

第3章 OP アンプを使ったフィルタ/発振回路ほか

希望の周波数特性と発振周波数を得るために

3-1

減衰率 -12 dB/oct のロー・パス・フィルタ

シンプルな回路構成のサレン-キー型で各種の周波数特性を実現

使用例

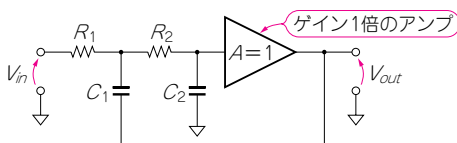


図1 2次サレン-キー型フィルタの定数を求めたい

● サレン-キー・フィルタの特性

低周波のロー・パス・フィルタを作る方法はいくつもありますが、シンプルな回路構成の代表的なものにサレン-キー型があります。図1は2次のフィルタです。決定しなければならない値はRとCとAです。Aはバッファ・アンプの増幅率です。これらは、カットオフ周波数と遷移域の特性によって決定します。

周波数特性のタイプごとの定数例を表2に示します。2次ロー・パス・フィルタの入出力伝達関数 $f(s)$ の一般式は次のとおりです。

$$f(s) = \frac{1}{s^2 + as + b} \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 a 、 b 、 c は周波数特性の型を決める定数 s はラプラスの演算子です。正弦波だけを考えるなら $j\omega$ に置き換えて考えても差し支えありません。 j は虚数単位、 ω は角周波数 [rad/s] です。式(1)、(2)の分母が s の2次式なので2次のフィルタと呼ばれます。

分母が0となるような s の複素数解の位置をポールと呼びます。

カットオフ周波数は周波数特性のタイプによって次のように定義しています。

- バターワース、L (ルジャンドル・パポウリス)、ガ

例解

図1に示す2次サレン-キー型ロー・パス・フィルタを設計します。

カットオフ周波数4 kHz、バターワース特性と1 dBリプルのチェビシェフ特性の二つとします。

本文の表2からバターワースと、1 dBリプルのチェビシェフの、正規化されたRとCの値を読みとります。

この値からデノーマライズを行います。

まず、周波数を1 rad/sから4 kHzに移動するために、すべてのCを $2\pi \times 4000$ で割ります。

続いて、インピーダンスを使いやすい値とするためにCを39789で割り、Rを39789倍します。

この39789は入手しやすいコンデンサの容量値となるように選んだ値であり、他の値でも問題ありません。

これにより表1のRとCが決定します。

表1 入手しやすいコンデンサの容量値と扱いやすい定数に変換した結果

周波数特性	2次フィルタ			
	R_1 [Ω]	R_2 [Ω]	C_1 [F]	C_2 [F]
バターワース	54.0 k	28.7 k	1500 p	680 p
チェビシェフ(1 dB)	65.5 k	38.3 k	2200 p	560 p

ウシアン

- 3.01 dBに落ちる周波数。

- ベッセル

最終的に行き着く移相量の半分だけ回ったところの

表2 サレン-キー型フィルタの定数一覧
カットオフ周波数は1 rad/sに正規化

次数	フィルタ	a	b	R_1 [Ω]	R_2 [Ω]	C_1 [F]	C_2 [F]	A
2	バターワース	1.41421	1.00000	1.358	0.722	1.5	0.68	1
	ベッセル	1.73205	1.00000	1.371	0.741	1.2	0.82	1
	チェビシェフ(リプル 0.1 dB)	2.37236	3.31404	0.701	0.352	1.8	0.68	1
	チェビシェフ(リプル 0.5 dB)	1.42562	1.51620	1.064	0.615	1.8	0.56	1
	チェビシェフ(リプル 1 dB)	1.09773	1.10251	1.122	0.656	2.2	0.56	1
	チェビシェフ(リプル 3 dB)	0.64490	0.70795	1.318	1.018	2.7	0.39	1
	ガウシアン(上下均等リプルのチェビシェフ型遅延, 誤差 0.5°)	1.71800	1.22522	1.115	0.595	1.5	0.82	1