

エレクトロニクス

講義資料

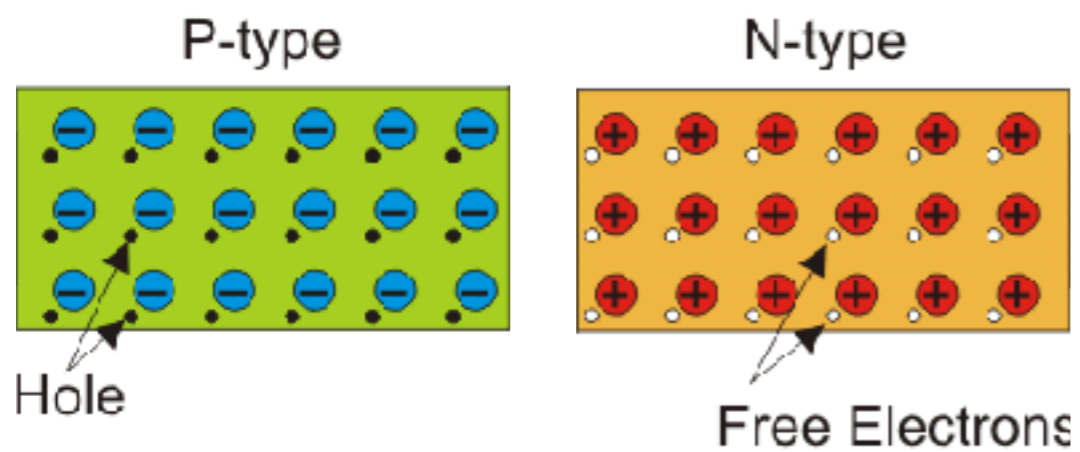
第8章：トランジスタ回路

ver. 2

鶴 剛 (tsuru@cr.scphys.kyoto-u.ac.jp)

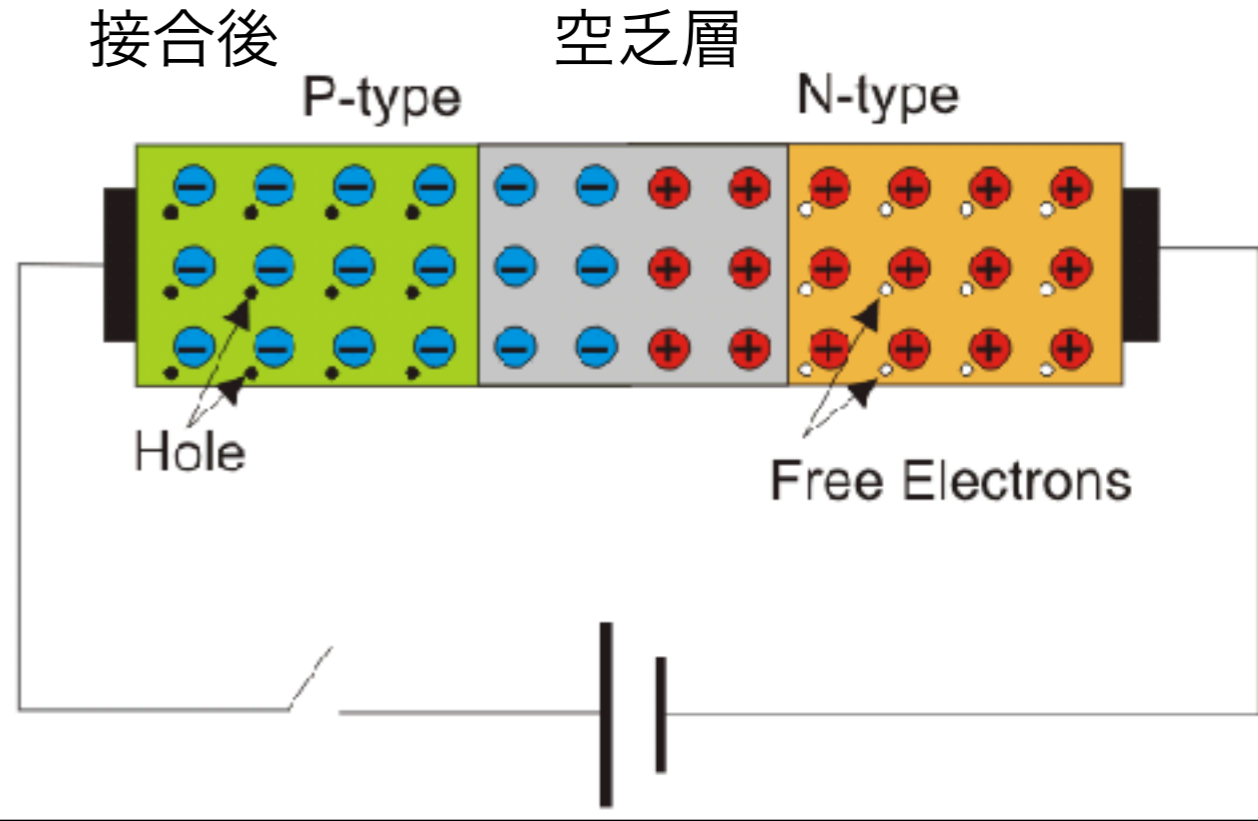
ダイオードの構造と動作

接合前

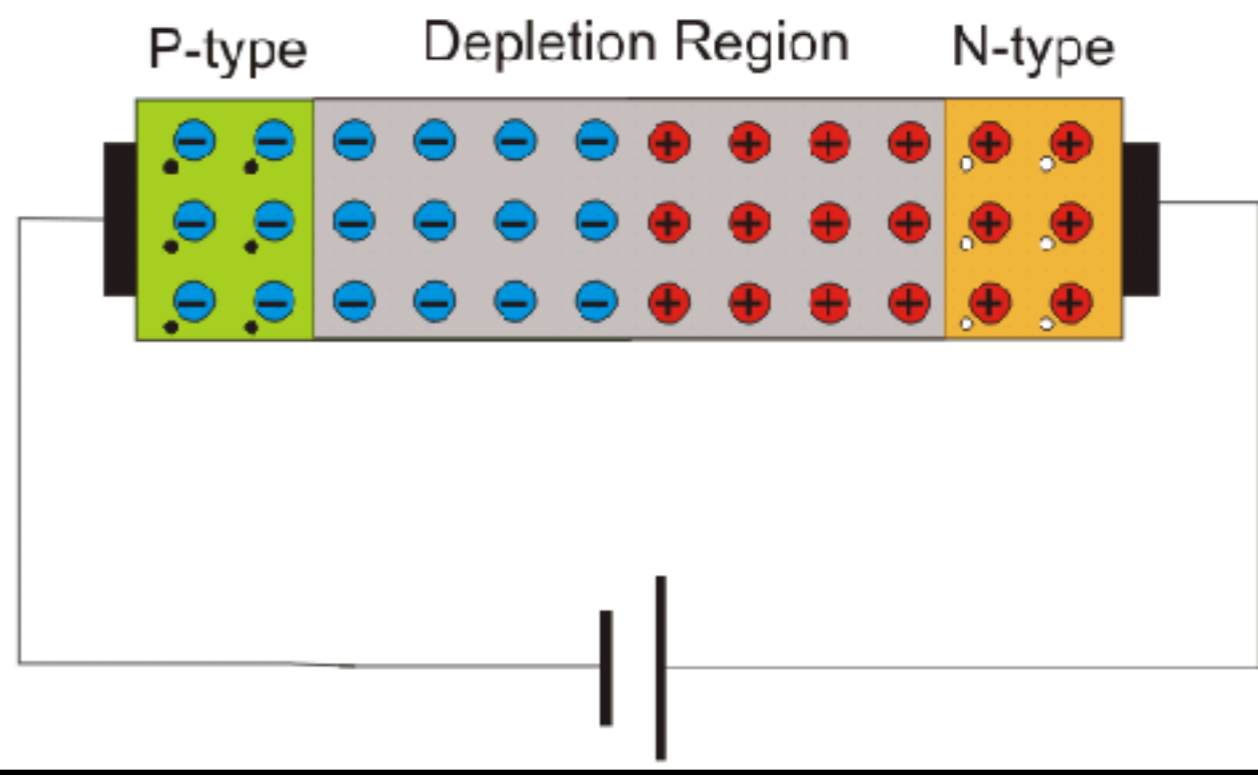


実際には、それぞれ独立に作ったP型とN型を物理的にくっつけるわけではない。もともと1つの結晶シリコンにP型とN型の領域を作る。

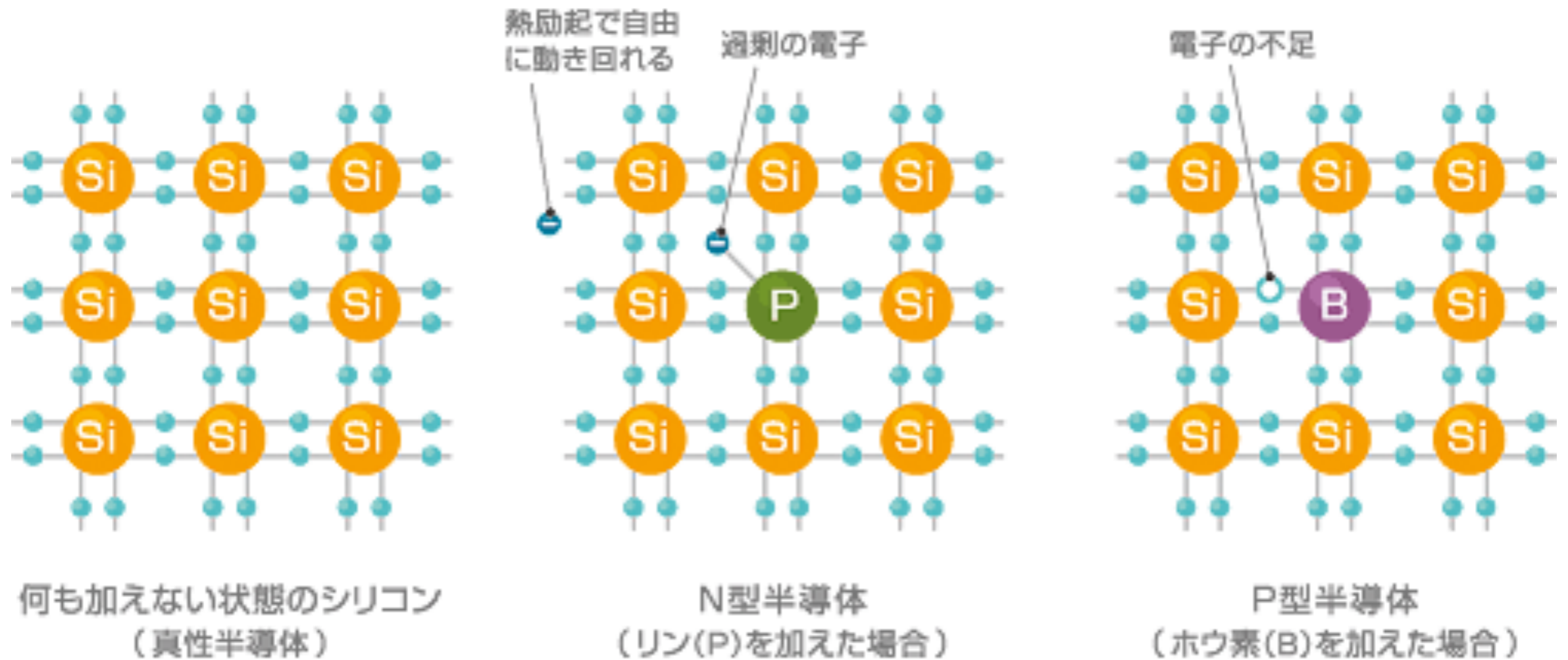
接合後



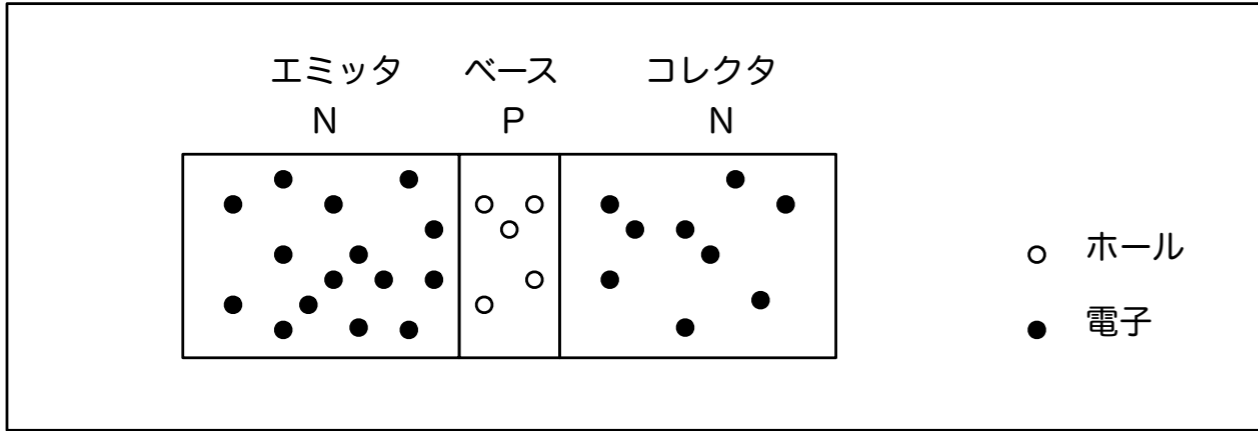
逆方向バイアス



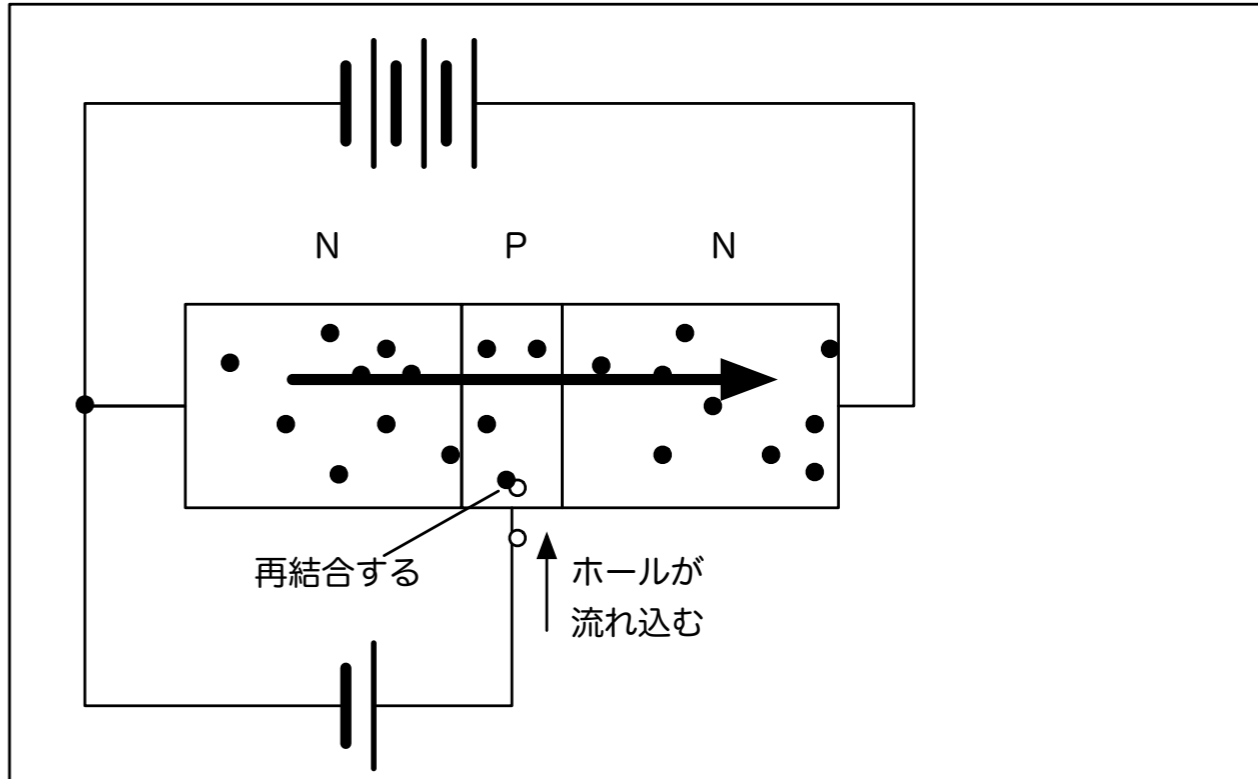
P型半導体, N型半導体



トランジスタの動作

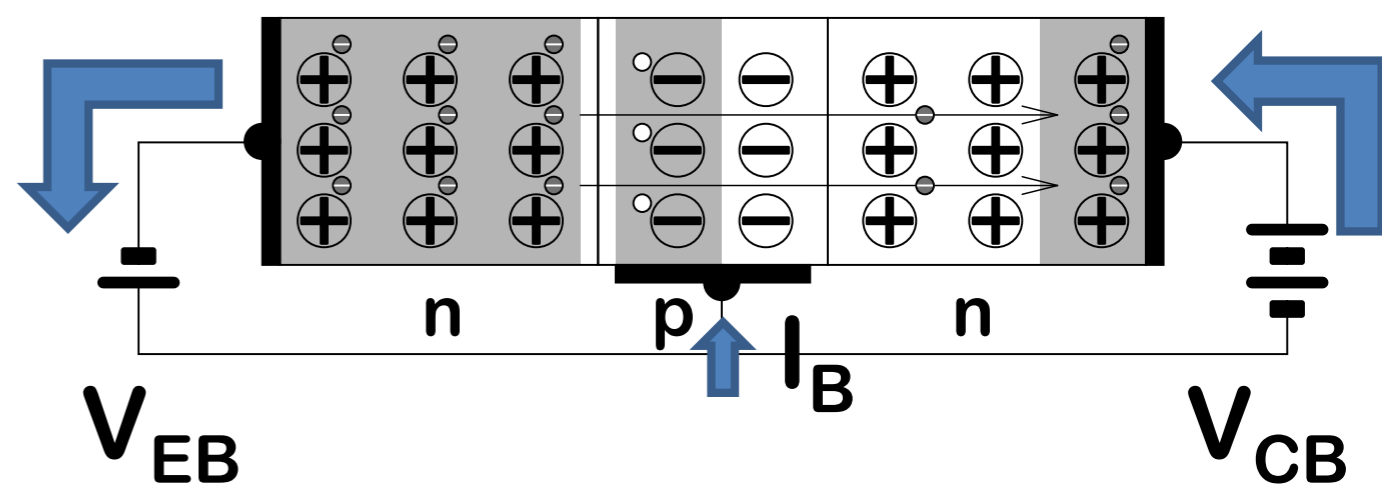
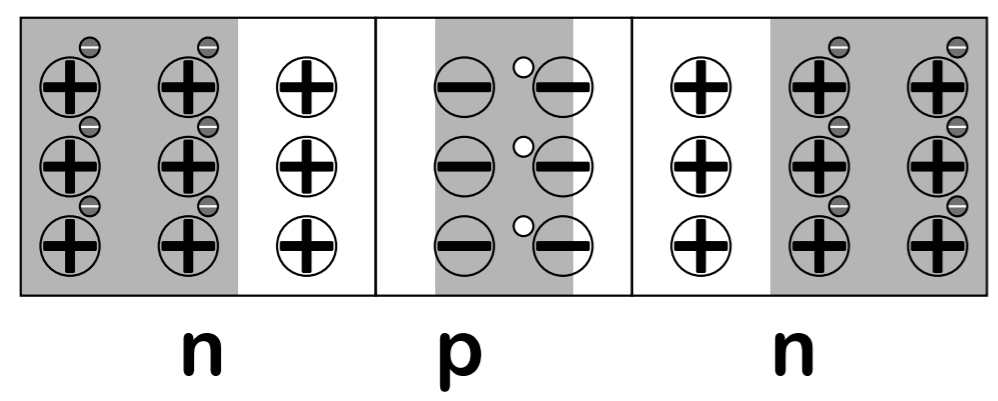
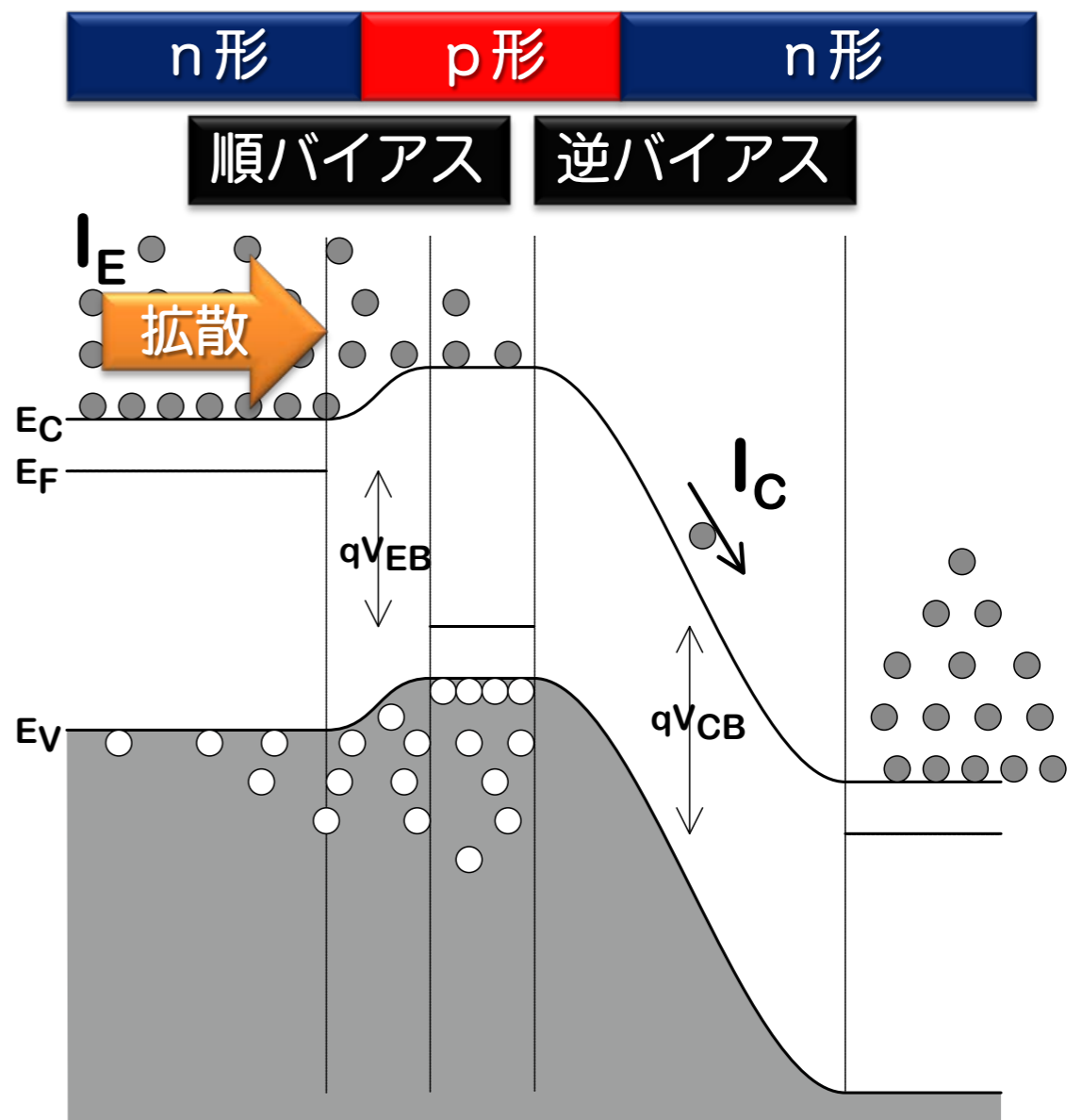
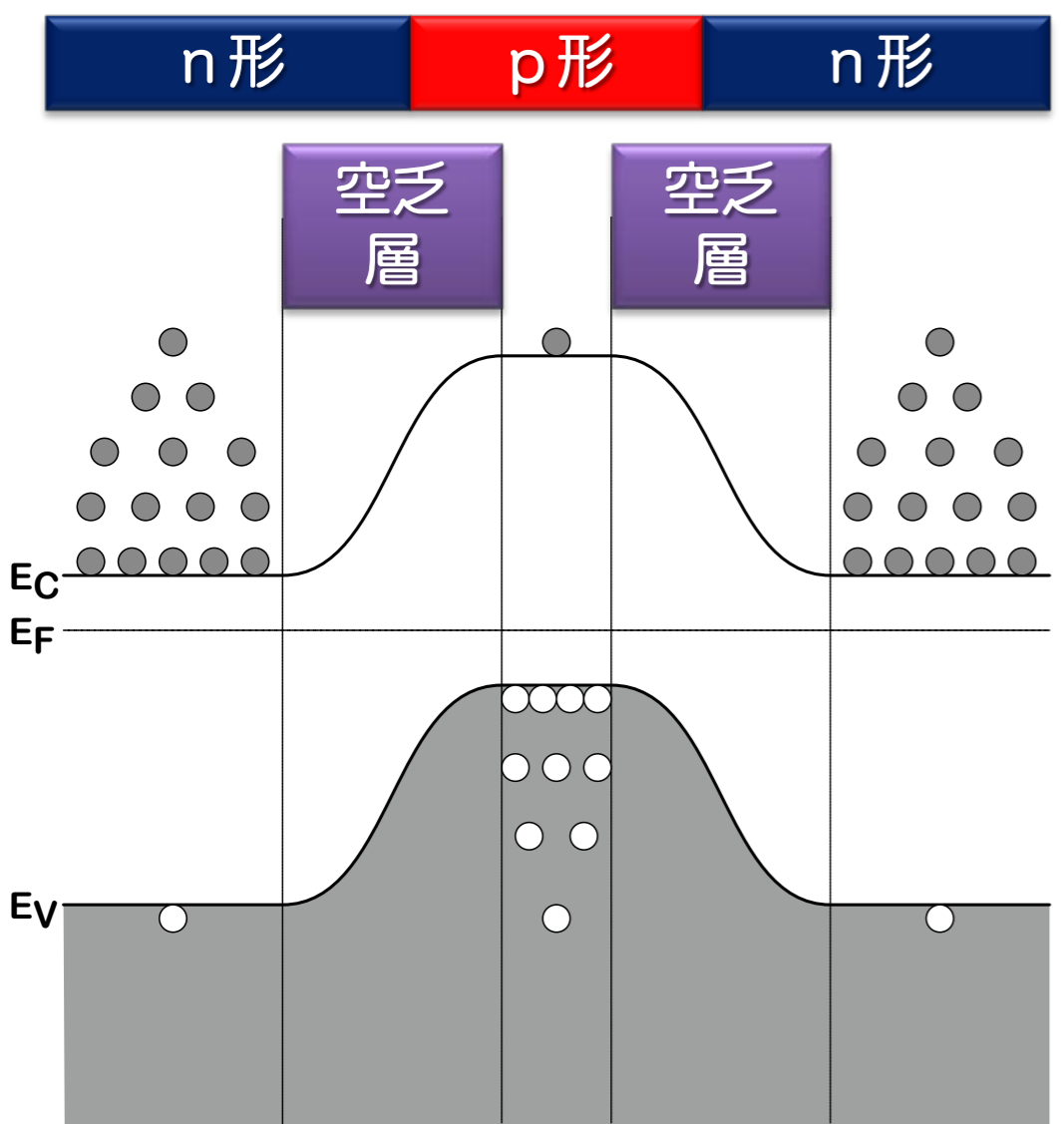


1. エミッタの電子はベース側に移動し、ベースのホールと結合。空乏層を形成する。その結果、エミッタの電子の移動は停止する。
2. コレクタに存在していた電子は、プラス側へ移動する。ベース(エミッタ)からの新たな電子の供給がないので、コレクタ中の電子は停止する。
3. その結果、電流は流れない。



1. ベースには新たにホールが流れ込むため、エミッタ中の電子がベースに向かって引き寄せられる。
2. 電子の一部はベースからのホールと再結合するが、ベースは薄いのでエミッタ中の大部分の電子はコレクタへ流れ込む。
3. コレクタにはベースを通じてエミッタから新たな電子供給が行われることになり、全体としてコレクタ-エミッタ間に大きな電流が流れる。
4. コレクタ-エミッタ間電流はベースに流れ込む電流に比例する。

トランジスタの動作



ダイオードの動作点

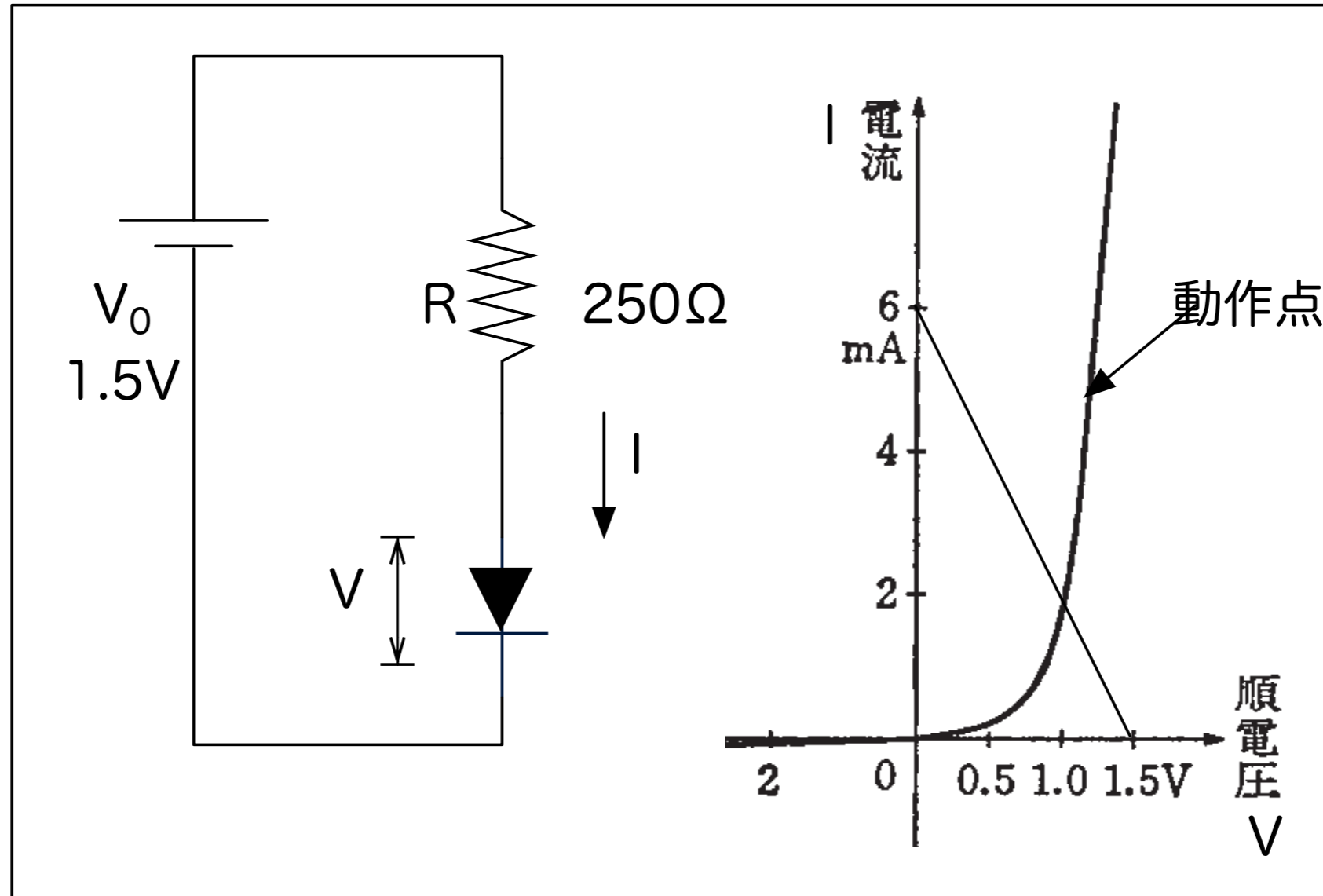


図 8.7: ダイオードの動作点

回路を流れる電流 I が $0[\text{mA}]$ を仮定すると、抵抗 R にかかる電圧は $0[\text{V}]$ である。その場合、電源電圧 V_0 は全てダイオードに掛かることになる。従って、制限曲線は $(V, I) = (1.5[\text{V}], 0[\text{mA}])$ を通ることになる。

一方、ダイオードでの電圧降下が $0[\text{V}]$ であるなら、抵抗 R には電源電圧の全てが掛かっていることになる。よって、回路を流れる電流 = ダイオードを流れる電流は $I = V_0/R = 1.5[\text{V}]/250[\Omega] = 6[\text{mA}]$ となる。つまり、制限曲線は $(V, I) = (0[\text{V}], 6[\text{mA}])$ を通ることとなる。

制限曲線は実際には上記の2つの点を結んだ直線なので、図 8.7 右の直線が得られる。ダイオードの特性曲線との交点が動作点 $(V, I) = (1.0[\text{V}], 2.0[\text{mA}])$ となる。

トランジスタの動作点

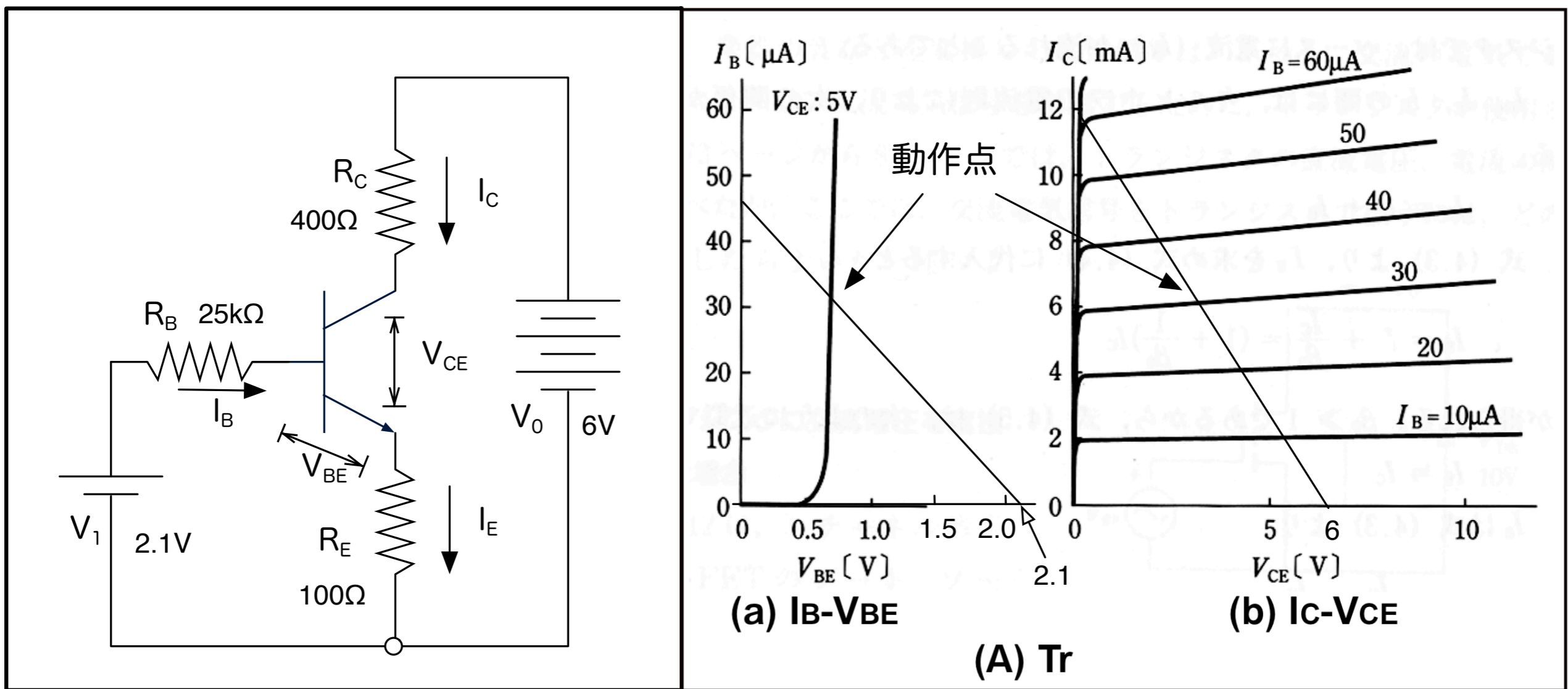


図 8.8: トランジスタの動作点

トランジスタの電流増幅率は非常に大きく、 I_B は I_E と I_C に対して無視できる。

図 8.8 右を見ると電流増幅率 β はおよそ 200 である、

$$I_B \ll I_C, I_E$$

$$I_C \simeq I_E$$

$$I_C = \beta I_B, \beta = 200$$

$I_C - V_{CE}$ 上での制限直線は、

$$V_0 = R_C I_C + V_{CE} + R_E I_E = R_C I_C + V_{CE} + R_E I_C$$

$$V_{CE} = V_0 - (R_C + R_E) I_C = 6.0[V] - 500[\Omega] I_C$$

切片は

$$V_{CE} = 0 \rightarrow I_C = \frac{V_0}{R_C + R_E} = \frac{6[V]}{500[\Omega]} = 12[mA]$$

$$I_C = 0 \rightarrow V_{CE} = V_0 = 6[V]$$

図 8.8 中の $I_B - V_{BE}$ の特性曲線に対して、制限直線を求めてベースの動作点を求める。

$$V_1 = R_B I_B + V_{BE} + R_E I_C = R_B I_B + V_{BE} + R_E \beta I_B = (R_B + \beta R_E) I_B + V_{BE}$$

$$2.1[V] = (25[k\Omega] + 200 \cdot 100[\Omega]) I_B + V_{BE}$$

$$V_{BE} = 2.1[V] - 45[k\Omega] \cdot I_B$$

トランジスタ回路の考え方

トランジスタは、「ベース電流を直接変化させることでコレクタ電流を制御する」素子であると習うが、この原理そのまま、トランジスタ回路を理解しようとする、なかなかうまく行かない。物理はしばしば原因と結果が一体になって登場し、それが本当の姿なのだろうが、人間の方は帰納的にしか理解できないので(そういう教育を受けているだけか?)、この原理も現象を一面から見て無理矢理理解しようとしているのに過ぎないのであろう。

とは言うものの、帰納的に理解しないと次に進めない、何とか無理矢理理解することにする。経験的には、以下のことから原理にすれば、当面簡単なトランジスタ回路は理解しやすい。

まず、回路全体については以下の通り。

- 1) トランジスタは「増幅」というが、これは正しくない。正確にはトランジスタ「回路」が全体として信号を増幅する。
- 2) 回路図を見た時、AC的に一定(接地)された場所を見つけ、そのDC電圧値を決めてしまう。
- 3) 回路にはパソコンなど信号回路にあまり本質的でない部分、AC的に接地され信号が流れない部分、信号が流れる部分がある。これらを切り分けて考える。
- 4) AC信号が入力しない場合のDC的な安定点を最初に決める。その後小さなAC信号が入った場合に安定点からどうずれるかを考える。

次に、トランジスタ素子の考え方については以下の通り。

- 1) ベース・エミッタ間電圧が0.6～0.7Vを境にON/OFFする。0.6～0.7Vを以上でコレクタ電流が流れ、それ以下だと流れない。トランジスタがOnの時にはベース・エミッタ電圧は0.7Vに固定と考える。
- 2) コレクタ電流を直接制御するとは考えない。コレクタ電流は回路上の抵抗やコンデンサーなどで決まると考える。
- 3) コレクタ電圧とコレクタ電流は一対一対応の関係にはなく、お互い自由な値がとれる、と考える。多くの場合、コレクタ電流が最初に決まり、他の素子の電圧降下などの結果、コレクタ電圧が決まる。
- 4) ベース電流は当面深く考えない。他の条件で決まったコレクタ電流に応じて決まる(微量の)ベース電流が流れると考える。

DCの切り方とバイアスの与え方

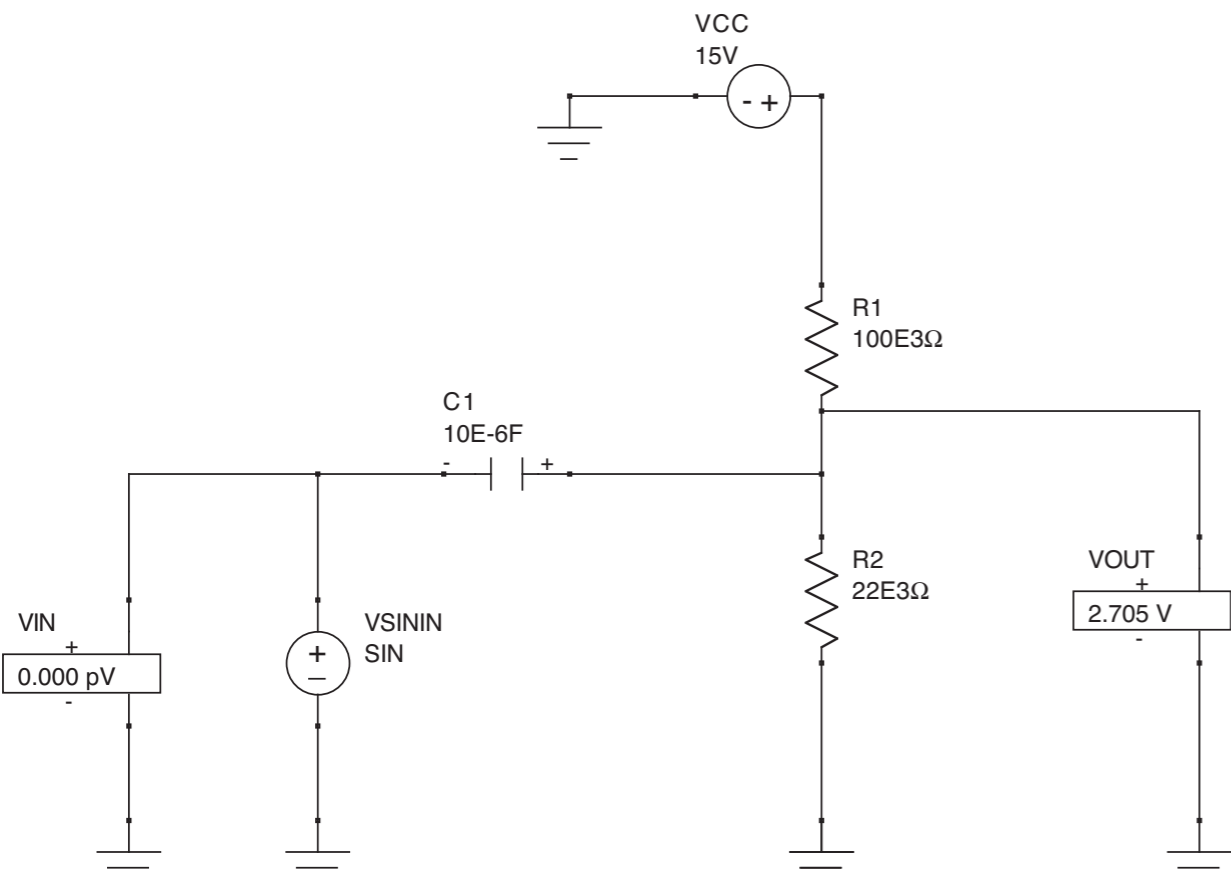


図 8.2: バイアスの例.

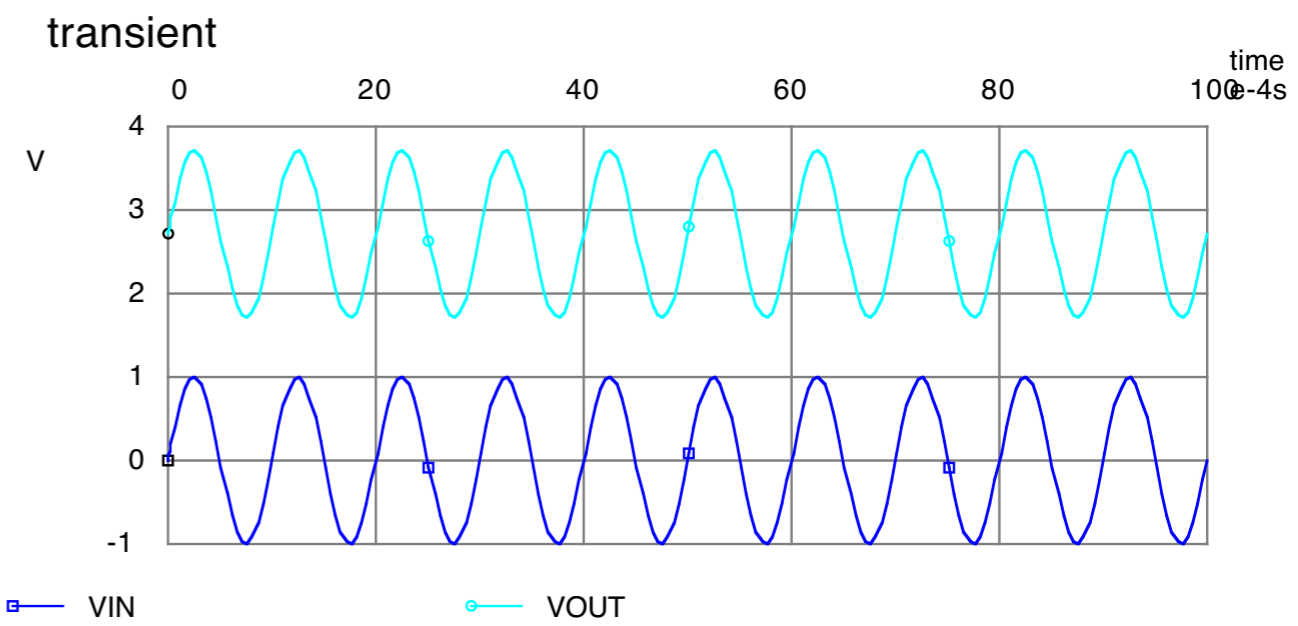


図 8.3: バイアス回路のシミュレーション. $\pm 2V$, 周期 1kHz の正弦波を入力した.

ACとDCに対して違うインピーダンスを与える

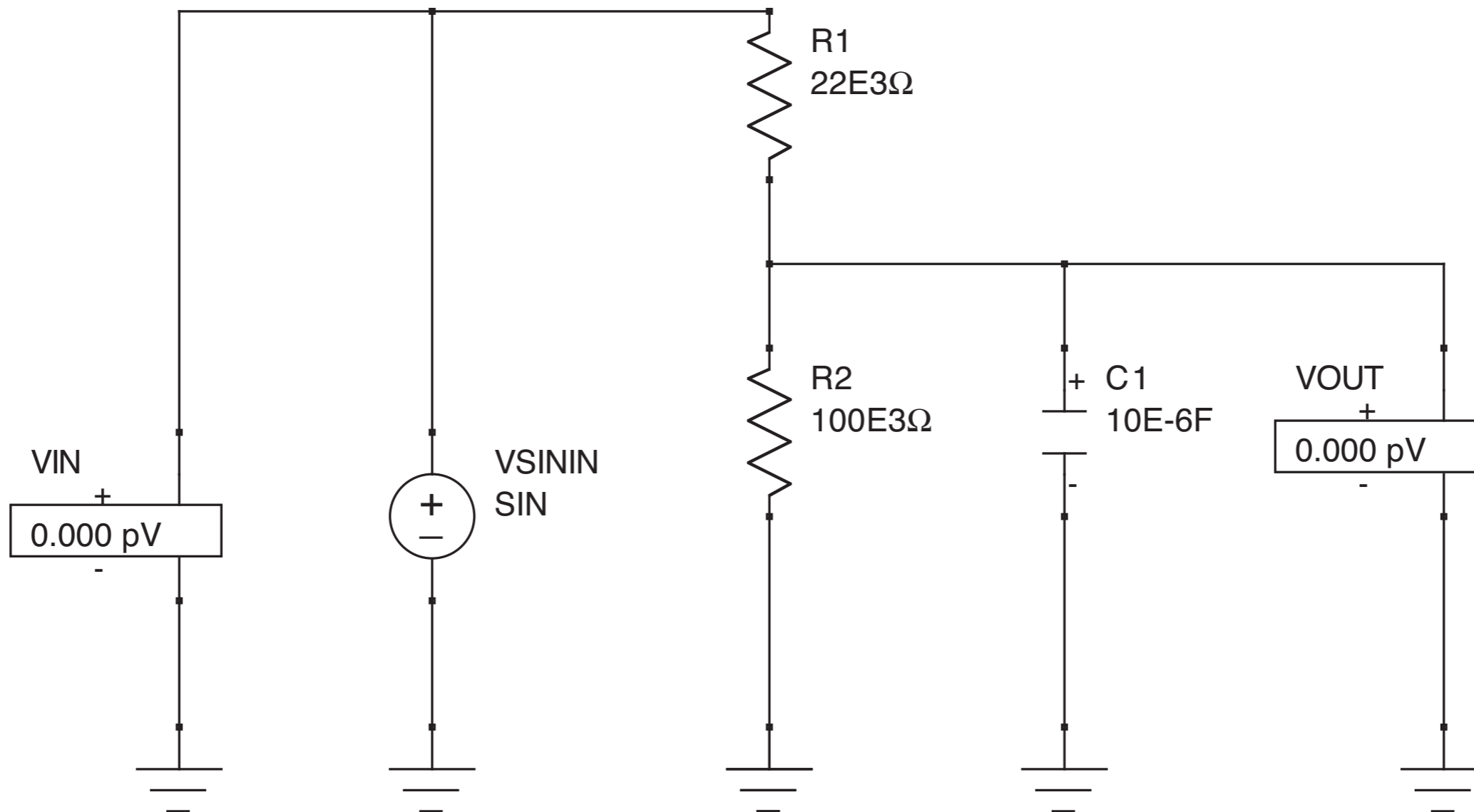


図 8.4: AC と DC に対して違うインピーダンスを設定する.

エミッタ接地増幅回路(I)

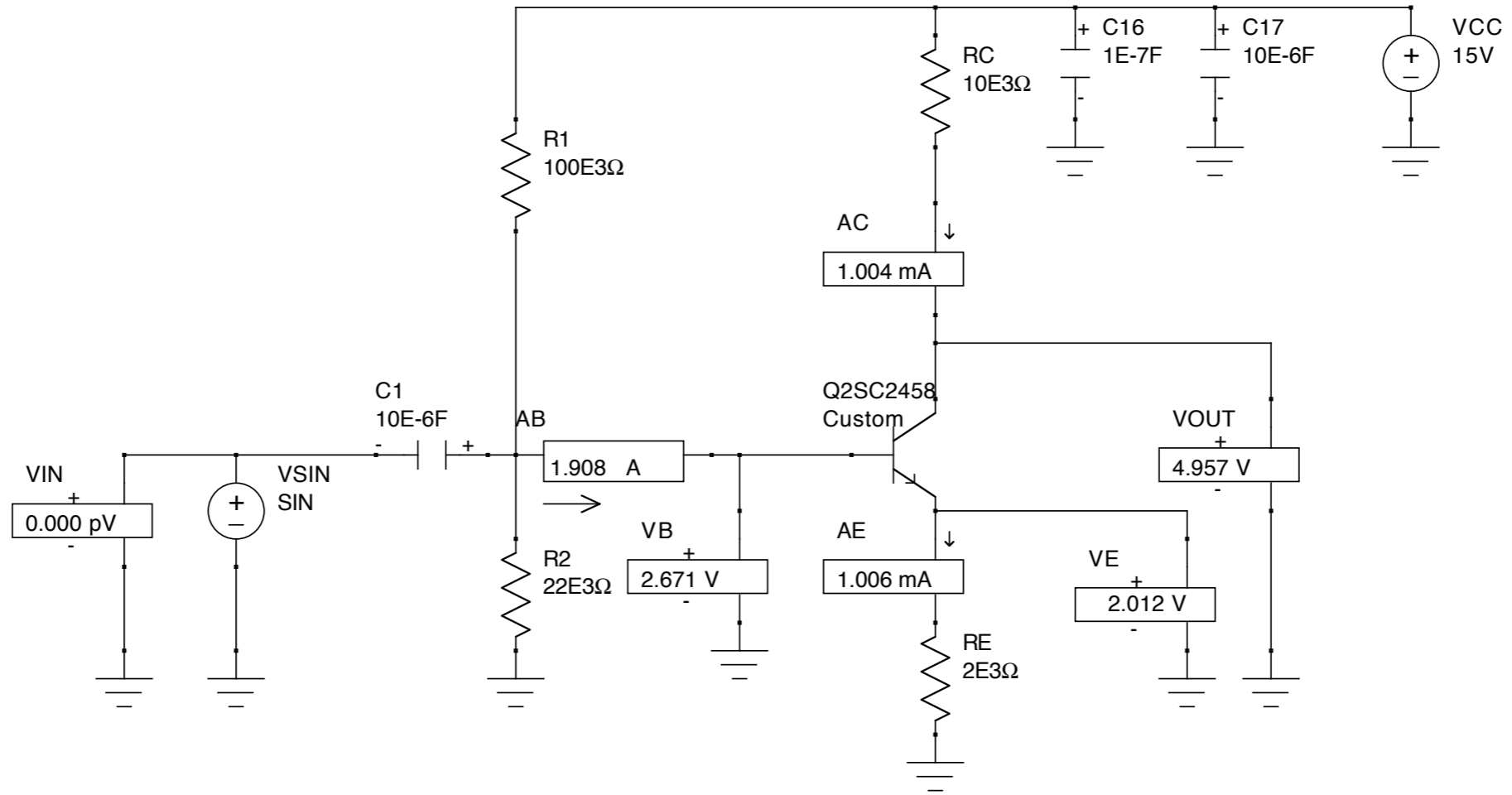


図 6.9: エミッタ接地回路による 5 倍のアンプ。

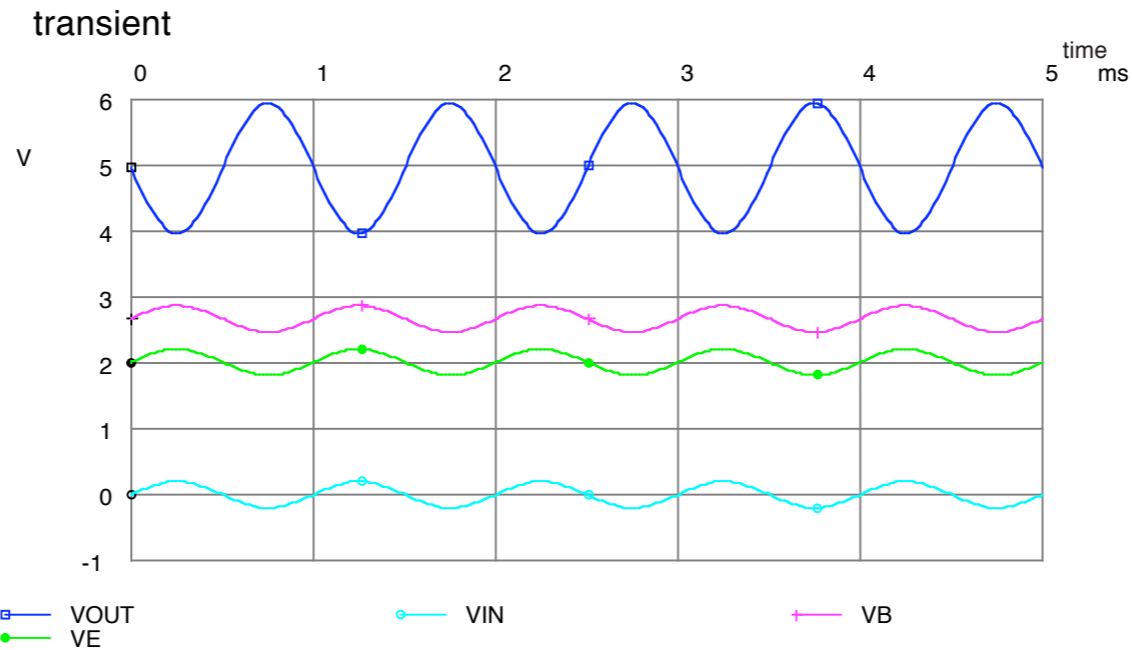


図 6.10: エミッタ接地回路のシミュレーション。 $v_{pp} = 0.5\text{V}$ 、周期 1kHz の正弦波を入力した

エミッタ接地増幅回路(2)

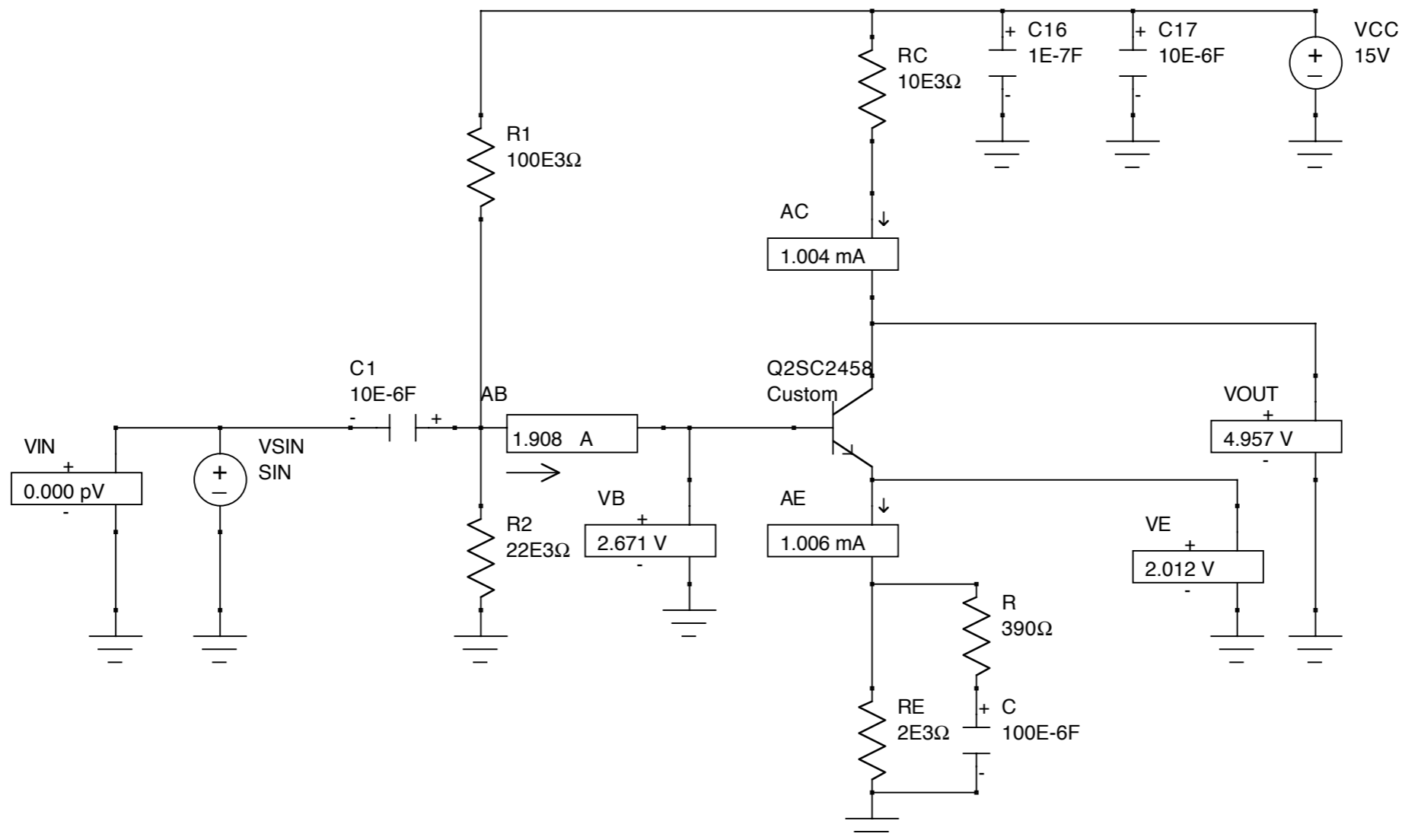


図 6.13: エミッタ接地回路 (その 2) による 26 倍のアンプ。

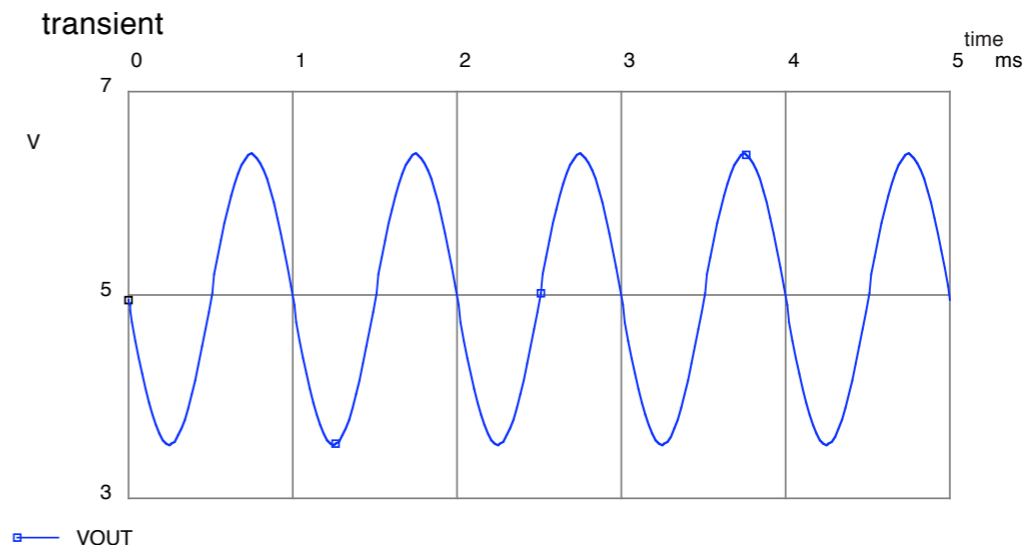
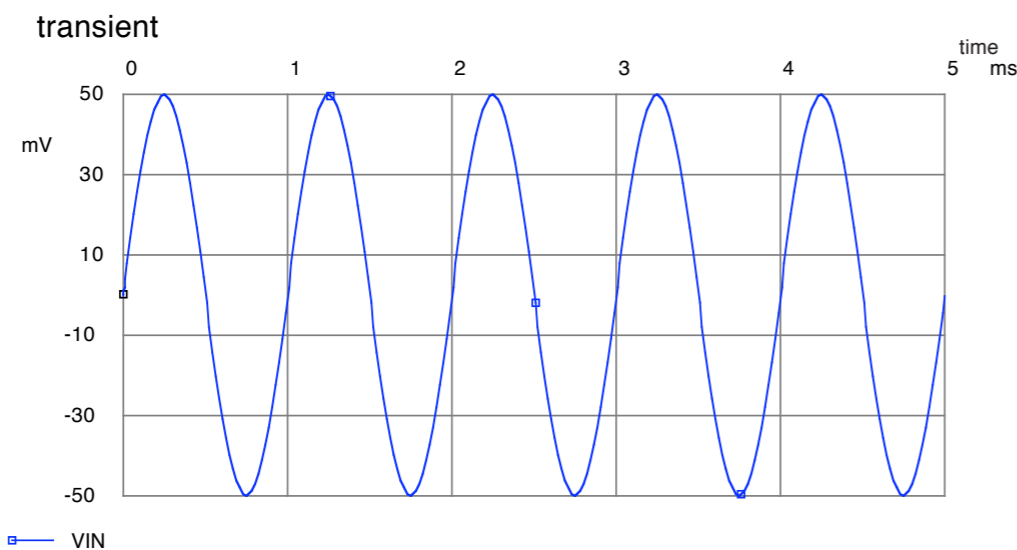


図 6.14: エミッタ接地回路 (その 2) のシミュレーション。v_{pp} = 0.05V、周期 1kHz の正弦波を入力し、1.3V 程度の出力を得ている

エミッタ接地増幅回路(I)の出カインピーダンス

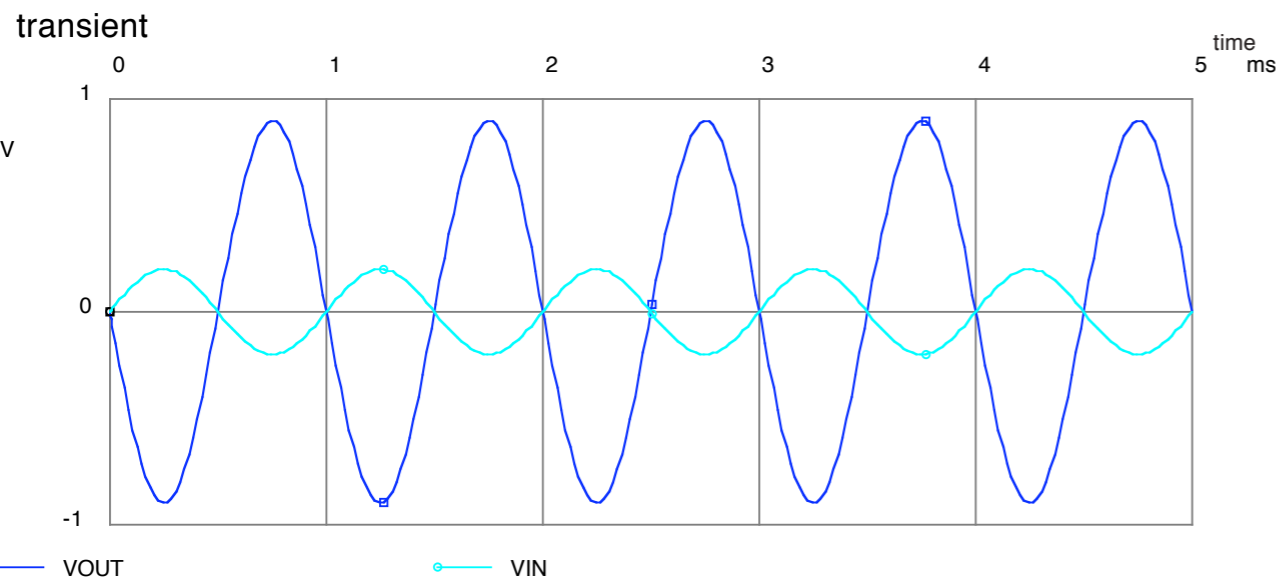
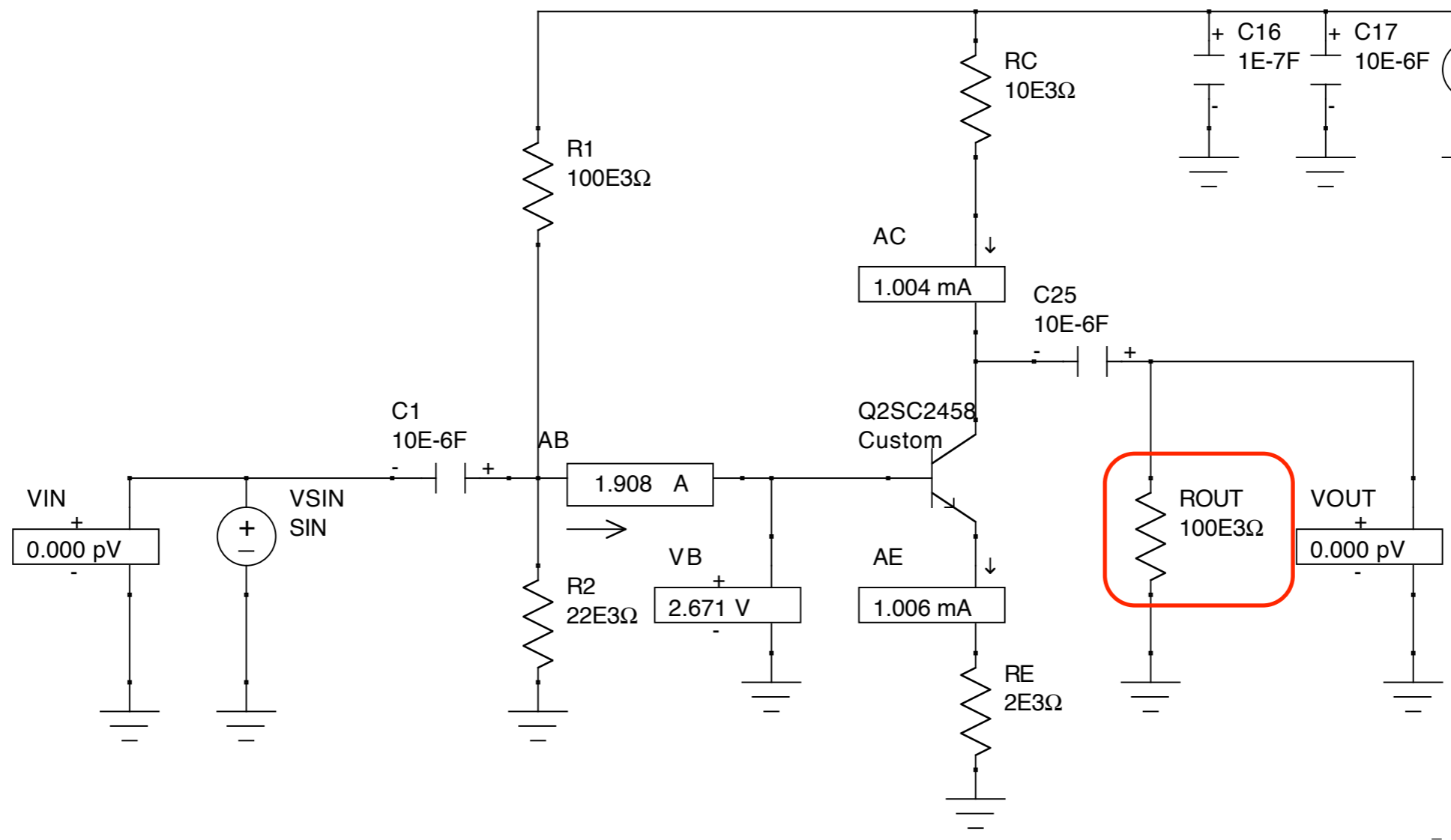


図 6.15: エミッタ接地回路 (その 1) に 100kΩ の負荷抵抗をつけた場合。

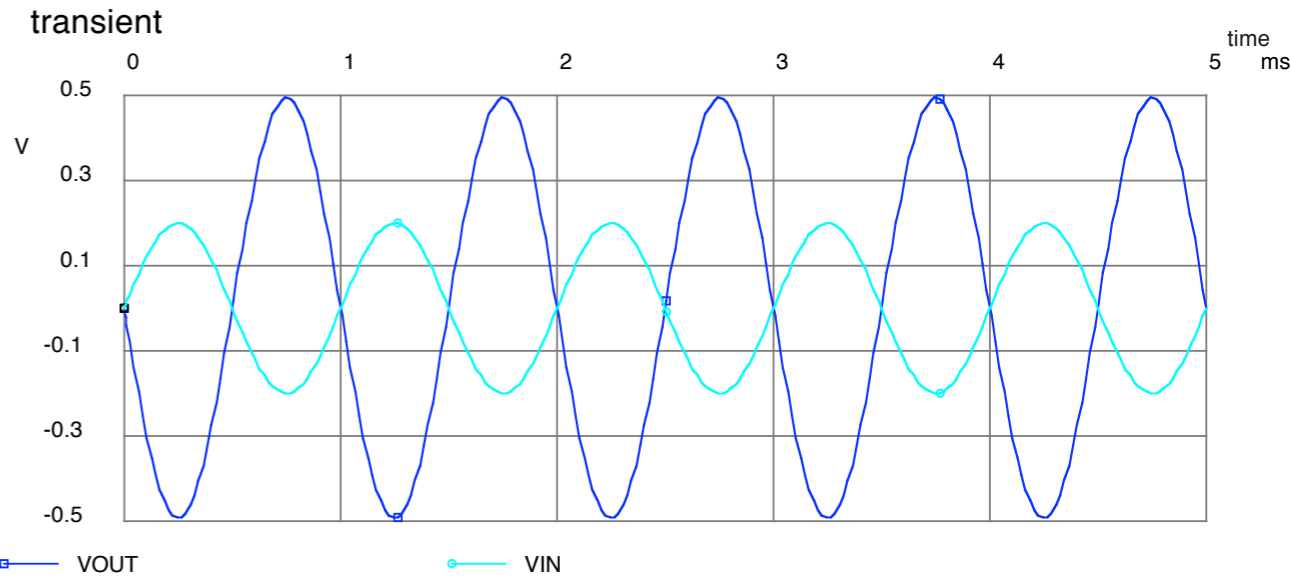


図 6.16: エミッタ接地回路 (その 1) に 10kΩ の負荷抵抗をつけた場合。

エミッタフォロア

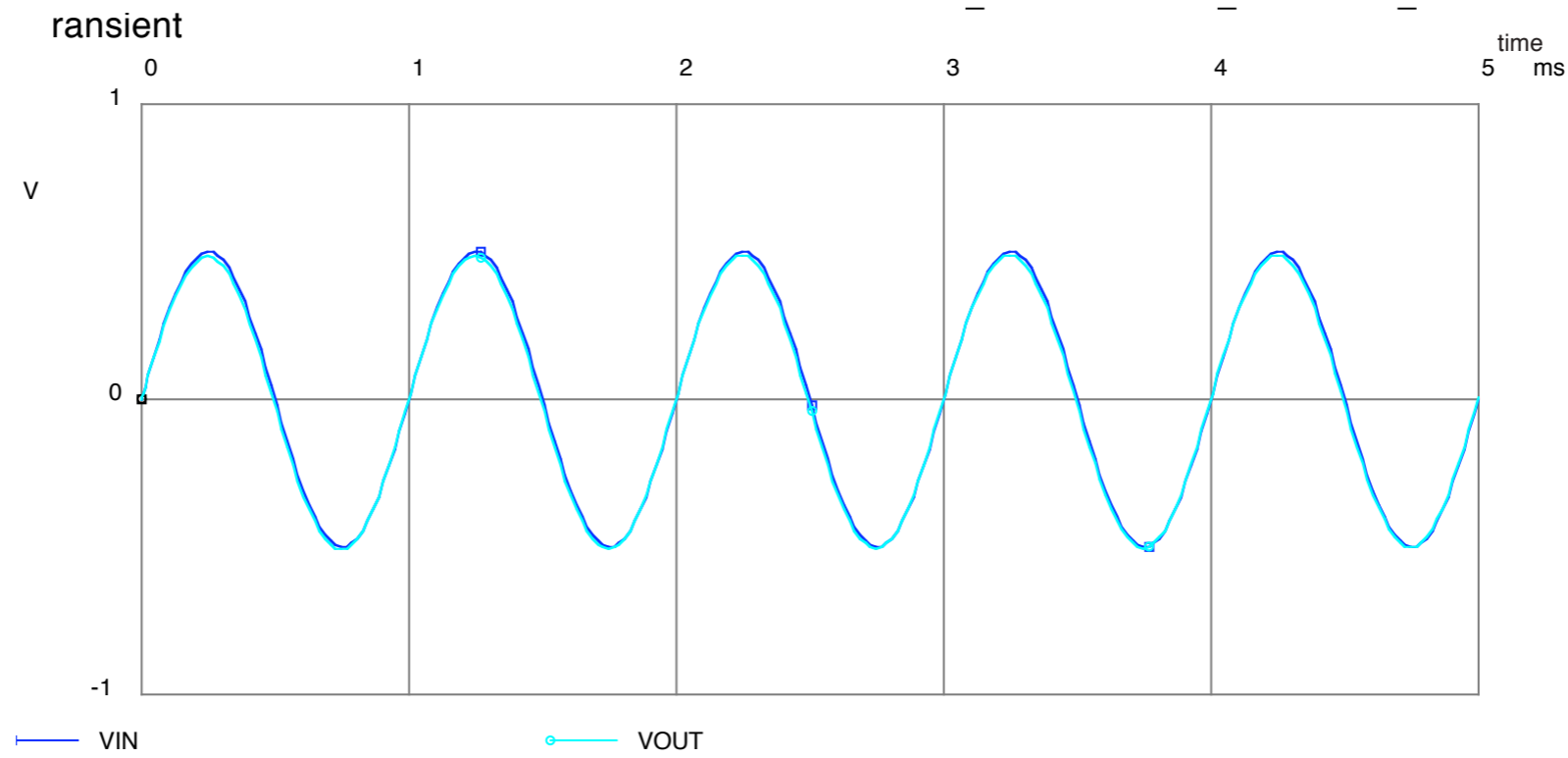
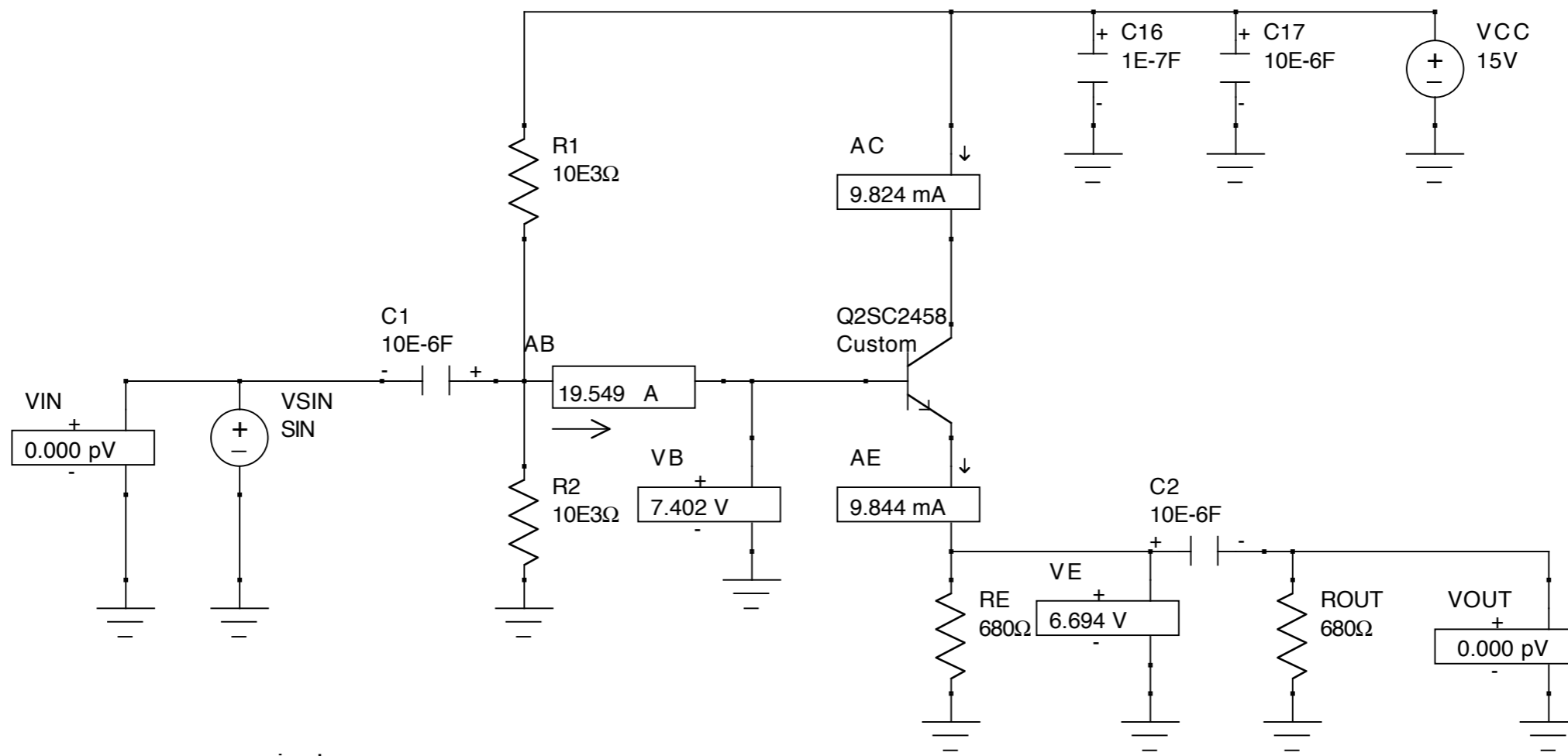


図 6.17: エミッタフォロア回路に、0.5V の信号を入力した場合。

エミッタフォロア付きのエミッタ接地増幅回路

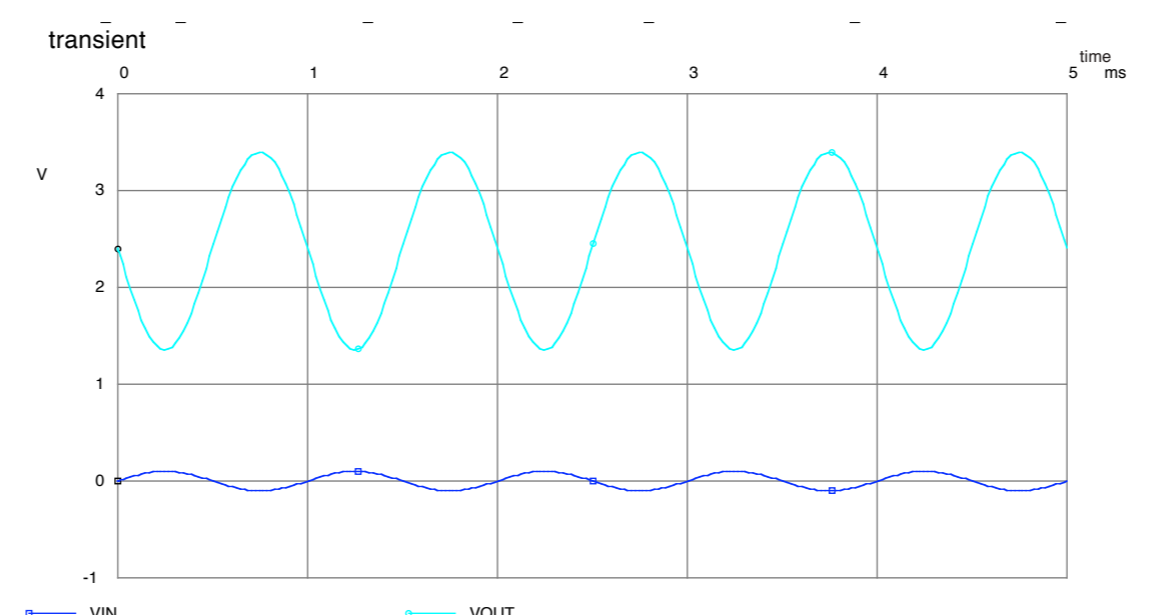
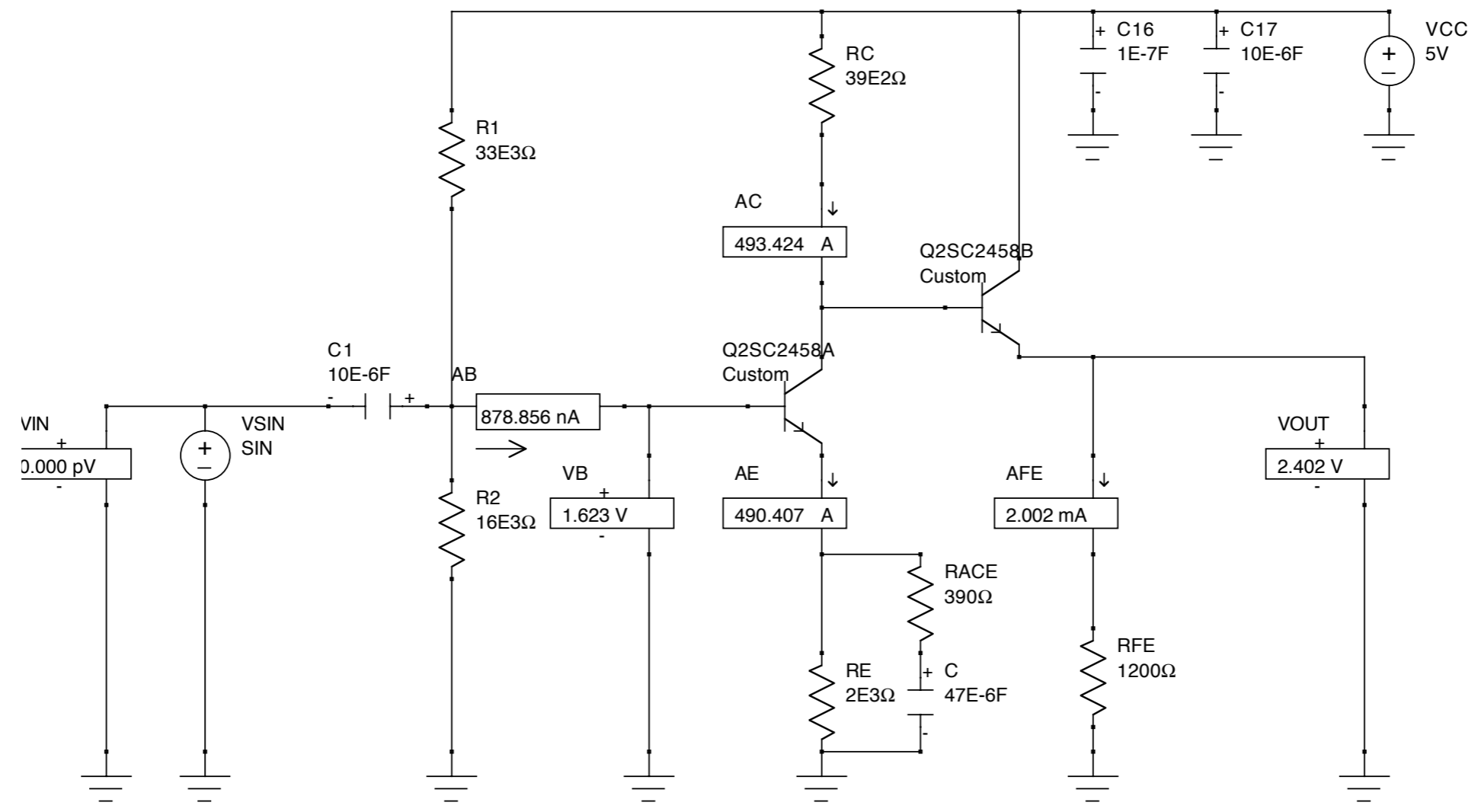


図 6.19: エミッタフォロア付きのエミッタ接地増幅回路。電源電圧は 5V にしてある。

ベース接地増幅回路

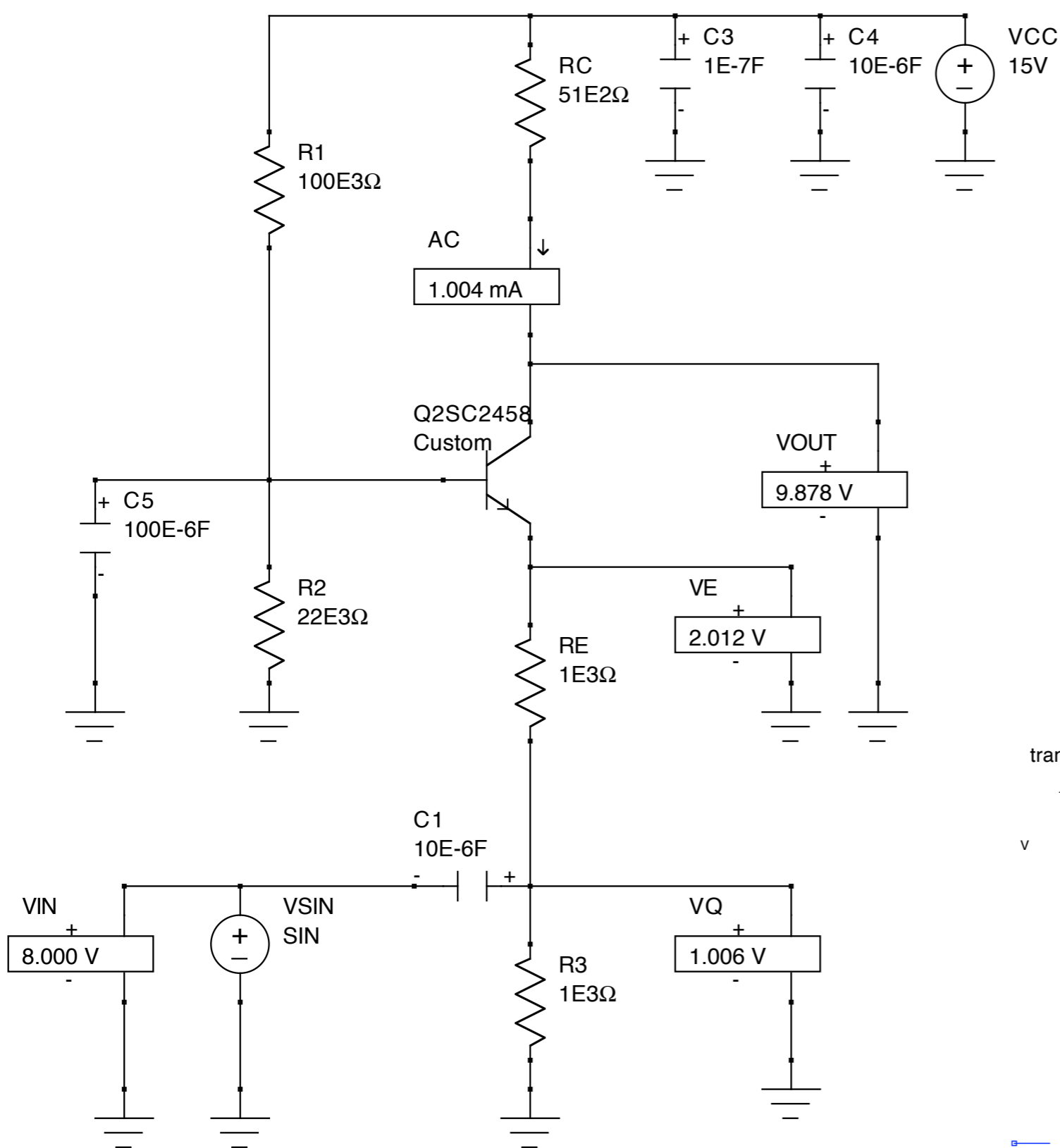


図 6.24: ベース接地増幅回路。

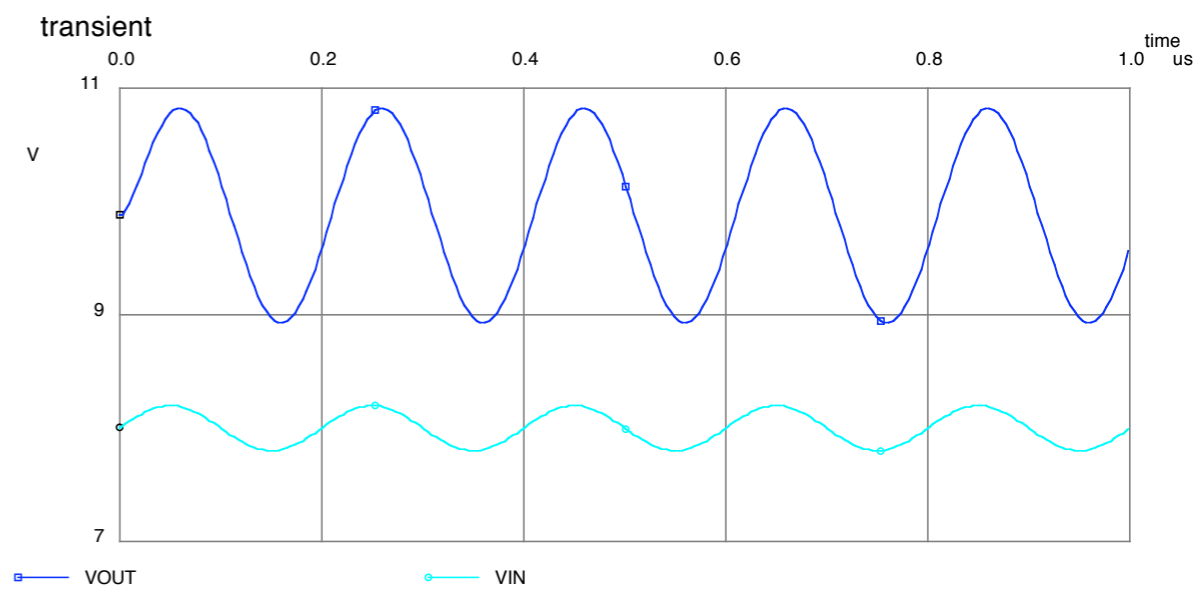


図 6.25: ベース接地増幅回路の動作。 V_{in} には 8V の DC オフセットが掛かっている。

カスコード接続増幅回路

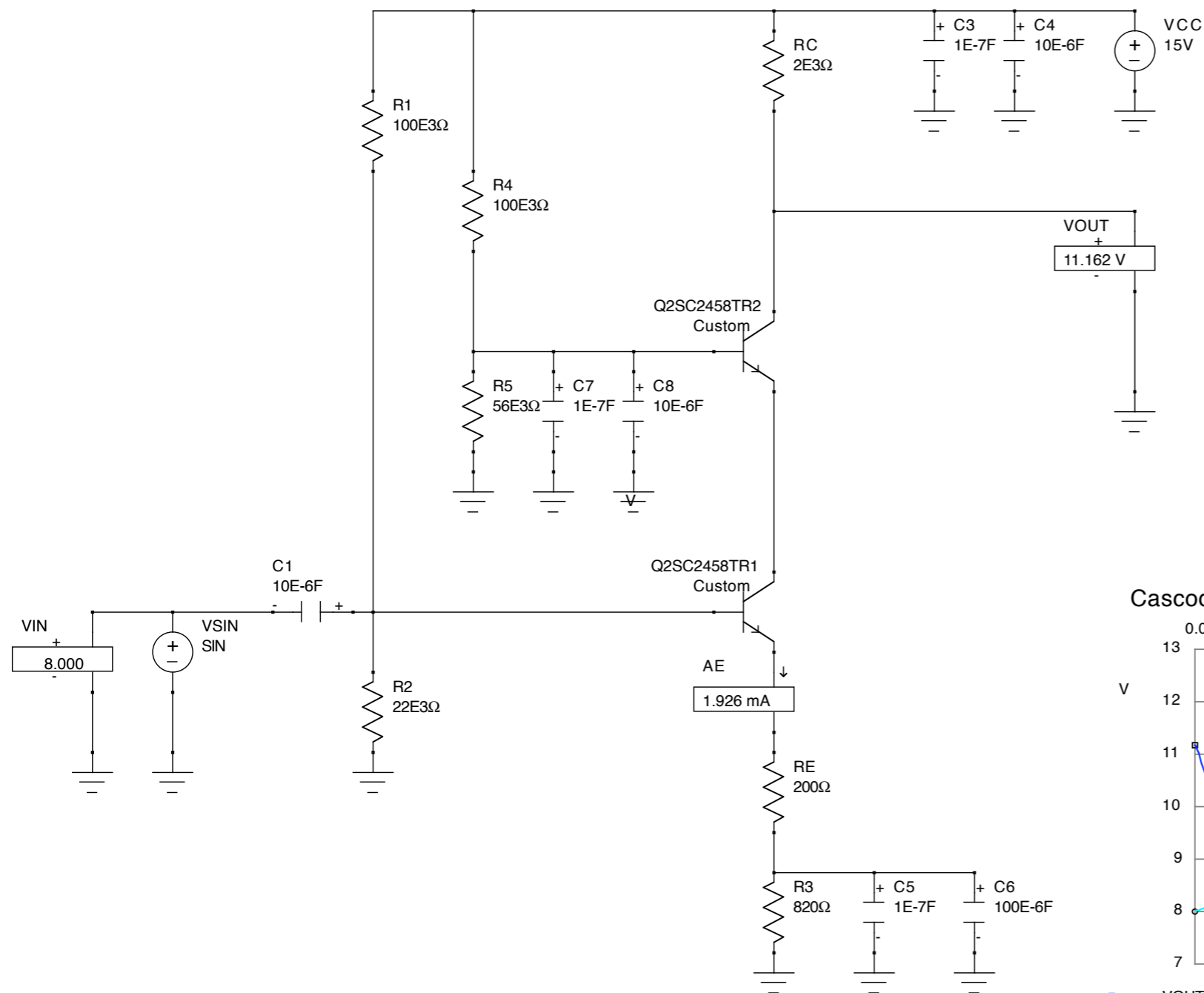


図 6.27: カスコード接続増幅回路。

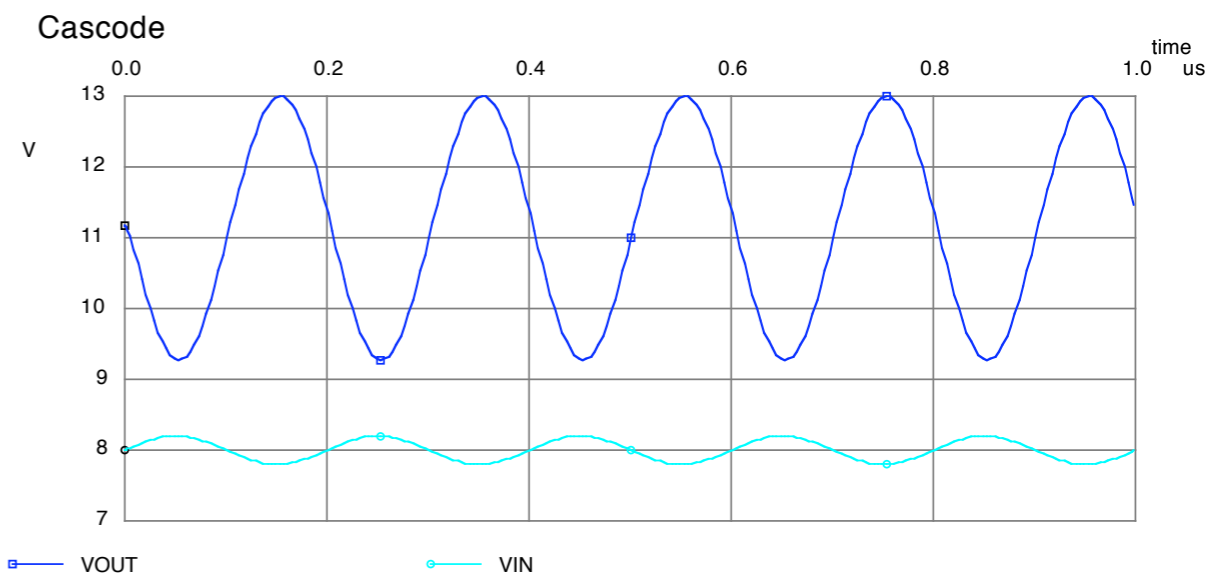


図 6.28: カスコード接続増幅回路の動作。VIN には 8V の DC オフセットが掛かっている。