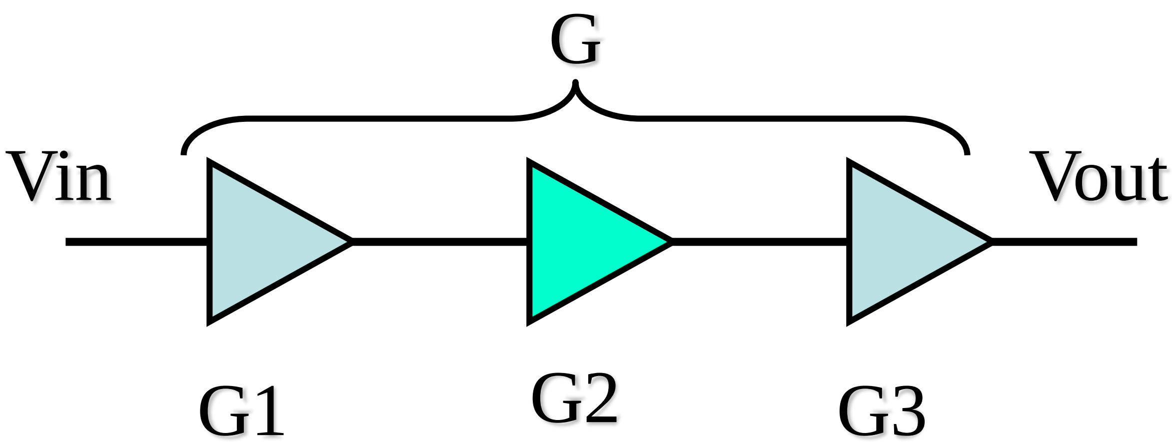
電子回路設計
― OPアンプ (4) ―

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

Cascadeシステムのゲイン



$$G(j\omega) = G_1(j\omega)\cdot G_2(j\omega)\cdot G_3(j\omega)$$

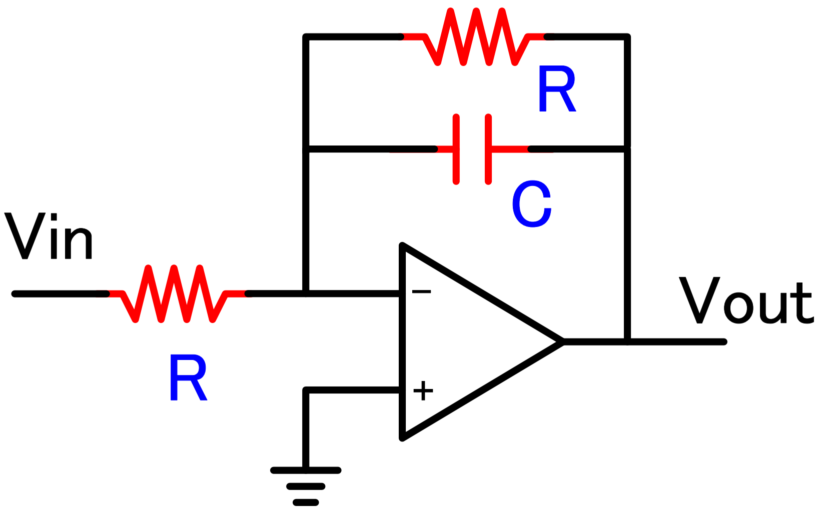
$$\left|G(j\omega)\right| = \left|G_1(j\omega)\right|\cdot\left|G_2(j\omega)\right|\cdot\left|G_3(j\omega)\right|$$

$$20\log\left|G(j\omega)\right| = 20\log\left|G_1(j\omega)\right| + 20\log\left|G_2(j\omega)\right| + 20\log\left|G_3(j\omega)\right|$$

回路のゲインは, dB表示にて

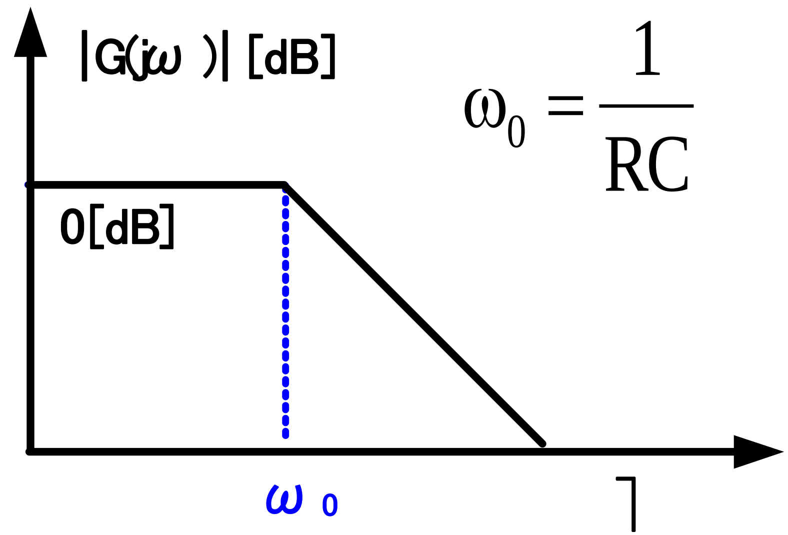
Gain= G1+G2+G3

LPFの振幅特性



$$G(j\omega) = \frac{\omega_0}{j\omega + \omega_0} = \frac{1}{1 + \dfrac{j\omega}{\omega_0}}$$

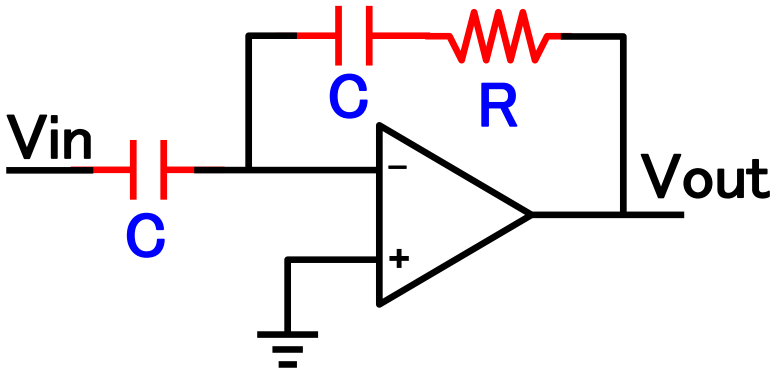
$$G(j\omega) = -\frac{1}{1 + \dfrac{j\omega}{1/RC}}$$



$$\omega_0 = \frac{1}{RC}$$

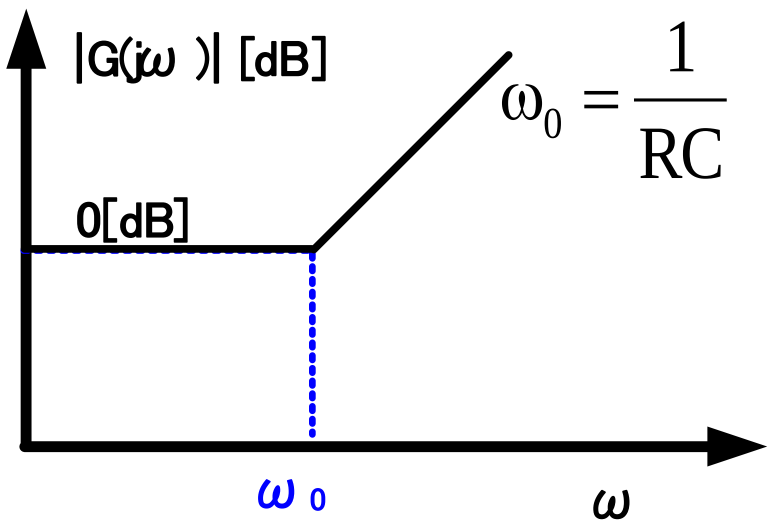
伝達関数の振幅特性

HPFの振幅特性



$$G(j\omega) = 1 + \frac{j\omega}{\omega_0}$$

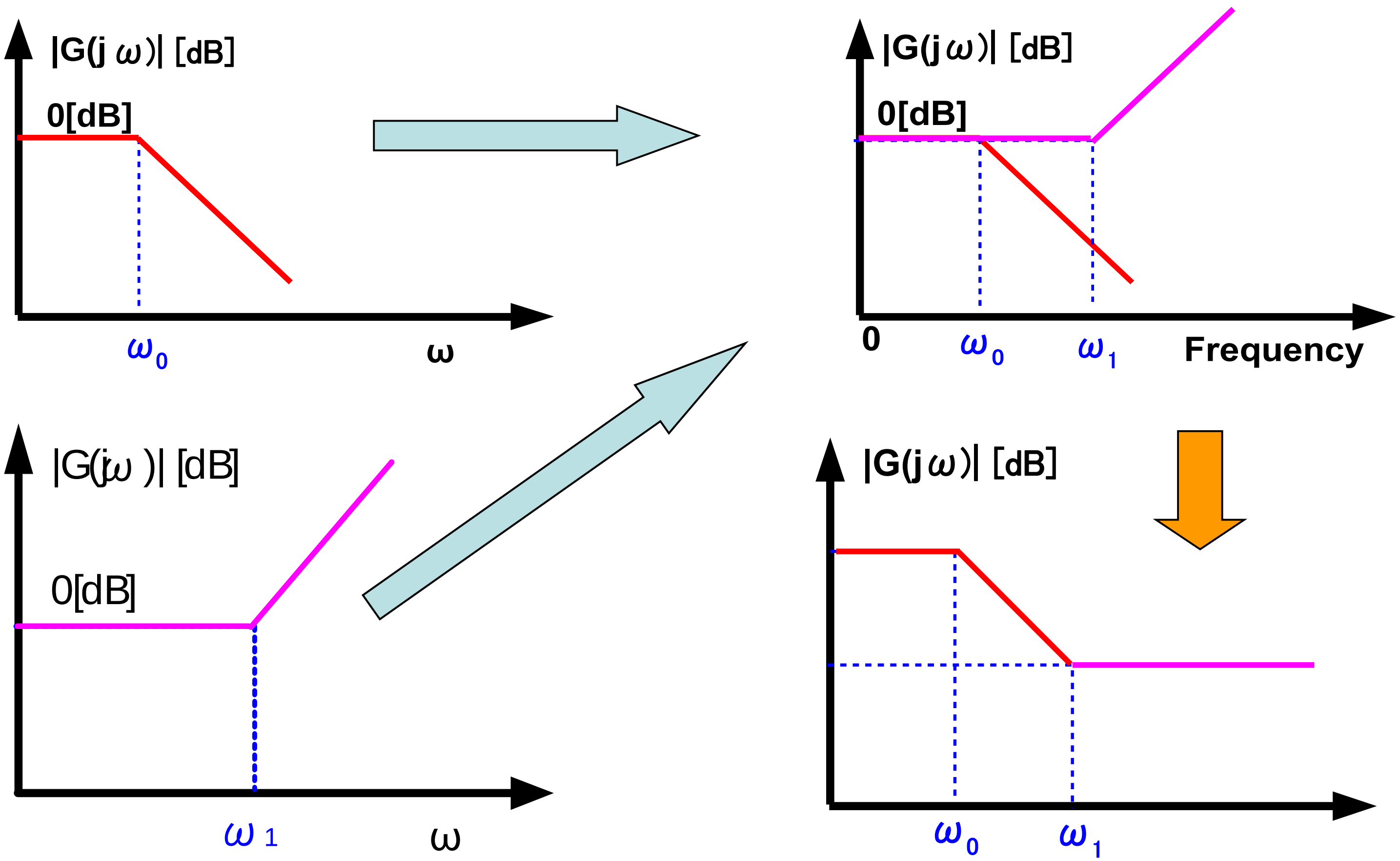
$$\frac{Vout}{Vin} = -\left(1 + \frac{j\omega}{1/RC}\right)$$



$$\omega_0 = \frac{1}{RC}$$

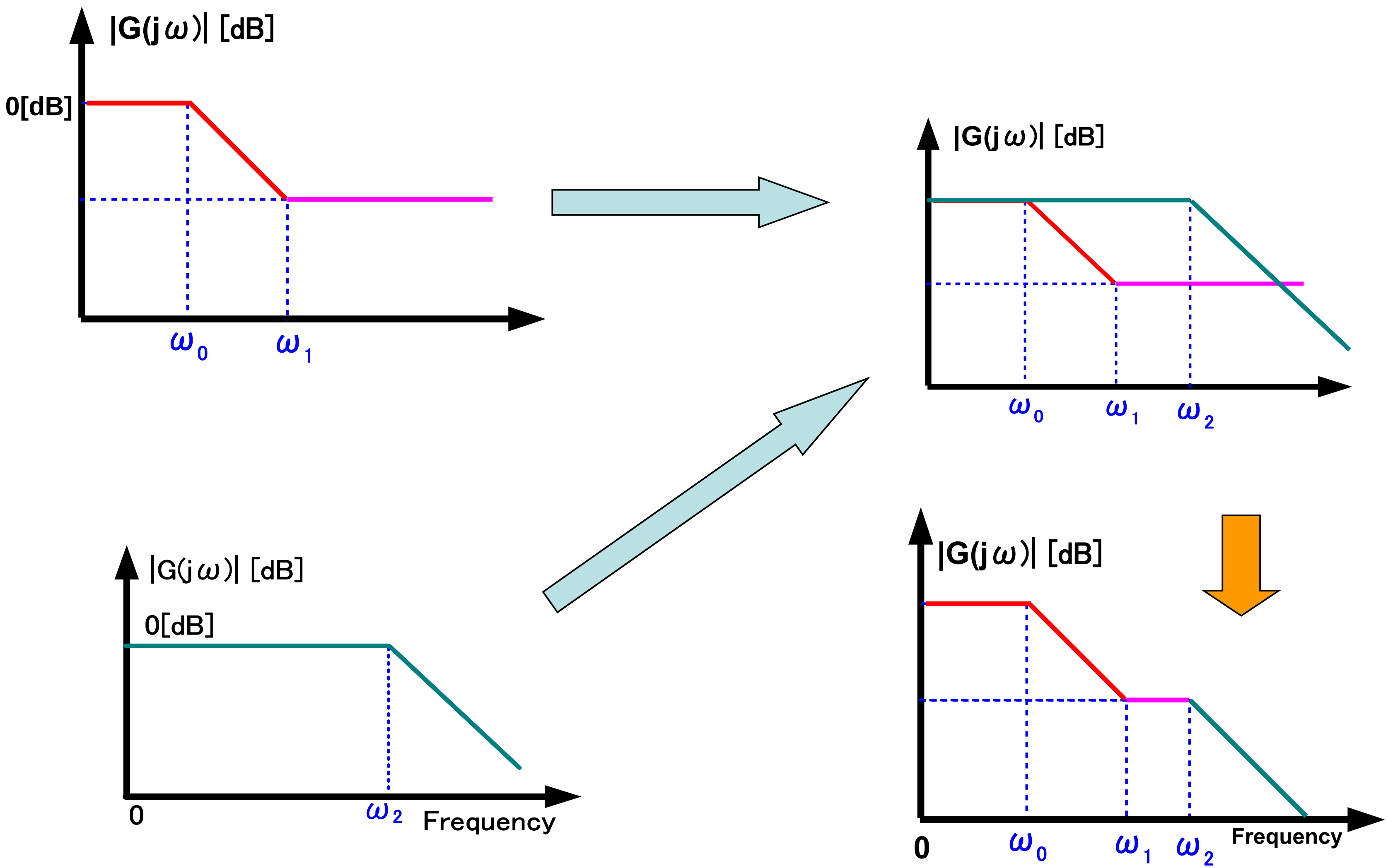
伝達関数の振幅特性

ゲインの足し算(1)



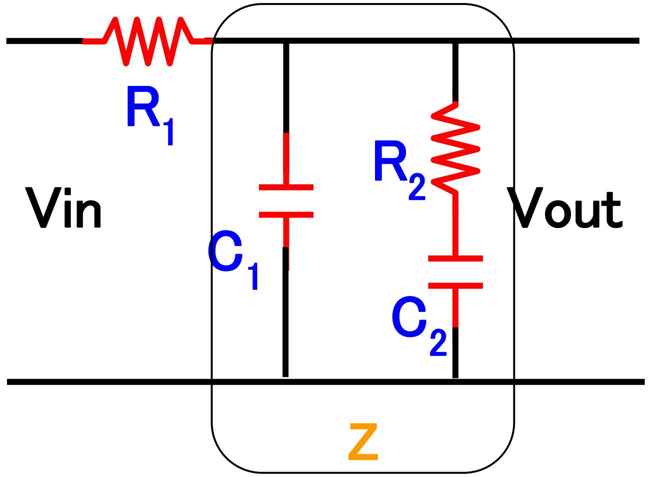
|G(j ω)| [dB]
0[dB]
ω0
ω
|G(jω)| [dB]
0[dB]
ω 1
ω
|G(j ω)| [dB]
0[dB]
0
ω0
ω1
Frequency
|G(j ω)| [dB]
ω0
ω1

ゲインの足し算(2)



|G(jω)| [dB]
0[dB]
ω0
ω1
|G(jω)| [dB]
ω0
ω1
ω2
|G(jω)| [dB]
0[dB]
0
ω2
Frequency
|G(jω)| [dB]
0
ω0
ω1
ω2
Frequency

図示回路の伝達関数G(jω)を求めよ



$$G(j\omega)=\frac{Vout}{Vin}=\frac{Z}{R_1+Z}$$

$$=$$

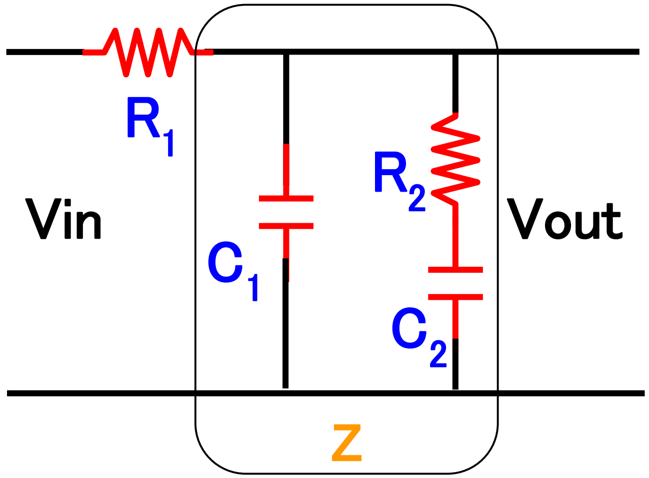
$$G(j\omega)=\frac{1+j\omega/\omega_1}{(1+j\omega/\omega_0)(1+j\omega/\omega_2)}$$
$$=\frac{1+j\omega/\omega_1}{1+j\omega(1/\omega_0+1/\omega_2)+(j\omega)^2(1/\omega_0\,\omega_2)}$$

の形となるように,

$1/\omega_1$, $(1/\omega_0+1/\omega_2)$, $1/\omega_0\omega_2$

を求める

図示回路の伝達関数G(jω)を求めよ



$$G(j\omega)=\frac{\mathrm{Vout}}{\mathrm{Vin}}=\frac{Z}{R_1+Z}$$

$$Z=\left(\frac{1}{j\omega C_1}\right)//\left(R_2+\frac{1}{j\omega C_2}\right)=\frac{\frac{1}{j\omega C_1}\cdot\left(R_2+\frac{1}{j\omega C_2}\right)}{\frac{1}{j\omega C_1}+R_2+\frac{1}{j\omega C_2}}$$

$$=\frac{1+j\omega C_2R_2}{j\omega(C_1+C_2+j\omega C_1C_2R_2)}$$

図示回路の伝達関数G(jω)を求めよ

$$\frac{\mathrm{Vout}}{\mathrm{Vin}} = \frac{Z}{R_1 + Z}$$

$$= \frac{\dfrac{1 + j\omega C_2 R_2}{j\omega(C1 + C_2 + j\omega C_1 C_2 R_2)}}{R_1 + \dfrac{1 + j\omega C_2 R_2}{j\omega(C1 + C_2 + j\omega C_1 C_2 R_2)}}$$

$$= \frac{1 + j\omega C_2 R_2}{1 + j\omega\{(C1 + C_2)R_1 + C_2 R_2\} + (j\omega)^2 C_1 C_2 R_1 R_2}$$

図示回路の伝達関数G(jω)を求めよ

$$G(j\omega) = \frac{\boxed{1 + j\omega/\omega_1}}{\boxed{(1 + j\omega/\omega_0)}\boxed{(1 + j\omega/\omega_2)}}$$

HPF1

LPF0

LPF2

$$= \frac{1 + j\omega/\omega_1}{1 + j\omega(1/\omega_0 + 1/\omega_2) + (j\omega)^2(1/\omega_0\,\omega_2)}$$

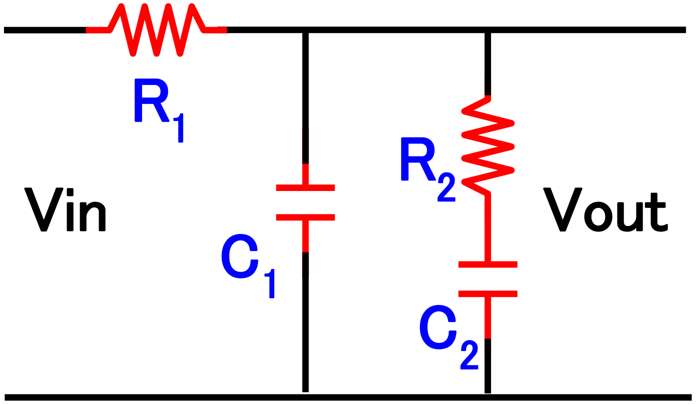
$$\frac{\mathrm{Vout}}{\mathrm{Vin}} = \frac{1 + j\omega C_2R_2}{1 + j\omega\{(C_1 + C_2)R_1 + C_2R_2\} + (j\omega)^2 C_1C_2R_1R_2}$$

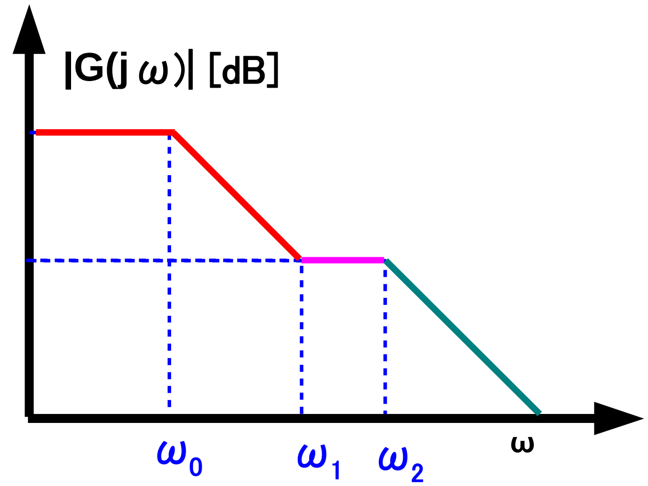
$$1/\omega_1 = C_2R_2$$

$$1/\omega_0 + 1/\omega_2 = (C_1 + C_2)R_1 + C_2R_2$$

$$1/\omega_0\,\omega_2 = C_1C_2R_1R_2$$

演習: 右図の周波数特性を満たすため、左図のR, C値を求めよう





$\omega_0 = 2\pi \times 50[\mathrm{Hz}] \quad \omega_1 = 2\pi \times 500[\mathrm{Hz}] \quad \omega_2 = 2\pi \times 2120[\mathrm{Hz}]$

$R_1 = 100[\mathrm{k\Omega}]$

$R_2 =$

$C_1 =$

$C_2 =$

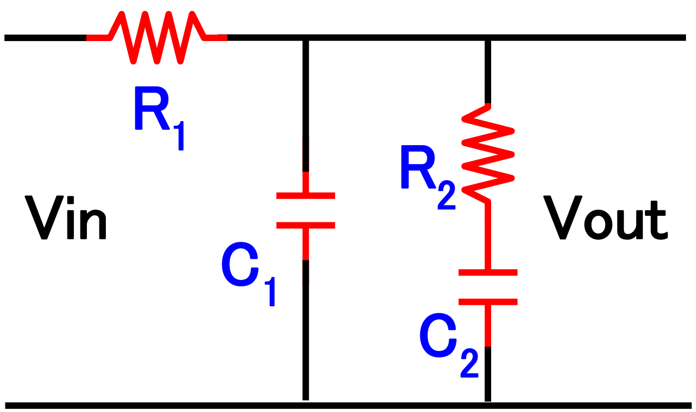
演習

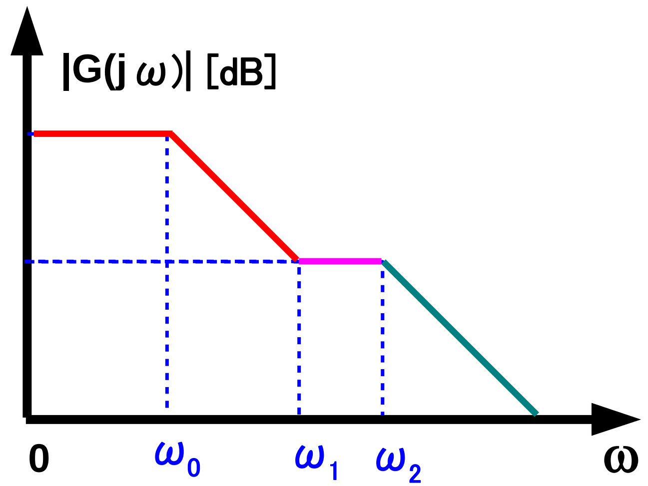
$$\frac{1}{2\pi\times 500} = C_2R_2$$

$$\frac{1}{2\pi\times 50} + \frac{1}{2\pi\times 2120} = (C_1 + C_2)R_1 + C_2R_2$$

$$\frac{1}{2\pi\times 50} \times \frac{1}{2\pi\times 2120} = C_1C_2R_1R_2$$

演習



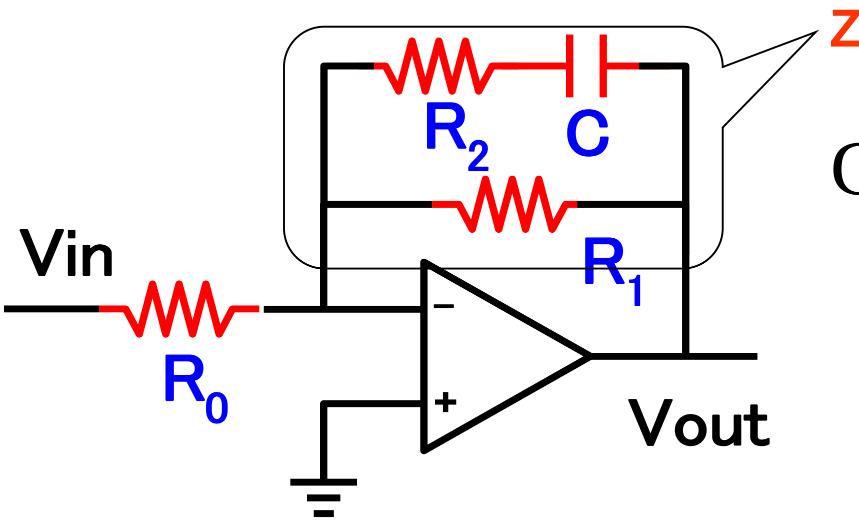


$$\omega_0 = 2\pi \times 50[\mathrm{Hz}] \quad \omega_1 = 2\pi \times 500[\mathrm{Hz}] \quad \omega_2 = 2\pi \times 2120[\mathrm{Hz}]$$

$$R_1 = 100[\mathrm{k\Omega}] \qquad R_2 = 14.54[\mathrm{k\Omega}]$$

$$C_1 = 7.507[\mathrm{nF}] \qquad C_2 = 21.89[\mathrm{nF}]$$

演習：　図示回路の伝達関数G(jω)を求めよ

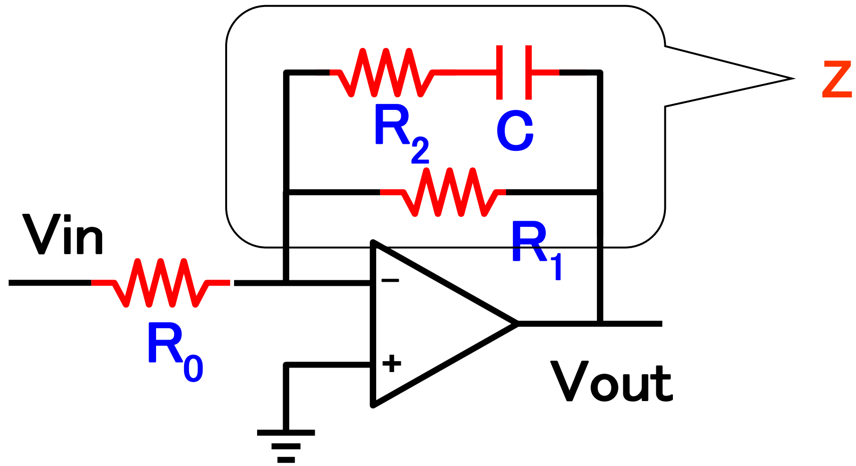


$$G(j\omega)=\frac{\mathrm{Vout}}{\mathrm{Vin}}=-\frac{Z}{R_0}$$

$$=$$

$$G(j\omega)=H_0\cdot\frac{1+j\omega/\omega_2}{1+j\omega/\omega_1}$$ の形とする

演習：　図示回路の伝達関数G(jω)を求めよ



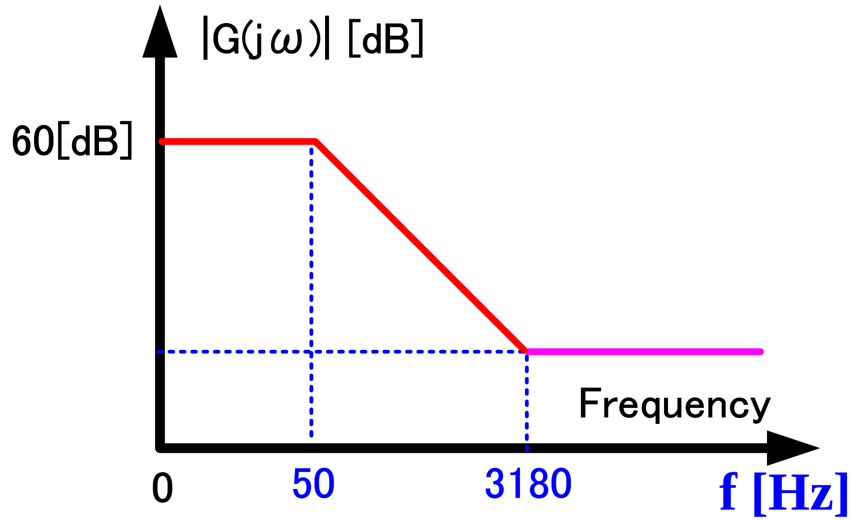
$$Z = R_1 // \left(R_2 + \frac{1}{j\omega C} \right) = \frac{R_1 \cdot \left(R_2 + \frac{1}{j\omega C} \right)}{R_1 + R_2 + \frac{1}{j\omega C}}$$

$$= \frac{R_1(1 + j\omega C R_2)}{1 + j\omega C(R_1 + R_2)}$$

$$\frac{Vout}{Vin} = -\frac{Z}{R_0}$$

$$= -\frac{R_1}{R_0} \cdot \frac{(1 + j\omega C R_2)}{1 + j\omega C(R_1 + R_2)}$$

演習:　右図の周波数特性に満たすため、左図のR, C値を求めよう

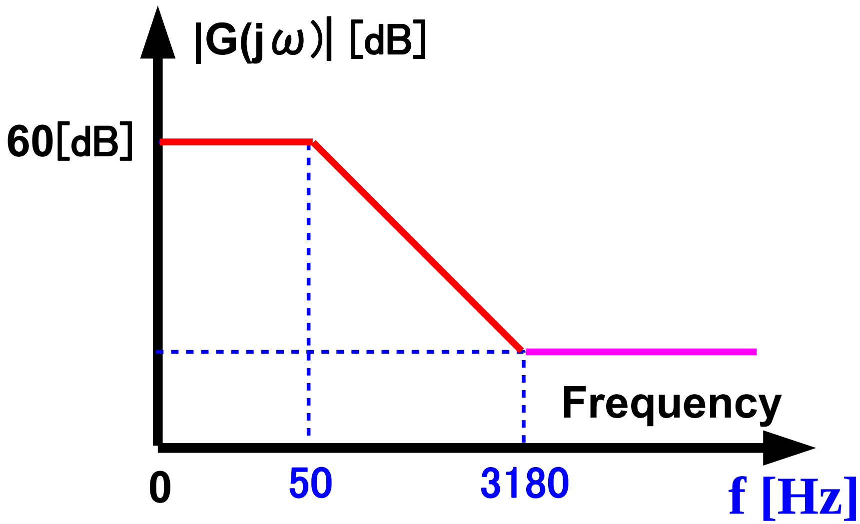


$\omega = 2\pi f$

$$\frac{Vout}{Vin} = -\frac{R_1}{R_0} \cdot \frac{(1 + j\omega CR_2)}{1 + j\omega C(R_1 + R_2)} \quad = H_0 \cdot \frac{1 + j\omega/\omega_2}{1 + j\omega/\omega_1}$$

$R_0 = 1[k\Omega]$　　$R_1 =$　　$R_2 =$　　$C =$

演習:　右図の周波数特性に満たすため、左図のR, C値を求めよう



$\omega = 2\pi f$

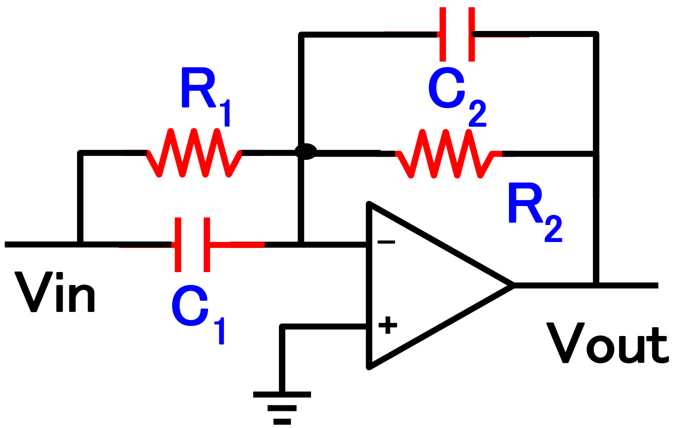
$$\frac{Vout}{Vin} = -\frac{R_1}{R_0} \cdot \frac{(1 + j\omega CR_2)}{1 + j\omega C(R_1 + R_2)} \quad = H_0 \cdot \frac{1 + j\omega/\omega_2}{1 + j\omega/\omega_1}$$

$$20\log_{10}|H_0| = 20\log_{10}\left(\frac{R_1}{R_0}\right) = 60[dB]$$

$$1/\omega_2 = CR_2 \qquad 1/\omega_1 = C(R_1 + R_2)$$

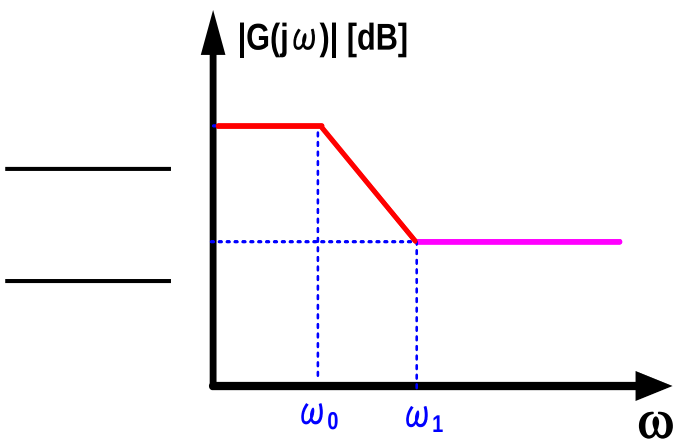
$$R1 = 1[M\Omega] \quad R2 = 16.0[k\Omega] \quad C = \ 3133[pF]$$

演習：伝達関数を求め、振幅特性図を書け

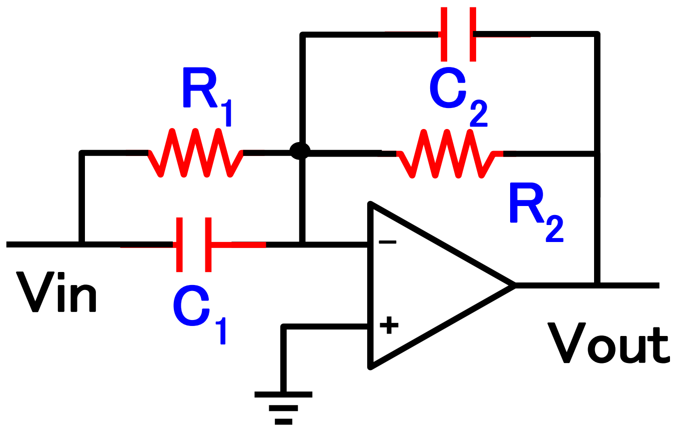


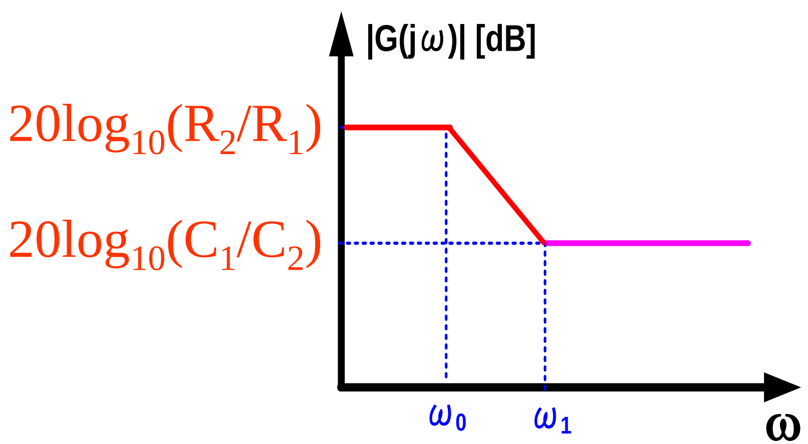
$$G(j\omega) = H_0 \cdot \frac{1 + j\omega/\omega_1}{1 + j\omega/\omega_0}$$

の形となるように，H0, ω0, ω1を求める



演習:伝達関数を求め、振幅特性図を書け





$$\frac{Vout}{Vin} = -\frac{R_2 // (1/j\omega C_2)}{R_1 // (1/j\omega C_1)}$$

$$= -\frac{\dfrac{R_2 / j\omega C_2}{R_2 + 1/j\omega C_2}}{\dfrac{R_1 / j\omega C_1}{R_1 + 1/j\omega C_1}}$$

$$= -\frac{R_2 / C_2 \, (R_1 + 1/j\omega C_1)}{R_1 / C_1 \, (R_2 + 1/j\omega C_2)}$$

$$= -\frac{R_2}{R_1} \frac{j\omega C_1 R_1 + 1}{j\omega C_2 R_2 + 1}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{R_2 C_2} \qquad \omega_1 = \frac{1}{R_1 C_1}$$

$$H_0 = -\frac{R_2}{R_1}$$

熱力学の法則とアナログフィルタ

アナログフィルタで信号をカットしても
そのパワー(エネルギー)が消滅するわけではない。

⬇

熱エネルギーに変換される。

熱力学第1法則
エネルギーは保存される
エネルギーは生成、消滅しない

熱力学第2法則
熱はエネルギーの墓場

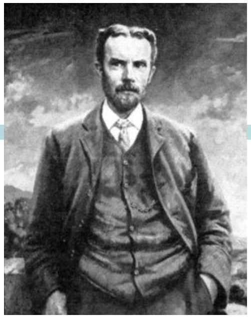
まとめ

- OPアンプによるアクティブフィルタ
- OPアンプを用いた応用回路

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

オリヴァー･ヘヴィサイド

Oliver Heaviside 1850 - 1925



- イギリスの電気技師、物理学者、数学者
- 電気回路での複素数の導入
  インピーダンスの概念の導入、
  「ヘヴィサイドの演算子法」の開発
- インダクタンスやコンダクタンスなど、
  回路理論用語のいくつかを提唱
- ベクトル解析とベクトル演算を発明
- マクスウェル方程式： 当時は20の式から構成
  現在の 4つのベクトル形式の式に直す

ジェームズ・クラーク・マクスウェル

James Clerk Maxwell 1831 -1879

- イギリスの理論物理学者
- マイケル・ファラデーの電磁場理論をもと

1864年　マクスウェルの方程式を導出

→　古典電磁気学を確立。

- 電磁波の存在を理論的に予想。

伝播速度が光速と同じ、横波であることを示す。

- 土星の環、気体分子運動論、熱力学、統計力学などの研究

「マクスウェルの悪魔」

→　**熱力学、統計力学、情報科学の根本問題**

期末試験

- 2月8日(金)8:40～10:10　EL大講義室
- 試験範囲:第2回～第11回(本日まで)の内容
- 授業ノート・プリントの持ち込みOK(通信機器になりうる物は不可)
- 電卓(計算機能のみの物)持ち込みOK
- 単位取得希望者は、必ず中間・期末試験を受験してください(試験日に受験できない人は、2月8日までに桑名宛に連絡)

成績評価

- 中間＋期末試験の平均100点満点で評価。60点以上で合格

補講

- 2019年2月4日(月)崔通先生(東京大学)　総合研究棟502
  - 12:40-14:10「太陽光発電システム」
  - 14:20-15:50「集積電源回路」
- 2019年2月5日(火)松浦裕之先生(産総研)　大講義室
  - 12:40-14:10「高周波回路入門」
  - 14:20-15:50「高周波回路入門」