電子回路設計
— OPアンプ (3) —

小林春夫・桑名杏奈
Email: koba@gunma-u.ac.jp
Tel: 0277-30-1788
オフィスアワー: AM9:00～AM10:00(平日)
電気電子棟（3号館）4F 404室

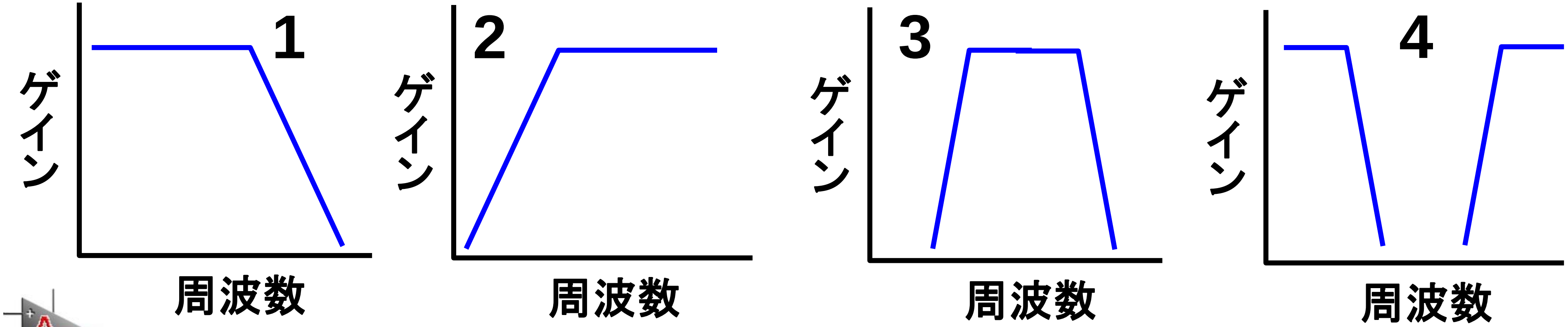
授業の内容

- 第1回　講義内容の説明と電子回路設計の基礎知識
- 第2回　キルヒホッフ則を用いた回路解析と演習
- 第3回　集積回路のデバイス･モデル
- 第4回　Bipolarトランジスタの基礎(1)
- 第5回　Bipolarトランジスタの基礎(2)
- 第6回　MOSトランジスタの基礎(1)
- 第7回　MOSトランジスタの基礎(2)
- 第8回　中間テスト
- 第9回　MOSトランジスタの基礎(3)
- 第10回　OPアンプ(1)
  OPアンプ(2)
- 第11回　OPアンプ(3)
  OPアンプ(4)
- 第12回　電源回路
- 第13回　高周波回路

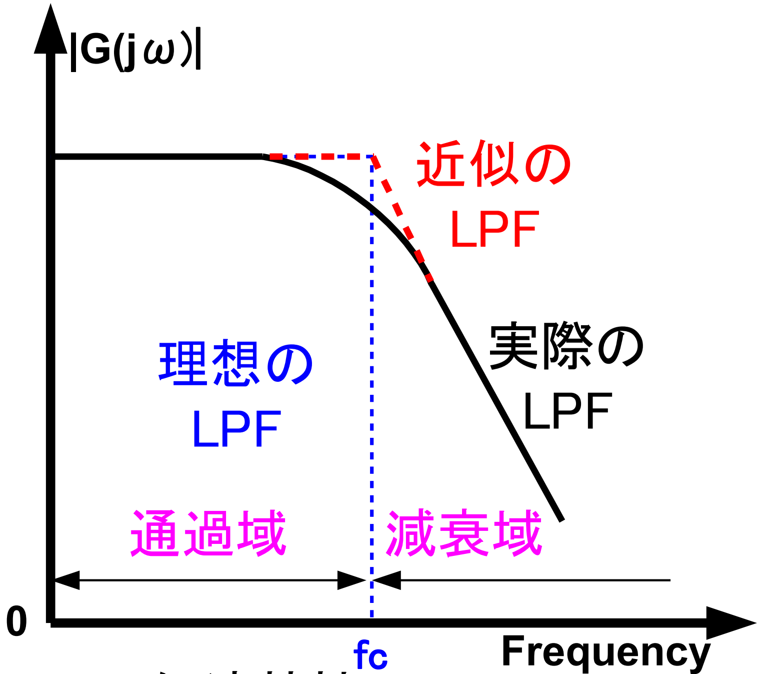
【復習】フィルタの種類

通過域に範囲によって、
 フィルタは4種類に分類される:

1. 低域通過フィルタ(Lowpass Filter)
2. 高域通過フィルタ(Highpass Filter)
3. 帯域通過フィルタ(Bandpass Filter)
4. 帯域除去フィルタ(Band Elimination Filter)



【復習】低域通過フィルタ(LPF)



伝達特性

直流からある周波数までは
ゲインは一定の値である。

周波数がfc以上に増加すると
ゲインは低下する。

fcはゲインの3dB減少する周波数である。
遮断周波数（カットオフ周波数)という。

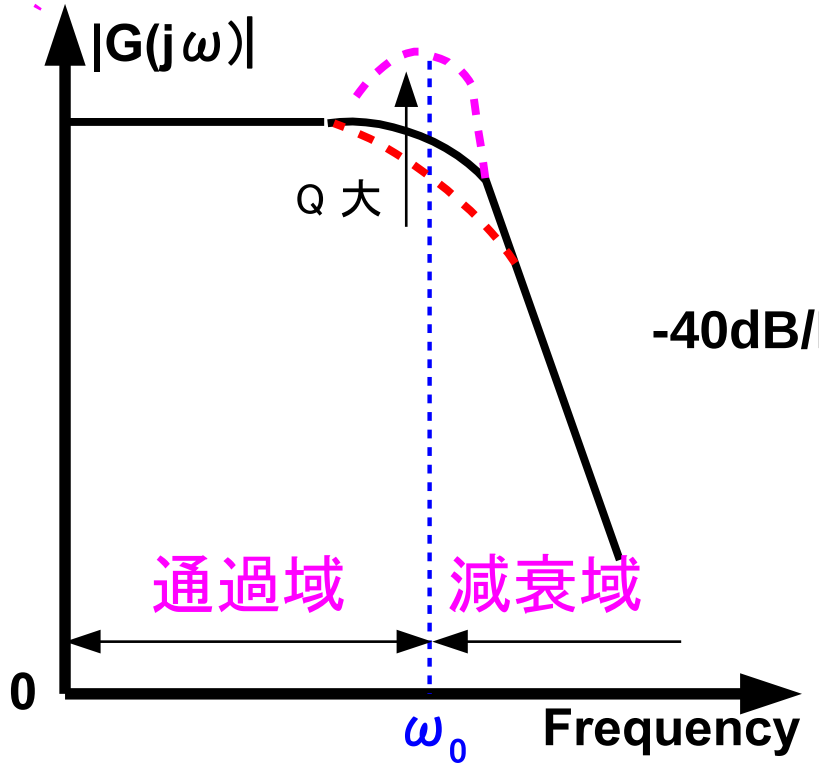
1次LPF伝達関数

$$G(j\omega) = H_0 \frac{\omega_0}{j\omega + \omega_0}$$

2次LPF伝達関数

$$G(j\omega) = H_0 \frac{\omega_0^2}{(j\omega)^2 + \frac{\omega_0}{Q} \cdot j\omega + \omega_0^2}$$

2次LPFの周波数特性



①$\omega << \omega_0$のとき

$$\frac{Vout}{Vin} \cong H_0$$

②$\omega = \omega_0$のとき

$$\frac{Vout}{Vin} = -jQH_0$$

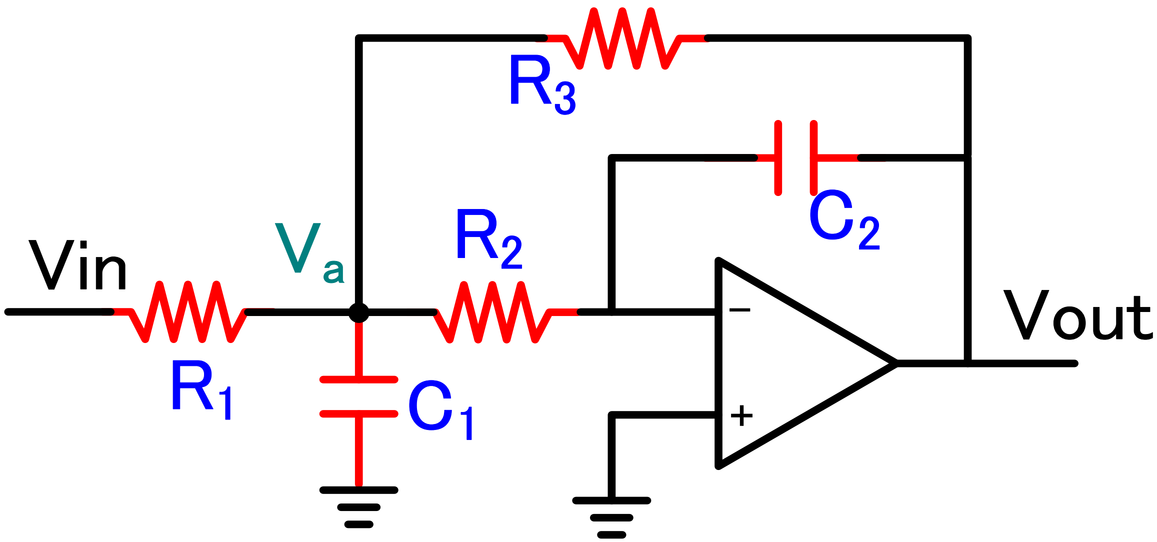
③$\omega >> \omega_0$のとき

$$\frac{Vout}{Vin} \cong -\frac{\omega_0^2}{\omega^2} H_0$$

$$\frac{Vout}{Vin} = H_0 \frac{\omega_0^2}{(j\omega)^2 + j\omega \cdot \frac{\omega_0}{Q} + \omega_0^2}$$

2次LPF回路

Sallen Key構成



1個のオペアンプで
2次能動フィルタ

$$\frac{Vin - V_a}{R_1} = \frac{V_a}{1/j\omega C_1} + \frac{V_a}{R_2} + \frac{V_a - Vout}{R_3}$$

$$\frac{V_a}{R_2} = -\frac{Vout}{1/j\omega C_2} \quad \Rightarrow \quad V_a = -j\omega R_2 C_2 Vout$$

2次LPFの伝達関数

$$\frac{\mathrm{Vout}}{\mathrm{Vin}} =$$

$$\mathrm{Q} =$$

$$\omega_0^2 =$$

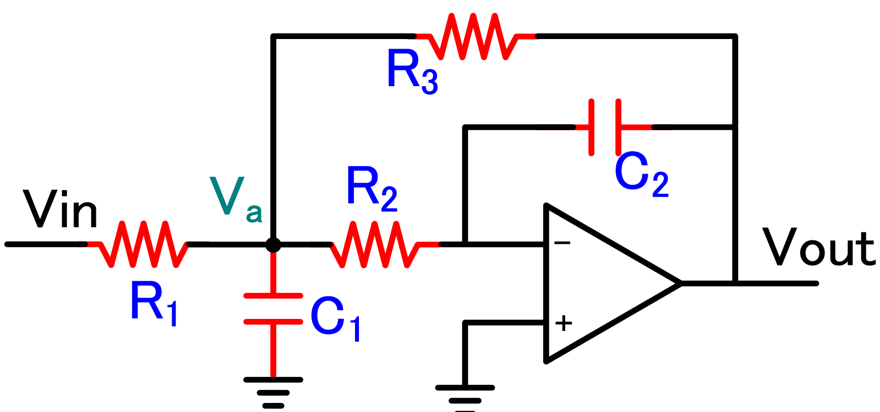
Q: Quality Factor

2次LPFの伝達関数

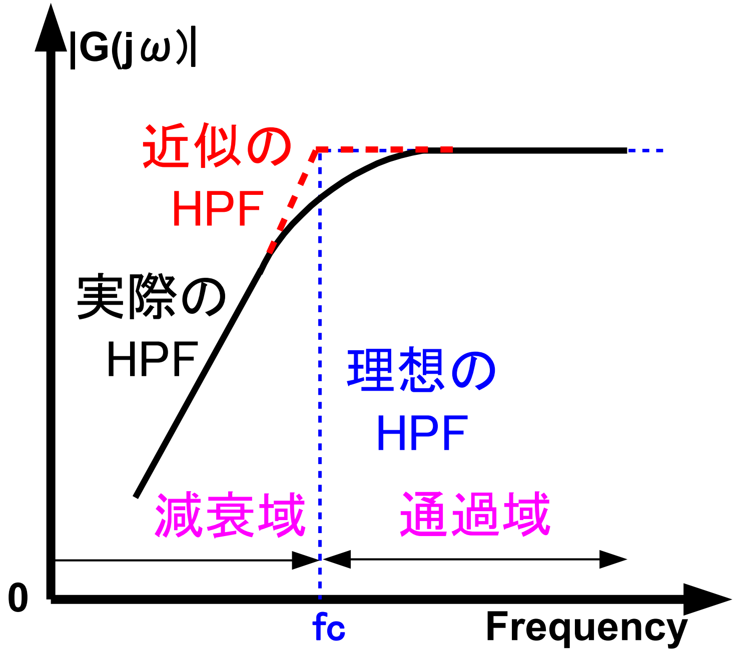
$$\frac{\mathrm{Vout}}{\mathrm{Vin}} = -\frac{\frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}}{(j\omega)^2 + j\omega \frac{1}{C_1}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right) + \frac{1}{R_2 R_3 C_1 C_2}}$$

$$Q = \frac{\sqrt{\frac{C_1}{C_2}}}{\frac{\sqrt{R_2 R_3}}{R_1} + \sqrt{\frac{R_3}{R_2}} + \sqrt{\frac{R_2}{R_3}}}$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{R_2 R_3 C_1 C_2}$$



高域通過フィルタ(HPF)



遮断周波数fcより高い周波数範囲において
ゲインは一定である。

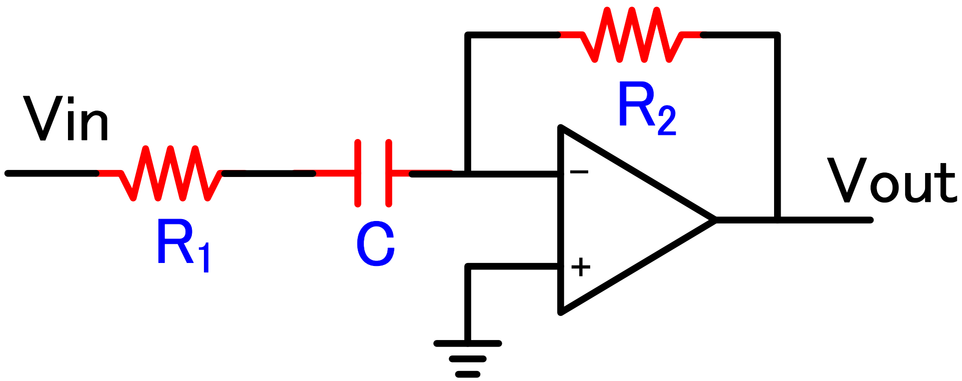
fcより低い周波数においては、
ゲインは低下する。

fcはゲインの3dB減少する周波数である。
遮断周波数という。

1次HPF伝達関数
$$G(j\omega) = H_0 \frac{j\omega}{j\omega + \omega_0}$$

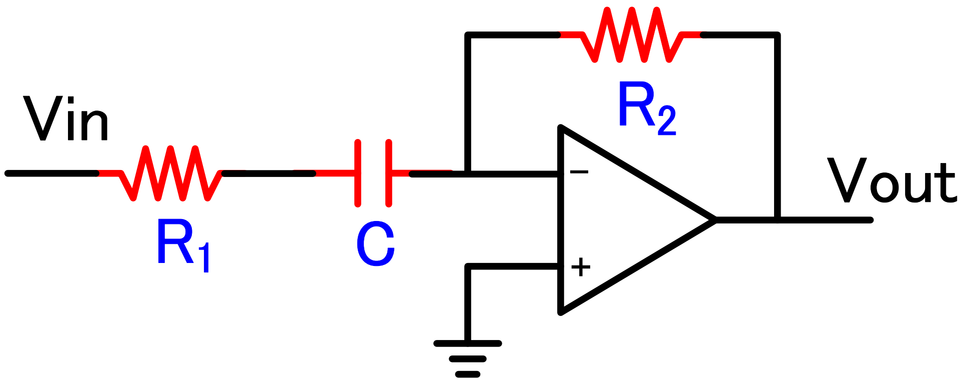
2次HPF伝達関数
$$G(j\omega) = H_0 \frac{(j\omega)^2}{(j\omega)^2 + \frac{\omega_0}{Q} \cdot j\omega + \omega_0^2}$$

1次HPF回路



$$\frac{\mathrm{Vout}}{\mathrm{Vin}} =$$

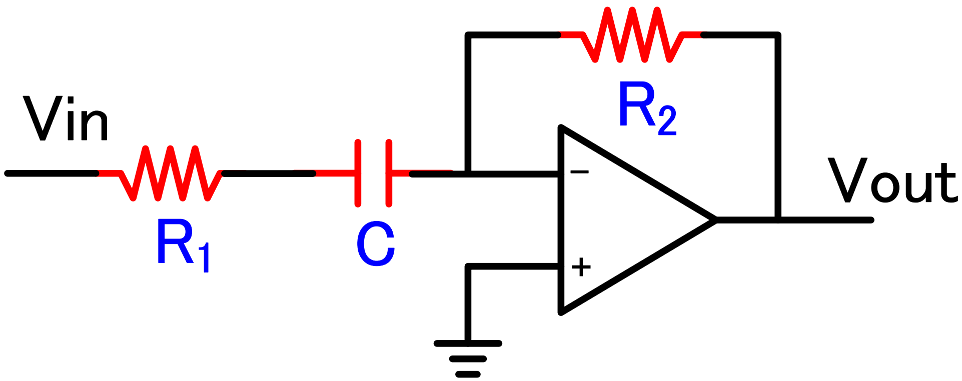
1次HPF回路

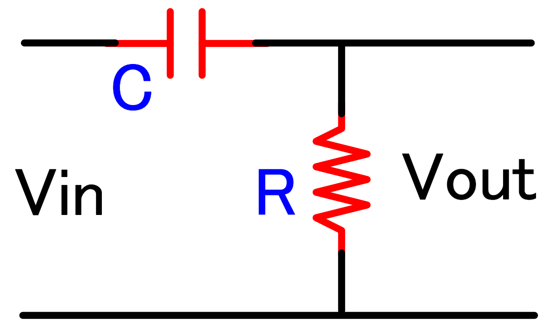


$$\frac{Vout}{Vin} = -\frac{R_2}{R_1 + 1/j\omega C}$$

$$= -\frac{j\omega CR_2}{j\omega CR_1 + 1}$$

1次HPF回路(比較)





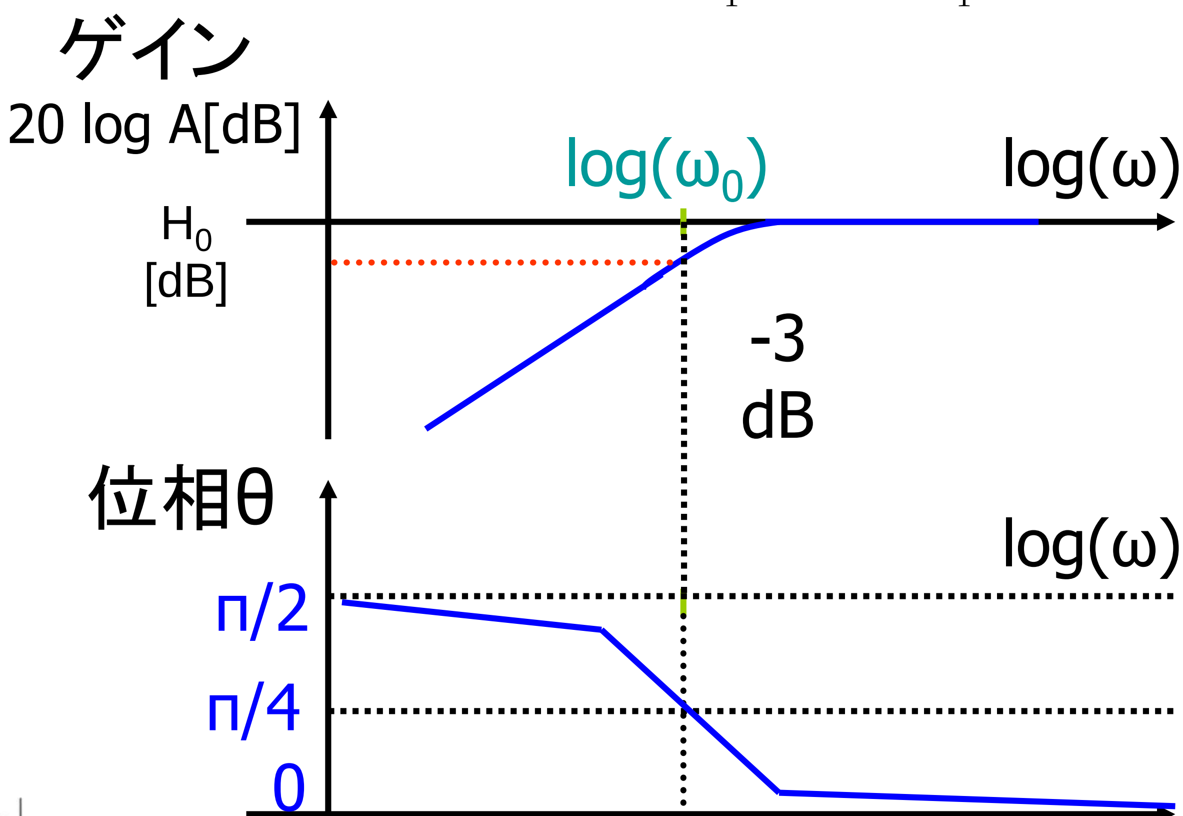
$$\frac{Vout}{Vin} = -\frac{j\omega CR_2}{j\omega CR_1 + 1}$$

$$\frac{Vout}{Vin} = \frac{j\omega CR}{1 + j\omega CR}$$

1次HPFのボード線図

$$\frac{Vout}{Vin} = H_0 \cdot \frac{j\omega}{j\omega + \omega_0}$$

$$H_0 = -\frac{R_2}{R_1}, \quad \omega_0 = \frac{1}{R_1 C}$$



①$\omega << \omega_0$のとき

$$\frac{Vout}{Vin} \cong j\frac{\omega}{\omega_0} H_0$$

$$= \frac{\omega}{\omega_0} H_0 \exp\left(j\frac{\pi}{2}\right)$$

②$\omega = \omega_0$のとき

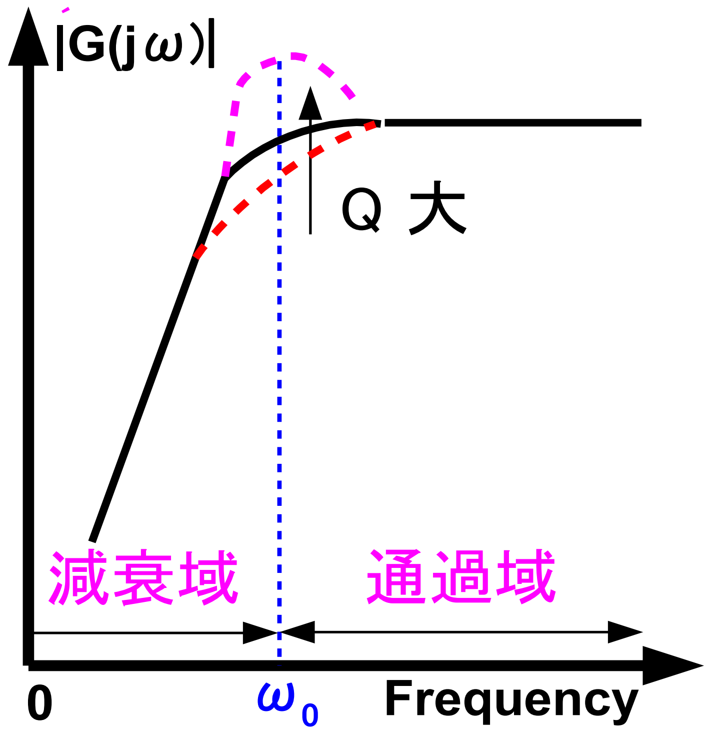
$$\frac{Vout}{Vin} = \frac{j}{1+j} H_0$$

$$= \frac{H_0}{\sqrt{2}} \exp\left(j\frac{\pi}{4}\right)$$

③$\omega >> \omega_0$のとき

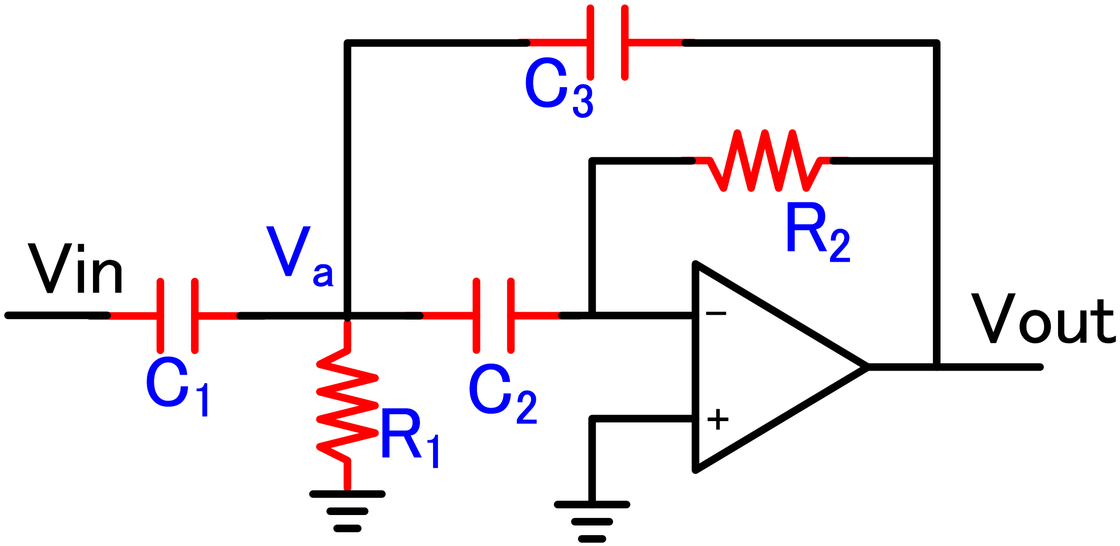
$$\frac{Vout}{Vin} \cong H_0$$

2次HPFの周波数特性



$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{(j\omega)^2}{(j\omega)^2 + (j\omega)\cdot\frac{\omega_0}{Q} + \omega_0^2}$$

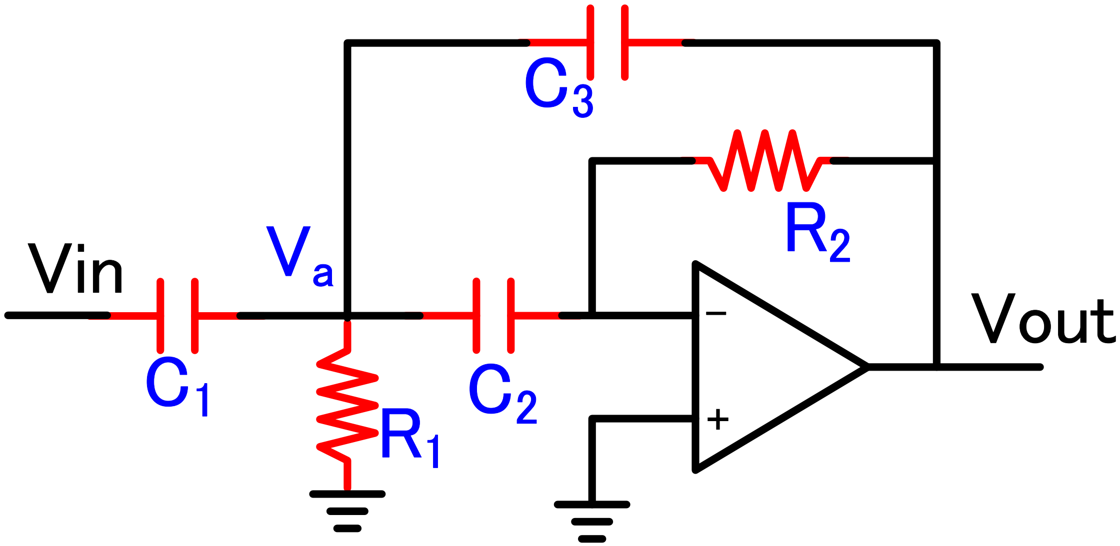
2次HPF回路



$$\frac{Vin - V_a}{1/j\omega C_1} =$$

$$\frac{V_a}{1/j\omega C_2} = \qquad \Rightarrow \quad V_a =$$

2次HPF回路



$$\frac{Vin - V_a}{1/j\omega C_1} = \frac{V_a}{R_1} + \frac{V_a}{1/j\omega C_2} + \frac{V_a - Vout}{1/j\omega C_3}$$

$$\frac{V_a}{1/j\omega C_2} = -\frac{Vout}{R_2} \quad \Rightarrow \quad V_a = -\frac{Vout}{j\omega R_2 C_2}$$

2次HPF回路の伝達関数

$$\frac{\mathrm{Vout}}{\mathrm{Vin}} =$$

$$Q =$$

$$\omega_0^2 =$$

$$H_0 =$$

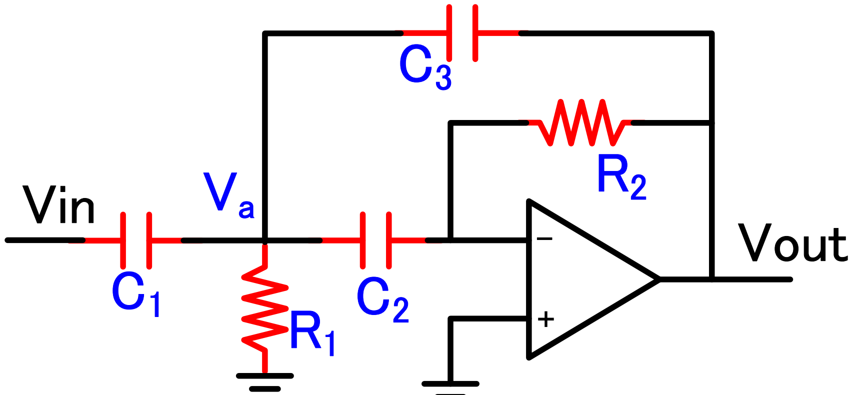
2次HPF回路の伝達関数

$$\frac{Vout}{Vin} = -\frac{(j\omega)^2 \dfrac{C_1}{C_3}}{(j\omega)^2 + (j\omega)\dfrac{C_1 + C_2 + C_3}{R_2 C_2 C_3} + \dfrac{1}{R_1 R_2 C_2 C_3}}$$

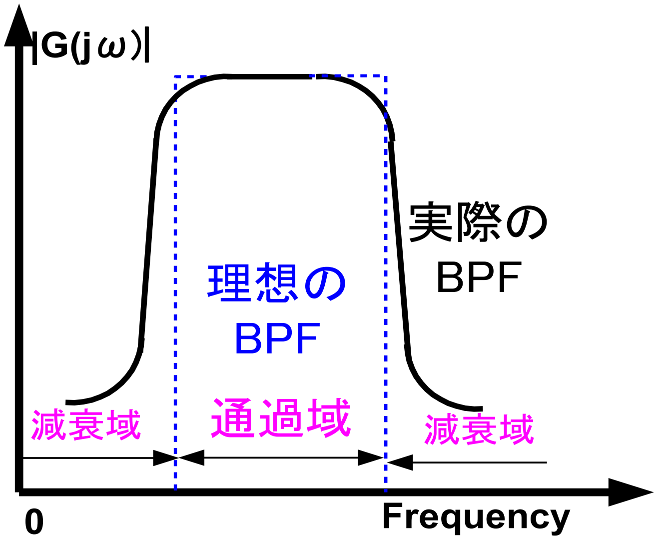
$$Q = \sqrt{\frac{R_2}{R_1}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\dfrac{C_3}{C_2}} + \sqrt{\dfrac{C_2}{C_3}} + \dfrac{C_1}{\sqrt{C_2 C_3}}}$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{R_1 R_2 C_2 C_3}$$

$$H_0 = \frac{C_1}{C_3}$$



帯域通過フィルタ(BPF)



伝達特性

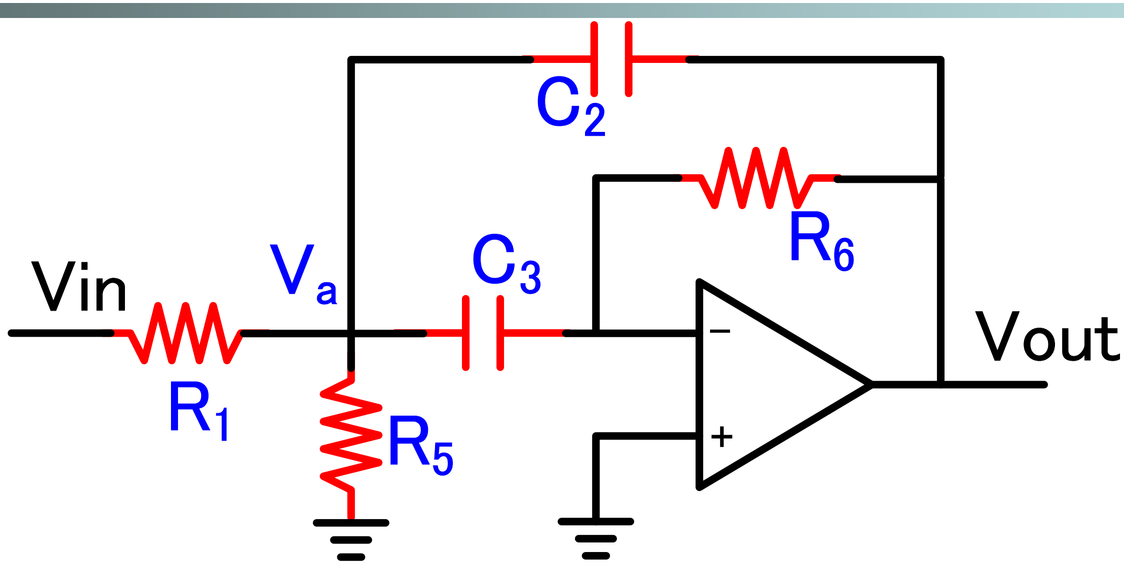
ある周波数の信号のみ通過させ、
その他のすべての周波数の信号を減衰させる回路である。

帯域通過フィルタの伝達関数は
1次ではなく、
2次関数で表される。

BPF伝達関数

$$G(j\omega) = H_0 \frac{\frac{\omega_0}{Q} \cdot j\omega}{(j\omega)^2 + \frac{\omega_0}{Q} \cdot j\omega + \omega_0^2}$$

BPF回路



$$\frac{Vin - V_a}{R_1} = \frac{V_a}{R_5} + \frac{V_a}{1/j\omega C_3} + \frac{V_a - Vout}{1/j\omega C_2}$$

$$\frac{V_a}{1/j\omega C_3} = -\frac{Vout}{R_6} \quad \Rightarrow \quad V_a = -\frac{Vout}{j\omega R_6 C_3}$$

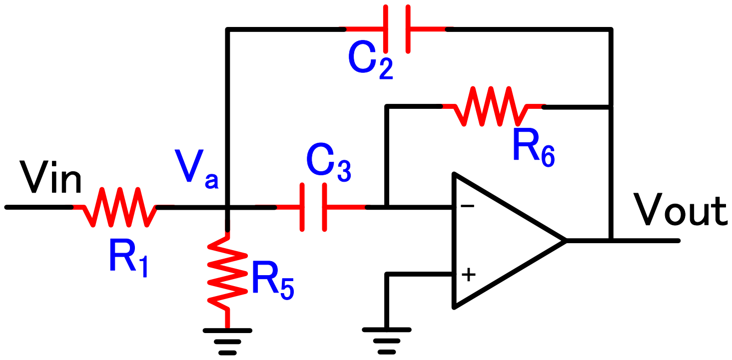
BPF伝達関数

$$\frac{Vout}{Vin} = -\frac{\dfrac{1}{R_1C_2}\cdot j\omega}{(j\omega)^2 + j\omega\left(\dfrac{1}{R_6C_3} + \dfrac{1}{R_6C_2}\right) + \dfrac{1}{R_6C_2C_3}\left(\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_5}\right)}$$

$$\omega_0^2 = \frac{1+\dfrac{R_1}{R_5}}{R_5R_6C_2C_3}$$

$$Q = \frac{\sqrt{1+\dfrac{R_1}{R_5}}}{\sqrt{\dfrac{R_5C_2}{R_6C_3}} + \sqrt{\dfrac{R_5C_3}{R_6C_2}}}$$

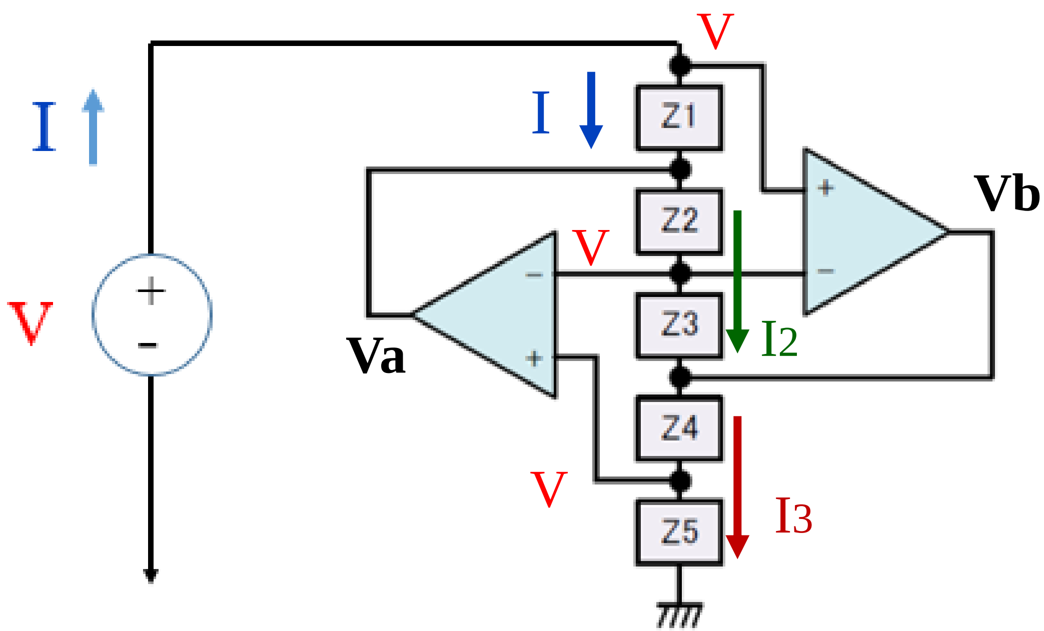
$$H_0 = \frac{\dfrac{R_6}{R_1}}{1+\dfrac{C_2}{C_3}}$$



GIC (General Impedance Converter)

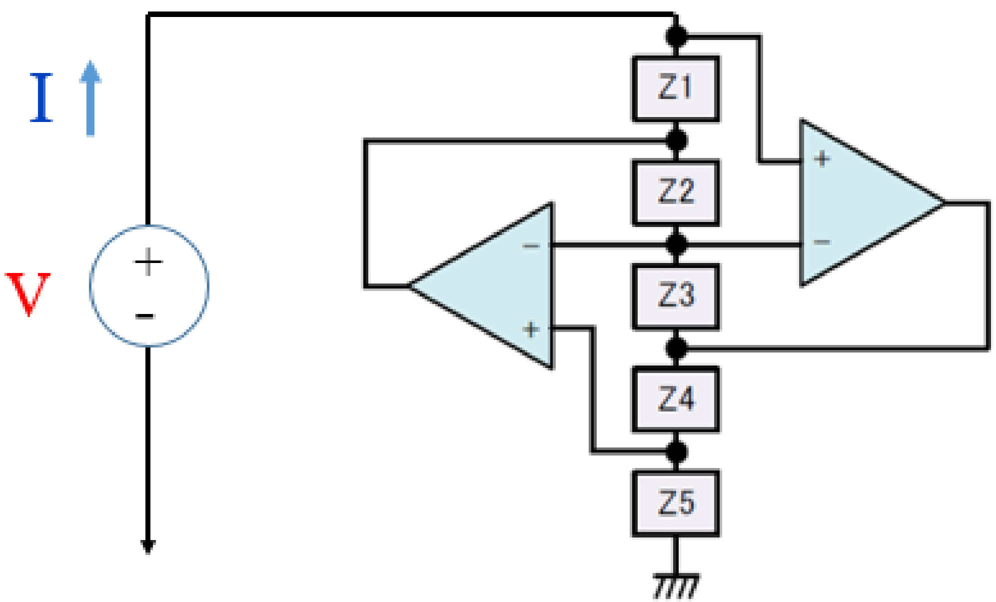
$$Z = \frac{Z1 \bullet Z3 \bullet Z5}{Z2 \bullet Z4}$$

例えば　Z2 をCとし
残りをRとすれば
等価的にLが実現



GIC (General Impedance Converter)

Z = V / I を求めよ



まとめ

OPアンプによるアクティブフィルタ

GIC (General Impedance Converter)

※講義資料:
https://kobaweb.ei.st.gunma-u.ac.jp/lecture/lecture.html