ローパスノッチバイカッド回路　　２０１２年８月１５日　　目次へ戻る

1、ローパスノッチとは

ローパスノッチとは零点を持つ２次伝達関数のうち、零点の角周波数が ω_0 の角周波数より後ろにある伝達関数のことです。

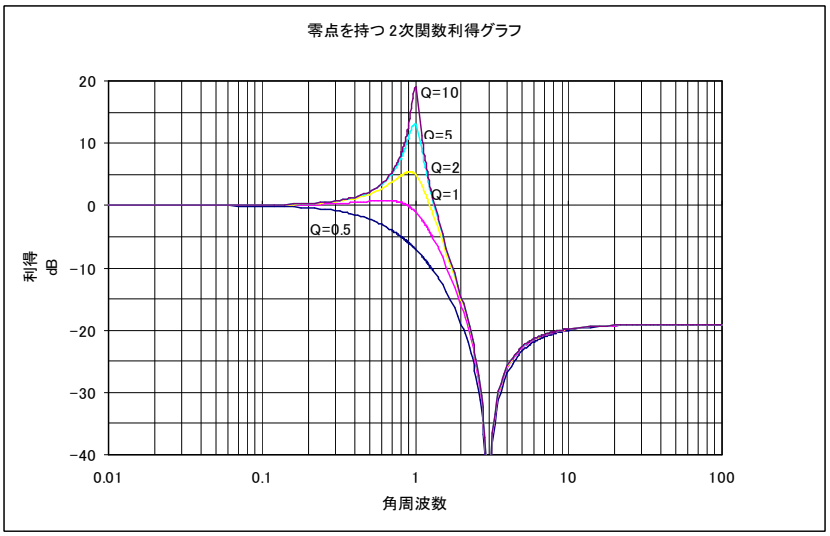

図１

ω_0 角周波数が 1 [rad/sec]、零点角周波数が 3[rad/sec]の場合の利得グラフを図１に示します。

2、伝達関数

「バイカッド回路について」の章で検討しましたが、バイカッド回路のブロック図は、図２の通りです。

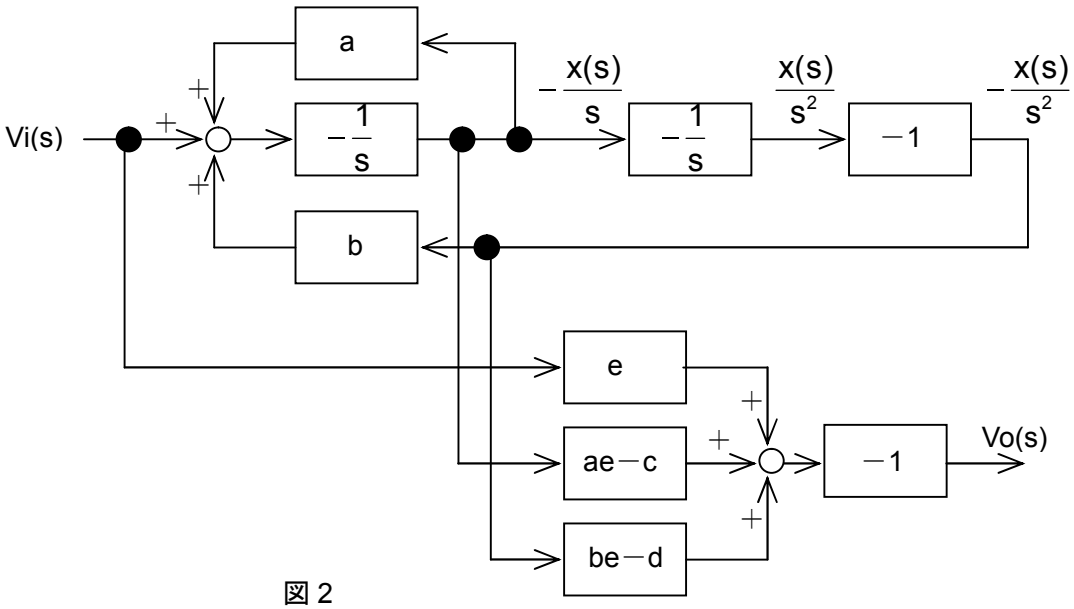

図２

図 2 は $\frac{Vo(s)}{Vi(s)} = -\frac{es^2 + cs + d}{s^2 + as + b}$ という伝達関数を作る時に必要な回路です。ローパスノッチの伝達関数は、e＝1、c＝0、d＞b ですから、「バイカッド回路について」の章、⑩式は、

$$
\begin{aligned}
Vo(s) &= -\left\{ eVi(s) - (ae - c)\frac{x(s)}{s} - (be - d)\frac{x(s)}{s^2} \right\} \\
&= -\left\{ Vi(s) - a\frac{x(s)}{s} - (b - d)\frac{x(s)}{s^2} \right\} \\
&= -\left[Vi(s) + \left\{ -a\frac{x(s)}{s} \right\} + \left\{ (d - b)\frac{x(s)}{s^2} \right\} \right]
\end{aligned}
$$

となります。図 2 で左端の Vi(s)と、上段右から 3 番目の信号 $-\frac{x(s)}{s}$ に係数 a がついたものと、上段右から 2 番目の信号 $\frac{x(s)}{s^2}$ に係数(d－b)がついたものとを、最後の加算器へ入力すれば良いことが分ります。

3、実際の回路

ひとまず係数 a と係数(d－b)は置いておき、実際の回路での伝達関数を調べます。図 3 の通りです。

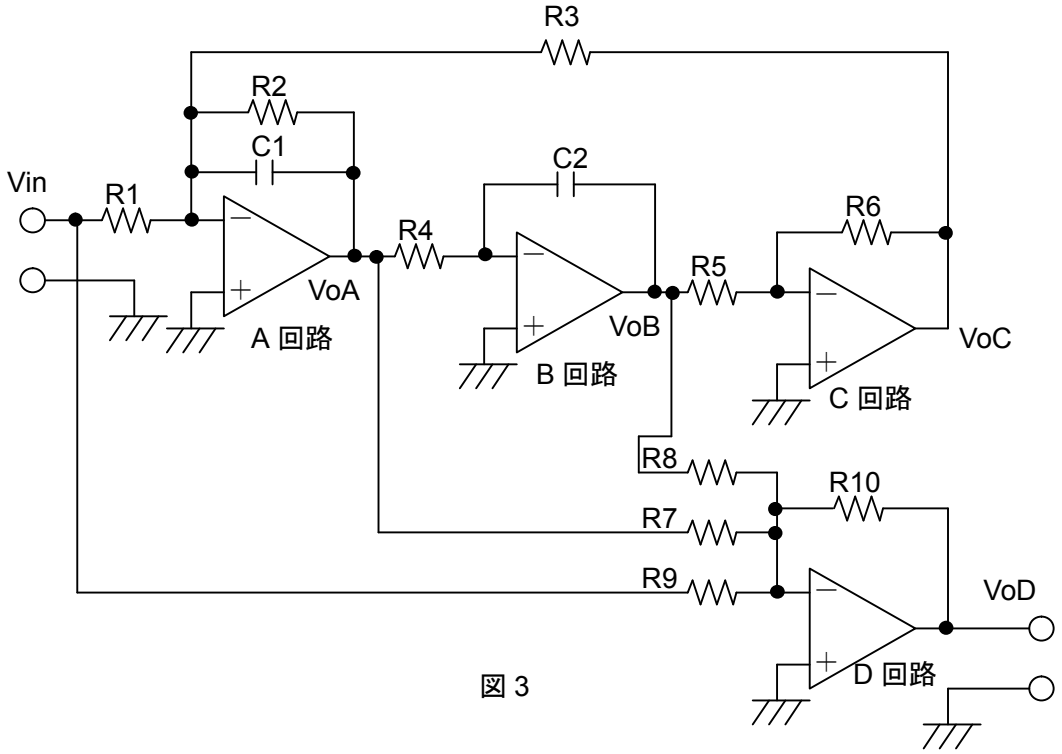

図 3

図 3 回路の、A 回路、B 回路、C 回路の動作については、低域通過バイカッド回路をご覧下さい。D 回路の動作については、高域通過バイカッド回路をご覧下さい。

図 3 回路の伝達関数を求めます。Vin 入力から VoD 出力までの伝達関数を求めるのですが、VoD 出力は、Vin と VoA と VoB の反転加算です。すでに Vin から VoA は帯域通過バイカッド回路で求めており、Vin から VoB は同じく非反転低域通過バイカッド回路で求めております。したがって、それぞれの信号を加算した後、反転出力すれば良いのです。

A 回路の出力 VoA(s)は、

$$VoA(s) = -Vin(s) \bullet \frac{\frac{1}{C1R1}s}{s^2 + \frac{1}{C1R2}s + \frac{R6}{C1C2R3R4R5}}$$

でした。B 回路の出力 VoB(s)は、

$$VoB(s) = Vin(s) \bullet \frac{\frac{1}{C1C2R1R4}}{s^2 + \frac{1}{C1R2}s + \frac{R6}{C1C2R3R4R5}}$$

でした。したがって、VoD(s)は、

$$VoD(s) = -\left\{ \frac{R10}{R9} Vin(s) + \frac{R10}{R7} VoA(s) + \frac{R10}{R8} VoB(s) \right\}$$

$$= -\frac{R10}{R9} Vin(s) - \frac{R10}{R7} \bullet \left\{ -Vin(s) \bullet \frac{\frac{1}{C1R1}s}{s^2 + \frac{1}{C1R2}s + \frac{R6}{C1C2R3R4R5}} \right\}$$

$$-\frac{R10}{R8} \bullet \left\{ Vin(s) \bullet \frac{\frac{1}{C1C2R1R4}}{s^2 + \frac{1}{C1R2}s + \frac{R6}{C1C2R3R4R5}} \right\}$$

$$= -\frac{R10}{R9}\,Vin(s) + \left\{\frac{R10}{R7}\,Vin(s) \bullet \frac{\frac{1}{C1R1}s}{s^2 + \frac{1}{C1R2}s + \frac{R6}{C1C2R3R4R5}}\right\}$$

$$-\left\{\frac{R10}{R8}\,Vin(s) \bullet \frac{\frac{1}{C1C2R1R4}}{s^2 + \frac{1}{C1R2}s + \frac{R6}{C1C2R3R4R5}}\right\}$$

$$= Vin(s)\left(-\frac{R10}{R9} + \frac{\frac{R10}{C1R1R7}s}{s^2 + \frac{1}{C1R2}s + \frac{R6}{C1C2R3R4R5}}\right.$$

$$\left. - \frac{\frac{R10}{C1C2R1R4R8}}{s^2 + \frac{1}{C1R2}s + \frac{R6}{C1C2R3R4R5}}\right)$$

$$= Vin(s)\left\{\frac{-\frac{R10}{R9}\left(s^2 + \frac{1}{C1R2}s + \frac{R6}{C1C2R3R4R5}\right)}{s^2 + \frac{1}{C1R2}s + \frac{R6}{C1C2R3R4R5}}\right.$$

$$\left. + \frac{\frac{R10}{C1R1R7}s}{s^2 + \frac{1}{C1R2}s + \frac{R6}{C1C2R3R4R5}} - \frac{\frac{R10}{C1C2R1R4R8}}{s^2 + \frac{1}{C1R2}s + \frac{R6}{C1C2R3R4R5}}\right\}$$

$$= Vin(s)\left\{\frac{-\frac{R10}{R9}\left(s^2 + \frac{1}{C1R2}s + \frac{R6}{C1C2R3R4R5}\right)}{s^2 + \frac{1}{C1R2}s + \frac{R6}{C1C2R3R4R5}}\right.$$

$$\left. + \frac{\frac{R10}{R9} \bullet \frac{R9}{C1R1R7}s}{s^2 + \frac{1}{C1R2}s + \frac{R6}{C1C2R3R4R5}} - \frac{\frac{R10}{R9} \bullet \frac{R9}{C1C2R1R4R8}}{s^2 + \frac{1}{C1R2}s + \frac{R6}{C1C2R3R4R5}}\right\}$$

$$= -\mathrm{Vin}(s) \bullet \frac{R10}{R9} \left(\frac{s^2 + \frac{1}{C1R2}s + \frac{R6}{C1C2R3R4R5}}{s^2 + \frac{1}{C1R2}s + \frac{R6}{C1C2R3R4R5}} \right.$$

$$\left. - \frac{\frac{R9}{C1R1R7}s}{s^2 + \frac{1}{C1R2}s + \frac{R6}{C1C2R3R4R5}} + \frac{\frac{R9}{C1C2R1R4R8}}{s^2 + \frac{1}{C1R2}s + \frac{R6}{C1C2R3R4R5}} \right)$$

$$= -\mathrm{Vin}(s) \bullet \frac{R10}{R9} \left(\frac{s^2 + \frac{1}{C1R2}s - \frac{R9}{C1R1R7}s + \frac{R6}{C1C2R3R4R5} + \frac{R9}{C1C2R1R4R8}}{s^2 + \frac{1}{C1R2}s + \frac{R6}{C1C2R3R4R5}} \right)$$

$$= -\mathrm{Vin}(s) \bullet \frac{R10}{R9} \bullet \frac{s^2 + \frac{1}{C1R2}s - \frac{R2R9}{C1R1R2R7}s + \frac{R6}{C1C2R3R4R5} + \frac{R3R9}{C1C2R1R3R4R8}}{s^2 + \frac{1}{C1R2}s + \frac{R6}{C1C2R3R4R5}}$$

$$= -\mathrm{Vin}(s) \bullet \frac{R10}{R9} \bullet \frac{s^2 + \frac{1}{C1R2}\left(1 - \frac{R2R9}{R1R7}\right)s + \frac{1}{C1C2R3R4}\left(\frac{R6}{R5} + \frac{R3R9}{R1R8}\right)}{s^2 + \frac{1}{C1R2}s + \frac{1}{C1C2R3R4} \bullet \frac{R6}{R5}}$$

となります。両辺に $\frac{1}{\mathrm{Vin}(s)}$ をかけ、$\frac{\mathrm{VoD}(s)}{\mathrm{Vin}(s)}$ を求めますと、

$$\frac{\mathrm{VoD}(s)}{\mathrm{Vin}(s)} = -\frac{R10}{R9} \bullet \frac{s^2 + \frac{1}{C1R2}\left(1 - \frac{R2R9}{R1R7}\right)s + \frac{1}{C1C2R3R4}\left(\frac{R6}{R5} + \frac{R3R9}{R1R8}\right)}{s^2 + \frac{1}{C1R2}s + \frac{1}{C1C2R3R4} \bullet \frac{R6}{R5}} \quad \cdots ①$$

となります。これが図 3 回路の伝達関数です。伝達関数の式にこれだけのパラメーターがあるので、係数 a と係数(d－b)を気にせず、現実の伝達関数に十分対応できることを、具体的な素子値決定方法として次に示します。

4、回路の素子値

図 3 回路の各素子値決定方法について検討します。

2 次のローパスノッチ伝達関数は、

$$\frac{H(s^2+\omega_z{}^2)}{s^2+\frac{\omega_0}{Q}s+\omega_0{}^2} \quad \cdot\cdot\cdot ②$$

です。②式に s＝j0＝0 を代入し、角周波数 0 での利得を求めますと、

$$\left[\frac{H(s^2+\omega_z{}^2)}{s^2+\frac{\omega_0}{Q}s+\omega_0{}^2}\right]_{s=0} = \frac{H\omega_z{}^2}{\omega_0{}^2} = H\bullet\frac{\omega_z{}^2}{\omega_0{}^2}$$

となります。実数の$H\bullet\frac{\omega_z{}^2}{\omega_0{}^2}$ですから、共役も$H\bullet\frac{\omega_z{}^2}{\omega_0{}^2}$です。絶対値も$H\bullet\frac{\omega_z{}^2}{\omega_0{}^2}$です。角周波数 0 での利得は$H\bullet\frac{\omega_z{}^2}{\omega_0{}^2}$になります。H が 1 でも角周波数 0 で$\frac{\omega_z{}^2}{\omega_0{}^2}$と言う値になります。

図 1 の様に角周波数 0 での利得を 1 にする為には、H を$\frac{\omega_0{}^2}{\omega_z{}^2}$と言う値にする必要があります。

①式の R3＝R4＝R、C1＝C2＝C、R5＝R6 とします。すると②式の $\omega_0{}^2$ は、

$$\omega_0{}^2 = \frac{1}{C^2R^2}$$

となります。

したがって、

$$\omega_0 = \frac{1}{CR}$$

です。C1＝C2＝C を先に決めた場合、R3＝R4＝R は、

$$R = \frac{1}{\omega_0 C}$$

となります。

②式の$\frac{\omega_0}{Q}$は、①式の$\frac{1}{C1R2}$です。C1＝C2＝C ですから、

$$\frac{\omega_0}{Q}=\frac{1}{CR2}$$

$$Q=\omega_0 CR2$$

$$R2=\frac{Q}{\omega_0 C}=QR$$

となります。

②式の分子は$H(s^2+\omega_z{}^2)$です。したがって、①式の分子中 s の 1 次式の係数は 0 にしなくてはなりません。

s の 1 次式の係数、$\frac{1}{C1R2}\left(1-\frac{R2R9}{R1R7}\right)$のカッコ内を 0 にすれば良いです。その為には、すでに R2 が決定しているので、R7＝R9＝R1＝R2 にします。

s の 0 次の係数を $\omega_z{}^2$ にしなければなりません。その為には、すでに、$R3=\frac{1}{\omega_0 C}$、R1＝R9、R5＝R6、$\frac{1}{C1C2R3R4}=\omega_0{}^2$ が決定しているので、

$$\frac{1}{C1C2R3R4}\left(\frac{R6}{R5}+\frac{R3R9}{R1R8}\right)=\omega_z{}^2$$

$$\omega_0{}^2\left(1+\frac{R3}{R8}\right)=\omega_z{}^2$$

$$1+\frac{R3}{R8}=\frac{\omega_z{}^2}{\omega_0{}^2}$$

$$\frac{R3}{R8}=\frac{\omega_z{}^2}{\omega_0{}^2}-1$$

$$R8\left(\frac{\omega_z{}^2}{\omega_0{}^2}-1\right)=R3$$

$$R8 = \frac{R3}{\frac{\omega_z^2}{\omega_0^2} - 1}$$

となります。

②式の H は、全体の利得を決定します。①式の $\frac{R10}{R9}$ で決めますが、R9 は既に決定しているため R10 で決めます。したがって、

$$H = \frac{R10}{R9}$$

$$R10 = H \bullet R9$$

となります。角周波数 0 での利得を 1 にする為には、H を $\frac{\omega_0^2}{\omega_z^2}$ と言う値にする必要があるのでした。その場合は、

$$R10 = \frac{\omega_0^2}{\omega_z^2} \bullet R9$$

になります。

伝達関数は正規化角周波数で設計するのでした。その伝達関数を使い、回路の各素子値を設計します。その後、周波数スケーリングで実周波数に持って来ます。最後に素子値スケーリングを行い、素子値を実用的な範囲にまとめます。

「スケーリング」の章、「周波数変換」の章もご覧下さい。

目次へ戻る