

パワーエレクトロニクス講義資料 第9回 ブレーキの掛けられる回路

担当：古橋武

[本稿掲載のWebページ](http://mybook-pub-site.sakura.ne.jp/Power_Electronics_Note/index.html)

http://mybook-pub-site.sakura.ne.jp/Power_Electronics_Note/index.html

配線の基本原則

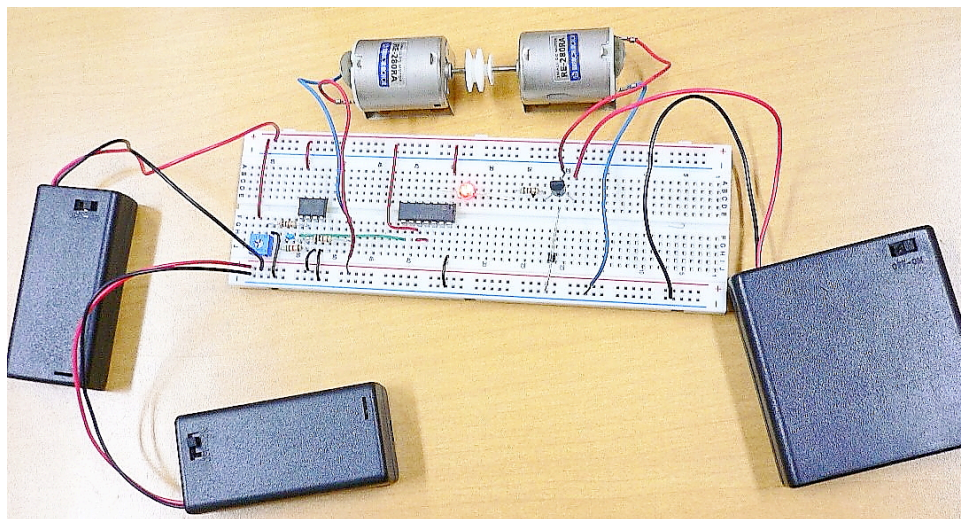
電源は上から下へ

最上行 +V
下から2行目 GND
最下行 -V

チョッパ用電源は直接チョッパへつなぐ.

回路は左から右へ

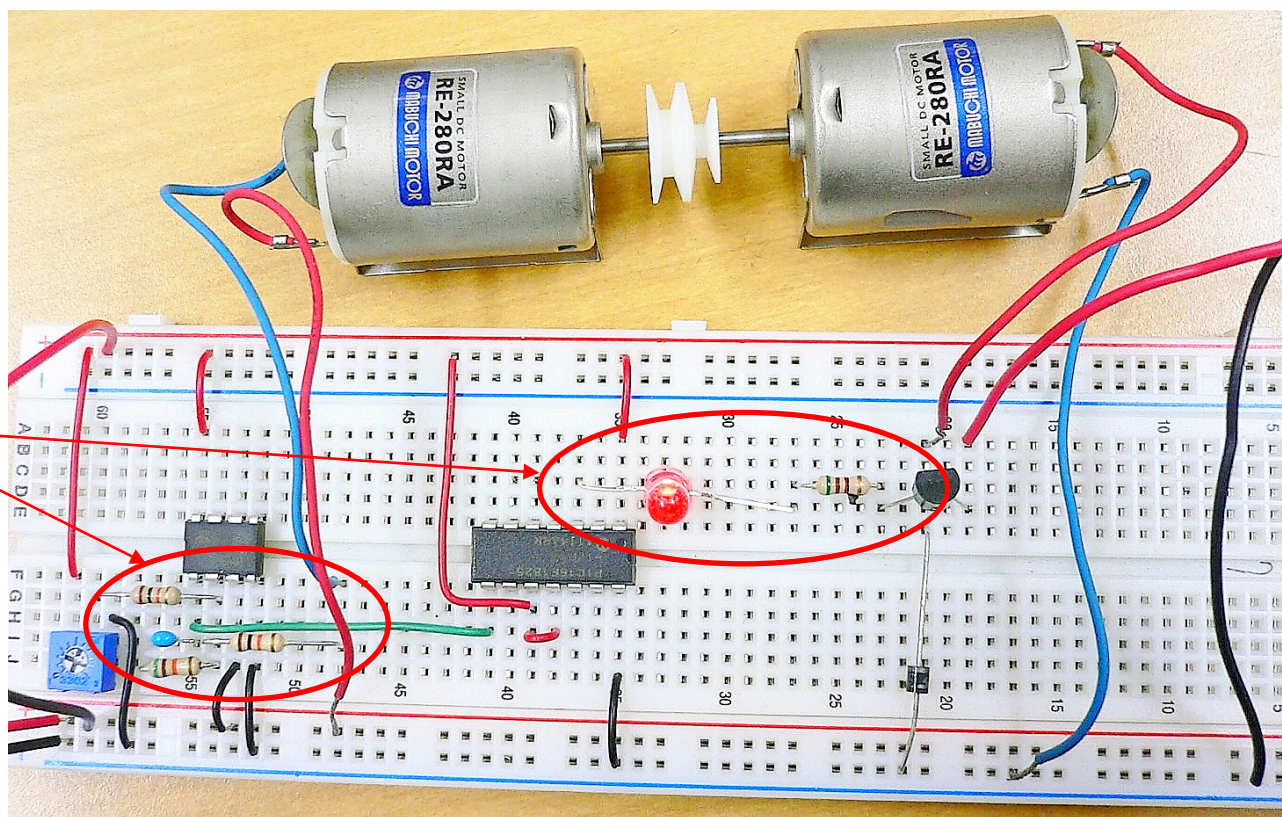
制御回路 → マイコン → チョッパ回路



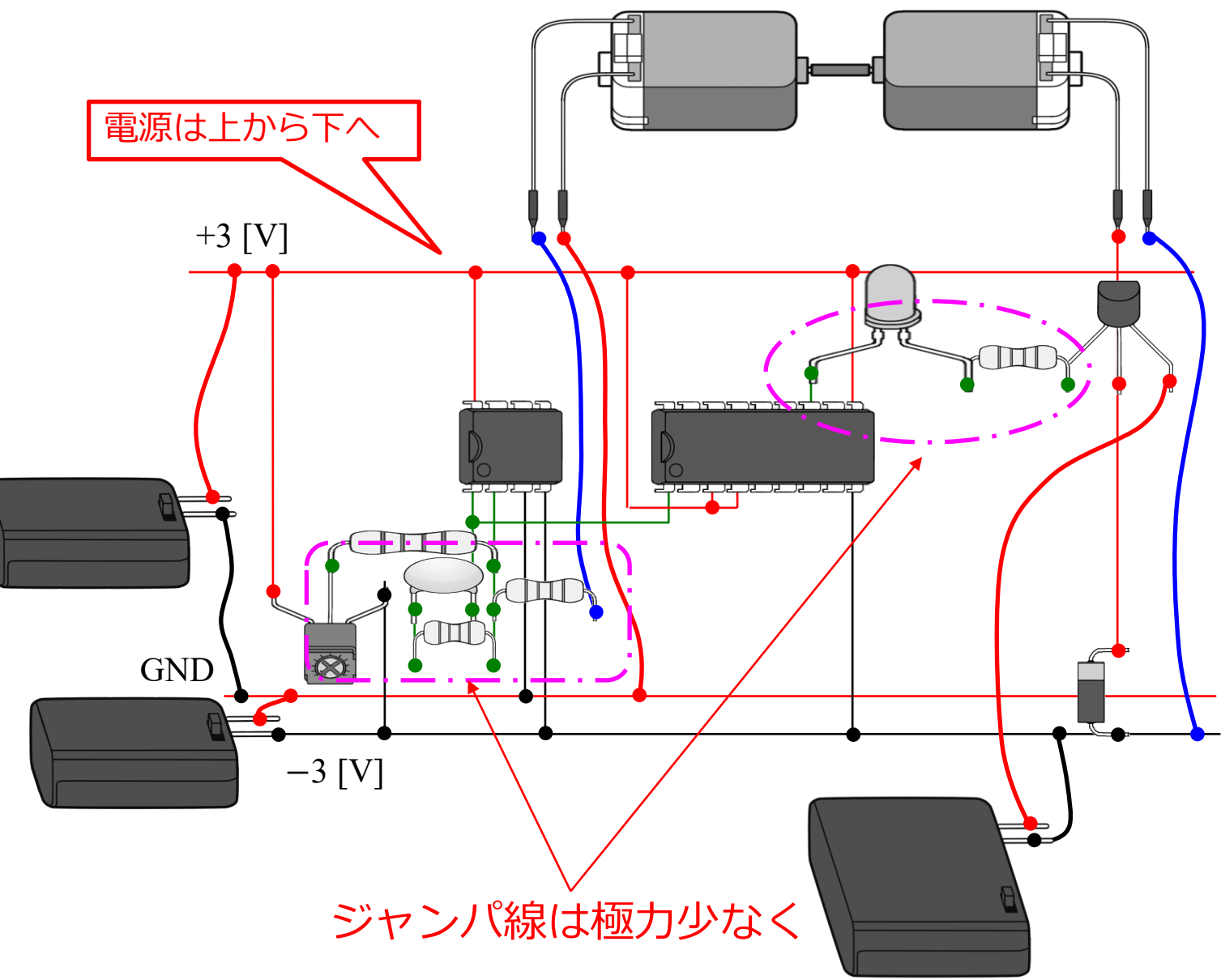
ジャンパ線は
極力少なく

配線は極力
部品の足を
そのまま使う

右の回路では
ジャンパ線は
全部で10本



電源は上から下へ



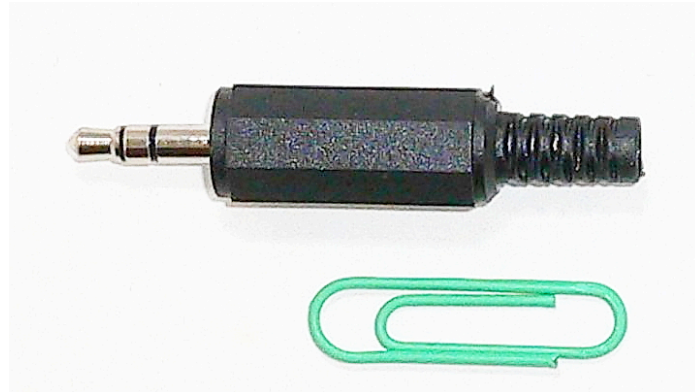
+3 [V]

GND

-3 [V]

ジャンパ線は極力少なく

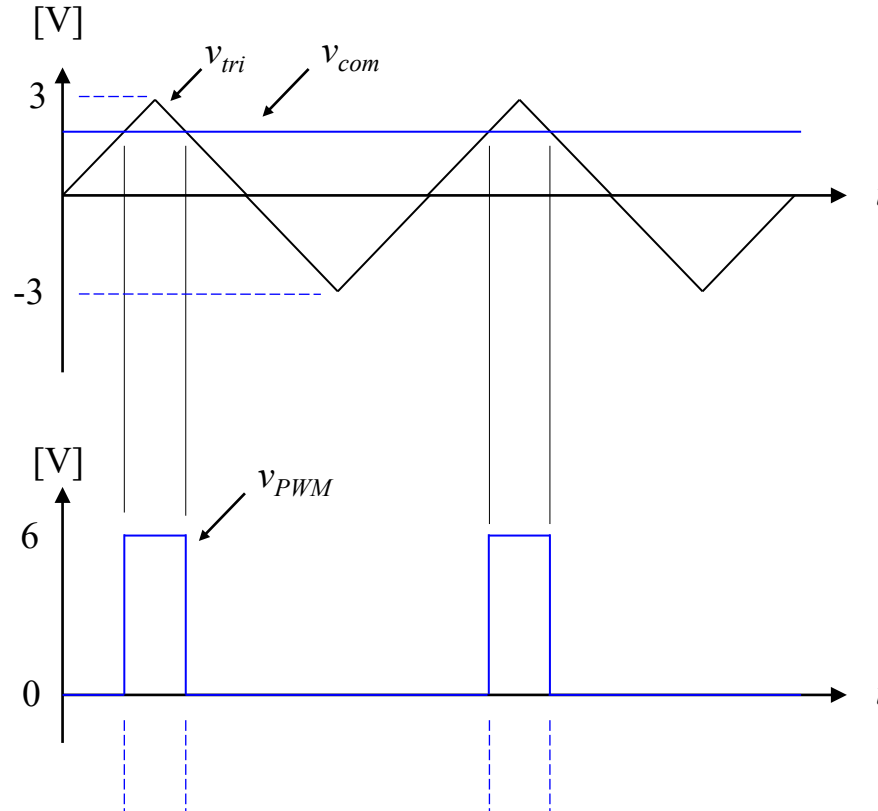
16日の講義には**音響機器**（スマホ、iPOD、Walkmanなど）を持ってきて下さい。以下のイヤフォンプラグが挿入できるタイプです。



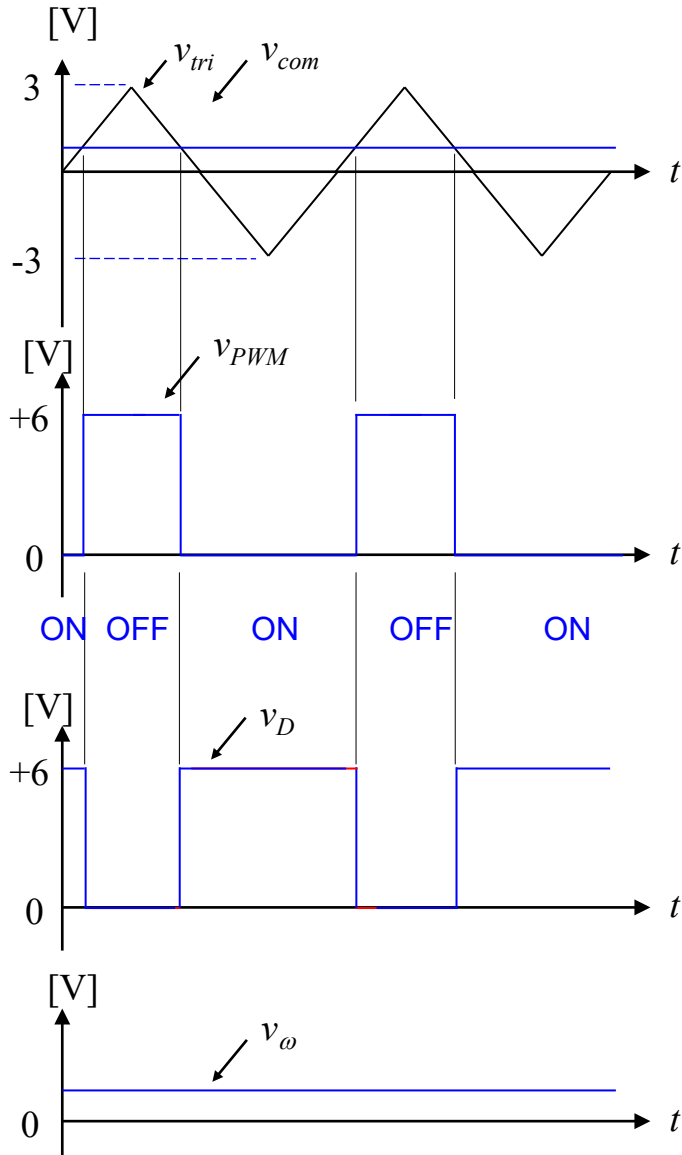
STEP7 レポート課題(1) 解答 つづき

下図はマイコンの中におけるPWM波形生成の仕組みを示す。三角波 v_{tri} と指令電圧 v_{com} の大小関係によりマイコンの出力電圧 v_{PWM} が図示のように決定されている。

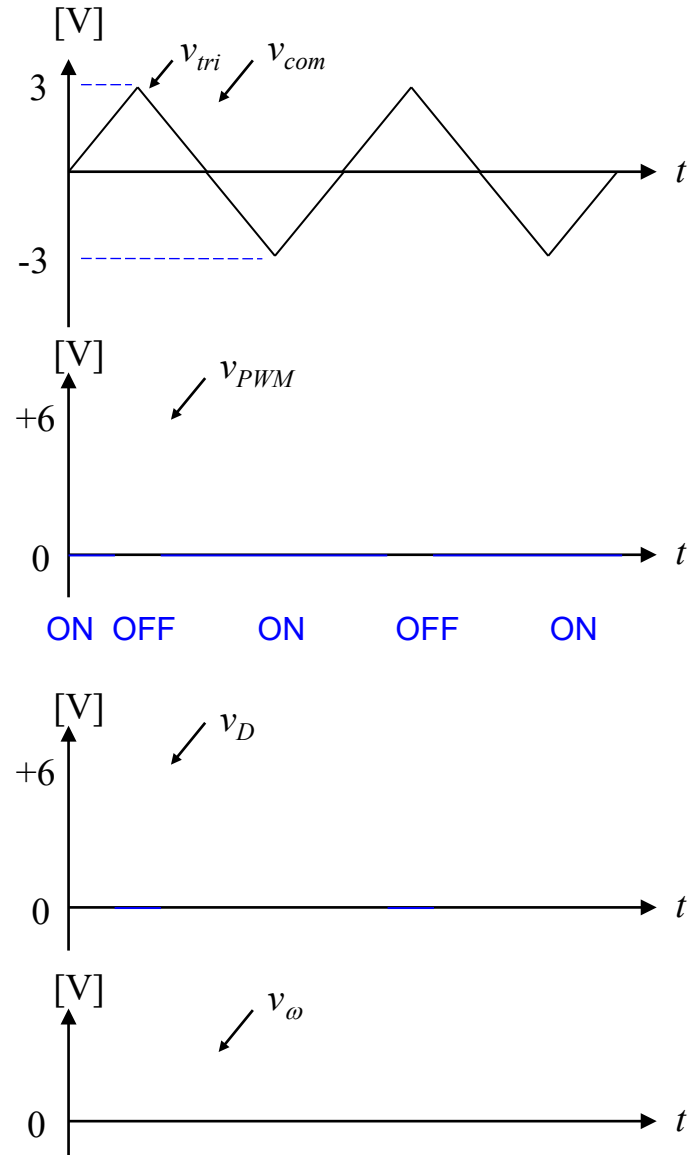
- 電圧指令値 v_{com} と三角波電圧 v_{tri} の大小とトランジスタTrのオン/オフの関係を記せ。
- v_{com} の大小と次の2つの値の大小の関係を記せ。
 - ダイオードの両端電圧 v_D の平均値
 - モータの回転数 v_w



STEP7 レポート課題(1) 解答



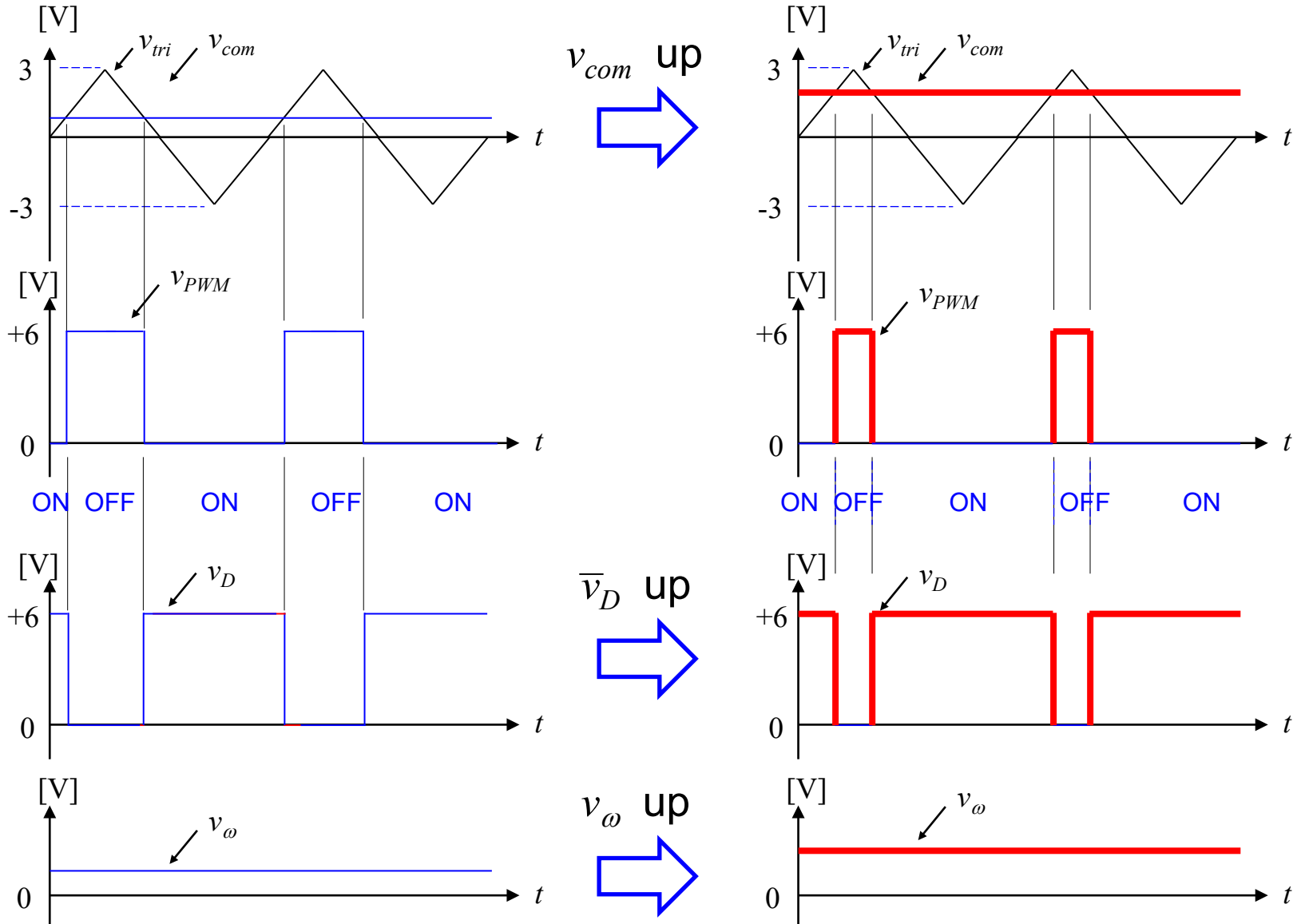
v_{com} up



\bar{v}_D up

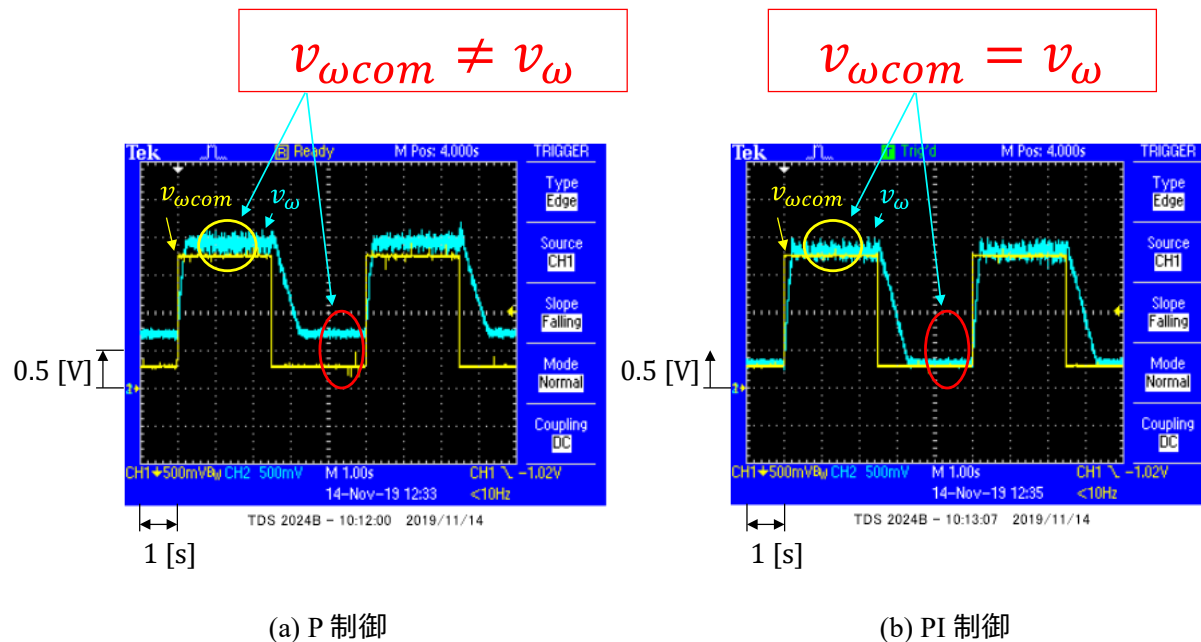
v_{ω} up

STEP7 レポート課題(1) 解答



STEP7 レポート課題(2) 解答

下図のように，P制御は $v_{\omega com} = v_{\omega}$ とできないが，PI制御とできる．この理由を述べよ．



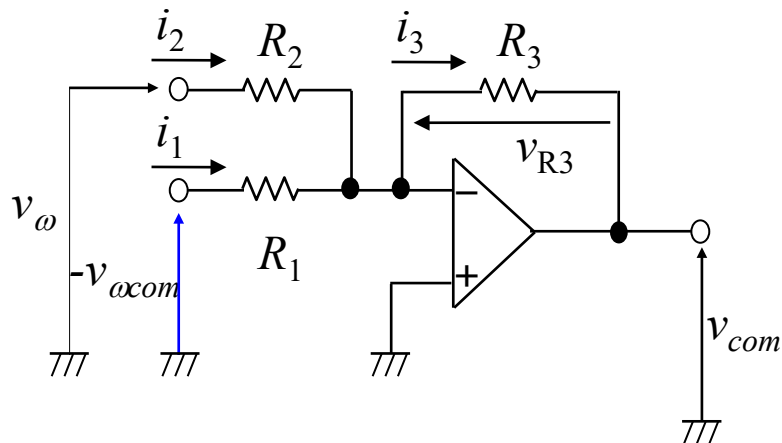
解答に際しては，以下を参考とせよ．

$$\text{P制御: } v_{com} = K_p(v_{\omega com} - v_{\omega})$$

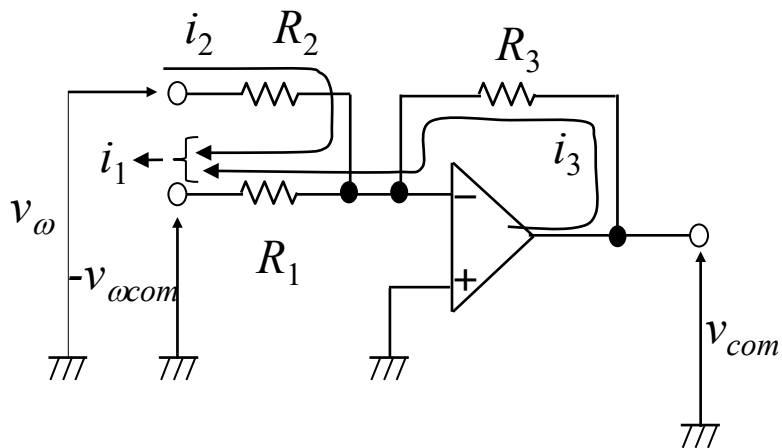
$$\text{PI制御: } v_{com} = K_p(v_{\omega com} - v_{\omega}) + K_I \int (v_{\omega com} - v_{\omega}) dt$$

モータの回転には摩擦が伴う． $v_{\omega com} - v_{\omega} = 0$ のときの v_{com} に着目せよ．

レポート課題(2) 解答



P制御回路



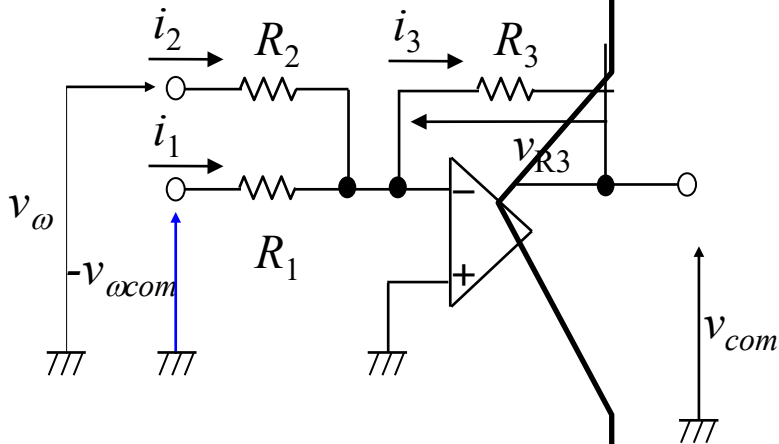
$v_{\omega com}$ と v_{ω} に差があることで i_3 が流れ、 $v_{com} = -v_{R3}$ となる。

$$v_{com} = \frac{R_3}{R_1} (v_{\omega com} - v_{\omega})$$

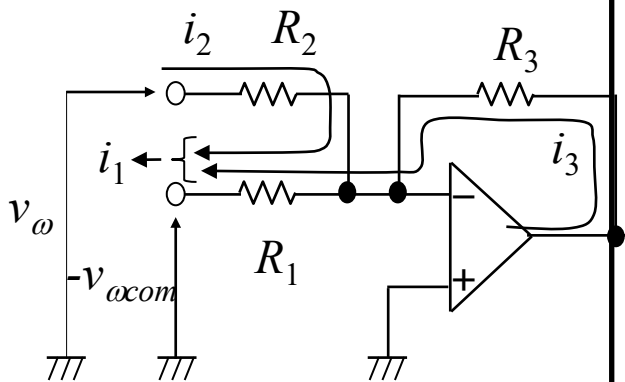
$v_{\omega com} = v_{\omega}$ のとき $v_{com} = 0$ となってしまう。

一方、 $v_{\omega} = v_{\omega com}$ を維持するにはDCモータにその回転数を維持する電圧を掛け続けなければならない。

レポート課題(2) 解答



P制御回路



$$v_{com} = \frac{R_3}{R_1} (v_{\omega com} - v_{\omega})$$

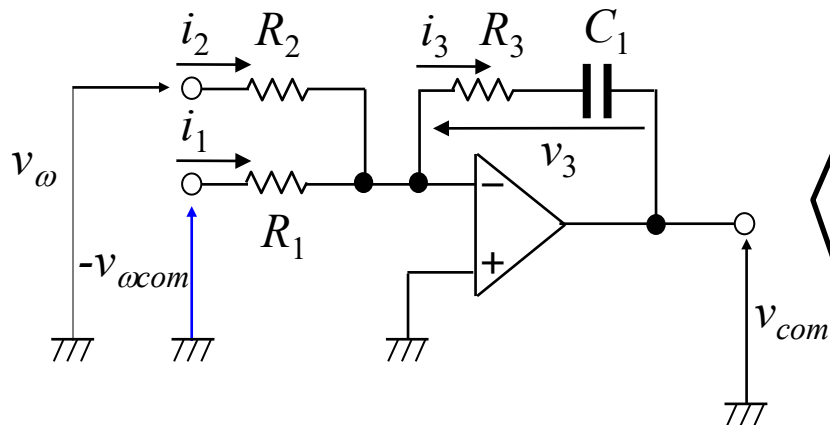
$v_{\omega com} = v_{\omega}$ のとき $v_{com} = 0$ となってしまう.

一方, $v_{\omega} = v_{\omega com}$ を維持するにはDCモータにその回転数を維持する電圧を掛け続けなければ

しかし, $v_{com} = 0$ のとき $\bar{v}_D = V_E/2$ となり, $v_{\omega} = v_{\omega com}$ を維持する電圧ではなくなってしまう.

$v_{\omega ref}$ と v_{ω} に差があることで i_3 が流れ $v_{ref} = -v_{ref}$

レポート課題(2) 解答

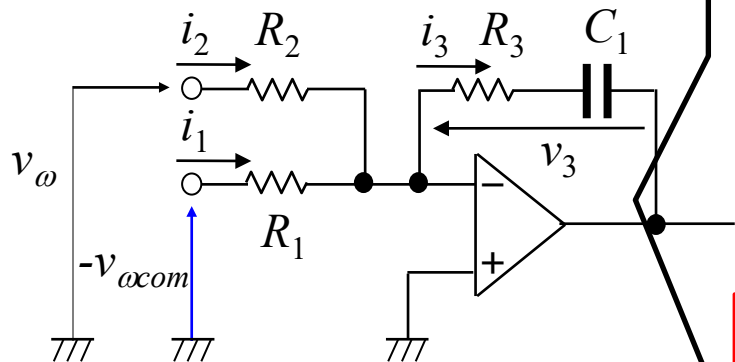


PI制御回路

$$v_{com} = \frac{R_3}{R_1} (v_{\omega com} - v_{\omega}) + \frac{1}{R_1 C_1} \int (v_{\omega com} - v_{\omega}) dt$$

$v_{\omega} = v_{\omega com}$ を維持する電圧 \bar{v}_D を掛け続けることができる。

レポート課題(2) 解答



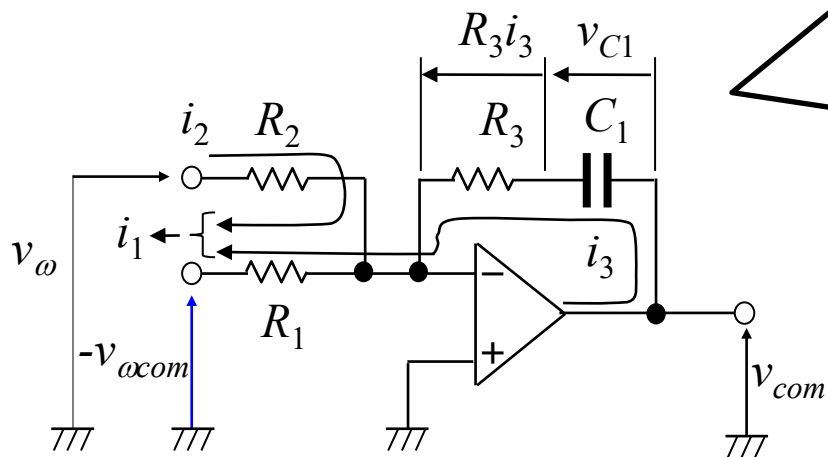
PI制御回路

$$v_{com} = \frac{R_3}{R_1} (v_{\omega com} - v_{\omega}) + \frac{1}{R_1 C_1} \int (v_{\omega com} - v_{\omega}) dt$$

$v_{\omega com} = v_{\omega}$ となっても積分定数があるので $v_{com} \neq 0$ である.

$v_{\omega} = v_{\omega com}$ を維持する電圧 \bar{v}_D を掛け続けることができる.

PI制御回路 (別の説明)

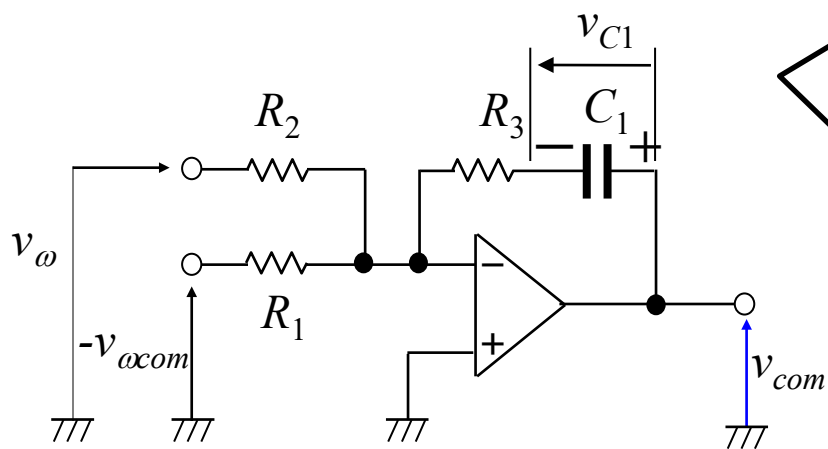


$v_{\omega com}$ と v_{ω} に差があることで i_3 が流れ、コンデンサ C_1 への充電がなされる。

また、

$$v_{com} = -R_3 i_3 - v_{C1}$$

の関係がある。ただし、 v_{C1} はコンデンサ C_1 の両端電圧である。



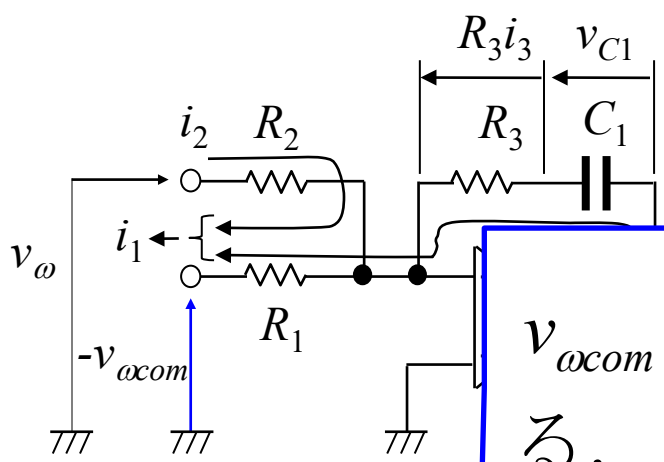
$v_{\omega com} = v_{\omega}$ となり $i_3 = 0$ になると $R_3 i_3 = 0$ となる。一方、それまでに蓄えられた

である。よって

$$v_{com} = -v_{C1} \neq 0$$

となる。

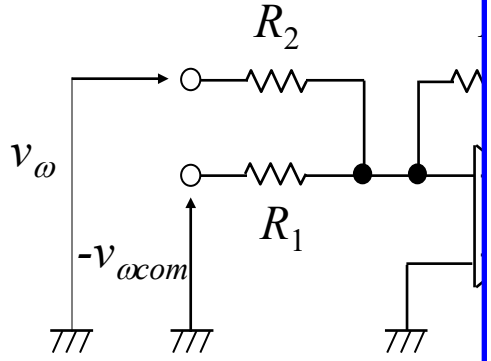
PI制御回路 (別の説明)



$v_{\omega com}$ と v_{ω} に差があることで i_3 が流れ、コンデンサ C_1 への充電がなされる。
また、

$v_{\omega com} = v_{\omega}$ となり $i_3 = 0$ となると $R_3 i_3 = 0$ となる。一方、それまでに蓄えられた

電荷がコンデンサ C_1 に残っているので $v_{C1} \neq 0$

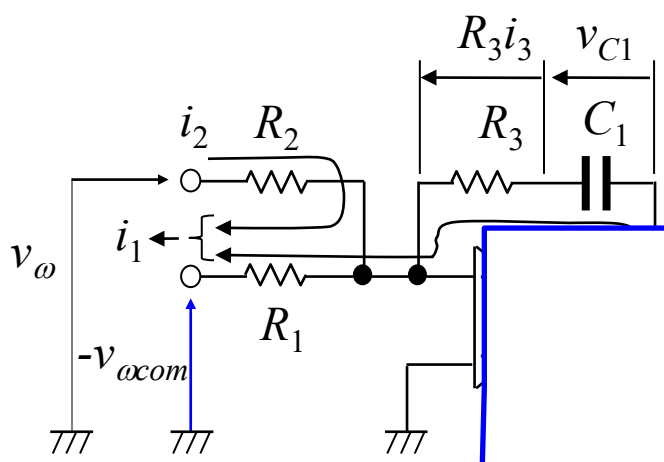


である。よって

$$v_{com} = -v_{C1} \neq 0$$

となる。

PI制御回路 (別の説明)



$v_{\omega com}$ と v_{ω} に差があることで i_3 が流れ、コンデンサ C_1 への充電がなされる。
また、

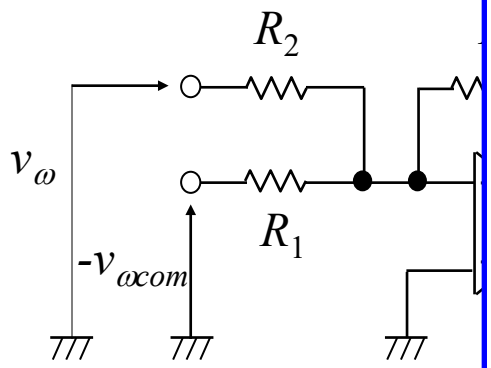
$v_{\omega com} = v_{\omega}$ となり $i_3 = 0$ になると $R_3 i_3 = 0$ となる。一方、それまでに蓄えられた

電荷がコンデンサ C_1 に残っているので $v_{C1} \neq 0$

である。よって

$$v_{com} = -v_{C1} \neq 0$$

となる。



i_3 は $v_{\omega com} = v_{\omega}$ となるまで流れる。

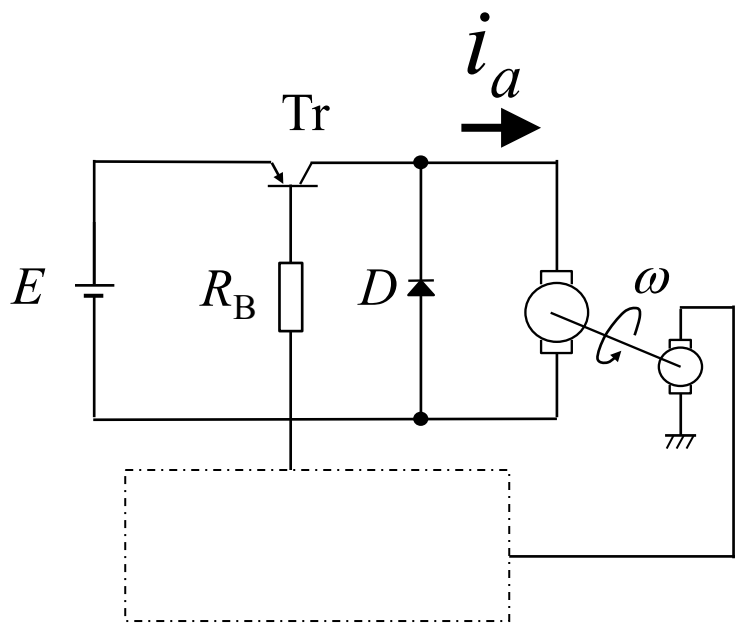


図8.1 降圧チョッパによるDCモータの回転数制御回路

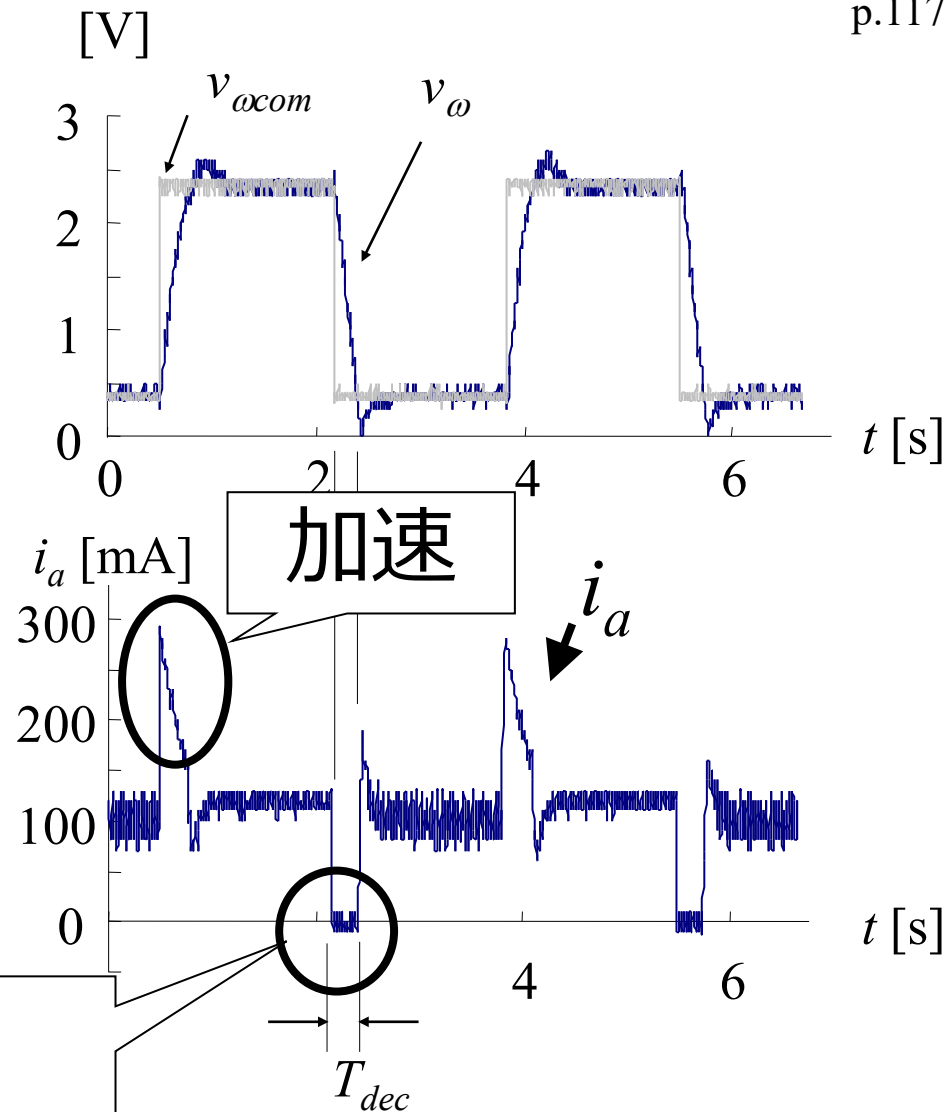


図8.2 モータの回転数制御と電機子電流

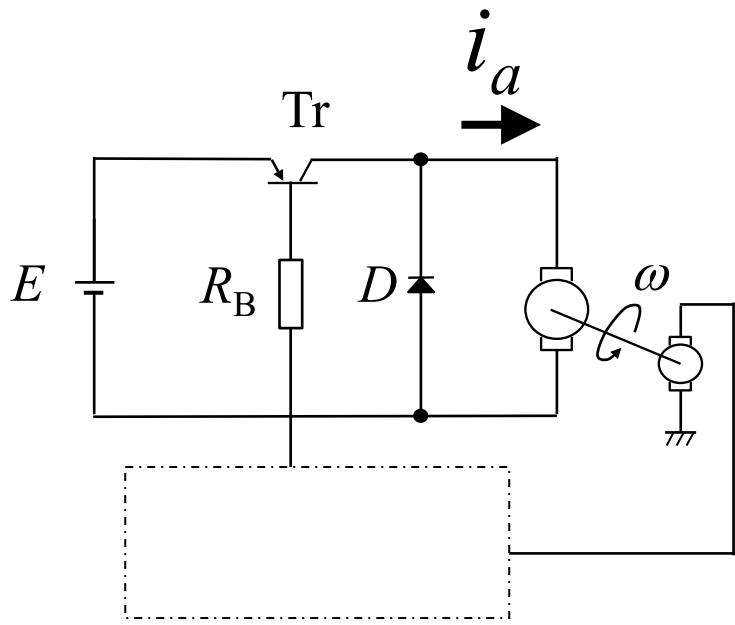
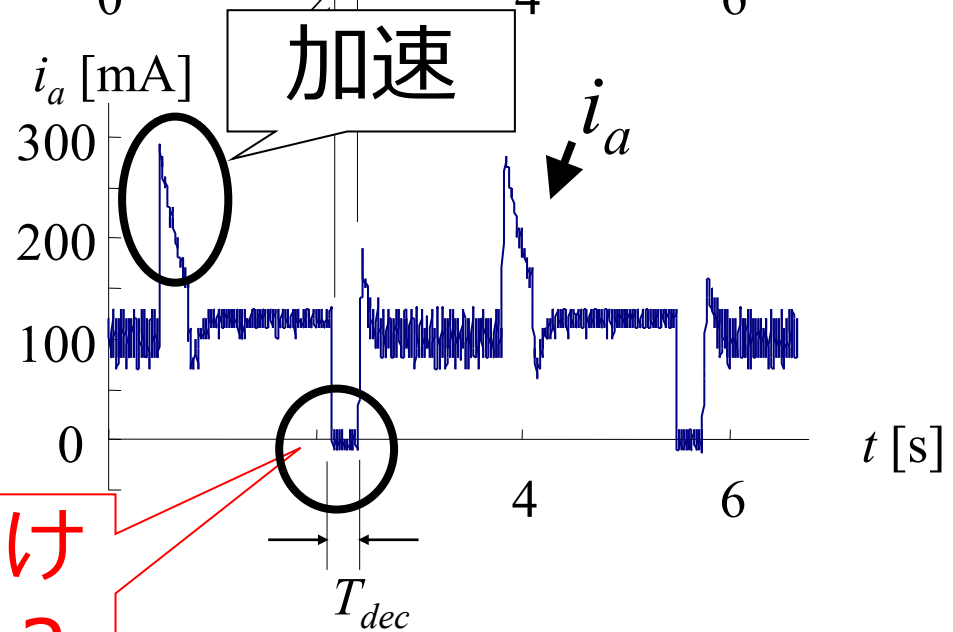
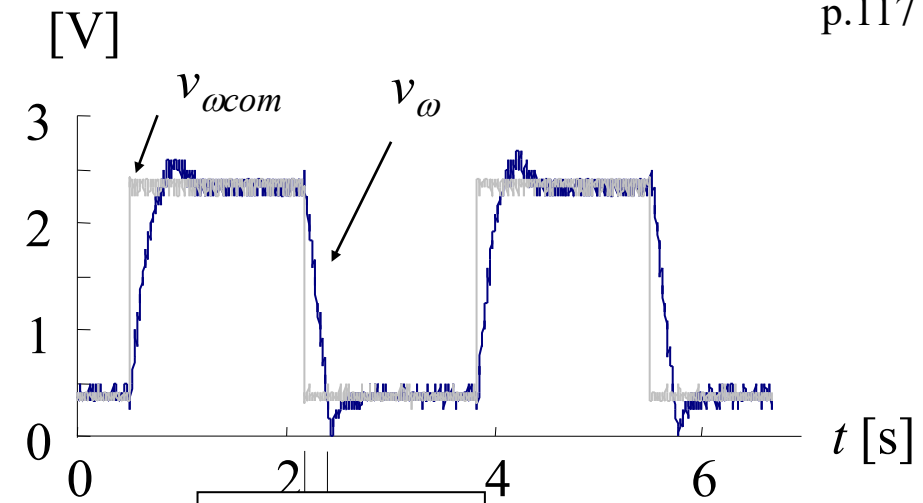
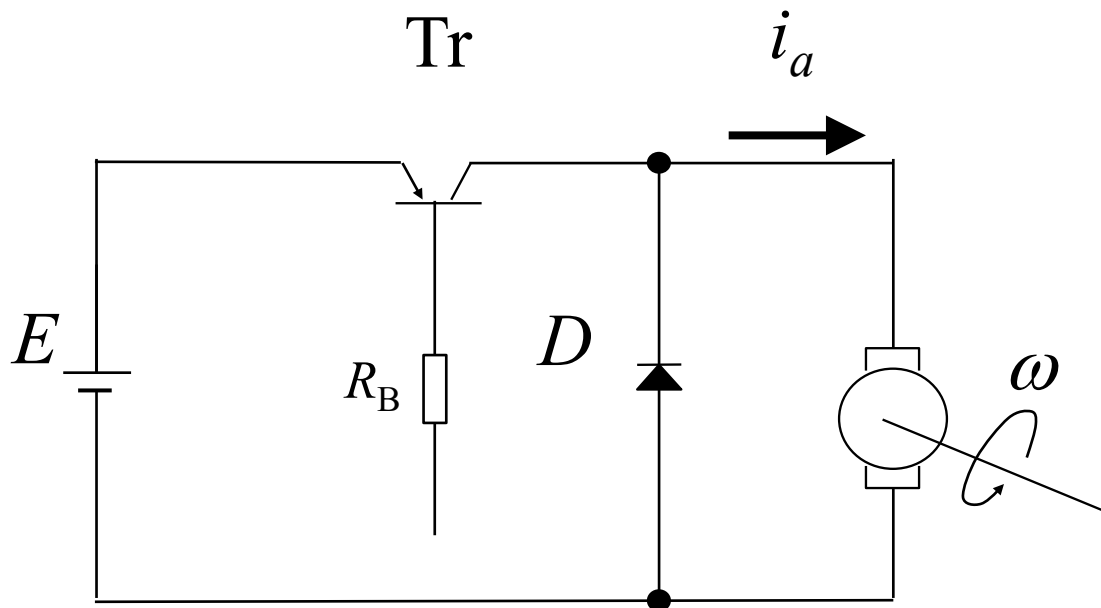


図8.1 降圧チョッパによるDCモータの回転数制御回路



ブレーキはかけられているか？

モータの回転数制御と電機子電流



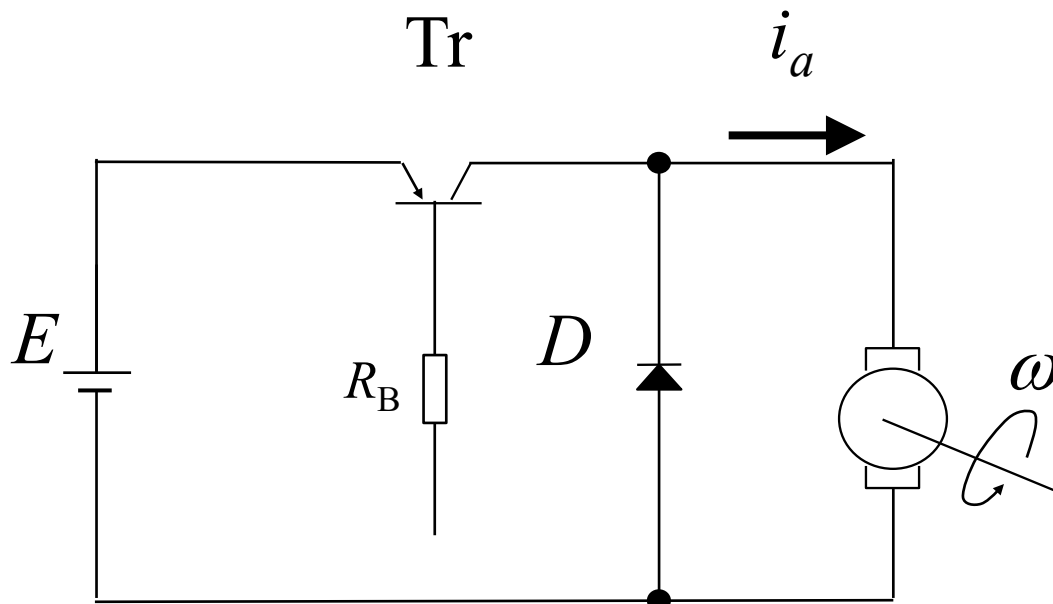
モータにブレーキを掛けるには

$$\tau =$$

であるので、

としなければならない。

図8.1 降圧チョッパによるDCモータの回転数制御回路



モータにブレーキを掛けるには

$$\tau = K_\tau i_a \quad (7.12)$$

であるので、

$$i_a < 0$$

としなければならない。

図8.1 降圧チョッパによるDCモータの回転数制御回路

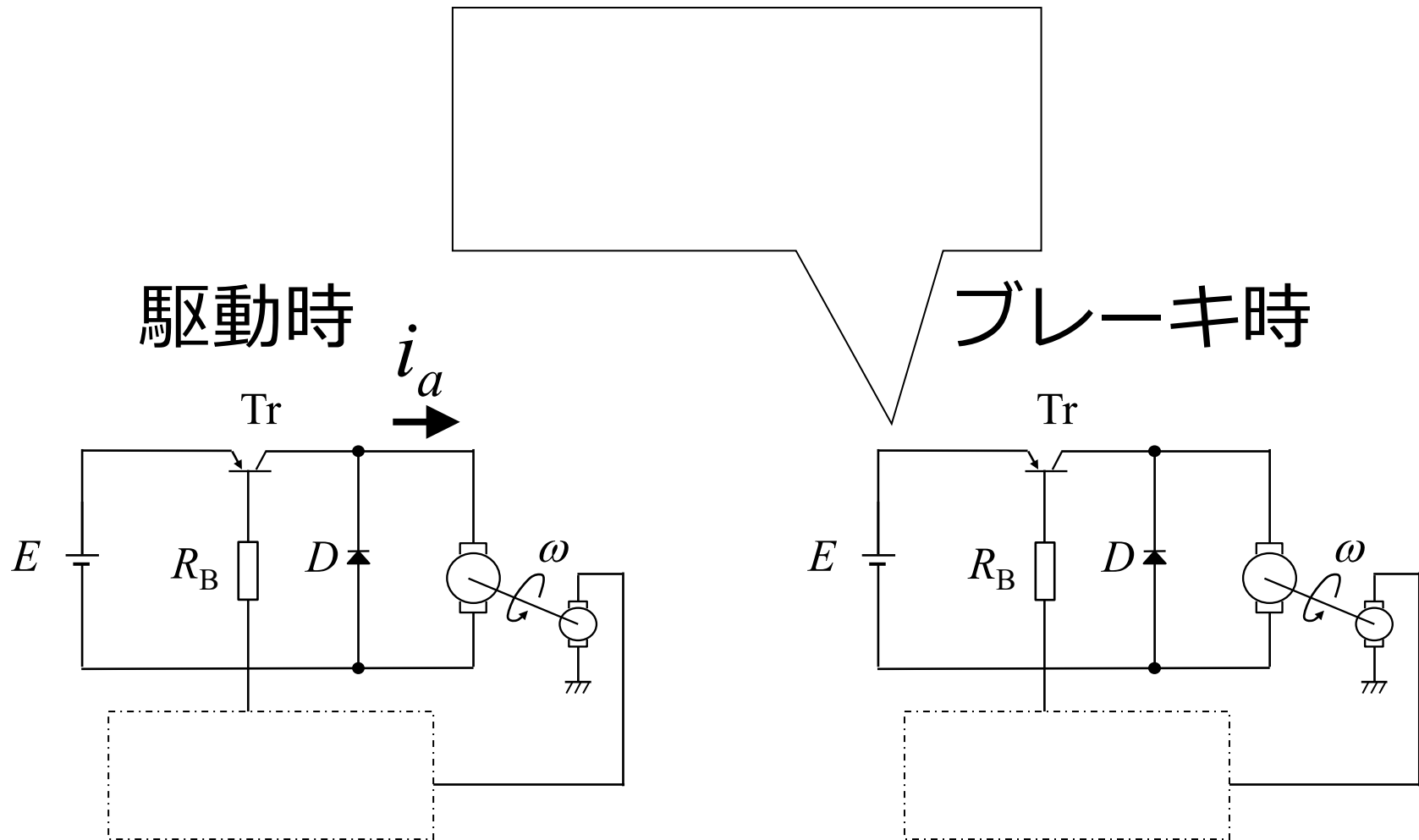
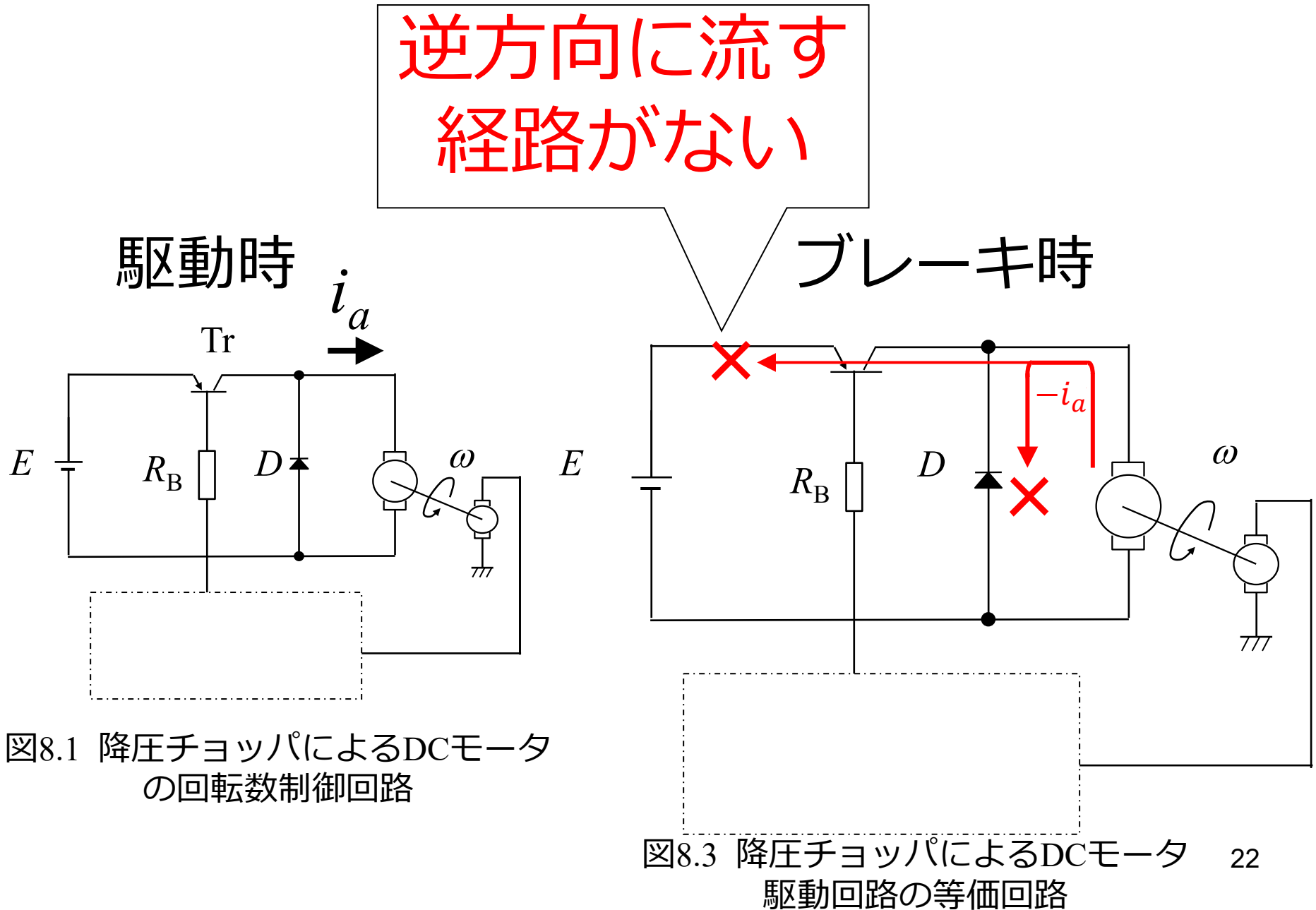
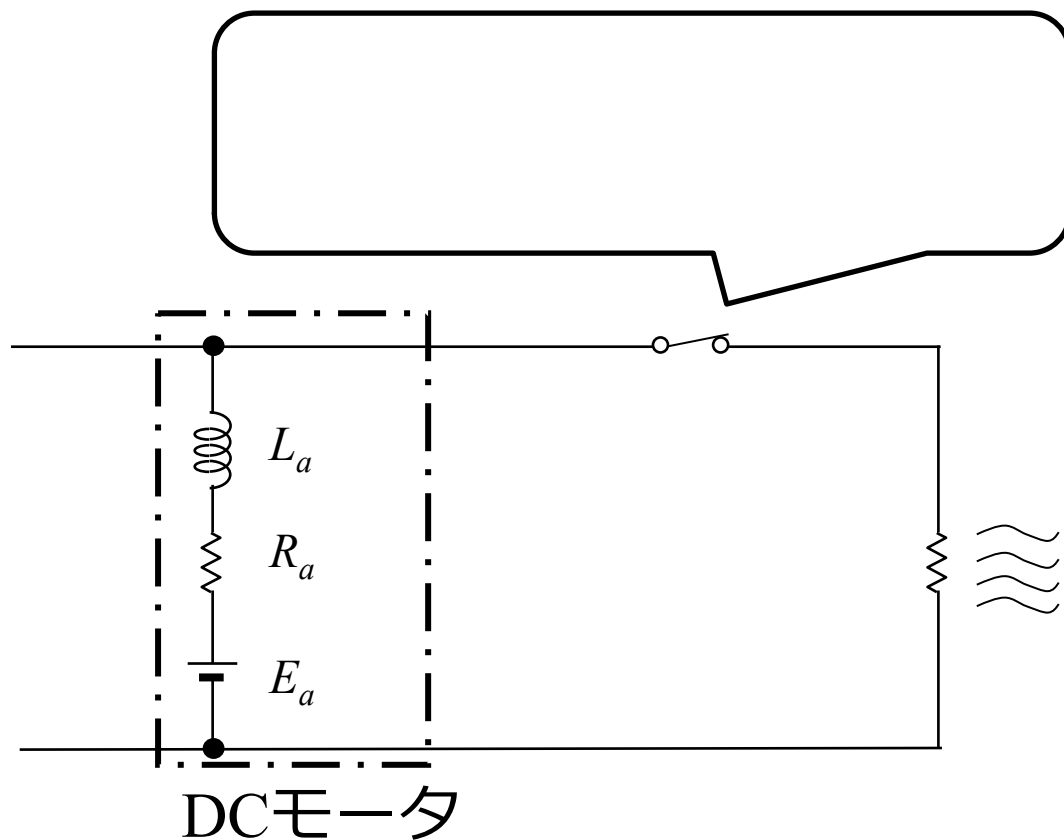


図8.1 降圧チョッパによるDCモータ
の回転数制御回路

図8.3 降圧チョッパによるDCモータ
駆動回路の等価回路



昔の（東山線の全身黄色の）電車は



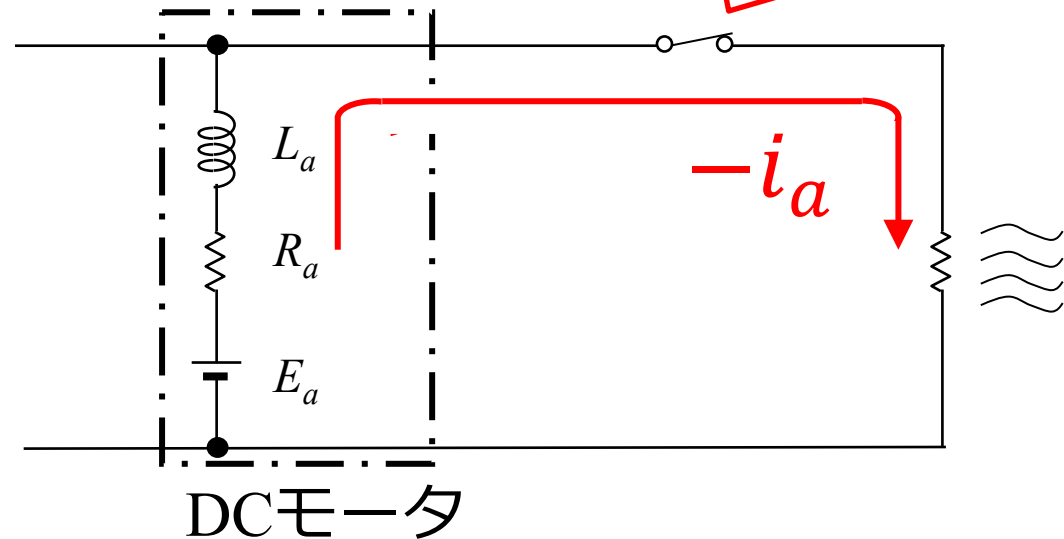
運動エネルギー ➡ 電気エネルギー ➡ 熱エネルギー

昔の（東山線の全身黄色の）電車は

ブレーキを掛けるときにスイッチオン



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8d/Nagoya_City_Tram_%26_Subway_Museum_10.JPG



運動エネルギー ➡ 電気エネルギー ➡ 熱エネルギー

現代のチョッパ電車では

であることに注意

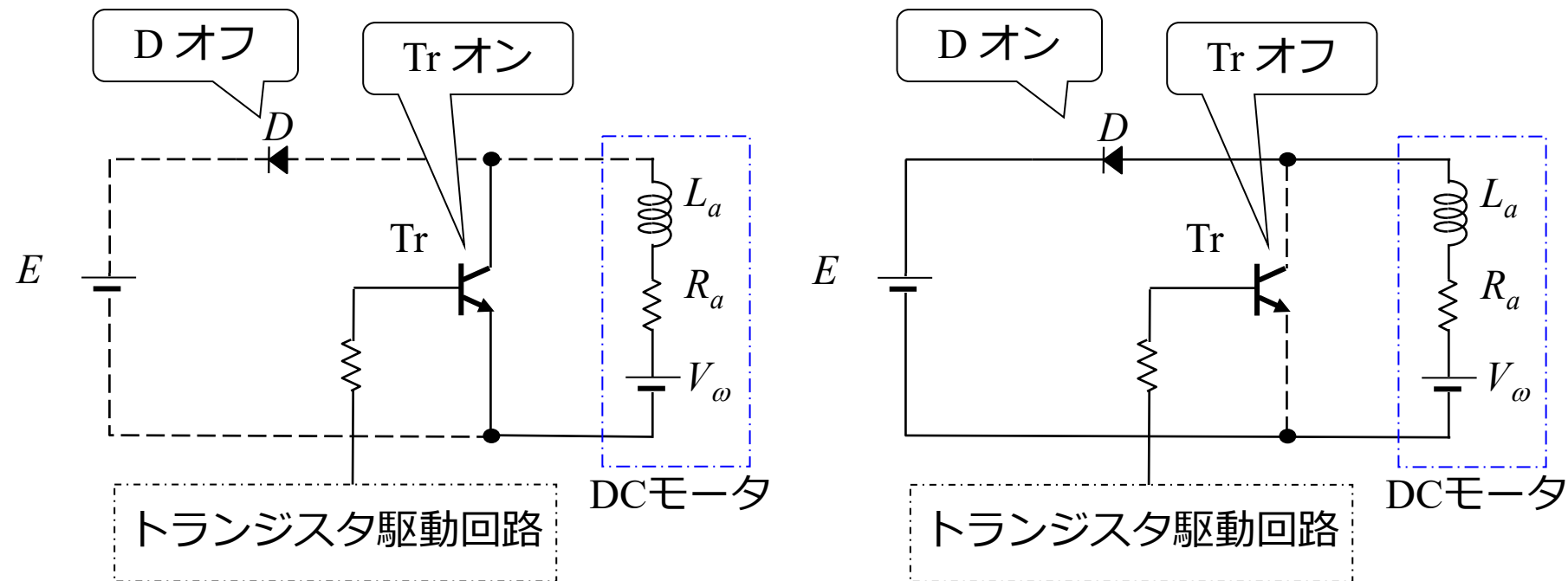


図8.4 昇圧チョッパ回路によるブレーキの原理

現代のチョッパ電車では

$V_E > V_\omega$ であることに注意

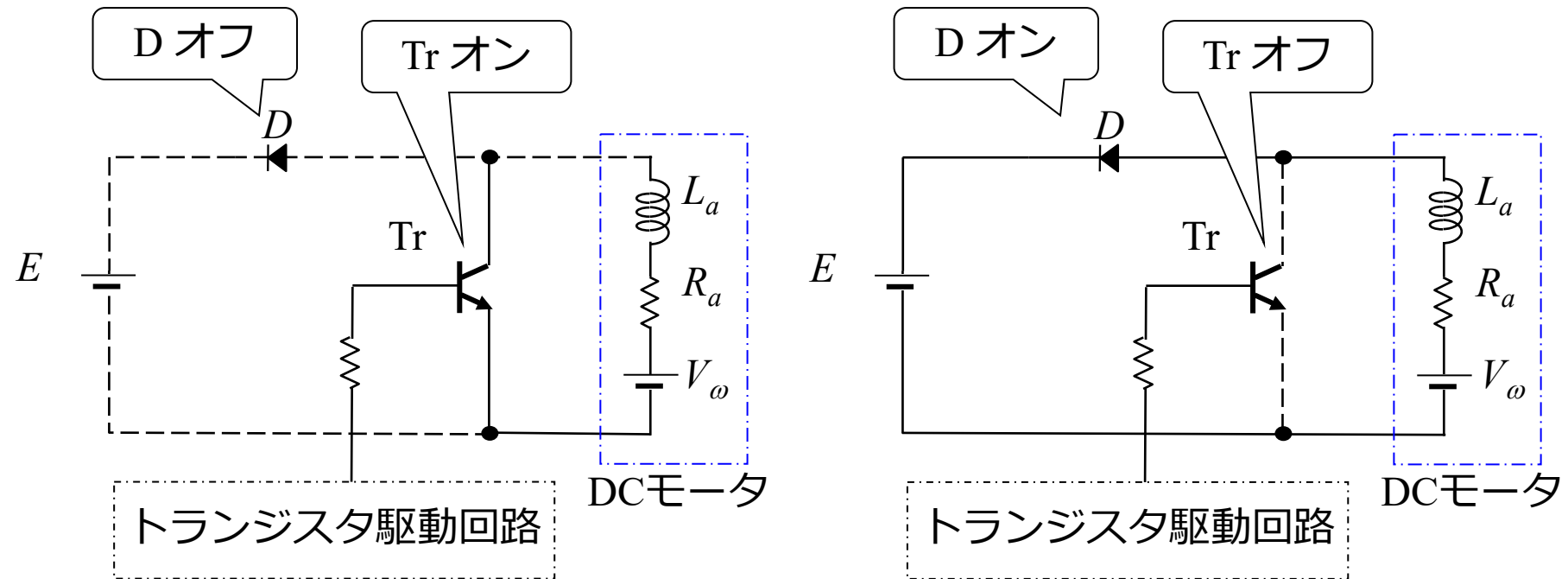


図8.4 昇圧チョッパ回路によるブレーキの原理

現代のチョッパ電車では

$V_E > V_\omega$ であることに注意

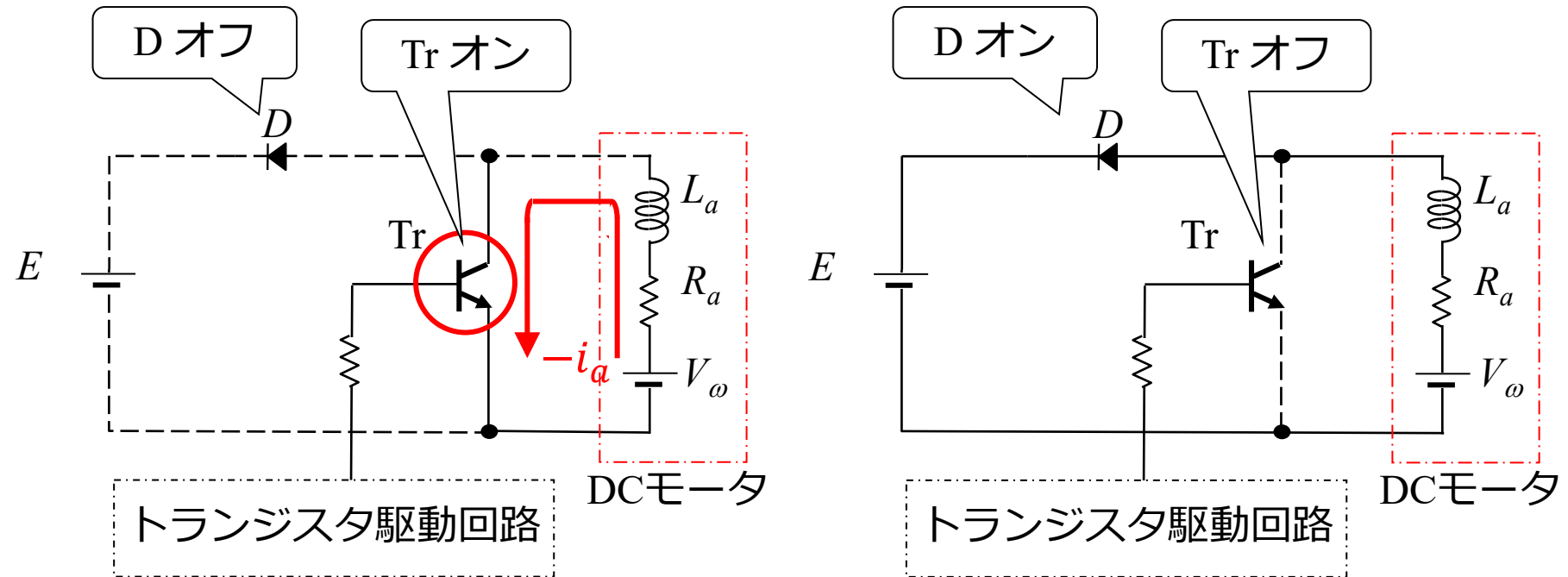


図8.4 昇圧チョッパ回路によるブレーキの原理

現代のチョッパ電車では

$V_E > V_\omega$ であることに注意

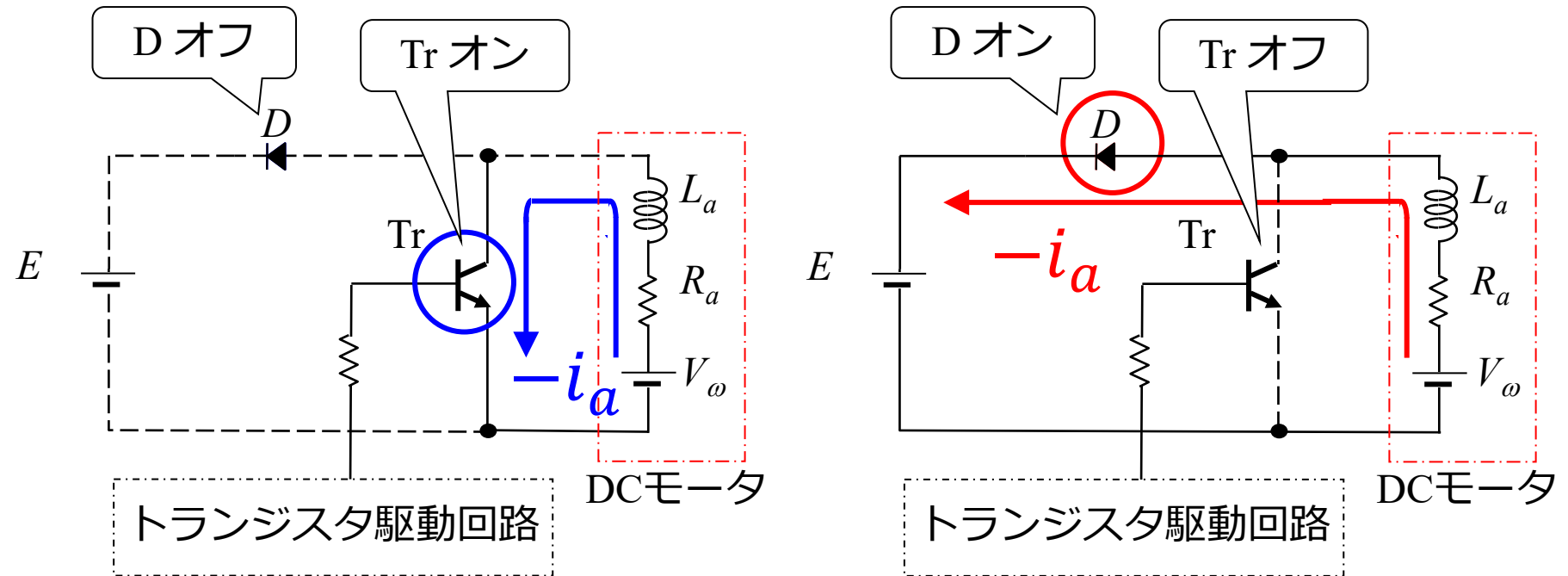
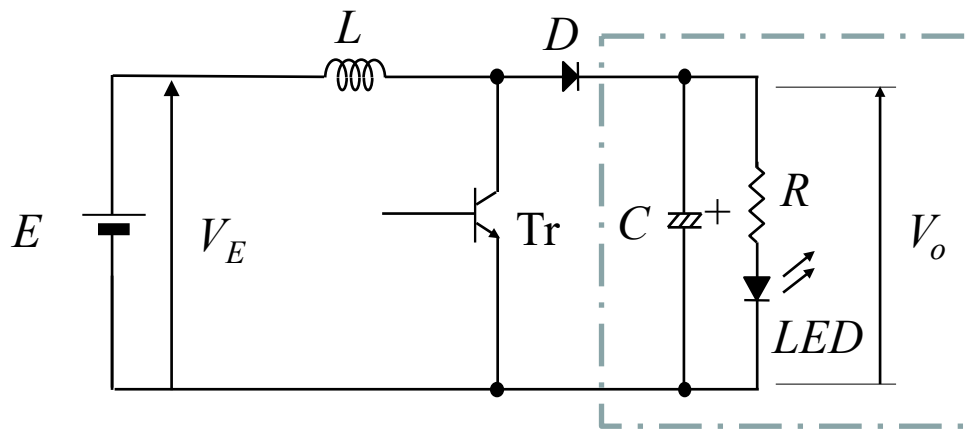


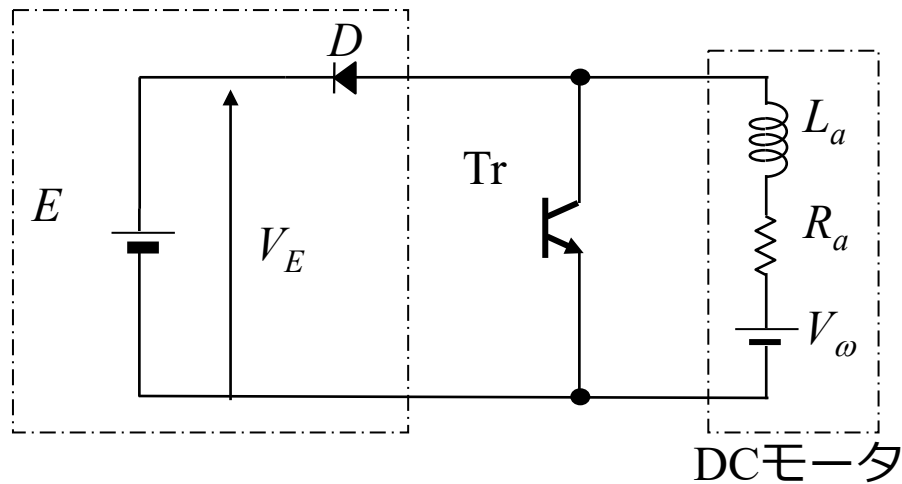
図8.4 昇圧チョッパ回路によるブレーキの原理



昇圧チョッパ回路



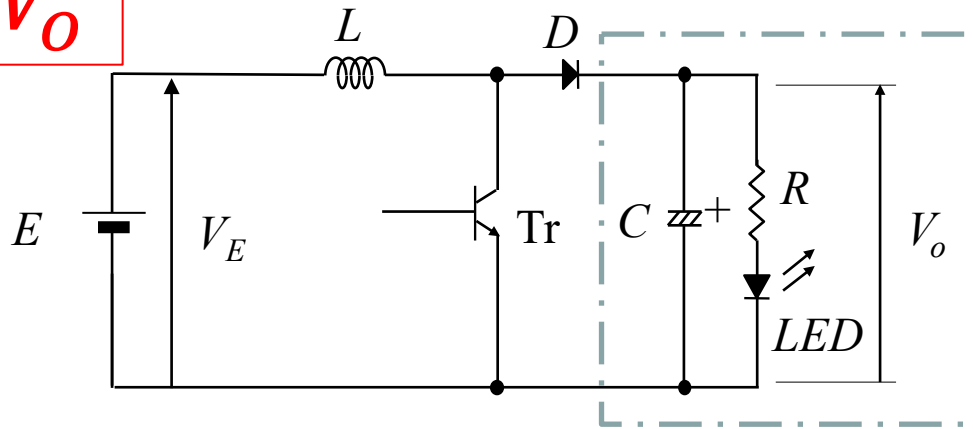
電源と出力が
入れ替わる.



DCモータ

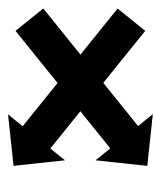
DCモータにブレーキを掛ける回路

$$V_E < V_O$$

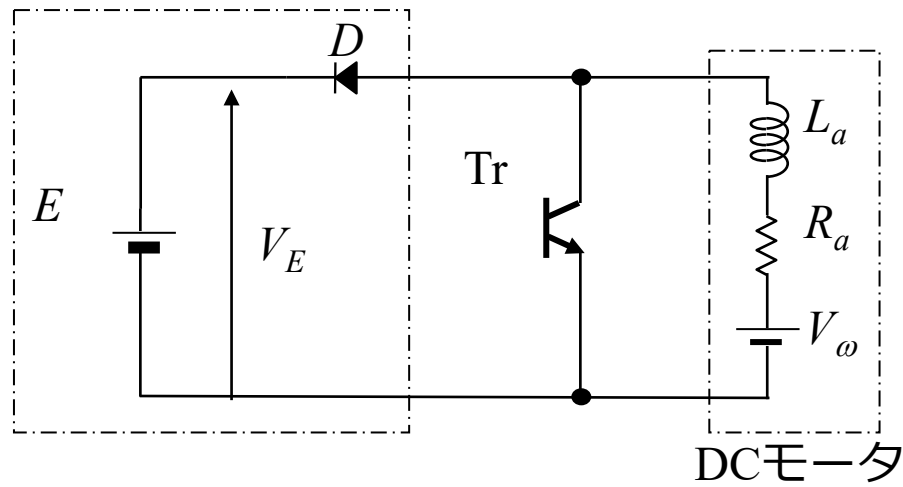


昇圧チョッパ回路

$$V_E > V_\omega$$



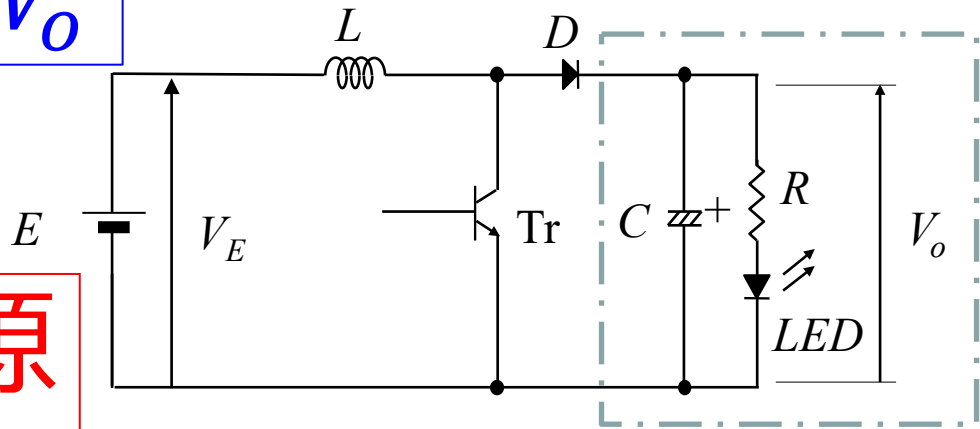
電源と出力が
入れ替わる.



DCモータにブレーキを掛ける回路

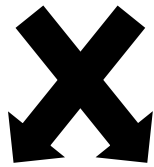
$$V_E < V_O$$

電源

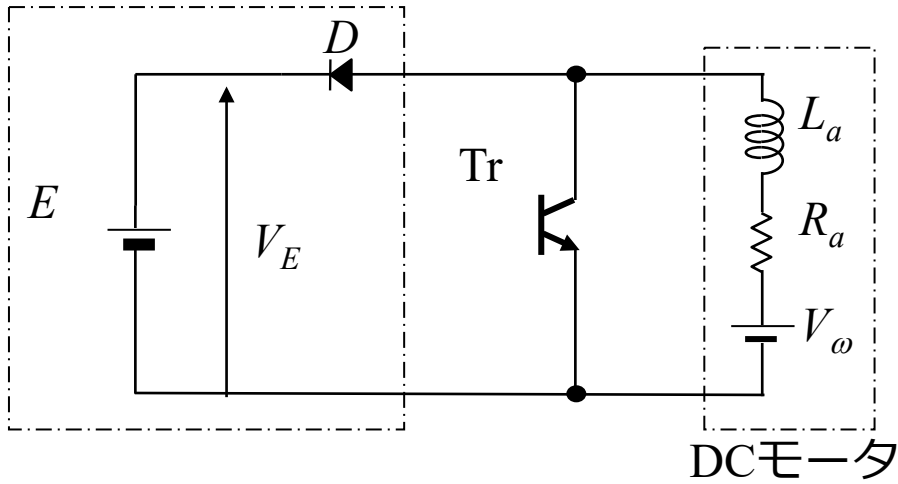


昇圧チョッパ回路 出力

$$V_E > V_\omega$$



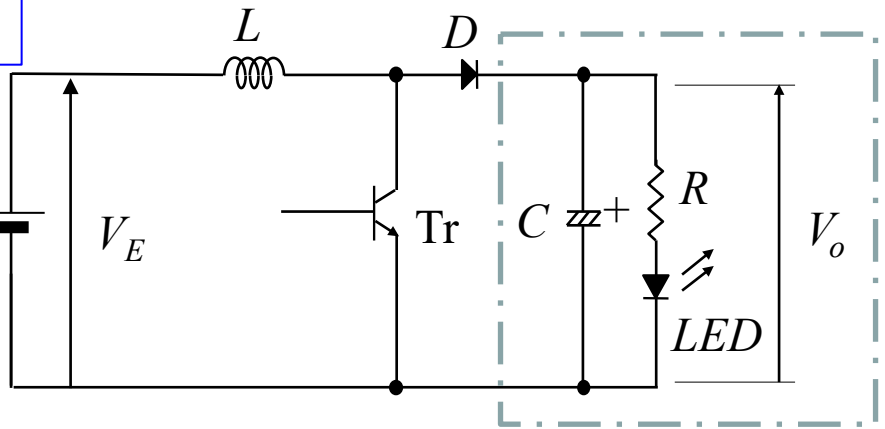
電源と出力が入れ替わる.



DCモータにブレーキを掛ける回路

$$V_E < V_O$$

電源



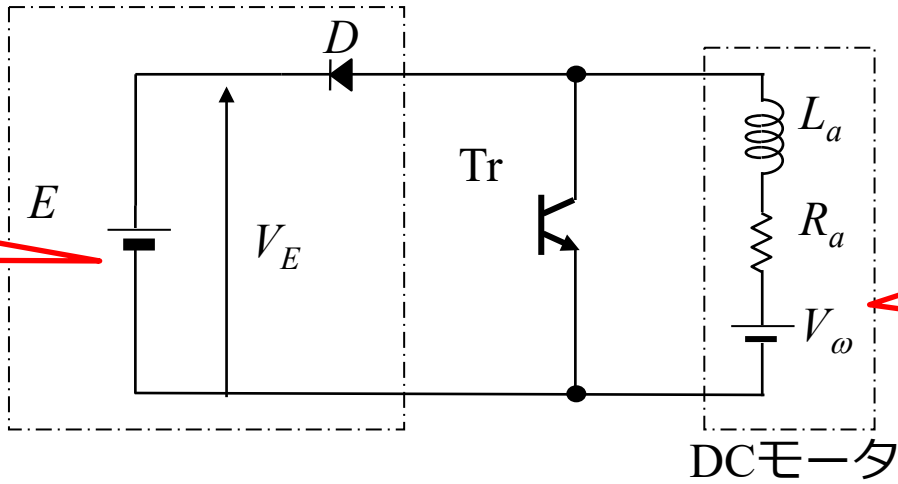
昇圧チョッパ回路 出力

$$V_E > V_\omega$$



電源と出力が入れ替わる.

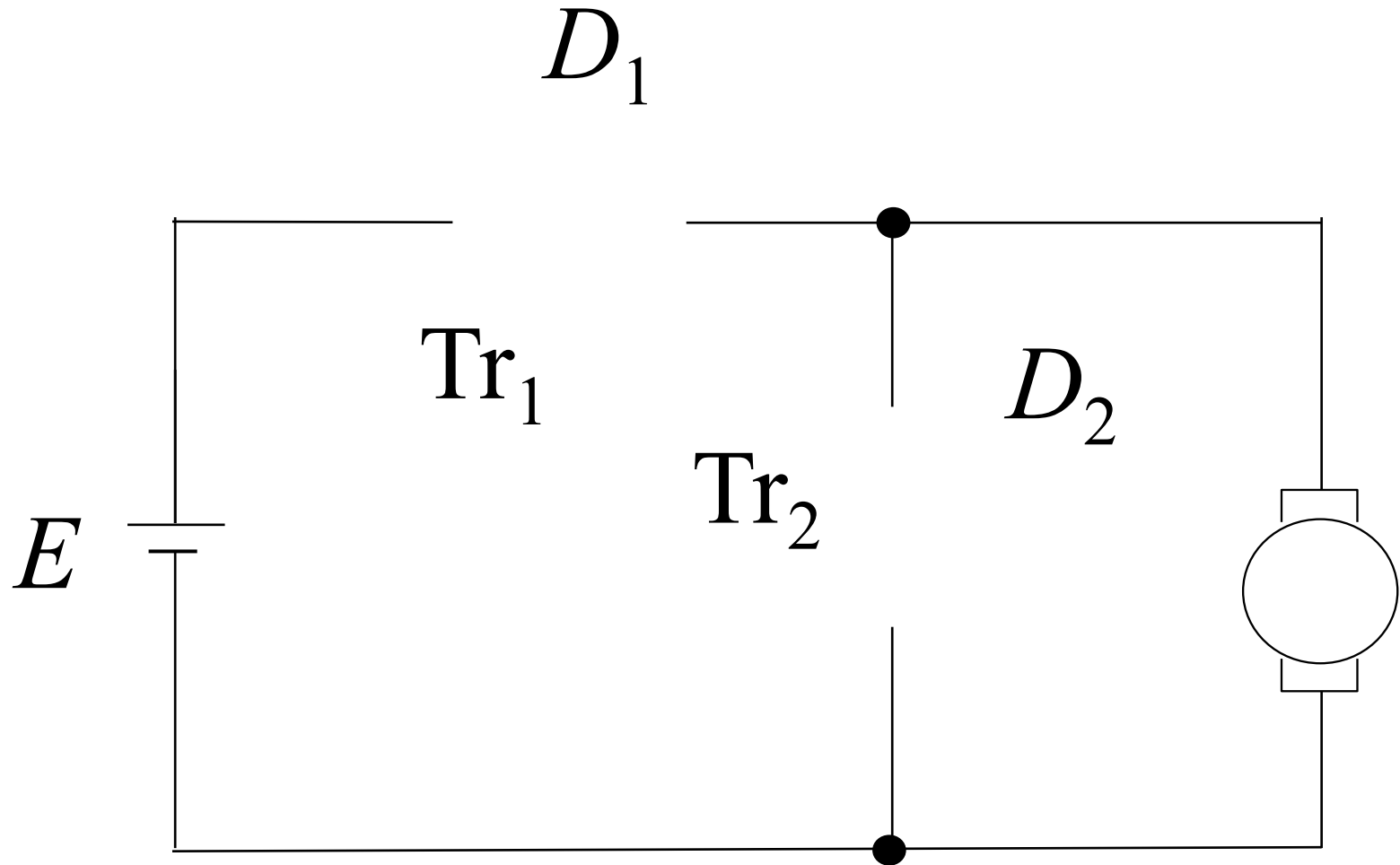
出力



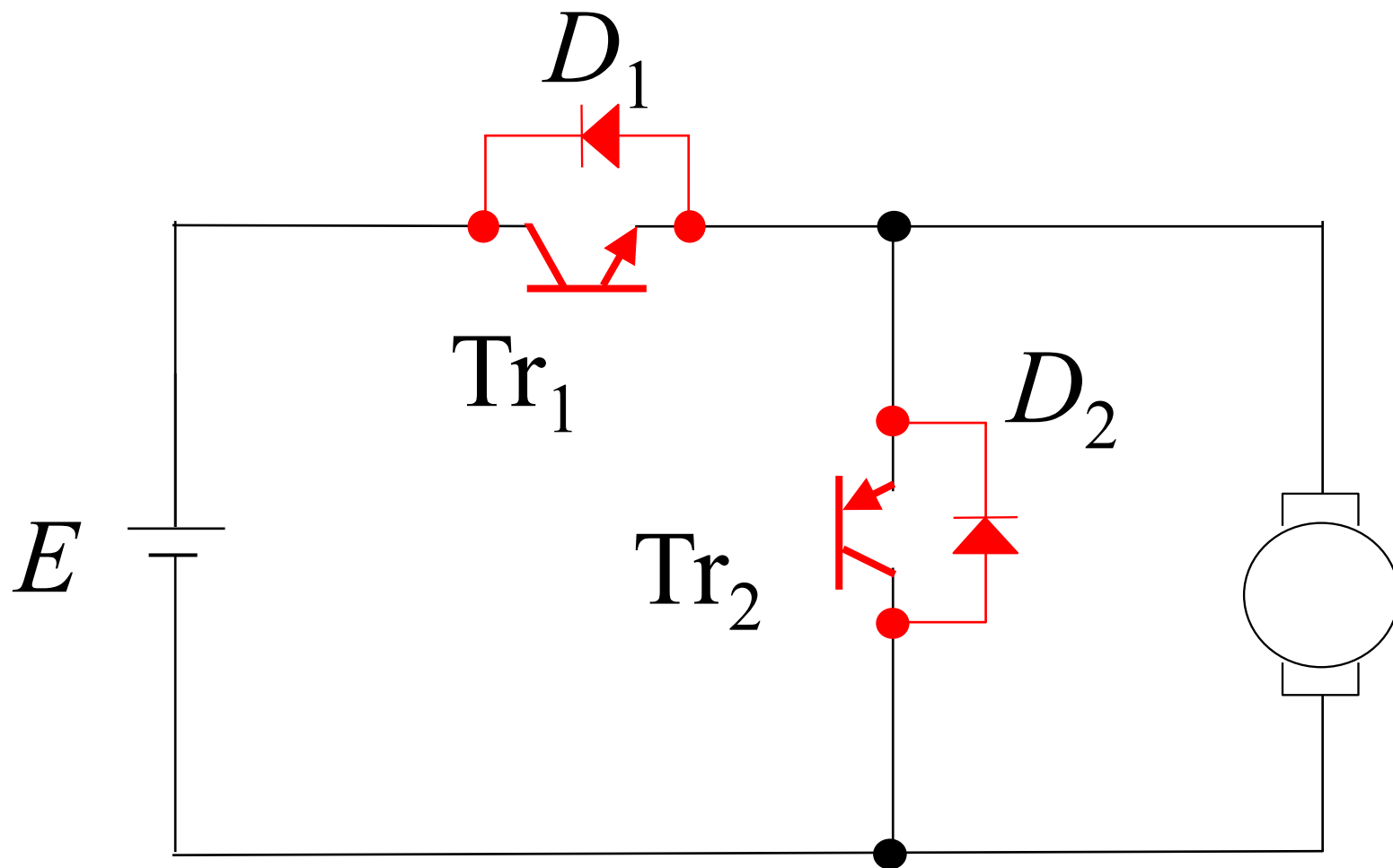
電源

DCモータにブレーキを掛ける回路

昇圧チョッパと降圧チョッパの共存

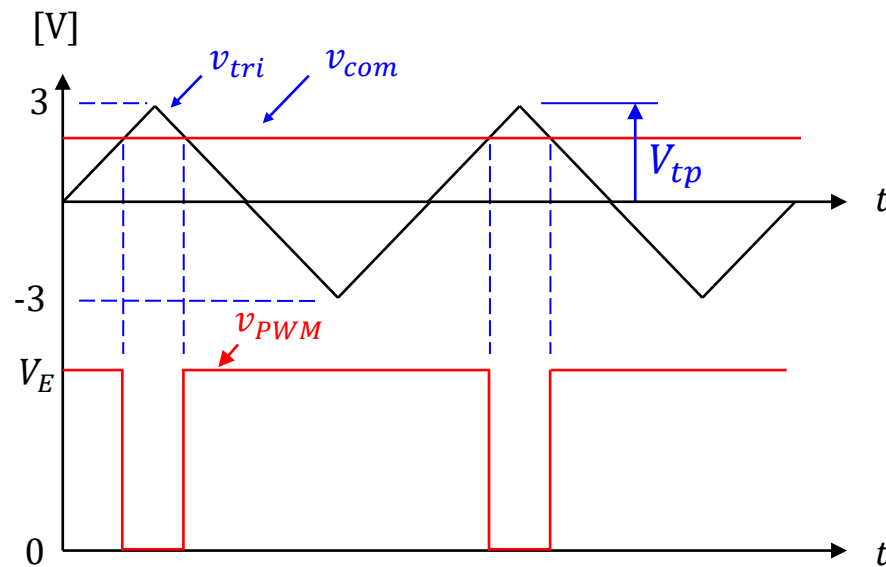


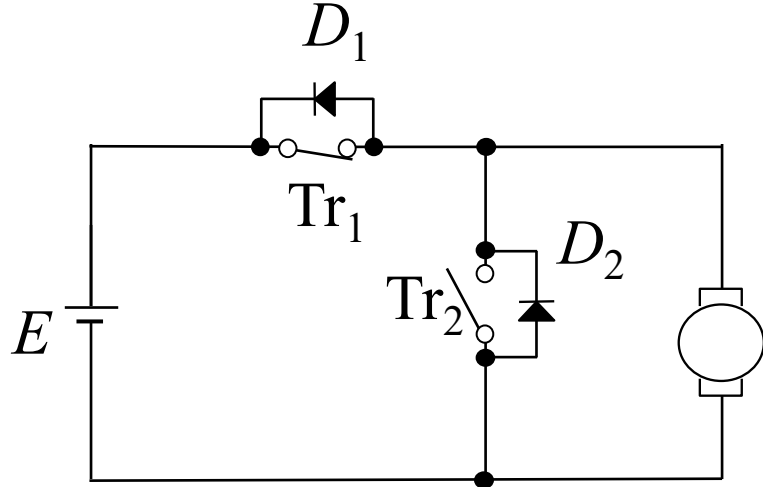
昇圧チョッパと降圧チョッパの共存



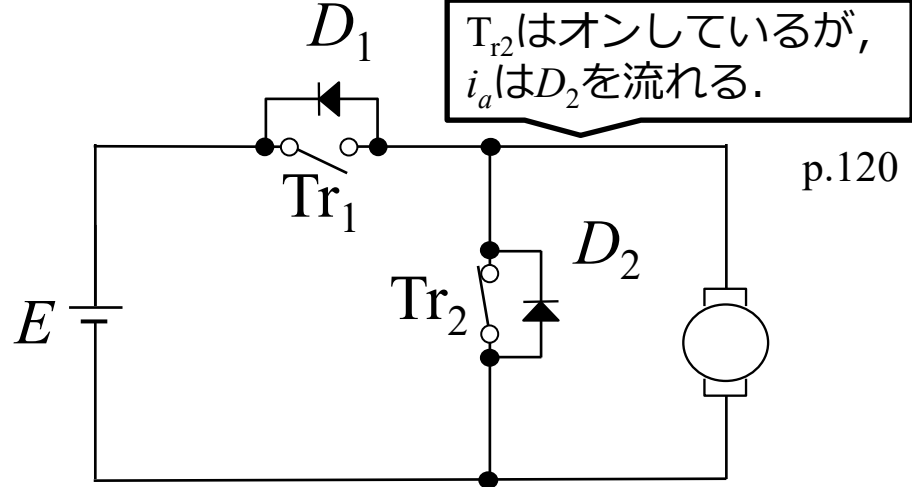
PWM制御法

If $v_{com} \geq v_{tri}$ Then Tr_1 :オン, Tr_2 :オフ
If $v_{com} < v_{tri}$ Then Tr_1 :オフ, Tr_2 :オン



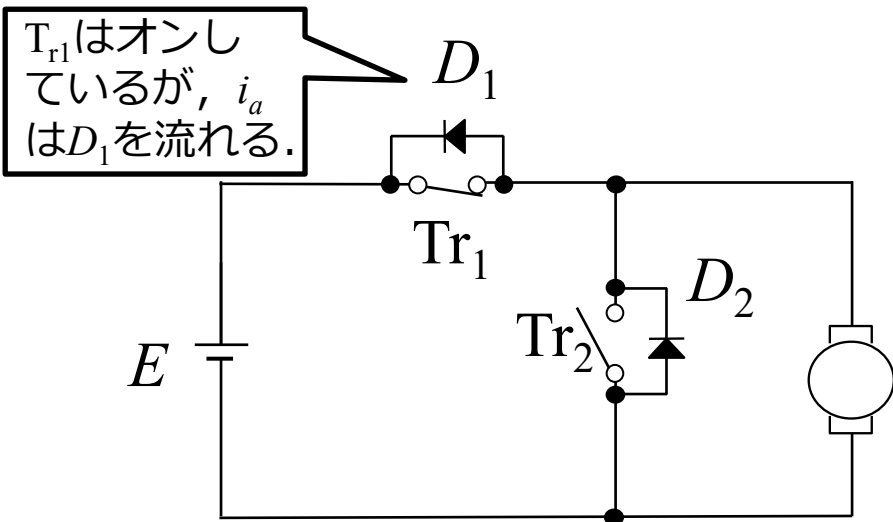


(a) $i_a > 0$, Tr_1 : オン, Tr_2 : オフ

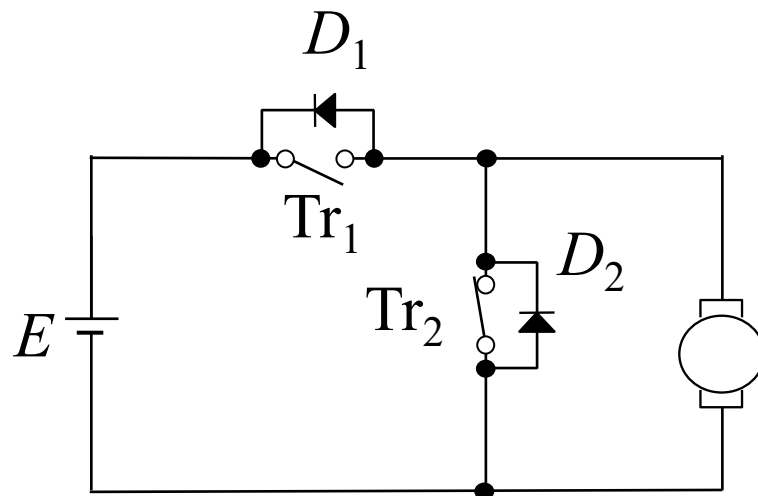


p.120

(b) $i_a > 0$, Tr_1 : オフ, Tr_2 : オン

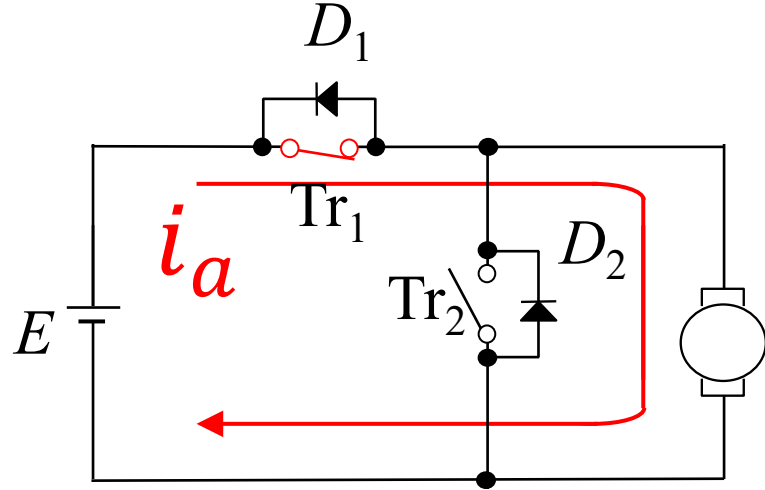


(c) $i_a < 0$, Tr_1 : オン, Tr_2 : オフ

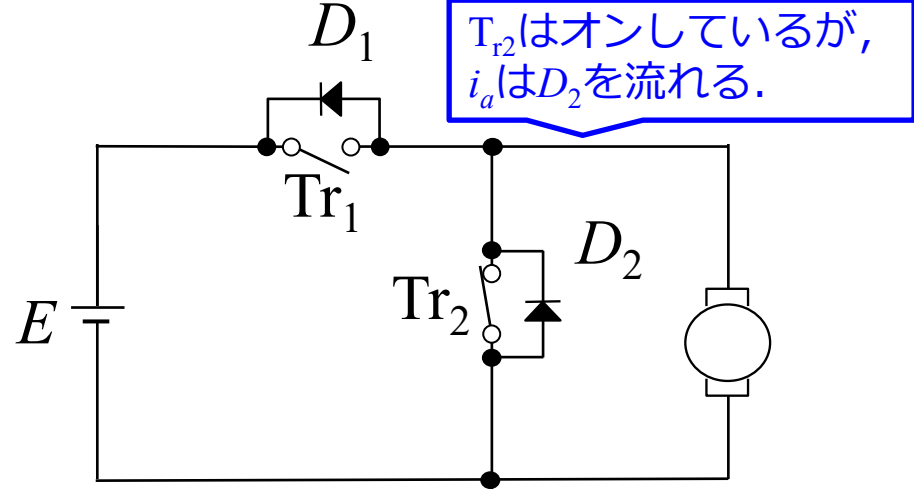


(d) $i_a < 0$, Tr_1 : オフ, Tr_2 : オン

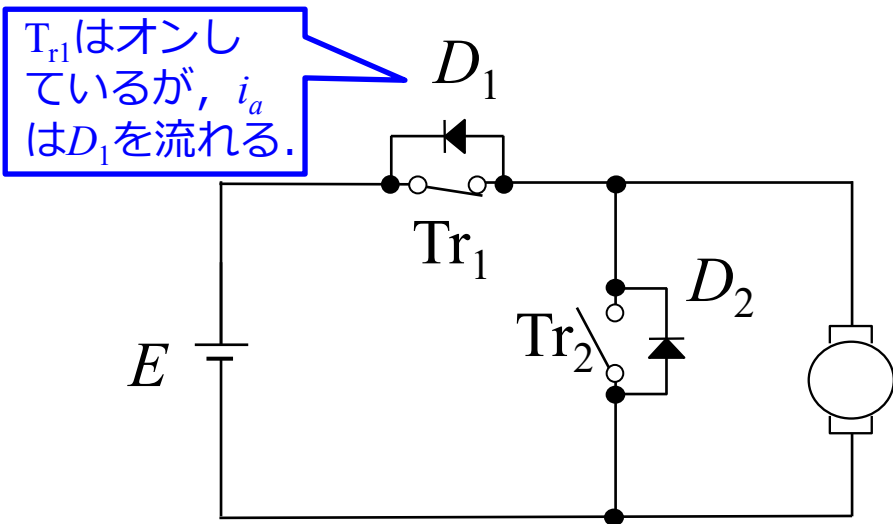
図8.6 トランジスタのオン/オフと動作モード



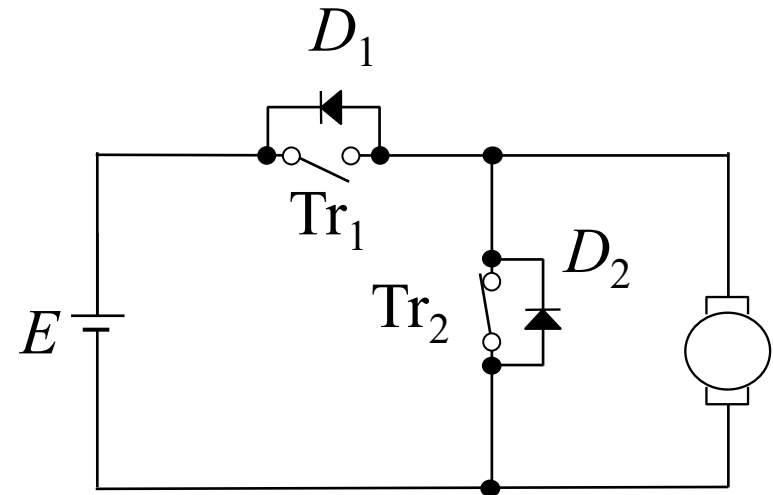
(a) $i_a > 0$, Tr₁: オン, Tr₂: オフ



(b) $i_a > 0$, Tr₁: オフ, Tr₂: オン

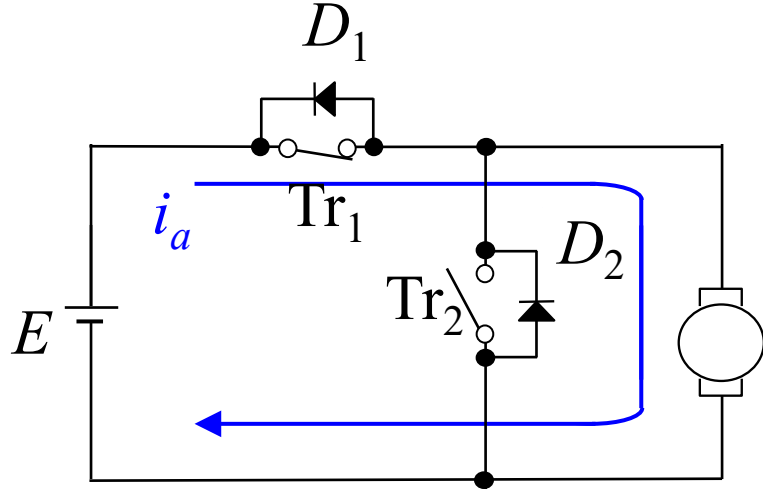


(c) $i_a < 0$, Tr₁: オン, Tr₂: オフ

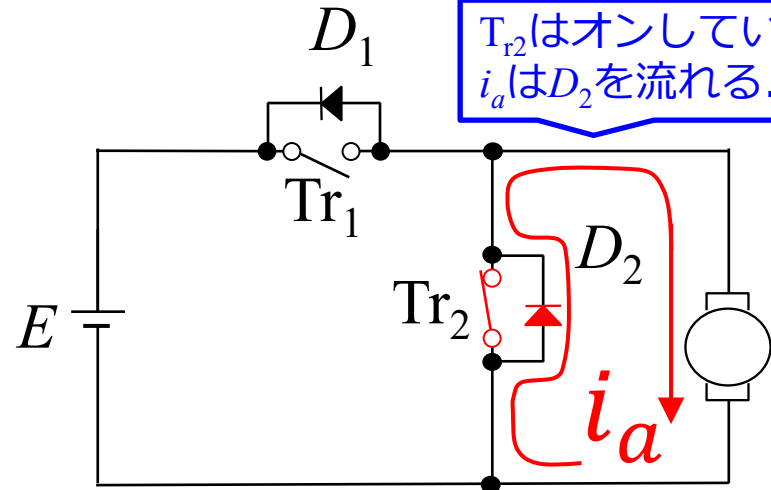


(d) $i_a < 0$, Tr₁: オフ, Tr₂: オン

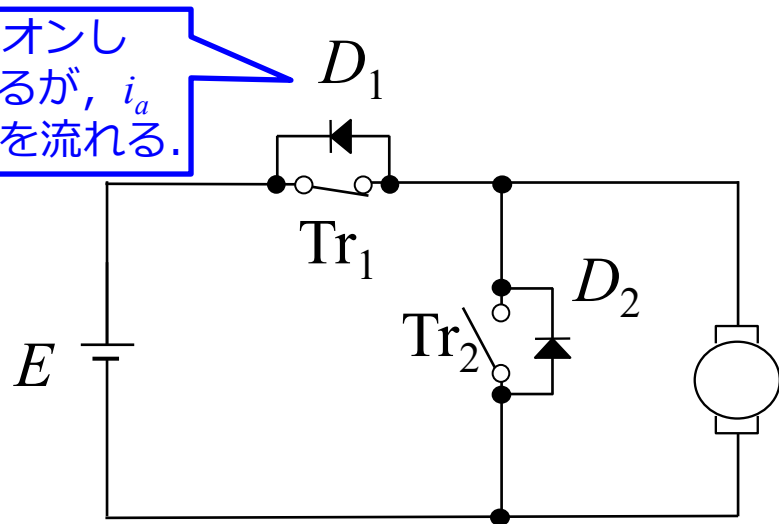
図8.6 トランジスタのオン/オフと動作モード



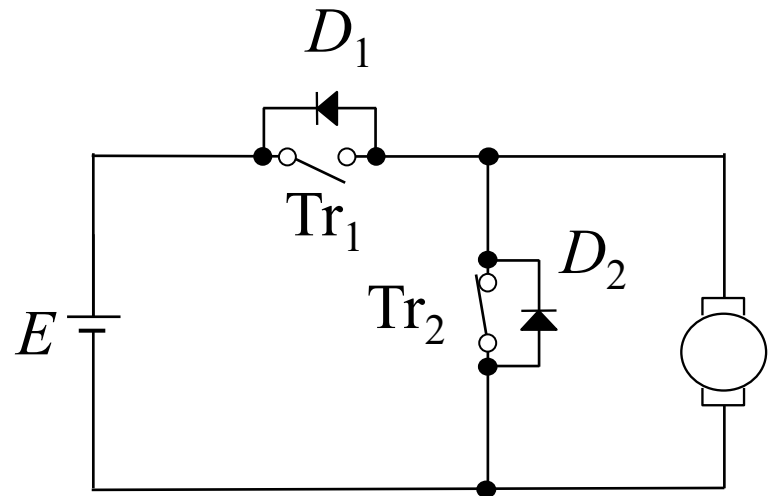
(a) $i_a > 0$, Tr_1 : オン, Tr_2 : オフ



(b) $i_a > 0$, Tr_1 : オフ, Tr_2 : オン

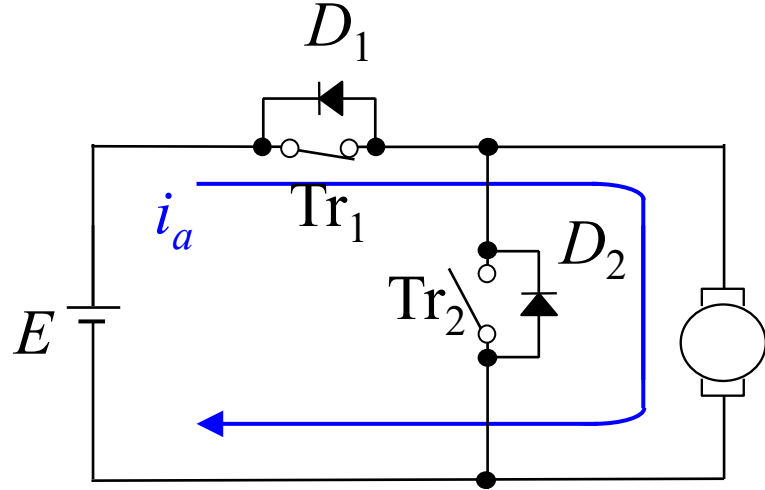


(c) $i_a < 0$, Tr_1 : オン, Tr_2 : オフ

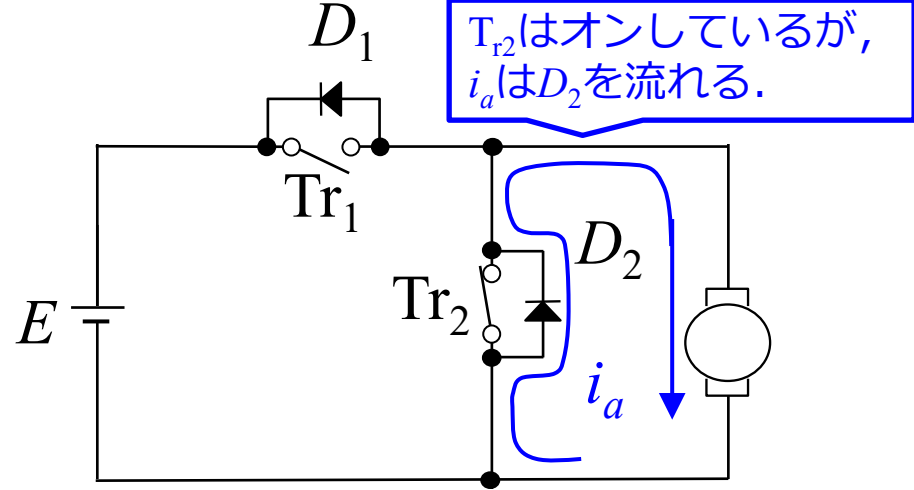


(d) $i_a < 0$, Tr_1 : オフ, Tr_2 : オン

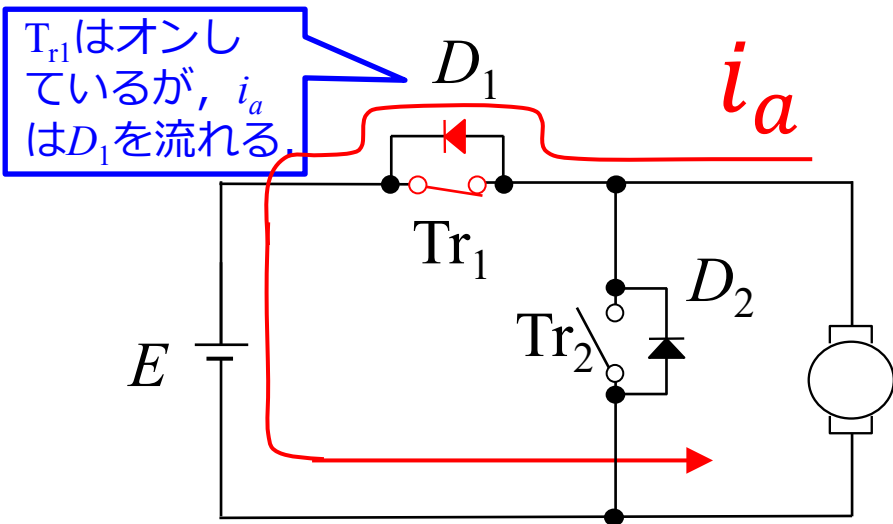
図8.6 トランジスタのオン/オフと動作モード



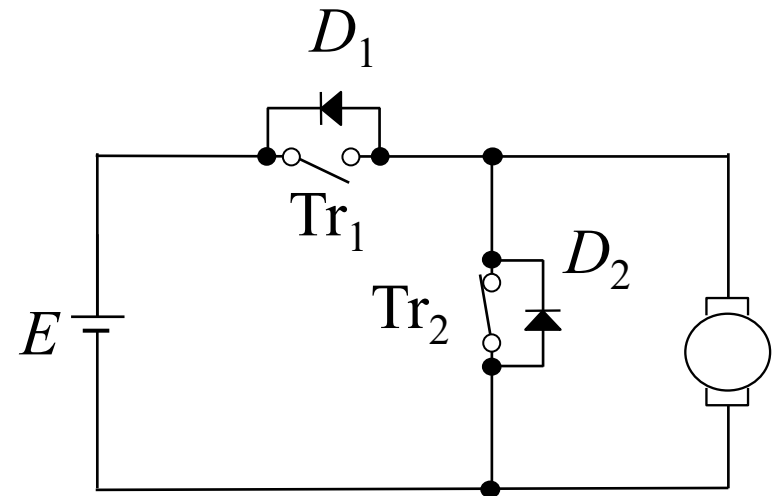
(a) $i_a > 0$, Tr₁: オン, Tr₂: オフ



(b) $i_a > 0$, Tr₁: オフ, Tr₂: オン

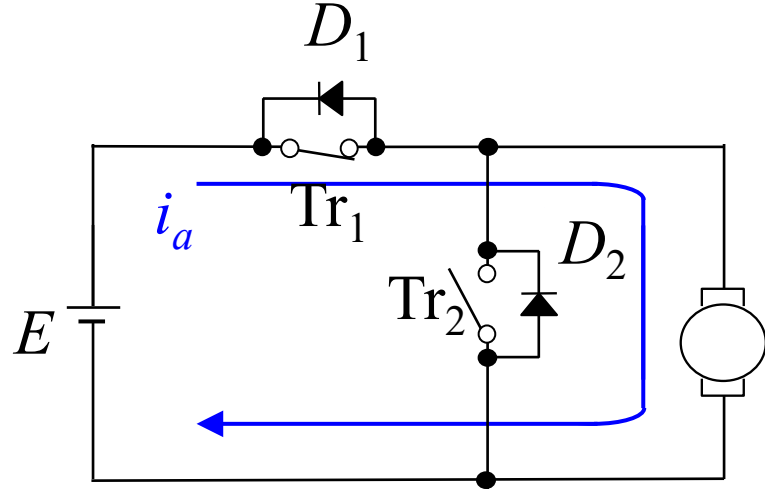


(c) $i_a < 0$, Tr₁: オン, Tr₂: オフ

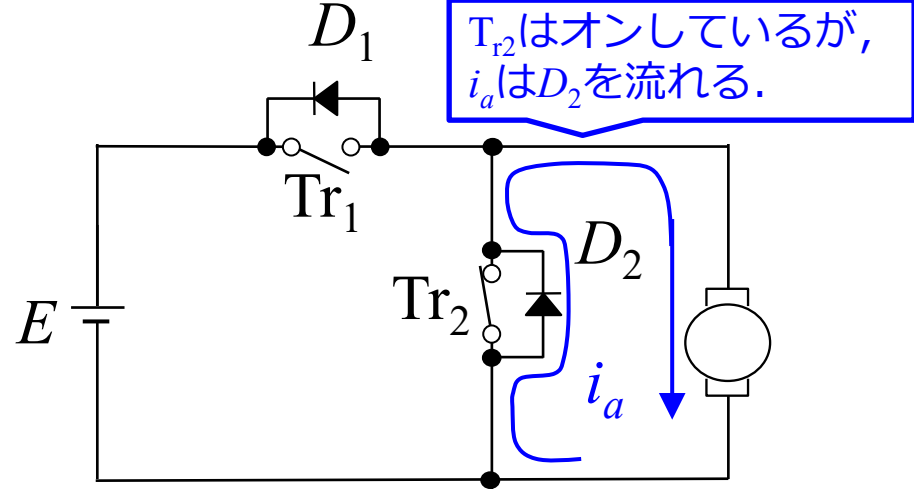


(d) $i_a < 0$, Tr₁: オフ, Tr₂: オン

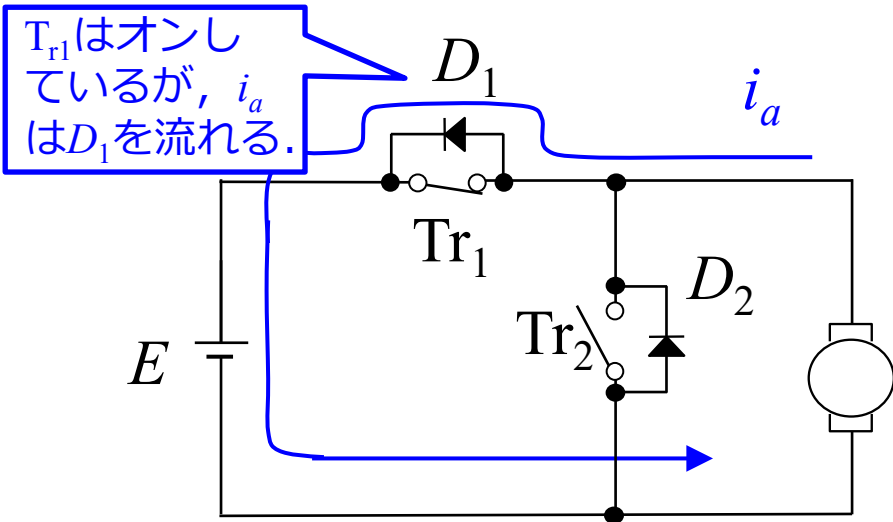
図8.6 トランジスタのオン/オフと動作モード



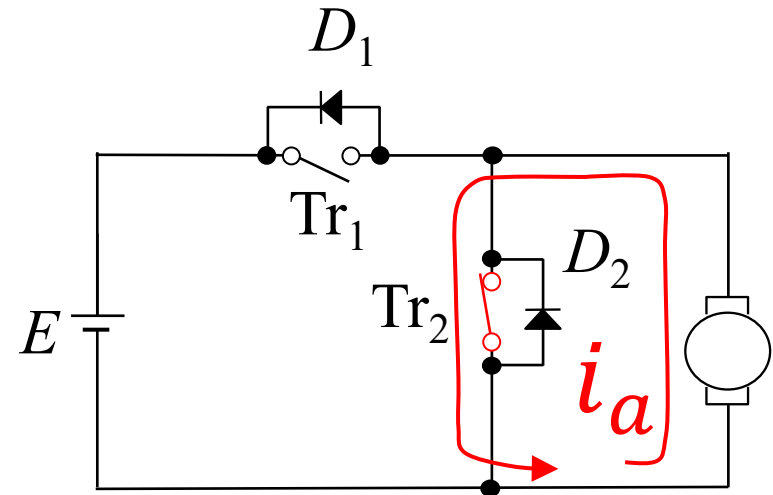
(a) $i_a > 0$, Tr_1 : オン, Tr_2 : オフ



(b) $i_a > 0$, Tr_1 : オフ, Tr_2 : オン

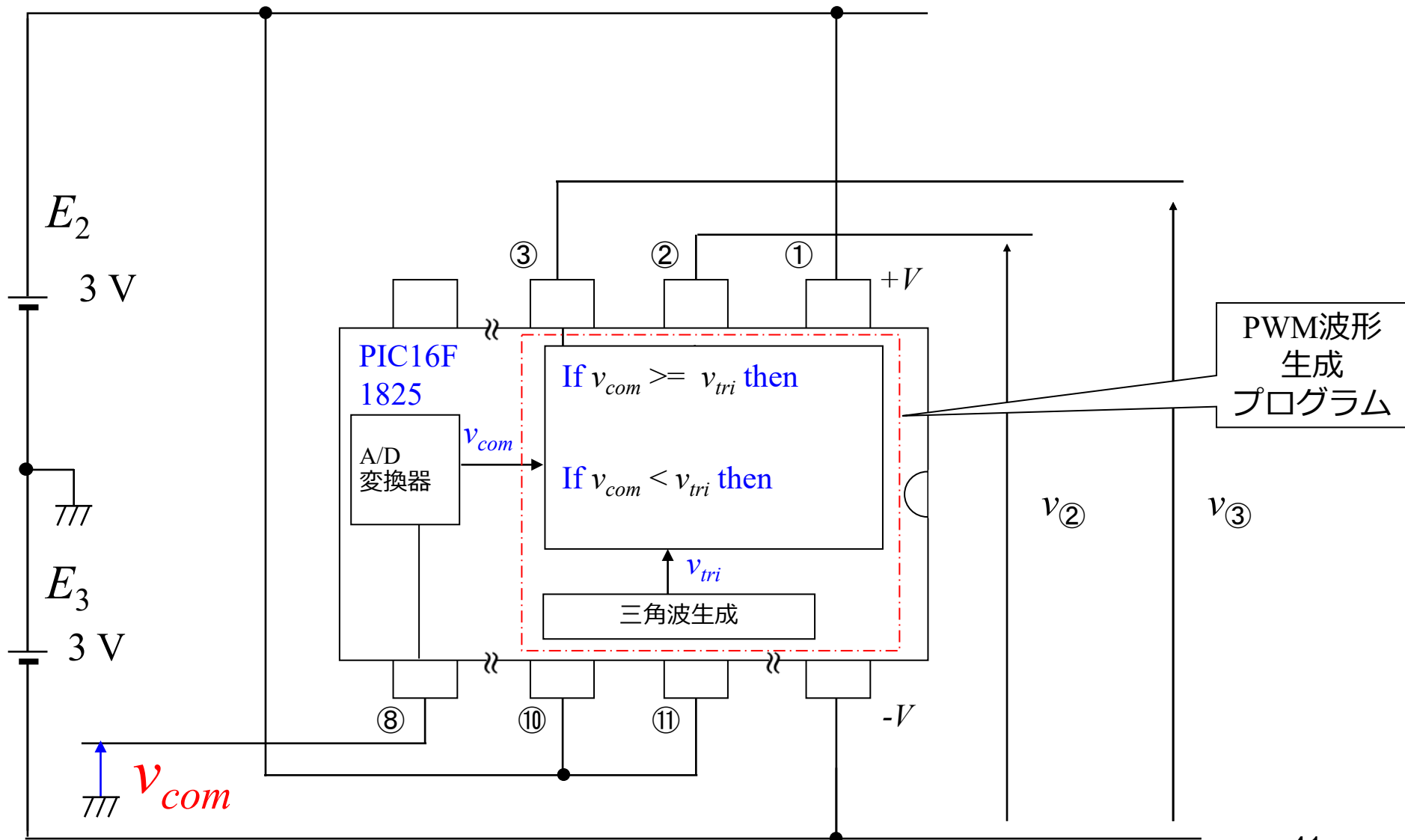


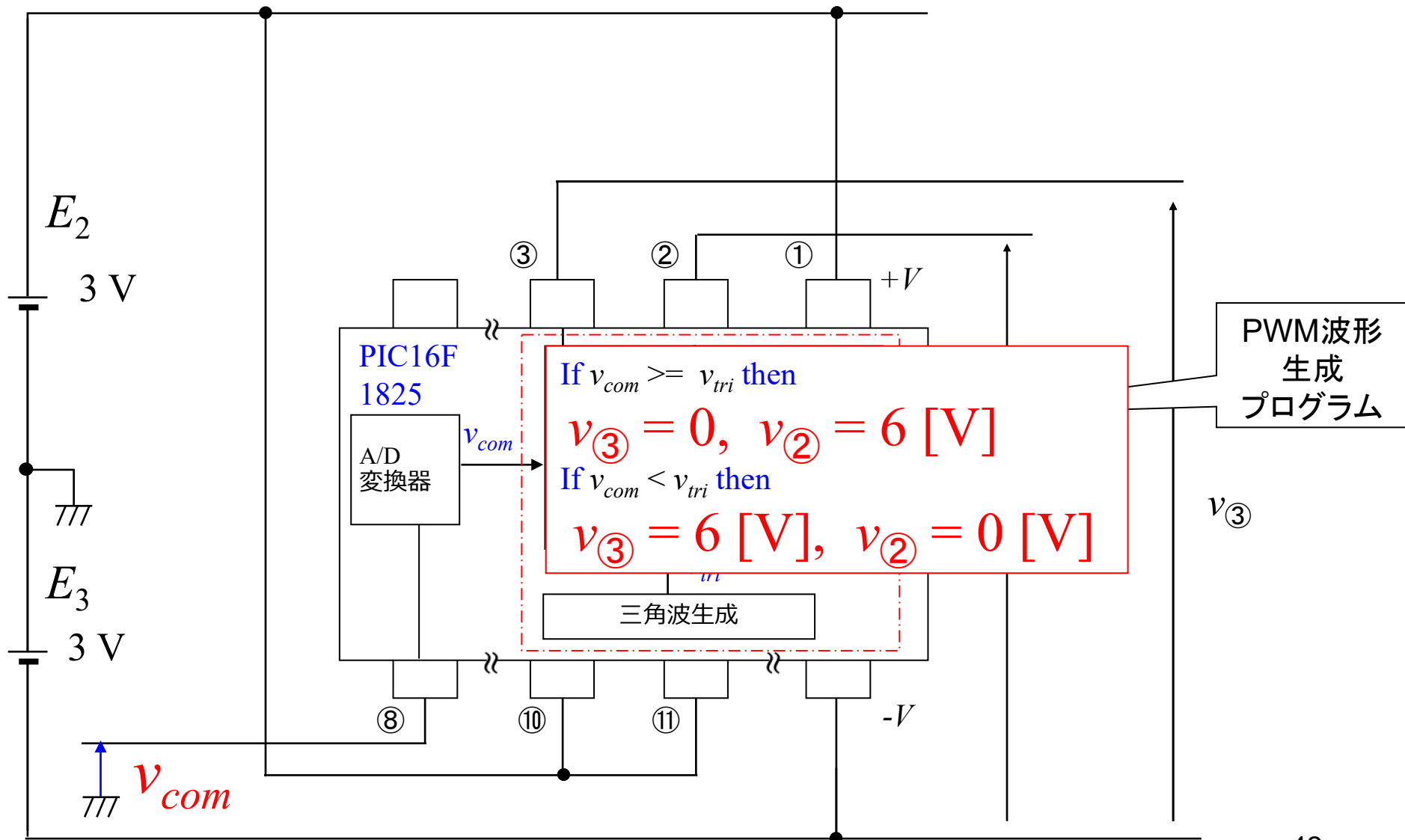
(c) $i_a < 0$, Tr_1 : オン, Tr_2 : オフ

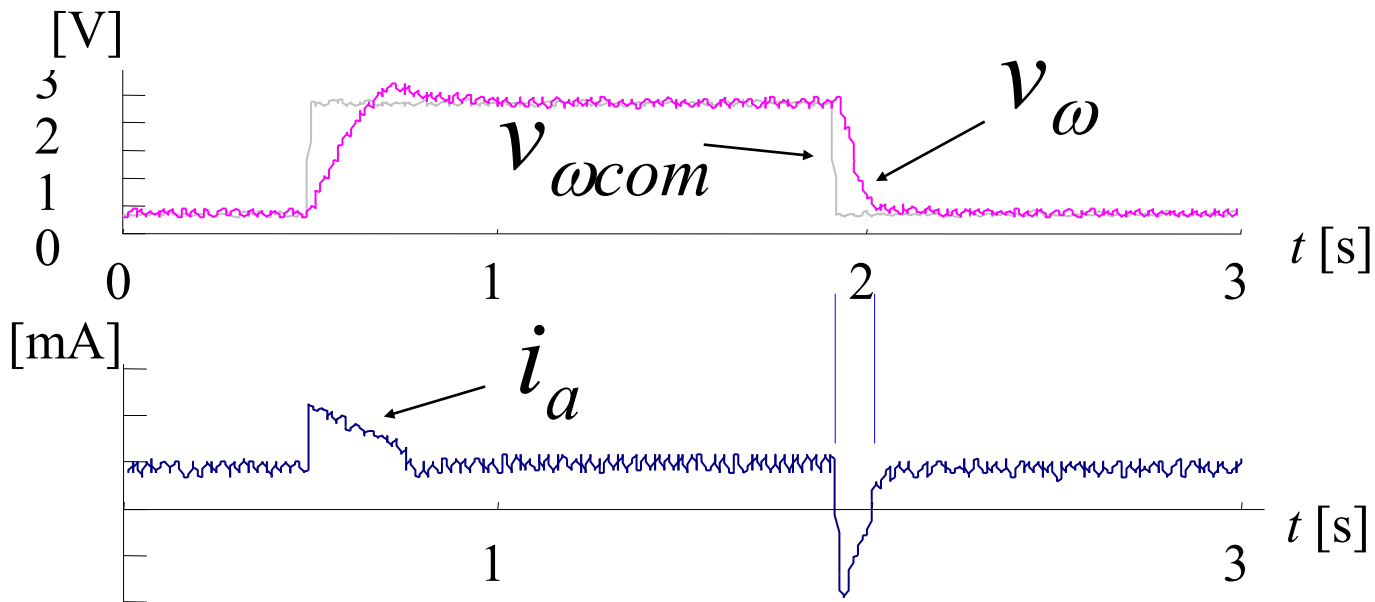


(d) $i_a < 0$, Tr_1 : オフ, Tr_2 : オン

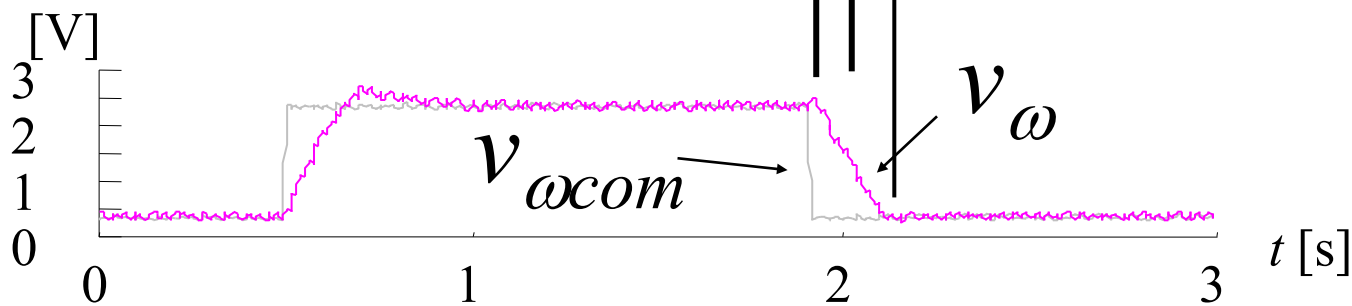
図8.6 トランジスタのオン/オフと動作モード





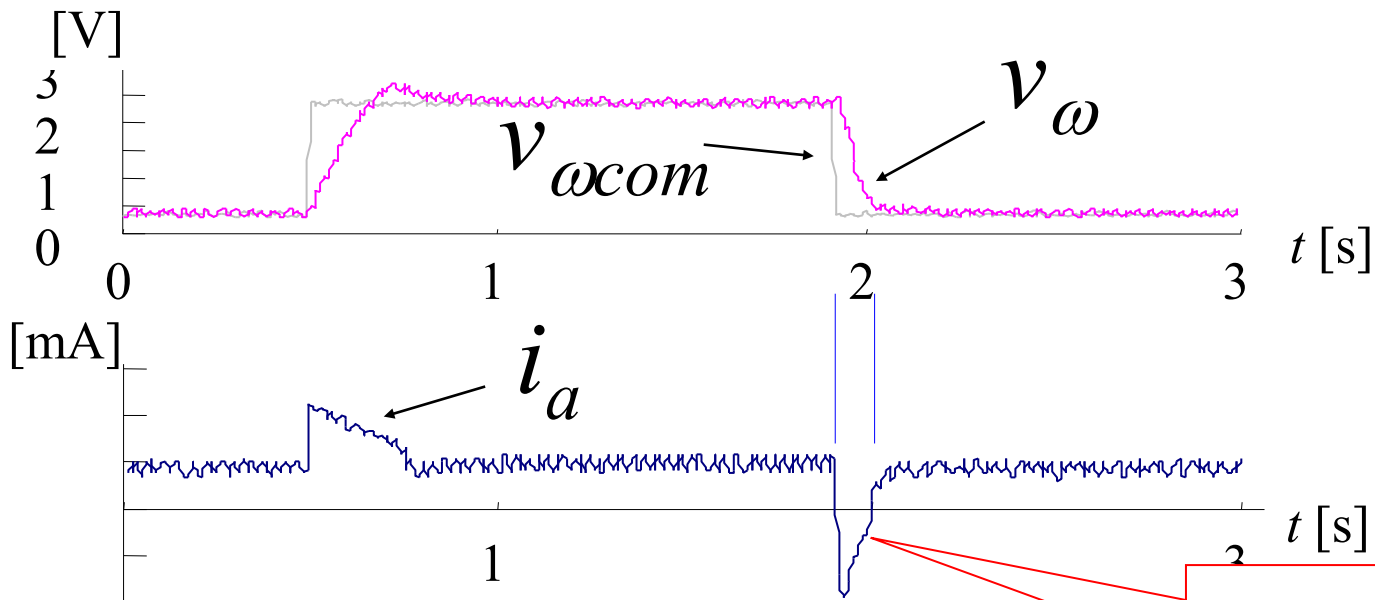


(a) ブレーキあり

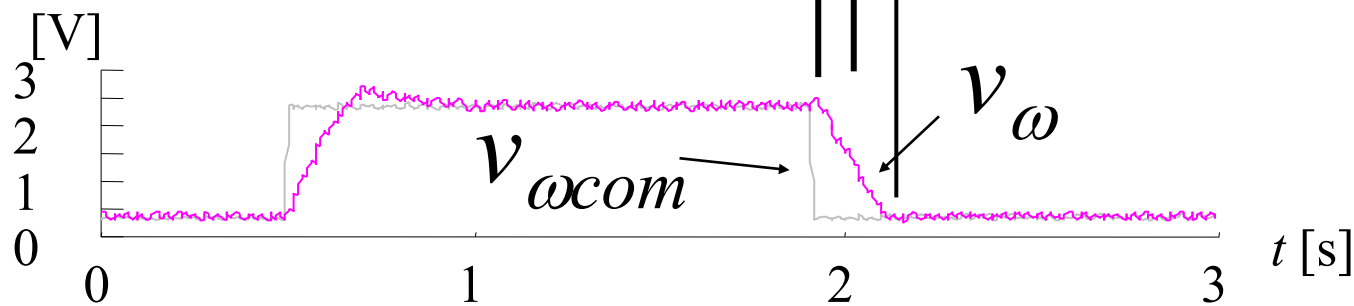


(b) ブレーキなし

図8.14 モータの回転数と電機子電流



(a) ブレーキあり



(b) ブレーキなし

図8.14 モータの回転数と電機子電流

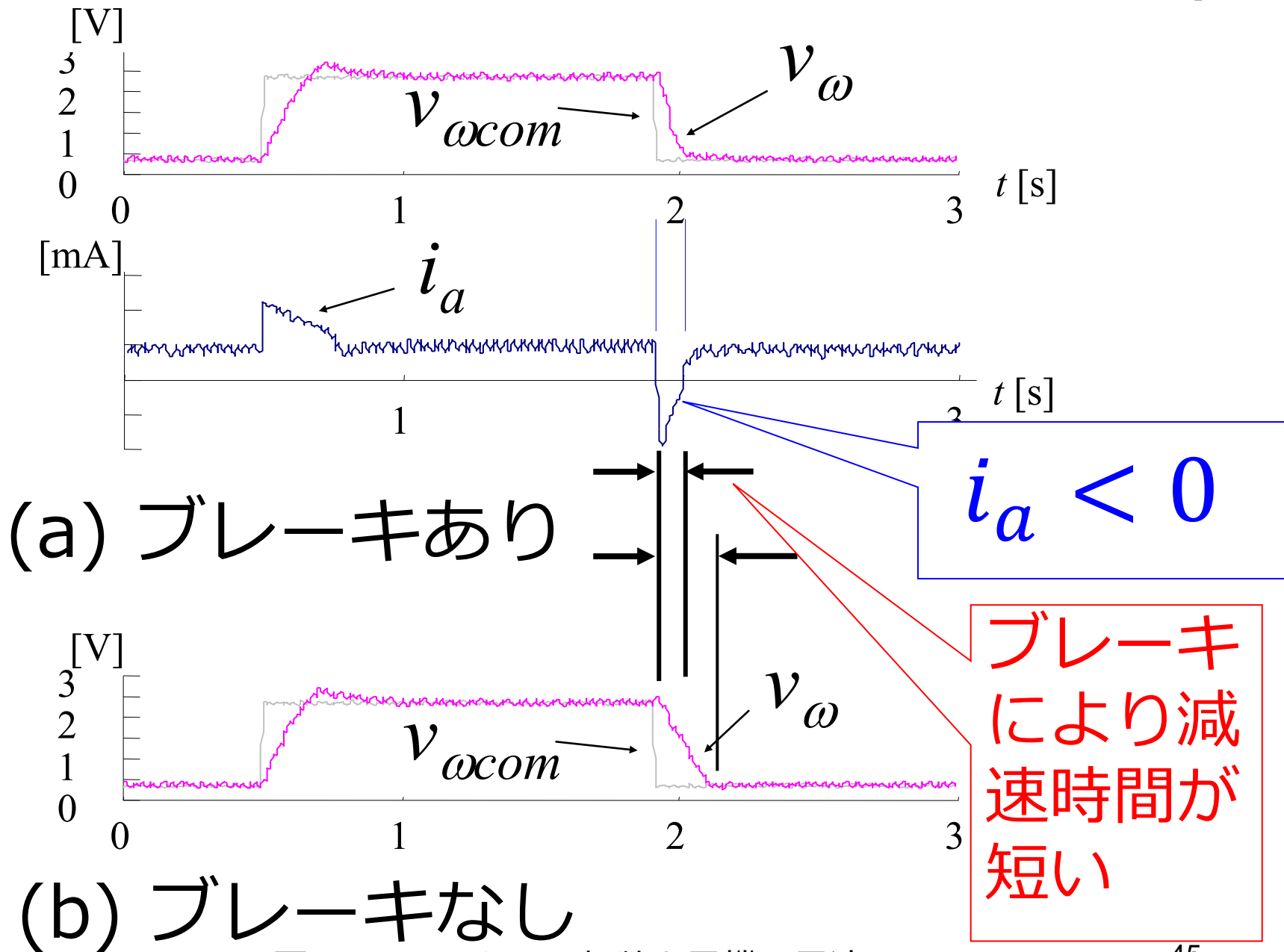
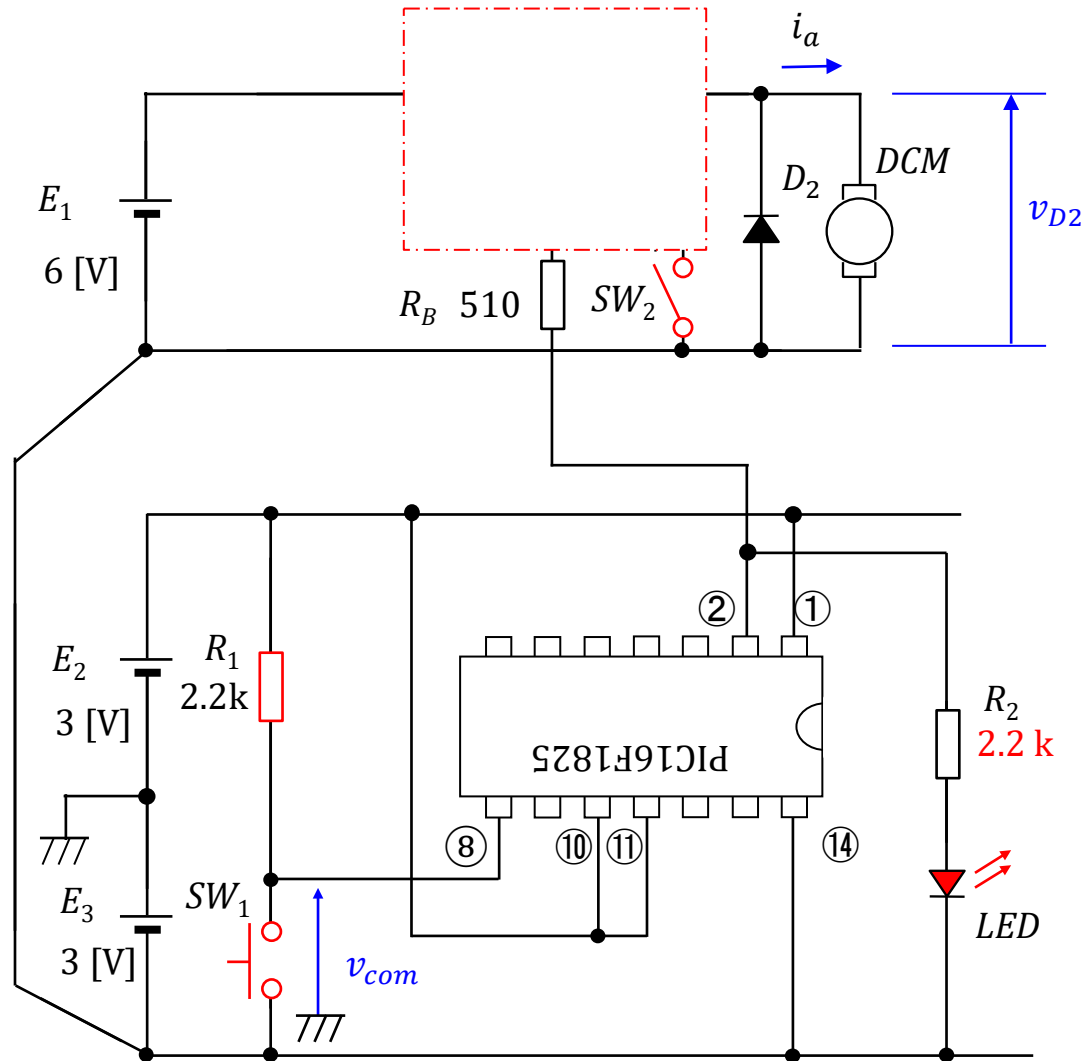


図8.14 モータの回転数と電機子電流

STEP8 製作課題 ブレーキのかけられるチョッパ回路によるDCモータの回転数制御

- (1) 空白部分を設計せよ. チョッパ回路は, SW_2 オンのときに SW_1 をオンとするとブレーキによりモータが停止し, SW_2 オフのときに SW_1 をオンとするとモータは摩擦により停止する回路とせよ. オペアンプの電源は ± 3 [V]とせよ.



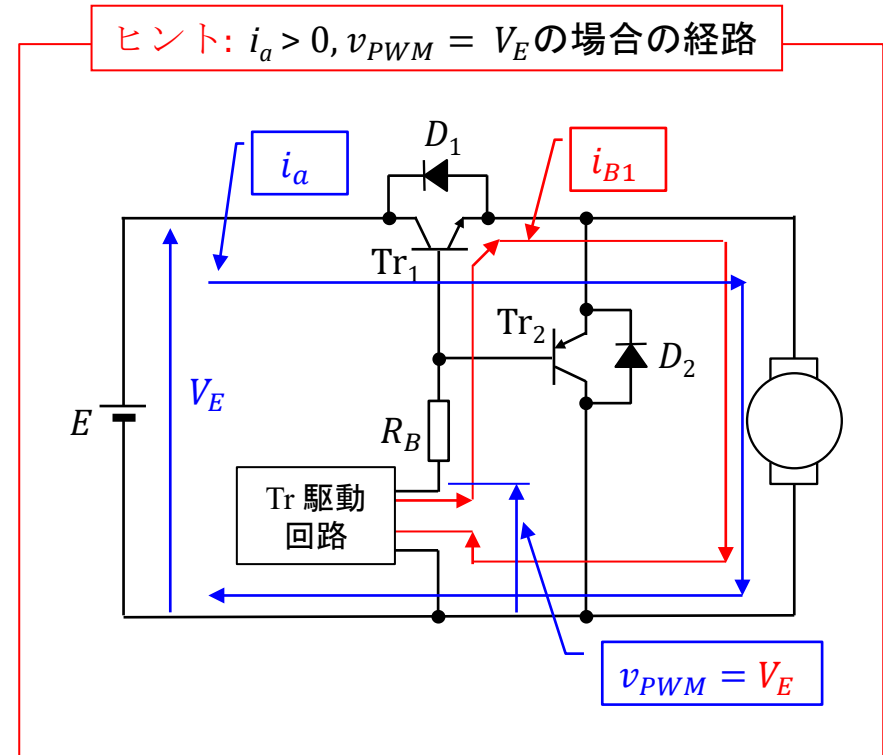
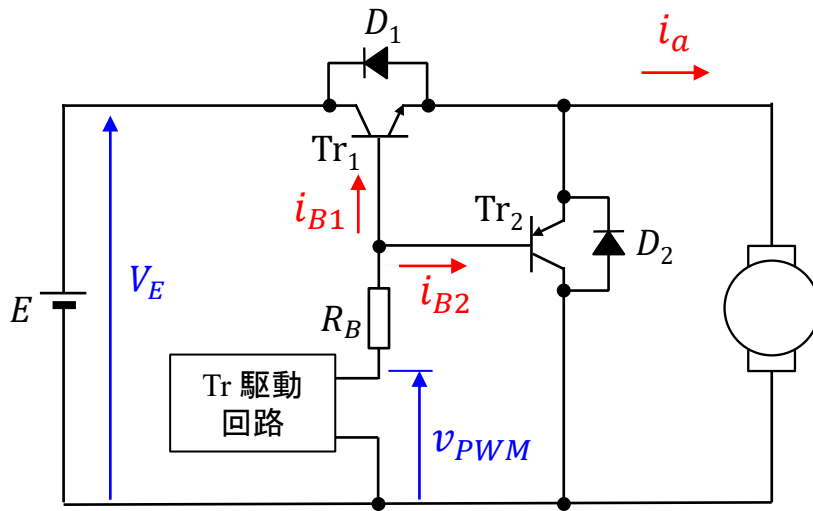
ビデオ

http://mybook-pub-site.sakura.ne.jp/Power_Electronics_Note/Exercise8/Exercise8.mp4

Step 8 レポート課題 1

以下の3つの場合について、ベース電流 i_{B1} , i_{B2} と電気子電流 i_a の経路を描け。

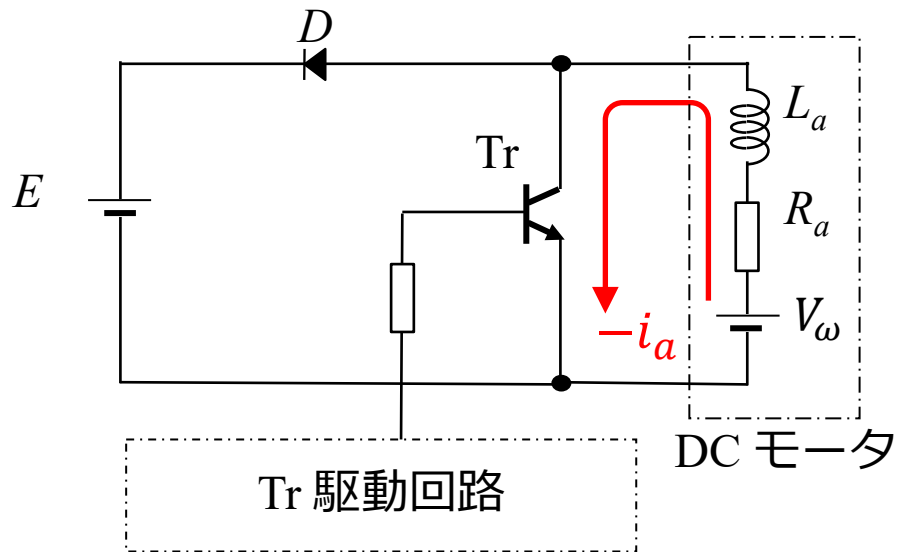
- (1) $i_a > 0, v_{PWM} = 0$
- (2) $i_a < 0, v_{PWM} = V_E$
- (3) $i_a < 0, v_{PWM} = 0$.



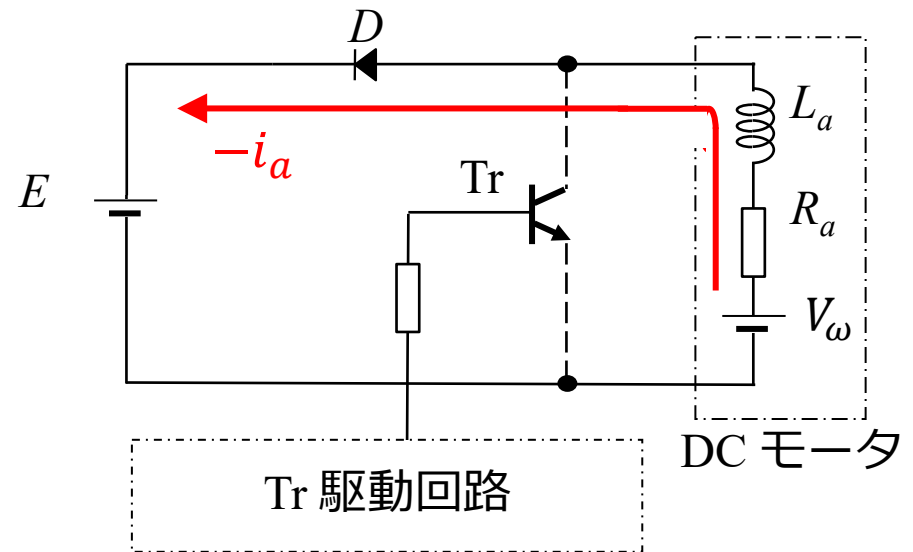
Step 8 レポート課題 2

以下はブレーキをかけられるチョッパ回路である。(a) はトランジスタTrオンの場合, (b) はTr オフの場合を示す. いずれの場合も電機子電流 i_a は負である. 図中には $-i_a$ の経路を示してある.

- (1) ダイオード D , 電機子インダクタンス L_a , 電機子抵抗 R_a とトランジスタ Tr にかかる電圧の極性を示せ.
- (2) 各場合のエネルギーの流れを描け.



(a) Tr : オン



(b) Tr : オフ