

第12回 フィルタの設計 (パッシブフィルタ/アクティブフィルタ)

TDU



講義資料は
<http://amplet.tokyo/tdu>
からダウンロードできます。

初版：2017年3月19日

ユビキタス無線工学
担当：根日屋 英之

2017年6月29日

1

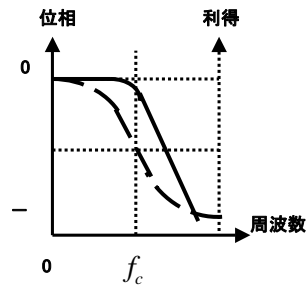
フィルタについて

2017年6月29日

2

フィルタの特性

TDU



ある周波数以下の周波数帯域で、信号を通過させる。

レスポンス ———

位相 - - - -

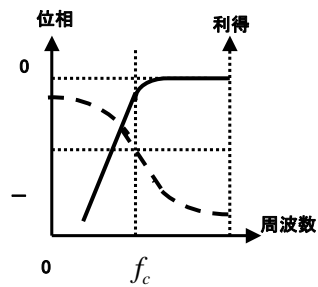
(a) ローパス・フィルタ

2017年6月29日

3

フィルタの特性

TDU



ある周波数以上の周波数帯域で、信号を通過させる。

レスポンス ———

位相 - - - -

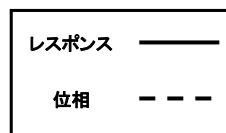
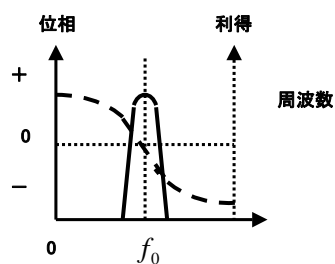
(b) ハイパス・フィルタ

2017年6月29日

4

フィルタの特性

TDU



中心周波数における狭帯域で、信号を通過させる。

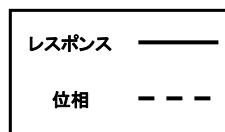
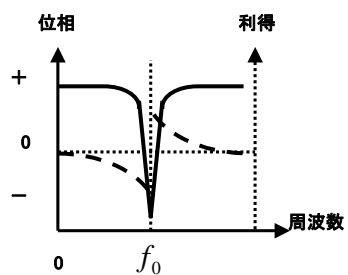
(c) バンドパス・フィルタ

2017年6月29日

5

フィルタの特性

TDU



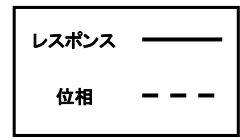
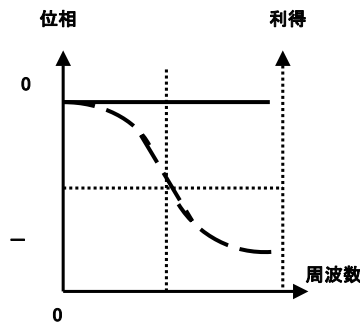
中心周波数における狭帯域で、信号を通過させない。ノッチフィルタともいう。

(d) バンドエリミネート・フィルタ

2017年6月29日

6

フィルタの特性

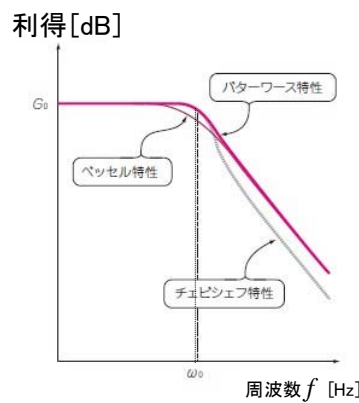


周波数レスポンスが平坦で、位相だけが変化する。

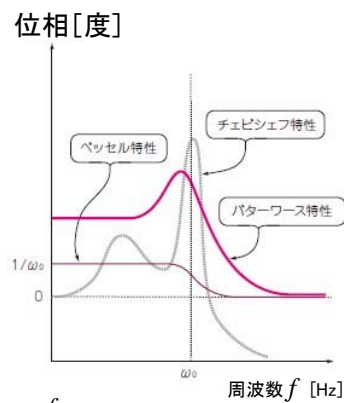
(e) オールパス・フィルタ

特性の違いによるフィルタの区分

基本設計はバターワース特性で行う。



(a) 利得特性



(b) 位相特性

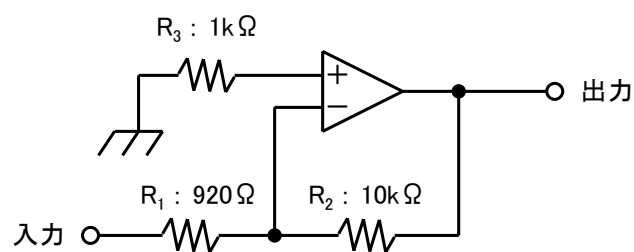
アクティブフィルタについて

2017年6月29日

9

OPアンプによる反転増幅器

TDU



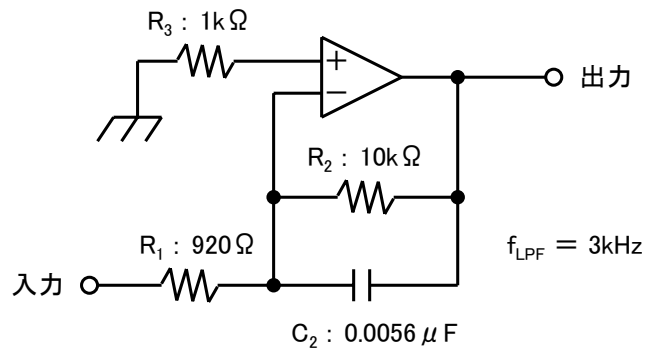
$$\text{利得}G = 20\log(R_2/R_1)$$

2017年6月29日

10

アクティブローパスフィルタの回路構成 ($f_{LPF} = 3\text{kHz}$)

TDU



$$\text{利得} G = 20\log(R_2 / R_3)$$

$$\text{カットオフ周波数} f_{LPF} = 1 / (2\pi C_2 R_2)$$

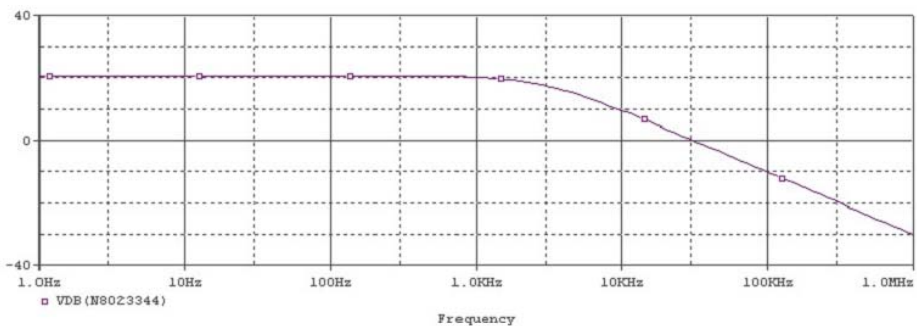
2017年6月29日

11

実際にある部品を用いたアクティブローパスフィルタのPSpiceシミュレーション結果

TDU

利得[dB]



利得特性

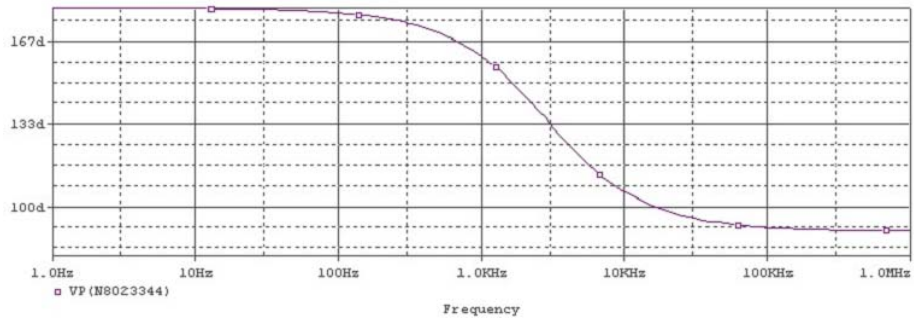
2017年6月29日

12

実際にある部品を用いたアクティブ
ローパスフィルタのPSpiceシミュレーション結果

TDU

位相[度]



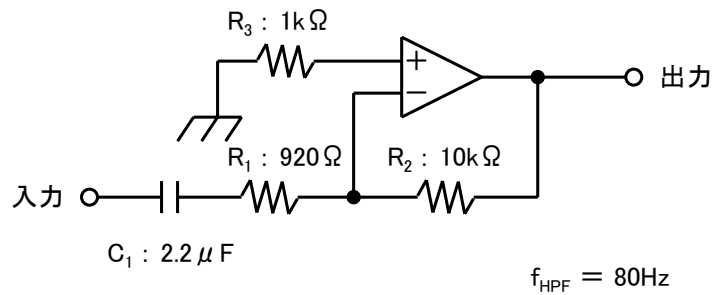
位相特性

2017年6月29日

13

アクティブハイパスフィルタの回路構成 ($f_{HPF} = 80\text{Hz}$)

TDU



$$\text{利得} G = 20 \log (R_2 / R_3)$$

$$\text{カットオフ周波数 } f_{HPF} = 1 / (2 \pi C_1 R_1)$$

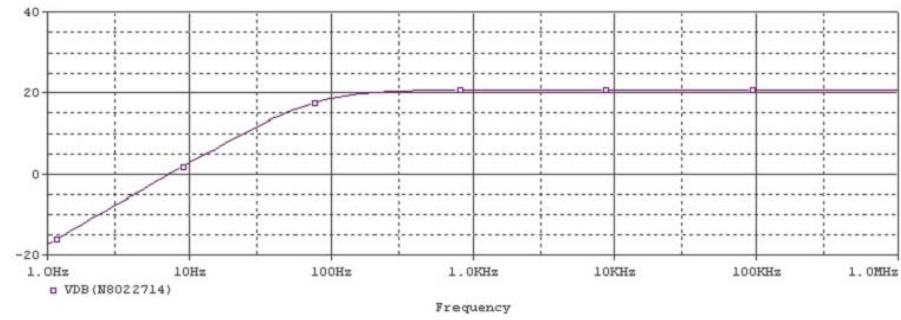
2017年6月29日

14

実際にある部品を用いたアクティブ
ハイパスフィルタのPSpiceシミュレーション結果

TDU

利得[dB]



利得特性

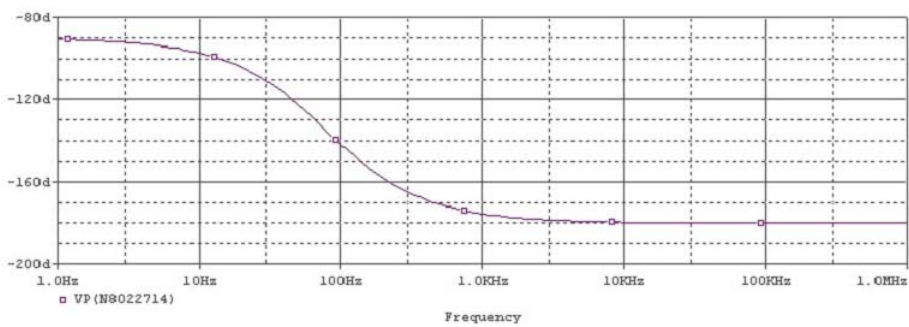
2017年6月29日

15

実際にある部品を用いたアクティブ
ハイパスフィルタのPSpiceシミュレーション結果

TDU

位相[度]



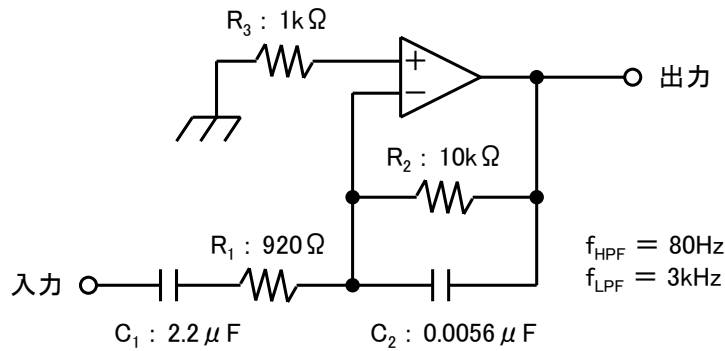
位相特性

2017年6月29日

16

アクティブバンドパスフィルタの回路構成 (80Hz~3kHz)

TDU



$$\text{利得} G = 20 \log (R_2 / R_3)$$

$$\text{低域カットオフ周波数 } f_{HPH} = 1 / (2\pi C_1 R_1)$$

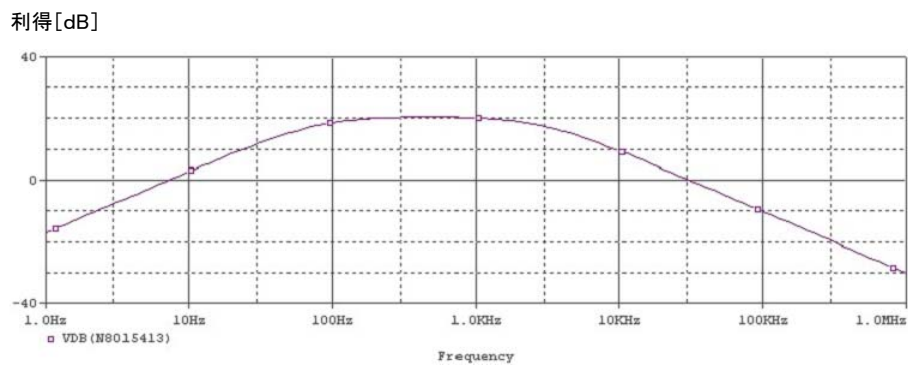
$$\text{高域カットオフ周波数 } f_{LPF} = 1 / (2\pi C_2 R_2)$$

2017年6月29日

17

実際にある部品を用いたアクティブ バンドパスフィルタのPSpiceシミュレーション結果

TDU



利得特性

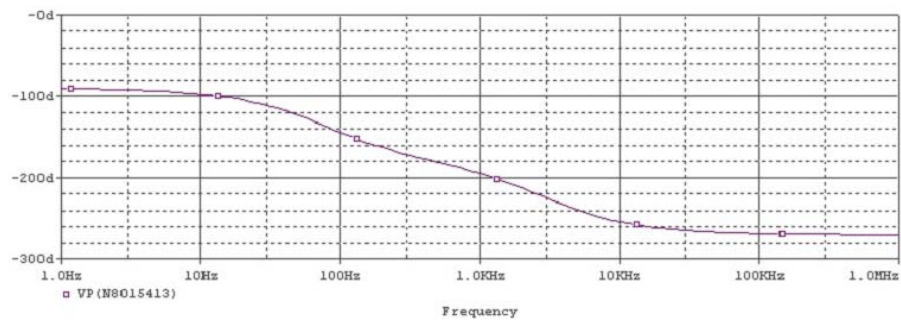
2017年6月29日

18

実際にある部品を用いたアクティブ
バンドパスフィルタのPSpiceシミュレーション結果

TDU

位相[度]



位相特性

2017年6月29日

19

パッシブフィルタについて

2017年6月29日

20

パッシブフィルタの設計について

TDU

- ① 基本はバターワース特性のフィルタを設計する。
- ② チェビシェフ特性やベッセル特性を実現するには、バターワース特性フィルタの構成要素であるコイルのインダクタンス値やコンデンサのキャパシタンス値に、公開されているチェビシェフ特性やベッセル特性の設計表に記載された係数を乗じる。

[事例] <http://homepage2.nifty.com/y-daisan/homepage/html/A051223.html>

- ③ フィルタの次数は、フィルタに使われているコイルやコンデンサの部品総数と等しい。3次のフィルタとは、コイルとコンデンサの部品総数が3個。
- ④ バターワース特性のローパスフィルタは、カットオフ周波数から、その2倍（オクターブ）の周波数における減衰傾度は以下ようになる。

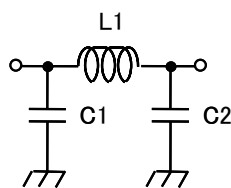
$$(-6\text{dB}) \times \text{フィルタの次数}$$

2017年6月29日

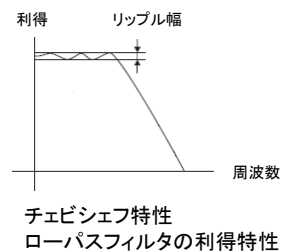
21

チェビシェフ特性変換の設計表の事例

TDU



[注記]
ここでは、利得と減衰を
同義語で用いています。



3次パッシブフィルタ				
	リップル幅	C1	L1	C2
バターワース特性フィルタ		1	2	1
チェビシェフ特性フィルタ	0.01dB	1.1811	1.8214	1.1811
チェビシェフ特性フィルタ	0.1dB	0.3374	0.9705	2.2034

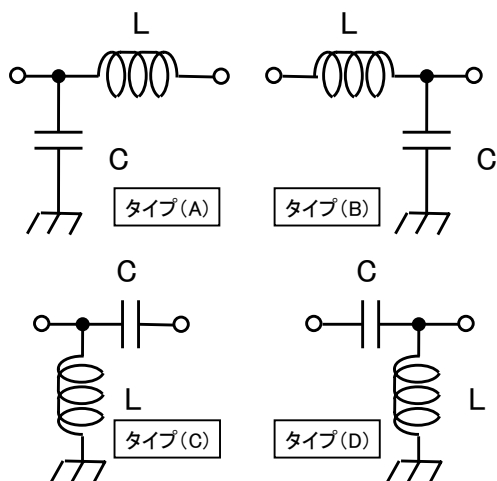
[参考] <http://homepage2.nifty.com/y-daisan/homepage/html/A051223.html>

2017年6月29日

22

LCフィルタの構成要素

TDU



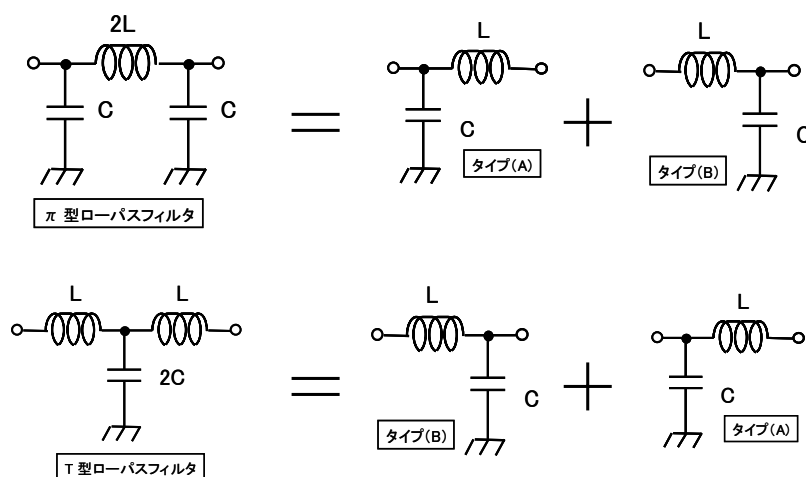
$$\begin{cases} C = \frac{1}{2\pi f Z} \\ L = \frac{Z}{2\pi f} \end{cases}$$

2017年6月29日

23

LCフィルタの構成要素

TDU

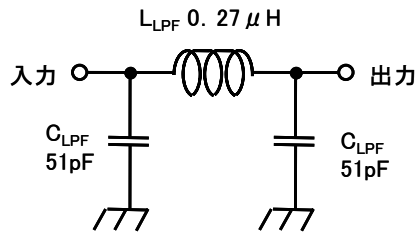


2017年6月29日

24

パッシブローパスフィルタの設計

TDU



[通過帯域]

カットオフ周波数 f_{LPF} : 60MHz

フィルタ形式 : π 型ローパスフィルタ

入・出力インピーダンス : $Z = 50\Omega$

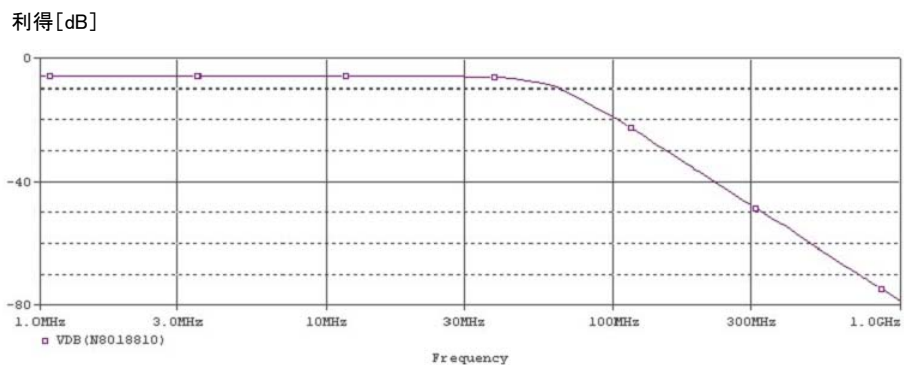
$$\begin{cases} C_{LPF} = C = \frac{1}{2\pi f_{LPF} Z} \\ L_{LPF} = 2L = 2 \times \frac{Z}{2\pi f_{LPF}} = \frac{Z}{\pi f_{LPF}} \end{cases}$$

2017年6月29日

25

実際にある部品を用いたパッシブローパスフィルタのPSpiceによるシミュレーション結果

TDU



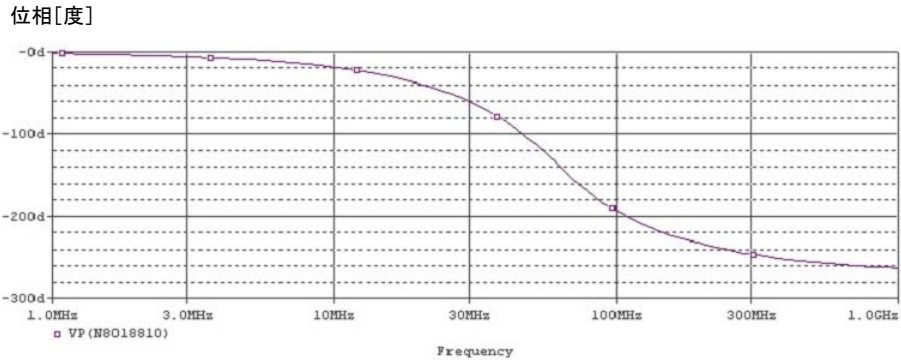
利得特性

2017年6月29日

26

実際にある部品を用いたパッシブローパスフィルタのPSpiceによるシミュレーション結果

TDU



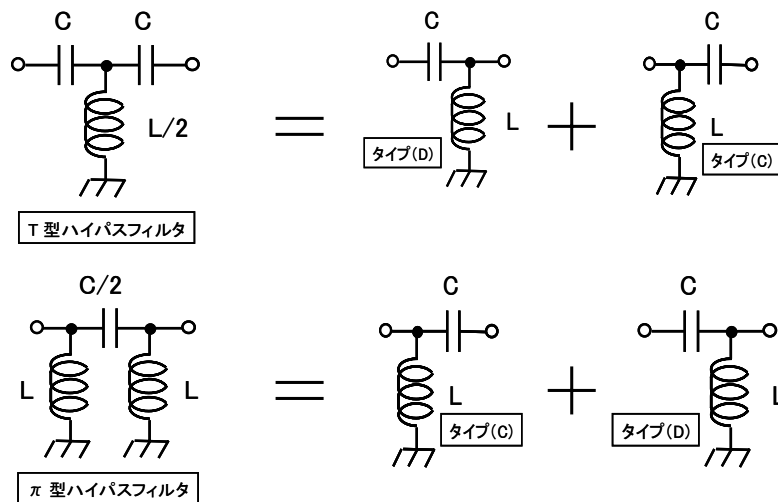
位相特性

2017年6月29日

27

LCフィルタの構成要素

TDU

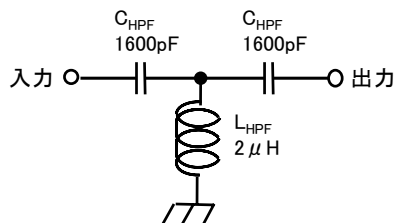


2017年6月29日

28

パッシブハイパスフィルタの設計

TDU



[通過帯域]

カットオフ周波数 f_{HPF} : 2MHz

フィルタ形式 : T型ハイパスフィルタ

入・出カインピーダンス : $Z = 50\Omega$

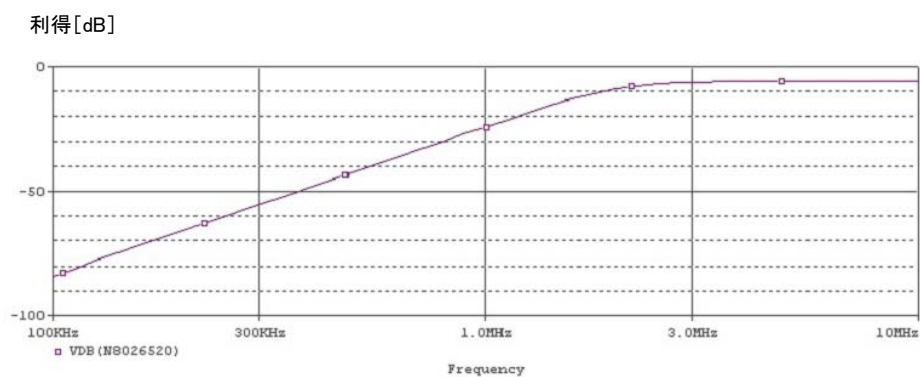
$$\begin{cases} C_{HPF} = C = \frac{1}{2\pi f_{HPF} Z} \\ L_{HPF} = \frac{1}{2} \times L = \frac{1}{2} \times \frac{Z}{2\pi f_{HPF}} = \frac{Z}{4\pi f_{HPF}} \end{cases}$$

2017年6月29日

29

実際にある部品を用いたパッシブハイパスフィルタのPSpiceによるシミュレーション結果

TDU



利得特性

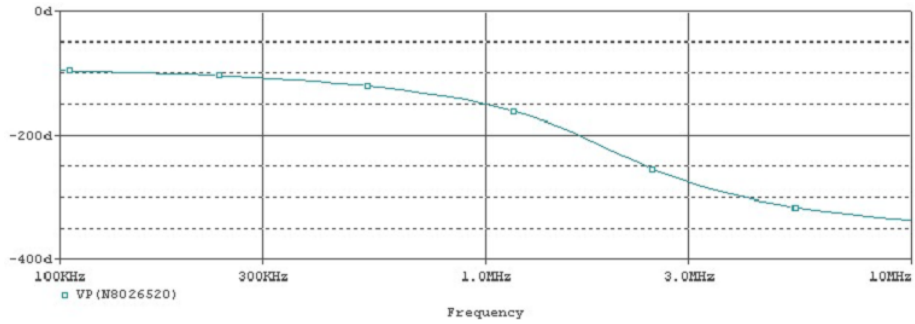
2017年6月29日

30

実際にある部品を用いたパッシブハイパスフィルタのPSpiceによるシミュレーション結果

TDU

位相[度]



位相特性

2017年6月29日

31

パッシブバンドパスフィルタの設計

TDU

[通過帯域]

通過帯域 : 60~120MHz (帯域 60MHz)

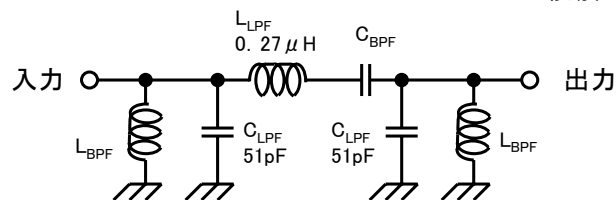
フィルタ形式 : パターワース型バンドパスフィルタ

入・出力インピーダンス : $Z = 50 \Omega$

[設計方法]

Step 1 : まず、帯域が60MHzのローパスフィルタを設計する。・・・図 8-2-1参照

Step 2 : そのローパスフィルタを60~120MHzの中心周波数である84.85MHzに移動する。



バンドパスフィルタ

2017年6月29日

32

パッシブバンドパスフィルタの設計

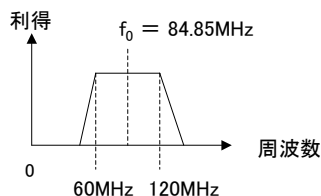
TDU

[設計 Step 2]

図8-2-1の帯域幅 60MHz ローパスフィルタの周波数を 60~120MHz へシフトする。

シフト後の中心周波数 f_0 は、60MHz と 120MHz の積の平方根で求める。基本となっている 3次バターワース型ローパスフィルタの C_{LPF} (51pF) に並列に L_{BPF} を並列共振素子として、また、 L_{LPF} (0.27 μ F) には C_{BPF} を直列共振素子として加える。このときの設計上の中心周波数は $f_0 = 84.85$ MHz である。

$$\sqrt{60\text{MHz} \cdot 120\text{MHz}} = 84.85\text{MHz}$$



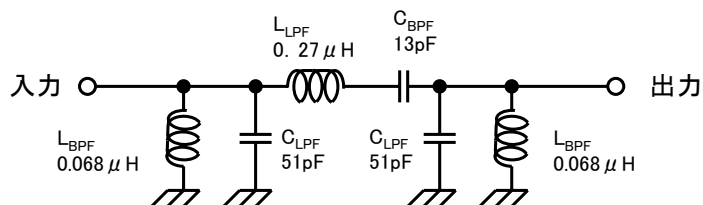
$$\begin{cases} f_0 = \sqrt{60[\text{MHz}] \times 120[\text{MHz}]} = 84.85[\text{MHz}] = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{BPF}C_{BPF}}} \\ C_{BPF} = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 \cdot L_{LPF}} = \frac{1}{(2\pi \times 84.85 \times 10^6)^2 \times 0.27 \times 10^{-6}} = 13[\text{pF}] \\ L_{BPF} = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 \cdot C_{LPF}} = \frac{1}{(2\pi \times 84.85 \times 10^6)^2 \times 51 \times 10^{-12}} = 0.069[\mu\text{H}] \end{cases}$$

2017年6月29日

33

パッシブバンドパスフィルタの設計

TDU



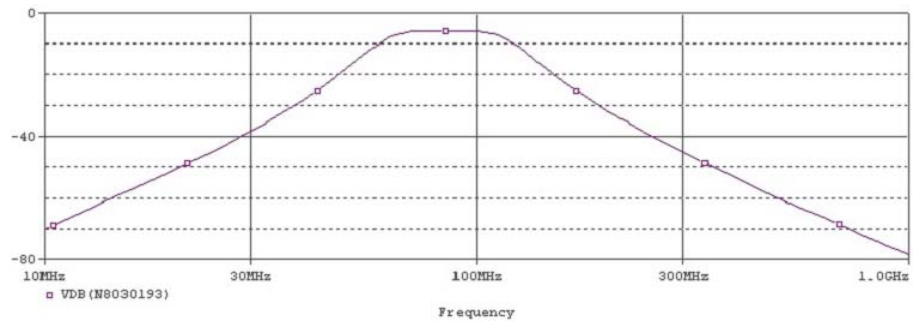
2017年6月29日

34

実際にある部品を用いたパッシブバンドパスフィルタのPSpiceによるシミュレーション結果

TDU

利得[dB]



利得特性

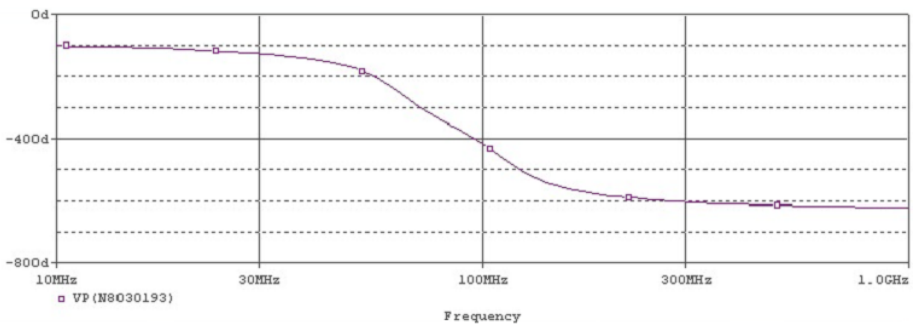
2017年6月29日

35

実際にある部品を用いたパッシブバンドパスフィルタのPSpiceによるシミュレーション結果

TDU

位相[度]



位相特性

2017年6月29日

36

高周波・無線教科書(CQ出版 初版)
175ページの図8-20 式の1行目の訂正

TDU

[誤]

$$\begin{cases} f_0 = \sqrt{60[\text{MHz}] \times 120[\text{MHz}]} = 84.85[\text{MHz}] = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{BPF}C_{BPF}}} \\ C_{BPF} = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 \cdot L_{LPF}} = \frac{1}{(2\pi \times 84.85 \times 10^6)^2 \times 0.27 \times 10^{-6}} = 13[\text{pF}] \\ L_{BPF} = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 \cdot C_{LPF}} = \frac{1}{(2\pi \times 84.85 \times 10^6)^2 \times 51 \times 10^{-12}} = 0.069[\mu\text{H}] \end{cases}$$



[正]

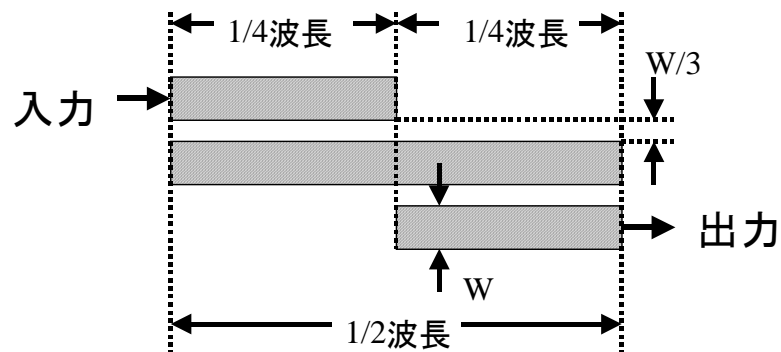
$$\begin{cases} f_0 = \sqrt{60[\text{MHz}] \times 120[\text{MHz}]} = 84.85[\text{MHz}] = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{LPF}C_{BPF}}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{BPF}C_{LPF}}} \\ C_{BPF} = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 \cdot L_{LPF}} = \frac{1}{(2\pi \times 84.85 \times 10^6)^2 \times 0.27 \times 10^{-6}} = 13[\text{pF}] \\ L_{BPF} = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 \cdot C_{LPF}} = \frac{1}{(2\pi \times 84.85 \times 10^6)^2 \times 51 \times 10^{-12}} = 0.069[\mu\text{H}] \end{cases}$$

2017年6月29日

37

マイクロストリップ線路を用いた
パッシブバンドパスフィルタ

TDU



2017年6月29日

38