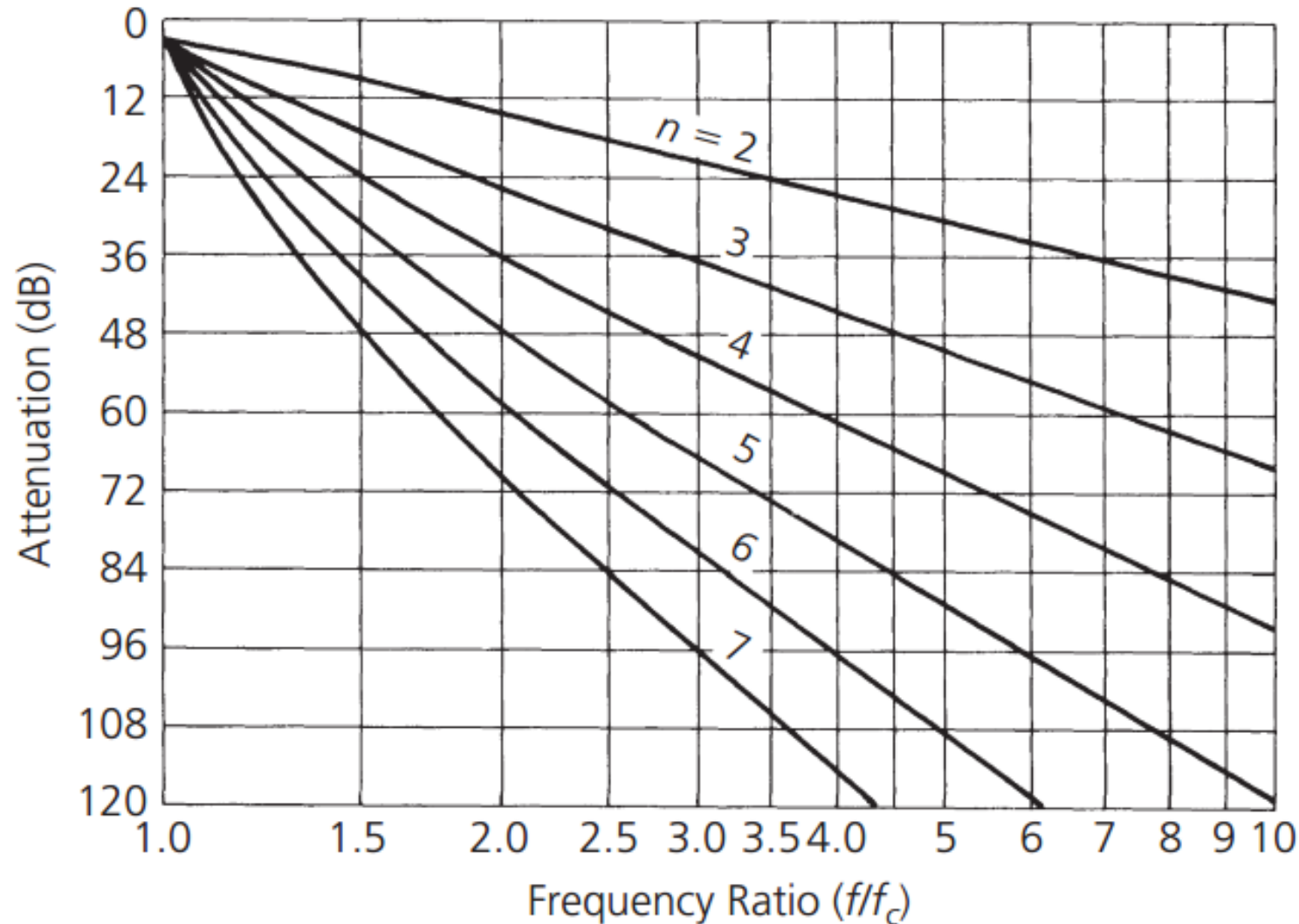
FILTER ANALOG

Grafik respon frekuensi LPF Chebychev ternormalisasi. (Ripple = 05 dB)



FILTER ANALOG

Grafik respon frekuensi LPF Chebychev ternormalisasi. (Ripple = 1 dB)

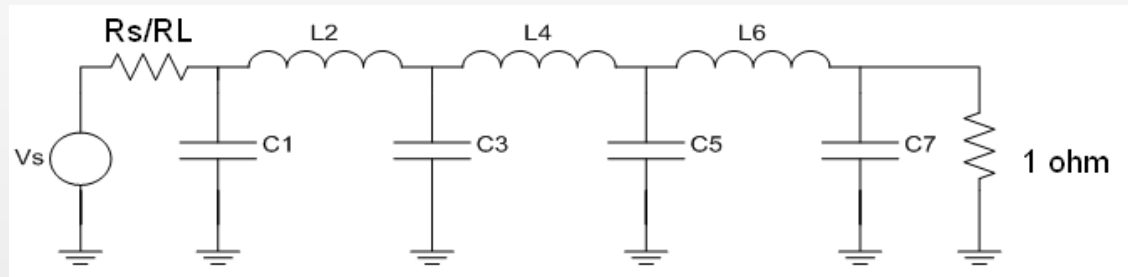


FILTER ANALOG

LPF pasif Chebychev ternormalisasi – harga komponen ternormalisasi

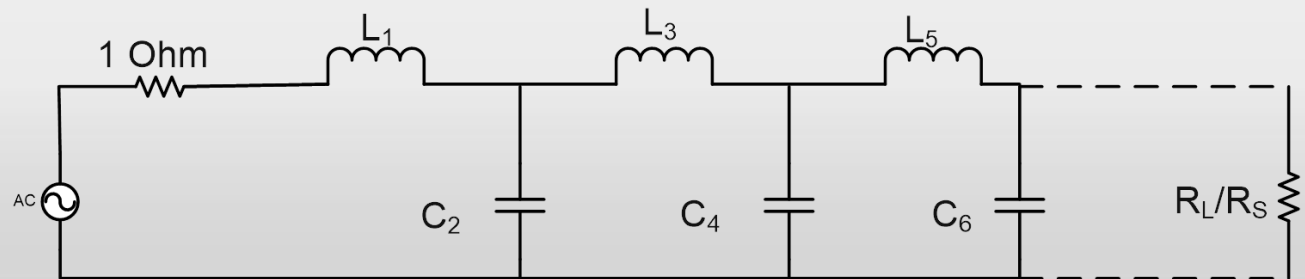
- Harga Komponen ternormalisasi dapat dilihat pada [Tabel harga komponen LPF Chebychev ternormalisasi](#)
- Tabel ini tersedia untuk masing-masing nilai ripple
- Cara pembacaan tabel seperti pada tabel harga komponen LPF Butterworth ternormalisasi, yaitu dengan 2 alternatif rangkaian

$$\frac{R_S}{R_L} \Rightarrow$$



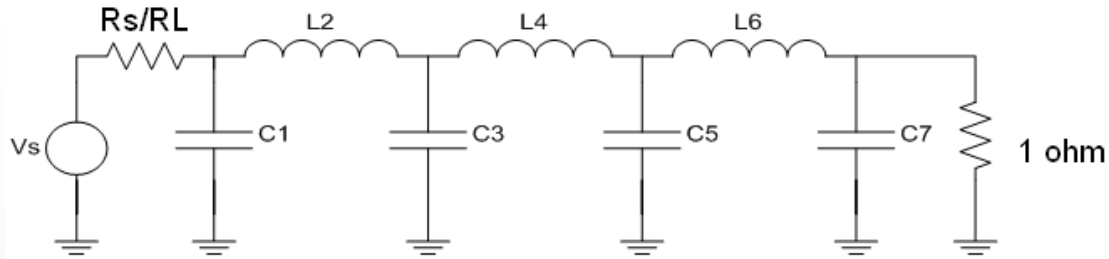
atau

$$\frac{R_L}{R_S} \Rightarrow$$



FILTER ANALOG

Tabel harga komponen LPF Chebychev ternormalisasi (ripple 0,01 dB)



N	Rs/RL	C ₁	L ₂	C ₃	L ₄	C ₅	L ₆	C ₇
2	1.101	1.347	1.483					
	1.111	1.247	1.595					
	1.25	0.943	1.997					
	1.429	0.759	2.344					
	1.667	0.609	2.75					
	2	0.479	3.277					
	2.5	0.383	4.033					
	3.333	0.259	5.255					
	5	0.164	7.65					
	10	0.078	14.749					
	∞	1.412	0.742					

FILTER ANALOG

Tabel harga komponen LPF Chebychev ternormalisasi (ripple 0,01 dB)

N	Rs/Rl	C ₁	L ₂	C ₃	L ₄	C ₅	L ₆	C ₇
3	1	1.181	1.821	1.181				
	0.9	1.092	1.66	1.48				
	0.8	1.097	1.443	1.806				
	0.7	1.16	1.228	2.165				
	0.6	1.274	1.024	2.598				
	0.5	1.452	0.829	3.164				
	0.4	1.734	0.645	3.974				
	0.3	2.216	0.47	5.28				
	0.2	3.193	0.305	7.834				
	0.1	6.141	0.148	15.39				
	∞	1.501	1.433	0.591				
N	Rl/ Rs	L ₁	C ₂	L ₃	C ₄	L ₅	C ₆	L ₇

FILTER ANALOG

Tabel harga komponen LPF Chebychev ternormalisasi (ripple 0,01 dB)

N	Rs/Rl	C ₁	L ₂	C ₃	L ₄	C ₅	L ₆	C ₇
4	1	0.95	1.938	1.761	1.046			
	1.111	0.854	1.946	1.744	1.165			
	1.25	0.618	2.075	1.542	1.617			
	1.429	0.495	2.279	1.334	2.008			
	1.667	0.398	2.571	1.128	2.461			
	2	0.316	2.994	0.926	3.045			
	2.5	0.242	3.641	0.729	3.875			
	3.333	0.174	4.727	0.538	5.209			
	5	0.112	6.91	0.352	7.813			
	10	0.054	13.469	0.173	15.51			
	∞	1.529	1.691	1.312	0.523			
N	Rl/Rs	L ₁	C ₂	L ₃	C ₄	L ₅	C ₆	L ₇

FILTER ANALOG

Tabel harga komponen LPF Chebychev ternormalisasi (ripple 0,01 dB)

N	Rs/Rl	C ₁	L ₂	C ₃	L ₄	C ₅	L ₆	C ₇
5	1	0.977	1.685	2.037	1.685	0.977		
	0.9	0.88	1.456	2.174	1.641	1.274		
	0.8	0.877	1.235	2.379	1.499	1.607		
	0.7	0.926	1.04	2.658	1.323	1.977		
	0.6	1.019	0.883	3.041	1.135	2.424		
	0.5	1.166	0.699	3.584	0.942	3.009		
	0.4	1.398	0.544	4.403	0.749	3.845		
	0.3	1.797	0.398	5.772	0.557	5.193		
	0.2	2.604	0.259	8.514	0.368	7.826		
	0.1	5.041	0.127	16.741	0.182	15.613		
	∞	1.547	1.795	1.645	1.237	0.488		
N	Rl/ Rs	L ₁	C ₂	L ₃	C ₄	L ₅	C ₆	L ₇

FILTER ANALOG

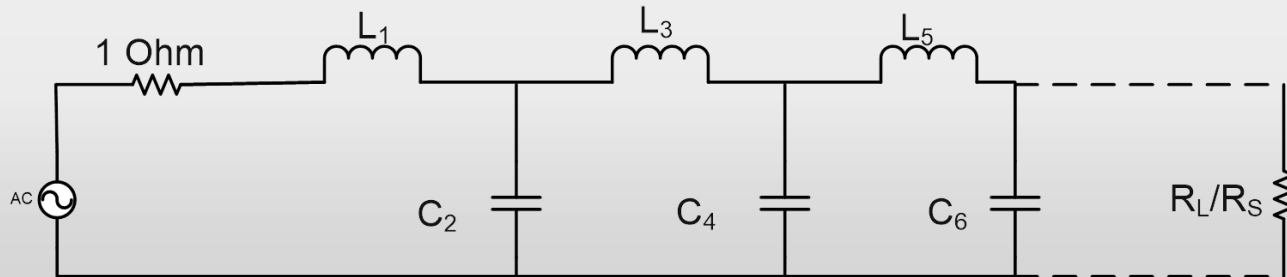
Tabel harga komponen LPF Chebychev ternormalisasi (ripple 0,01 dB)

N	Rs/Rl	C ₁	L ₂	C ₃	L ₄	C ₅	L ₆	C ₇
6	1.101	0.851	1.796	1.841	2.027	1.631	0.937	
	1.111	0.76	1.782	1.775	2.094	1.638	1.053	
	1.25	0.545	1.864	1.489	2.403	1.507	1.504	
	1.429	0.436	2.038	1.266	2.735	1.332	1.899	
	1.667	0.351	2.298	1.061	3.167	1.145	2.357	
	2	0.279	2.678	0.867	3.768	0.954	2.948	
	2.5	0.214	3.261	0.682	4.667	0.761	3.79	
	3.333	0.155	4.245	0.503	6.163	0.568	5.143	
	5	0.1	6.223	0.33	9.151	0.376	7.785	
	10	0.048	12.171	0.162	18.105	0.187	15.595	
	∞	1.551	1.847	1.79	1.598	1.19	0.469	
N	Rl/ Rs	L ₁	C ₂	L ₃	C ₄	L ₅	C ₆	L ₇

FILTER ANALOG

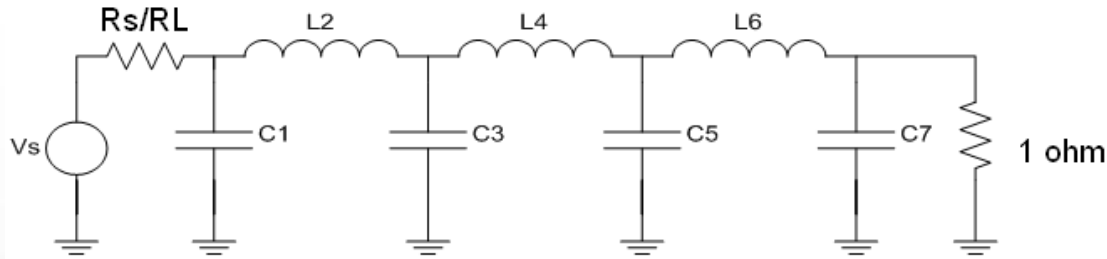
Tabel harga komponen LPF Chebychev ternormalisasi (ripple 0,01 dB)

7	1	0.913	1.595	2.002	1.87	2.002	1.595	0.913
	0.9	0.816	1.362	2.089	1.722	2.202	1.581	1.206
	0.8	0.811	1.15	2.262	1.525	2.465	1.464	1.538
	0.7	0.857	0.967	2.516	1.323	2.802	1.307	1.91
	0.6	0.943	0.803	2.872	1.124	3.25	1.131	2.359
	0.5	1.08	0.65	3.382	0.928	3.875	0.947	2.948
	0.4	1.297	0.507	4.156	0.735	4.812	0.758	3.79
	0.3	1.669	0.372	5.454	0.546	6.37	0.568	5.148
	0.2	2.242	0.242	8.057	0.36	9.484	0.378	7.802
	0.1	4.701	0.119	15.872	0.178	18.818	0.188	15.652
	∞	1.559	1.867	1.866	1.765	1.563	1.161	0.456
N	RI/ Rs	L_1	C_2	L_3	C_4	L_5	C_6	L_7



FILTER ANALOG

Tabel harga komponen LPF Chebychev ternormalisasi (ripple 0,1 dB)



n	R_s/R_L	C_1	L_2	C_3	L_4
2	1.355	1.209	1.638		
	1.429	0.977	1.982		
	1.667	0.733	2.489		
	2.000	0.560	3.054		
	2.500	0.417	3.827		
	3.333	0.293	5.050		
	5.000	0.184	7.426		
	10.000	0.087	14.433		
	∞	1.391	0.819		
3	1.000	1.433	1.594	1.433	
	0.900	1.426	1.494	1.622	
	0.800	1.451	1.356	1.871	
	0.700	1.521	1.193	2.190	
	0.600	1.648	1.017	2.603	
	0.500	1.853	0.838	3.159	
	0.400	2.186	0.660	3.968	
	0.300	2.763	0.486	5.279	
	0.200	3.942	0.317	7.850	
	1.100	7.512	0.155	15.466	
	∞	1.513	1.510	0.716	

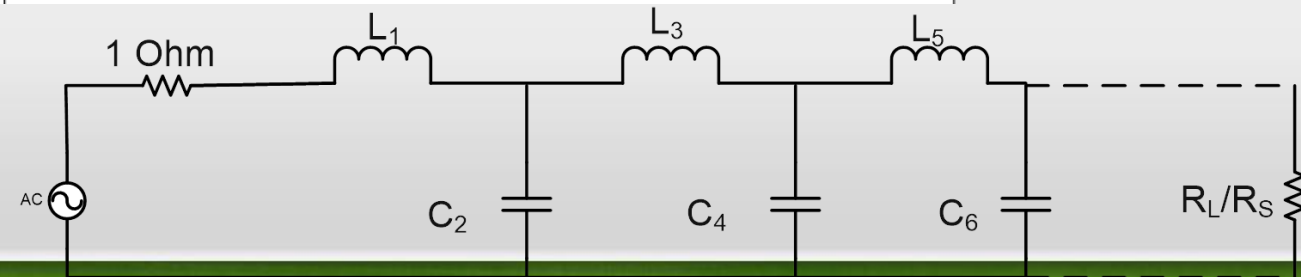
4	1.355	0.992	2.148	1.585	1.341
	1.429	0.779	2.348	1.429	1.700
	1.667	0.576	2.730	1.185	2.243
	2.000	0.440	3.227	0.967	2.856
	2.500	0.329	3.961	0.760	3.698
	3.333	0.233	5.178	0.560	5.030
	5.000	0.148	7.607	0.367	7.614
	10.000	0.070	14.887	0.180	15.230
	∞	1.511	1.768	1.455	0.673

5	1.000	1.301	1.556	2.241	1.556	1.301		
	0.900	1.285	1.433	2.380	1.488	1.488		
	0.800	1.300	1.282	2.582	1.382	1.738		
	0.700	1.358	1.117	2.868	1.244	2.062		
	0.600	1.470	0.947	3.269	1.085	2.484		
	0.500	1.654	0.778	3.845	0.913	3.055		
	0.400	1.954	0.612	4.720	0.733	3.886		
	0.300	2.477	0.451	6.196	0.550	5.237		
	0.200	3.546	0.295	9.127	0.366	7.889		
	0.100	6.787	0.115	17.957	0.182	15.745		
	∞	1.561	1.807	1.766	1.417	0.651		

FILTER ANALOG

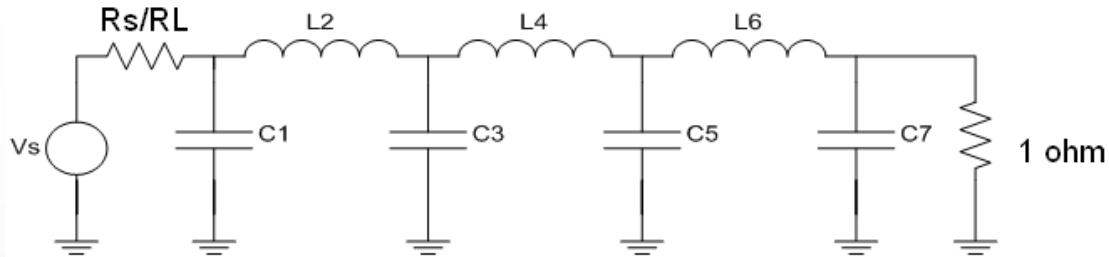
Tabel harga komponen LPF Chebychev ternormalisasi (ripple 0,1 dB)

6	1.355	0.942	2.080	1.659	2.247	1.534	1.277	
	1.429	0.735	2.249	1.454	2.544	1.405	1.629	
	1.667	0.542	2.600	1.183	3.064	1.185	2.174	
	2.000	0.414	3.068	0.958	3.712	0.979	2.794	
	2.500	0.310	3.765	0.749	4.651	0.778	3.645	
	3.333	0.220	4.927	0.551	6.195	0.580	4.996	
	5.000	0.139	7.250	0.361	9.261	0.384	7.618	
	10.000	0.067	14.220	0.178	18.427	0.190	15.350	
∞	1.534	1.884	1.831	1.749	1.394	0.638		
7	1.000	1.262	1.520	2.239	1.680	2.239	1.520	1.262
	0.900	1.242	1.395	2.361	1.578	2.397	1.459	1.447
	0.800	1.255	1.245	2.548	1.443	2.624	1.362	1.697
	0.700	1.310	1.083	2.819	1.283	2.942	1.233	2.021
	0.600	1.417	0.917	3.205	1.209	3.384	1.081	2.444
	0.500	1.595	0.753	3.764	0.928	4.015	0.914	3.018
	0.400	1.885	0.593	4.618	0.742	4.970	0.738	3.855
	0.300	2.392	0.437	6.054	0.556	6.569	0.557	5.217
	0.200	3.428	0.286	8.937	0.369	9.770	0.372	7.890
	0.100	6.570	0.141	17.603	0.184	19.376	0.186	15.813
	∞	1.575	1.858	1.921	1.827	1.734	1.379	0.631
	<i>n</i>	R_L/R_S	L_1	C_2	L_3	C_4	L_5	C_6



FILTER ANALOG

Tabel harga komponen LPF Chebychev ternormalisasi (ripple 0,5 dB)



n	R_s/R_L	C_1	L_2	C_3	L_4
2	1.984	0.983	1.950		
	2.000	0.909	2.103		
	2.500	0.564	3.165		
	3.333	0.375	4.411		
	5.000	0.228	6.700		
	10.000	0.105	13.322		
	∞	1.307	0.975		
3	1.000	1.864	1.280	1.834	
	0.900	1.918	1.209	2.026	
	0.800	1.997	1.120	2.237	
	0.700	2.114	1.015	2.517	
	0.500	2.557	0.759	3.436	
	0.400	2.985	0.615	4.242	
	0.300	3.729	0.463	5.576	
	0.200	5.254	0.309	8.225	
	0.100	9.890	0.153	16.118	
	∞	1.572	1.518	0.932	

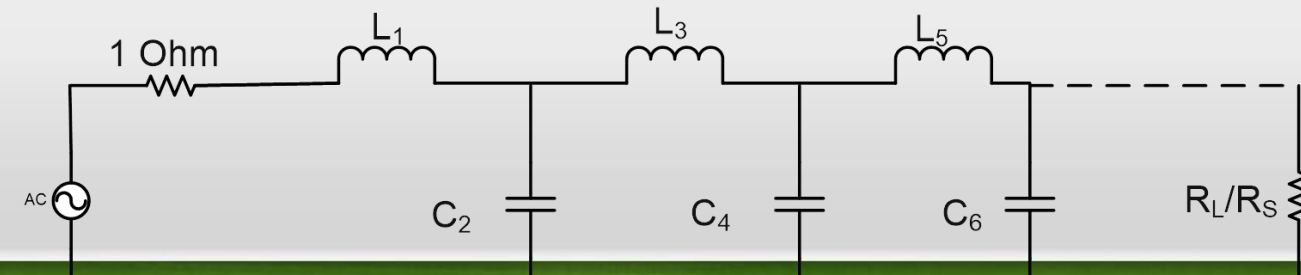
4	1.984	0.920	2.586	1.304	1.826
	2.000	0.845	2.720	1.238	1.985
	2.500	0.516	3.766	0.869	3.121
	3.333	0.344	5.120	0.621	4.480
	5.000	0.210	7.708	0.400	6.987
	10.000	0.098	15.352	0.194	14.262
	∞	1.436	1.889	1.521	0.913

5	1.000	1.807	1.303	2.691	1.303	1.807
	0.900	1.854	1.222	2.849	1.238	1.970
	0.800	1.926	1.126	3.060	1.157	2.185
	0.700	2.035	1.015	3.353	1.058	2.470
	0.600	2.200	0.890	3.765	0.942	2.861
	0.500	2.457	0.754	4.367	0.810	3.414
	0.400	2.870	0.609	5.296	0.664	4.245
	0.300	3.588	0.459	6.871	0.508	5.625
	0.200	5.064	0.306	10.054	0.343	8.367
	0.100	9.556	0.153	19.647	0.173	16.574
∞	1.630	1.740	1.922	1.514	0.903	

FILTER ANALOG

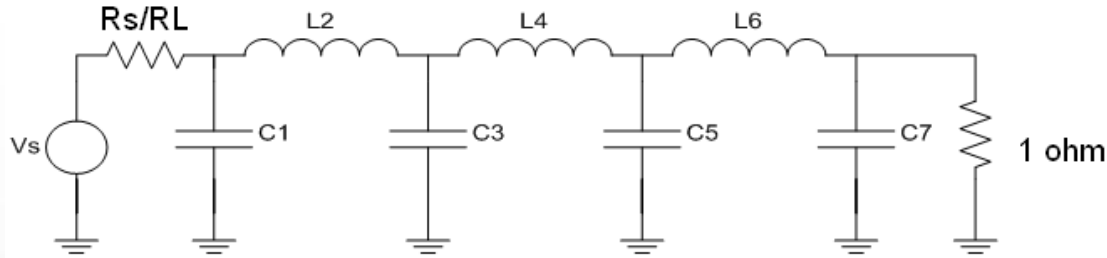
Tabel harga komponen LPF Chebychev ternormalisasi (ripple 0,5 dB)

6	1.984	0.905	2.577	1.368	2.713	1.299	1.796	
	2.000	0.830	2.704	1.291	2.872	1.237	1.956	
	2.500	0.506	3.722	0.890	4.109	0.881	3.103	
	3.333	0.337	5.055	0.632	5.699	0.635	4.481	
	5.000	0.206	7.615	0.406	8.732	0.412	7.031	
	10.000	0.096	15.186	0.197	17.681	0.202	14.433	
7	1.000	1.790	1.296	2.718	1.385	2.718	1.296	1.790
	0.900	1.835	1.215	2.869	1.308	2.883	1.234	1.953
	0.800	1.905	1.118	3.076	1.215	3.107	1.155	2.168
	0.700	2.011	1.007	3.364	1.105	3.416	1.058	2.455
	0.600	2.174	0.882	3.772	0.979	3.852	0.944	2.848
	0.500	2.428	0.747	4.370	0.838	2.289	0.814	3.405
	0.400	2.835	0.604	5.295	0.685	5.470	0.669	4.243
	0.300	3.546	0.455	6.867	0.522	7.134	0.513	5.635
	0.200	5.007	0.303	10.049	0.352	10.496	0.348	8.404
	0.100	9.456	0.151	19.649	0.178	20.631	0.176	16.665
	∞	1.646	1.777	2.031	1.789	1.924	1.503	0.895
n	R_L/R_S	L_1	C_2	L_3	C_4	L_5	C_6	L_7



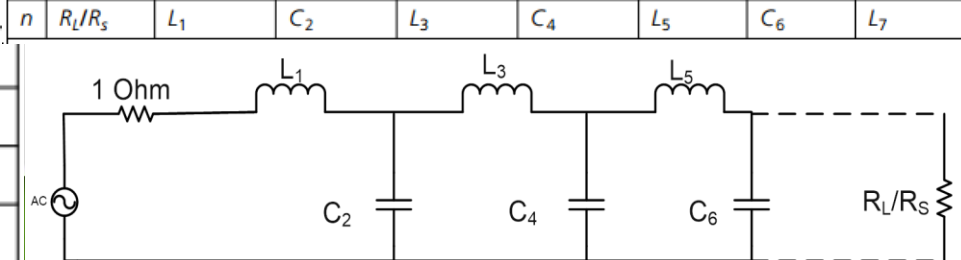
FILTER ANALOG

Tabel harga komponen LPF Chebychev ternormalisasi (ripple 1 dB)



n	R_s/R_L	C_1	L_2	C_3	L_4
2	3.000	0.572	3.132		
	4.000	0.365	4.600		
	8.000	0.157	9.658		
	∞	1.213	1.109		
	1.000	2.216	1.088	2.216	
3	0.500	4.431	0.817	2.216	
	0.333	6.647	0.726	2.216	
	0.250	8.862	0.680	2.216	
	0.125	17.725	0.612	2.216	
	∞	1.652	1.460	1.108	
4	3.000	0.653	4.411	0.814	2.535
	4.000	0.452	7.083	0.612	2.848
	8.000	0.209	17.164	0.428	3.281
	∞	1.350	2.010	1.488	1.106

5	1.000	2.207	1.128	3.103	1.128	2.207		
	0.500	4.414	0.565	4.653	1.128	2.207		
	0.333	6.622	0.376	6.205	1.128	2.207		
	0.250	8.829	0.282	7.756	1.128	2.207		
	0.125	17.657	0.141	13.961	1.128	2.207		
6	∞	1.721	1.645	2.061	1.493	1.103		
	3.000	0.679	3.873	0.771	4.711	0.969	2.406	
	4.000	0.481	5.644	0.476	7.351	0.849	2.582	
	8.000	0.227	12.310	0.198	16.740	0.726	2.800	
	∞	1.378	2.097	1.690	2.074	1.494	1.102	
7	1.000	2.204	1.131	3.147	1.194	3.147	1.131	2.204
	0.500	4.408	0.566	6.293	0.895	3.147	1.131	2.204
	0.333	6.612	0.377	9.441	0.796	3.147	1.131	2.204
	0.250	8.815	0.283	12.588	0.747	3.147	1.131	2.204
	0.125	17.631	0.141	25.175	0.671	3.147	1.131	2.204
∞	1.741	1.677	2.155	1.703	2.079	1.494	1.102	



FILTER ANALOG

Penskalaan Impedansi dan Frekuensi (Denormalisasi)

- Nilai komponen, L_n dan C_n pada rangkaian LPF ternormalisasi (dari tabel yang tersedia) adalah harga komponen saat frekuensi sudut $\omega_c = 1$ rad/s, sehingga diperlukan proses denormalisasi kembali agar sesuai dengan spesifikasi (besarnya komponen riil)



Nilai Komponen Realnya

$$C = \frac{C_n}{2\pi f_c R}$$

$$L = \frac{R L_n}{2\pi f_c}$$

where

C = the final capacitor value,

L = the final inductor value,

C_n = a low-pass prototype element value,

L_n = a low-pass prototype element value,

R = the final load resistor value,

f_c = the final cutoff frequency.

FILTER ANALOG

LPF pasif Chebychev – contoh soal

Rancanglah suatu filter LPF Chebyshev dengan $n = 5$ dan ripple yang diijinkan pada daerah passband maksimal 0,1 dB. Besar hambatan sumber = 50 ohm dan beban 250 ohm! Cari harga komponen LPF yang sesungguhnya pada frekuensi cutoff = 50 MHz!

LPF prototype/ ternormalisasi

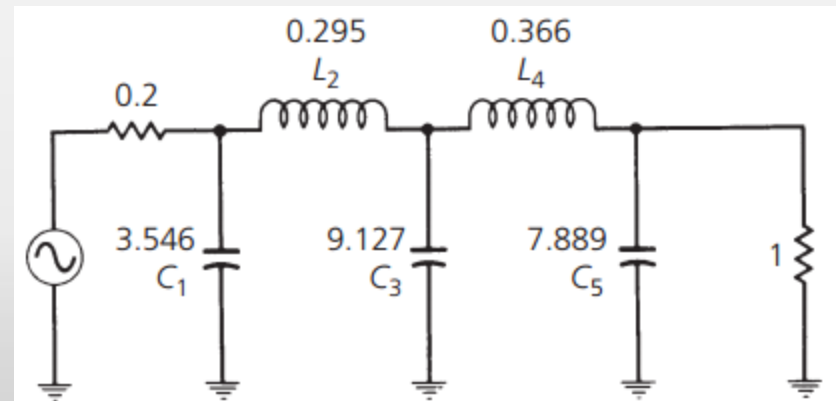
$$R_s/R_L = 50/250 = 0.2 \text{ dan } R_L/R_s = 250/50 = 5$$

Menentukan orde filter

Orde Filter sudah diketahui yaitu $n = 5$

Menentukan Harga Komponen ternormalisasi

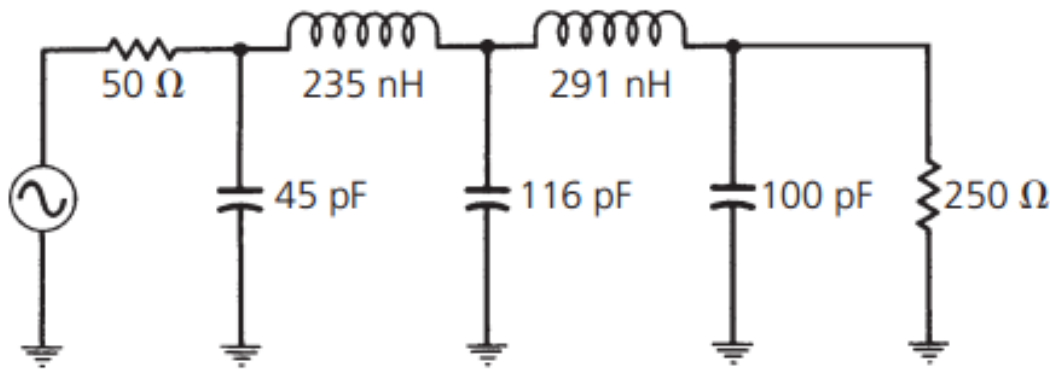
Selanjutnya **menentukan nilai L dan C ternormalisasi** dengan melihat tabel *prototype element value* . (gunakan nilai R_s/R_L atau R_L/R_s) tergantung angka yang tersedia di tabel. Dan nilai ripple 0,1 dB



FILTER ANALOG

LPF pasif Butterworth – contoh soal

Lakukan Denormalisasi untuk menentukan Harga Komponen sebenarnya



$$C_1 = \frac{3.546}{2\pi(50 \times 10^6)(250)}$$
$$= 45 \text{ pF}$$

$$C_3 = \frac{9.127}{2\pi(50 \times 10^6)(250)}$$
$$= 116 \text{ pF}$$

$$C_5 = \frac{7.889}{2\pi(50 \times 10^6)(250)}$$
$$= 100 \text{ pF}$$

$$L_2 = \frac{(250)(0.295)}{2\pi(50 \times 10^6)}$$
$$= 235 \text{ nH}$$

$$L_4 = \frac{(250)(0.366)}{2\pi(50 \times 10^6)}$$
$$= 291 \text{ nH}$$

RANGKAIAN RESONATOR



**HIGH PASS
FILTER (HPF)**

FILTER ANALOG

High Pass Filter

- Fungsi :
melewatkan sinyal dengan frekuensi di atas frekuensi cutoff dan meredam sinyal dengan frekuensi di bawah frekuensi cutoff.

FILTER ANALOG

High Pass Filter

- Transformasi dari LPF ternormalisasi ke HPF ternormalisasi menyebabkan berubahnya komponen-komponen penyusun filter yaitu :
pada **HPF pasif** ternormalisasi akan terjadi perubahan dari **induktor menjadi kapasitor** dan sebaliknya

$$C_{HPF} = 1/L_{LPF} \text{ dan } L_{HPF} = 1/C_{LPF}$$

FILTER ANALOG

Langkah-langkah Perancangan HPF

1. Berdasar spesifikasi HPF yang diminta yaitu:

- resistansi sumber (R_S)
- resistansi beban (R_L)
- frekuensi cutoff (ω_C)
- frekuensi stop band (ω_S)
- ripple (untuk Chebychev)
- redamannya (A_S)

Bila $\omega_C \neq 1$ rad/s maka normalisasikan harga ω_C dan ω_S dengan referensi $\omega_C = 1$

2. Transformasikan HPF ternormalisasi dengan harga $(\omega_C)_{HPF}$ dan $(\omega_S)_{HPF}$ ke LPF ternormalisasi dengan $(\omega)_{HPF} = (1/\omega)_{LPF}$
3. Sesuaikan respon dan orde filter berdasar grafik respon frekuensi LPF ternormalisasi.
4. Pilih orde filter (N) yang sesuai dengan spesifikasi filter (diperoleh dengan pembulatan ke atas).

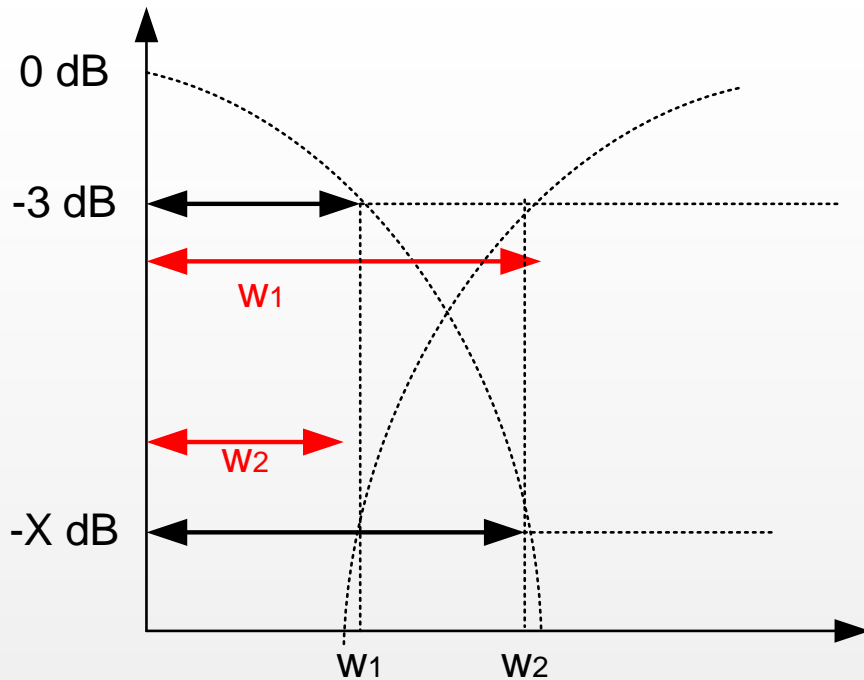
FILTER ANALOG

Langkah-langkah Perancangan HPF

5. Bila LPF ternormalisasi telah diperoleh nilai komponennya berdasarkan tabel, transformasikan ke HPF ternormalisasi
 $C_{HPF} = 1/L_{LPF}$ dan $L_{HPF} = 1/C_{LPF}$
6. Lakukan denormalisasi pada HPF ternormalisasi.
(gunakan persamaan seperti pada denormalisasi pada LPF)

FILTER ANALOG

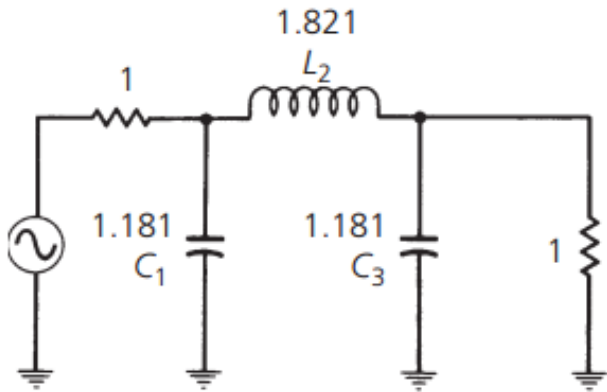
Transformasi BPF ke LPF prototype



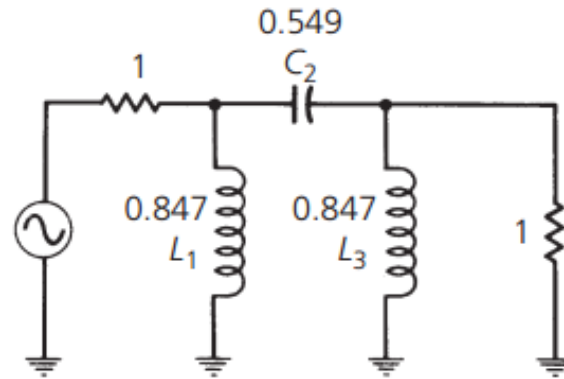
$$\frac{W_{2(LPF)}}{W_{1(LPF)}} = \frac{W_{1(HPF)}}{W_{2(HPF)}} \Rightarrow \frac{\omega_s (LPF)}{\omega_c} = \frac{\omega_c (HPF)}{\omega_s}$$

FILTER ANALOG

Transformasi Komponen HPF ternormalisasi dari LPF ternormalisasi pasif



(A) Low-pass prototype circuit



(B) Equivalent high-pass prototype circuit

$$C_{\text{HPF}} = 1/L_{\text{LPF}}$$
$$L_{\text{HPF}} = 1/C_{\text{LPF}}$$

Nilai Komponen Realnya

$$C = \frac{C_n}{2\pi f_c R}$$

$$L = \frac{RL_n}{2\pi f_c}$$

where

C = the final capacitor value,

L = the final inductor value,

C_n = a low-pass prototype element value,

L_n = a low-pass prototype element value,

R = the final load resistor value,

f_c = the final cutoff frequency.

FILTER ANALOG

Contoh Perancangan HPF

EXAMPLE 3-7

Design an LC high-pass filter with an f_c of 60 MHz and a minimum attenuation of 40 dB at 30 MHz. The source and load resistance are equal at 300 ohms. Assume that a 0.5-dB passband ripple is tolerable.

Solution **LPF prototype/ ternormalisasi**

First, normalize the attenuation requirements so that the low-pass attenuation curves may be used.

$$\begin{aligned}\frac{f}{f_c} &= \frac{30 \text{ MHz}}{60 \text{ MHz}} \\ &= 0.5\end{aligned}$$

Inverting, we get:

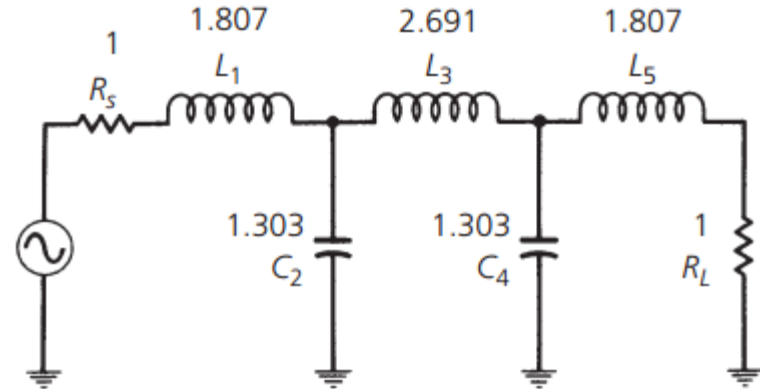
$$\frac{f_c}{f} = 2$$

Mencari Orde Filter LPF prototype/ ternormalisasi

Dari grafik Chebyshev didapat orde yang mencukupi :

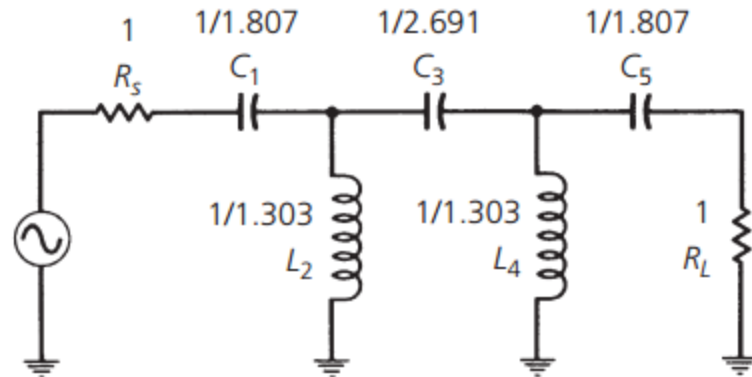
N = 5

Harga Komponen LPF prototype



(A) Normalized low-pass filter circuit

Transformasi Harga Komponen HPF prototype dari LPF prototype

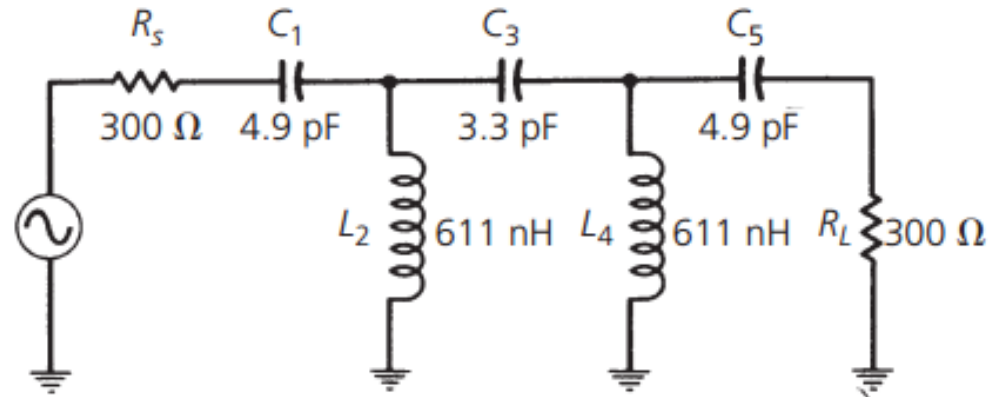


(B) High-pass transformation

FILTER ANALOG

Contoh Perancangan HPF

Lakukan Denormalisasi untuk menentukan Harga Komponen HPF sebenarnya



(C) Frequency and impedance-scaled filter circuit

$$C_1 = \frac{1}{2\pi(60 \times 10^6)(300)} \cdot \frac{1}{1.807}$$
$$= 4.9 \text{ pF}$$

$$L_2 = \frac{300 \left(\frac{1}{1.303} \right)}{2\pi(60 \times 10^6)}$$
$$= 611 \text{ nH}$$

The remaining values are:

$$C_3 = 3.3 \text{ pF}$$

$$C_5 = 4.9 \text{ pF}$$

$$L_4 = 611 \text{ nH}$$

FILTER ANALOG

Latihan Soal

1. Rancanglah suatu HPF yang tersusun dari rangkaian LC dengan frekuensi cut off 60 MHz dan redaman minimum 40 dB pada 30 MHz. Hambatan sumber dan beban masing-masing 300 Ω , asumsikan ripple maksimum yang bisa ditoleransi pada daerah pass band sebesar 0,5 dB!
2. Rancanglah suatu HPF yang tersusun dari rangkaian LC dengan frekuensi cut off 90 MHz dan redaman minimum 40 dB pada 45 MHz. Hambatan sumber dan beban masing-masing 300 Ω , asumsikan ripple maksimum yang bisa ditoleransi pada daerah pass band sebesar 0,01 dB!

RANGKAIAN RESONATOR



**BAND PASS
FILTER (BPF)**

FILTER ANALOG

Filter BPF

- Fungsi :
filter yang melewatkan sinyal yang memiliki band frekuensi tertentu.

FILTER ANALOG

Urutan perancangan BPF

1. Tentukan spesifikasi BPF yang diinginkan yaitu :
 - resistansi sumber (R_S)
 - resistansi beban (R_L)
 - frekuensi cutoff (ω_C)
 - frekuensi stop band (ω_S)
 - ripple (untuk respon Chebychev)
 - redamannya (A_S)
2. Setelah diperoleh harga-harga frekuensi f_O , f_B , f_A , tentukan spesifikasi LPF berdasarkan transformasi BPF ke LPF.
3. Normalisasikan LPF ini, dan tentukan jenis respon maupun orde LPF

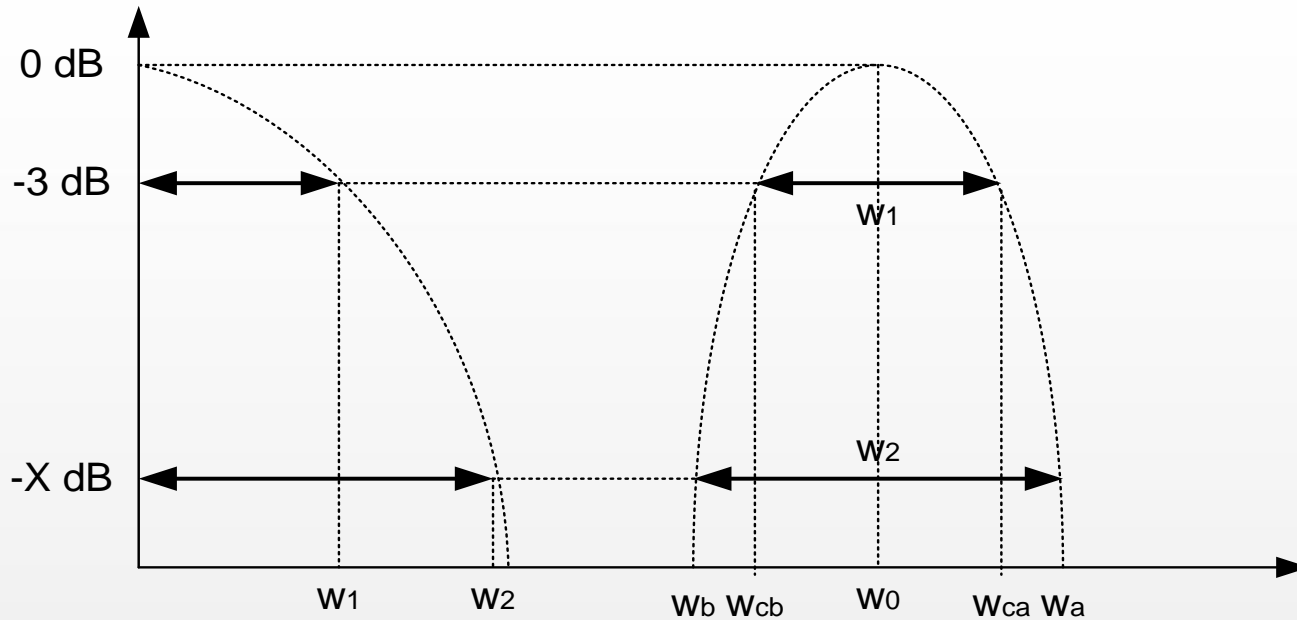
FILTER ANALOG

Urutan perancangan BPF

4. Lakukan transformasi LPF ternormalisasi ke BPF ternormalisasi dengan mengganti nilai-nilai komponen LPF.
5. Bila BPF ternormalisasi telah diperoleh nilai-nilai komponennya, lakukan denormalisasi ke BPF sesungguhnya.

FILTER ANALOG

Transformasi BPF ke LPF prototype

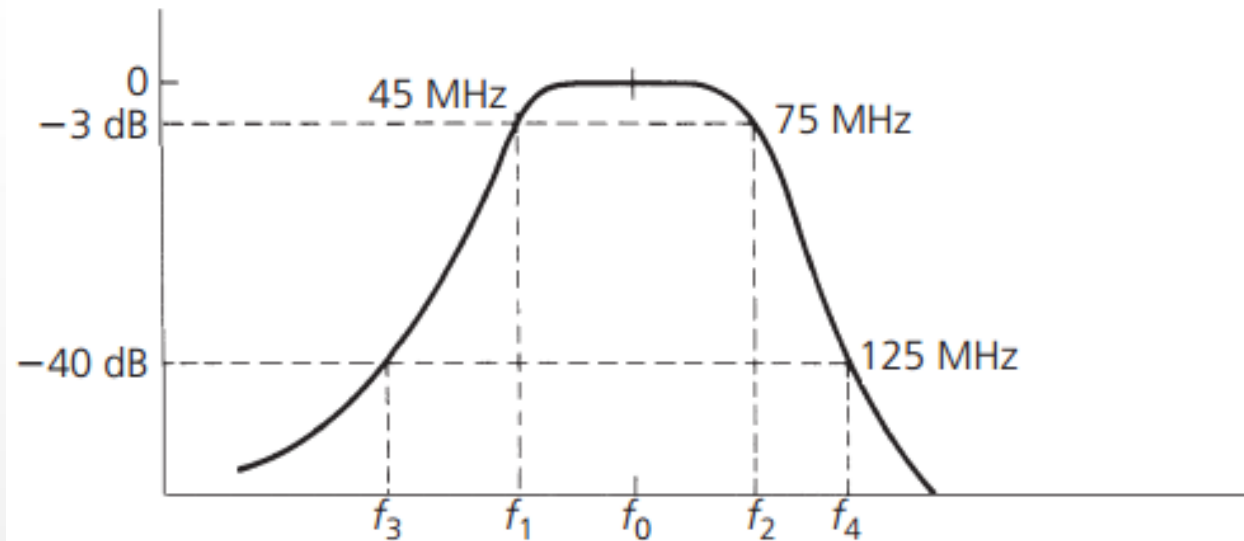


$$\frac{W_{2(LPF)}}{W_{1(LPF)}} = \frac{W_{2(BPF)}}{W_{1(BPF)}} \Rightarrow \frac{\omega_s}{\omega_c} (LPF) = \frac{BW_s}{BW_c} (BPF)$$

FILTER ANALOG

Transformasi BPF ke LPF prototype

Contoh Spesifikasi BPF



$$f_o = \sqrt{f_a f_b}$$

Where **fa** and **fb** are any two frequencies (one above and one below the passband) having equal attenuation

$$f_o = \sqrt{(45)(75) \text{ MHz}}$$
$$= 58.1 \text{ MHz}$$

$$58.1 = \sqrt{f_3(125)}$$

$$f_3 = 27 \text{ MHz}$$

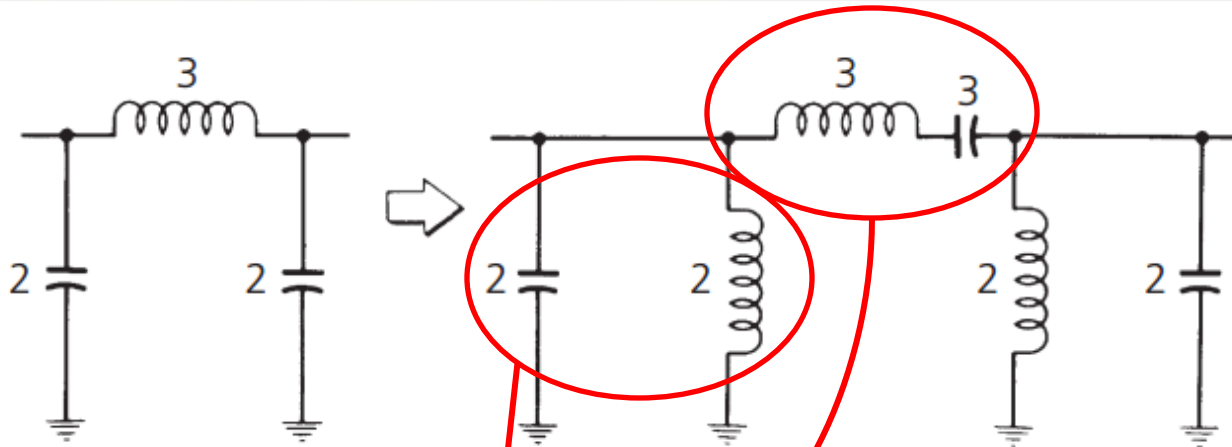
LPF prototype/ ternormalisasi

$$\frac{f}{f_c} (LPF) \Rightarrow$$

$$\frac{BW_{40\text{dB}}}{BW_{3\text{dB}}} = \frac{125 \text{ MHz} - 27 \text{ MHz}}{75 \text{ MHz} - 45 \text{ MHz}}$$
$$= 3.27$$

FILTER ANALOG

Transformasi Komponen BPF ternormalisasi dari LPF ternormalisasi pasif



Nilai Komponen Realnya

For the parallel-resonant branches

$$C = \frac{C_n}{2\pi RB}$$
$$L = \frac{RB}{2\pi f_0^2 L_n}$$

For the series-resonant branches

$$C = \frac{B}{2\pi f_0^2 C_n R}$$
$$L = \frac{R L_n}{2\pi B}$$

where, in all cases,

R = the final load impedance,

B = the 3-dB bandwidth of the final design,

f_0 = the geometric center frequency of the final design,

L_n = the normalized inductor *bandpass* element values,

C_n = the normalized capacitor *bandpass* element values.

FILTER ANALOG

Contoh Perancangan BPF

Example 3-9

Design a bandpass filter with the following requirements:

$$f_o = 75 \text{ MHz} \quad \text{Passband Ripple} = 1 \text{ dB}$$

$$BW_{3\text{dB}} = 7 \text{ MHz} \quad R_s = 50 \text{ ohms}$$

$$BW_{45\text{dB}} = 35 \text{ MHz} \quad R_L = 100 \text{ ohms}$$

Solution **LPF prototype/ ternormalisasi**

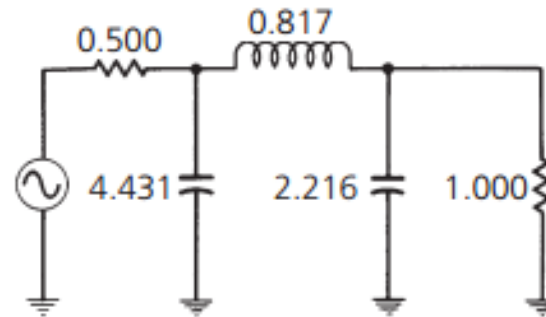
Using Equation 3-14:

$$\frac{BW_{45\text{dB}}}{BW_{3\text{dB}}} = \frac{35}{7} \\ = 5$$

Mencari Orde Filter LPF prototype/ ternormalisasi

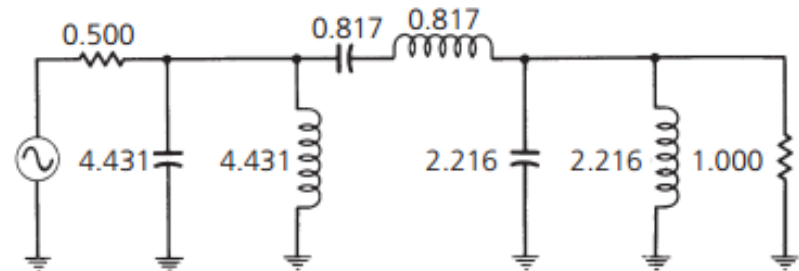
Substitute this value for f/f_c in the low-pass attenuation curves for the 1-dB-ripple Chebyshev response shown in Fig. 3-18. This reveals that a **3-element filter** will provide about 50 dB of attenuation at an $f/f_c = 5$, which is more than adequate. The corresponding element values for this filter can be found in Table 3-7 for an $R_s/R_L = 0.5$ and an **$n = 3$** . This yields the low-pass prototype circuit of Fig. 3-32A which is transformed into the bandpass prototype circuit of Fig. 3-32B. Finally, using Equations 3-16 through 3-19, we obtain the final circuit that is shown in Fig. 3-32C. The calculations follow. Using Equations 3-16 and 3-17:

Harga Komponen LPF prototype



(A) Low-pass prototype circuit

Transformasi Harga Komponen BPF prototype dari LPF prototype

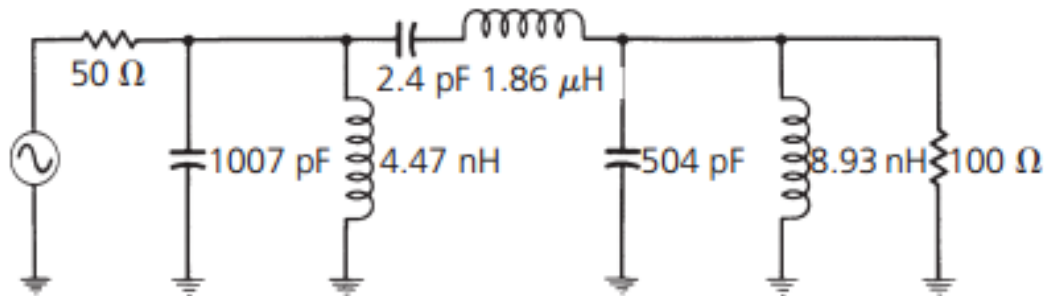


(B) Bandpass transformation

FILTER ANALOG

Contoh Perancangan BPF

Lakukan Denormalisasi untuk menentukan Harga Komponen BPF sebenarnya



(C) Final circuit with frequency and impedance scaled

$$C_1 = \frac{4.431}{2\pi(100)(7 \times 10^6)} \\ = 1007 \text{ pF}$$

$$L_1 = \frac{(100)(7 \times 10^6)}{2\pi(75 \times 10^6)^2(4.431)} \\ = 4.47 \text{ nH}$$

$$C_2 = \frac{7 \times 10^6}{2\pi(75 \times 10^6)^2(0.817)100} \\ = 2.4 \text{ pF}$$

$$L_2 = \frac{(100)(0.817)}{2\pi(7 \times 10^6)} \\ = 1.86 \mu\text{H}$$

Similarly,

$$C_3 = 504 \text{ pF}$$

$$L_3 = 8.93 \text{ nH}$$

FILTER ANALOG

Latihan Soal

Rancanglah suatu filter LC-BPF **tanpa ripple pada daerah passband** dengan spesifikasi sbb:

Redaman 3 dB pada frekuensi 500 Hz dan 2000 Hz

Redaman minimum 40 dB pada frekuensi 100 Hz dan 4000 Hz

$R_s = R_L = 600 \Omega$

RANGKAIAN RESONATOR



**Band STOP
FILTER (BSF)**

FILTER ANALOG

Band Stop Filter / Band Reject Filter

- Fungsi :

Filter yang meredam sinyal yang memiliki band frekuensi tertentu

FILTER ANALOG

Urutan perancangan NBSF :

1. Tentukan spesifikasi BSF yang diinginkan yaitu
 - resistansi sumber (R_S)
 - resistansi beban (R_L)
 - frekuensi cutoff (ω_C)
 - frekuensi stop band (ω_S)
 - ripple (untuk respon Chebychev)
 - redamannya (A_S)
2. Setelah diperoleh harga-harga frekuensi f_O , f_B , f_A , tentukan spesifikasi HPF berdasarkan transformasi BSF ke LPF.
3. Normalisasikan LPF ini, dan tentukan jenis respon maupun orde LPF.

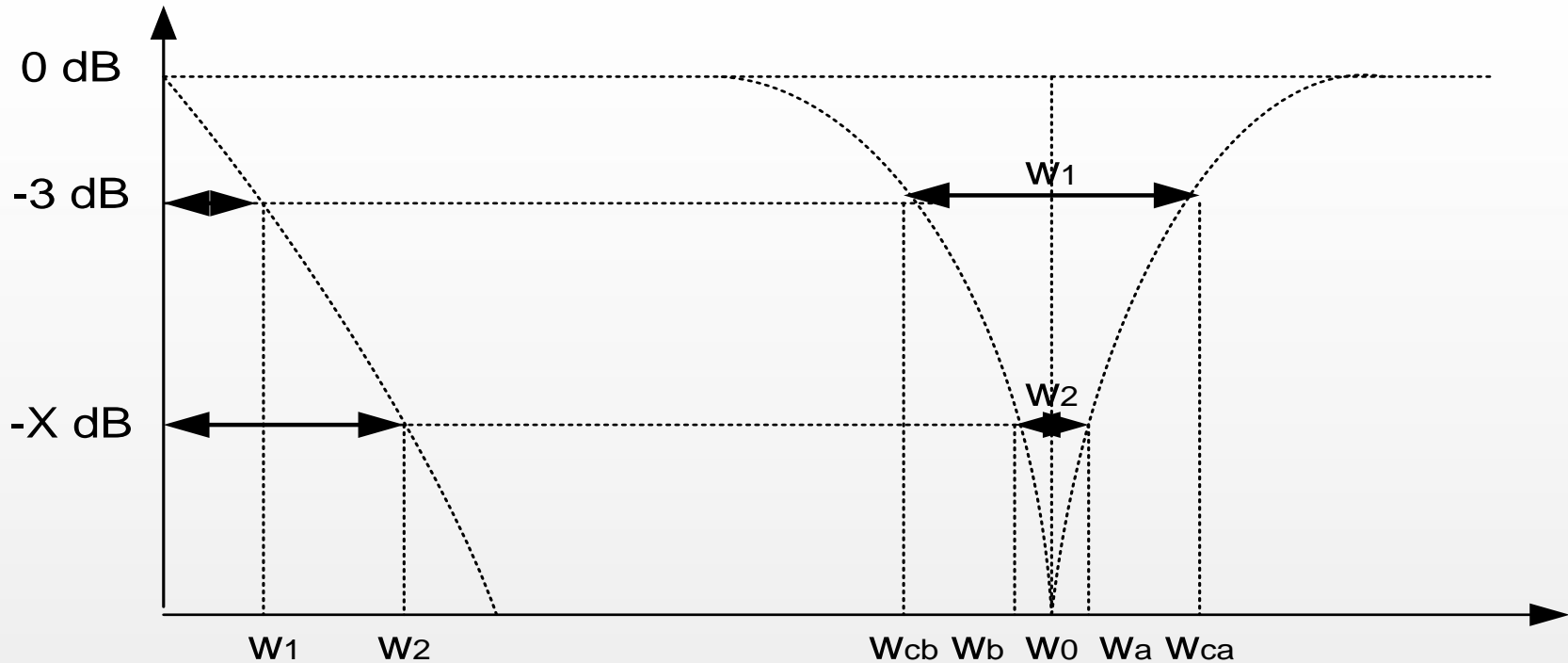
FILTER ANALOG

Urutan perancangan NBSF :

4. Bila LPF ternormalisasi telah diperoleh nilai-nilai komponennya, aplikasikan ke ternormalisasi.
5. Lakukan transformasi LPF ke BSF dengan mengganti nilai-nilai komponen LPF.
6. Lakukan penskalaan/denormalisasi BSF.

FILTER ANALOG

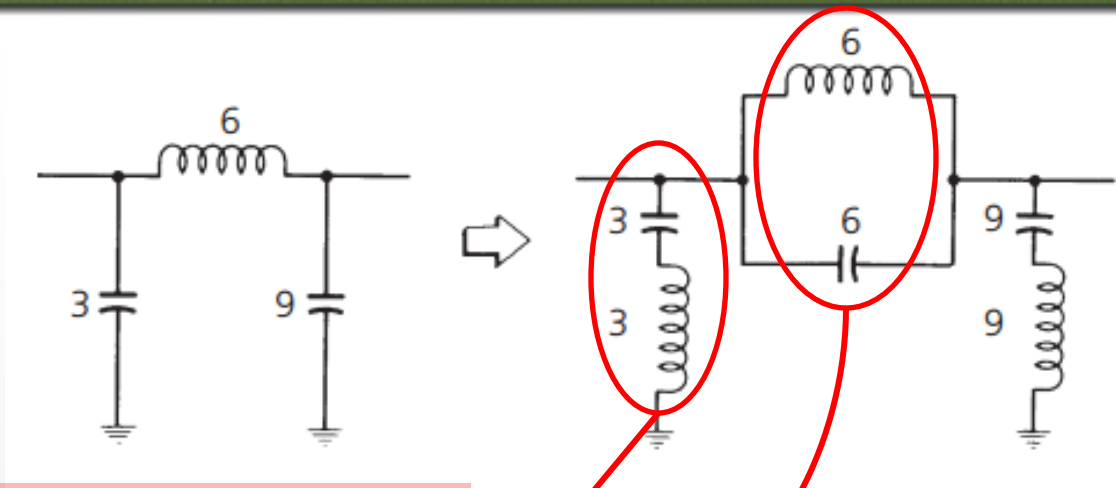
Transformasi BSF dari LPF prototype :



$$\frac{W_{2(LPF)}}{W_{1(LPF)}} = \frac{W_{1(BSF)}}{W_{2(BSF)}} \Rightarrow \frac{\omega_s}{\omega_c} (LPF) = \frac{BW_c}{BW_s} (BSF)$$

FILTER ANALOG

Transformasi BSF dari LPF pasif :



Nilai Komponen Realnya

For the series-resonant circuits

$$C = \frac{C_n}{2\pi RB}$$

$$L = \frac{RB}{2\pi f_0^2 L_n}$$

For the parallel-resonant circuits

$$C = \frac{B}{2\pi f_0^2 RC_n}$$

$$L = \frac{RL_n}{2\pi B}$$

where, in all cases,

B = the 3-dB bandwidth,

R = the final load resistance,

f_0 = the geometric center frequency,

C_n = the normalized capacitor band-reject element value,

L_n = the normalized inductor band-reject element value.

FILTER ANALOG

LPF pasif Butterworth – contoh soal

Rancanglah BSF butterworth dengan spesifikasi sbb:

Frekuensi center pada 10 kHz

BW-3dB = 600 Hz

BW-30dB = 200 Hz

$R_s = R_L = 600 \text{ ohm}$

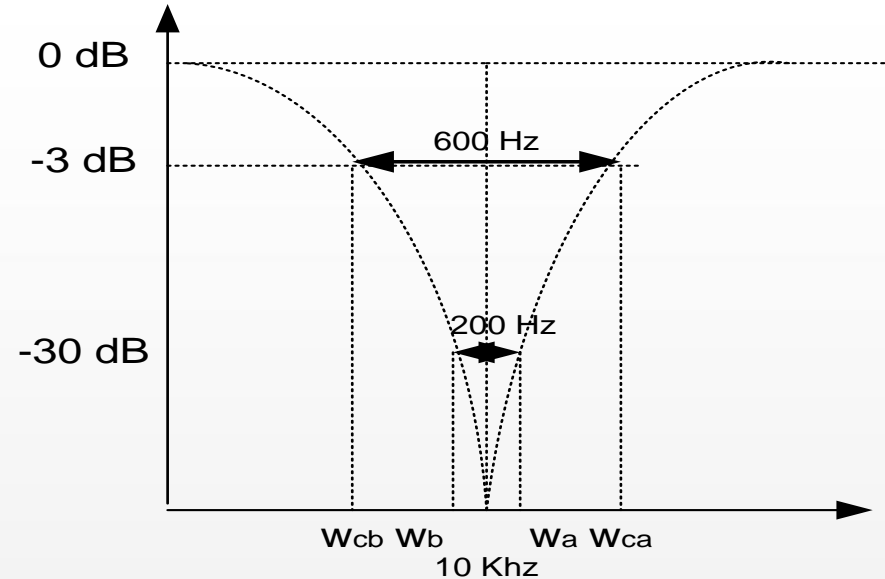
LPF prototype/ ternormalisasi

$$F / F_C = 600 \text{ Hz} / 200 \text{ MHz} = 3$$

$$R_s / R_L = R_L / R_s = 1$$

Menentukan orde filter

menentukan orde dengan memperhatikan **kurva redaman vs kurva frekuensi ternormalisasi**. (30 dB vs 3). Dan diperoleh $N = 3$



FILTER ANALOG

LPF pasif Butterworth – contoh soal

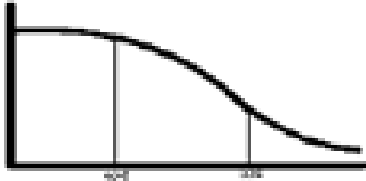
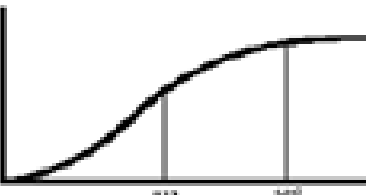

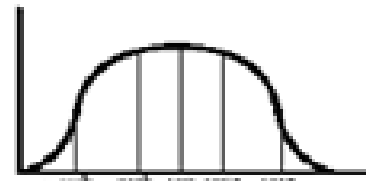
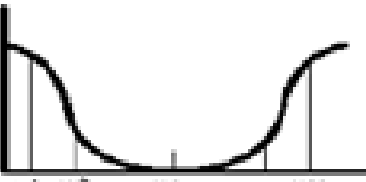
Harga Komponen LPF prototype

Transformasi Harga Komponen BSF prototype dari LPF prototype

Lakukan Denormalisasi untuk menentukan Harga Komponen BSF sebenarnya

FILTER ANALOG

Kesimpulan

Filter Spesifikasi Awal	LPF Ternormalisasi	ω_c	ω_s
			$\frac{\omega_s}{\omega_c}$
		1 rad/s	$\frac{\omega_c}{\omega_s}$
			$\frac{BW_s}{BW_c} = \frac{\omega_{sA} - \omega_{sB}}{\omega_{cA} - \omega_{cB}}$
			$\frac{BW_c}{BW_s} = \frac{\omega_{cA} - \omega_{cB}}{\omega_{sA} - \omega_{sB}}$

FILTER ANALOG

Kesimpulan

Filter	Transformasi LPF Ternormalisasi	Keterangan
HPF denormalisasi		$L_{HPF} = 1/C_{LPF}$ $C_{HPF} = 1/L_{LPF}$
BPF denormalisasi		<ul style="list-style-type: none"> Komponen seri pada LPF diubah menjadi <p>$L_{BPF} (= L_{LPF})$ diseri dengan $C_{BPF} (= L_{LPF})$</p> <ul style="list-style-type: none"> Komponen paralel pada LPF diubah menjadi <p>$L_{BPF} (= C_{LPF})$ diparalel dengan $C_{BPF} (= C_{LPF})$</p>
BSF denormalisasi		<ul style="list-style-type: none"> Komponen seri pada LPF diubah menjadi <p>$L_{BSF} (= L_{LPF})$ diparalel dengan $C_{BSF} (= L_{LPF})$</p> <ul style="list-style-type: none"> Komponen paralel pada LPF diubah menjadi <p>$L_{BSF} (= C_{LPF})$ diseri dengan $C_{BSF} (= C_{LPF})$</p>

