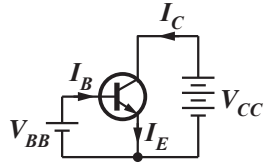


電子回路工学I-⑥

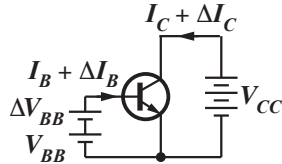
バイポーラトランジスタを使った増幅回路 (エミッタ接地)

バイポーラトランジスタを、下のような回路で使用することで増幅動作を行うことができる。トランジスタは、ベース電流 i_B の β (h_{FE}) 倍がコレクタ電流 i_C として流れる素子と考えればよく (図 5.1 (a)), 入力側の電流を変化させて、出力側の電流を変化させる。(電流制御素子)

$$\begin{aligned} I_C &= h_{FE} I_B \\ I_E &= I_B + I_C = (\beta + 1) I_B \approx I_C \end{aligned} \quad (1)$$



(a) 直流動作



(b) 微小電圧動作

$$h_{fe} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \quad (2)$$

小信号電流増幅率

図 5.1 トランジスタの電流増幅作用

ここで、図 (a) の回路のベースに微小電圧 ΔV_{BB} を加えた、図 (b) の回路を考える。ベース電圧の変化に対応し、ベース電流は微小量 ΔI_B だけ変化し、この変化によってコレクタ電流も微小量 ΔI_C だけ変化する。 ΔI_C と ΔI_B の比を h_{fe} とあらわし、小信号電流増幅率と呼ぶ。

トランジスタの動作 (直流と交流の分離 (p. 58))

次に、図 5.1 (b) の微小電圧 ΔV_{BB} を微小な交流電圧 v_b に置き換えた回路について考える。電圧 v_b の値に応じて、ベース電流が変化し、さらに、コレクタ電流も変化する。通常、増幅回

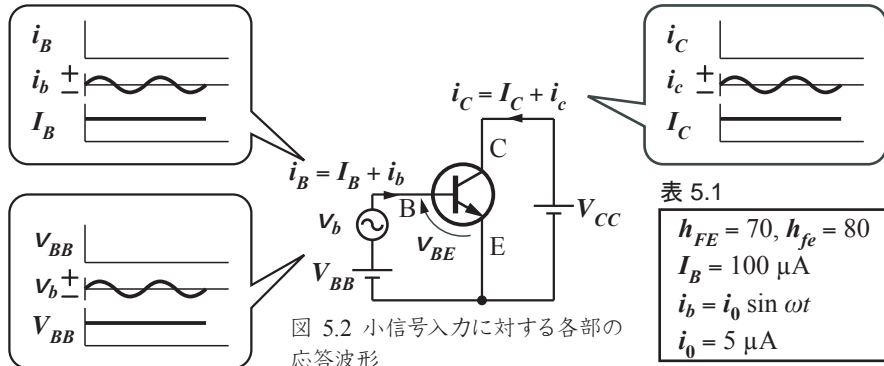


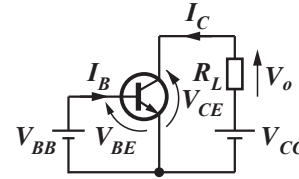
図 5.2 小信号入力に対する各部の応答波形

路ではこのように交流の小信号源が接続される場合が多いので、増幅動作を考えるに当たり直流分と交流分を分けて考えると便利である。

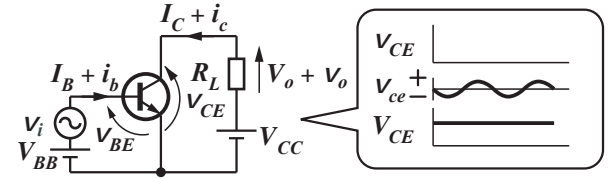
練習：図 5.2 のトランジスタ回路のパラメータが、表 5.1 のように与えられている。ここでベース電流 i_B が $100 [\mu A]$ を中心に () $[\mu A]$ から () $[\mu A]$ までの間で変化し、それに伴って、コレクタ電流 i_C は () $[mA]$ から () $[mA]$ まで変化する。

トランジスタ増幅回路の動作原理 (p. 60)

これまでの回路では、コレクタ電流が変化しても、それを電圧の変化として取り出すことはできない。そのためには、次のようにコレクタに抵抗を接続すればよい。そこで、図 5.3 の回路で直流動作および、交流が加わった場合の動作について考える。抵抗による電圧降下 $-R_L I_C$ のため、直流動作では、コレクタ電圧 V_{CE} は $V_{CC} - R_L I_C$ となる。ベースに加えられた小信号電圧に対する各部の応答は図 5.2 と同じであるが、コレクタ電圧は図のようになる。



(a) 直流動作



(b) 微小電圧動作

図 5.3 トランジスタ増幅回路の動作

$$\begin{aligned} V_o &= -R_L I_C \\ V_{CE} &= V_{CC} - R_L I_C \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} V_o + v_o &= -R_L (I_C + i_c) \\ V_{CE} + v_{ce} &= V_{CC} - R_L (I_C + i_c) \end{aligned} \quad (5)$$

(5) - (4) より

$$\begin{aligned} v_o &= -R_L i_c \\ v_{ce} &= -R_L i_c \end{aligned}$$

このように、コレクタに抵抗を接続することによって、入力の変化によって生じたコレクタ電流の変化を電圧として取り出すことができる。この抵抗 R_L を負荷抵抗と呼ぶ。

直流分と交流分を分離して考えると、交流信号に対する変化の中心が直流動作の電流・電圧に相当することが分かる。この中心値をそれぞれバイアス電流・バイアス電圧と呼ぶ。

動特性

入力に小信号を加えた場合の各部の電流・電圧の変化を動特性という。上で述べたように、コレクタ電流 I_C とコレクタ電圧 V_{CE} の関係は、次式で与えられる。

$$V_{CE} = V_{CC} - R_L I_C \quad (8)$$

この式を I_C について書き直すと

$$I_C = -\frac{V_{CE}}{R_L} + \frac{V_{CC}}{R_L} \quad (9)$$

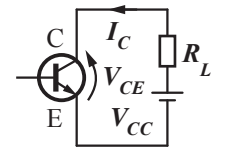


図 5.4 (a) のコレクタ側の回路

となる。このグラフ (直線) をトランジスタの $V_{CE}-I_C$ 特性上に描くと、右の図 5.5 のようになる。この式はダイオード回路のところでも既に述べたものと同じく、負荷線あるいは負荷直線とよばれる。入力信号が 0 のとき、この回路の電圧・電流は Q 点で与えられ、この点を直流動作点という。

ここで入力電圧が加えられると、ベース電流は i_{b1} だけ変化し、それにもないコレクタ電流とコレクタ電圧が図の白丸のように負荷線上を変化する。

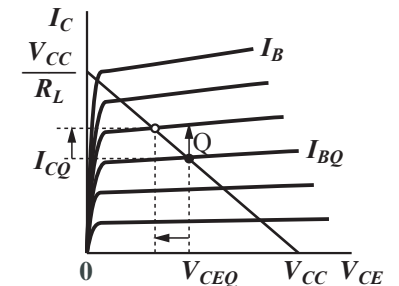
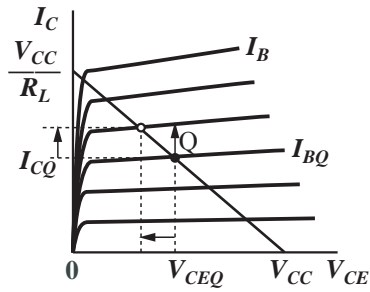


図 5.5 トランジスタの特性と負荷直線・動作点



問. $h_{FE} = h_{fe} = 100$ のトランジスタを図 5.3 (b) の回路で使用し, $V_{CC} = 12 \text{ V}$, $R_L = 1 \text{ k}\Omega$ とし、次の表の空欄を埋めなさい.

i_B [μA]	20	40	60	80	100	120	140
i_b [μA]					0		
i_C [mA]							
i_c [mA]							
V_{CE} [V]							
V_{ce} [V]							

練習. 以下に動特性の一例を示す. 入力電圧 v_i の振幅は 5 mV , 電源電圧 $V_{CC} = 16 \text{ V}$, 負荷抵抗 $5 \text{ k}\Omega$, トランジスタの (小信号) 電流増幅率は 200 であるとして, 空欄に適当な数値を記入しなさい. この回路では, 入力電圧振幅に対して, 出力電圧振幅 v_o は () となっており, 電圧が () 倍に増幅されていることがわかる. この比を回路の電圧増幅度という.

ここで注意しなければならない点は, ベース電流 I_B の増加に伴いコレクタ電流 I_C も増加するが, コレクタ電圧 V_{CE} は減少するということである. これはコレクタ電流の増加が負荷抵抗 R_L での電圧降下を増加させるため, トランジスタにかかる電圧 V_{CE} が減少するためである. またこれは, 式の上では, V_{ce} と i_c の符号が逆 (位相が 180° 異なる) になっていることに対応している.

入力電圧を加えると, 動作点を中心値として, I_C , V_{CE} は変化するから, 負荷線のほぼ中央に動作点を決めると大きな出力振幅を得ることができる.

表 5.1 のトランジスタを図 5.3 (b) の回路で使用し, $V_{CC} = 12 \text{ V}$, $R_L = 1 \text{ k}\Omega$ として, 次の表の空欄を埋めなさい.

i_B [μA]	95	96	97	98	99	100	101
i_b [μA]	-5	-4				0	1
i_C [mA]							
i_c [mA]							
V_{CE} [V]							
V_{ce} [V]							

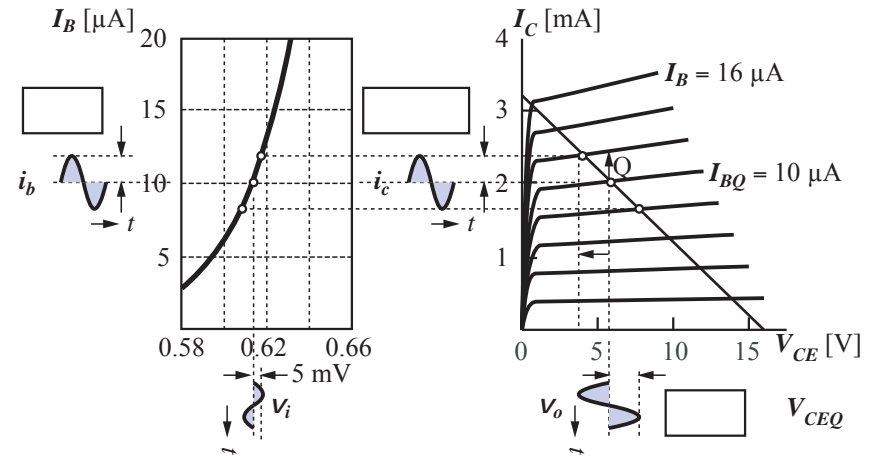


図 5.6 トランジスタの動特性

キーワード

小信号電流増幅率, 増幅回路, 直流分, 交流分, 負荷抵抗の働き