高域通過バイカッド回路　　　　　　　　　　２０１２年８月１５日　　　　　目次へ戻る

1、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１の通りです。

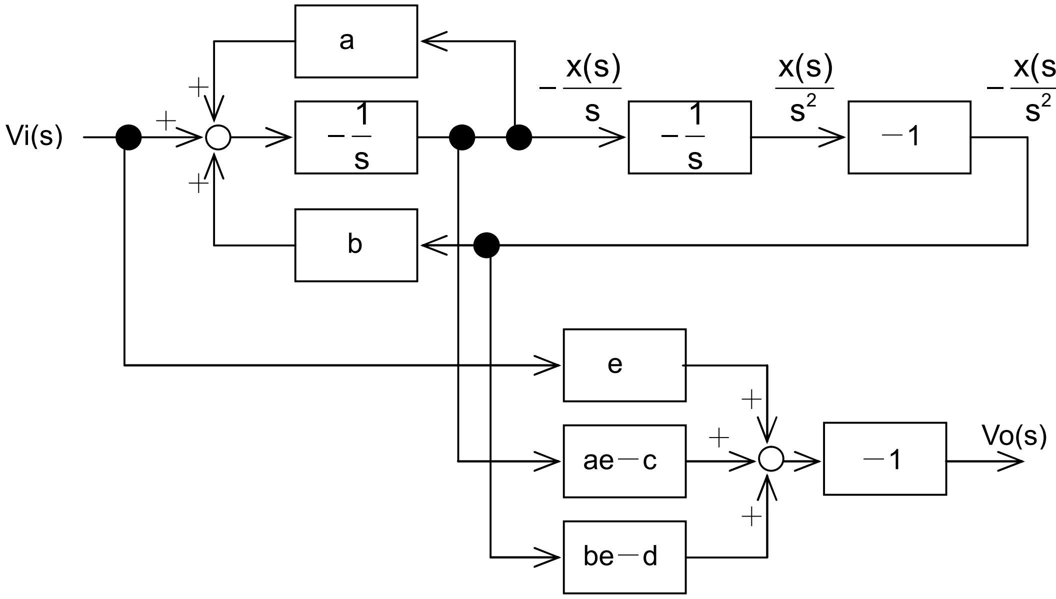


図１

図１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。高域通過の伝達関数は、c=0、d=0、e=1 です。「バイカッド回路について」の章⑩式は、

$$Vo(s) = -\left\{eVi(s) - (ae - c)\frac{x(s)}{s} - (be - d)\frac{x(s)}{s^2}\right\}$$

$$= -\left\{Vi(s) - (a - 0)\frac{x(s)}{s} - (b - 0)\frac{x(s)}{s^2}\right\}$$

$$= -\left\{eVi(s) - a\frac{x(s)}{s} - b\frac{x(s)}{s^2}\right\}$$

$$= -\left[Vi(s) + \left\{-a\frac{x(s)}{s}\right\} + \left\{-b\frac{x(s)}{s^2}\right\}\right]$$

となります。図１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、上段右端の信号 $-\frac{x(s)}{s^2}$ に係数 b がついたものを、最後の加算器へ入力すれば良いことが分ります。元の信号から積分成分、つまり低域成分を引き算すれば、残るのは高域成分と言うことです。

2、実際の回路

ひとまず係数 a と係数 b は置いておき、実際の回路での伝達関数を調べます。高域通過のバイカッド回路は、図 2 の通りです。

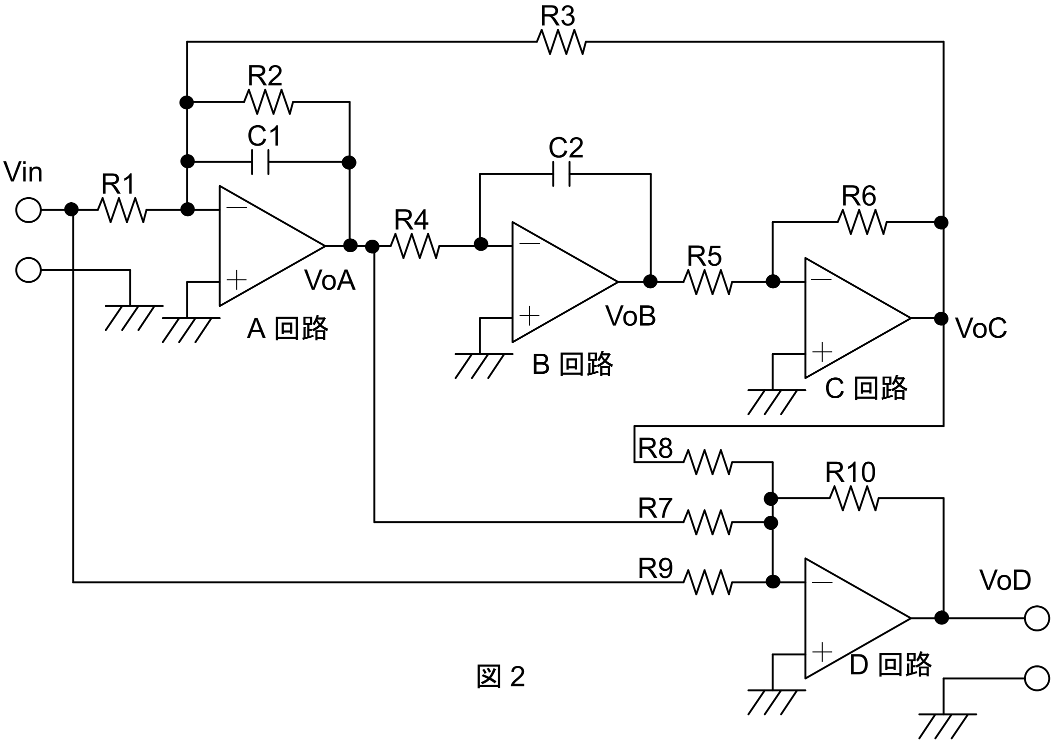
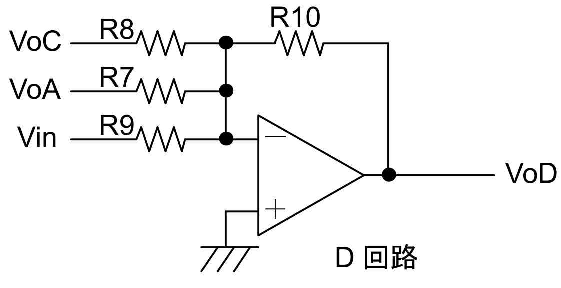


図 2

図 2 回路図中の、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 回路の動作を検証します。



反転増幅器の入力が 3 つになりますが、オペアンプの入力に電流が流れ込まないこと、および、イマジナルショートでー入力もアース電位であることが分れば解析は簡単です。

Vin から VoD までの出力電圧は、

$$\mathrm{VoD} = -\frac{\mathrm{Vin}}{\mathrm{R9}} \bullet \mathrm{R10}$$

となります。VoA から VoD までの出力電圧は、

$$\mathrm{VoD} = -\frac{\mathrm{VoA}}{\mathrm{R7}} \bullet \mathrm{R10}$$

となります。VoC から VoD までの出力電圧は、

$$\mathrm{VoD} = -\frac{\mathrm{VoC}}{\mathrm{R8}} \bullet \mathrm{R10}$$

となります。

全部が同時に起きますから、Vin による VoD と、VoA による VoD と、VoC による VoD は重ね合わすことが出来、総合的な出力電圧は、

$$\begin{aligned}\mathrm{VoD} &= -\frac{\mathrm{Vin}}{\mathrm{R9}} \bullet \mathrm{R10} + \left(-\frac{\mathrm{VoA}}{\mathrm{R7}} \bullet \mathrm{R10}\right) + \left(-\frac{\mathrm{VoC}}{\mathrm{R8}} \bullet \mathrm{R10}\right) \\ &= -\left(\frac{\mathrm{R10}}{\mathrm{R9}}\mathrm{Vin} + \frac{\mathrm{R10}}{\mathrm{R7}}\mathrm{VoA} + \frac{\mathrm{R10}}{\mathrm{R8}}\mathrm{VoC}\right)\end{aligned}$$

となります。上式をラプラス変換しますと、

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

になります。VoD 出力は、Vin 入力と VoA 入力および VoC 入力の反転加算です。

図 1 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 VoC の反転加算です。すでに Vin から VoA は帯域通過バイカッドで求めており、Vin から VoC は同じく低域通過バイカッド回路で求めております。

それぞれの信号を反転加算すれば良いです。A 回路の出力 VoA(s)は、

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

でした。C 回路の出力 VoC(s)は、

$$\mathrm{VoC}(s) = -\mathrm{Vin}(s) \bullet \frac{\frac{\mathrm{R6}}{\mathrm{C1C2R1R4R5}}}{s^2 + \frac{1}{\mathrm{C1R2}}s + \frac{\mathrm{R6}}{\mathrm{C1C2R3R4R5}}}$$

でした。したがって、VoD(s)は、

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

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

$$\left.+\frac{R10}{R8}\bullet\left\{-\mathrm{Vin}(s)\bullet\frac{\frac{R6}{C1C2R1R4R5}}{s^2+\frac{1}{C1R2}s+\frac{R6}{C1C2R3R4R5}}\right\}\right]$$

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

$$\left.-\frac{R10}{R8}\mathrm{Vin}(s)\bullet\frac{\frac{R6}{C1C2R1R4R5}}{s^2+\frac{1}{C1R2}s+\frac{R6}{C1C2R3R4R5}}\right\}$$

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

$$\left.-\frac{\frac{R6R10}{C1C2R1R4R5R8}}{s^2+\frac{1}{C1R2}s+\frac{R6}{C1C2R3R4R5}}\right)$$

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

$$\left.-\frac{\frac{R10}{C1R1R7}s}{s^2+\frac{1}{C1R2}s+\frac{R6}{C1C2R3R4R5}} - \frac{\frac{R6R10}{C1C2R1R4R5R8}}{s^2+\frac{1}{C1R2}s+\frac{R6}{C1C2R3R4R5}}\right\}$$

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

$$\left.-\frac{\frac{R9}{R9}\bullet\frac{R10}{C1R1R7}s}{s^2+\frac{1}{C1R2}s+\frac{R6}{C1C2R3R4R5}}-\frac{\frac{R9}{R9}\bullet\frac{R6R10}{C1C2R1R4R5R8}}{s^2+\frac{1}{C1R2}s+\frac{R6}{C1C2R3R4R5}}\right\}$$

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

$$\left.-\frac{\frac{R9}{C1R1R7}s}{s^2+\frac{1}{C1R2}s+\frac{R6}{C1C2R3R4R5}}-\frac{\frac{R6R9}{C1C2R1R4R5R8}}{s^2+\frac{1}{C1R2}s+\frac{R6}{C1C2R3R4R5}}\right)$$

$$= -\mathrm{Vin}\,(s)\bullet\frac{R10}{R9}\left(\frac{s^2+\frac{1}{C1R2}s-\frac{R9}{C1R1R7}s+\frac{R6}{C1C2R3R4R5}-\frac{R6R9}{C1C2R1R4R5R8}}{s^2+\frac{1}{C1R2}s+\frac{R6}{C1C2R3R4R5}}\right)$$

$$= -\mathrm{Vin}\,(s)\bullet\frac{R10}{R9}\bullet\frac{s^2+\frac{1}{C1R2}s-\frac{R2R9}{C1R1R2R7}s+\frac{R6}{R5}\left(\frac{1}{C1C2R3R4}-\frac{R3R9}{C1C2R1R3R4R8}\right)}{s^2+\frac{1}{C1R2}s+\frac{R6}{C1C2R3R4R5}}$$

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

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、

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

になります。これが図 2 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 b を気にせずに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。

3、回路の素子値

回路の各素子値決定方法について検討します。

2 次の高域通過伝達関数は、

$$\frac{Hs^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q}s + \omega_0^2} \quad ・・・②$$

でした。②式で角周波数が極めて大きな領域での利得を考えます。分子分母を s^2 で割り、極限での利得を考えますと、

$$\lim_{s \to j\infty} \frac{Hs^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q}s + \omega_0^2} = \lim_{s \to j\infty} \frac{H}{1 + \frac{\frac{\omega_0}{Q}}{s} + \frac{1}{s^2}} = H$$

になり、H であることが分ります。実数の H ですから、共役も H です。絶対値も H です。

共役を求める為 s＝－j∞を代入するまでも無く、②式の∞[rad/sec] での利得は H です。

2 次の高域通過伝達関数は、H＝1 の時、そのままで高い角周波数領域での利得が 1 になります。図 3 参照下さい。

①式の R3＝R4＝R、C1＝C2＝C、R5＝R6 とします。すると②式の ω_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 Hs^2 です。したがって、①式の分子中 s の 1 次式の係数と、s の 0 次式の係数は 0 にしなくてはなりません。それぞれのカッコの中を 0 にします。

1 次の係数のカッコの中、$1-\frac{R2R9}{R1R7}$を 0 にする為には、すでに R2 が決定しているので、R7＝R9＝R1＝R2 にします。

0 次の係数のカッコの中、$1-\frac{R3R9}{R1R8}$を 0 にする為には、すでに R3、R1＝R9 が決定しているので、R8＝R3 にします。

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。

3、2 次高域通過伝達関数のグラフ

ω_0 角周波数が 1[rad/sec]の場合の、2 次高域通過伝達関数利得グラフを図 3 に示します。

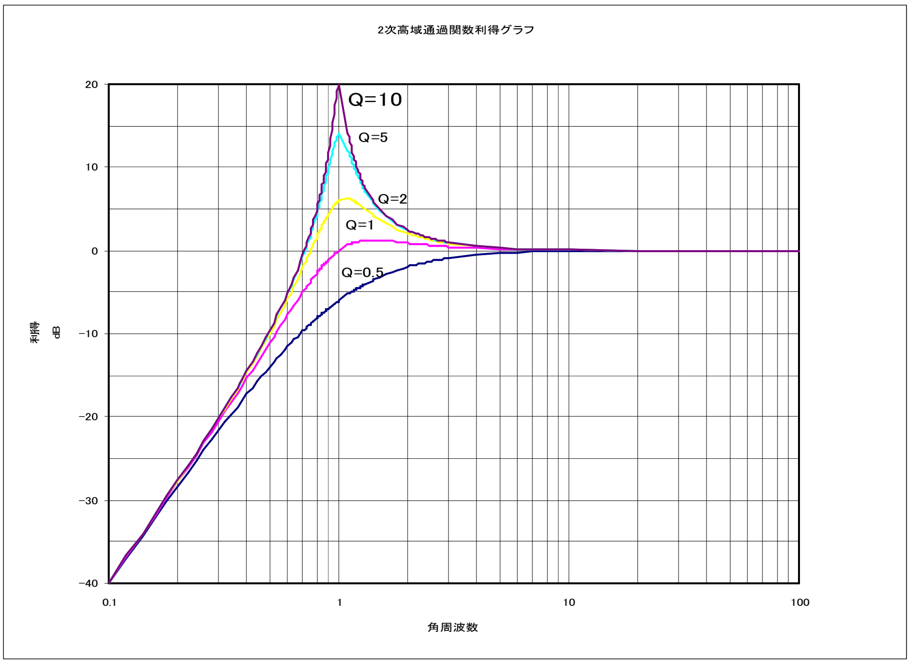


図３

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