

電気工学2第12回

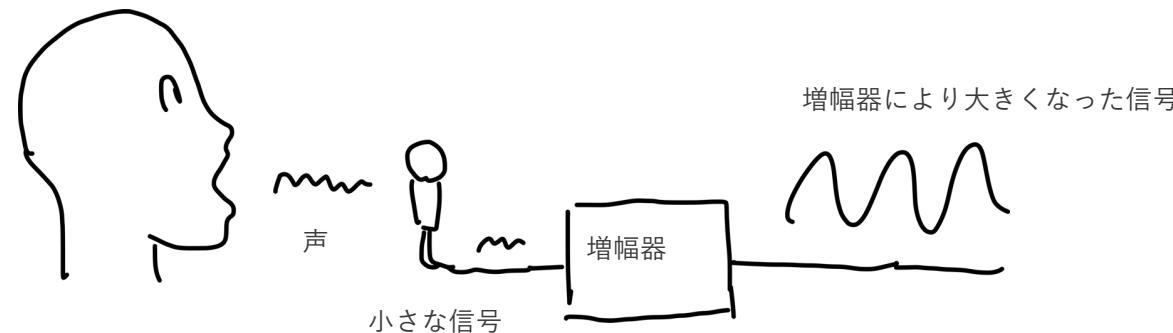
増幅器, オペアンプ, 非反転増幅回路, 反転増幅回路

公立小松大学

藤田 一寿

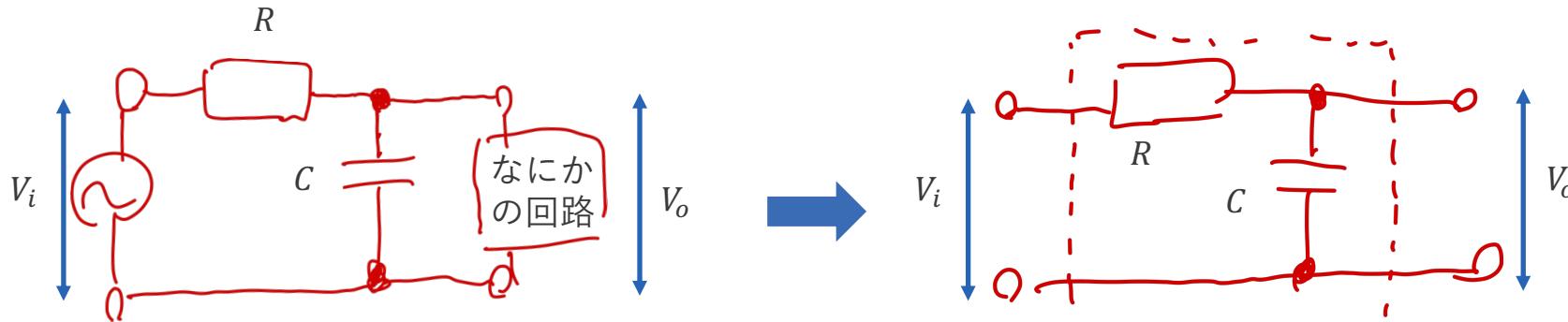
■ 増幅

- 入力信号の振幅を大きくした出力を得ることを増幅という。
 - 小さい波を大きい波にする。
- 増幅に用いられる増幅回路という。
- 増幅回路を持った機器を増幅器という。



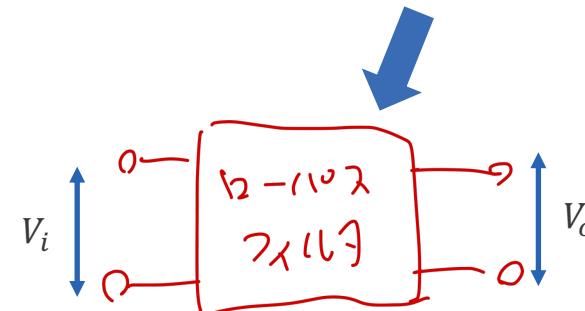
フィルタ回路は特定の周波数の信号を小さくするが、増幅回路は逆に信号を大きくする。

■ 4端子な回路図



RC直列回路のコンデンサの部分に並列になにか回路が繋がっている。

交流電源となにかの回路の図を取り除く。
ここで4端子の回路図になる。



点線で囲まれた部分を大きな四角で表現する。大きな四角はローパスフィルタの機能を持っている。この図では、四角の機能がローパスフィルタなら四角の中の回路は何でも良い。

■ 増幅度, 利得 (ゲイン)

- 入力がどれほど増幅されたかを, 増幅度, 利得 (ゲイン) で表す.

- 電圧増幅度 $A_v = \frac{\text{出力}}{\text{入力}} = \frac{\Delta V_o}{\Delta V_i}$ 倍

- 電圧利得 $G_v = 20 \log_{10} |A_v| [\text{dB}]$ デシベル

増幅度と利得は同じ意味で同じように使う場合もあれば、デシベル表示のみ利得という場合もある。文脈で判断してほしい。



■ 対数の計算

- 利得の計算をするためには対数の計算を習得する必要がある。次の公式を思い出そう。
- a を底とし、 $M>0$, $N>0$ とする。

$$\log_a 1 = 0$$

$$\log_a a = 1$$

$$\log_a(MN) = \log_a M + \log_a N$$

$$\log_a(M/N) = \log_a M - \log_a N$$

$$\log_a M^r = r \log_a M$$

■ 利得計算

- 電圧増幅度 $A_v=200$ のとき、電圧利得[dB]はいくらか。
- 電圧利得が20[dB]の増幅器に電圧2Vの入力を与えた。出力電圧[V]はいくらか。

■ 利得計算

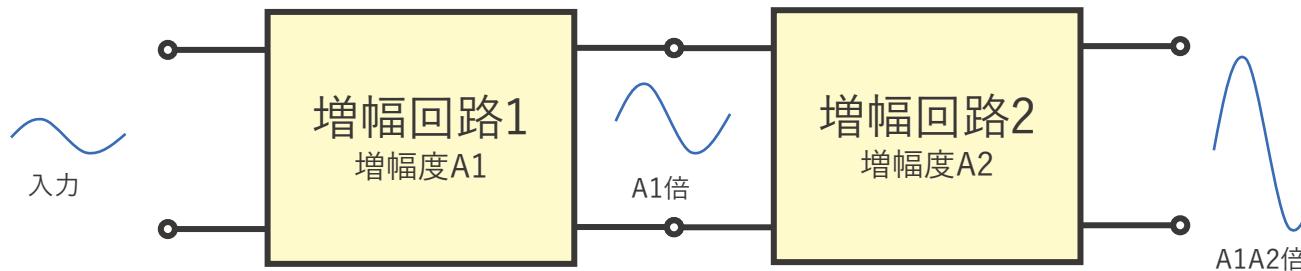
- 電圧増幅度 $A_v=200$ のとき、電圧利得 [dB] はいくらか。
 - $G_v = 20 \log_{10} A_v = 20 \log_{10} 200 = 20 \times (\log_{10} 2 + \log_{10} 100)$
 - $= 20 \times (0.3 + 2) \approx 46$ [dB]
- 電圧利得が20[dB]の増幅器に電圧2Vの入力を与えた。出力電圧[V]はいくらか。
 - $G_v = 20 = 20 \log_{10} A_v$
 - $\log_{10} A_v = 1$
 - $A_v = 10$ 倍
 - よって出力電圧は20V

$$\log_{10} 200 = \log_{10}(2 \times 100) = \log_{10} 2 + \log_{10} 100$$

$$\log_{10} 100 = \log_{10} 10^2 = 2 \log_{10} 10 = 2$$

■ 多段増幅回路

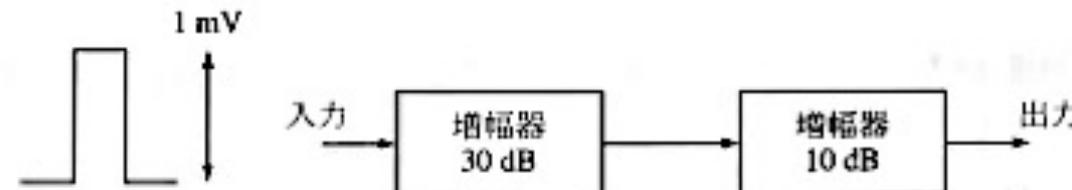
- ・増幅回路を複数つなげ回路を多段増幅回路という。
- ・多段増幅回路の電圧増幅度 A は各増幅回路の増幅度を書けたものになる。
 - $A = A_1 A_2 \dots$
- ・多段増幅回路Gの電圧利得は次のように計算できる。
 - $G = 20 \log_{10} A = 20 \log_{10} A_1 A_2 \dots = 20 \log_{10} A_1 + 20 \log_{10} A_2 + \dots$
 - $= G_1 + G_2 + \dots$
- ・つまり多段増幅回路の利得は各増幅回路の利得を足したものになる。



■ 第39回ME2種

- 図のような電圧増幅器を内蔵する医療機器に1mVを入力したときの出力の振幅[V]はどれか

1. 0.02
2. 0.04
3. 0.1
4. 0.3
5. 10

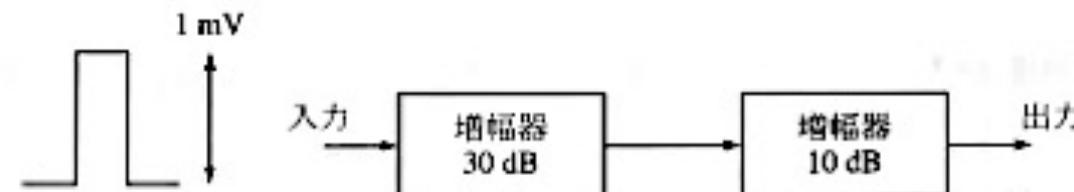


入力×増幅度 = 出力
ゲイン = $20 \log_{10}$ 増幅度
多段増幅回路のゲインは各
増幅回路のゲインの足し算

■ 第39回ME2種

- 図のような電圧増幅器を内蔵する医療機器に1mVを入力したときの出力の振幅[V]はどれか

1. 0.02
2. 0.04
3. 0.1
4. 0.3
5. 10



多段増幅回路の利得は各増幅回路の利得を足し合わせたものなので、多段増幅回路の利得は,
 $30+10=40\text{dB}$

よって増幅度は

$$20 \log_{10} A = 40$$

$$A = 100$$

よって、この多段増幅回路は入力電圧を100倍にするので、出力は $100\text{mV}=0.1\text{V}$ となる。

■ 第35回ME2種

- 図の回路の電圧増幅度は全体でいくらか。

- 2倍
- 40倍
- 100倍
- 399倍
- 10000倍



各增幅回路のゲインの和→多段增幅回路のゲイン→増幅度
この順番で求める。

■ 第35回ME2種

- 図の回路の電圧増幅度は全体でいくらか。

- 2倍
- 40倍
- 100倍**
- 399倍
- 10000倍



多段增幅回路の利得は各增幅回路の利得を足し合わせたものなので、多段增幅回路の利得は、

$$19+21=40\text{dB}$$

よって増幅度は

$$20 \log_{10} A = 40$$

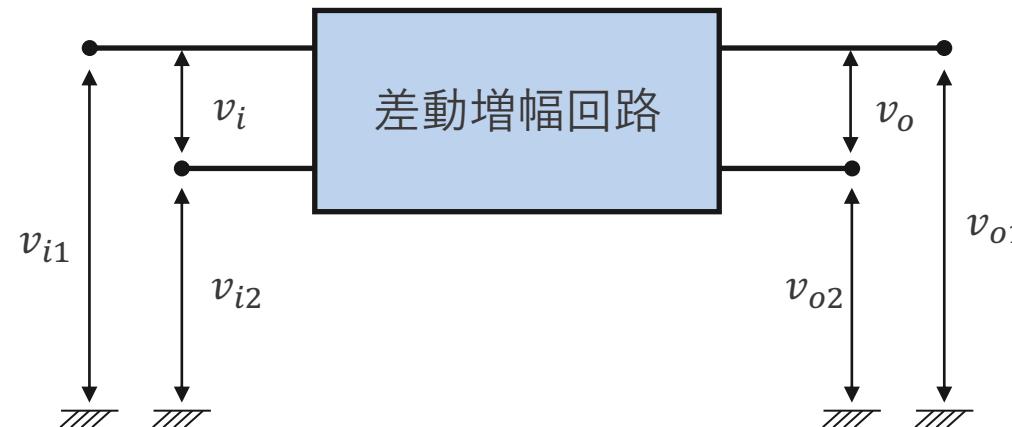
$$A = 100$$

よって、この多段增幅回路は入力電圧を100倍にする。

差動增幅回路

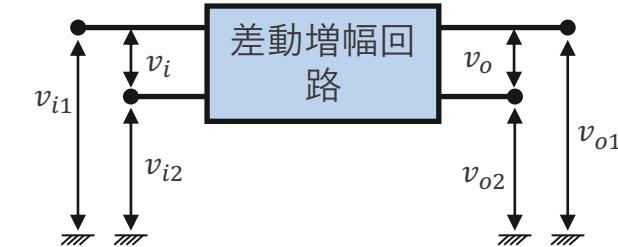
■ 差動增幅回路

- 差動增幅回路は、2つの入力端子に加えられた信号の差 v_i を増幅して、2つの出力端子に電圧の差 v_o として出力する。
- 入力 v_{i1} , v_{i2} に共通に含まれる成分は出力に現れない。

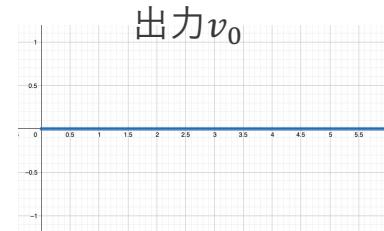
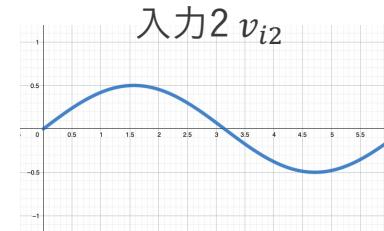
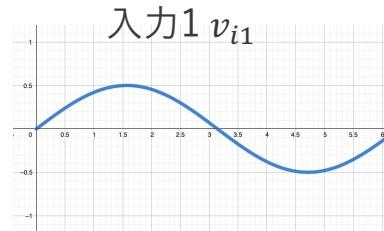


■ 差動増幅回路の動作

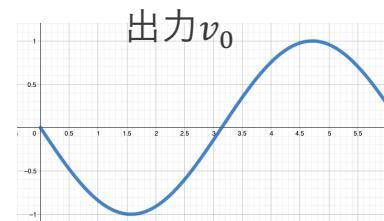
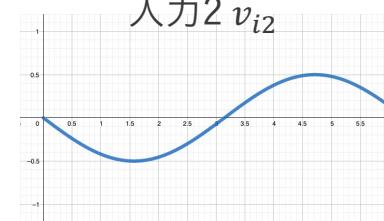
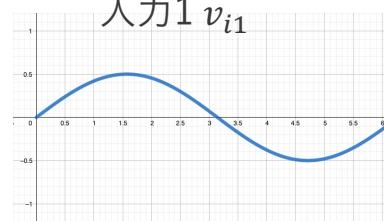
- 同相の入力が入ったとき、両方の出力に差がないため、出力 v_0 は0となる。
- 逆相の入力が入ったとき、両方の出力を反転した信号が出力され、その差は $v_0 = v_{o1} - v_{o2}$ となる。



同相入力



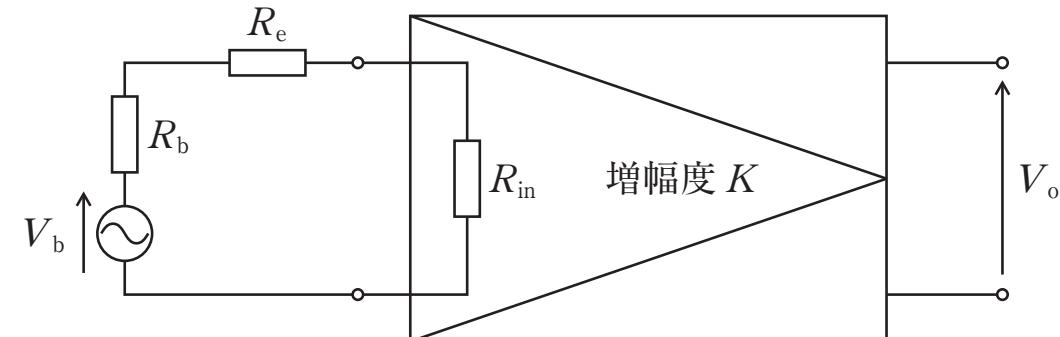
逆相入力



■ 問題

- 信号源の電圧 V_b を図の增幅回路（増幅度 K ）で計算する。出力 V_o $\simeq KV_b$ となる条件はどれか。ただし、增幅回路の入力抵抗を R_{in} 、信号源の内部抵抗を R_b 、リード線の抵抗を R_e とする。（臨床工学技士国家試験32回）

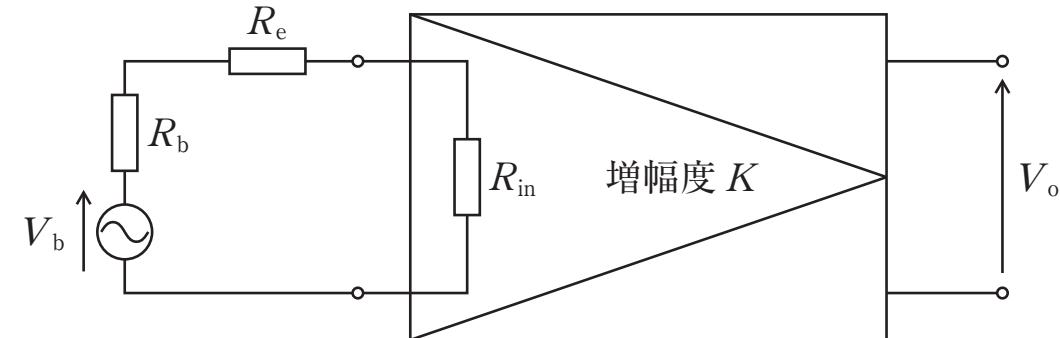
- $R_{in} \ll (R_b + R_e)$
- $R_{in} = (R_b + R_e)$
- $R_{in} \gg (R_b + R_e)$
- $R_b \gg (R_{in} + R_e)$
- $R_e \gg (R_{in} + R_b)$



問題

- 信号源の電圧 V_b を図の增幅回路（増幅度 K ）で計算する。出力 $V_o \simeq KV_b$ となる条件はどれか。ただし、増幅回路の入力抵抗を R_{in} 、信号源の内部抵抗を R_b 、リード線の抵抗を R_e とする。（臨床工学技士国家試験32回）

1. $R_{in} \ll (R_b + R_e)$
2. $R_{in} = (R_b + R_e)$
- 3. $R_{in} \gg (R_b + R_e)$**
4. $R_b \gg (R_{in} + R_e)$
5. $R_e \gg (R_{in} + R_b)$



差分増幅回路だから、入力端子の電圧の差分つまり R_{in} にかかる電圧が K 倍される。
増幅される電圧 V_i は次の式で表される。

$$V_i = \frac{R_{in}}{R_b + R_e + R_{in}}$$

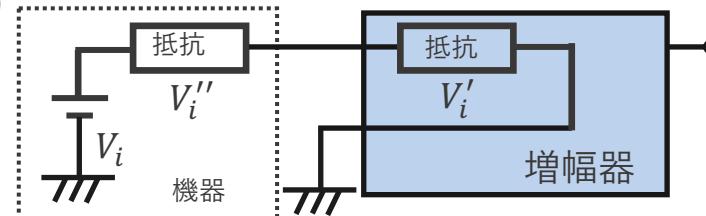
よって、 $V_o \simeq KV_b$ となるためには R_{in} が他の抵抗より極めて大きくなければならない。
つまり答えは $R_{in} \gg (R_b + R_e)$ である。

入力インピーダンス・出力イ
ンピーダンス

■ 入力インピーダンスについて

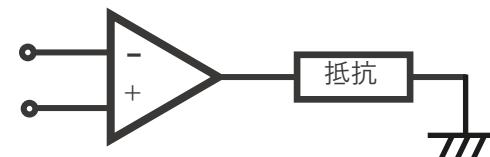
・ 増幅器の入力抵抗（入力インピーダンス）は大きいほどよい。

- ・ 入力インピーダンスが大きいと増幅器へ入力する機器の負荷が小さい。
 - ・ 例えば入力インピーダンス $1\text{k}\Omega$ の增幅回路に 1V の電圧を加えるために必要な電流は 1mA である。よって電力は 1mW 必要である。しかし、入力インピーダンスが 1Ω の場合 1V の電圧を加えるためには電流は 1A である。よって電力は 1W 必要となる。
 - ・ つまり、増幅器の入力インピーダンスは高ければ高いほど必要な電力が下がるため、それに接続する機器の負担は小さくなる。
- ・ 増幅器へ入力する機器の影響が少ない。
 - ・ 図のように機器の出力に内部抵抗がある場合、機器の出力 V_i がその内部抵抗と入力インピーダンスで分圧される。図では V_i'' と V_i' に分圧されている。
 - ・ 増幅器には分圧された電圧 V_i' が入力されることになる。
 - ・ つまり、入力インピーダンスが大きいほど増幅器に加わる電圧 V_i' が大きくなる。（内部抵抗の影響が少なくなる。）



■ 出力インピーダンス

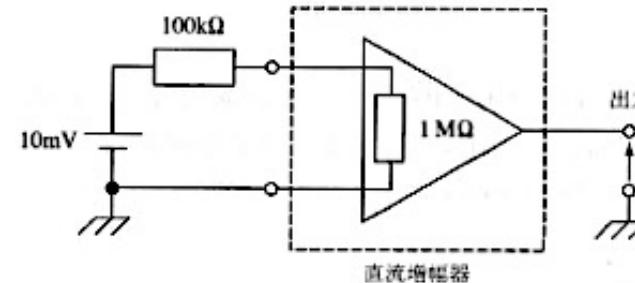
- ・機器の出力できる電流は大きいほうが良い。
 - ・入力インピーダンスが低い機器をつなげた場合、必要な電流（電力）は大きくなる。
 - ・しかし、增幅回路が出力できる電流には限界がある。それにより、出力できる電圧にも限界が生じる。
 - ・例えば、**入力インピーダンス1Ωの機器に1Vの電圧をかけたい場合1A必要だが、0.5Aしか電流を出力できなかつたとすると、機器には0.5Vしかかけることが出来ない**。見方を変えると、機器に0.5V電圧を加わったと考えると、機器と増幅回路で1Vを0.5Vずつ分圧したことになり、見かけ上、増幅回路はインピーダンスを持つことになる。
 - ・この見かけ上のインピーダンスを出力インピーダンスという。
 - ・つまり、**出力インピーダンスが低ければ低いほど電流供給力（出力できる電力）が大きい**。出力インピーダンスは0が理想である。



■ 問題

- 入力抵抗 $1M\Omega$, 電圧増幅率110倍の直流増幅器に, 図のように直流信号を入力した. 信号源の内部抵抗を $100k\Omega$, 直流電圧を $10mV$ とする
と, 増幅器の出力[V]はいくらか. (第35回ME2種)

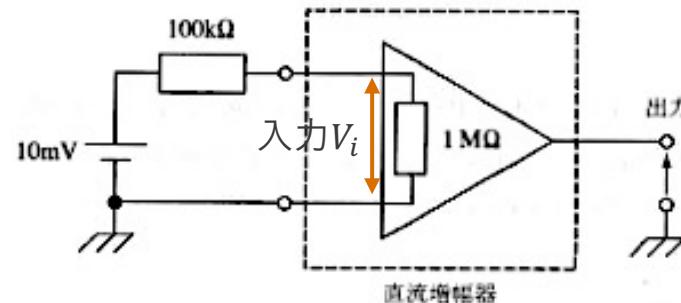
1. 0.1
2. 0.5
3. 1.0
4. 1.1
5. 10.0



問題

- 入力抵抗 $1M\Omega$, 電圧増幅率110倍の直流増幅器に, 図のように直流信号を入力した. 信号源の内部抵抗を $100k\Omega$, 直流電圧を $10mV$ とする
と, 増幅器の出力[V]はいくらか. (第35回ME2種)

1. 0.1
2. 0.5
3. 1.0
4. 1.1
5. 10.0



増幅器への入力電圧 V_i は内部抵抗と入力抵抗で分圧される。
入力電圧 V_i は,

$$10 \times \frac{1000k}{1100k} = 10/1.1mV$$

これが110倍に増幅されるので, 出力電圧は

$$\frac{10}{1.1} \times 110 = 1000mV = 1V$$

■ 問題

- ・脳波計の増幅器の入力インピーダンスを高くする理由はなにか。 (第35回ME2種)
 1. 検出信号の起電力が小さいため。
 2. 直流を増幅するため。
 3. 電極の接触インピーダンスが高いため。
 4. 筋電図の混入を防ぐため。
 5. 電極接触電圧による飽和を防ぐため。

■ 第35回ME2種

- ・脳波計の増幅器の入力インピーダンスを高くする理由はなにか。 (第35回ME2種)

1. 検出信号の起電力が小さいため。

起電力が小さいから増幅器を使い大きくする。

2. 直流を増幅するため。

直流はカップリングコンデンサを使い除去する。

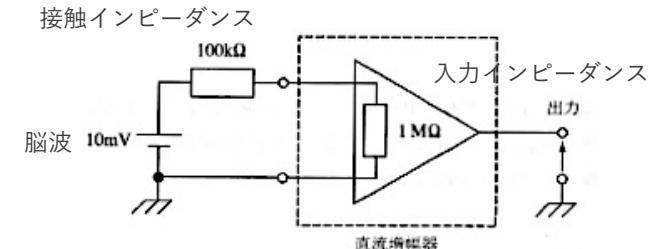
3. 電極の接触インピーダンスが高いため。

脳波は、接触インピーダンスと入力インピーダンスで分圧される。増幅器になるべく大きな電圧を加えるために、入力インピーダンスを大きくしたほうが良い。

4. 筋電図の混入を防ぐため。

関係ない。

5. 電極接触電圧による飽和を防ぐため。



オペアンプ[°]

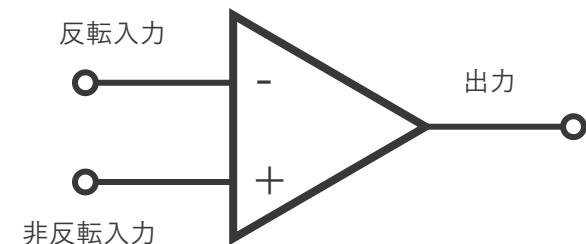
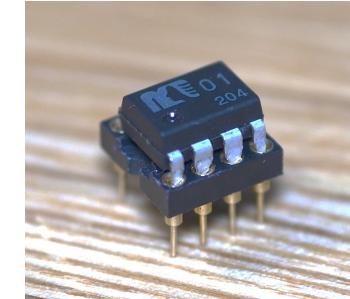
■ オペアンプ

- 演算増幅器 (Operation Amplifier: オペアンプ)

- 差動増幅器
- 反転入力と非反転入力の2つの入力端子がある。
- 正負直流電源を使う。
- 出力が1つある。

- オペアンプの応用例

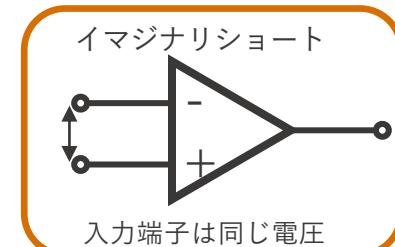
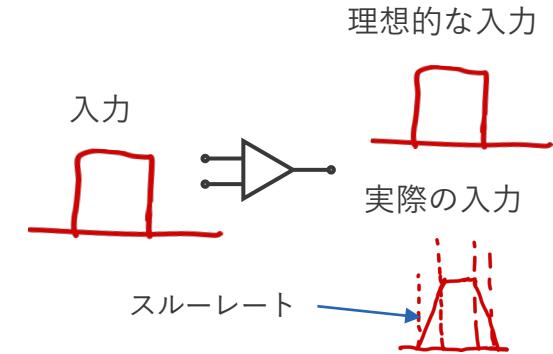
- 增幅回路
 - 非反転増幅回路
 - 反転増幅回路
- バッファ回路
 - ボルテージフォロア
- 加算回路, 減算回路
- コンパレータ



■ 理想オペアンプ

- ・増幅度は無限大
 - ・いくらでも増幅できる.
- ・2つの入力端子の入力インピーダンスが無限大
 - ・入力端子に電流は入っていかない.
- ・出力インピーダンスが0
 - ・いくらでも電流を供給できる.
- ・どのような周波数の信号でも同じように増幅する.
- ・スルーレート（立ち上がりの傾き）が無限大.
- ・イマジナリショート（バーチャルショート, 仮想短絡）
 - ・反転端子と非反転端子はショートしている（同じ電圧）と考えて良い.

超重要!!



赤太字の2点を使いこなせればオペアンプの問題は大体解ける！！

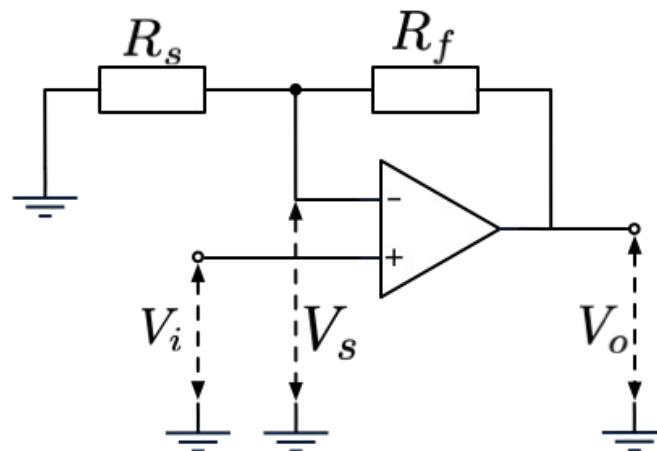
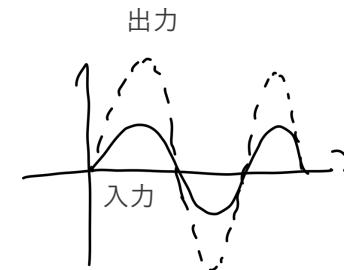
■ オペアンプを使った応用回路

- 非反転増幅回路
- ボルテージフォロア
- 反転増幅回路
- 加算回路
- 減算回路

非反転増幅回路

■ 非反転増幅回路

- ・オペアンプを用いた典型的な増幅回路
- ・入力は非反転入力に入る。
- ・出力端子から反転入力端子へ負帰還がある。



■ 非反転増幅回路の増幅度

- 入力インピーダンスは無限大なので、黄色の回路のみ考えて良い。黄色の回路では、 V_o は R_s と R_f で分圧されるため抵抗 R_s にかかる電圧 V_s は

$$\bullet V_s = \frac{R_s}{R_f + R_s} V_o$$

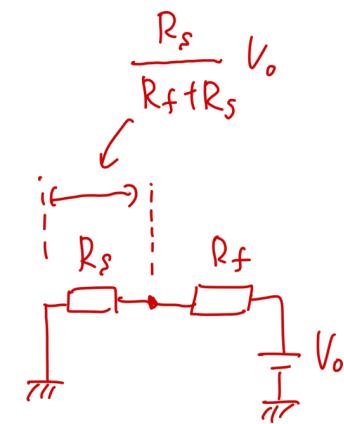
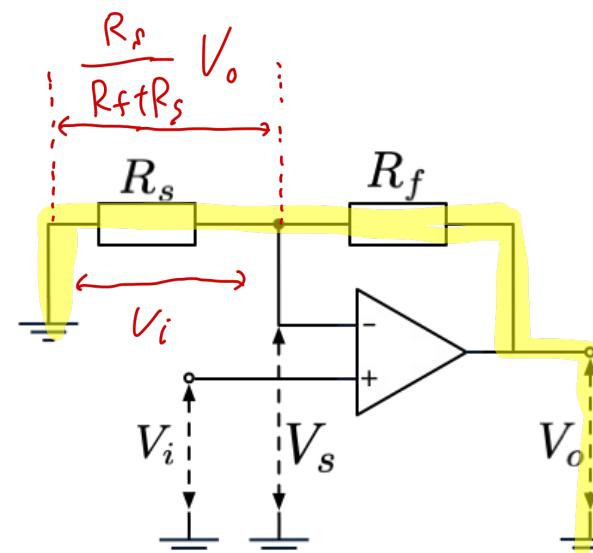
- イマジナリショートを適用すると V_i と V_s は等しいと考えられるので

$$\bullet V_i = \frac{R_s}{R_f + R_s} V_o$$

- よって、電圧増幅度 A_{v_f} は

$$\bullet A_{v_f} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_f + R_s}{R_s} = 1 + \frac{R_f}{R_s}$$

余裕がある人だけ覚える。
この式を使えない問題が多い。



黄色の回路だけ抽出した図

■ 非反転増幅回路の特徴

- 増幅度を1未満に出来ない。
 - $A = 1 + \frac{R_f}{R_s} > 1$ なぜならば、抵抗は0以上だから $\frac{R_f}{R_s} \geq 0$
- 入力インピーダンスを高くできる。
 - オペアンプの入力端子に直接入力されているため、オペアンプの入力インピーダンスが増幅器の入力インピーダンスとなる。
 - オペアンプの入力インピーダンスは非常に高いため、増幅器の入力インピーダンスも非常に高くできる。
- 信号ラインに抵抗が無いため、抵抗の質やそのJohnsonノイズに出力が影響されにくい。
 - こだわりのオーディオ機器を作成する時だけ考えれば良い。

発展

■ 問題解説

- 図の回路において V_i に3Vの信号を入力すると V_o は何Vになるか。
(32ME)

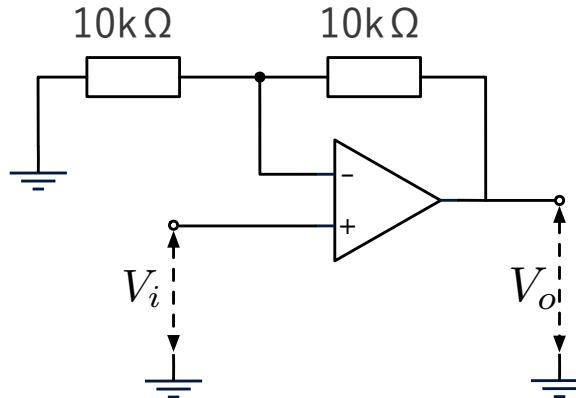
1. 1

2. 2

3. 3

4. 6

5. 12



問題解説

- 図の回路において V_i に3Vの信号を入力すると V_o は何Vになるか。
(32ME)

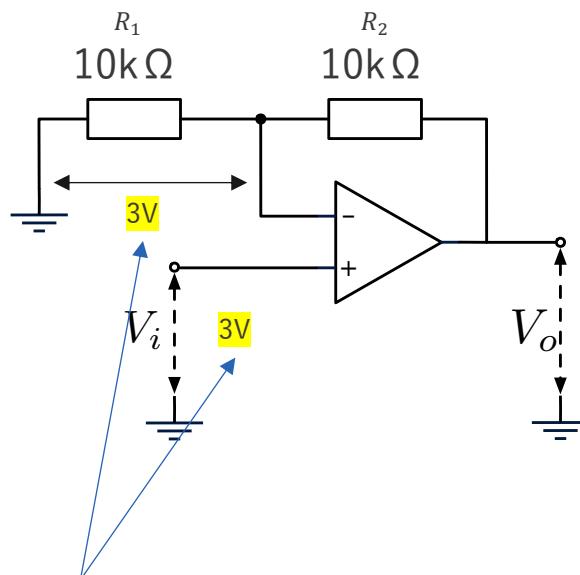
1. 1

2. 2

3. 3

4. 6

5. 12



イマジナリショートだから等しい

あえて増幅度の公式を使わず解きます。

イマジナリショートを適用すると、オペアンプのそれぞれの入力端子の電圧は等しいと見なせるので、 R_1 に3Vの電圧が加わっている。

また、入力インピーダンスは無限大なので、非反転入力端子への接続は無視できる。そう考えれば、 V_o は直列で繋がっている R_1 と R_2 で分圧されていると考えられる。よって、 R_1 に加わる電圧を V_{R_1} とすると、

$$V_{R_1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_o = \frac{10k}{10k + 10k} V_o = \frac{1}{2} V_o = 3$$

なので、 $V_o = 6V$ となる。

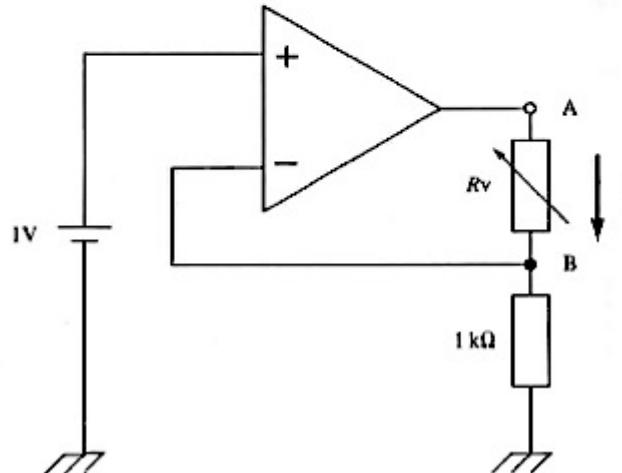
別解：イマジナリショートを適用すると R_1 に3Vの電圧が加わっている。

R_1 と R_2 は等しいので、 R_2 には3Vの電圧が加わる。よって $V_o = V_{R1} + V_{R2} = 3 + 3 = 6V$ である。

■ 第35回ME2種

- 理想オペアンプの回路で、可変抵抗 R_V が $1\text{k}\Omega$ のとき、端子AB間に流れ
る電流が I_0 であった。可変抵抗を $2\text{k}\Omega$ に変化させたとき、端子AB間に
流れる電流 I は I_0 の何倍か。（第35回ME2種）

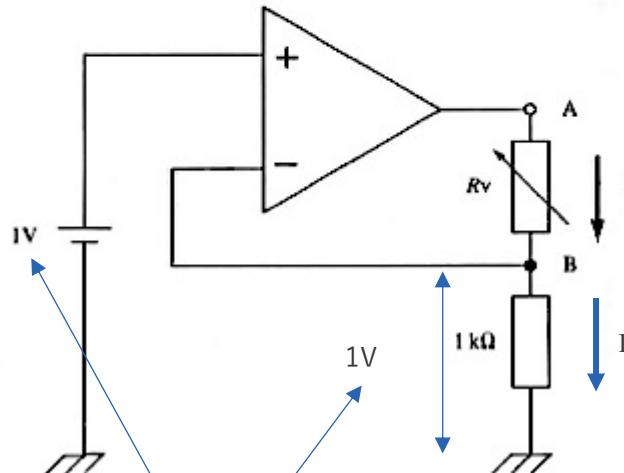
1. $\frac{1}{4}$
2. $\frac{1}{2}$
3. 1
4. 2
5. 4



■ 第35回ME2種

- 理想オペアンプの回路で、可変抵抗 R_v が $1\text{k}\Omega$ のとき、端子AB間に流れ る電流が I_o であった。可変抵抗を $2\text{k}\Omega$ に変化させたとき、端子AB間に 流れる電流 I は I_o の何倍か。（第35回ME2種）

1. $\frac{1}{4}$
2. $\frac{1}{2}$
3. **1**
4. 2
5. 4



イマジナリショートだ
から等しい

入力インピーダンスは無限大なので、反転入力端子には電流が流れ込まない。つまり、出力端子から流れ出す電流のすべてが $1\text{k}\Omega$ の抵抗に流れる。よって、AB間に流れる電流 I と $1\text{k}\Omega$ の抵抗に流れる電流は等しい。

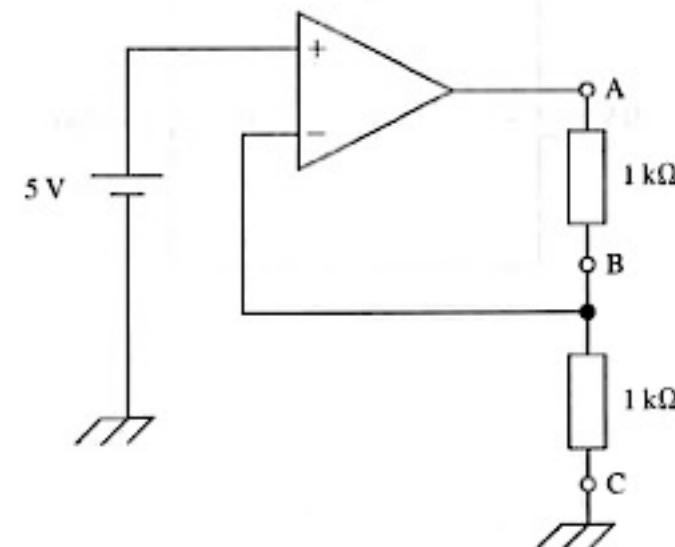
また、バーチャルショートより、 $1\text{k}\Omega$ の抵抗に加わる電圧は R_v の値によらず 1V である。つまり、 R_v が変化しても、 $1\text{k}\Omega$ の抵抗に流れる電流は変化しない。

よって、AB間に流れる電流 I は R_v によって変化しないから、 I は I_o の1倍である。

問題

- 図の理想オペアンプ回路で、端子AB間に $1\text{k}\Omega$ の抵抗を接続した。出力端子Aと端子Cの間の電位差は何Vか。(第34回ME2種)

- 1
- 5
- 7
- 10
- 12



問題

- 図の理想オペアンプ回路で、端子AB間に $1\text{k}\Omega$ の抵抗を接続した。出力端子Aと端子Cの間の電位差は何Vか。(第34回ME2種)

1. 1

2. 5 イマジナリショートから、BC間に電位差は5Vである。BC間に流れる電流は

3. 7

$$I_{BC} = \frac{5}{1k} A$$

4. 10

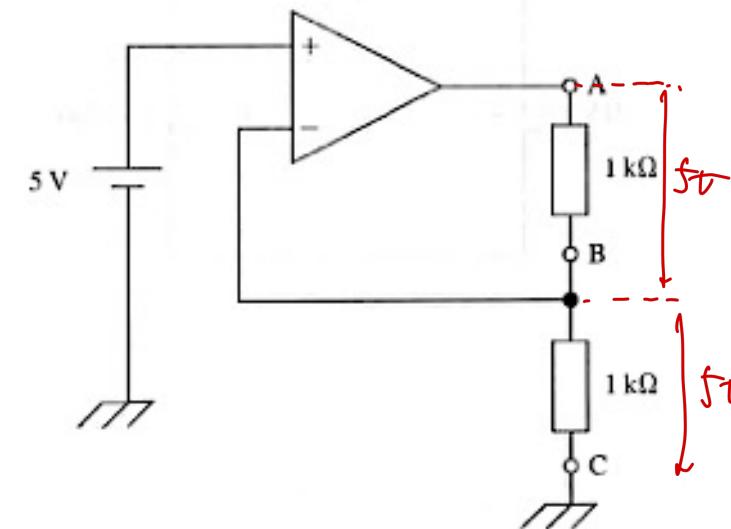
入力端子はインピーダンス無限大なので電流は流れ込まない。よって、電流のすべてがAB間に流れる。よってAB間に電位差は

5. 12

$$V_{AB} = I_{BC} \times 1k = 5V$$

よってAC間に電位差は

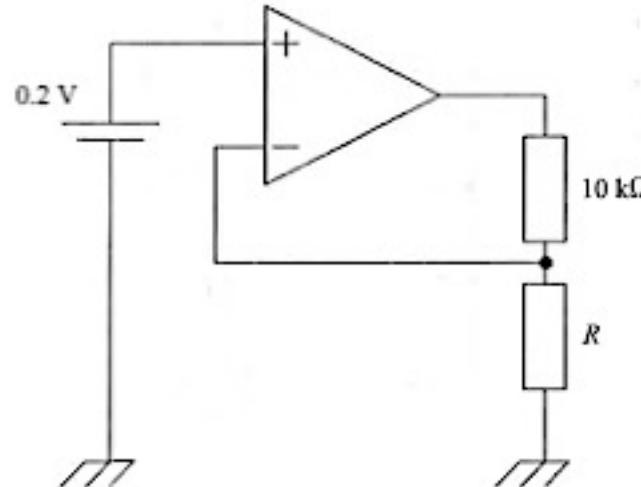
$$V_{AC} = 5 + 5 = 10V$$



問題

- 図の回路で $10\text{k}\Omega$ の抵抗に流れる電流が 0.2mA のとき、抵抗 R の大きさは何 $\text{k}\Omega$ か。ただし、オペアンプは理想オペアンプとする。（第38回ME2種）

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 10



問題

- 図の回路で $10\text{k}\Omega$ の抵抗に流れる電流が 0.2mA のとき、抵抗 R の大きさは何 $\text{k}\Omega$ か。ただし、オペアンプは理想オペアンプとする。(第38回ME2種)

1. 1 入力インピーダンスは無限大なので、 0.2mA の電流すべてが抵抗 R に流れる。
また、イマジナリショートから、抵抗 R にかかる電圧は 0.2V である。

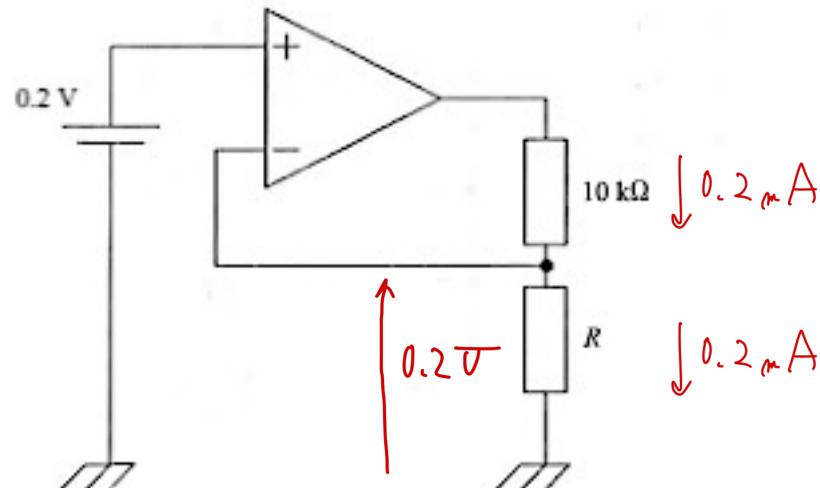
2. 2 よって

$$R = \frac{0.2}{0.2} \times 10^3 = 1\text{k}\Omega$$

3. 4

4. 5

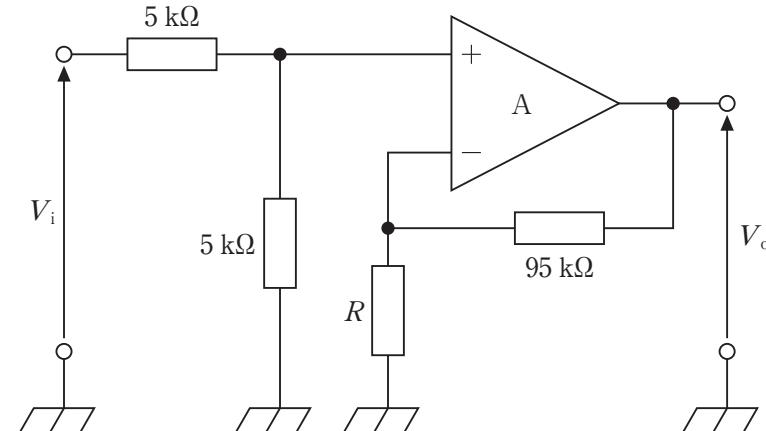
5. 10



問題

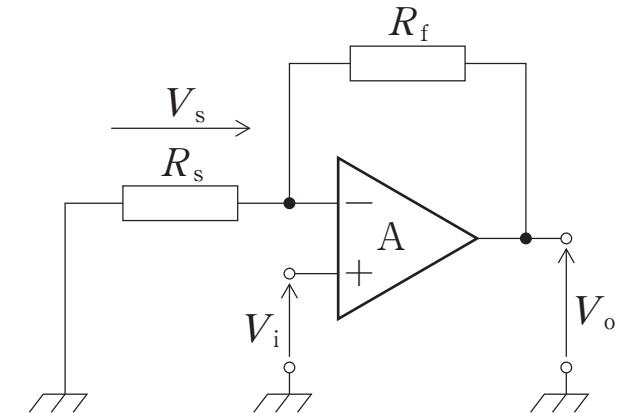
- 図の回路の電圧利得が20dBであるとき, $R[k\Omega]$ はどれか. ただし, Aは理想演算増幅器とする. (臨床工学技士国家試験34)

- 1
- 2
- 5
- 7
- 10



■ 問題

- 図の回路について、正しいのはどれか。ただし、A は理想演算増幅器とする。(臨床工学技士国家試験30回)
 - 反転増幅器である。
 - 入力抵抗は R_s である。
 - 二つの抵抗に流れる電流は等しい。
 - V_s は V_i に等しい。
 - R_s を無限大にすると $|V_i|=|V_o|$ になる。



■ 問題

- 図の回路について、正しいのはどれか。ただし、Aは理想演算増幅器とする。（臨床工学技士国家試験30回）

a. 反転増幅器である。

非反転増幅回路である。

b. 入力抵抗は R_s である。

入力はオペアンプの入力端子に直接つながっているので、インピーダンスは無限大である。

c. 二つの抵抗に流れる電流は等しい。

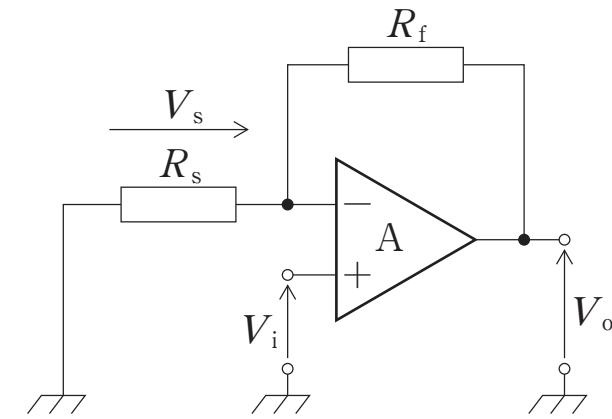
入力端子に電流は入っていないから。

d. V_s は V_i に等しい。

イマジナリーショートだから。

e. R_s を無限大にすると $|V_i| = |V_o|$ になる。

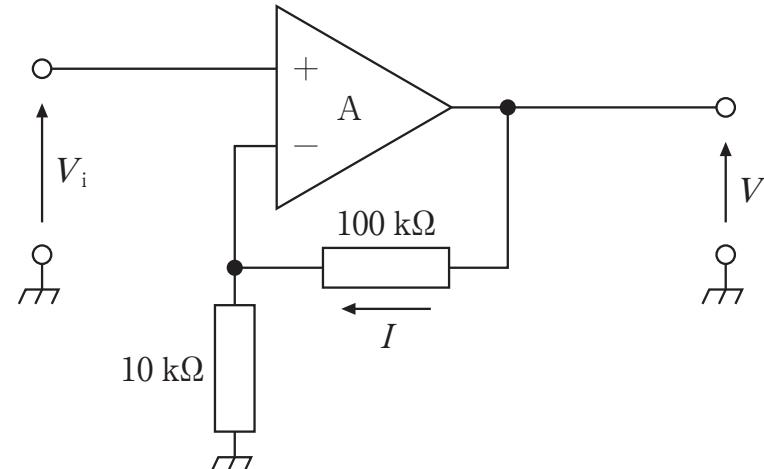
増幅度は $1 + R_f/R_s$ だから正しい。



問題

- 図の回路で V_i が1Vのとき、 I [mV]はどれか。ただし、Aは理想演算增幅器とする。(臨床工学技士国家試験36)

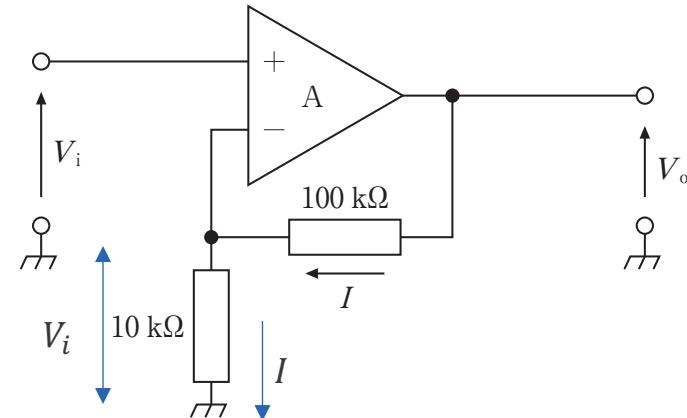
1. 0.01
2. 0.1
3. 1
4. 10
5. 100



問題

- 図の回路で V_i が1Vのとき、 I [mV]はどれか。ただし、Aは理想演算増幅器とする。(臨床工学技士国家試験36)

- 0.01
- 0.1**
- 1
- 10
- 100



イマジナリーショートから、 $10\text{k}\Omega$ の抵抗にかかる電圧は V_i である。入力インピーダンスは無限大のため、入力端子に電流は流れ込まない。つまり、電流 I は $10\text{k}\Omega$ の抵抗にも流れる。よって、

$$I = \frac{1}{10k} = 0.1\text{mA}$$

問題

- 図の回路の電圧利得が20dBであるとき, $R[k\Omega]$ はどれか. ただし, A は理想演算増幅器とする. (臨床工学技士国家試験34)

1. 1

この回路は, 電圧を下げる回路(分圧回路)と増幅回路からできている. つまり, この回路は, まず電圧 A_1 倍上げ(増幅し), その後 A_2 倍増幅する. よって, この回路全体の増幅度 A は

4. 7

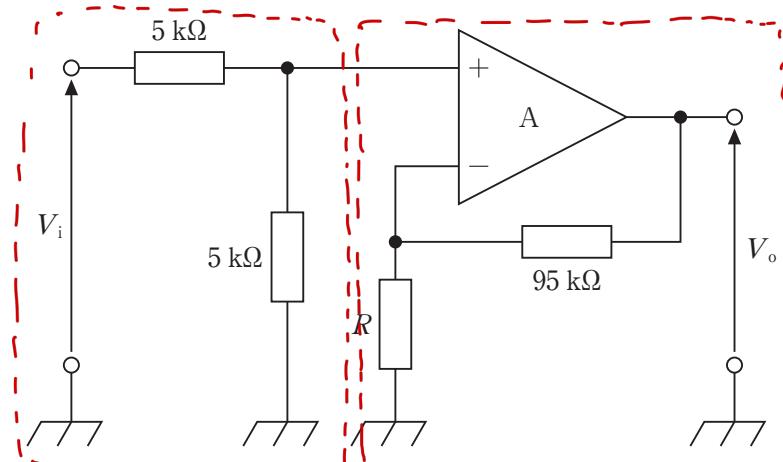
$$A = A_1 A_2$$

5. 10

分圧回路は2つの抵抗で分圧されているので A_1 は

$$A_1 = \frac{5k}{5k + 5k} = \frac{1}{2}$$

である.



電圧を下げる回路

増幅回路

$$\text{増幅度 } A_1 = \frac{1}{2} \text{ 倍}$$

$$\text{増幅度 } A_2 \text{ 倍}$$

問題

- 図の回路の電圧利得が20dBであるとき, $R[k\Omega]$ はどれか. ただし, A は理想演算増幅器とする. (臨床工学技士国家試験34)

1. 1

増幅回路は非反転増幅回路だから, 増幅度 A_2 は

2. 2

$$A_2 = 1 + \frac{95k}{R}$$

3. 5

また, 問題から, この回路の増幅度 A は

4. 7

$$20 = 20 \log_{10} A$$

$$A = 10$$

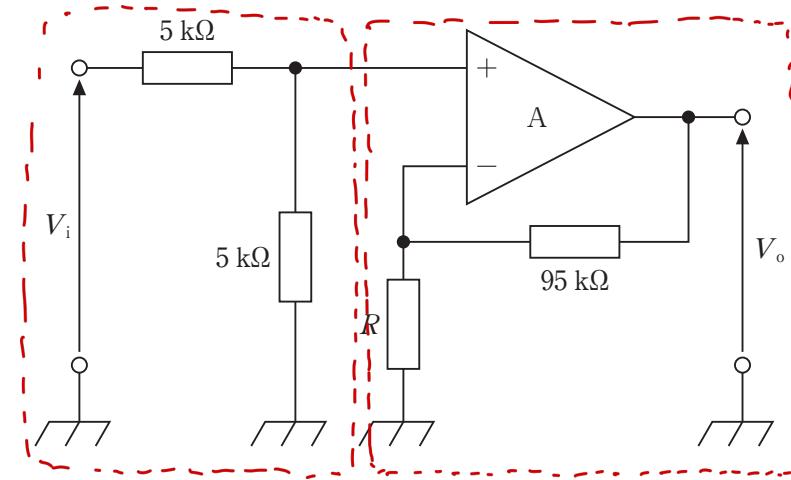
である. よって

$$A = A_1 A_2 = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{95k}{R} \right) = 10$$

$$R + 95k = 20R$$

$$19R = 95k$$

$$R = 5k$$



電圧を下げる回路

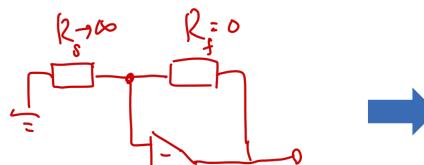
増幅度 $A_1 = \frac{1}{2}$ 倍

増幅度 A_2 倍

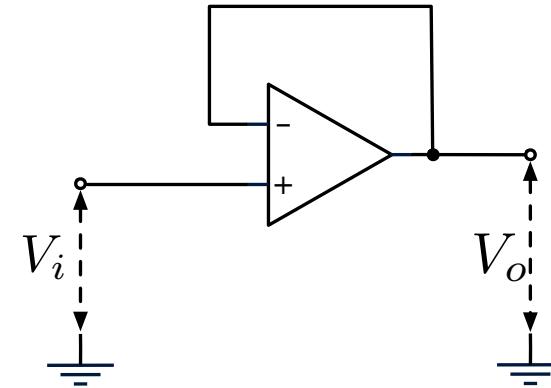
ボルテージフォロア

■ ボルテージフォロア

- ・中央の回路をボルテージフォロアという。
- ・この回路は、左図のように非反転増幅回路の R_s を無限大に、 R_f を0にした回路と見なせる。
- ・電圧を増幅しない。
 - ・増幅度は1。
 - ・イマジナリショートを適用すると、 $V_i=V_o$ となることから分かる。



非反転増幅回路

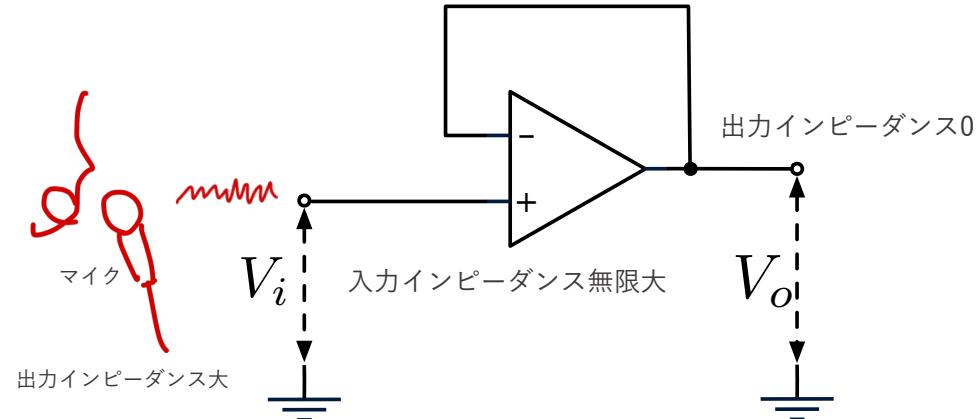


ボルテージフォロア

■ ボルテージフォロアは何の役に立つのか

- ボルテージフォロアは入力インピーダンスが大きく、出力インピーダンスが小さいため、バッファとして使用される。
 - 入力インピーダンスが高く、入力機器は小さい電流（電力）の出力で良い。
 - 入力機器の出力インピーダンスは高くても良い。
 - オペアンプが電流を供給する。
 - ボルテージフォロアを追加すると出力インピーダンスが小さくなるので、インピーダンスを変換しているとも言える。

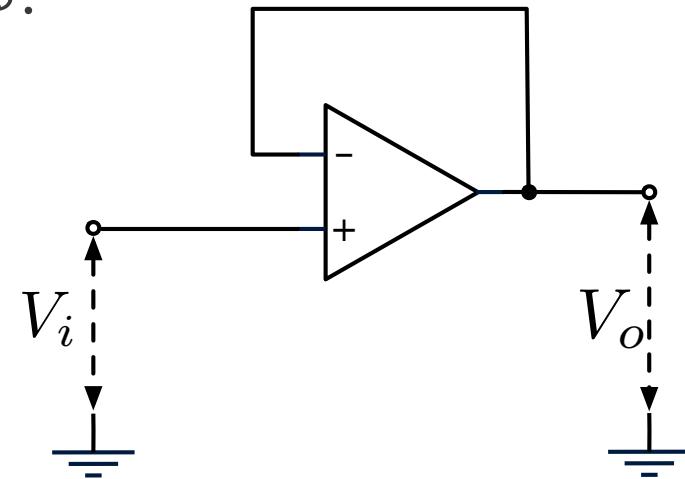
補足：マイクなど大きな電流を流せない（出力電力が小さい、出力インピーダンスが大きい）機器の信号を増幅させるには入力インピーダンスが大きい増幅器を接続する必要がある。ボルテージフォロアは入力インピーダンスが非常に高く、小さな電流でも（出力インピーダンスが高くても）信号を拾うことができる。また、ボルテージフォロアの出力インピーダンスは非常に低いため、出力につなぐ機器の入力インピーダンスが低くても十分信号を伝えることができる。



■ 演習

- 図の回路について誤っているのはどれか。ただし、Aは理想演算増幅器である。(第40回ME2種)

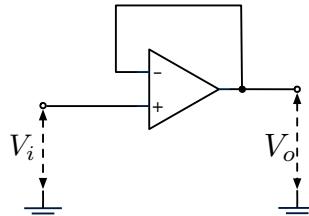
- 電圧増幅度は1倍である。
- インピーダンス変換機として使用される。
- 入力インピーダンスは無限大である。
- 正帰還が用いられている。
- 電圧フォロアである。



■ 演習

- 図の回路について誤っているのはどれか。ただし、Aは理想演算増幅器である。(第40回ME2種)

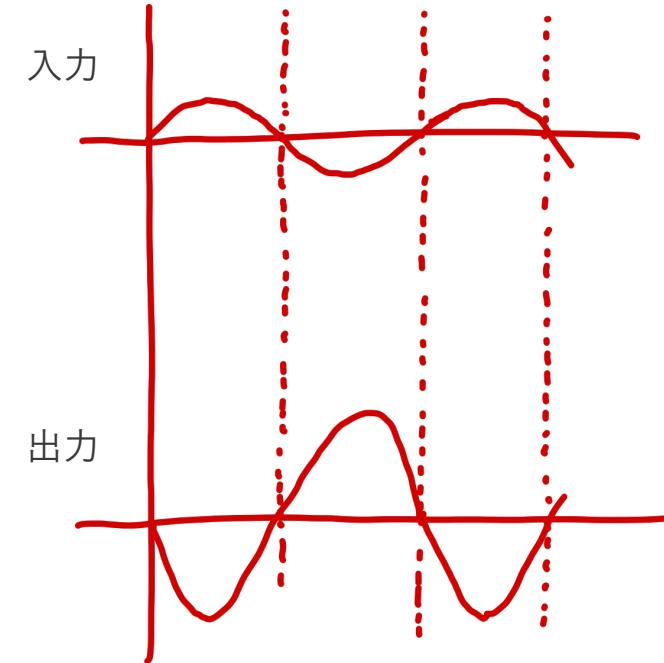
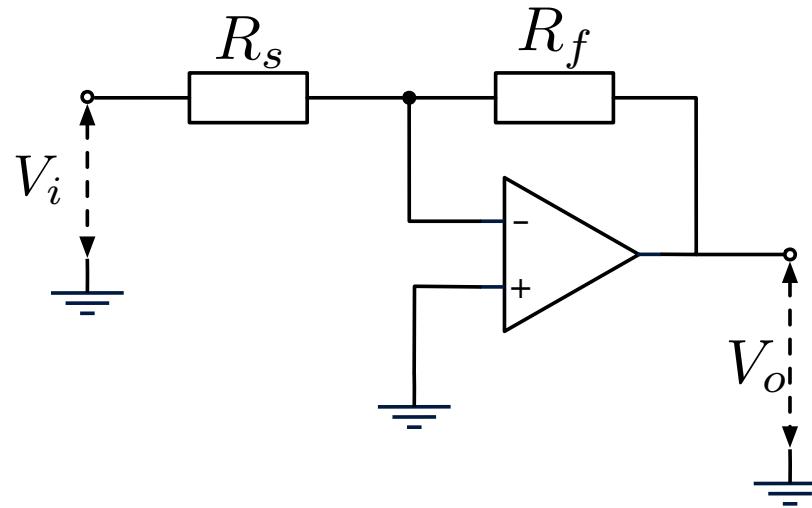
- 電圧増幅度は1倍である。
バーチャルショートを考えれば当然です。
- インピーダンス変換機として使用される。
出力インピーダンスの高い機器にボルテージフォロアをつなぎ、ボルテージフォロアに電流を供給させることで出力インピーダンスを下げます。
- 入力インピーダンスは無限大である。
オペアンプの入力端子に入力が入っているから。
- 正帰還が用いられている。
負帰還です。
- 電圧フォロアである。
回路の名前そのままです。



反転増幅回路

■ 反転増幅回路

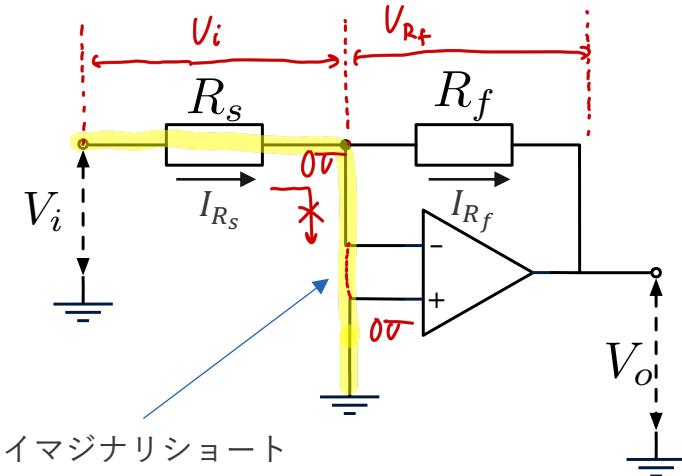
- ・入力の符号を反転させたものが出力される。
- ・入力は反転入力端子へ
- ・非反転入力端子はGNDに接続



入力の符号を反転させたものが
出力される。

■ 反転増幅回路の増幅度

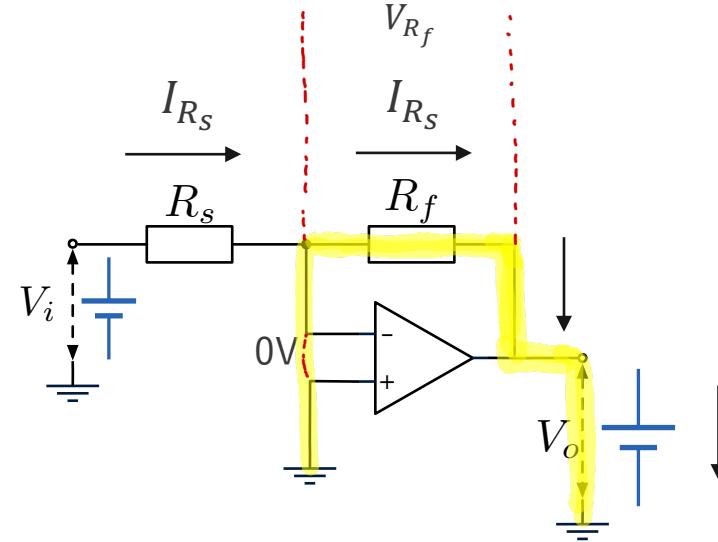
- R_s に加わる電圧 V_{R_s} はイマジナリショートより
 - $V_{R_s} = V_i$
- R_s を流れる電流 I_{R_s} はオームの法則 $V_i = R_s I_{R_s}$ より
- $I_{R_s} = \frac{V_{R_s}}{R_s} = \frac{V_i}{R_s}$
- 入力端子には電流は入っていないため、それぞれの抵抗を流れる電流 I_{R_s} と I_{R_f} は等しい。よって
- $I_{R_s} = I_{R_f} = \frac{V_i}{R_s}$
- よって抵抗 R_f に加わる電圧 V_{R_f} は
- $V_{R_f} = R_f I_{R_f} = R_f I_{R_s} = R_f \times \frac{V_i}{R_s} = \frac{R_f}{R_s} \times V_i$



■ 反転増幅回路の増幅度

- 黄色の回路を時計回りに考える。電圧降下の総和と電源電圧の総和は等しいので、
- $V_{R_f} = -V_o$
- よって出力電圧 V_o は
- $V_o = -V_{R_f} = -\frac{R_f}{R_s} \times V_i$
- また、増幅度は
- $A_{vf} = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_f}{R_s}$

マイナスが反転を意味する。



電流の向きから V_o を電池と見なした時、GND（下）側が+極になる。
+極がGND（0V）なので出力端子の電圧は負になる。図では+極が上を向いているが出力電圧に負なので（ただし入力は正），実際の電池では+極が下向きになっている。

■ 問題解説

- 図の回路で電流計の指示値は何mAか。ただし、演算增幅器と電流計は理想的に働くこととする。（第34回ME2種）

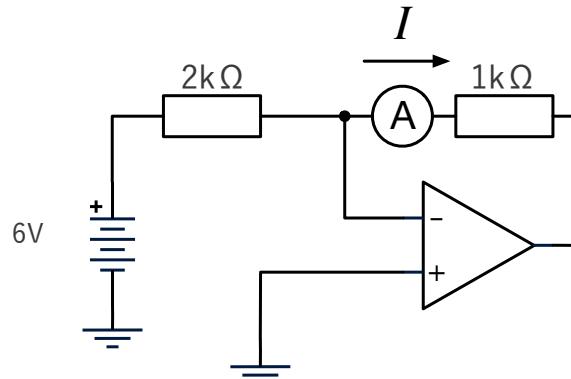
1. 1

2. 2

3. 3

4. 6

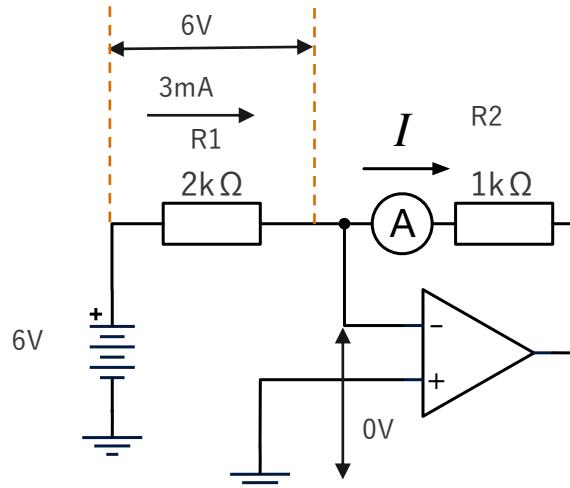
5. 12



問題解説

- 図の回路で電流計の指示値は何mAか。ただし、演算増幅器と電流計は理想的に働くこととする。（第34回ME2種）

- 1
- 2
- 3
- 6
- 12



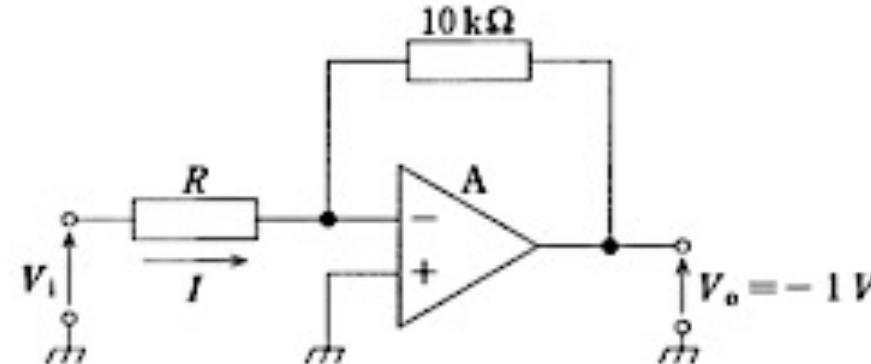
イマジナリショートを適用すると、オペアンプのそれぞれの入力端子の電圧は等しいと見なせる。よって、反転入力端子に加わる電圧は0Vである。つまり、R1に加わる電圧は6Vとなる。よって、R1に流れる電流は $6/2k=3mA$ である。

また、入力インピーダンスは無限大なので、電流は入力端子に入らない。つまり、R1に流れる電流のすべてがR2に流れる。よって、Iは3mAである。

問題

- 図の回路の電圧増幅度を20dBとするとき、抵抗 R に流れる電流 I [mA]はどれか。ただし、Aは理想演算増幅器とする。（国家試験25）

1. 0.01
2. 0.1
3. 1
4. 10
5. 100



問題

- 図の回路の電圧増幅度を20dBとするとき、抵抗 R に流れる電流 I [mA]はどれか。ただし、Aは理想演算増幅器とする。（国家試験25）

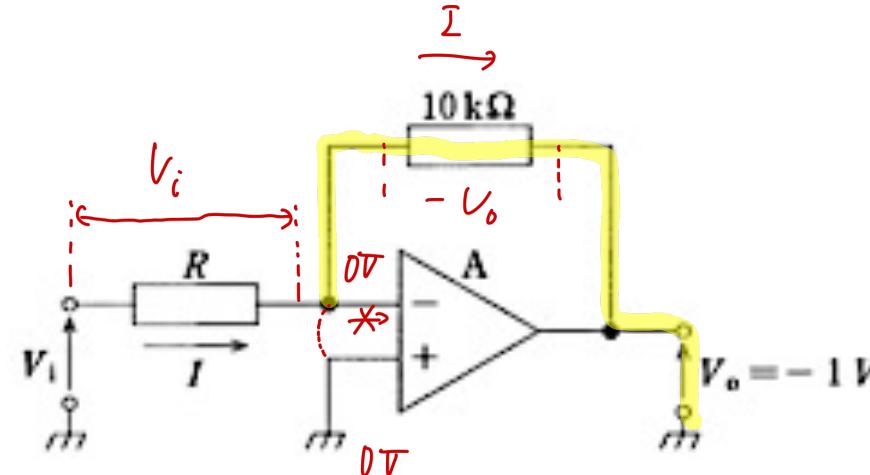
1. 0.01

2. 0.1

3. 1

4. 10

5. 100



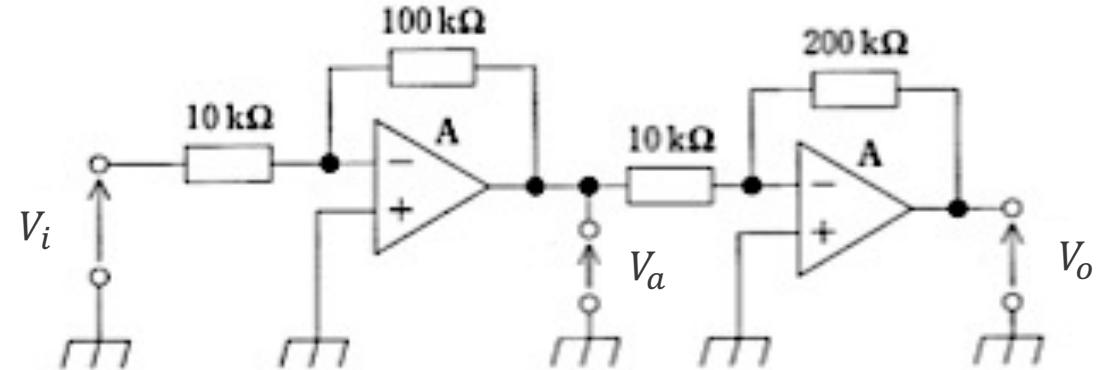
イマジナリショートより反転端子は0Vである。よって、 $10\text{k}\Omega$ の抵抗にかかる電圧は1Vである。さらに、入力インピーダンスは無限大なので電流 I が $10\text{k}\Omega$ の抵抗に流れる。よって

$$I = \frac{1}{10k} = 10^{-4}A = 0.1mA$$

問題

- 図の回路で V_a が 20mV のとき $V_i[\text{mV}]$ と $V_o[\text{mV}]$ の正しい組み合わせはどれか。ただし、Aは理想演算増幅器とする。（国家試験25）

- $V_i = -2, V_o = -400$
- $V_i = -1, V_o = -200$
- $V_i = -1, V_o = 200$
- $V_i = 2, V_o = 200$
- $V_i = 2, V_o = 400$



問題

- 図の回路で V_a が20mVのとき V_i [mV]と V_o [mV]の正しい組み合わせはどれか。ただし、Aは理想演算増幅器とする。(国家試験25)

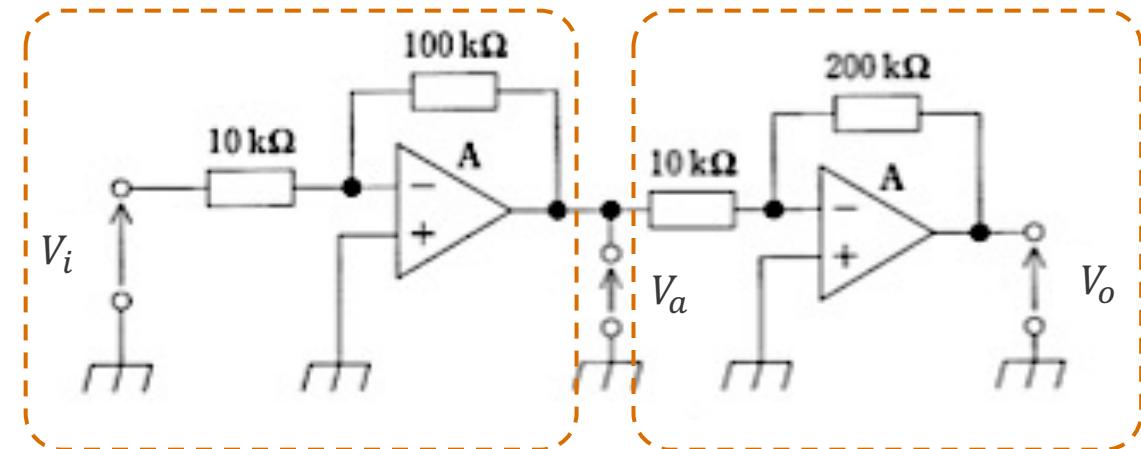
1. $V_i = -2, V_o = -400$

2. $V_i = -1, V_o = -200$

3. $V_i = -1, V_o = 200$

4. $V_i = 2, V_o = 200$

5. $V_i = 2, V_o = 400$



この回路は2つの反転増幅回路からなる多段増幅回路である。

始めの反転増幅回路の出力は $V_a = -\frac{100k}{10k}V_i = -10V_i$ である。

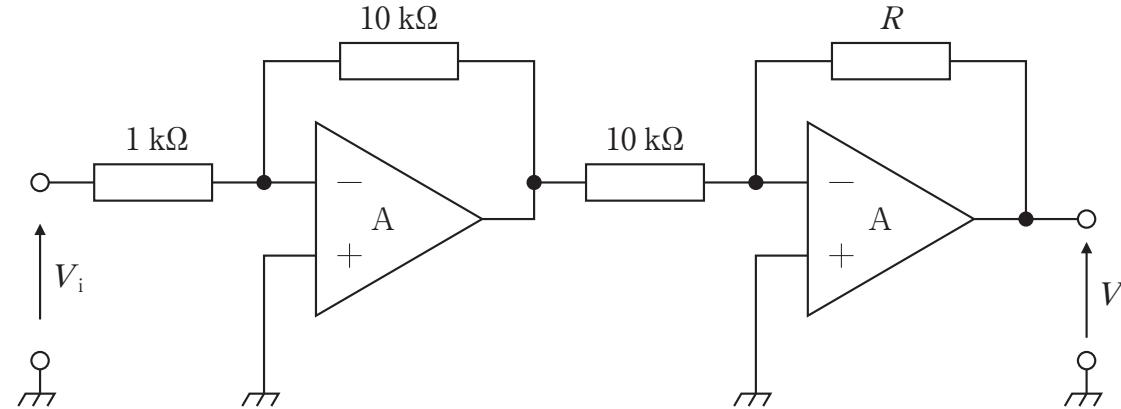
最後の判定増幅回路の出力は $V_o = -\frac{200k}{10k}V_a = -20V_a$ である。

$V_a = 20\text{ mV}$ なので $V_i = -\frac{20m}{10} = 2\text{ mV}$, $V_o = -20V_a = -20 \times 20\text{ m} = 400\text{ mV}$ である。

問題

- 図の回路全体の増幅度は26dBである。抵抗値 $R[\text{k}\Omega]$ はどれか。ただし、 A は理想演算増幅器とし、 $\log_{10} 2 = 0.3$ とする。（臨床工学技士国家試験36）

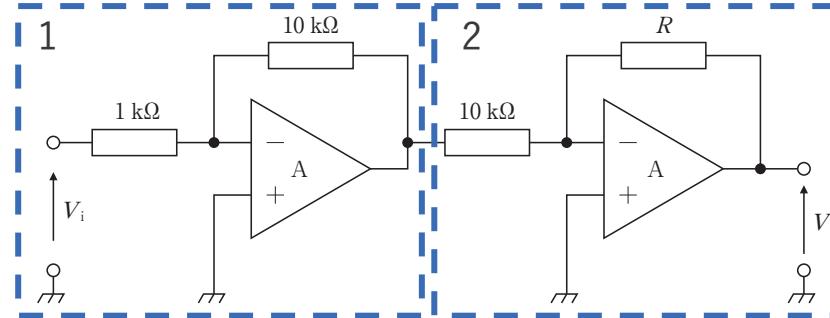
1. 5
2. 16
3. 20
4. 30
5. 100



問題

- 図の回路全体の増幅度は26dBである。抵抗値 $R[\text{k}\Omega]$ はどれか。ただし、 A は理想演算増幅器とし、 $\log_{10} 2 = 0.3$ とする。（臨床工学技士国家試験36）

1. 5
2. 16
3. **20**
4. 30
5. 100



これは2つの反転増幅回路を用いた多段増幅回路である。
まず、増幅回路1の増幅率は $10\text{k}/1\text{k}=10$ 倍である。
デシベルから何倍の増幅回路か求める。

$$20 \log_{10} A = 20 \log_{10} A_1 A_2 = 26$$

$$20 \log_{10} A_1 + 20 \log_{10} A_2 = 20 + 6$$

このように、うまく変形すると各回路の倍率が求まる。

$$A_1 = 10, A_2 = 10^{0.3} = 1.999 \cong 2$$

$$\text{よって } \frac{R}{10k} = 2 \text{ だから } R = 20\text{k}\Omega$$