連載

フィルタ回路の設計ノート

第6回 バンドエリミネーション・フィルタ

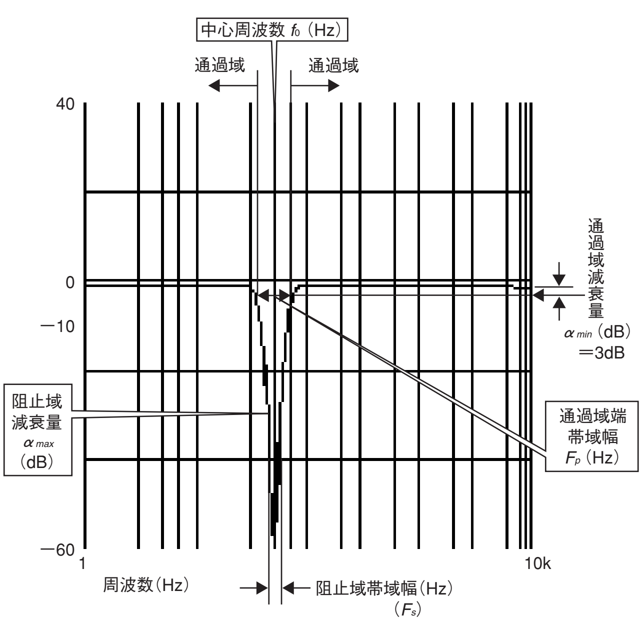
佐々木 淑恵

前回は，バターワース特性とチェビシェフ特性のバンドパス・フィルタについて説明しました．今回は，決められた周波数帯域を阻止するバンドエリミネーション・フィルタについて説明します．また，IIR型バンドエリミネーション・フィルタについて，アナログ・フィルタからの変換アルゴリズムを紹介します．

1. バンドエリミネーション・フィルタの特性と回路

バターワース型バンドエリミネーション・フィルタの周波数特性を図1に示します．中心周波数から一定の範囲の信号を減衰させるフィルタは，電源ノイズ（ハム）が発生した場合，ノイズだけを除去する用途などで使われています．

バターワース特性バンドエリミネーション・フィルタの次数は，公式1より求めることができます．また，特性の算出式は，公式2と公式3に示すとおりです．



〔図1〕バターワース型バンドエリミネーション・フィルタの周波数特性

公式1

バターワース特性　バントエリミネーション・フィルタの次数

$$N=\frac{\log\left[\left(10^{\alpha max/10}-1\right)/\left(10^{\alpha max/10}-1\right)\right]}{2\log\left(\dfrac{\omega_p}{\omega_s}\right)}$$

F_p：通過域帯域幅（Hz）　$\omega_p=2\pi F_p$

F_s：阻止域帯域幅（Hz）　$\omega_s=2\pi F_s$

α_{min}：通過域減衰量（dB）　（=3dB）

α_{max}：阻止域減衰量（dB）

公式2

フィルタ回路の伝達関数

Nが奇数のとき　$$H(s)=\frac{H}{\left(s+a_0\right)\prod_{n=1}^{(N-1)/2}\left(s^2+b_{2n}s+c_{2n}\right)}$$

Nが偶数のとき　$$H(s)=\frac{H}{\prod_{n=1}^{N/2}\left(s^2+b_{2n-1}s+c_{2n-1}\right)}$$

公式3

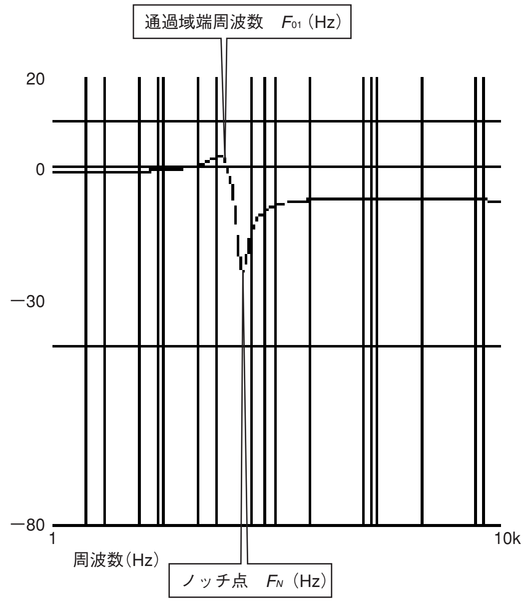
バターワース特性

$$\begin{cases} a_0=1 \\ b_m=2a_0\omega_s\left(\dfrac{m\pi}{2N}\right) \\ c_m=1 \end{cases}$$

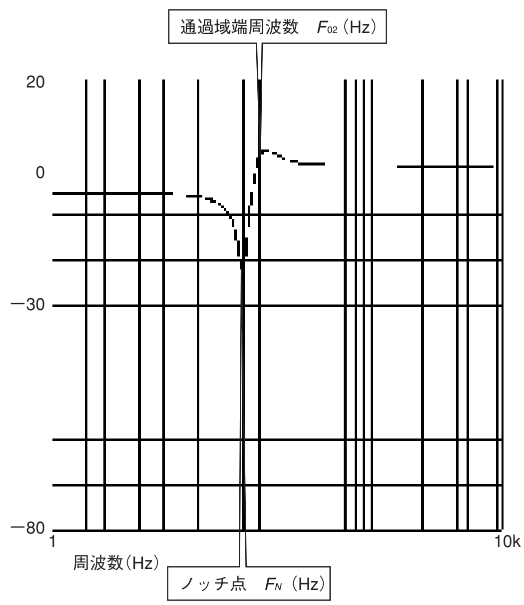
ただしmは$2n$または$2n-1$

バンドエリミネーション・フィルタは，ハイパス・ノッチ・フィルタ（HPN），ローパス・ノッチ・フィルタ（LPN），ノッチ・フィルタの3種類の回路をすべて使うことで実現できます．

ローパス・ノッチ・フィルタは，図2のように，通過域端周波数がノッチ点よりも高いフィルタです．ハイパス・ノッチ・フィルタは，図3のように，通過域端周波数がノッチ点よりも低いフィルタです．また，ノッチ・フィルタは，図4のように，通過域端周波数がノッチ点と等しいフィルタです．



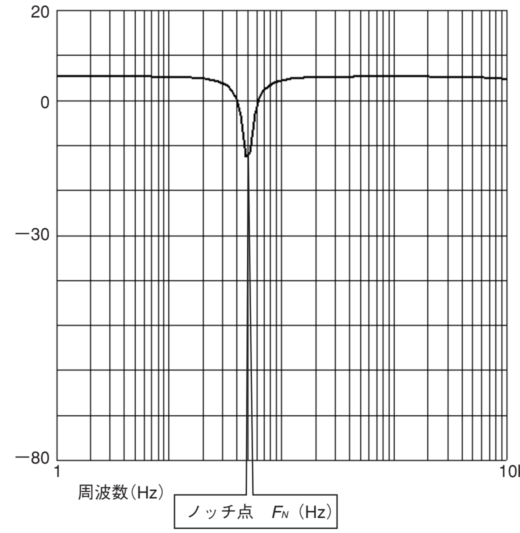
〔図2〕ローパス・ノッチ・フィルタの特性



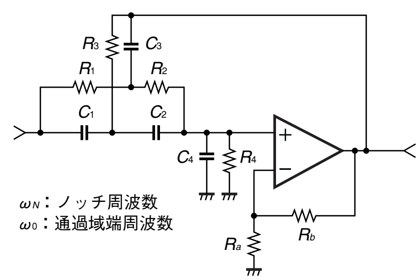
〔図3〕ハイパス・ノッチ・フィルタの特性

各ノッチ・フィルタの回路は，図5のように，一つの回路で作ることができます．通過域端周波数（ω_0）をノッチ点（ω_N）よりも高くして，$\omega_0>\omega_N$となるように設計すると，ハイパス・ノッチ回路になります．$\omega_0<\omega_N$として設計すると，ローパス・ノッチ回路になります．また，$\omega_0=\omega_N$とすると，ノッチ回路になります．

ノッチ・フィルタは，図5以外にもいくつかの種類があります．たとえば，図6のような状態変数型回路でも設計することができます．また，$\omega_0=\omega_N$のノッチ回路は，図7が安定して良い回路になります．



〔図4〕ノッチ・フィルタの特性



$\omega_N>\omega_0$のとき　ローパス・ノッチ・フィルタ
$\omega_N<\omega_0$のとき　ハイパス・ノッチ・フィルタ
$\omega_N=\omega_0$のとき　ノッチ・フィルタ
となる．

(a) 回路図

$$R_1=R_2=2R_3=\frac{R_4}{2}=R$$

$$C_1=C_2=\frac{1}{2}C_3=C$$

としたとき

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

より

$$C=\frac{1}{\omega_N R} \quad \cdots (5\text{-}1)$$

$$d=\frac{2\,\omega_N^2-\omega_0^2}{\omega_0^2} \quad \cdots (5\text{-}2)$$

とすると

$$C_4=\frac{d}{2}C \quad \cdots (5\text{-}3)$$

$$K=\frac{1}{4\,\omega_N}\left\{(5+d)\,\omega_N-(1+d)\,\frac{\omega_0}{Q}\right\} \quad \cdots (5\text{-}4)$$

なので

$$H=\frac{K}{1+d} \quad \cdots (5\text{-}5)$$

$$\frac{R_a+R_b}{R_a}=K \quad \cdots (5\text{-}6)$$

より

$$R_a=\frac{R_b}{K-1} \quad \cdots (5\text{-}7)$$

R，R_bの値を固定パラメータとして，(5-1)～(5-5)式よりC_1，K_1，H_1，R_aを求める．

(b) 計算方法

〔図5〕ノッチ・フィルタの回路と素子値の計算方式