

# 講義中の注意



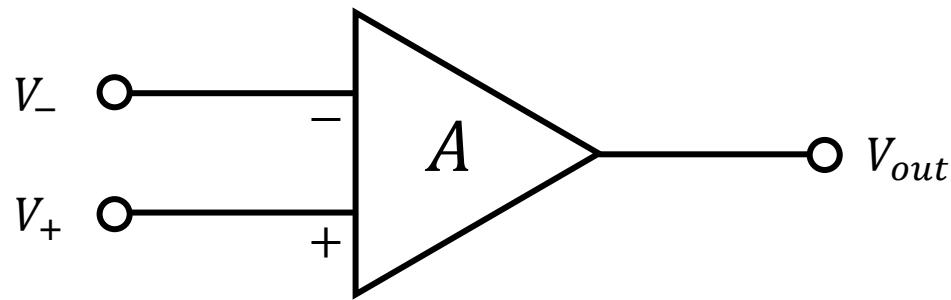
- 講義中は、参加者のマイク・カメラの機能はミュート状態になります。
- 進行はスタッフ及び講師が行いますので、指示に従ってください。
- 質疑応答の時間は、参加者のマイクをオンにして質問を受け付けることもあります。希望される方は「チャット欄」で申し出てください。

# 電験三種 オンライン講座

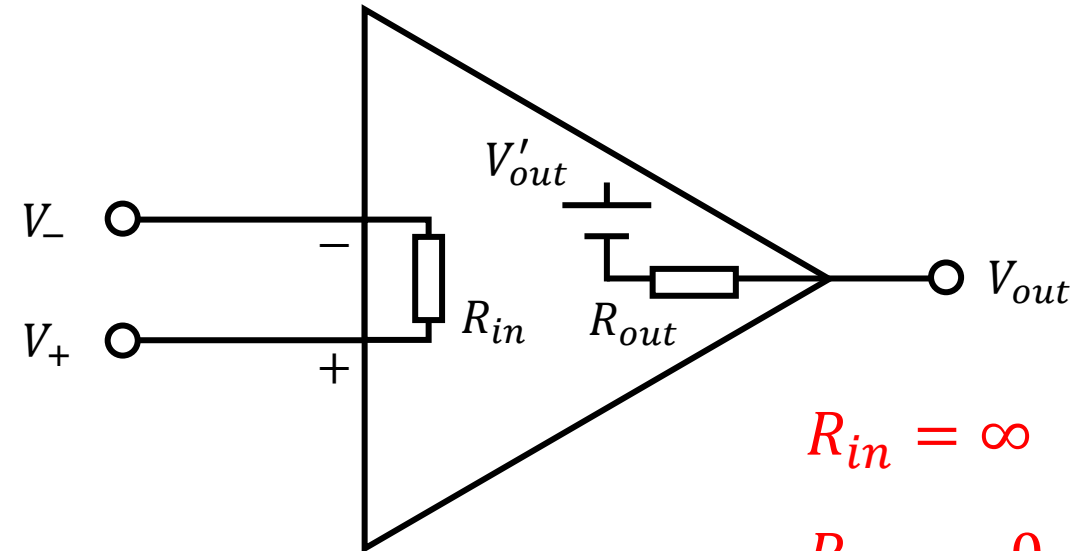
## 第6回 オペアンプ (素子の基本特性)

# 演算増幅器 (オペアンプ)

- ・オペアンプは増幅率 $A$ がすごく大きい差動増幅回路
- ・入力インピーダンス $R_{in}$ が非常に大きい
- ・出力インピーダンス $R_{out}$ が非常に小さい



$$V_{out} = A(V_+ - V_-)$$

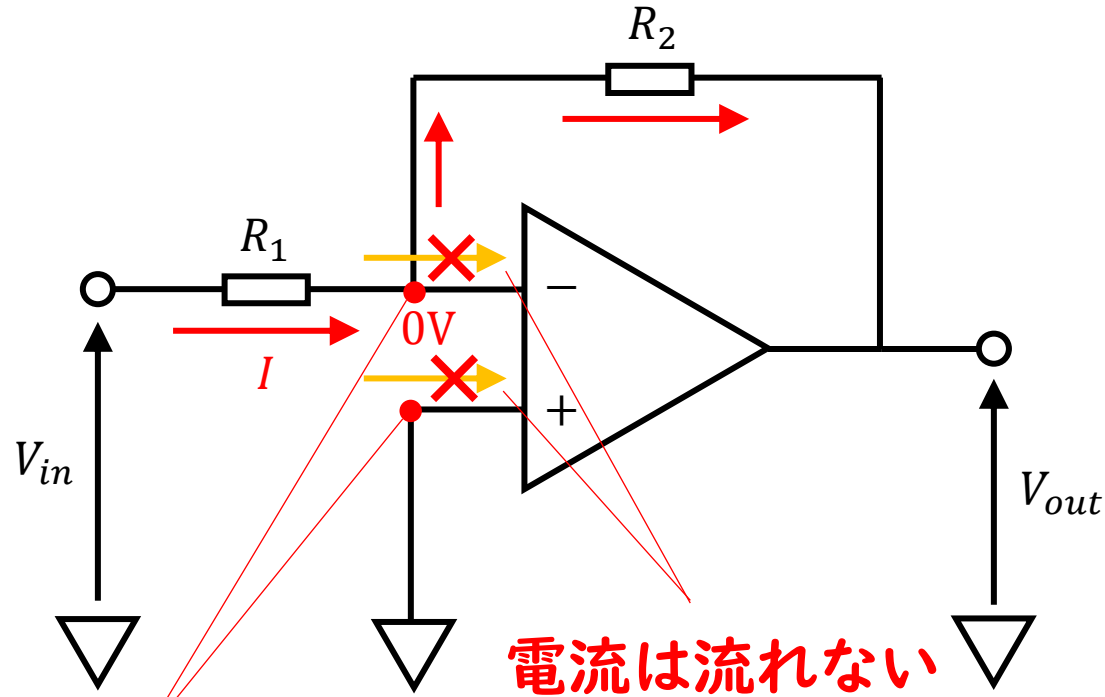


$$R_{in} = \infty$$

$$R_{out} \sim 0$$

# 演算増幅器 (オペアンプ)

## 反転増幅回路



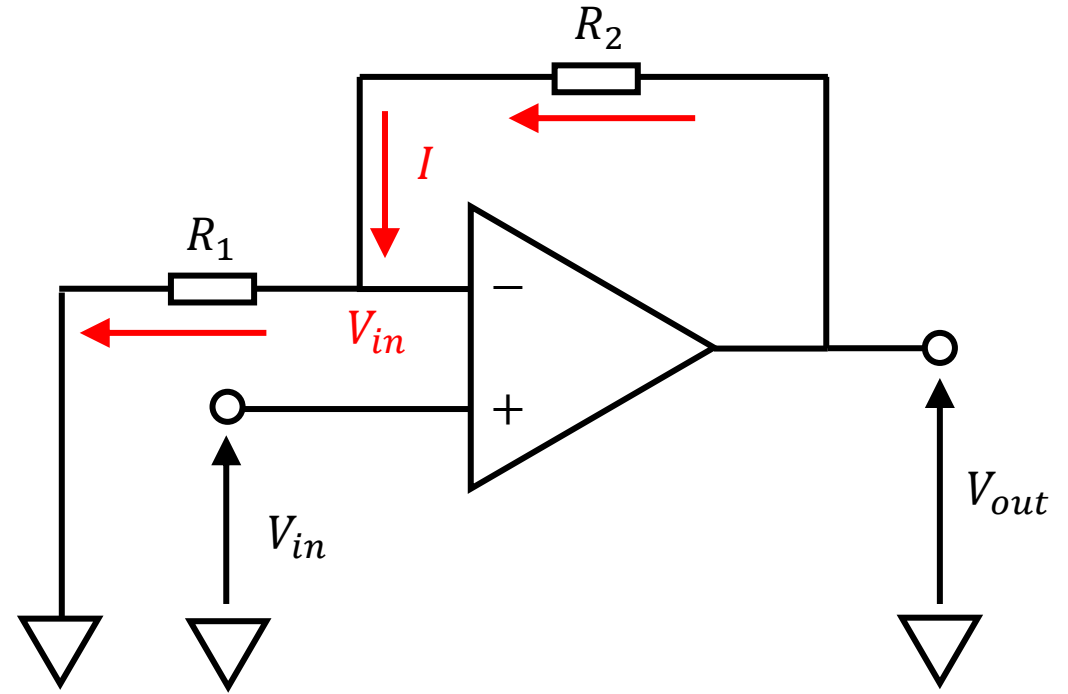
同じ電圧

電流は流れない

イマジナリーショート  
(仮想短絡)

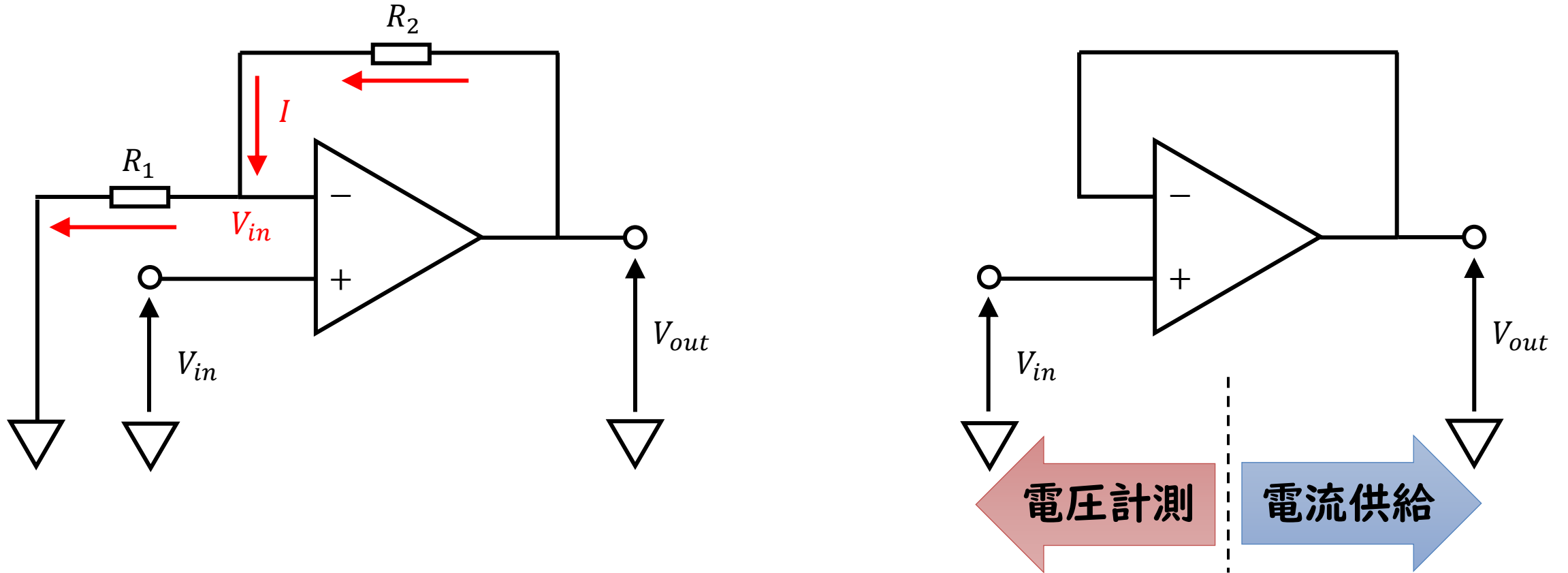
$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} V_{in}$$

## 非反転増幅回路



$$V_{out} = \left( \frac{R_2}{R_1} + 1 \right) V_{in}$$

# 非反転増幅回路 → ボルテージフォロワ ×



$$V_{out} = \left( \frac{R_2}{R_1} + 1 \right) V_{in}$$

$$R_2 = 0$$

$$R_1 = \infty$$

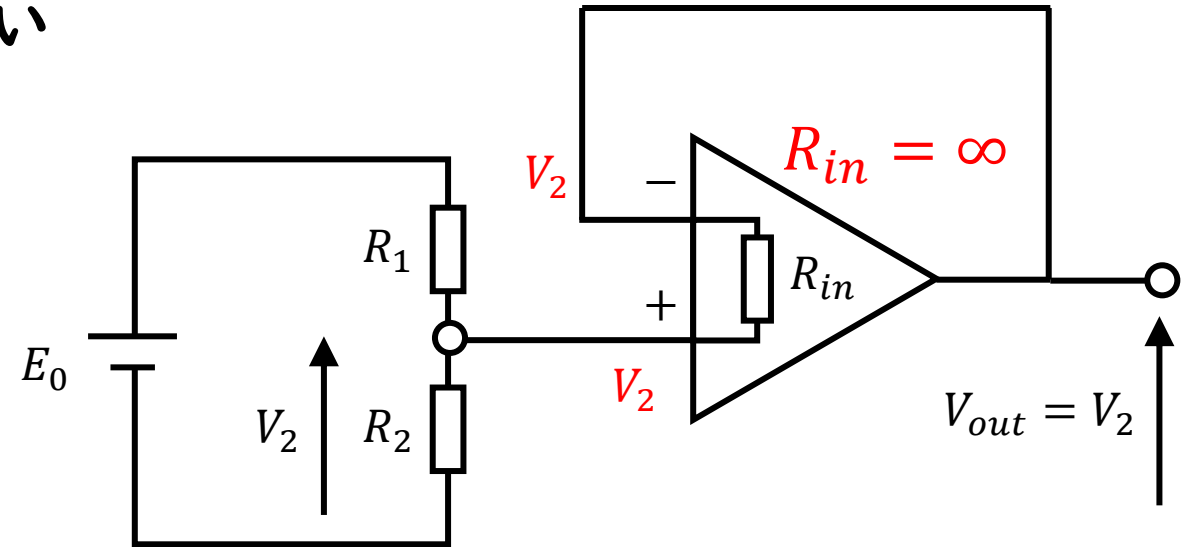
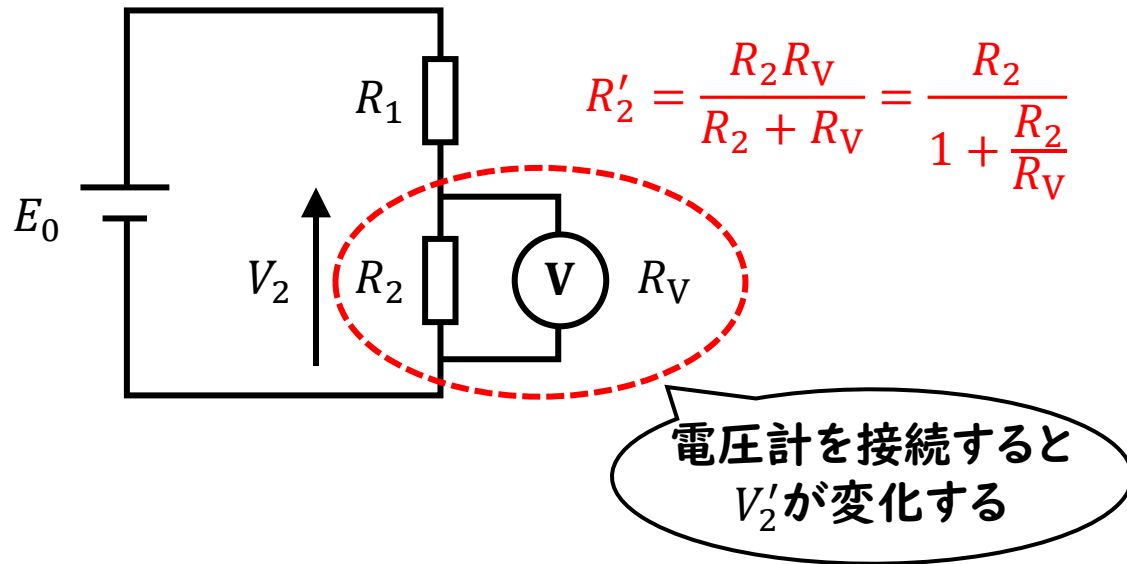
$$V_{out} = V_{in}$$

$$R_{in} = \infty$$

$$R_{out} \sim 0$$

# 演算増幅器（オペアンプ）

- ・オペアンプは増幅率 $A$ がすごく大きい差動増幅回路
- ・入力インピーダンス $R_{in}$ が非常に大きい
- ・出力インピーダンス $R_{out}$ が非常に小さい

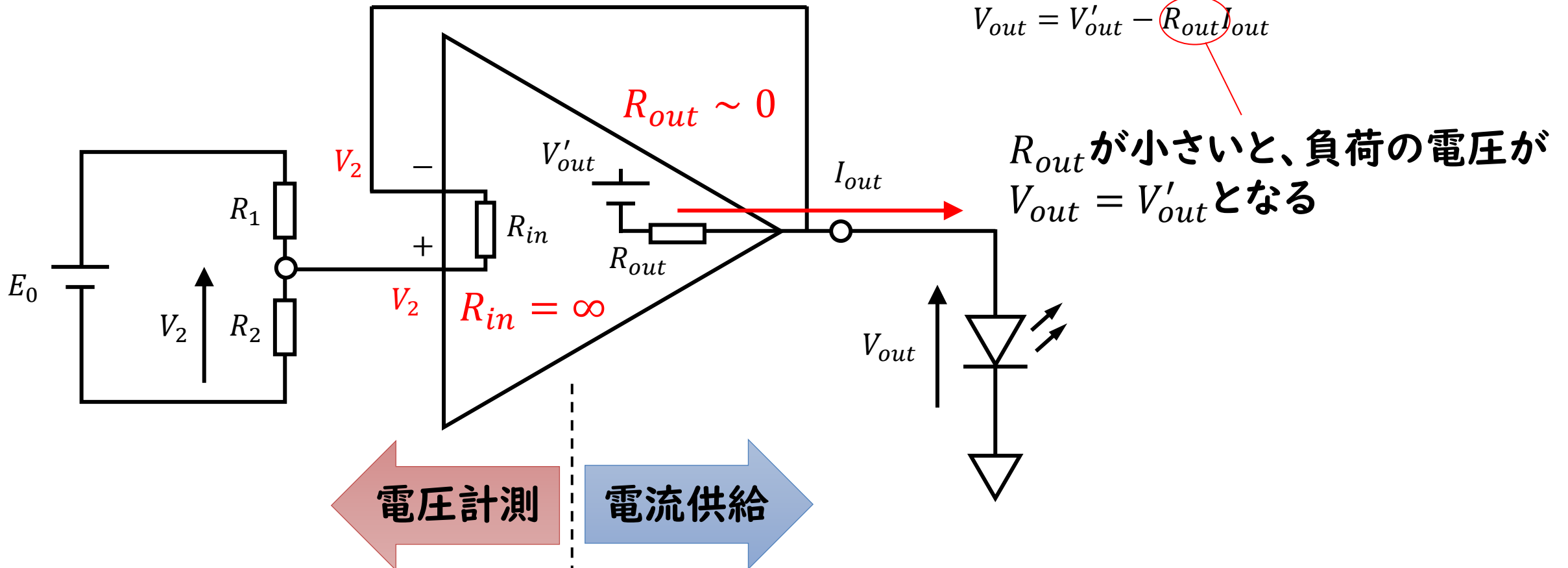


オペアンプが高精度な電圧計となる!

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E_0 \quad \longrightarrow \quad V'_2 = \frac{R'_2}{R_1 + R'_2} E_0$$

# 演算増幅器 (オペアンプ)

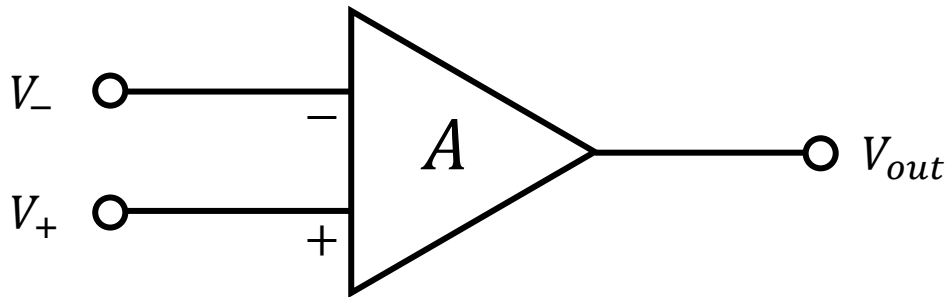
- ・オペアンプは増幅率 $A$ がすごく大きい差動増幅回路
- ・入力インピーダンス $R_{in}$ が非常に大きい
- ・出力インピーダンス $R_{out}$ が非常に小さい



# 演算増幅器 (オペアンプ)

- ・オペアンプは増幅率 $A$ がすごく大きい差動増幅回路
- ・入力インピーダンス $R_{in}$ が非常に大きい
- ・出力インピーダンス $R_{out}$ が非常に小さい

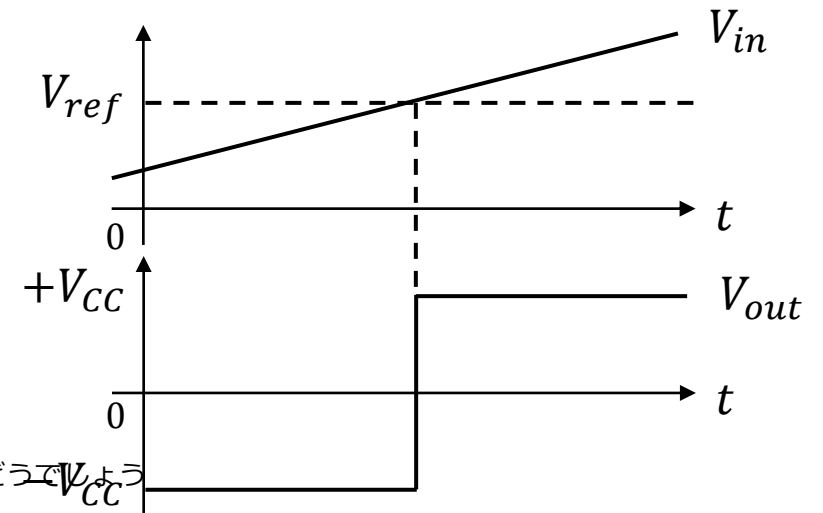
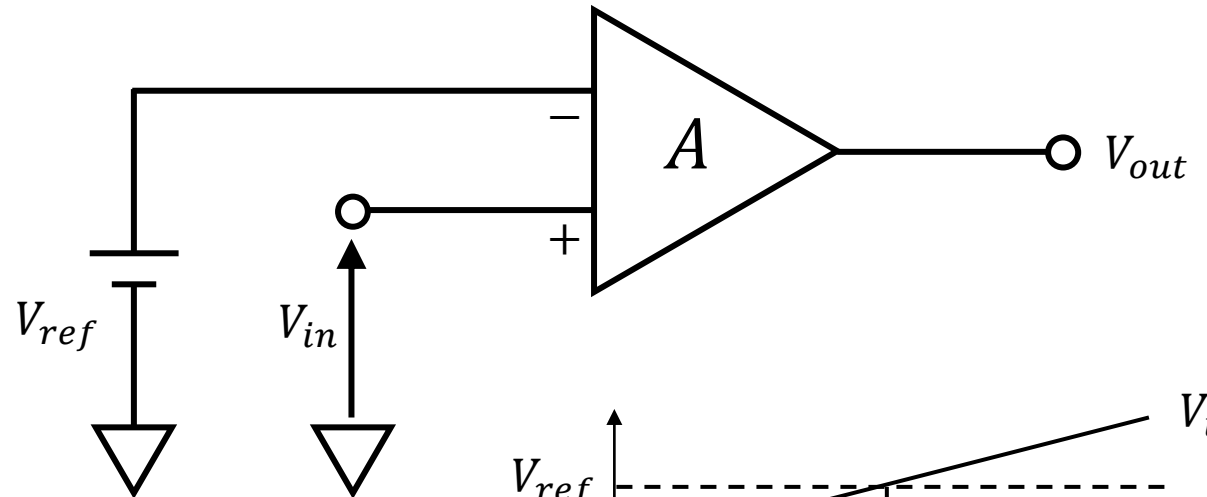
## 比較器 (コンパレータ)



$$V_{out} = A(V_+ - V_-)$$

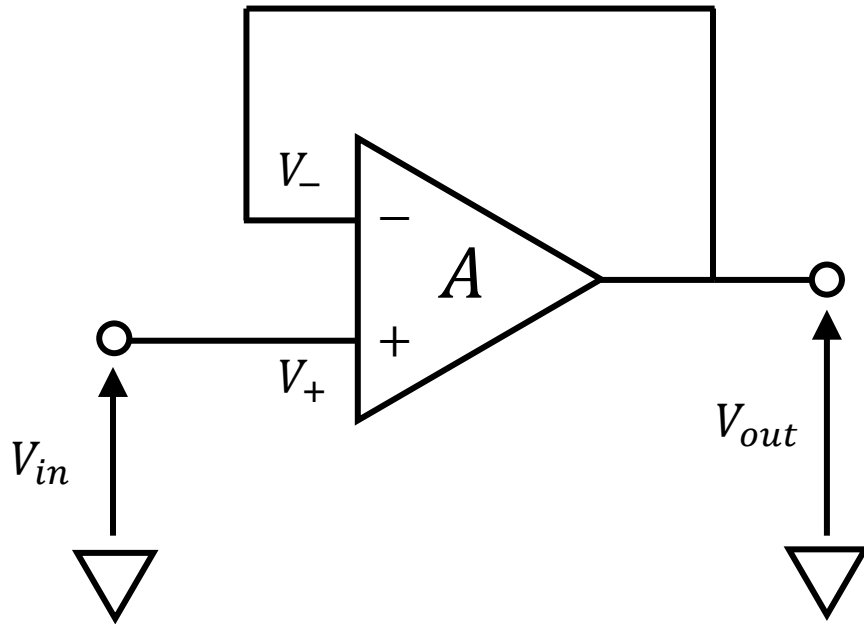
増幅率 $A$ はどのくらい?

Ans. 10000倍!!!



# 演算増幅器 (オペアンプ)

- オペアンプは増幅率 $A$ がすごく大きい差動増幅回路  $V_{out} = A(V_+ - V_-)$
- 入力インピーダンス $R_{in}$ が非常に大きい
- 出力インピーダンス $R_{out}$ が非常に小さい



$$V_+ = V_{in}(t)$$
$$V_- = V_{out}(t - \Delta t)$$

$$V_{out}(t) = A(V_+ - V_-) = A(V_{in}(t) - V_{out}(t - \Delta t))$$

$$V_{out}(t) = AV_{in}(t) - AV_{out}(t - \Delta t)$$
$$V_{out}(t) + AV_{out}(t - \Delta t) = AV_{in}(t)$$

ここで、 $V_{out}(t) = V_{out}(t - \Delta t)$ とすると、

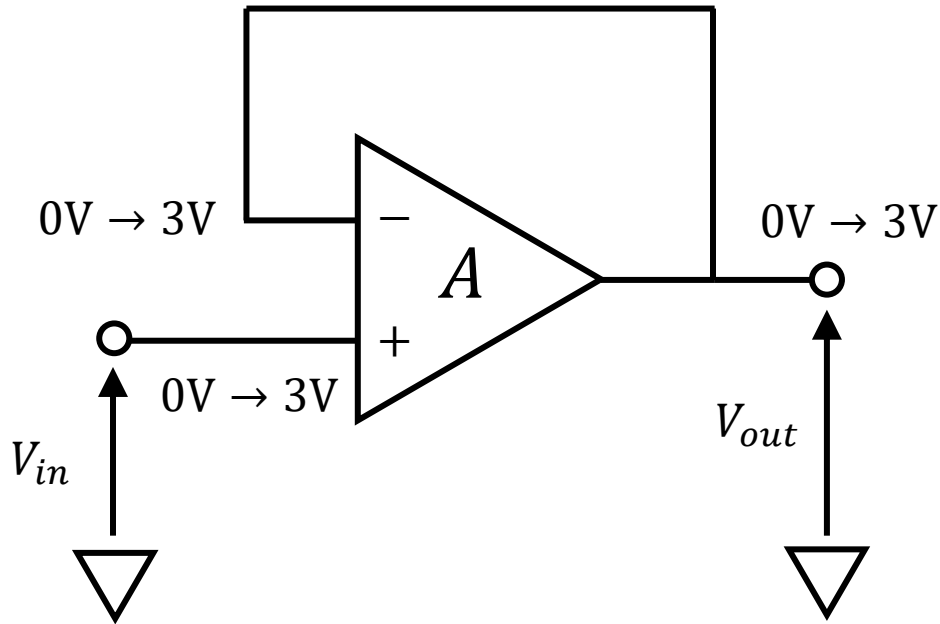
$$V_{out}(t) + AV_{out}(t) = AV_{in}(t)$$
$$(1 + A)V_{out} = AV_{in}(t)$$

$$V_{out}(t) = \frac{A}{1 + A} V_{in}(t) = \frac{1}{1 + \frac{1}{A}} V_{in}(t) \quad \rightarrow \quad V_{out} = V_{in}$$

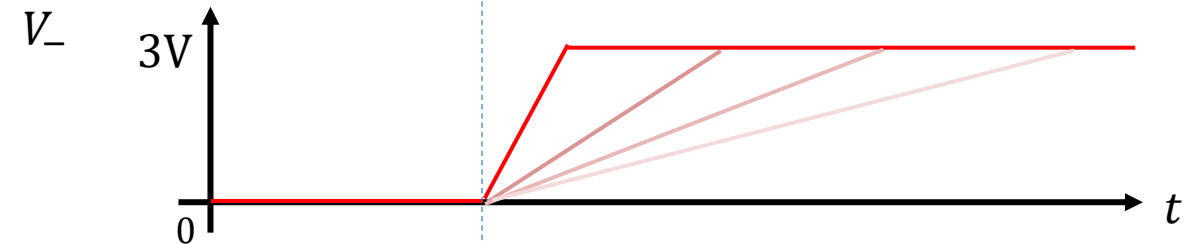
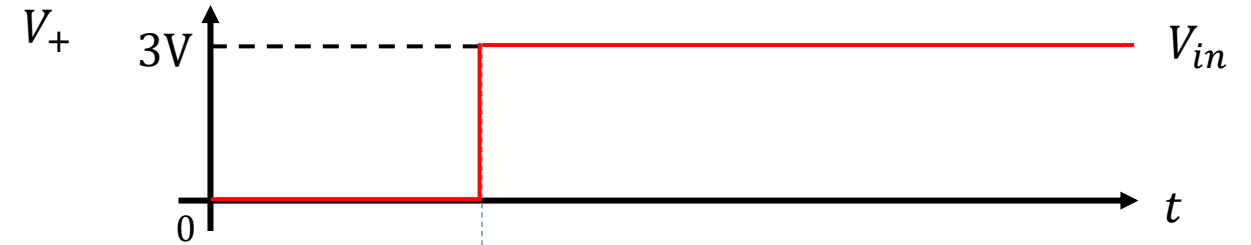
$A$  大

# 演算増幅器 (オペアンプ)

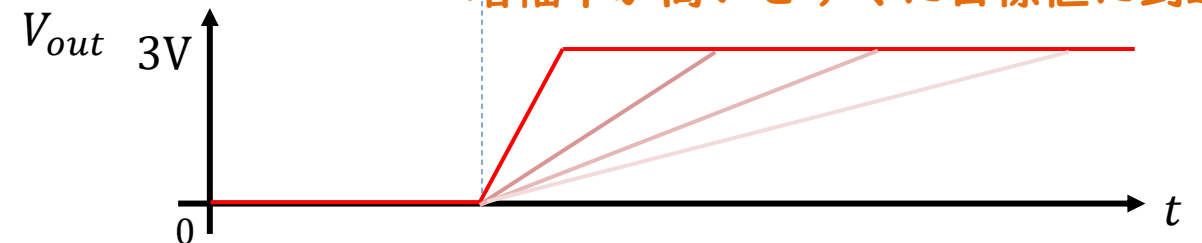
- ・オペアンプは増幅率 $A$ がすごく大きい差動増幅回路
  - ☆増幅率が高い→信号の変化率(単位時間当たりの変化量)が大きい
- $A = 100 \rightarrow$  出力電圧は入力電圧の100倍(1秒間で100倍)



$$V_{out} = A(V_+ - V_-)$$



増幅率が高いとすぐに目標値に到達

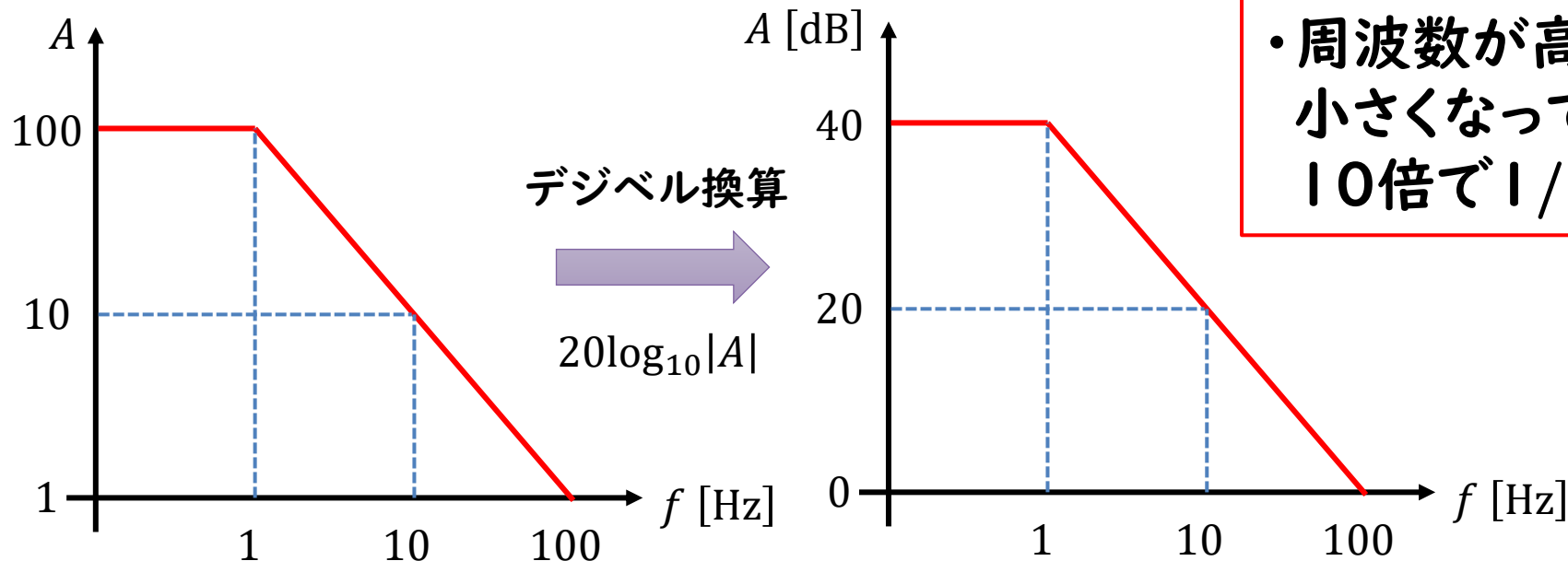


A大

A小

# 演算増幅器 (オペアンプ)

- ・オペアンプは増幅率 $A$ がすごく大きい差動増幅回路
    - ☆増幅率が大きい→信号の変化率(単位時間当たりの変化量)が大きい
- $A = 100 \rightarrow$  出力電圧は入力電圧の100倍(1秒間で100倍)
- 1秒(1 Hz)で100  
0.1秒(10 Hz)で10  
0.01秒(100 Hz)で1



オペアンプの増幅率(利得)

- ・低周波数で増幅率が大きい
- ・周波数が高くなると増幅率が小さくなっていく。

10倍で1/10 (-20 dB/dec)

# 演算増幅器 (オペアンプ)

- ・オペアンプは増幅率  $A$  がすごく大きい差動増幅回路
- ☆増幅率が高い → 信号の変化率 (単位時間当たりの変化量) が大きい

$A = 100 \rightarrow$  出力電圧は入力電圧の100倍 (1秒間で100倍)

1秒 (1 Hz) で100

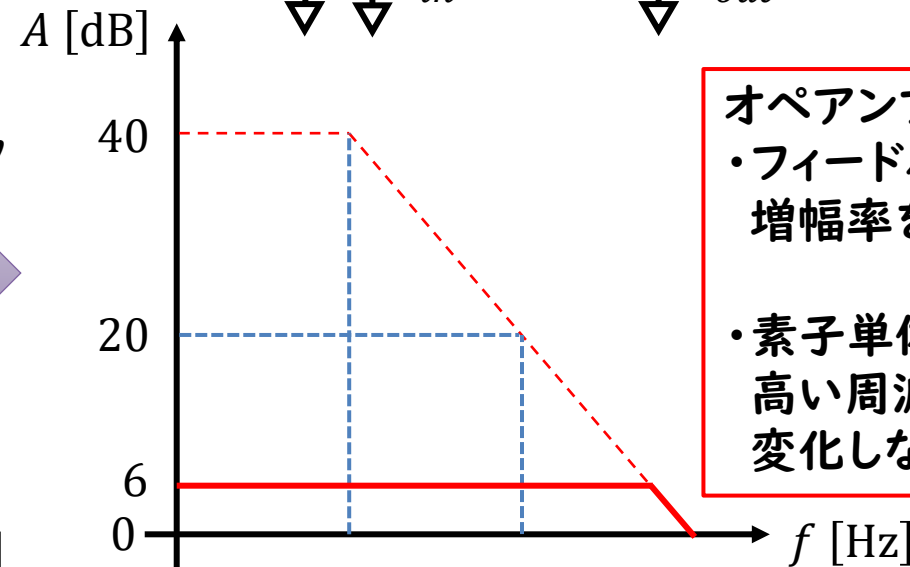
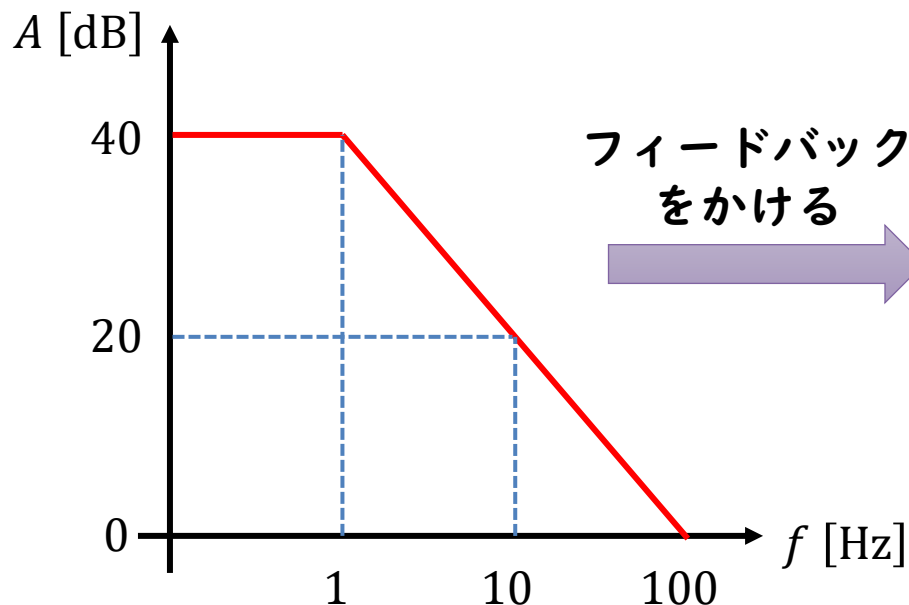
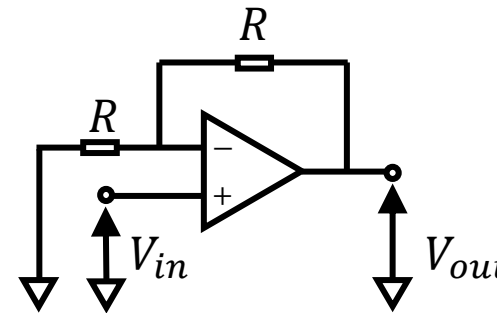
0.1秒 (10 Hz) で10

0.01秒 (100 Hz) で1

$$V_{out} = \left(\frac{R}{R} + 1\right) V_{in} = 2V_{in}$$

$$A = \frac{V_{out}}{V_{in}} = 2$$

$$20 \log_{10} |2| = 20 \times 0.6 = 6 \text{ dB}$$



- オペアンプの実使用について
- ・フィードバックをかけて増幅率を低くして使用する
  - ・素子単体の増幅率が高いと高い周波数でも増幅率が変化しない (安定な制御)

# H27 問18

問18 演算増幅器（オペアンプ）について、次の(a)及び(b)の間に答えよ。

(a) 演算増幅器は、その二つの入力端子に加えられた信号の  を高い利得で増幅する回路である。演算増幅器の入力インピーダンスは極めて  ため、入力端子電流は  とみなしてよい。一方、演算増幅器の出力インピーダンスは非常に  ため、その出力端子電圧は負荷による影響を  。さらに、演算増幅器は利得が非常に大きいため、抵抗などの部品を用いて負帰還をかけたときに安定した有限の電圧利得が得られる。

上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)、(エ)及び(オ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)	(オ)
(1)	差動成分	大きい	ほぼ零	小さい	受けにくい
(2)	差動成分	小さい	ほぼ零	大きい	受けやすい
(3)	差動成分	大きい	極めて大きな値	大きい	受けやすい
(4)	同相成分	大きい	ほぼ零	小さい	受けやすい
(5)	同相成分	小さい	極めて大きな値	大きい	受けにくい

# H27 問18

問18 演算増幅器（オペアンプ）について、次の(a)及び(b)の間に答えよ。

(a) 演算増幅器は、その二つの入力端子に加えられた信号の  を高い利得で増幅する回路である。演算増幅器の入力インピーダンスは極めて  ため、入力端子電流は  とみなしてよい。一方、演算増幅器の出力インピーダンスは非常に  ため、その出力端子電圧は負荷による影響を  。さらに、演算増幅器は利得が非常に大きいため、抵抗などの部品を用いて負帰還をかけたときに安定した有限の電圧利得が得られる。

上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)、(エ)及び(オ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)	(オ)
(1)	差動成分	大きい	ほぼ零	小さい	受けにくい
(2)	差動成分	小さい	ほぼ零	大きい	受けやすい
(3)	差動成分	大きい	極めて大きな値	大きい	受けやすい
(4)	同相成分	大きい	ほぼ零	小さい	受けやすい
(5)	同相成分	小さい	極めて大きな値	大きい	受けにくい

# R02 問13

問13 演算増幅器及びそれを用いた回路に関する記述として、誤っているものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 演算増幅器には電源が必要である。
- (2) 演算増幅器の入力インピーダンスは、非常に大きい。
- (3) 演算増幅器は比較器として用いられることがある。
- (4) 図1の回路は正相増幅回路、図2の回路は逆相増幅回路である。
- (5) 図1の回路は、抵抗 $R_S$ を $0\Omega$ に(短絡)し、抵抗 $R_F$ を $\infty\Omega$ に(開放)すると、ボルテージホロワである。

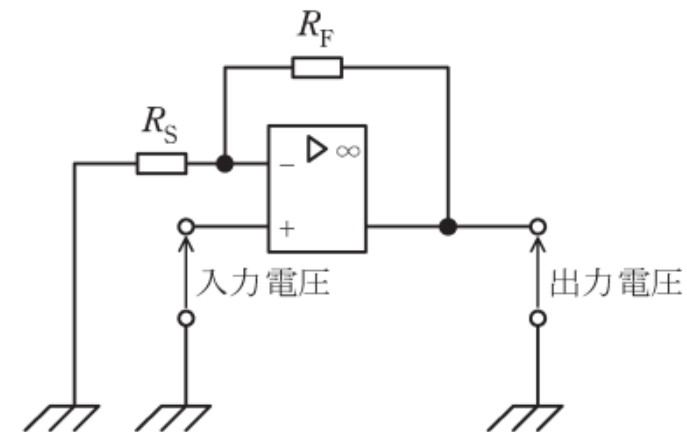


図1

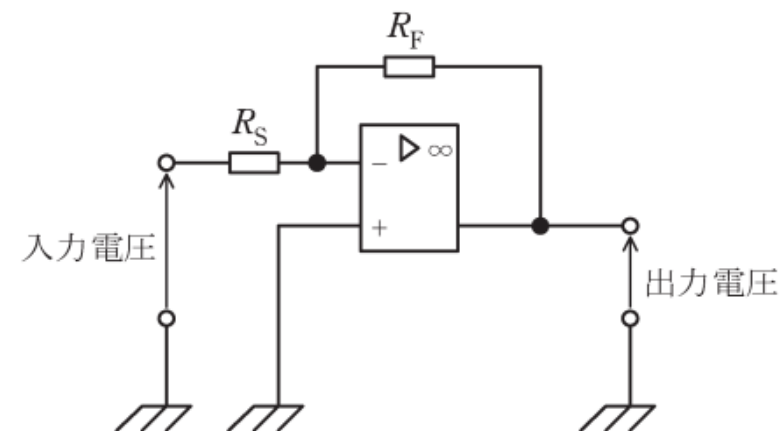


図2

# R02 問13

問13 演算増幅器及びそれを用いた回路に関する記述として、誤っているものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 演算増幅器には電源が必要である。
- (2) 演算増幅器の入力インピーダンスは、非常に大きい。
- (3) 演算増幅器は比較器として用いられることがある。
- (4) 図1の回路は正相増幅回路、図2の回路は逆相増幅回路である。
- (5) 図1の回路は、抵抗  $R_S$  を  $0\Omega$  に(短絡)し、抵抗  $R_F$  を  $\infty\Omega$  に(開放)すると、ボルテージホロワである。

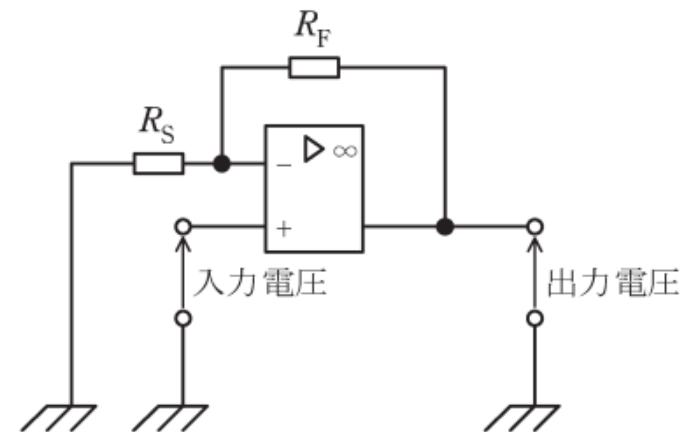


図1

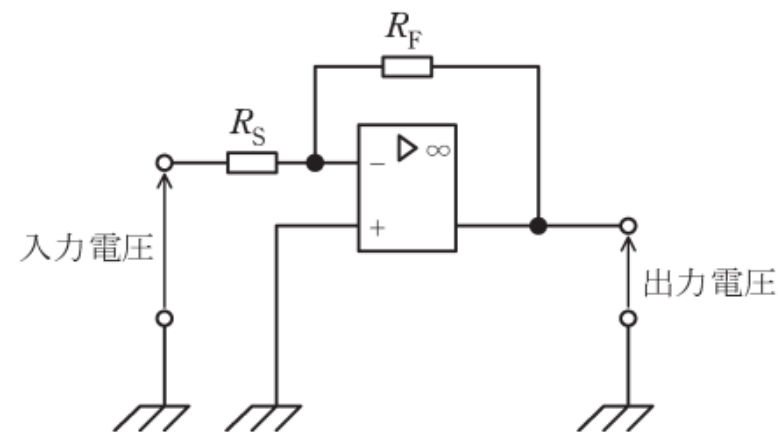
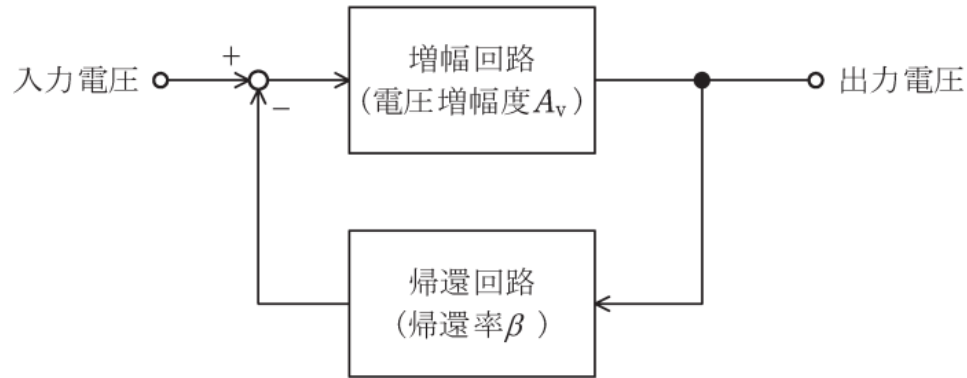


図2

# R01 問13

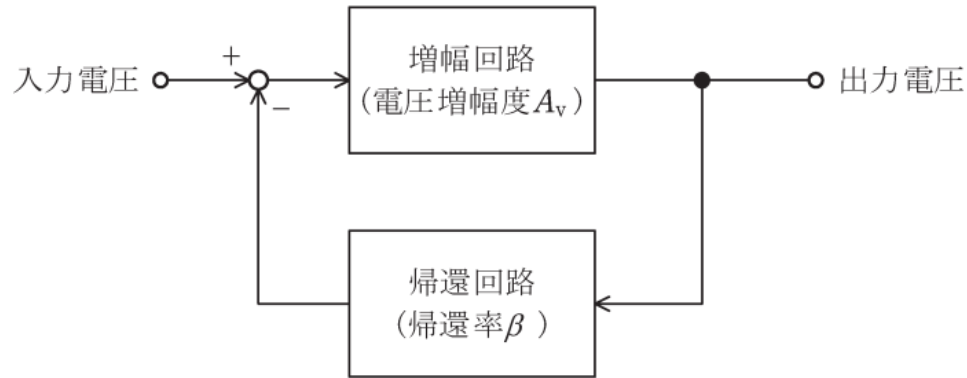
問13 図のように電圧増幅度 $A_v (>0)$ の増幅回路と帰還率 $\beta (0 < \beta \leq 1)$ の帰還回路からなる負帰還増幅回路がある。この負帰還増幅回路に関する記述として、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。ただし、帰還率 $\beta$ は周波数によらず一定であるものとする。



- (1) 負帰還増幅回路の帯域幅は、負帰還をかけない増幅回路の帯域幅よりも狭くなる。
- (2) 電源電圧の変動に対して負帰還増幅回路の利得は、負帰還をかけない増幅回路よりも不安定である。
- (3) 負帰還をかけることによって、増幅回路の内部で発生するひずみや雑音が増加する。
- (4) 負帰還をかけない増幅回路の電圧増幅度 $A_v$ と帰還回路の帰還率 $\beta$ の積が1より十分小さいとき、負帰還増幅回路全体の電圧増幅度は帰還率 $\beta$ の逆数で近似できる。
- (5) 負帰還増幅回路全体の利得は、負帰還をかけない増幅回路の利得よりも低下する。

# R01 問13

問13 図のように電圧増幅度  $A_v (>0)$  の増幅回路と帰還率  $\beta (0 < \beta \leq 1)$  の帰還回路からなる負帰還増幅回路がある。この負帰還増幅回路に関する記述として、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。ただし、帰還率  $\beta$  は周波数によらず一定であるものとする。



- (1) 負帰還増幅回路の帯域幅は、負帰還をかけない増幅回路の帯域幅よりも狭くなる。
- (2) 電源電圧の変動に対して負帰還増幅回路の利得は、負帰還をかけない増幅回路よりも不安定である。
- (3) 負帰還をかけることによって、増幅回路の内部で発生するひずみや雑音が増加する。
- (4) 負帰還をかけない増幅回路の電圧増幅度  $A_v$  と帰還回路の帰還率  $\beta$  の積が1より十分小さいとき、負帰還増幅回路全体の電圧増幅度は帰還率  $\beta$  の逆数で近似できる。
- (5) 負帰還増幅回路全体の利得は、負帰還をかけない増幅回路の利得よりも低下する。



ご聴講ありがとうございました!!