

パワーエレクトロニクス講義資料

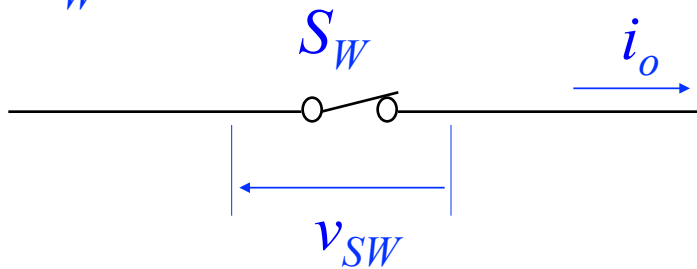
第5回 降圧チョッパ回路

担当：古橋武

furuhashi@cse.nagoya-u.ac.jp

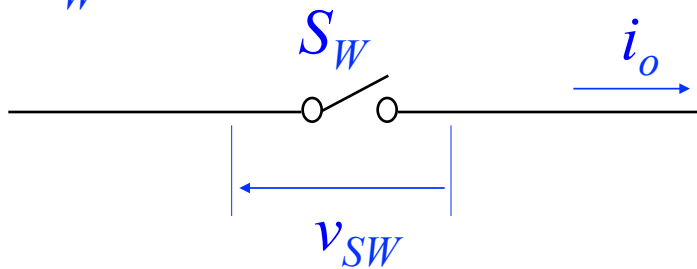
高効率化の方策

S_W オン



$$\begin{aligned} v_{SW} &= 0 \\ P_{SW} &= v_{SW} i_o \\ &= 0 \end{aligned} \quad (4.4)$$

S_W オフ



$$\begin{aligned} i_o &= 0 \\ P_{SW} &= v_{SW} i_o \\ &= 0 \end{aligned} \quad (4.5)$$

➡ 損失ゼロ

出力電圧の制御

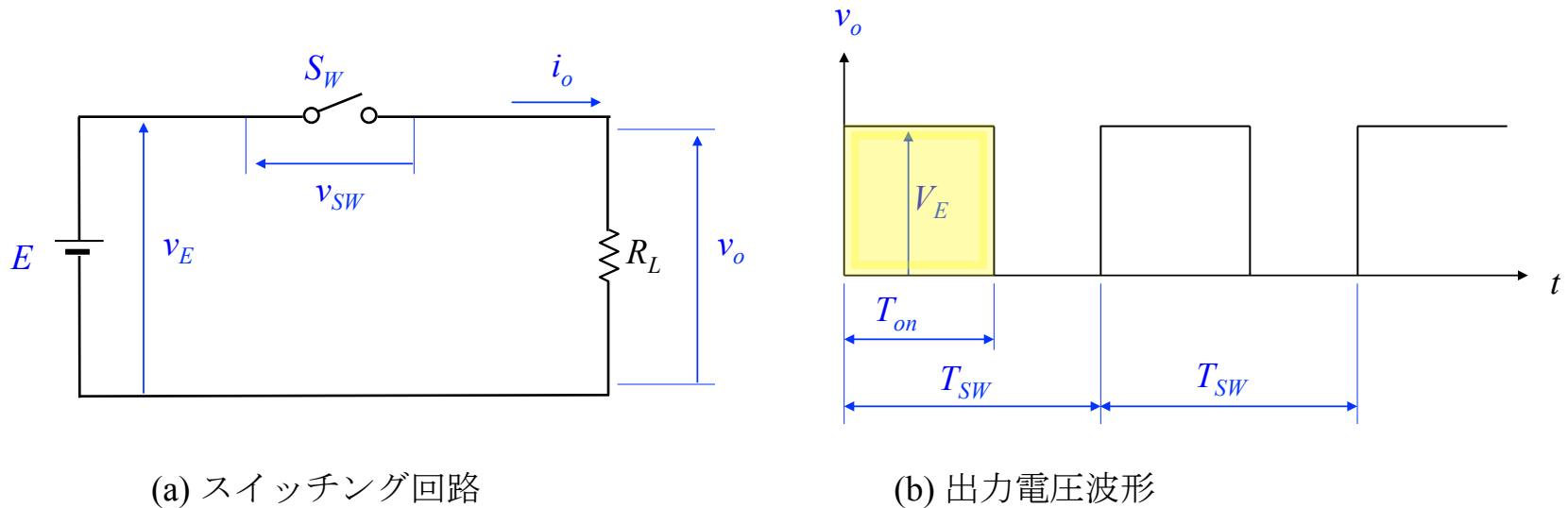


図4.2 スイッチング電源

$$\bar{v}_o = \frac{1}{T_{SW}} \int_0^{T_{on}} V_E dt =$$

T_{SW} : スイッチング周期

出力電圧の制御

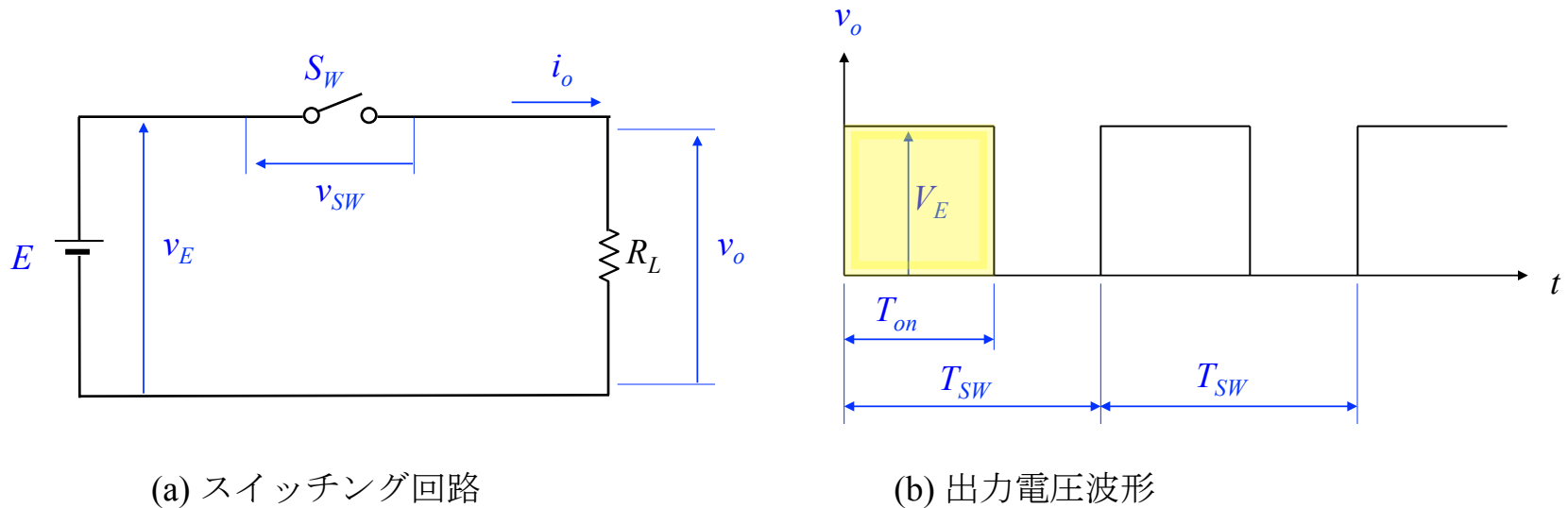
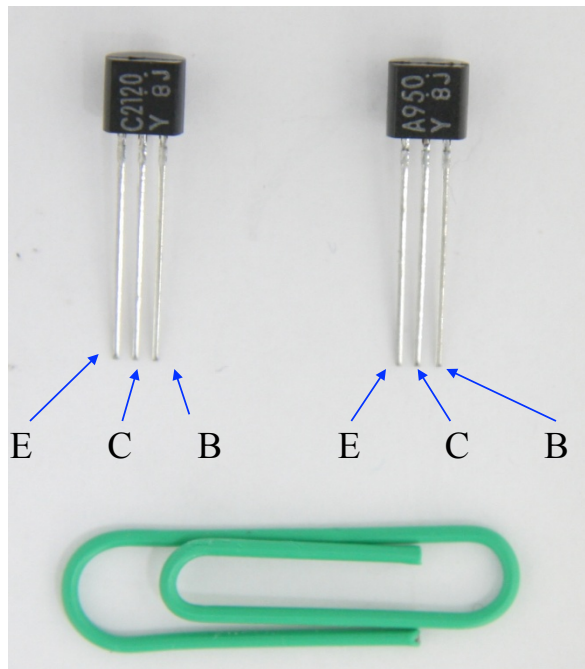


図4.2 スイッチング電源

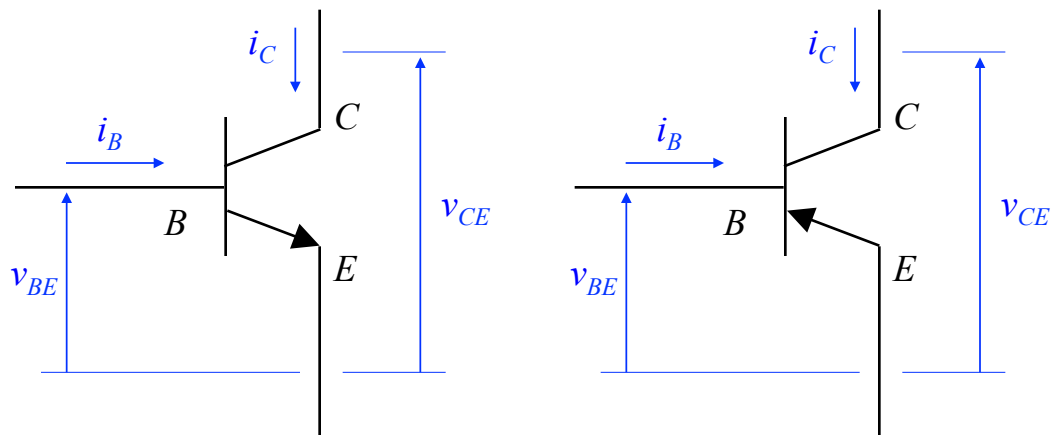
$$\bar{v}_o = \frac{1}{T_{SW}} \int_0^{T_{on}} V_E dt = \frac{T_{on}}{T_{SW}} V_E \quad (4.6)$$

T_{SW} : スイッチング周期

トランジスタ → スイッチとして利用



トランジスタ
 (左：2SC2120(NPN型)
 右：2SA950(PNP型))



(a) NPN型トランジスタ (b) PNP型トランジスタ

図4.9 トランジスタの電圧・電流の向きの定義

A級増幅回路などでの使用領域

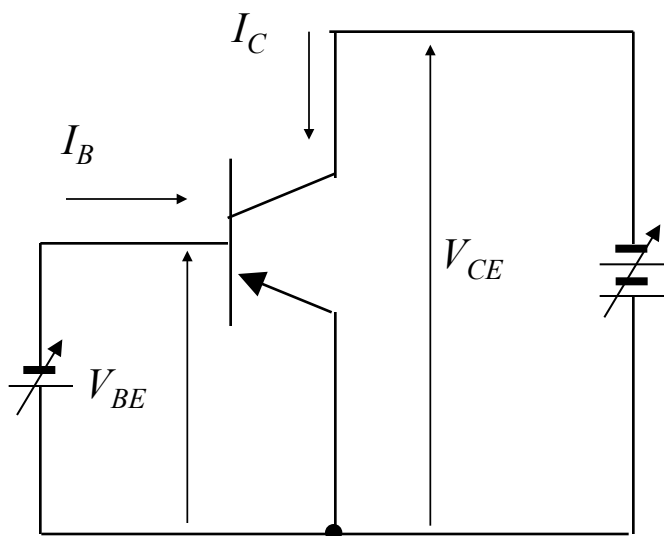
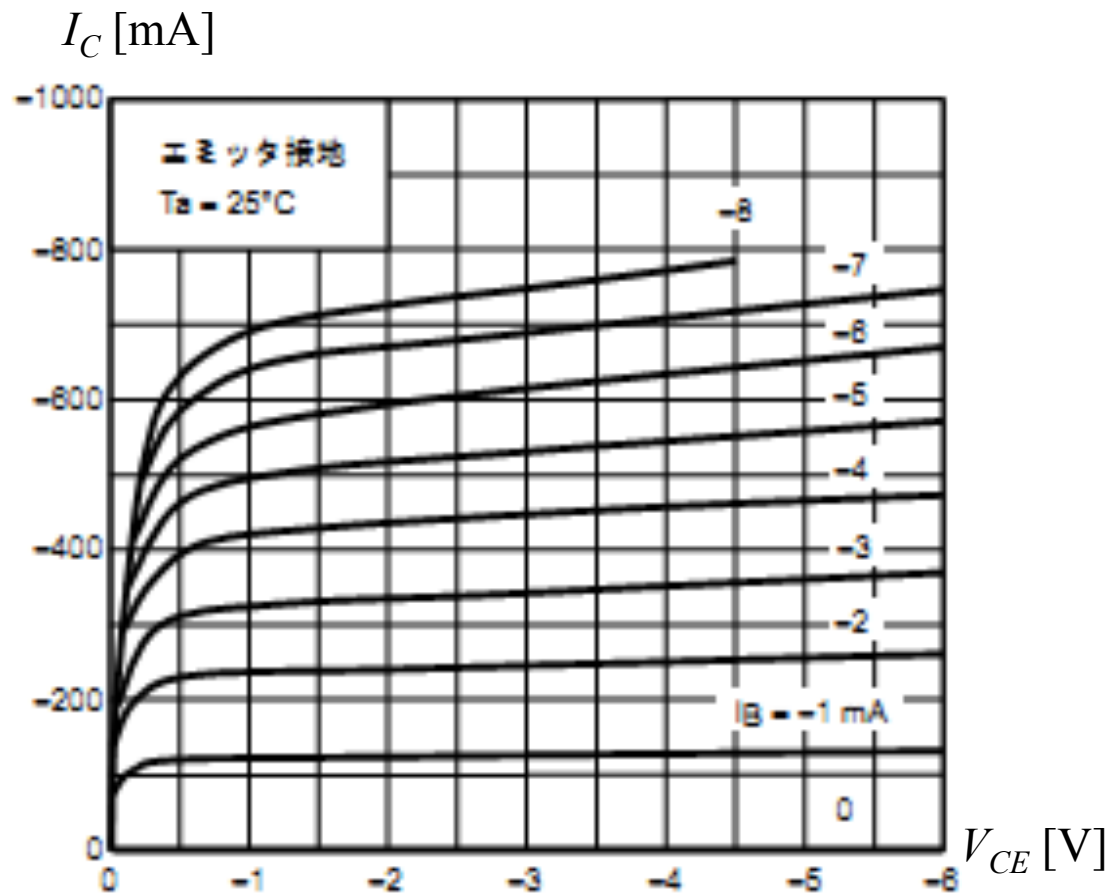


図4.10 PNP型トランジスタの電源
接続方向



A級増幅回路などでの使用領域

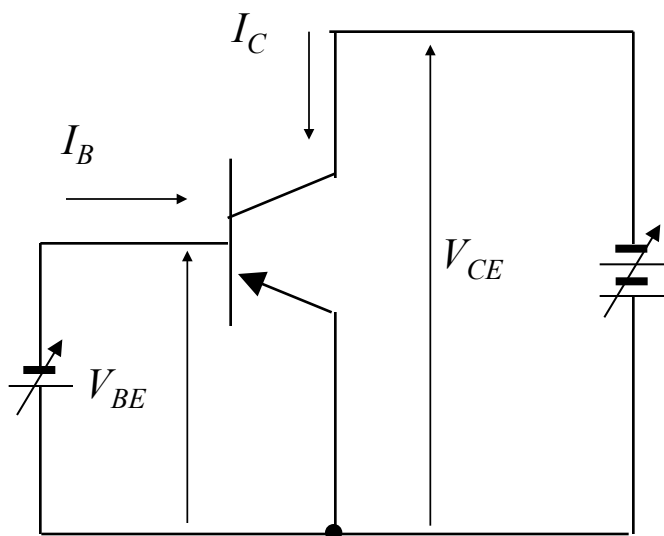
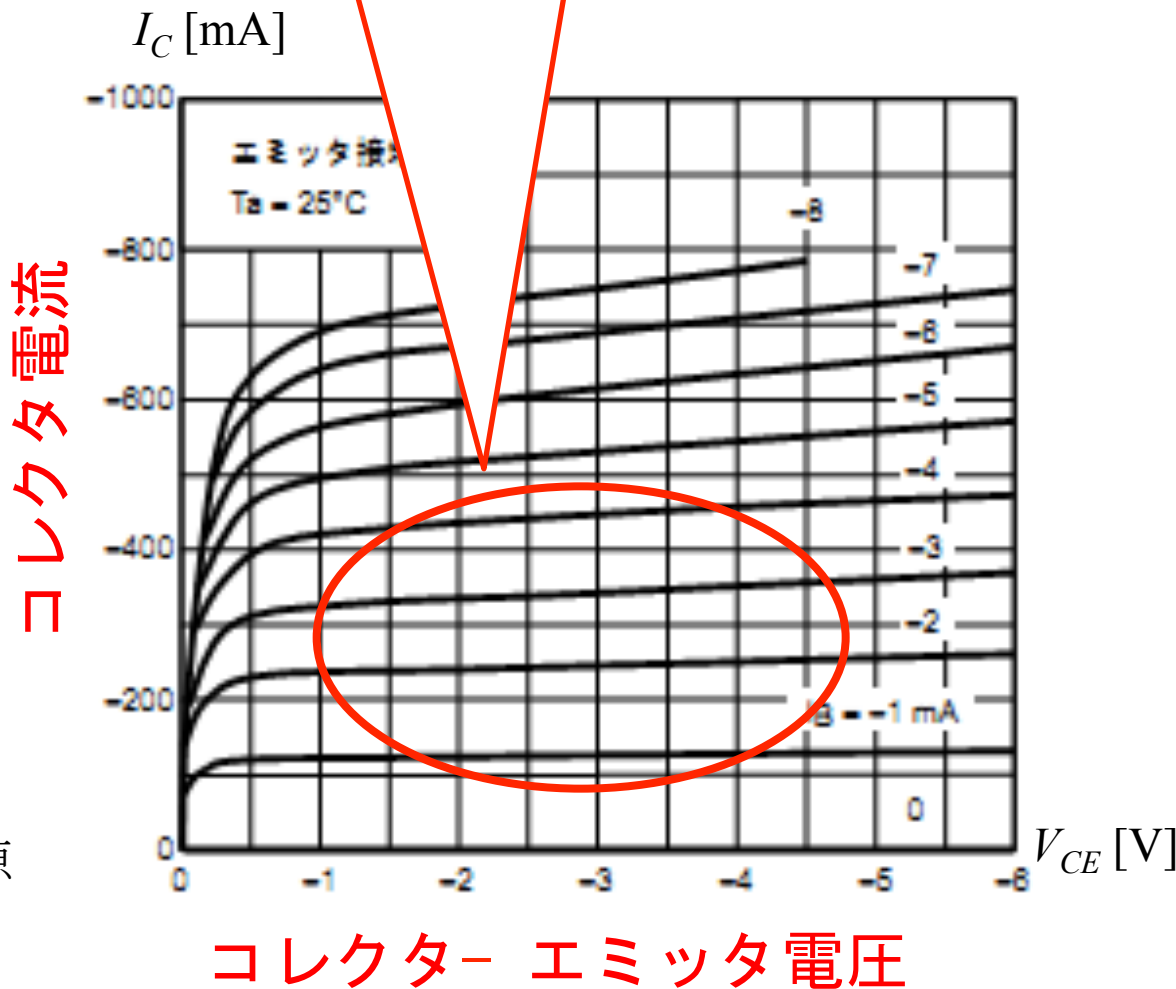


図4.10 PNP型トランジスタの電源
接続方向



トランジスタをスイッチとして使用する領域

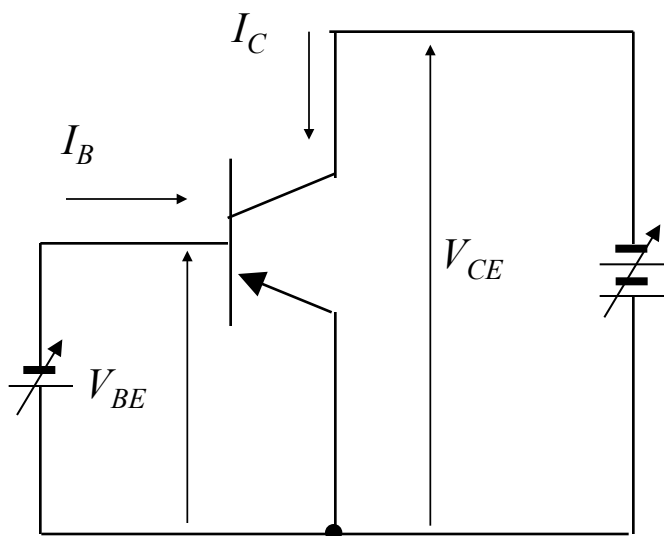
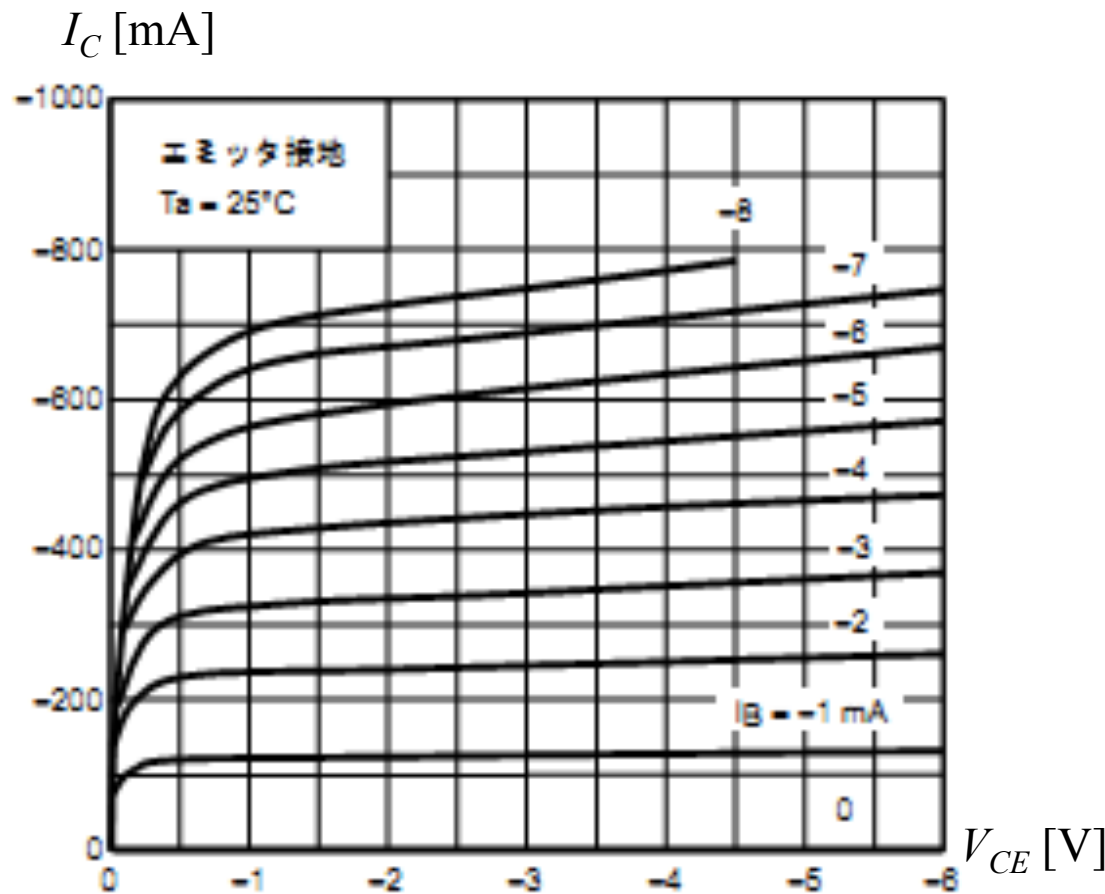


図4.10 PNP型トランジスタの電源
接続方向



トランジスタをスイッチとして使用する領域

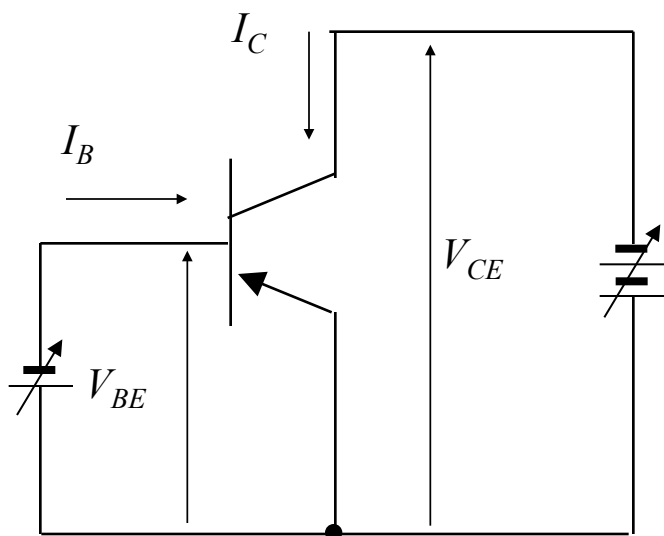
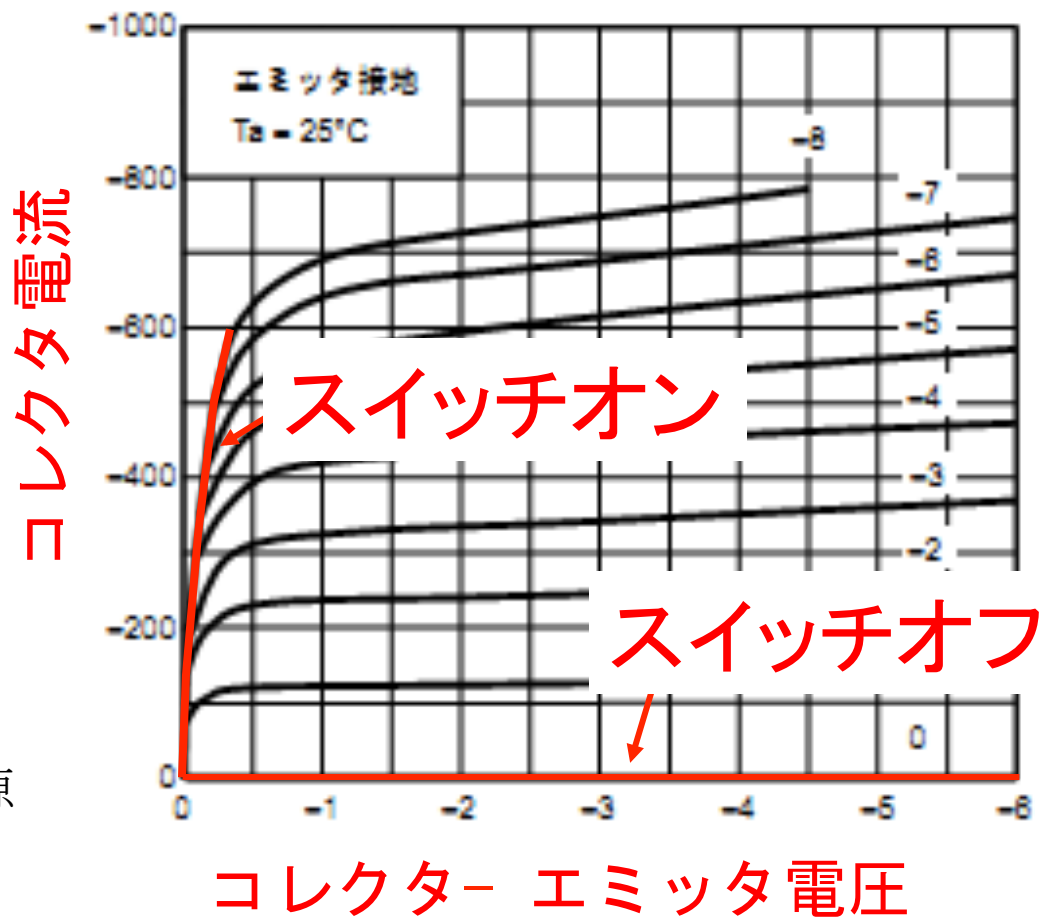
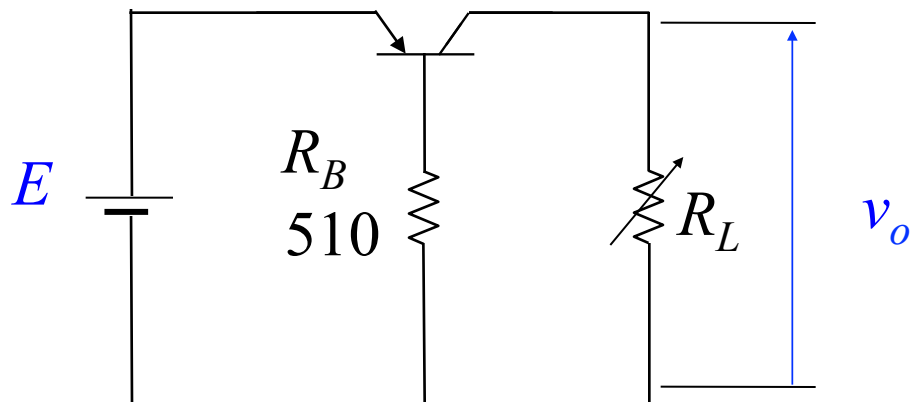


図4.10 PNP型トランジスタの電源
接続方向

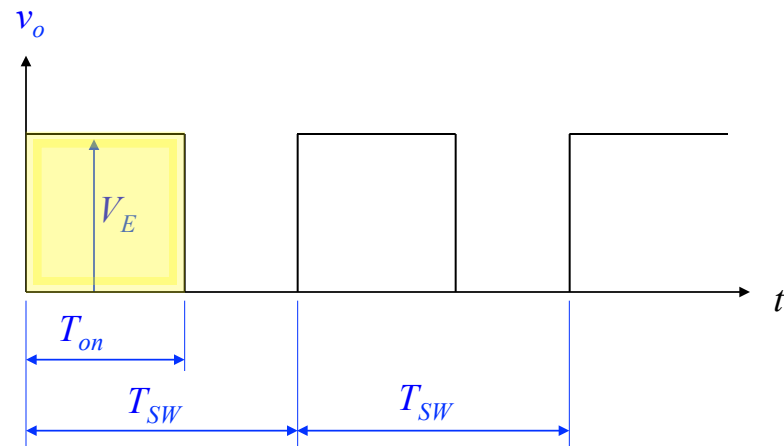


Tr 2SA950



トランジスタ
駆動回路

(a) スイッチング回路



(b) 出力電圧波形

どのようにTrをオン, オフすればよいか

PWM (Pulse Width Modulation, パルス幅変調) 制御法

$v_{com} \geq v_{tri}$ のときトランジスタ オン

$v_{com} < v_{tri}$ のときトランジスタ オフ

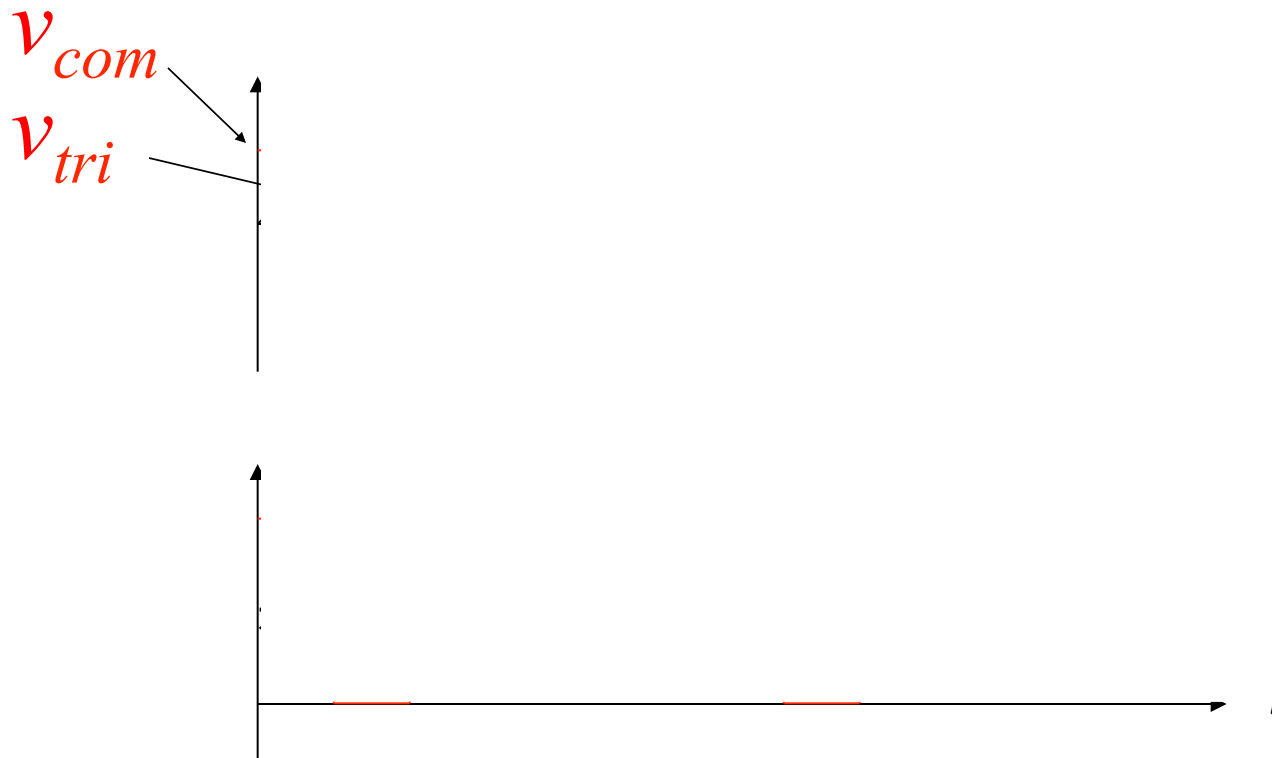


図4.23 PWM制御法

PWM (Pulse Width Modulation, パルス幅変調) 制御法

$v_{com} \geq v_{tri}$ のときトランジスタ オン

$v_{com} < v_{tri}$ のときトランジスタ オフ

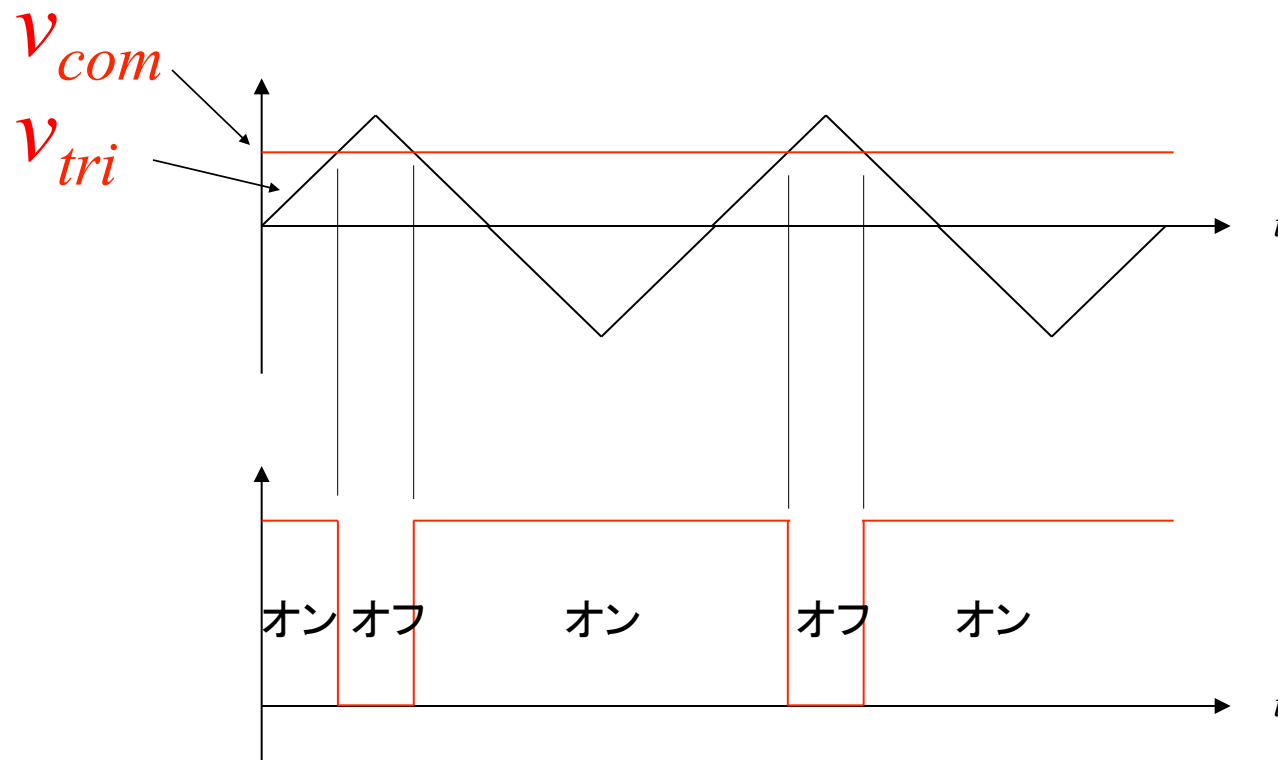


図4.23 PWM制御法

PWM (Pulse Width Modulation, パルス幅変調) 制御法

$v_{com} \geq v_{tri}$ のときトランジスタ オン

$v_{com} < v_{tri}$ のときトランジスタ オフ

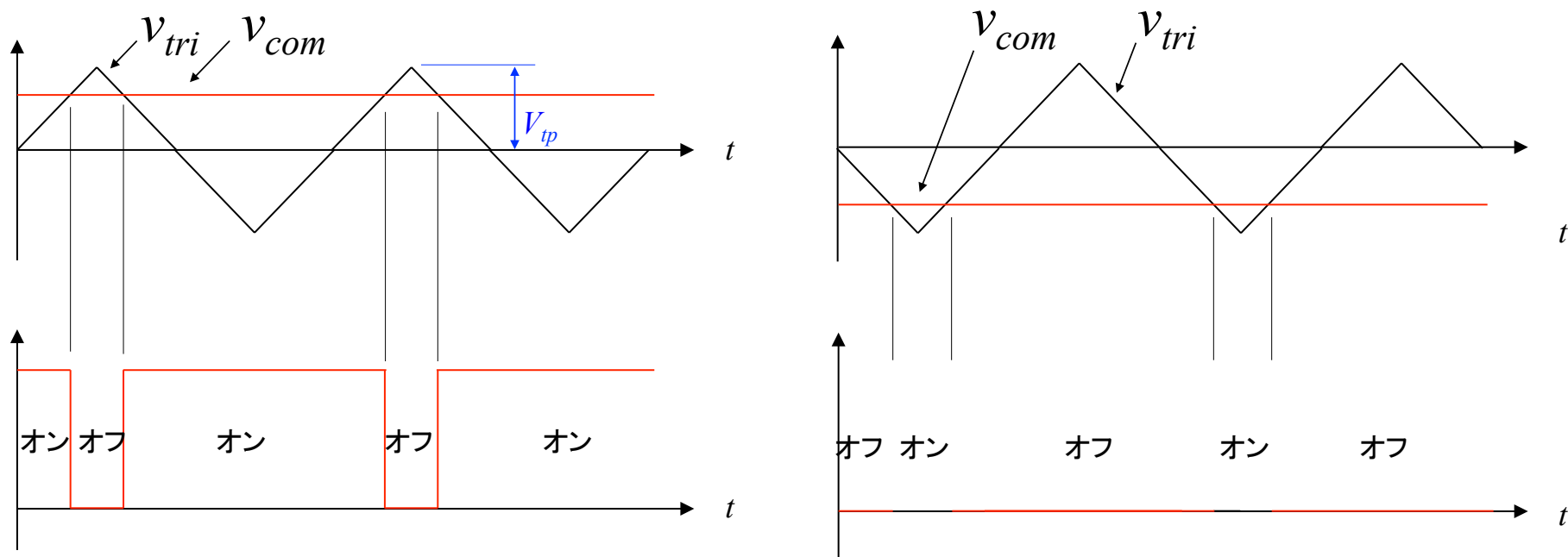


図4.23 PWM制御法

PWM (Pulse Width Modulation, パルス幅変調) 制御法

$v_{com} \geq v_{tri}$ のときトランジスタ オン

$v_{com} < v_{tri}$ のときトランジスタ オフ

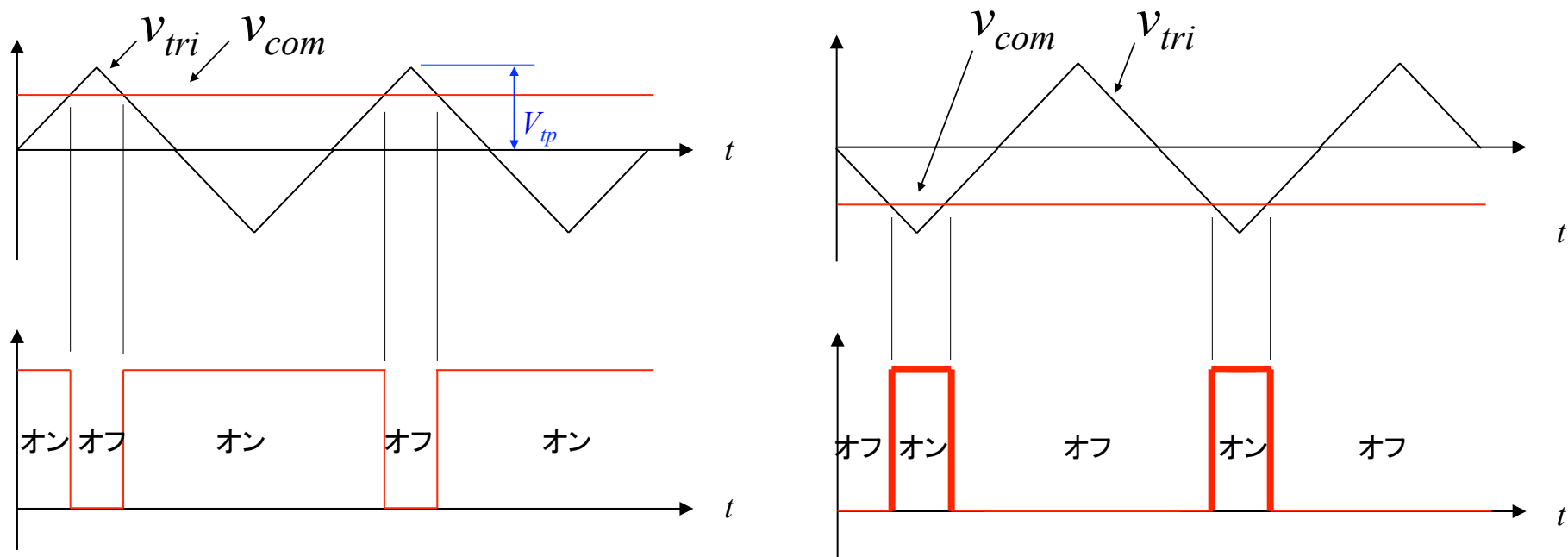
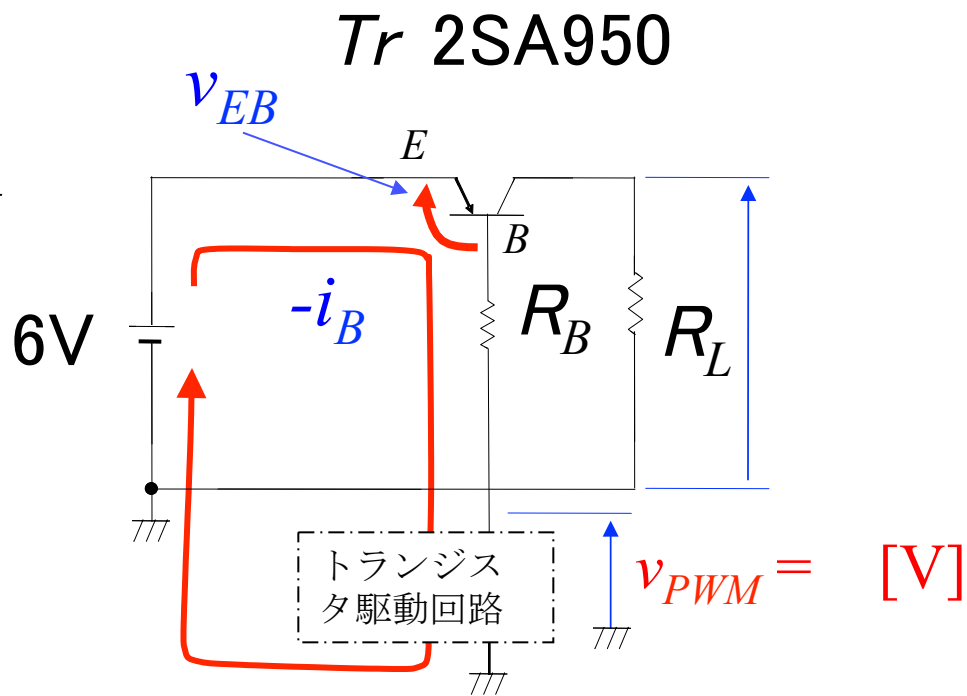
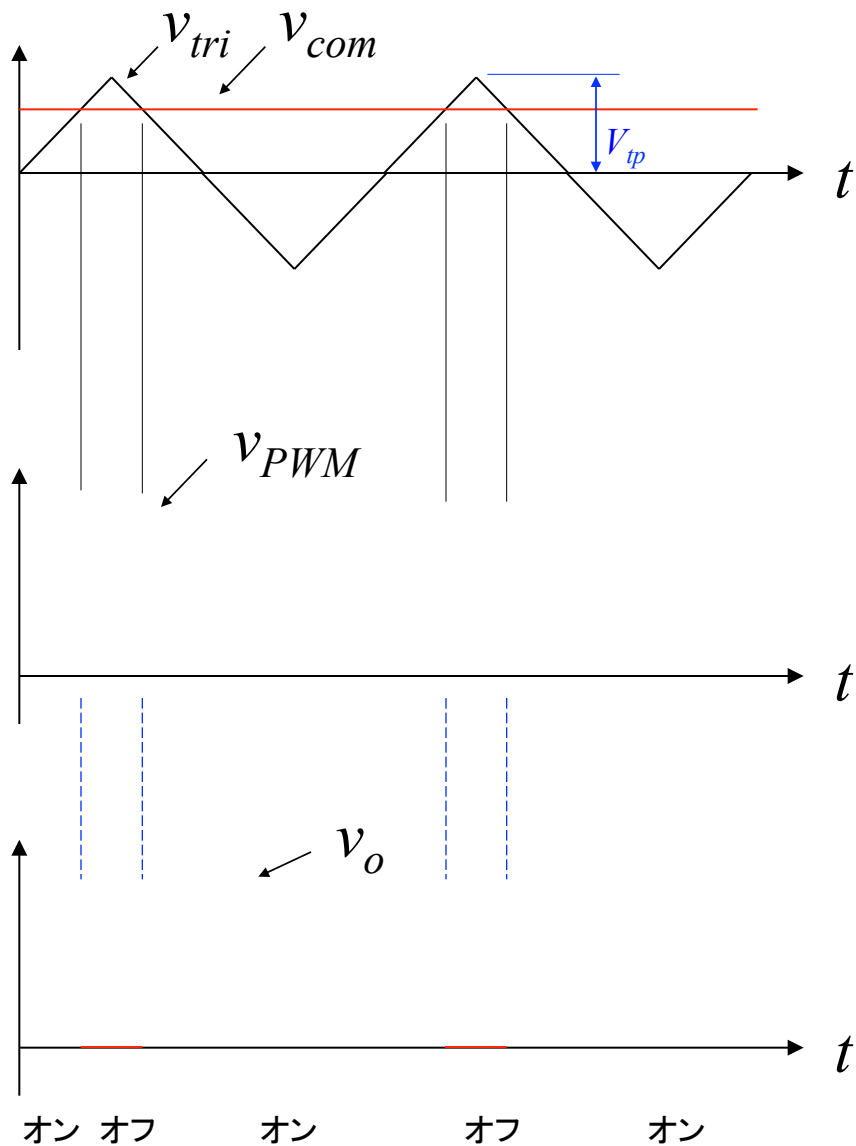
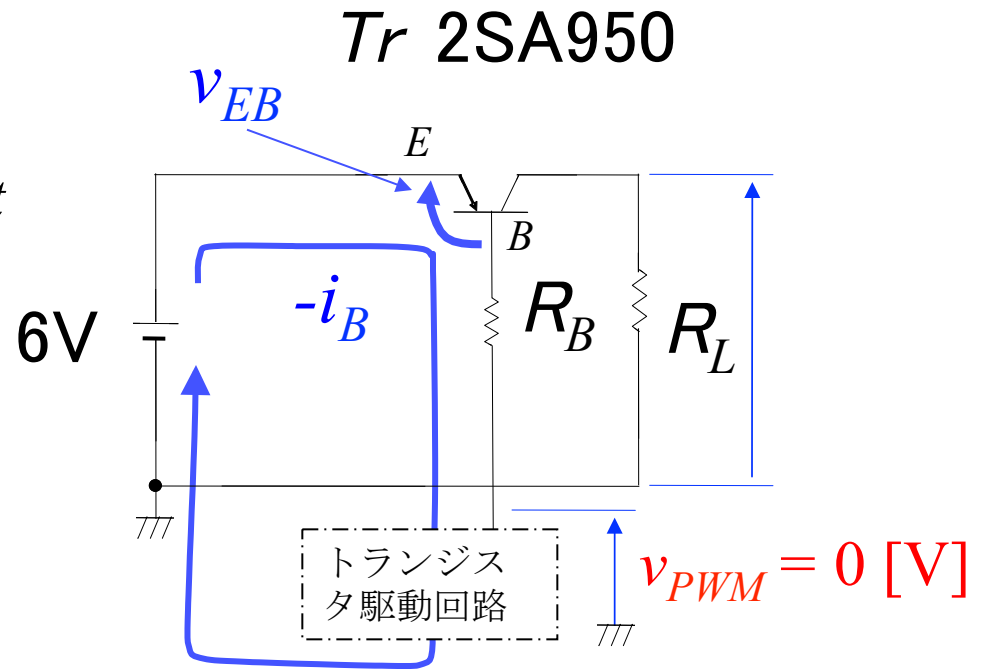
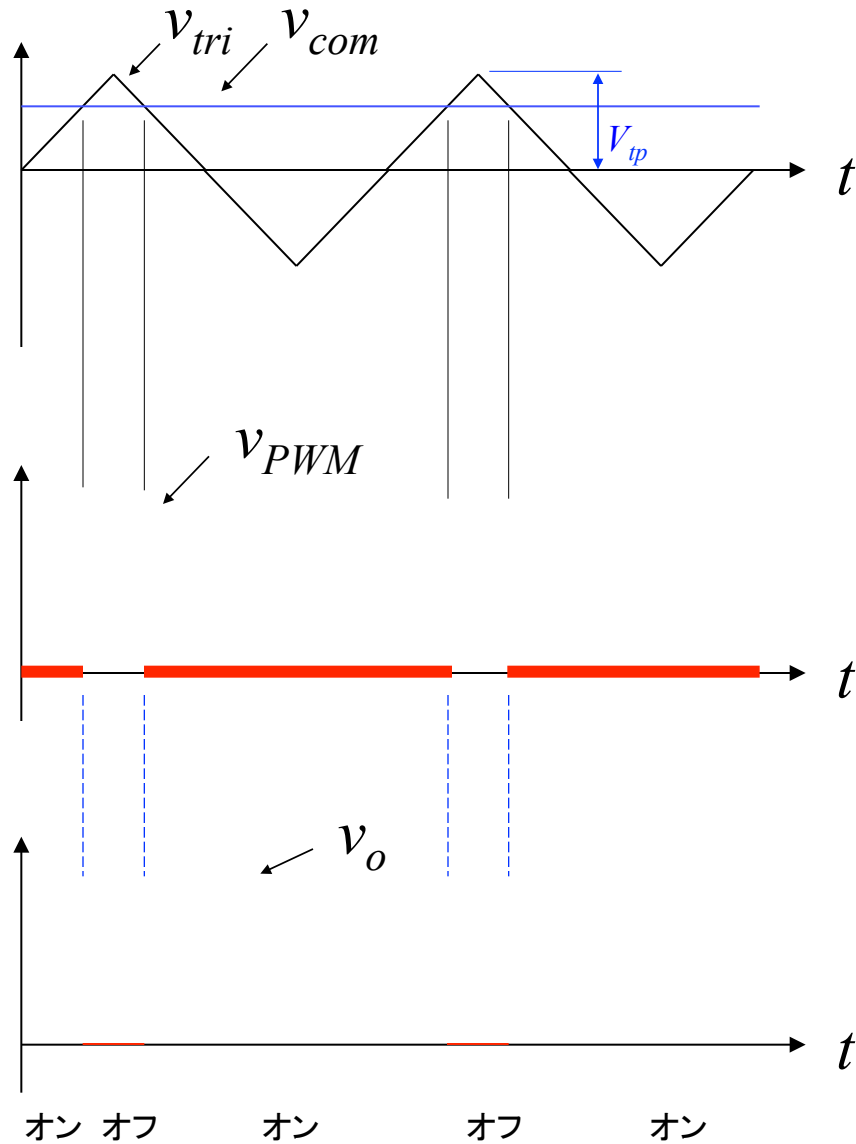


図4.22 PWM制御法

トランジスタの駆動法



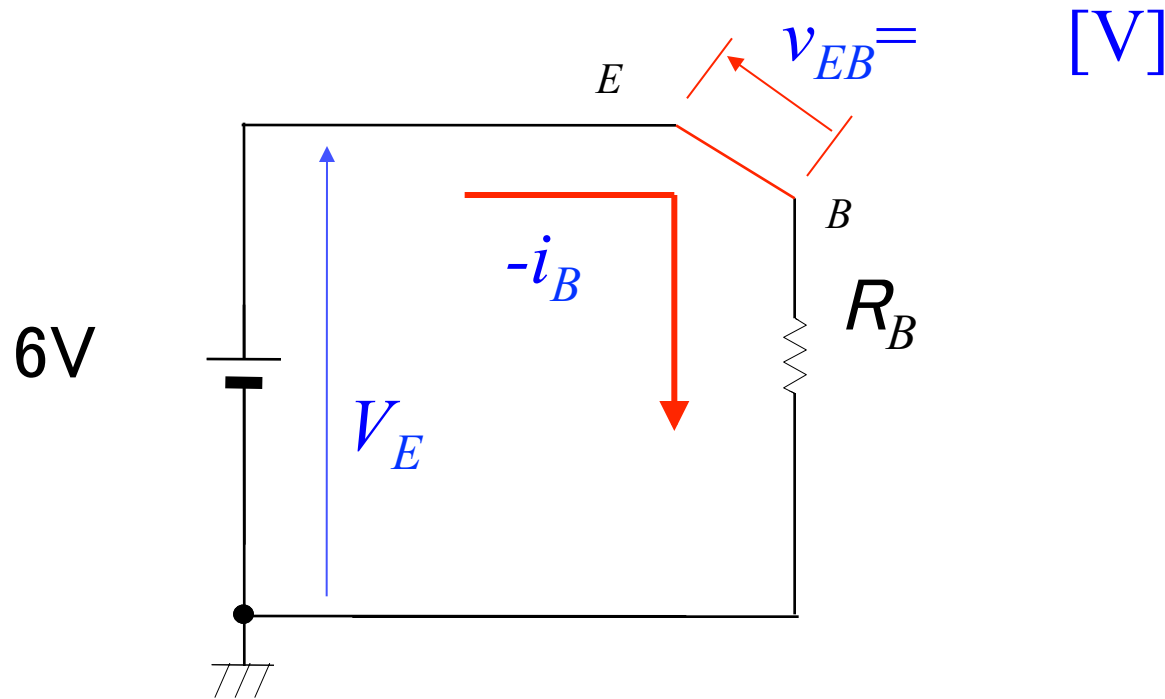
トランジスタの駆動法(Tr:オン)



トランジスタの駆動法(Tr:オン)

$v_{PWM} = 0$ [V]のとき

2SA950のようなPNPトランジスタはエミッタ・ベース間を図のようなダイオードでモデル化できる。

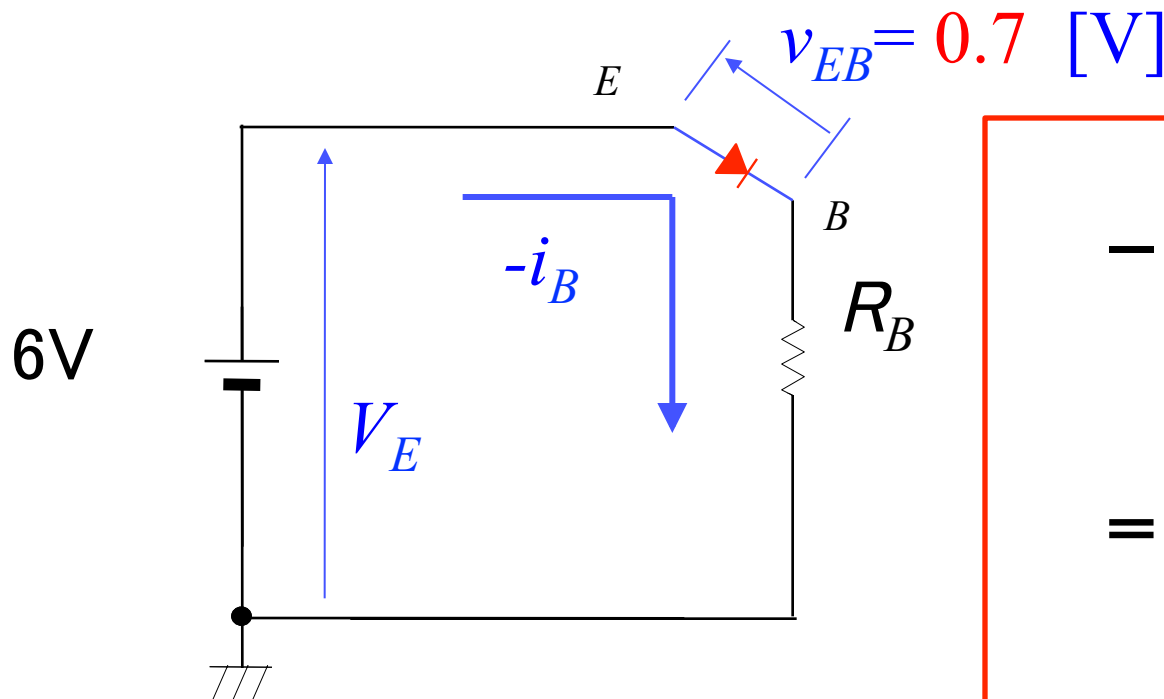


ベース・エミッタ等価回路

トランジスタの駆動法(Tr:オン)

$v_{PWM} = 0$ [V]のとき

2SA950のようなPNPトランジスタはエミッタ・ベース間を図のようなダイオードでモデル化できる。

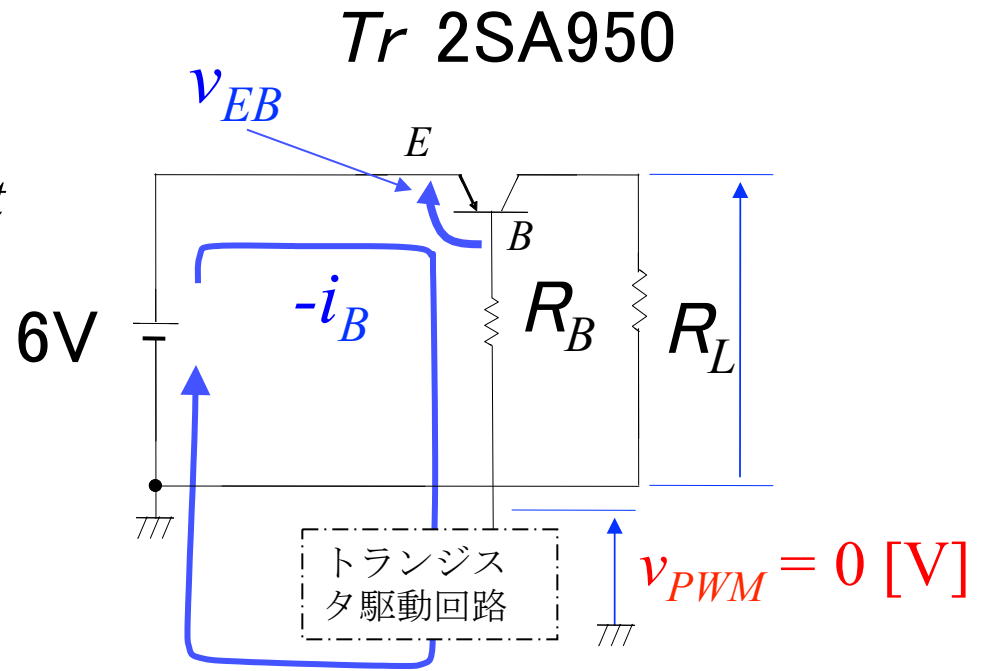
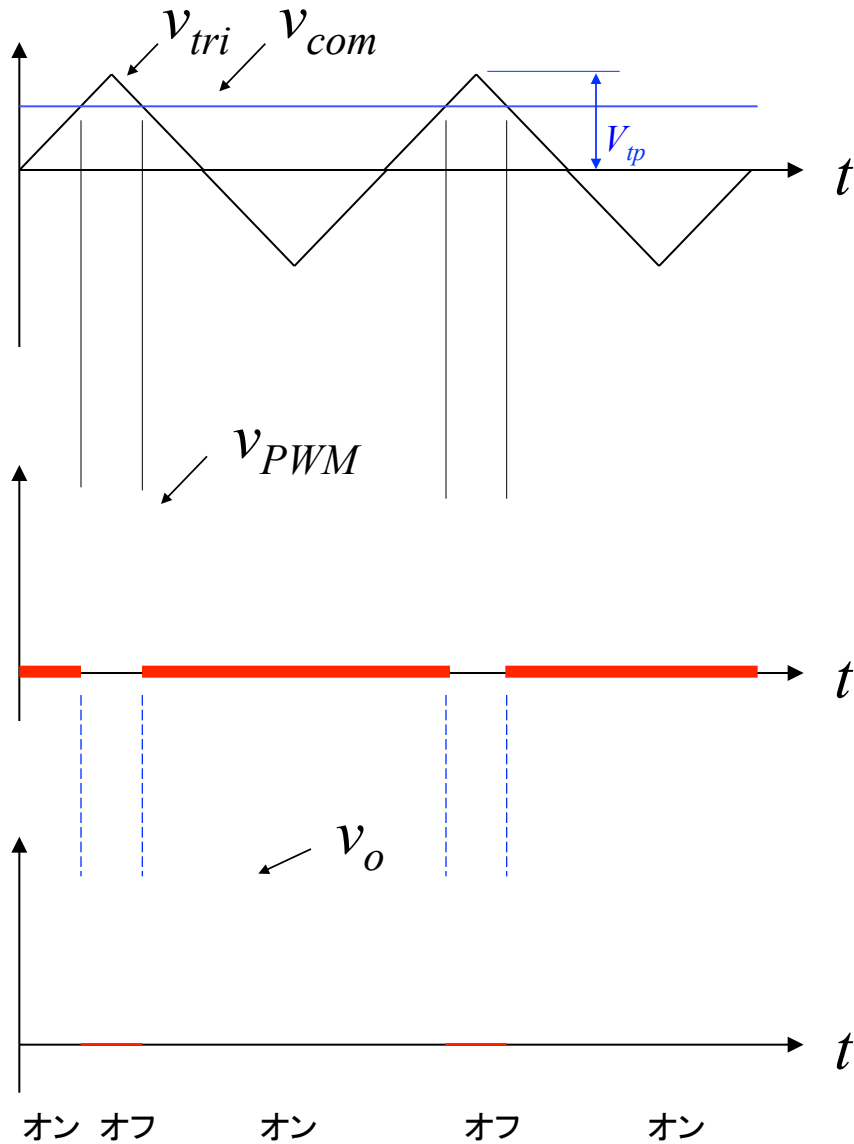


$$\begin{aligned} -i_B &= \frac{V_E - v_{EB}}{R_B} \\ &= \frac{6 - 0.7}{R_B} \end{aligned}$$

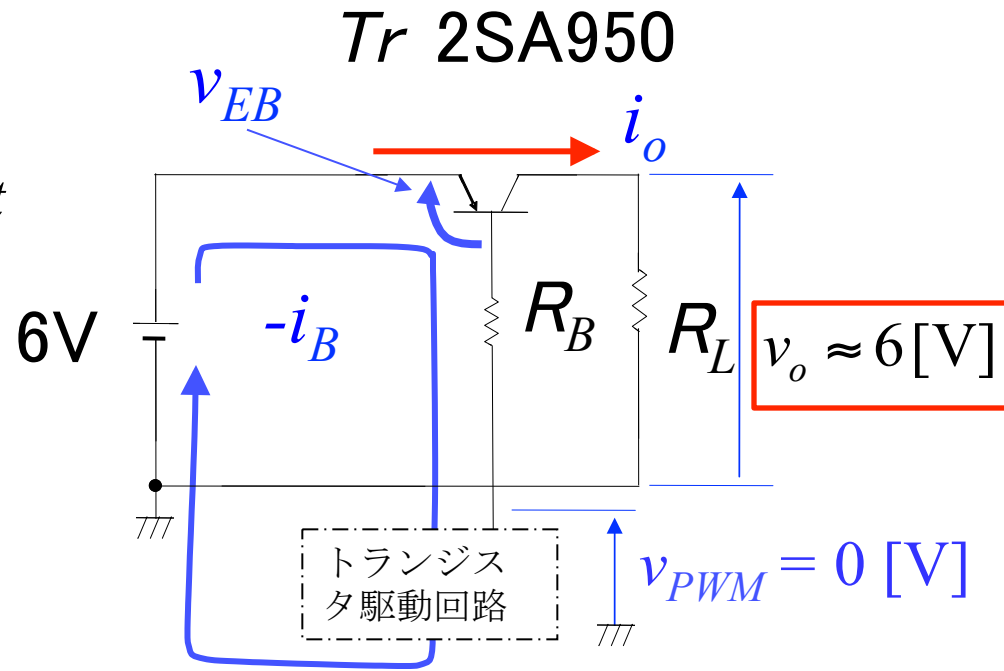
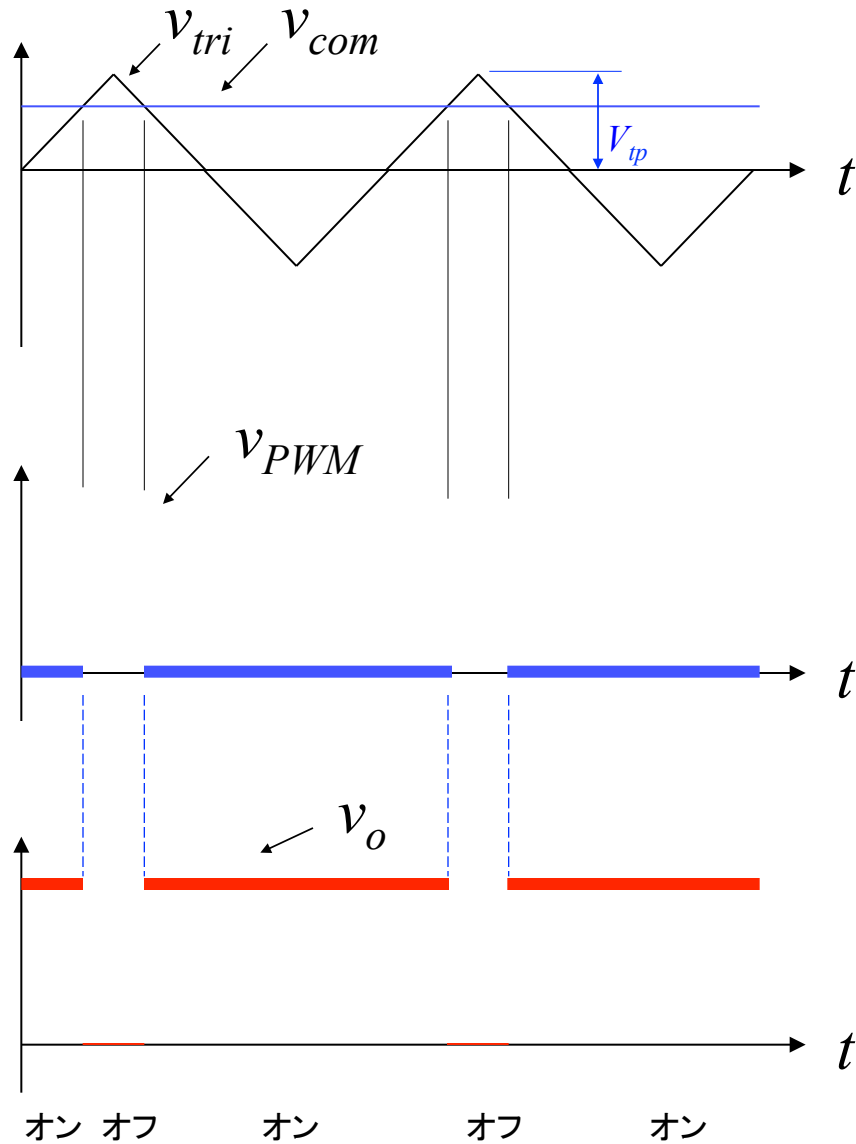
$$i_B < -6 \text{ [mA]}$$

ベース・エミッタ等価回路

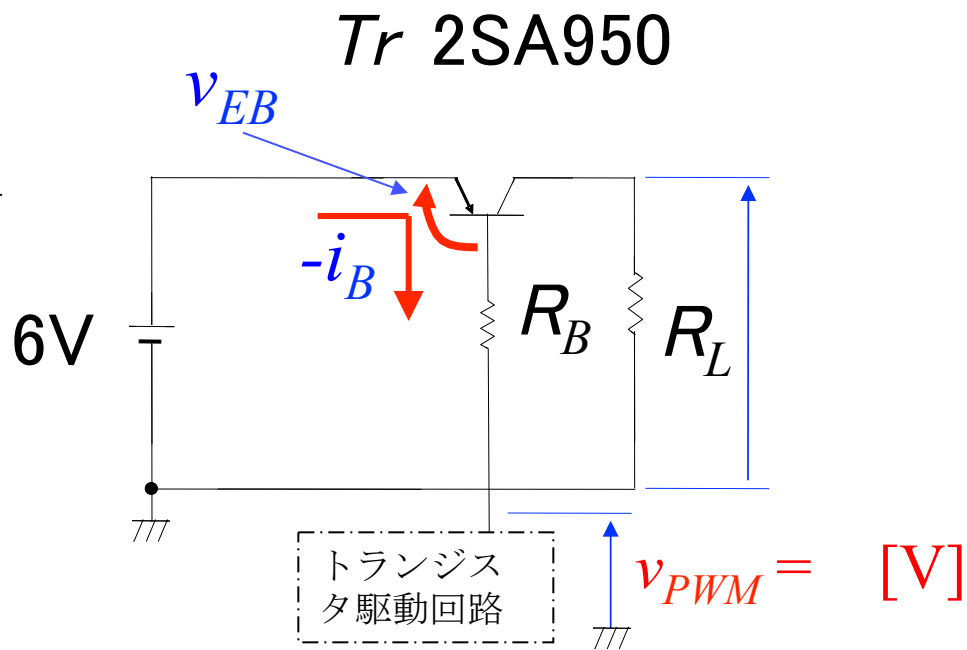
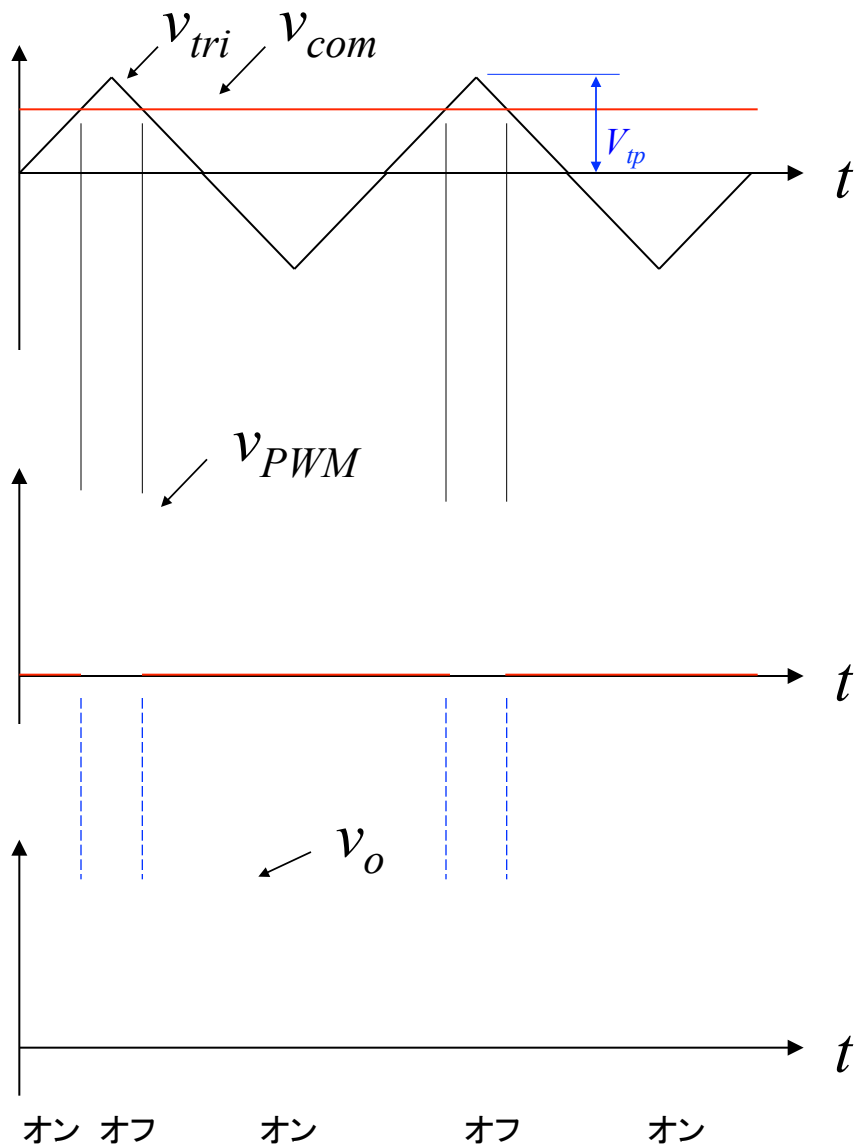
トランジスタの駆動法(Tr:オン)



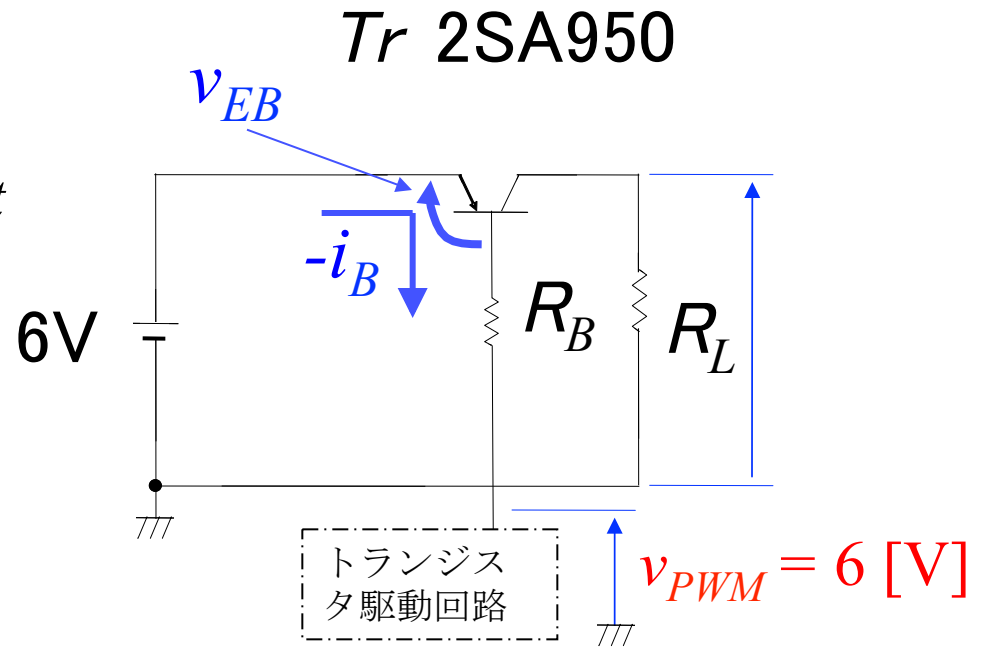
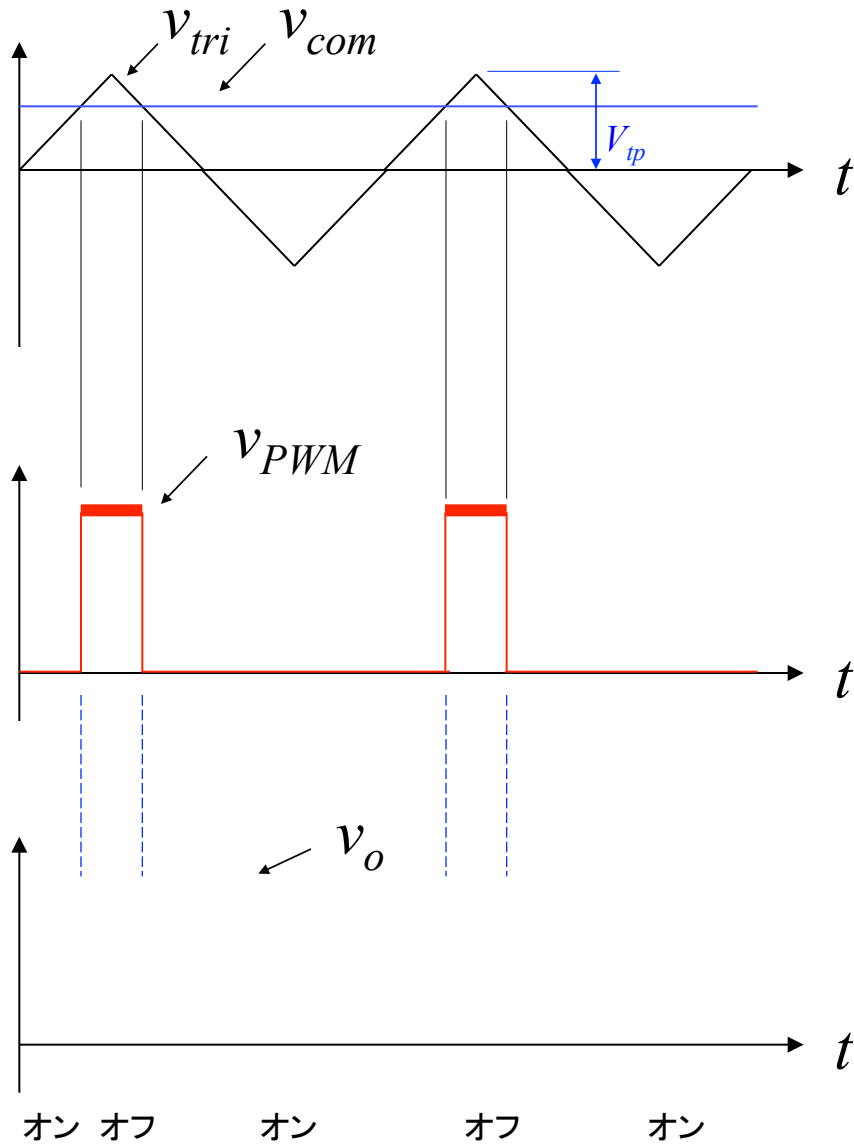
トランジスタの駆動法(Tr:オン)



トランジスタの駆動法

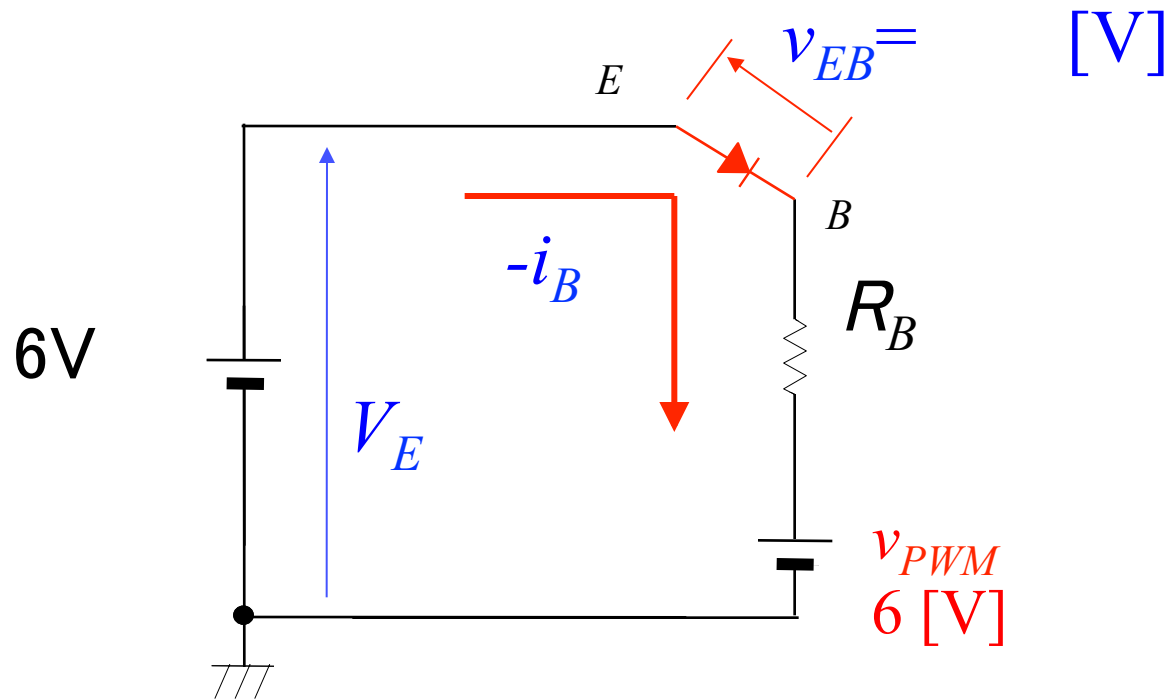


トランジスタの駆動法(Tr:オフ)



トランジスタの駆動法(Tr:オフ)

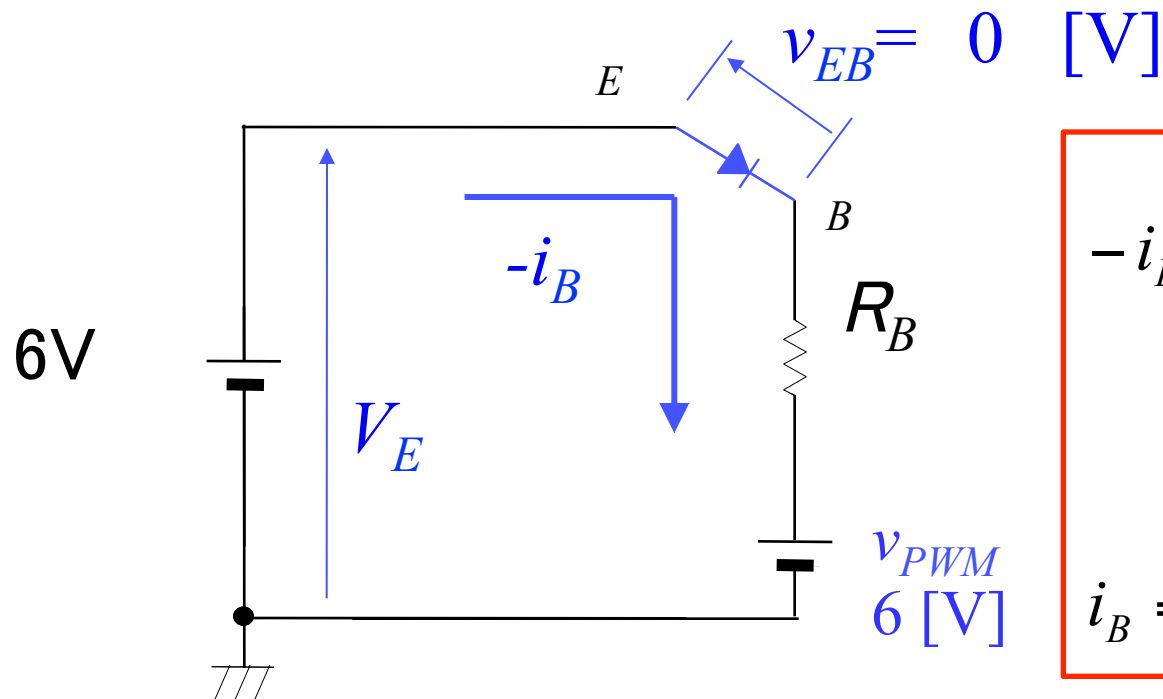
$v_{PWM} = 6$ [V]のとき



ベース・エミッタ等価回路

トランジスタの駆動法(Tr:オフ)

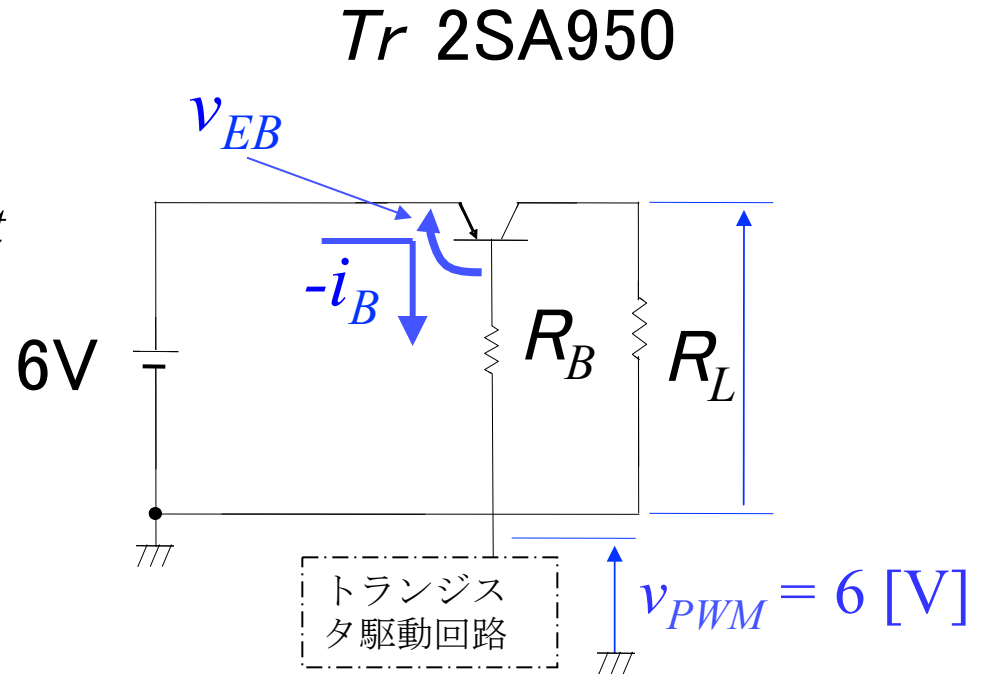
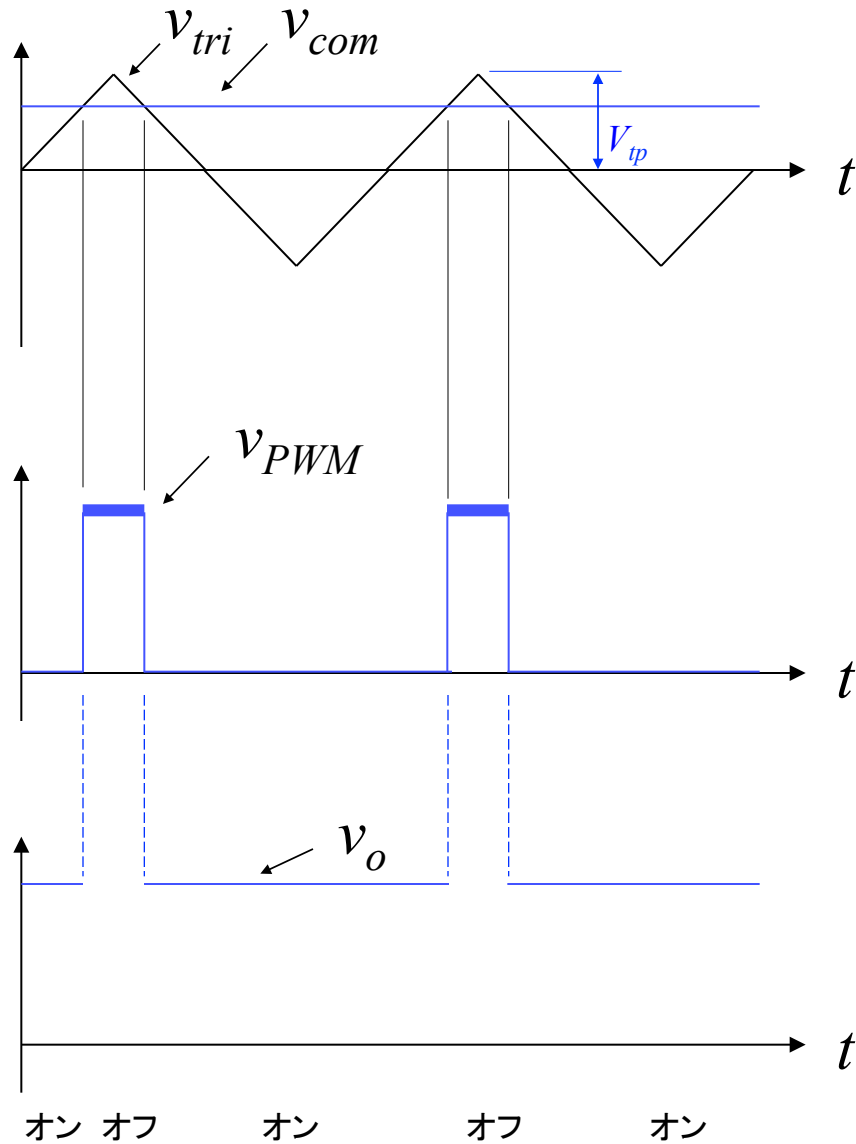
$v_{PWM} = 6$ [V] のとき



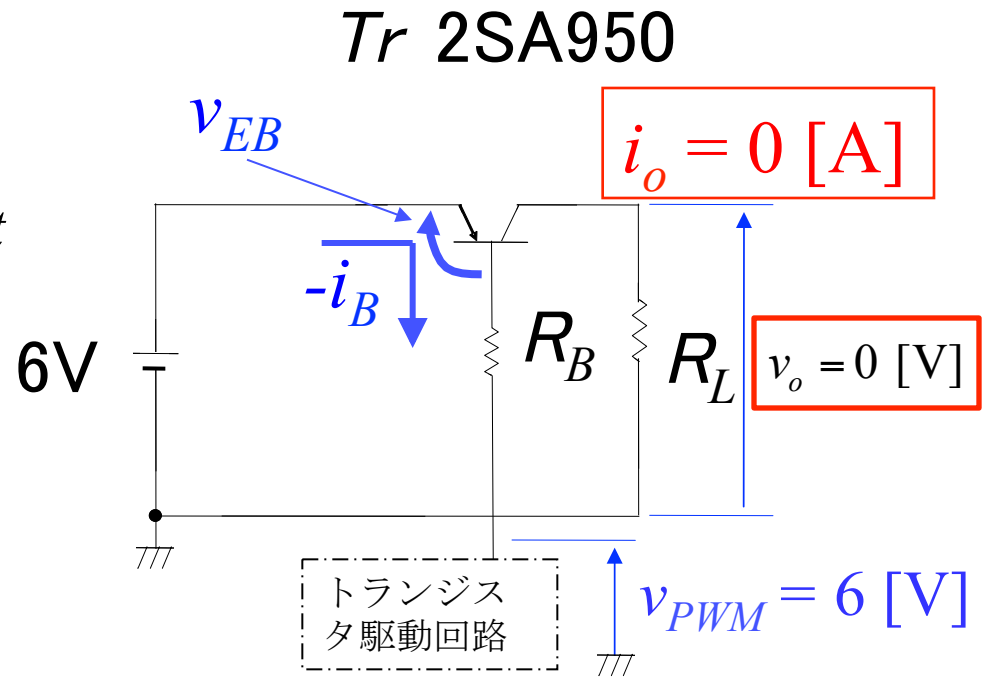
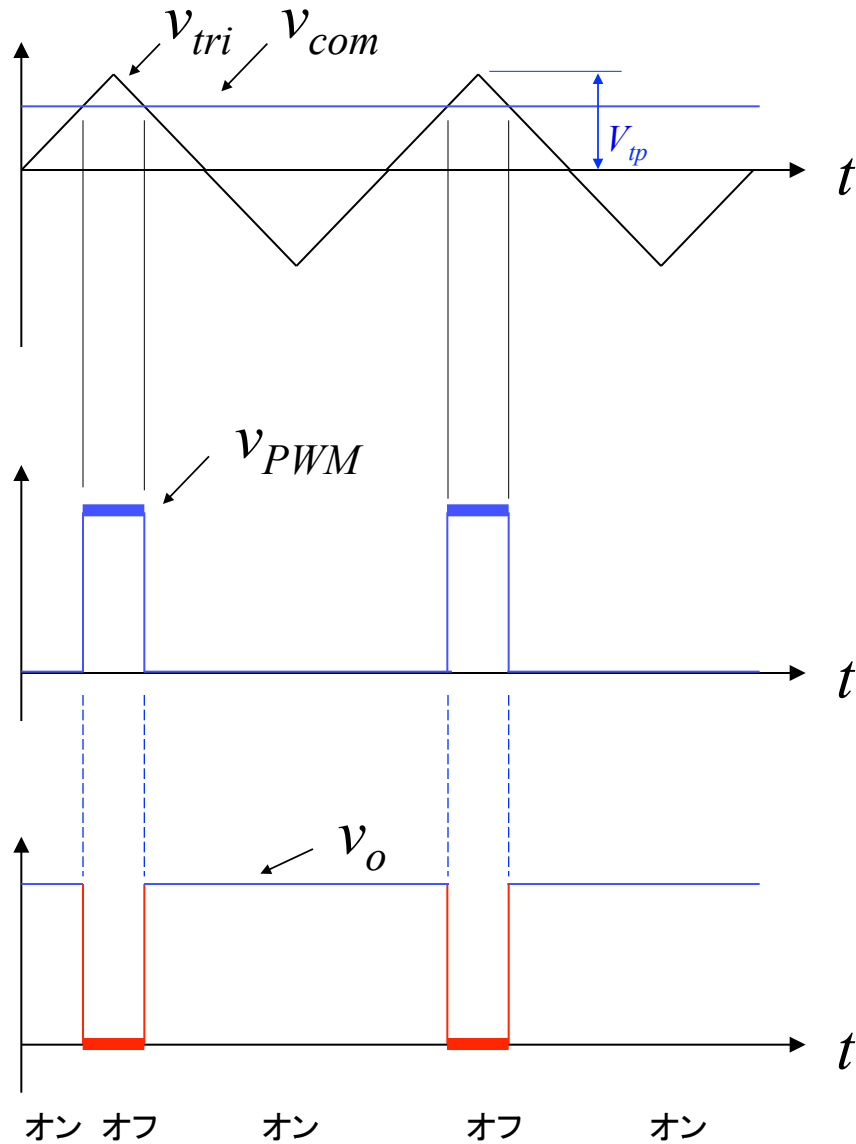
$$\begin{aligned} -i_B &= \frac{V_E - v_{BE} - v_{PWM}}{R_B} \\ &= \frac{6 - 0 - 6}{R_B} = 0 \text{ [mA]} \\ i_B &= 0 \text{ [mA]} \end{aligned}$$

ベース・エミッタ等価回路

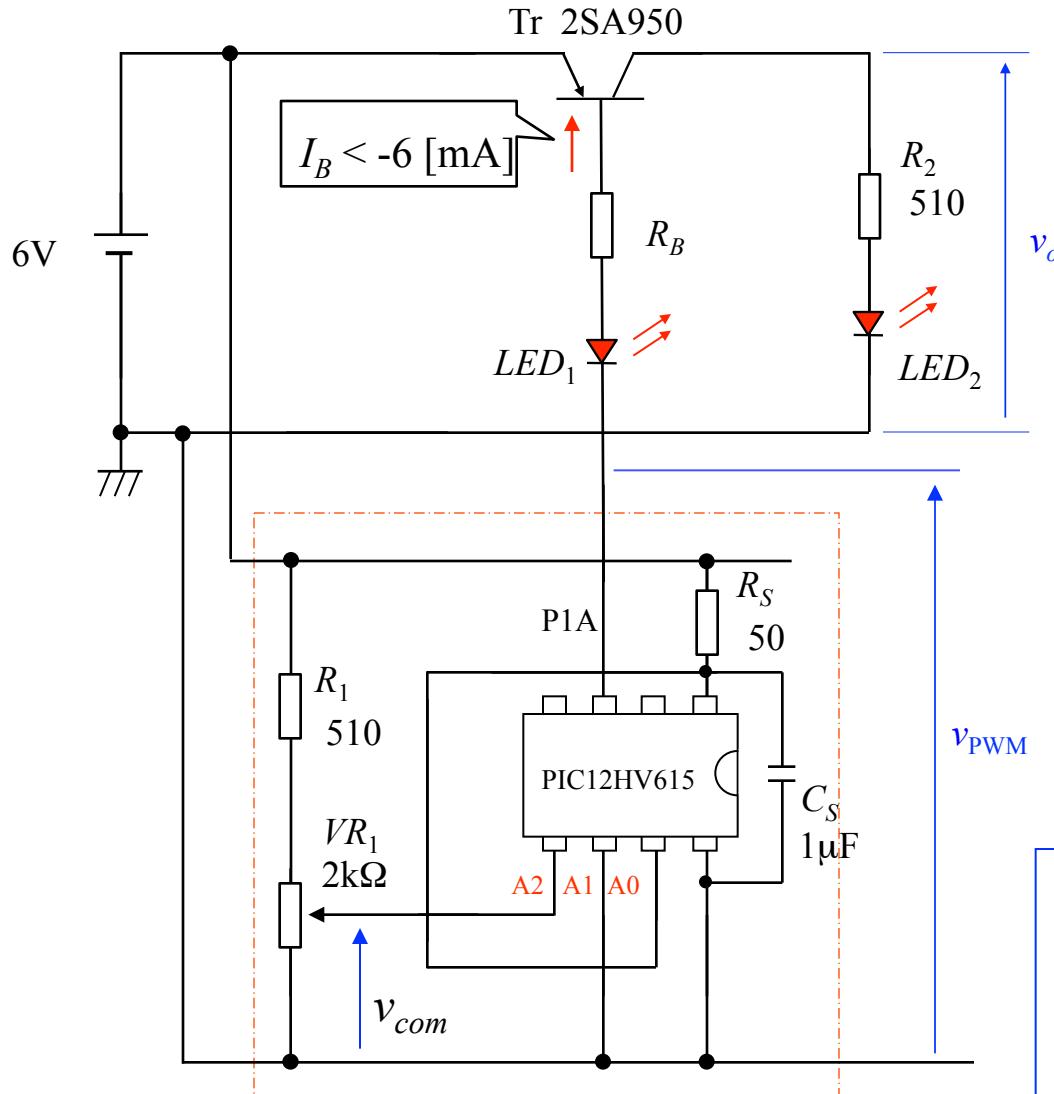
トランジスタの駆動法(Tr:オフ)



トランジスタの駆動法(Tr:オフ)



Step3 製作課題 降圧チョッパ回路を製作せよ. ベース抵抗 R_B の値を, ベース電流 $I_B < -6$ [mA]となるように, 設計せよ.



LED (LED_1) のオン電圧は約1.7[V]である.

A1 A0 = 01:
PWM制御可視化モード
 A2 = 電圧指令値入力
 P1A = 0.5HzPWM出力

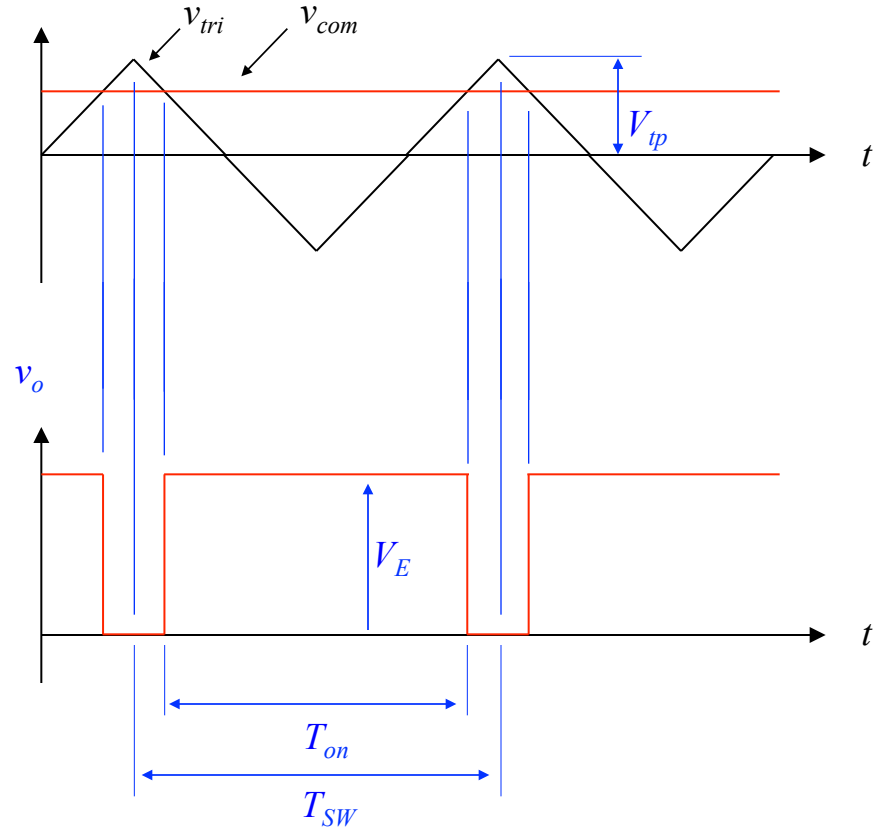
(A1 A0 = 01)

Step3 レポート課題(1)

トランジスタのオン期間 T_{on} とスイッチング周期 T_{sw} の比を通流率 δ という. 三角波の電圧 v_{tri} と指令電圧 v_{com} およびチョッパ回路の出力電圧 v_o が図に示す関係にあるとき, 以下を求めよ. ただし, 三角波のピーク値を V_{tp} , トランジスタオン時のチョッパ回路の出力電圧を V_E とする.

- (a) 通流率 δ と v_{com} の関係
- (b) 出力電圧の平均値 V_o と v_{com} の関係

いずれの解答も導出の過程を記せ.



$$\delta = \frac{T_{on}}{T_{sw}}$$

δ : 通流率

T_{on} : トランジスタのオン期間

T_{sw} : スイッチング周期

Step3 レポート課題(2)

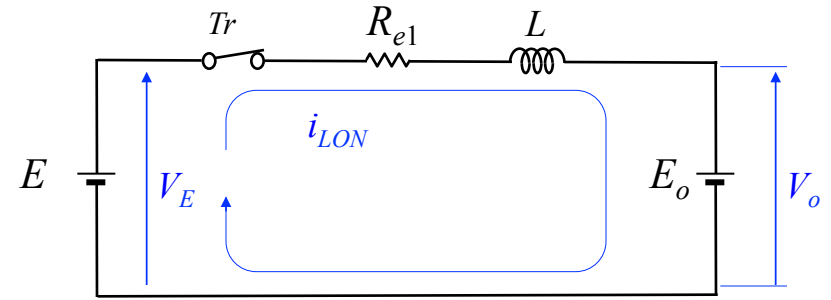
図4.16は降圧チョッパ回路においてトランジスタをスイッチとみなし、スイッチ・オン時とスイッチ・オフ時の等価回路を示す。電源 E の電圧 V_E 、出力側の等価電源 E_o の電圧を V_o 、インダクタンスを L 、スイッチ・オン時の等価抵抗を R_{e1} 、オフ時の等価抵抗を R_{e2} とする。また、スイッチ・オン時のスイッチの抵抗はゼロ、ダイオード D のオン電圧も0 [V]とする。以下の問いに答えよ。

(a) スイッチ・オン時の回路方程式を示し、時刻 $t = 0$ にて電流 $i_{LON} = 0$ としてこの微分方程式を解け。

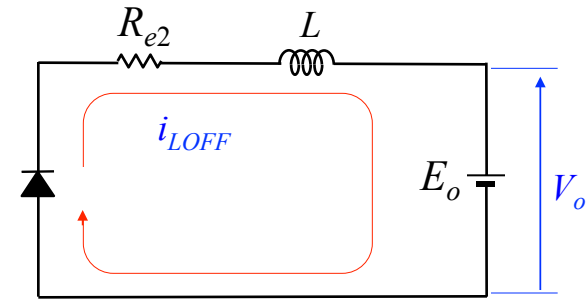
(b) スイッチ・オフ時の回路方程式を示し、時刻 $t = 0$ にて電流 $i_{LOFF} = i(0)$ としてこの微分方程式を解け。

(c) スイッチング周期 $T_{sw} = 100[\mu s]$ 、通流率 $\delta = 0.5$ 、 $V_E = 6 [V]$ 、 $V_o = 3 [V]$ 、 $R_{e1} = R_{e2} = 10 [\Omega]$ 、 $L = 400 [\mu H]$ のときの i_{LON} 、 i_{LOFF} の波形の概形は右下の図となる。この設定において通流率 $\delta = 0.8$ としたときの i_{LON} 、 i_{LOFF} の波形の概形を最初の1周期について描け。

(d) (c)の設定において $\delta = 0.8$ 、 $T_{sw} = 4 [\mu s]$ としたときの i_{LON} 、 i_{LOFF} の波形の概形を最初の1周期について描け。



(a) スイッチ・オン



(b) スイッチ・オフ

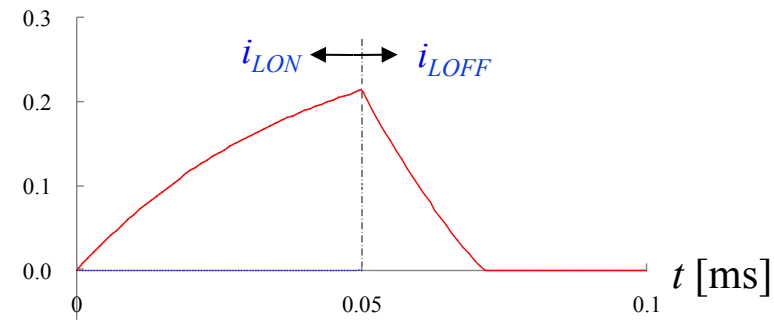


図4.16 降圧チョッパ回路の簡略等価回路