連　載

電子部品活用★成功のカギ

第3回　受動素子で構成される基本回路②

*LCR*で構成するフィルタ回路と素子値の標準数

長友 光広
Mitsuhiro Nagatomo

● インダクタンス素子を使用すると応用範囲が広がる

前回は抵抗のみ，または抵抗とコンデンサの組み合わせで構成される基本回路について解説しました．素子の特性をつかみやすいという観点から，主にフィルタ回路について，その伝達関数といくつかの例を紹介しました．

抵抗とコンデンサを組み合わせるだけで，ロー・パス特性，ハイ・パス特性，バンド・パス特性など，いろいろな伝達関数を実現できることを紹介しましたが，*CR*素子だけでは，実現できる特性に制約が出てしまうのも事実です．

例えば，2次のロー・パス・フィルタはよく使用される回路ですが，カットオフ周波数付近の肩特性をコントロールしようとすると，*CR*素子だけではどうしても難しい面があります．

前回の内容の繰り返しになりますが，*CR*素子だけで2次ロー・パス・フィルタを構成することは可能です．前回の図2-16に示した回路の伝達関数は，

$$G(s) = \frac{1}{s^2C_1C_2R_1R_2 + s(C_1 + C_2)R_1 + sC_2R_2 + 1}$$

で表されます．

カットオフ周波数付近の肩特性を決定するQの値は，

$$Q = -j\frac{\sqrt{C_1R_1C_2R_2}}{C_1R_1 + C_2R_1 + C_2R_2}$$

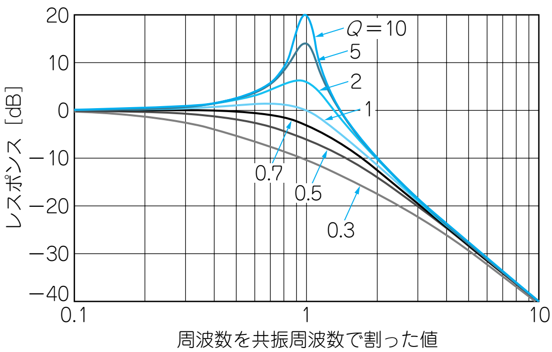

図3-1 2次ロー・パス・フィルタの周波数特性

となりますが，素子の値をどのように工夫しても，Qの絶対値の大きさは1/2を越えることができません．従って，カットオフ付近の肩特性がとても鈍った，なだらかな形の特性しか実現することができません．

以上のような制約を少しでも避けるため，今回はインダクタンス素子も合わせて使用し，より自由にいろいろな伝達関数を実現する方法について紹介します．また，実際の回路設計を行ううえで必要になる，市販の部品の素子値に用いられる標準数についてもお話しします．

*LCR*で構成される回路

● パッシブ2次フィルタの特徴

最近では，特性の優れたOPアンプを安価に入手できるので，インダクタを使用しなくても，*CR*素子と能動回路を組み合わせて，アクティブ・フィルタと呼ばれる回路を構成することができます．

アクティブ・フィルタは，フィルタ回路の入出力インピーダンスを制御しやすく，多数のフィルタを何段も従属接続して，次数の高いフィルタを構成することができます．

反面，電源を供給する必要があり，電源電圧を越える電圧振幅の信号を扱うことができないことや，アンプ回路に起因するノイズが発生すること，周波数の高い回路を作ろうとしたとき，アンプ回路の周波数特性のために周波数が高くなるほど実現するのが難しいなどの制約があります．

*LCR*で構成するパッシブ・フィルタ回路は，素子値の算出が面倒なことや，入出力に接続される回路のインピーダンスの管理を厳しく行う必要がありますが，アクティブ・フィルタで問題となるような制約から解放されます．従って，現在でも比較的周波数の高い回路や，大きな電流や電圧を扱う場合は，パッシブ・フィルタが盛んに使用されています．

今回は，比較的解析が容易な2次のパッシブ・フィルタ回路について説明を行います．

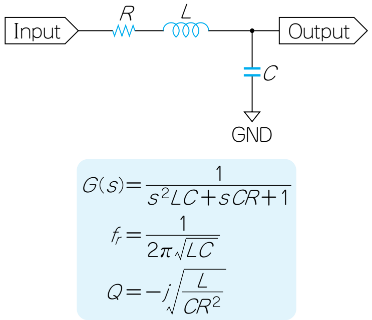

図3-2　*LR*直列とコンデンサによる分圧回路

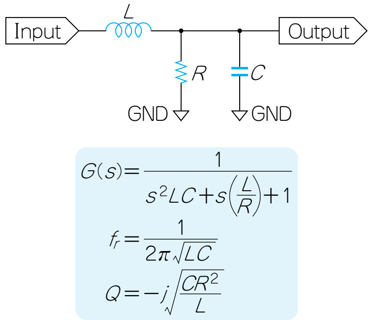

図3-3　インダクタと*CR*並列による分圧回路

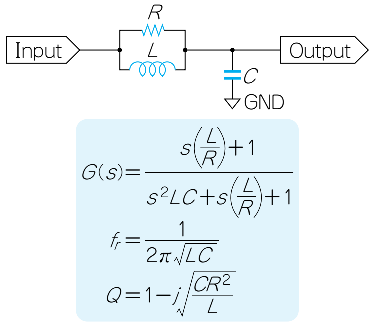

図3-4　*LR*並列とコンデンサによる分圧回路

● *LCR*の2次ロー・パス・フィルタ

フィルタ回路の中でもっとも多く使用されているのは，ロー・パス・フィルタではないでしょうか．2次ロー・パス・フィルタは，信号ラインに直列にインダクタを挿入し，その後GNDに対してコンデンサを接続する形で構成されます．一般的な2次ロー・パス・フィルタの周波数特性は，**図3-1**に示すような形になります．

フィルタの共振周波数の中心から十分低い周波数領域においては，ほぼフラットな特性です．また，共振周波数より十分高い周波数においては，－12 dB/octで減衰する特性を示します．

共振周波数におけるゲイン｜Q｜は，CR素子のみで構成する2次フィルタの場合は0.5を越える値にすることが困難でしたが，インダクタンスを導入すれば素子値をコントロールすることによりいろいろな値を取ることができます．

図3-2に示すように，信号ラインに対して抵抗とインダクタを直列に挿入し，その後コンデンサによりGNDにシャントする回路構成で，2次ロー・パス・フィルタの特性を実現できます．この回路の伝達関数は，

$$G(s)=\frac{1}{s^2LC+sCR+1}$$

で表されます．また，共振角周波数は，$\omega_r=1/\sqrt{LC}$，共振周波数におけるゲインは，$Q=-j\sqrt{L/CR^2}$ で計算することができます．Qの係数に－jが付いていることから，共振周波数において出力信号の位相は入力信号に対して90°遅れることが分かります．

フィルタ回路に続く負荷回路のインピーダンスによっては，信号ラインに直列に抵抗を挿入すると，信号の減衰が問題になることがあります．このような場合には，インダクタと抵抗を直列に入れる代わりに，コンデンサに並列に抵抗を接続することでも，2次ロー・パス・フィルタを実現できます(**図3-3**)．この回路の伝達関数は，

$$G(s)=\frac{1}{s^2LC+s(L/R)+1}$$

で表されます．また，共振角周波数は，$\omega_r=1/\sqrt{LC}$，共振周波数におけるゲインは，$Q=-j\sqrt{CR^2/L}$で計算することができます．この回路の場合にも，共振周波数における出力位相は入力に対して90°遅れとなります．

電源ラインに挿入するノイズ・フィルタなどのように，ラインに直列に抵抗を挿入することはもちろん，ラインに並列に抵抗を接続することも避けたい場合があります．このような場合には，**図3-4**に示すように信号ラインの直列インダクタと並列に抵抗を接続する方法があります．この回路の伝達関数は，

$$G(s)=\frac{s(L/R)+1}{s^2LC+s(L/R)+1}$$

で表されます．また，共振角周波数は，$\omega_r=1/\sqrt{LC}$，共振周波数におけるゲインは，$Q=1-j\sqrt{CR^2/L}$で計算することができます．Qの式から分かるように，この回路の｜Q｜の値は必ず1より大きくなります．

● *LCR*の2次ハイ・パス・フィルタ

2次ロー・パス・フィルタのインダクタとコンデンサの位置を入れ替えると，2次ハイ・パス・フィルタを作ることができます．一般的な2次ハイ・パス・フィルタの周波数特性は，**図3-5**に示すような形になります．

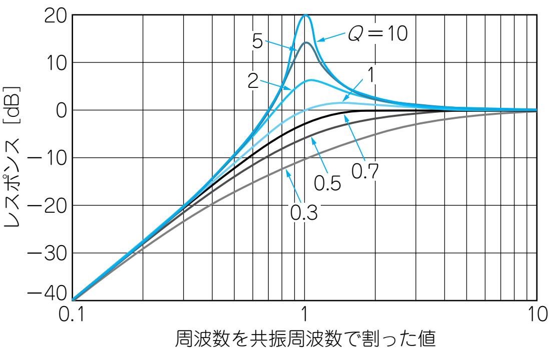

図3-5　2次ハイ・パス・フィルタの周波数特性