

第7章 フィルタ回路の部屋

バーチャル・スタジオ 31

カットオフ周波数は使わない! 1次LPFの出力雑音の計算

付録CD-ROM 関連記事 No.1-014

- 1次LPFの雑音帯域幅はカットオフ周波数 $\times \pi/2$

図1に示すのは、抵抗とコンデンサで構成した1次LPF(Low Pass Filter)です。カットオフ周波数は、3.18 kHzです。1次LPFのカットオフ周波数(f_c)は、次式で求められます。

$$f_c = 1/(2\pi CR)$$

雑音帯域幅とカットオフ周波数は違います。1次LPFの雑音帯域幅 f_{BW} [Hz]とカットオフ周波数 f_c [Hz]の間には次の関係があります。

$$f_{BW} = f_c \times \pi/2$$

カットオフ周波数 3.183 kHzの1次LPFの雑音帯域幅は、5 kHzです。

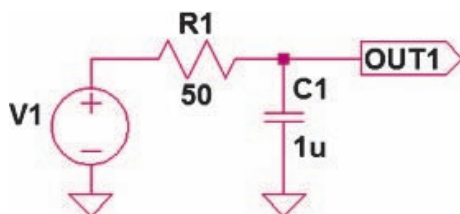
図2は、図1の1次LPFの雑音帯域幅(Δf)の意味を説明する図です。雑音帯域幅とは、電力ゲインの周波数特性を積分して、その電力ゲインの最大値で割った値です。つまり、電力ゲインを周波数無限大まで積分して得られる面積と「電力ゲインの最大値 \times 雑音帯域幅」の長方形の面積が等しくなる周波数です。

1次LPFの全出力雑音は次のとおりです。

抵抗の熱雑音 \times 雑音帯域幅

- 1次LPFの雑音帯域幅とカットオフ周波数の関係
雑音帯域幅 Δf は次式で表されます。

$$\Delta f = \frac{1}{G_0} \int_0^\infty G(f) df \dots \dots \dots (1)$$



```
.noise V(OUT1)V1 dec 100 1 1000meg
.MEAS NOISE out_totn INTEG V(onoise)
.MEAS NOISE Noise_1Hz FIND V(onoise)at 1
.MEAS NOISE Noise_BW PARAM(out_totn**2/
Noise_1Hz**2)
```

図1 1次LPFから発生する雑音量を計算できる？

ただし、 G_0 ：電力ゲインの最大値、 $G(f)$ ：電力ゲインの周波数特性

これは、電力ゲインを無限大周波数まで積分した面積を四角形の一辺である G_0 で除算するという意味です。電力ゲインは電圧ゲイン $T(f)$ の2乗です。 Δf は電圧ゲイン $T(f)$ を使って次のように表すことができます。

$$\Delta f = \frac{1}{|T_0|^2} \int_0^\infty |T(f)|^2 df \dots \dots \dots (2)$$

図1の1次LPFの伝達関数 $T(j\omega)$ は次のとおりです。

$$T(j\omega) = 1/(1 + j\omega CR) \dots \dots \dots (3)$$

式(2)と式(3)から、無限大周波数まで積分した面積と四角形の一辺になる $|T_0|^2$ で除算すると雑音帯域幅 Δf が求まり、次式が導かれます。

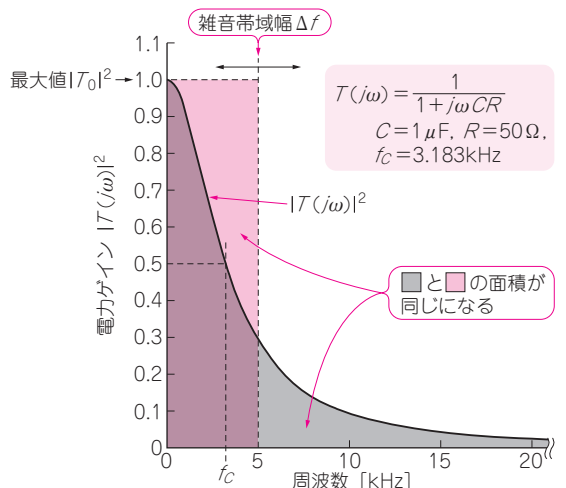
$$\Delta f = \frac{\pi}{2} \times \frac{1}{2\pi CR} = \frac{\pi}{2} f_c \dots \dots \dots (4)$$

式(4)から、雑音帯域幅は1次LPFのカットオフ周波数($f_c = 1/(2\pi CR)$)より高いことがわかります。

- 手計算！ 1次LPFの全出力雑音

1次LPF(図1)のコンデンサ(リアクタンス分)は、雑音を発生しません。雑音源は R_1 で、その種類は熱雑音です。

図3に示すように、雑音のまったくない抵抗とコンデンサで構成した1次LPFと抵抗の熱雑音源を分けて考えます。次式のように、抵抗の熱雑音 V_N^2 は、周波数特性をもたない雑音と1次LPFの雑音帯域幅(Δf)



電力ゲイン $|T(j\omega)|^2$ を0 $\sim\infty$ 間で積分した面積と「最大値 $|T_0|^2 \times$ 雑音帯域幅 Δf 」の面積が等しくなる Δf が雑音帯域幅である

図2 混同しやすい雑音帯域幅(f_{BW})とカットオフ周波数(f_c)の関係($f_{BW} = f_c \times \pi/2$)