3 次連立チェビシェフ LC フィルターの設計　　　　　　　2013 年 9 月 16 日　目次へ戻る

通過域最大減衰値　1[dB]
阻止域最小減衰値　20[dB]
過渡帯域幅　不問

と言う要求仕様の連立チェビシェフフィルターを、R−R 型 LC フィルターで設計します。

ユーザーの要求する通過域最大減衰値（通過域うねりの許容値）を、負の値 $-A_P$[dB]としますと、通過域最大減衰地点（下図 ω_1）での dB 表示ではない、生（なま）の入出力間利得、$\dfrac{OUT}{IN}$ は、

$$-A_P = 20\mathrm{Log}_{10}\frac{OUT}{IN} \quad [dB]$$

$$\mathrm{Log}_{10}\frac{OUT}{IN} = \frac{-A_P}{20}$$

$$\frac{OUT}{IN} = 10^{\frac{-A_P}{20}}$$

$$\frac{IN}{OUT} = \frac{1}{10^{\frac{-A_P}{20}}} = \left(10^{\frac{-A_P}{20}}\right)^{-1} = 10^{\frac{A_P}{20}}$$

となります。ω_1 での周波数伝達関数の絶対値は $\dfrac{1}{\sqrt{1+H^2f^2(\omega_1)}}$ ですので、$\dfrac{OUT}{IN}$ を等しいと置きますと、

$$\frac{1}{\sqrt{1+H^2f^2(\omega_1)}} = \frac{OUT}{IN}$$

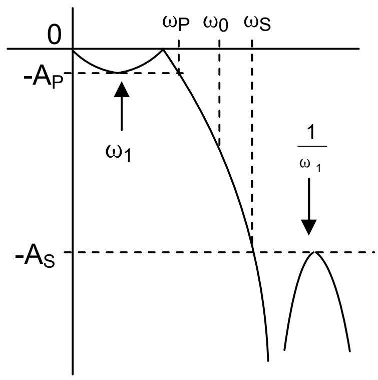
$$\frac{1}{1+H^2f^2(\omega_1)} = \left(\frac{OUT}{IN}\right)^2$$

$$1+H^2f^2(\omega_1) = \left(\frac{IN}{OUT}\right)^2$$

$$H^2f^2(\omega_1) = \left(\frac{IN}{OUT}\right)^2 - 1$$

$$H^2f^2(\omega_1) = \left(10^{\frac{A_P}{20}}\right)^2 - 1$$

$$H^2f^2(\omega_1) = 10^{\frac{A_P}{10}} - 1$$



になります。通過域最大減衰地点で、H を含めた元関数の 2 乗値 $H^2f^2(\omega_1)$ が取るべき仕様値で

す。次に、ユーザーの要求する阻止域最小減衰値（阻止域うねりの許容値）を、負の数ーA_S[dB]としますと、阻止域うねり最小減衰地点（上図$\frac{1}{\omega_1}$）での dB 表示ではない、生（なま）の入出力間利得、$\frac{OUT}{IN}$は、

$$-A_S = 20\mathrm{Log}_{10}\frac{OUT}{IN} \quad [\mathrm{dB}]$$

$$\mathrm{Log}_{10}\frac{OUT}{IN} = \frac{-A_S}{20}$$

$$\frac{OUT}{IN} = 10^{\frac{-A_S}{20}}$$

$$\frac{IN}{OUT} = \frac{1}{10^{\frac{-A_S}{20}}} = \left(10^{\frac{-A_S}{20}}\right)^{-1} = 10^{\frac{A_S}{20}}$$

となります。$\frac{1}{\omega_1}$での周波数伝達関数の絶対値は$\frac{1}{\sqrt{1+H^2f^2\left(\frac{1}{\omega_1}\right)}}$ですので、$\frac{OUT}{IN}$を等しいと置きますと、

$$\frac{1}{\sqrt{1+H^2f^2\left(\frac{1}{\omega_1}\right)}} = \frac{OUT}{IN}$$

$$\frac{1}{1+H^2f^2\left(\frac{1}{\omega_1}\right)} = \left(\frac{OUT}{IN}\right)^2$$

$$1+H^2f^2\left(\frac{1}{\omega_1}\right) = \left(\frac{IN}{OUT}\right)^2$$

$$H^2f^2\left(\frac{1}{\omega_1}\right) = \left(\frac{IN}{OUT}\right)^2 - 1$$

$$H^2f^2\left(\frac{1}{\omega_1}\right) = \left(10^{\frac{A_S}{20}}\right)^2 - 1$$

$$H^2f^2\left(\frac{1}{\omega_1}\right) = 10^{\frac{A_S}{10}} - 1$$

になります。阻止域最小減衰地点で H を含めた元関数の 2 乗値、$H^2f^2\left(\frac{1}{\omega_1}\right)$が取るべき仕様値です。

通過域最大減衰地点および阻止域最小減衰地点で、元関数 $f(\omega)$の 2 乗値、$f^2(\omega_1)$および$f^2\left(\frac{1}{\omega_1}\right)$が取ることの出来る利得は、$m^2$ および$\frac{1}{m^2}$ です。したがって、H を含めた元関数の 2 乗値が取ることの出来る利得の連立方程式が、次の様に成り立ちます。

$$H^2m^2 = 10^{\frac{A_P}{10}} - 1 \quad ・・・①$$

$$H^2\frac{1}{m^2} = 10^{\frac{A_S}{10}} - 1 \quad ・・・②$$

未知数 H^2 と m^2 を求めます。②から、

$$m^2 = \frac{H^2}{10^{\frac{A_S}{10}} - 1}$$

が得られます。これを①に代入しますと、

$$H^2\frac{H^2}{10^{\frac{A_S}{10}} - 1} = 10^{\frac{A_P}{10}} - 1$$

$$H^4 = \left(10^{\frac{A_P}{10}} - 1\right)\left(10^{\frac{A_S}{10}} - 1\right)$$

$$H^2 = \sqrt{\left(10^{\frac{A_P}{10}} - 1\right)\left(10^{\frac{A_S}{10}} - 1\right)}$$

になり H^2 が求まります。この H^2 を①に代入しますと、

$$m^2 = \frac{10^{\frac{A_P}{10}} - 1}{\sqrt{\left(10^{\frac{A_P}{10}} - 1\right)\left(10^{\frac{A_S}{10}} - 1\right)}} = \sqrt{\frac{10^{\frac{A_P}{10}} - 1}{10^{\frac{A_S}{10}} - 1}}$$

になります。または②に代入しても、

$$m^2 = \frac{\sqrt{\left(10^{\frac{A_P}{10}} - 1\right)\left(10^{\frac{A_S}{10}} - 1\right)}}{10^{\frac{A_S}{10}} - 1} = \sqrt{\frac{10^{\frac{A_P}{10}} - 1}{10^{\frac{A_S}{10}} - 1}}$$

となり、m^2 が求まります。ここで決定されたことは、通過域最大減衰値と阻止域最小減衰値の両方ともユーザー要求仕様通りのフィルターを作る場合の、H の値と元関数 f(ω)の取るべき通過域での最大うねりの大きさ m です。

$m^2 = k_1$ ですから、これにより k_1 値が先に決定されます。その後 $u = \frac{1}{\mu} v$ の関係から、k も決定されます。k は過渡帯域幅を決めます。その k がユーザーの要求仕様の「過渡帯域幅」を満たすかの吟味が必要になります。以上のことは、「3 次連立チェビシェフフィルター」の章に詳しく書いてあります。

今回の設計仕様は、

通過域最大減衰値　1[dB]

阻止域最小減衰値　20[dB]

過渡帯域幅　不問

ですから、後で決定される k が、ユーザーの要求仕様の「過渡帯域幅」を満たすかの吟味は、必要ありません。H^2 と m^2 の計算を行います。

$$H^2 = \sqrt{\left(10^{\frac{A_P}{10}} - 1\right)\left(10^{\frac{A_S}{10}} - 1\right)}$$

$$= \sqrt{\left(10^{\frac{1}{10}} - 1\right)\left(10^{\frac{20}{10}} - 1\right)}$$

$$= 5.062965116$$

$$m^2 = \sqrt{\frac{10^{\frac{A_P}{10}} - 1}{10^{\frac{A_S}{10}} - 1}}$$

$$= \sqrt{\frac{10^{\frac{1}{10}} - 1}{10^{\frac{20}{10}} - 1}}$$

$= 0.051141061$
$= k_1$

となります。ここから先のことは「楕円関数の数値計算」の章に詳しく書いてあります。テータ関数を使って計算します。通過域最大減衰値と阻止域最小減衰値の両方を、ユーザー要求仕様の A_P および A_S と同じにする場合、q_1 は要求仕様から得られる q_1 の値そのままで正式決定します。そのために、k_1 から q_1 を求めます。q_1 は、

$$q_1 = \lambda_1 + 2\lambda_1^{5} + 15\lambda_1^{9} + 150\lambda_1^{13} + 1707\lambda_1^{17} + 20910\lambda_1^{21} + 268616\lambda_1^{25}$$

です。λ_1 は、

$$\lambda_1 = \frac{1}{2} \bullet \frac{1-\sqrt{k_1'}}{1+\sqrt{k_1'}}$$

です。k_1'は、

$$k_1' = \sqrt{1-k_1^{2}}$$

です。それでは q_1 を計算します。先程求めた k_1 の値から、k_1'を求めますと、

$$k_1' = \sqrt{1-0.051141061^{2}}$$

$$= 0.998691439$$

です。λ_1 の式に代入しますと、

$$\lambda_1 = \frac{1}{2} \bullet \frac{1-\sqrt{0.998691439}}{1+\sqrt{0.998691439}}$$

$$= 1.636772334 \times 10^{-4}$$

です。q_1 の式に代入しますと、

$$q_1 = \lambda_1 + 2\lambda_1^{5} + 15\lambda_1^{9} + 150\lambda_1^{13} + 1707\lambda_1^{17} + 20910\lambda_1^{21} + 268616\lambda_1^{25}$$

$$=1.636772334\times 10^{-4}$$

になります。うねりの幅を決定する q_1 が求まりました。q_1 はかなり小さな数です。この決定されたうねりの幅が、今度は過渡帯域幅を決定します。まず q を求め、そこから k を求めます。連立チェビシェフフィルターの重要関係式、

$$q^n = q_1$$

の両辺を $\frac{1}{n}$ 乗し、

$$q^{\frac{n}{n}} = q_1^{\frac{1}{n}}$$

$$q = q_1^{\frac{1}{n}}$$

で q を求めます。指数法則、$x^{\frac{b}{a}} = \sqrt[a]{x^b}$ で、a は 3、b は 1 ですから、

$$q = q_1^{\frac{1}{3}}$$

$$= \sqrt[3]{1.636772334\times 10^{-4}}$$

$$=0.054701104$$

になります。q も小さな数です。この q から k を求めます。q から k の求め方は、k から q を求めた時と反対の計算を行います。まず q から λ を求めます。

$$\begin{aligned}\lambda &= q-2q^5+5q^9-10q^{13}+18q^{17}-32q^{21}+55q^{25}-\bullet\bullet\bullet\\ &=0.054701104-2\bullet 0.054701104^5+5\bullet 0.054701104^9\bullet\bullet\bullet\bullet\\ &=0.054700124\end{aligned}$$

になります。「楕円関数の数値計算」の章に詳しい説明があります。次に、λ から k'を求めます。λ の式を変形しますと、

$$\frac{1}{2}\bullet\frac{1-\sqrt{k'}}{1+\sqrt{k'}}=\lambda$$

$$1-\sqrt{k'}=2\lambda+2\lambda\sqrt{k'}$$

$$1-2\lambda=\sqrt{k'}(1+2\lambda)$$

$$\sqrt{k'}=\frac{1-2\lambda}{1+2\lambda}$$

$$k'=\left(\frac{1-2\lambda}{1+2\lambda}\right)^2$$

になります。値を代入しますと、

$$k'=\left(\frac{1-2\bullet 0.054700124}{1+2\bullet 0.054700124}\right)^2$$

$$=0.644449101$$

になります。最後に k'から k を求めますと、

$$k=\sqrt{1-k'^2}$$

$$=\sqrt{1-0.644449101^2}$$

$$=0.76464721$$

になりました。n を 3 と決め付けたので、この k が決定されました。n が 3 の場合、k はこの値以下にはなりません。k がこれ以下の、もっと急峻なフィルターを作りたい場合、n を大きくしなくてはなりません。ユーザーの仕様から n、k、A_P、A_S を決める方法は、「楕円関数の数値計算」および「連立チェビシェフフィルター設計ソフトの製作」の章を参照して下さい。

本章の目的は、近似ではなく構成の例題ですので、k をそのままで使います。

k が決定されましたので、

通過域最大減衰値　1[dB]

阻止域最小減衰値　20[dB]

過渡帯域幅　k＝0.76464721

として、伝達関数を求めます。

「連立チェビシェフフィルターの伝達関数」の章で書きましたが、連立チェビシェフフィルターの伝達関数は、

$$\frac{1}{s+a_0}\prod_{a=1}^{\frac{n}{2}}\frac{\omega_{2a}{}^2\left(s^2+\dfrac{1}{\omega_{2a}{}^2}\right)}{s^2+\dfrac{2a_0\sqrt{(k-\omega_{2a}{}^2)(1-k\omega_{2a}{}^2)}}{\sqrt{k}(1+a_0{}^2\omega_{2a}{}^2)}s+\dfrac{a_0{}^2+\omega_{2a}{}^2}{1+a_0{}^2\omega_{2a}{}^2}}$$

です。

(1) a_0 を求める。

「連立チェビシェフフィルターの伝達関数」の章をご参照下さい。

sn の変数が純虚数の場合、sn の値も純虚数になりますので、同章の根の式①の a が 0 の時の ω を求め、1 つの純虚根 ja_0 とするのでした。

sn の変数が純虚数の場合の公式、$sn(ju,k)=j\dfrac{sn(u,k')}{cn(u,k')}$ を使用して、

$$ja_0=\sqrt{k}sn\left(j\frac{2K}{n\pi}z_0K_1',k\right)=j\sqrt{k}\frac{sn\left(\dfrac{2K}{n\pi}z_0K_1',k'\right)}{cn\left(\dfrac{2K}{n\pi}z_0K_1',k'\right)}$$

となります。両辺に j が有るので、

$$a_0=\sqrt{k}\frac{sn\left(\dfrac{2K}{n\pi}z_0K_1',k'\right)}{cn\left(\dfrac{2K}{n\pi}z_0K_1',k'\right)}$$

です。「連立チェビシェフフィルターの伝達関数」の章では、分母の cn を sn で表してから計算を続けましたが、本章では cn をそのままで計算します。このほうが計算量が少なくなります。母数が k'の場合、

sn(u,k')は、$\dfrac{1}{\sqrt{k'}}\bullet\dfrac{\vartheta_1(v)}{\vartheta_0(v)}$

cn(u,k')は、$\dfrac{\sqrt{k}}{\sqrt{k'}}\bullet\dfrac{\vartheta_2(v)}{\vartheta_0(v)}$

となります。「テータ関数の解説」の章をご覧下さい。sn(u,k')/cn(u,k')を求めますと、

$$\frac{sn(u,k')}{cn(u,k')}=\frac{1}{\sqrt{k'}}\bullet\frac{\vartheta_1(v)}{\vartheta_0(v)}\bullet\frac{\sqrt{k'}}{\sqrt{k}}\bullet\frac{\vartheta_0(v)}{\vartheta_2(v)}$$

$$=\frac{1}{\sqrt{k}}\bullet\frac{\vartheta_1(v)}{\vartheta_2(v)}$$

になります。a_0の式は、

$$a_0=\sqrt{k}\bullet\frac{1}{\sqrt{k}}\bullet\frac{\vartheta_1(v)}{\vartheta_2(v)}$$
$$=\frac{\vartheta_1(v)}{\vartheta_2(v)}$$

と簡単になりました。a_0の式の母数は k'です。q'を使いますので$\vartheta_1(v)$と$\vartheta_2(v)$は、

$$\vartheta_1(v)=2\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n q'^{(n+\frac{1}{2})^2}\sin(2n+1)\pi v$$

$$=2q'^{\frac{1}{4}}\sin\pi v-2q'^{\frac{9}{4}}\sin 3\pi v+2q'^{\frac{25}{4}}\sin 5\pi v\bullet\bullet\bullet$$

$$=2q'^{\frac{1}{4}}(\sin\pi v-q'^2\sin 3\pi v+q'^6\sin 5\pi v\bullet\bullet\bullet)$$

$$\vartheta_2(v)=2\sum_{n=0}^{\infty}q'^{(n+\frac{1}{2})^2}\cos(2n+1)\pi v$$

$$=2q'^{\frac{1}{4}}\cos\pi v+2q'^{\frac{9}{4}}\cos 3\pi v+2q'^{\frac{25}{4}}\cos 5\pi v\bullet\bullet\bullet$$

$$=2q'^{\frac{1}{4}}(\cos\pi v+q'^2\cos 3\pi v+q'^6\cos 5\pi v\bullet\bullet\bullet)$$

になります。a_0の式は、

$$a_0=\frac{\vartheta_1(v)}{\vartheta_2(v)}=\frac{2q'^{\frac{1}{4}}(\sin\pi v-q'^2\sin 3\pi v+q'^6\sin 5\pi v\bullet\bullet\bullet)}{2q'^{\frac{1}{4}}(\cos\pi v+q'^2\cos 3\pi v+q'^6\cos 5\pi v\bullet\bullet\bullet)}$$
$$=\frac{\sin\pi v-q'^2\sin 3\pi v+q'^6\sin 5\pi v\bullet\bullet\bullet}{\cos\pi v+q'^2\cos 3\pi v+q'^6\cos 5\pi v\bullet\bullet\bullet}$$

となります。後ほど分りますが q'は小さな数ですので、分子分母共に第 3 項まで計算すれば十分です。v を求めます。母数が k'ですから、$v=\dfrac{u}{2K'}$です。$u=\dfrac{2K}{n\pi}z_0K_1'$ですから、

$$v=\frac{\frac{2K\bullet z_0K_1'}{n\pi}}{2K'}=\frac{2K\bullet z_0K_1'}{n\pi}\bullet\frac{1}{2K'}=\frac{1}{\pi}\bullet\frac{K}{K'}\bullet\frac{z_0K_1'}{n}$$

となります。「連立チェビシェフフィルターの 2 乗 ω 特の因数分解」の章で書きました通り、z_0K_1'は、

$$z_0K_1'=\pm\sinh^{-1}\left(\frac{1}{\sqrt{10^{\frac{A_P}{10}}-1}}\right)$$

の＋側を採用しますから、

$$z_0K_1'=\sinh^{-1}\left(\frac{1}{\sqrt{10^{\frac{A_P}{10}}-1}}\right)$$

となります。$\frac{K}{K'}$を求めるには、既に q 値があるのでそれを使います。q のもともとの定義は、

$$q=e^{-\pi\frac{K'}{K}}$$

でした。$\frac{K'}{K}$を求める為、この式を変形しますと、

$$-\pi\frac{K'}{K}=\mathrm{Log}_e q$$

$$\frac{K'}{K}=-\frac{\mathrm{Log}_e q}{\pi}$$

になります。さらに変形し、

$$K'\pi=-K\bullet\mathrm{Log}_e q$$

$$\pi=\frac{K}{K'}\bullet(-\mathrm{Log}_e q)$$

$$\frac{K}{K'}=-\frac{\pi}{\mathrm{Log}_e q}$$

となります。

a_0の式では q'値も必要です。母数 k に対する q の値は、

$$q=e^{-\pi\frac{K'}{K}}$$

でした。母数 k による完全楕円積分値 K が e の指数分母、複母数 k'による完全楕円積分値 K'が e の指数分子です。q'の定義では、副母数 k'による完全楕円積分値 K'が e の指数分母、母数

k による完全楕円積分値 K が e の指数分子に入れ替わり、

$$q' = e^{-\pi\frac{K}{K'}}$$

になります。上で求めた $\frac{K}{K'}$ の結果を使い、

$$q' = e^{-\pi\frac{K}{K'}} = e^{\left(-\pi \bullet -\frac{\pi}{\mathrm{Log}_e q}\right)} = e^{\frac{\pi^2}{\mathrm{Log}_e q}}$$

となります。n＝3、A_P＝1[dB]、q＝0.054701104 ですから、

$$\frac{\sinh^{-1}\left(\frac{1}{\sqrt{10^{\frac{A_P}{10}}-1}}\right)}{n} = \frac{\sinh^{-1}\left(\frac{1}{\sqrt{10^{\frac{1}{10}}-1}}\right)}{3} = 0.475991786$$

$$\frac{K}{K'} = -\frac{\pi}{\mathrm{Log}_e q} = 1.081118957$$

$$v = \frac{1}{\pi} \bullet \frac{K}{K'} \bullet \frac{z_0 K_1'}{n} = \frac{1}{\pi} \bullet 1.081118957 \bullet 0.475991786$$

$$q' = e^{\frac{\pi^2}{\mathrm{Log}_e q}} = 0.033492445$$

となります。a_0 の式に v と q'を代入します。各項で v の π が約分され、

$$a_0 = \frac{\sin \pi v - q'^2 \sin 3\pi v + q'^6 \sin 5\pi v}{\cos \pi v + q'^2 \cos 3\pi v + q'^6 \cos 5\pi v}$$

$$= \frac{\sin(1.081118957 \bullet 0.475991786)}{\cos(1.081118957 \bullet 0.475991786)}$$

$$\frac{-0.033492445^2 \bullet \sin(3 \bullet 1.081118957 \bullet 0.475991786)}{+0.033492445^2 \bullet \cos(3 \bullet 1.081118957 \bullet 0.475991786)}$$

$$\frac{+0.033492445^6 \bullet \sin(5 \bullet 1.081118957 \bullet 0.475991786)}{+0.033492445^6 \bullet \cos(5 \bullet 1.081118957 \bullet 0.475991786)}$$

$$= 0.564110754$$

となりました。

(2) ω_2 を求める。

「連立チェビシェフフィルターの伝達関数」の章もご参照下さい。

各零点 ω_{2a} は、

$$\omega_{2a} = \sqrt{k}\,\mathrm{sn}\left(\frac{2aK}{n}, k\right)$$

と表わされるのでした。a は 1 から $\frac{n}{2}$ 未満の自然数です。今回は n＝3 ですから、a は 1 だけです。ω_{2a} は ω_2 のみ求めれば良いです。母数が k の場合、

$$\mathrm{sn}(u,k) \text{は、} \frac{1}{\sqrt{k}} \bullet \frac{\vartheta_1(v)}{\vartheta_0(v)}$$

となります。母数が k ですから、$v = \frac{u}{2K}$ です。「テータ関数の解説」の章をご覧下さい。

$$\omega_2 = \sqrt{k} \bullet \frac{1}{\sqrt{k}} \bullet \frac{\vartheta_1(v)}{\vartheta_0(v)} = \frac{\vartheta_1(v)}{\vartheta_0(v)}$$

$$v = \frac{2aK}{n} \bullet \frac{1}{2K} = \frac{a}{n} = \frac{1}{3}$$

になります。$\vartheta_0(v)$は、

$$\begin{aligned}\vartheta_0(v) &= 1 + 2\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n q^{n^2} \cos 2n\pi v \\ &= 1 - 2q\cos 2\pi v + 2q^4 \cos 4\pi v - 2q^9 \cos 6\pi v \bullet\bullet\bullet\end{aligned}$$

です。q は小さな数でしたので、この式は第 4 項まで計算すれば十分です。$\vartheta_1(v)$は、

$$\begin{aligned}\vartheta_1(v) &= 2\sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n q^{(n+\frac{1}{2})^2} \sin(2n+1)\pi v \\ &= 2q^{\frac{1}{4}} \sin \pi v - 2q^{\frac{9}{4}} \sin 3\pi v + 2q^{\frac{25}{4}} \sin 5\pi v \bullet\bullet\bullet \\ &= 2q^{\frac{1}{4}}(\sin \pi v - q^2 \sin 3\pi v + q^6 \sin 5\pi v \bullet\bullet\bullet)\end{aligned}$$

です。q は小さな数でしたので、この式は括弧内第 3 項まで計算すれば十分です。ω_2 を求めます。q＝0.054701104 ですから、

$$\omega_2=\frac{\vartheta_1(v)}{\vartheta_0(v)}=\frac{2q^{\frac{1}{4}}(\sin\pi v-q^2\sin3\pi v+q^6\sin5\pi v)}{1-2q\cos2\pi v+2q^4\cos4\pi v-2q^9\cos6\pi v}$$

$$=\frac{2\bullet0.054701104^{0.25}\left(\sin\frac{\pi}{3}-0.054701104^2\bullet\sin\frac{3\pi}{3}+0.054701104^6\bullet\sin\frac{5\pi}{3}\right)}{1-2\bullet0.054701104\bullet\cos\frac{2\pi}{3}+2\bullet0.054701104^4\bullet\cos\frac{4\pi}{3}-2\bullet0.054701104^9\bullet\cos\frac{6\pi}{3}}$$

$$=0.79420739$$

となりました。a_0 と ω_2 が求まりましたので、伝達関数の Π 部分の分母を計算しますと、

$$s^2+\frac{2a_0\sqrt{(k-\omega_2{}^2)(1-k\omega_2{}^2)}}{\sqrt{k}(1+a_0{}^2\omega_2{}^2)}s+\frac{a_0{}^2+\omega_2{}^2}{1+a_0{}^2\omega_2{}^2}$$

$$=s^2+$$

$$\frac{2\bullet0.564110754\bullet\sqrt{(0.76464721-0.79420739^2)\bullet(1-0.76464721\bullet0.79420739^2)}}{\sqrt{0.76464721}\bullet(1+0.564110754^2\bullet0.79420739^2)}s+$$

$$\frac{0.564110754^2+0.79420739^2}{1+0.564110754^2\bullet0.79420739^2}$$

$$=s^2+0.28288866\,s+0.790345913$$

$$=s^2+0.28288866\,s+0.889014012^2$$

になります。伝達関数の Π 部分の分子を計算しますと、

$$\omega_2{}^2(s^2+\frac{1}{\omega_2{}^2})=0.79420739^2\bullet(s^2+\frac{1}{0.79420739^2})$$

$$=0.79420739^2\bullet(s^2+1.25911697^2)$$

になります。頭の 0.79420739^2 は定数なので、無くても変化させても構いません。全体の利得が変わるだけです。3 次連立チェビシェフフィルターの伝達関数は、

$$\frac{1}{s+0.564110754}\bullet\frac{s^2+1.25911697^2}{s^2+0.28288866s+0.889014012^2}$$

となりました。後に出てくる行列が紙面よりはみ出す為、ここから桁数を少なくします。

伝達関数を逆数にしますと、

$$\frac{(s+0.5641)(s^2+0.2829s+0.8890^2)}{s^2+1.2591^2}$$

$$=\frac{s^3+0.2829s^2+0.7901s+0.5641s^2+0.1596s+0.4456}{s^2+1.2591^2}$$

$$=\frac{s^3+0.8469s^2+0.9497s+0.4456}{s^2+1.5851}$$

になります。上式では s＝0、つまり角周波数 0 での利得が 1 ではありません。角周波数 0 での利得を 1 にする為に分子に 1.5851、分母に 0.4456 を掛け、定数項の値を同じにしますと、

$$\frac{1.5851(s^3+0.8469s^2+0.9497s+0.4456)}{0.4456(s^2+1.5851)}$$

$$=\frac{1.5851s^3+1.3424s^2+1.5054s+0.7063}{0.4456s^2+0.7063}$$

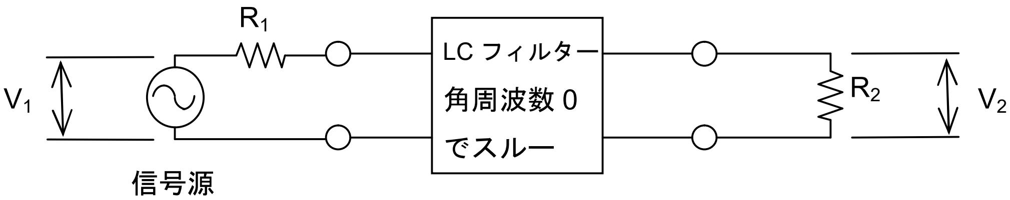
になります。これは定数 $\frac{1.5851}{0.4456}$ を掛けたことと同じで、全体の利得が変わるだけです。

定数項を 1 にする為、更に分子分母に 1.4158 を掛けますと、

$$=\frac{2.2442s^3+1.9006s^2+2.1313s+1}{0.6309s^2+1}$$

になります。ここから先のことは、「はしご型 LC フィルターの設計」の章に詳しい説明があります。

R_1－R_2 LC フィルター回路の $\frac{R_1}{R_2}=1$ では、角周波数 0 において必然的に $\frac{V_2}{V_1}=\frac{1}{2}$ の減衰が起こります。R_1 と R_2 で抵抗の分圧回路になるからです。下図をご覧下さい。



伝達関数の逆数に、$\frac{1}{2}$ の逆数 2 を掛けますと、

$$\frac{2(2.2442\ s^3+1.9006\ s^2+2.1313\ s+1)}{0.6309\ s^2+1}$$

$$=\frac{4.4884\ s^3+3.8012\ s^2+4.2626\ s+2}{0.6309\ s^2+1}$$

になります。これが R_1 と R_2 を含めた、全体の四端子回路での伝達関数の逆数です。伝達関数逆数の極つまり伝達関数の零点は、式の分母において $0.6309s^2+1=0$ が成り立つ s となりますのでご記憶下さい。この式に $s=j\omega$ を代入しますと、

$$\frac{4.4884\ (j\omega)^3+3.8012\ (j\omega)^2+4.2626\ (j\omega)+2}{0.6309\ (j\omega)^2+1}$$

$$=\frac{-j4.4884\ \omega^3-3.8012\ \omega^2+j4.2626\ \omega+2}{-0.6309\ \omega^2+1}$$

$$=\frac{2-3.8012\ \omega^2+j(4.2626\ \omega-4.4884\ \omega^3)}{1-0.6309\ \omega^2}$$

になり、$g(\omega)=\frac{2-3.8012\ \omega^2}{1-0.6309\ \omega^2}$ と、$u(\omega)=\frac{4.2626\omega-4.4884\omega^3}{1-0.6309\omega^2}$ が分ります。g (ω)、u (ω)については「はしご型 LC フィルターの設計」の章をご覧下さい。式に $s=-j\omega$ を代入しますと、

$$\frac{4.4884\ (-j\omega)^3+3.8012\ (-j\omega)^2+4.2626\ (-j\omega)+2}{0.6309\ (-j\omega)^2+1}$$

$$=\frac{j4.4884\ \omega^3-3.8012\ \omega^2-j4.2626\ \omega+2}{-0.6309\ \omega^2+1}$$

$$=\frac{2-3.8012\ \omega^2-j(4.2626\ \omega-4.4884\ \omega^3)}{1-0.6309\ \omega^2}$$

になります。s＝jω 代入式と s＝－jω 代入式とを掛け合わせ、周波数伝達関数の絶対値の 2 乗の逆数を求めますと、

$$\frac{2-3.8012\,\omega^2+j(4.2626\,\omega-4.4884\,\omega^3)}{1-0.6309\,\omega^2}\bullet\frac{2-3.8012\,\omega^2-j(4.2626\,\omega-4.4884\,\omega^3)}{1-0.6309\,\omega^2}$$

$$=\frac{(2-3.8012\,\omega^2)^2+(4.2626\,\omega-4.4884\,\omega^3)^2}{(1-0.6309\,\omega^2)^2}$$

$$=\frac{4-15.2048\,\omega^2+14.4491\,\omega^4+18.1698\,\omega^2-38.2645\,\omega^4+20.1457\,\omega^6}{(1-0.6309\,\omega^2)^2}$$

$$=\frac{20.1457\,\omega^6-23.8154\,\omega^4+2.965\,\omega^2+4}{(1-0.6309\,\omega^2)^2}$$

になります。ここで P^2＋Q^2 の探索を行います。周波数伝達関数の絶対値の逆数の 2 乗から 4 を引きますと、

$$P^2+Q^2=\frac{20.1457\,\omega^6-23.8154\,\omega^4+2.965\,\omega^2+4}{(1-0.6309\,\omega^2)^2}-4$$

$$=\frac{20.1457\,\omega^6-23.8154\,\omega^4+2.965\,\omega^2+4-4\{(1-0.6309\,\omega^2)^2\}}{(1-0.6309\,\omega^2)^2}$$

$$=\frac{20.1457\,\omega^6-23.8154\,\omega^4+2.965\,\omega^2+4-4(0.3980\,\omega^4-1.2618\,\omega^2+1)}{(1-0.6309\,\omega^2)^2}$$

$$=\frac{20.1457\,\omega^6-23.8154\,\omega^4+2.965\,\omega^2+4-1.592\,\omega^4+5.0472\,\omega^2-4}{(1-0.6309\,\omega^2)^2}$$

$$=\frac{20.1457\,\omega^6-25.4074\,\omega^4+8.0122\,\omega^2}{(1-0.6309\,\omega^2)^2}$$

になります。この式は因数分解が出来、

$$=\frac{(\sqrt{20.1457}\,\omega^3-\sqrt{8.0122}\,\omega)^2}{(1-0.6309\,\omega^2)^2}$$

$$=\left(\frac{4.4884\,\omega^3-2.8305\,\omega}{1-0.6309\,\omega^2}\right)^2$$

となります。奇多項式の 2 乗となりました。したがって、

偶多項式の 2 乗は無いので、P^2＝0 となります。

奇多項式の 2 乗があり、$Q^2=\left(\dfrac{4.4884\,\omega^3-2.8305\,\omega}{1-0.6309\,\omega^2}\right)^2$ となります。2 乗をはずして、

$$P(\omega)=0$$

$$Q(\omega)=\pm\frac{4.4884\,\omega^3-2.8305\,\omega}{1-0.6309\,\omega^2}$$

が求まります。結果をまとめますと、

$$g(\omega)=\frac{2-3.8012\,\omega^2}{1-0.6309\,\omega^2}$$

$$u(\omega)=\frac{4.2628\,\omega-4.4884\,\omega^3}{1-0.6309\,\omega^2}$$

$$P(\omega)=0$$

$$Q(\omega)=\pm\frac{4.4884\,\omega^3-2.8305\,\omega}{1-0.6309\,\omega^2}$$

$$R_1=R_2=1\ [\Omega]$$

になります。本章では Q(ω)について、$+\dfrac{4.4884\,\omega^3-2.8305\,\omega}{1-0.6309\,\omega^2}$ を採用します。一側を採用する場合については「3 次連立チェビシェフフィルターの設計その 2」をご覧下さい。

R_1 と R_2 を含めない LC だけのリアクタンス回路部分の、交流理論四端子定数に、以上の値を代入しますと、

$$\begin{bmatrix} a(j\omega) & b(j\omega) \\ c(j\omega) & d(j\omega) \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} \dfrac{g(\omega)\mp P(\omega)}{2} & jR_2\dfrac{u(\omega)\mp Q(\omega)}{2} \\ j\dfrac{u(\omega)\pm Q(\omega)}{2R_1} & \dfrac{g(\omega)\pm P(\omega)}{2\dfrac{R_1}{R_2}} \end{bmatrix}$$

$$=\begin{bmatrix} \dfrac{\dfrac{2-3.8012\,\omega^2}{1-0.6309\,\omega^2}}{2} & j\dfrac{\dfrac{4.2628\,\omega-4.4884\,\omega^3}{1-0.6309\,\omega^2}-\dfrac{4.4884\,\omega^3-2.8305\,\omega}{1-0.6309\,\omega^2}}{2} \\ j\dfrac{\dfrac{4.2628\,\omega-4.4884\,\omega^3}{1-0.6309\,\omega^2}+\dfrac{4.4884\,\omega^3-2.8305\,\omega}{1-0.6309\,\omega^2}}{2} & \dfrac{\dfrac{2-3.8012\,\omega^2}{1-0.6309\,\omega^2}}{2} \end{bmatrix}$$

$$=\begin{bmatrix} \dfrac{2-3.8012\,\omega^2}{2(1-0.6309\,\omega^2)} & j\left\{\dfrac{4.2628\,\omega-4.4884\,\omega^3}{2(1-0.6309\,\omega^2)}-\dfrac{4.4884\,\omega^3-2.8305\,\omega}{2(1-0.6309\,\omega^2)}\right\} \\ j\left\{\dfrac{4.2628\,\omega-4.4884\,\omega^3}{2(1-0.6309\,\omega^2)}+\dfrac{4.4884\,\omega^3-2.8305\,\omega}{2(1-0.6309\,\omega^2)}\right\} & \dfrac{2-3.8012\,\omega^2}{2(1-0.6309\,\omega^2)} \end{bmatrix}$$

$$
=\begin{bmatrix} \dfrac{2-3.8012\,\omega^2}{2(1-0.6309\,\omega^2)} & j\dfrac{4.2628\,\omega-4.4884\,\omega^3-4.4884\,\omega^3+2.8305\,\omega}{2(1-0.6309\,\omega^2)} \\ j\dfrac{4.2628\,\omega-4.4884\,\omega^3+4.4884\,\omega^3-2.8305\,\omega}{2(1-0.6309\,\omega^2)} & \dfrac{2-3.8012\,\omega^2}{2(1-0.6309\,\omega^2)} \end{bmatrix}
$$

$$
=\begin{bmatrix} \dfrac{2-3.8012\,\omega^2}{2(1-0.6309\,\omega^2)} & j\dfrac{-8.9768\,\omega^3+7.0933\,\omega}{2(1-0.6309\,\omega^2)} \\ j\dfrac{1.4323\,\omega}{2(1-0.6309\,\omega^2)} & \dfrac{2-3.8012\,\omega^2}{2(1-0.6309\,\omega^2)} \end{bmatrix}
$$

$$
=\begin{bmatrix} \dfrac{1-1.9006\,\omega^2}{1-0.6309\,\omega^2} & j\dfrac{-4.4884\,\omega^3+3.5467\,\omega}{1-0.6309\,\omega^2} \\ j\dfrac{0.7162\,\omega}{1-0.6309\,\omega^2} & \dfrac{1-1.9006\,\omega^2}{1-0.6309\,\omega^2} \end{bmatrix}
$$

になります。$\omega=\dfrac{s}{j}=-js$ で、ω をラプラスの世界のリアクタンス A、B、C、D に移しますと、

$$
\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} \dfrac{1-1.9006\,\omega^2}{1-0.6309\,\omega^2} & j\dfrac{-4.4884\,\omega^3+3.5467\,\omega}{1-0.6309\,\omega^2} \\ j\dfrac{0.7162\,\omega}{1-0.6309\,\omega^2} & \dfrac{1-1.9006\,\omega^2}{1-0.6309\,\omega^2} \end{bmatrix} \quad \text{に } \omega = -js \text{ を行い}
$$

$$
=\begin{bmatrix} \dfrac{1-1.9006\,(-js)^2}{1-0.6309\,(-js)^2} & j\dfrac{-4.4884\,(-js)^3+3.5467\,(-js)}{1-0.6309\,(-js)^2} \\ j\dfrac{0.7162\,(-js)}{1-0.6309\,(-js)^2} & \dfrac{1-1.9006\,(-js)^2}{1-0.6309\,(-js)^2} \end{bmatrix}
$$

$$
=\begin{bmatrix} \dfrac{1+1.9006\,s^2}{1+0.6309\,s^2} & \dfrac{j(-j4.4884\,s^3-j3.5467\,s)}{1+0.6309\,s^2} \\ \dfrac{j(-j0.7162\,s)}{1+0.6309\,s^2} & \dfrac{1+1.9006\,s^2}{1+0.6309\,s^2} \end{bmatrix}
$$

$$
=\begin{bmatrix} \dfrac{1+1.9006\,s^2}{1+0.6309\,s^2} & \dfrac{4.4884\,s^3+3.5467\,s}{1+0.6309\,s^2} \\ \dfrac{0.7162\,s}{1+0.6309\,s^2} & \dfrac{1+1.9006\,s^2}{1+0.6309\,s^2} \end{bmatrix} \cdots ③
$$

になります。これが R_1 と R_2 を含めない LC だけのリアクタンス回路部分の、ラプラスの世界での四端子定数です。検算を行ってみます。まず AD－BC を計算しますと、

$$AD - BC = \frac{1+1.9006\,s^2}{1+0.6309\,s^2} \bullet \frac{1+1.9006\,s^2}{1+0.6309\,s^2} - \frac{4.4884\,s^3+3.5467\,s}{1+0.6309\,s^2} \bullet \frac{0.7162\,s}{1+0.6309\,s^2}$$

$$= \frac{3.6123\,s^4+3.8012\,s^2+1}{0.3980\,s^4+1.2618\,s^2+1} - \frac{3.2146\,s^4+2.5401\,s^2}{0.3980\,s^4+1.2618\,s^2+1}$$

$$= \frac{0.3977\,s^4+1.2611\,s^2+1}{0.3980\,s^4+1.2618\,s^2+1}$$

$$= 1$$

になります。このリアクタンス回路に、R_1＝1 [Ω]、R_2＝1 [Ω]を接続した時の四端子定数は、

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dfrac{1+1.9006\,s^2}{1+0.6309\,s^2} & \dfrac{4.4884\,s^3+3.5467\,s}{1+0.6309\,s^2} \\ \dfrac{0.7162\,s}{1+0.6309\,s^2} & \dfrac{1+1.9006\,s^2}{1+0.6309\,s^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \dfrac{1+1.9006\,s^2}{1+0.6309\,s^2} + \dfrac{0.7162\,s}{1+0.6309\,s^2} & \dfrac{4.4884\,s^3+3.5467\,s}{1+0.6309\,s^2} + \dfrac{1+1.9006\,s^2}{1+0.6309\,s^2} \\ \dfrac{0.7162\,s}{1+0.6309\,s^2} & \dfrac{1+1.9006\,s^2}{1+0.6309\,s^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \dfrac{1+1.9006\,s^2+0.7162\,s}{1+0.6309\,s^2} & \dfrac{4.4884\,s^3+3.5467\,s+1+1.9006\,s^2}{1+0.6309\,s^2} \\ \dfrac{0.7162\,s}{1+0.6309\,s^2} & \dfrac{1+1.9006\,s^2}{1+0.6309\,s^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \dfrac{1+1.9006s^2+0.7162s}{1+0.6309s^2} + \dfrac{4.4884s^3+3.5467s+1+1.9006s^2}{1+0.6309s^2} & \dfrac{4.4884s^3+3.5467s+1+1.9006s^2}{1+0.6309s^2} \\ \dfrac{0.7162s}{1+0.6309s^2} + \dfrac{1+1.9006s^2}{1+0.6309s^2} & \dfrac{1+1.9006s^2}{1+0.6309s^2} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \dfrac{4.4884s^3+3.8012s^2+4.2629s+2}{1+0.6309s^2} & \dfrac{4.4884s^3+1.9006s^2+3.5467s+1}{1+0.6309s^2} \\ \dfrac{1.9006s^2+0.7162s+1}{1+0.6309s^2} & \dfrac{1+1.9006s^2}{1+0.6309s^2} \end{bmatrix}$$

となり、全体の四端子定数の A の位置に目的の伝達関数逆数が出ています。

それでは、③式のリアクタンス四端子回路の構成を行います。四端子回路の入力インピーダンスを求める式を次の様に変形します。

$$Z_{in}=\frac{V_1}{I_1}=\frac{(AR_2+B)I_2}{(CR_2+D)I_2}=\frac{AR_2+B}{CR_2+D}=\frac{A\frac{R_2}{R_2}+\frac{B}{R_2}}{C\frac{R_2}{R_2}+\frac{D}{R_2}}=\frac{A+\frac{B}{R_2}}{C+\frac{D}{R_2}}$$

リアクタンスのみの四端子定数において、負荷抵抗 R_2 をはずし、出力を開放した場合、上式の R_2 は無限大となります。その時、Z_{in} は $\frac{A}{C}$ であり、入力インピーダンスは入力リアクタンスになります。入力リアクタンス X_{in} は、

$$X_{in}=\frac{A}{C}=\frac{\frac{1+1.9006\ s^2}{1+0.6309\ s^2}}{\frac{0.7162\ s}{1+0.6309\ s^2}}$$

$$=\frac{1.9006\ s^2+1}{1+0.6309\ s^2}\bullet\frac{1+0.6309\ s^2}{0.7162\ s}$$

$$=\frac{1.9006\ s^2+1}{0.7162\ s}$$

となります。ここで入力リアクタンスの極値を求める為、入力リアクタンス X_{in} の分子分母を s で割りますと、

$$=\frac{1.9006\ s+\frac{1}{s}}{0.7162}$$

になります。s が 0 の時、

$$\lim_{s\to 0}=\frac{1.9006\ s+\frac{1}{s}}{0.7162}=\infty$$

となり、リアクタンスは無限大になります。s が∞の時、

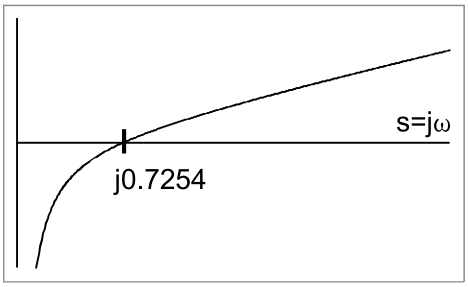
$$\lim_{s\to\infty}=\frac{1.9006\ s+\frac{1}{s}}{0.7162}=\infty$$

となり、リアクタンスは同じく無限大になります。入力リアクタンス X_{in} の分子を 0 と置き、

この方程式を解きますと、

$$1.9006\ s^2 + 1 = 0$$
$$1.9006\ s^2 = -1$$
$$s^2 = -\frac{1}{1.9006}$$
$$s = \pm\sqrt{-\frac{1}{1.9006}}$$
$$s = \pm j0.7254$$

になり、入力リアクタンス X_{in} の零点は、s＝±j0.7254 であることが分ります。リアクタンス関数の傾きは常に右肩上がりですから、プラス側をグラフに描きますと下図の様になります。



一方、伝達関数の逆数は、

$$\frac{4.4884\ s^3 + 3.8012\ s^2 + 4.2626\ s + 2}{0.6309\ s^2 + 1}$$

です。伝達関数の逆数の極、つまり伝達関数の零点は、上式分母を 0 にする角周波数です。その値は、

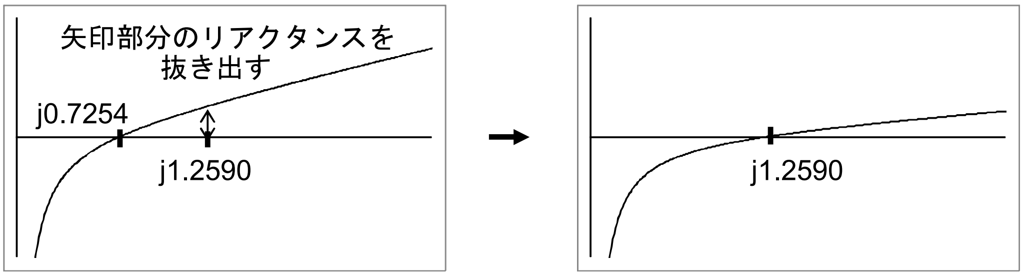
$$0.6309\ s^2 + 1 = 0$$
$$0.6309\ s^2 = -1$$
$$s^2 = -\frac{1}{0.6309}$$
$$s = \pm\sqrt{-\frac{1}{0.6309}}$$

$$s = \pm j1.2590$$

となり、伝達関数の零点は s＝±j1.2590 であることが分ります。

　この角周波数でリアクタンスが 0 になる場所から出力を取る必要があります。そうしないと出力に零点が出来ません。つまり、入力リアクタンスが X_{in} で、零点が違うところに存在する様にしなければなりません。

　j0.7254 の零点を j1.2590 に持って来るには、この入力リアクタンスが j1.2590 で持つリアクタンス成分を、抜き出してしまえば良いです。残ったリアクタンス成分は落ち込み、j1.2590 で零点を持つことになります。下図の通りです。



　入力リアクタンス X_{in} の s＝j1.2590 でのリアクタンスは、

$$\begin{aligned}\frac{1.9006\,(j1.2590)^2+1}{0.7162\,(j1.2590)} &= \frac{1.9006\,(-1.5851)+1}{j0.9017}\\ &= \frac{-3.0126+1}{j0.9017}\\ &= \frac{-2.0126}{j0.9017}\\ &= -j\frac{-2.0126}{0.9017}\\ &= j2.2320\ [\Omega]\end{aligned}$$

となります。これは正のリアクタンスですから誘導性で $j\omega L[\Omega]$を表わします。したがって抜き出すべきインダクタンス、L は、

$$L=\frac{j\omega L}{j\omega}=\frac{j2.2320}{j1.2590}=1.7728\ [\mathrm{H}]$$

となります。このインダクタンスを s の世界のリアクタンス sL に直し、入力リアクタンス X_{in} から引きますと、

$$\frac{1.9006\ s^2+1}{0.7162\ s}-1.7728\ s=\frac{1.9006\ s^2+1}{0.7162\ s}-\frac{1.2697\ s^2}{0.7162\ s}$$

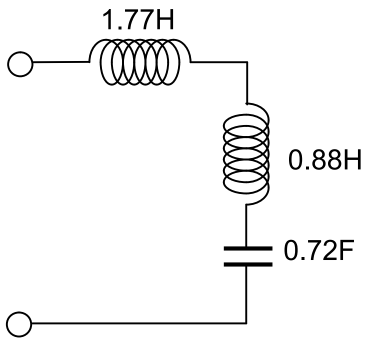
$$=\frac{0.6309\ s^2+1}{0.7162\ s}$$

になります。これが残りのリアクタンスです。この残りリアクタンスの零点は伝達関数零点に一致します。残りリアクタンスの計算を進めますと、

$$\frac{0.6309\ s^2+1}{0.7162\ s}=\frac{0.6309\ s^2}{0.7162\ s}+\frac{1}{0.7162\ s}$$

$$=0.8809\ s+\frac{1}{0.7162\ s}$$

になります。これは、コイルのリアクタンス sL と、コンデンサのリアクタンス $\frac{1}{sC}$ が直列につながったリアクタンスです。LC 直列共振回路と呼ぶ回路です。L=0.8809[H]、C=0.7162[F]となります。この結果入力リアクタンス回路は、



となりました。抜き出した L と LC 直列共振回路との直列回路となり、コイルのつなぎ目で s＝j1.2590 の零点が生じます。

このつなぎ目から出力を取れば良い様に思いますが、それでは駄目です。③式リアクタンス四端子回路の出力インピーダンスを求めれば分ります。

四端子回路の出力インピーダンスを求める式を、次の様に変形しますと、

$$Z_{out}=\frac{V_2}{I_2}=\frac{(DR_1+B)I_1}{(CR_1+A)I_1}=\frac{DR_1+B}{CR_1+A}=\frac{D\frac{R_1}{R_1}+\frac{B}{R_1}}{C\frac{R_1}{R_1}+\frac{A}{R_1}}=\frac{D+\frac{B}{R_1}}{C+\frac{A}{R_1}}$$

になります。リアクタンスのみの四端子定数において、入力抵抗 R_1 をはずし、入力を開放した場合、上式の R_1 は無限大となります。その時、Z_{out} は $\frac{D}{C}$ であり、出力インピーダンスは出

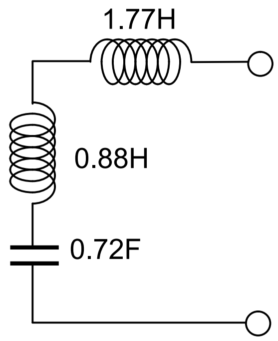
カリアクタンスになります。出力リアクタンス X_{out} は、

$$X_{out} = \frac{D}{C} = \frac{\dfrac{1+1.9006\ s^2}{1+0.6309\ s^2}}{\dfrac{0.7162\ s}{1+0.6309\ s^2}}$$

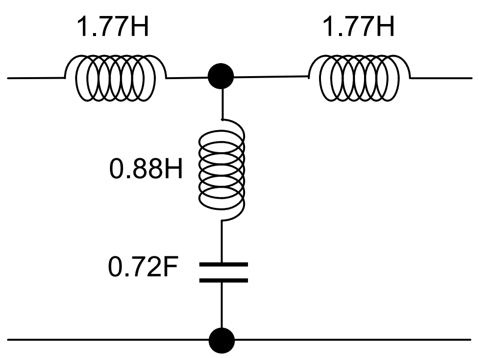
$$= \frac{1.9006\ s^2+1}{1+0.6309\ s^2} \bullet \frac{1+0.6309\ s^2}{0.7162\ s}$$

$$= \frac{1.9006\ s^2+1}{0.7162\ s}$$

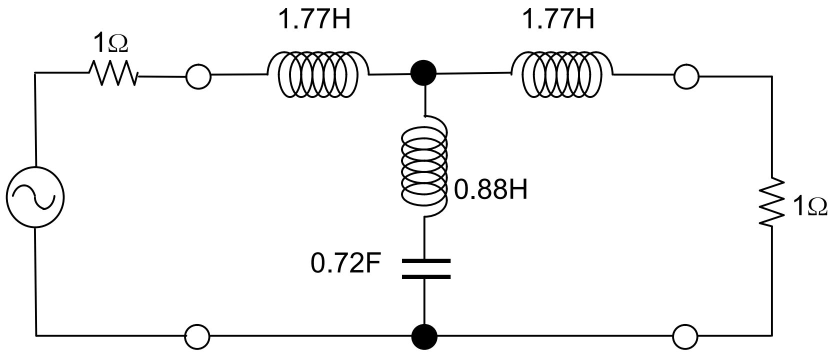
となります。この値は出力開放時の入力リアクタンス X_{in} と同じです。入力開放時の出力リアクタンスで作った回路は、入力リアクタンスで作った回路を裏から見た、



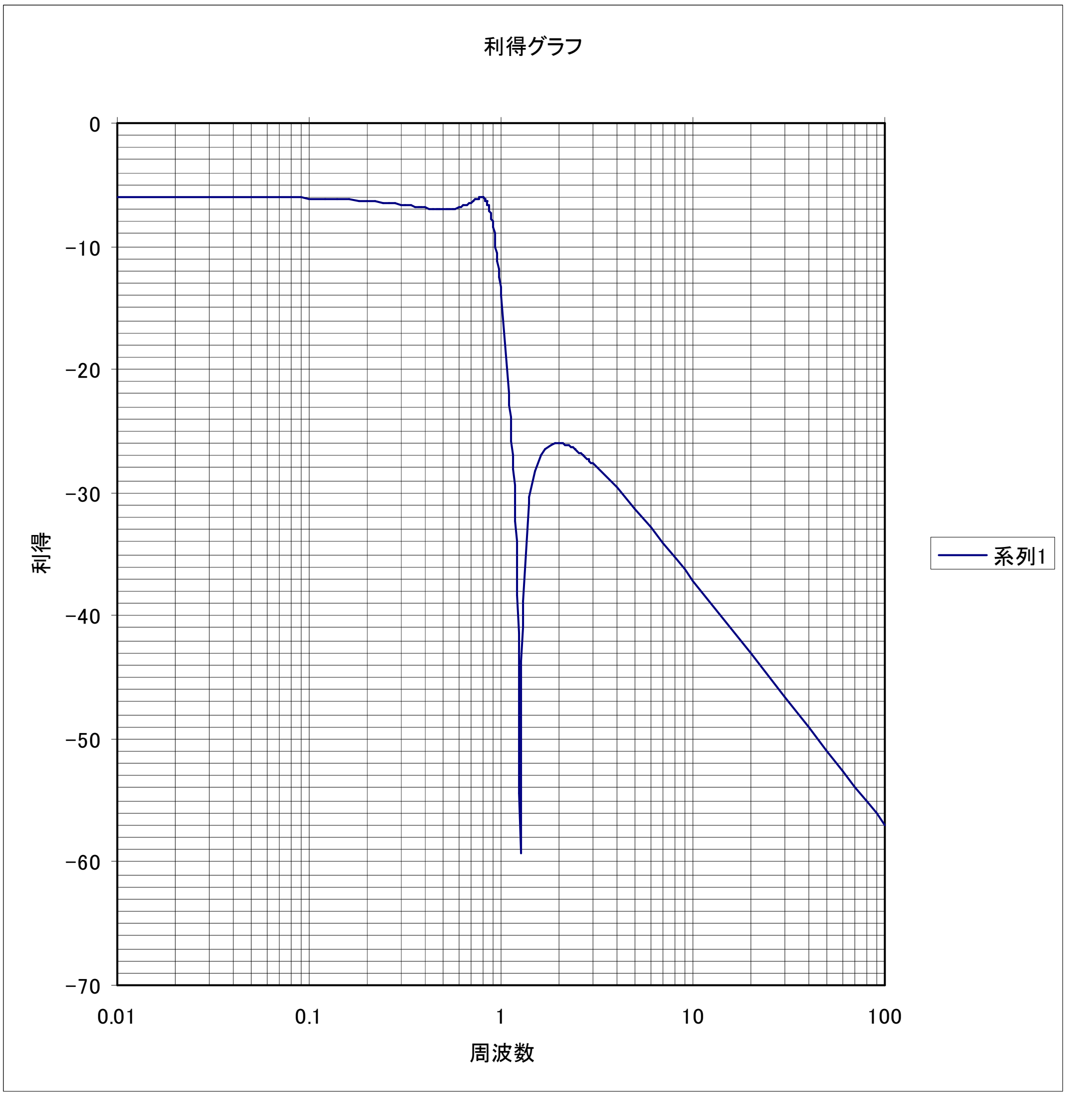
となります。したがって入出力開放で、入力から内側を見ても、出力から内側を見ても、同じリアクタンスになり、出力に s=j1.2590 での零点が生じるリアクタンス四端子回路は、



になります。R_1=1 [Ω]、R_2=1 [Ω]を接続すれば、



となります。この回路のシミュレーション結果は、下のグラフになります。



この回路を実際に使用する周波数用に直し、実用的な素子値に直すには、スケーリングをすれば良いです。「スケーリング」の章をご覧下さい。

設計段階の連立チェビシェフフィルターでは、通過域端角周波数 ω_P が正規化角周波数 1 の場所にありません。正規化角周波数 1 の場所は基準角周波数 ω_0 になります。

「3 次連立チェビシェフフィルター」の章によれば、通過域端角周波数 $\omega_P = b = \sqrt{k}$ です。

「スケーリング」の章の方法を使い、各素子値を $\sqrt{k}$ 倍すれば通過域端角周波数 ω_P が高いほうへ移動し、正規化角周波数 1 の場所に来ます。

目次へ戻る