

パワーエレクトロニクス講義資料

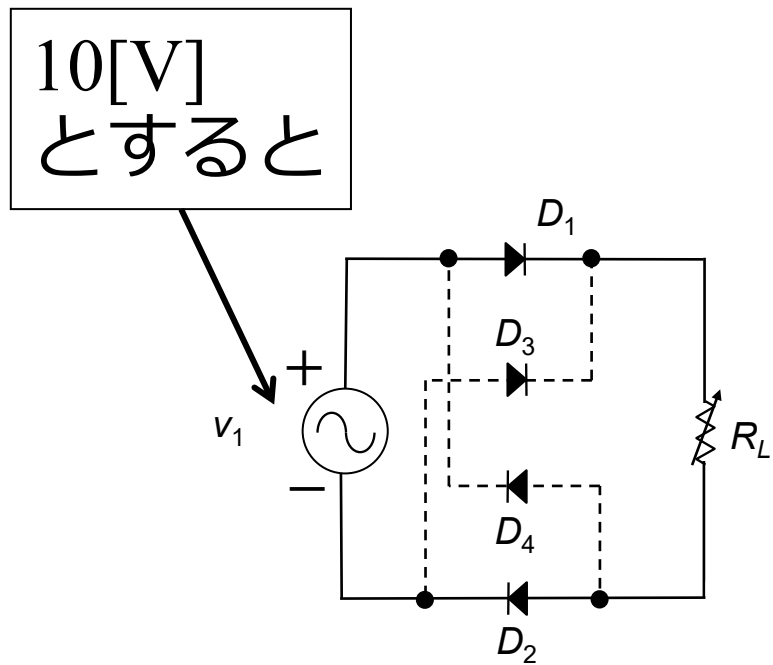
第3回 平滑回路

担当：古橋武

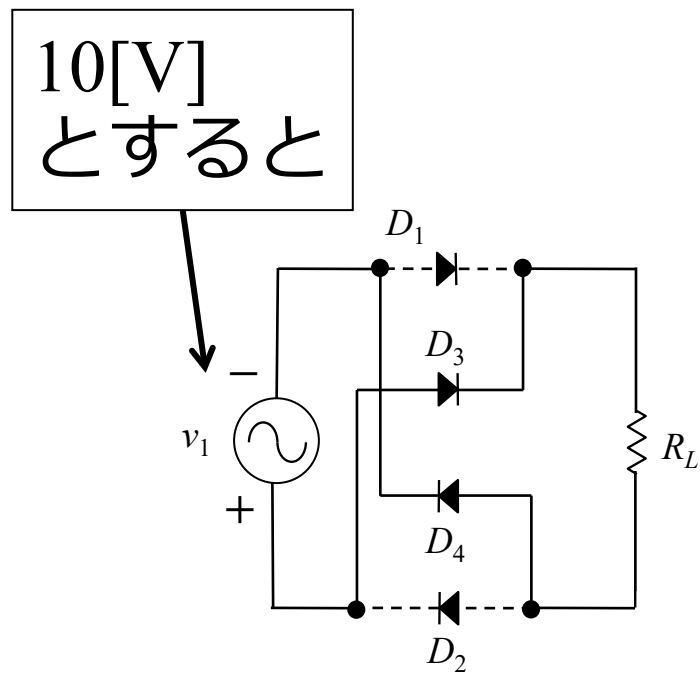
[本稿掲載のWebページ](http://mybook-pub-site.sakura.ne.jp/Power_Electronics_Note/index.html)

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

STEP1 レポート課題(1) **解答** 次の整流回路において, (a) $v_1 = 10$ [V]のときのダイオード D_3, D_4 の両端電圧の大きさと向きを示せ. 次に, (b) $v_1 = -10$ [V]のときの, ダイオード $D_1 \sim D_4$ と抵抗 R_L の両端電圧の大きさと向き, および流れる電流の経路を示せ.



(a) v_1 正のとき



(b) v_1 負のとき

図1.27 ブリッジ整流回路の動作モード

STEP1 レポート課題(1) **解答** 次の整流回路において, (a) $v_1 = 10$ [V]のときのダイオード D_3, D_4 の両端電圧の大きさと向きを示せ. 次に, (b) $v_1 = -10$ [V]のときの, ダイオード $D_1 \sim D_4$ と抵抗 R_L の両端電圧の大きさと向き, および流れる電流の経路を示せ.

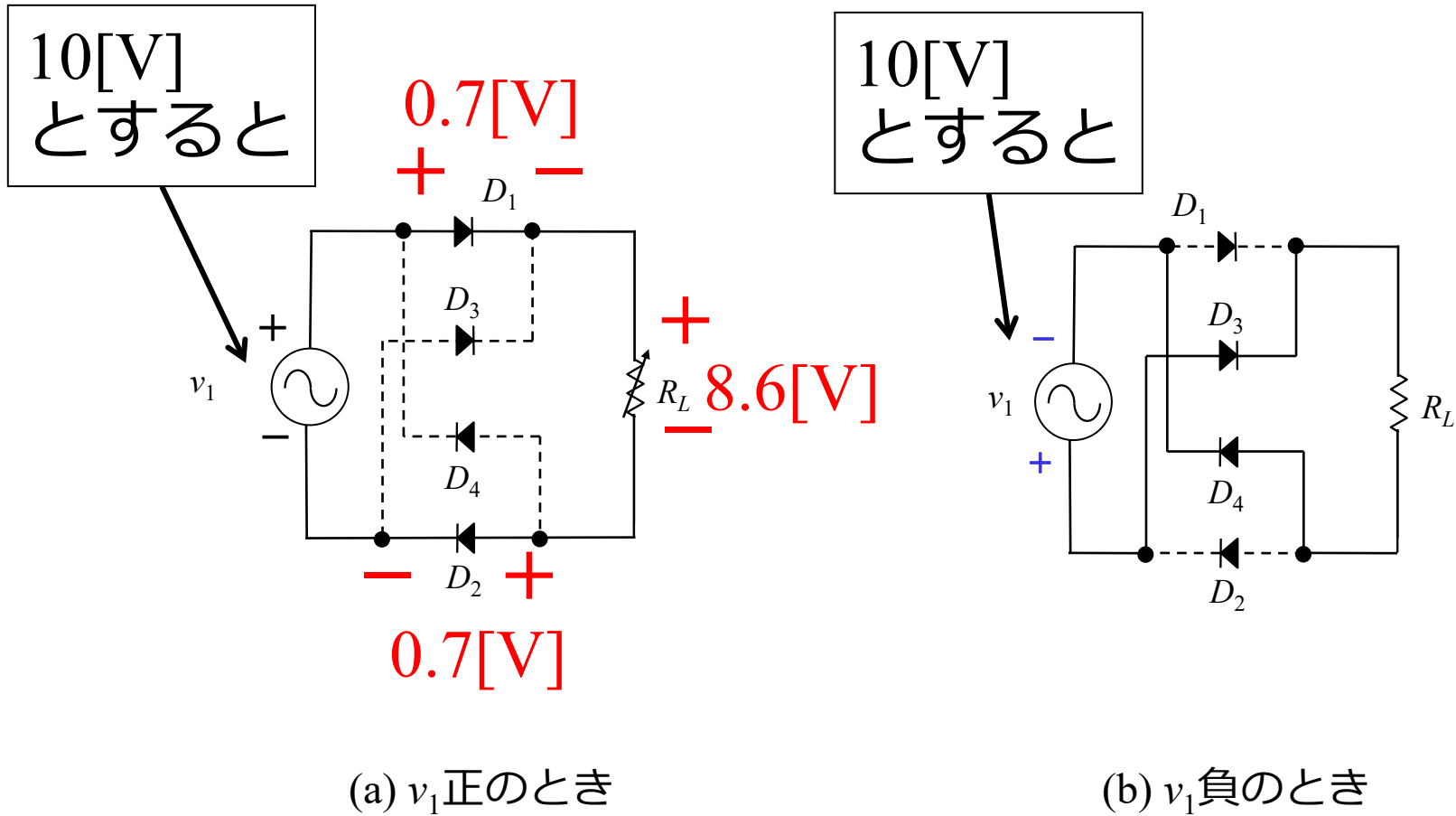
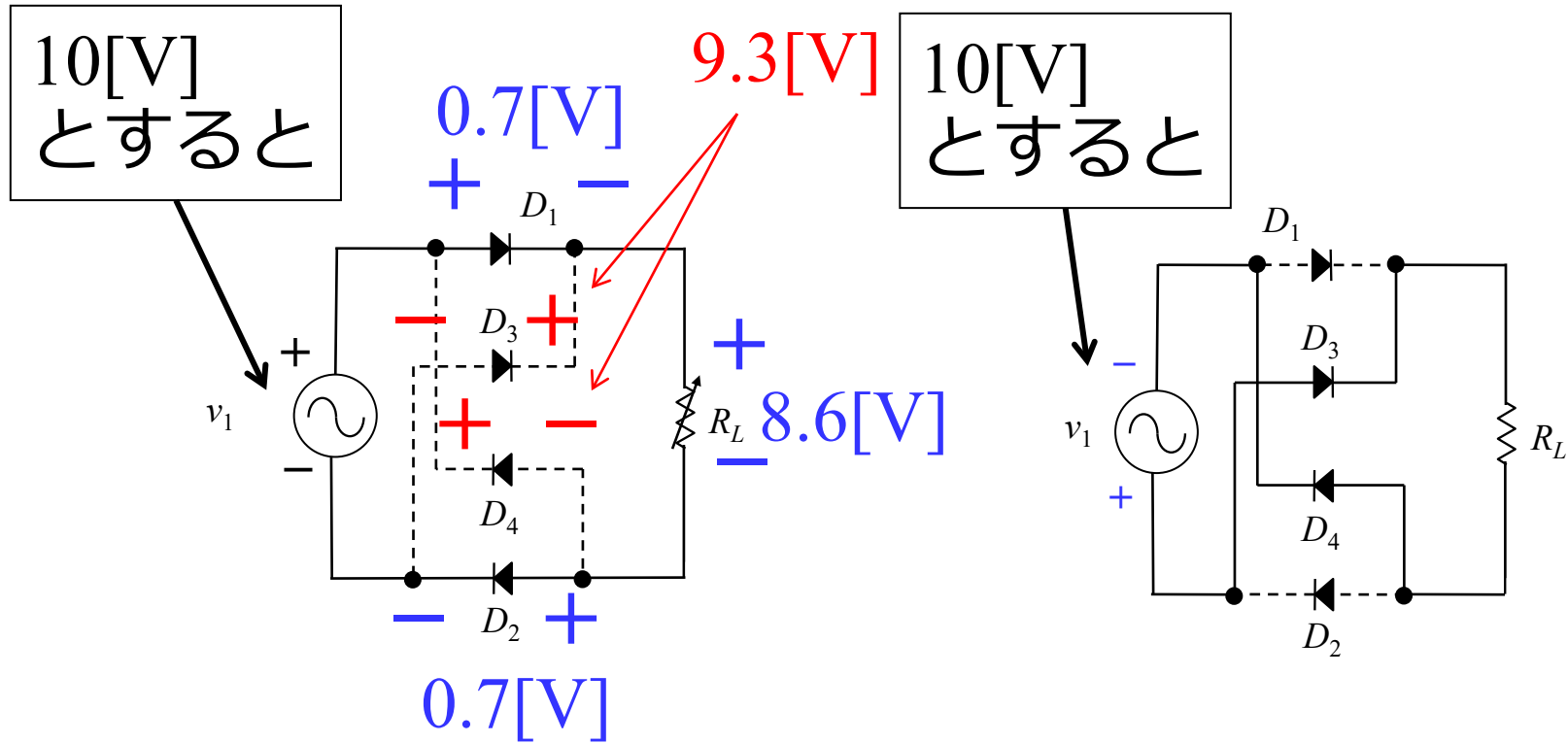


図1.27 ブリッジ整流回路の動作モード

STEP1 レポート課題(1) **解答** 次の整流回路において, (a) $v_1 = 10$ [V]のときのダイオード D_3, D_4 の両端電圧の大きさと向きを示せ. 次に, (b) $v_1 = -10$ [V]のときの, ダイオード $D_1 \sim D_4$ と抵抗 R_L の両端電圧の大きさと向き, および流れる電流の経路を示せ.

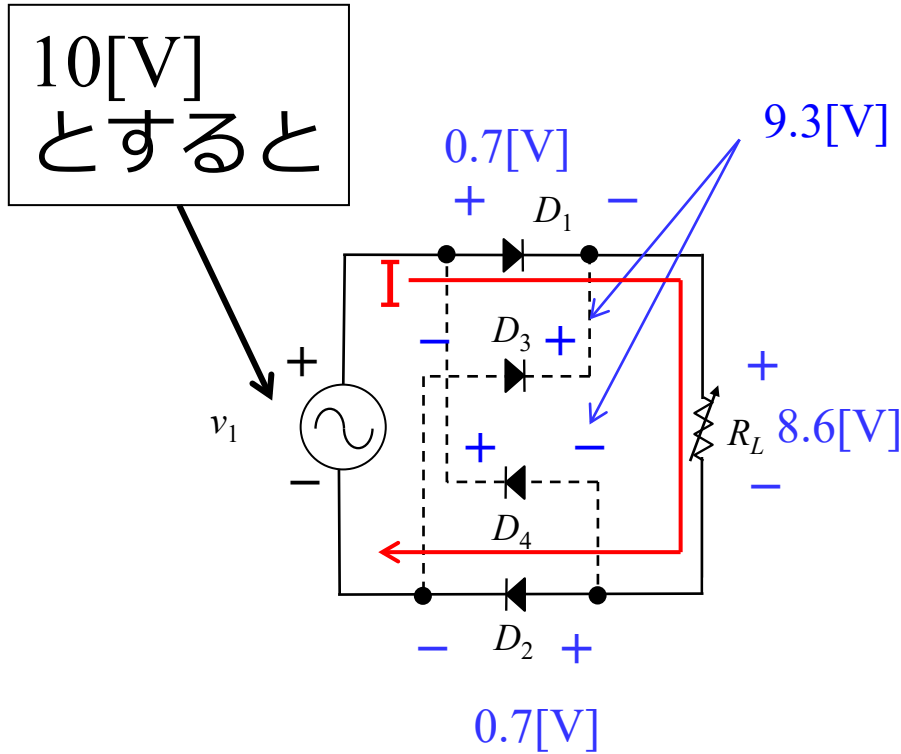


(a) v_1 正のとき

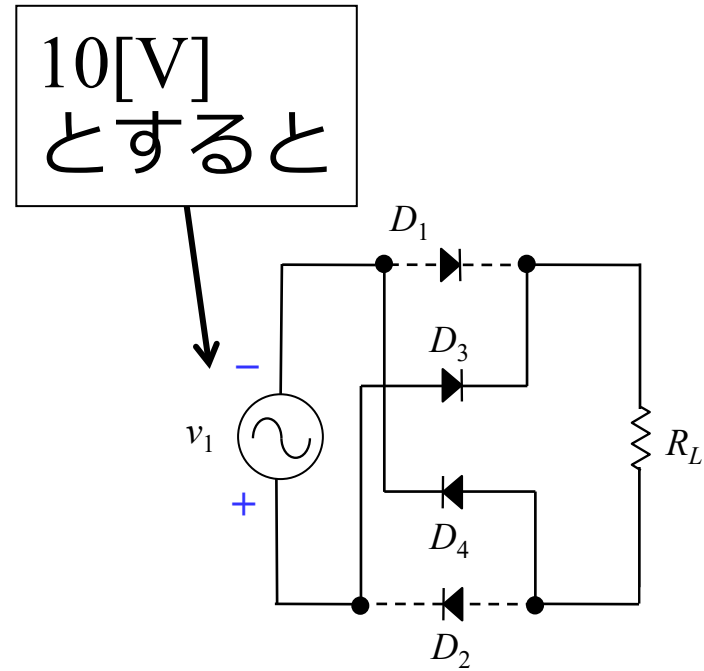
(b) v_1 負のとき

図1.27 ブリッジ整流回路の動作モード

STEP1 レポート課題(1) **解答** 次の整流回路において, (a) $v_1 = 10$ [V]のときのダイオード D_3, D_4 の両端電圧の大きさと向きを示せ. 次に, (b) $v_1 = -10$ [V]のときの, ダイオード $D_1 \sim D_4$ と抵抗 R_L の両端電圧の大きさと向き, および流れる電流の経路を示せ.



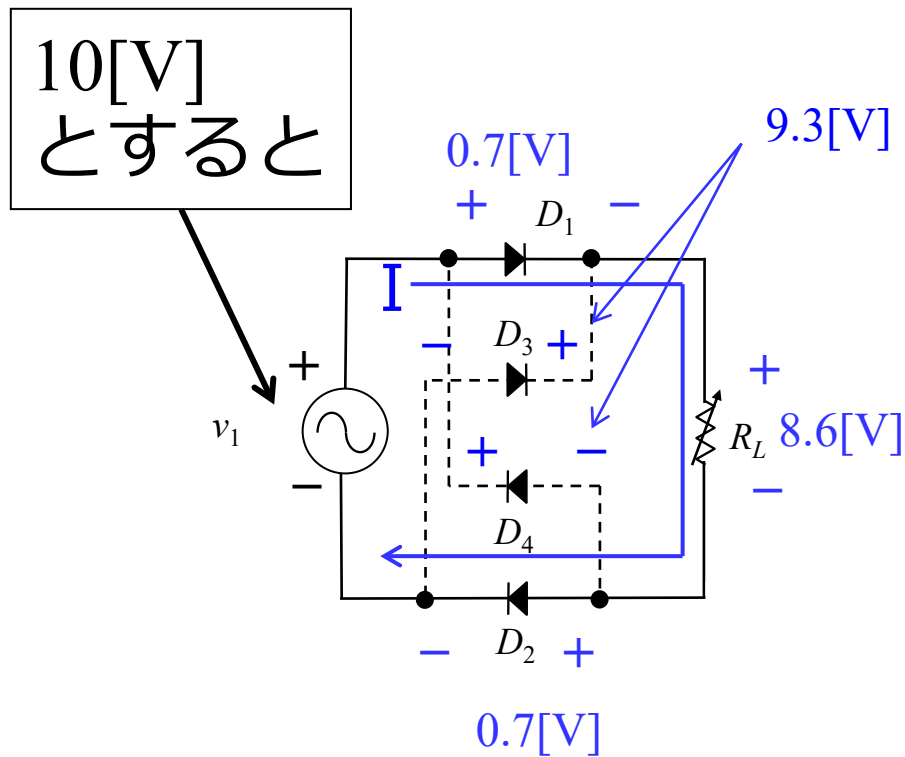
(a) v_1 正のとき



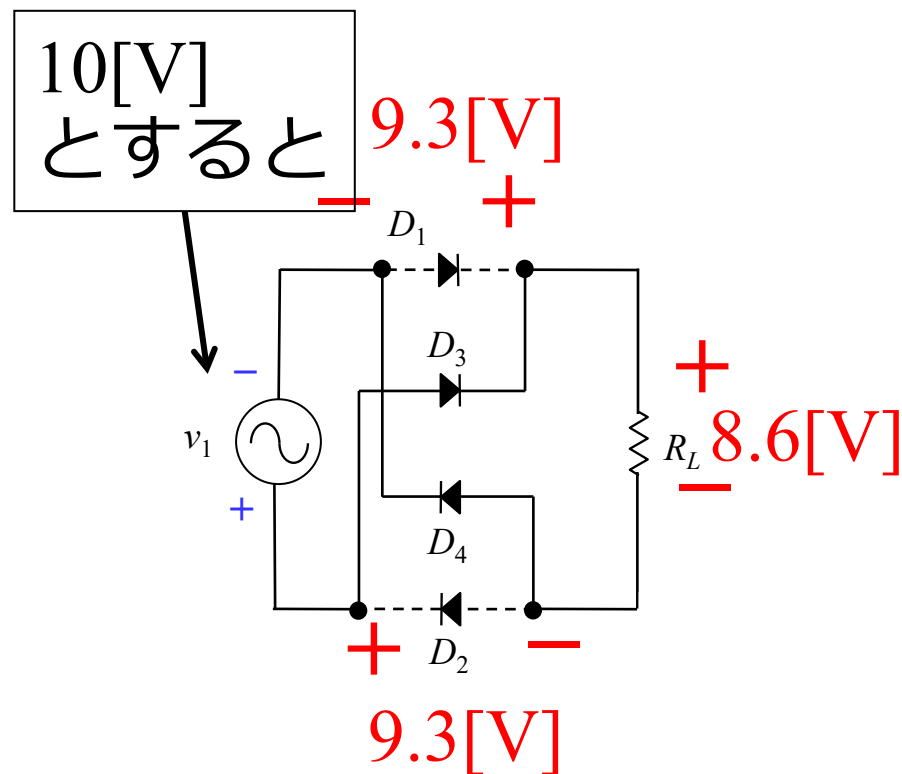
(b) v_1 負のとき

図1.27 ブリッジ整流回路の動作モード

STEP1 レポート課題(1) **解答** 次の整流回路において, (a) $v_1 = 10$ [V]のときのダイオード D_3, D_4 の両端電圧の大きさと向きを示せ. 次に, (b) $v_1 = -10$ [V]のときの, ダイオード $D_1 \sim D_4$ と抵抗 R_L の両端電圧の大きさと向き, および流れる電流の経路を示せ.



(a) v_1 正のとき



(b) v_1 負のとき

図1.27 ブリッジ整流回路の動作モード

STEP1 レポート課題(1) **解答** 次の整流回路において, (a) $v_1 = 10$ [V]のときのダイオード D_3, D_4 の両端電圧の大きさと向きを示せ. 次に, (b) $v_1 = -10$ [V]のときの, ダイオード $D_1 \sim D_4$ と抵抗 R_L の両端電圧の大きさと向き, および流れる電流の経路を示せ.

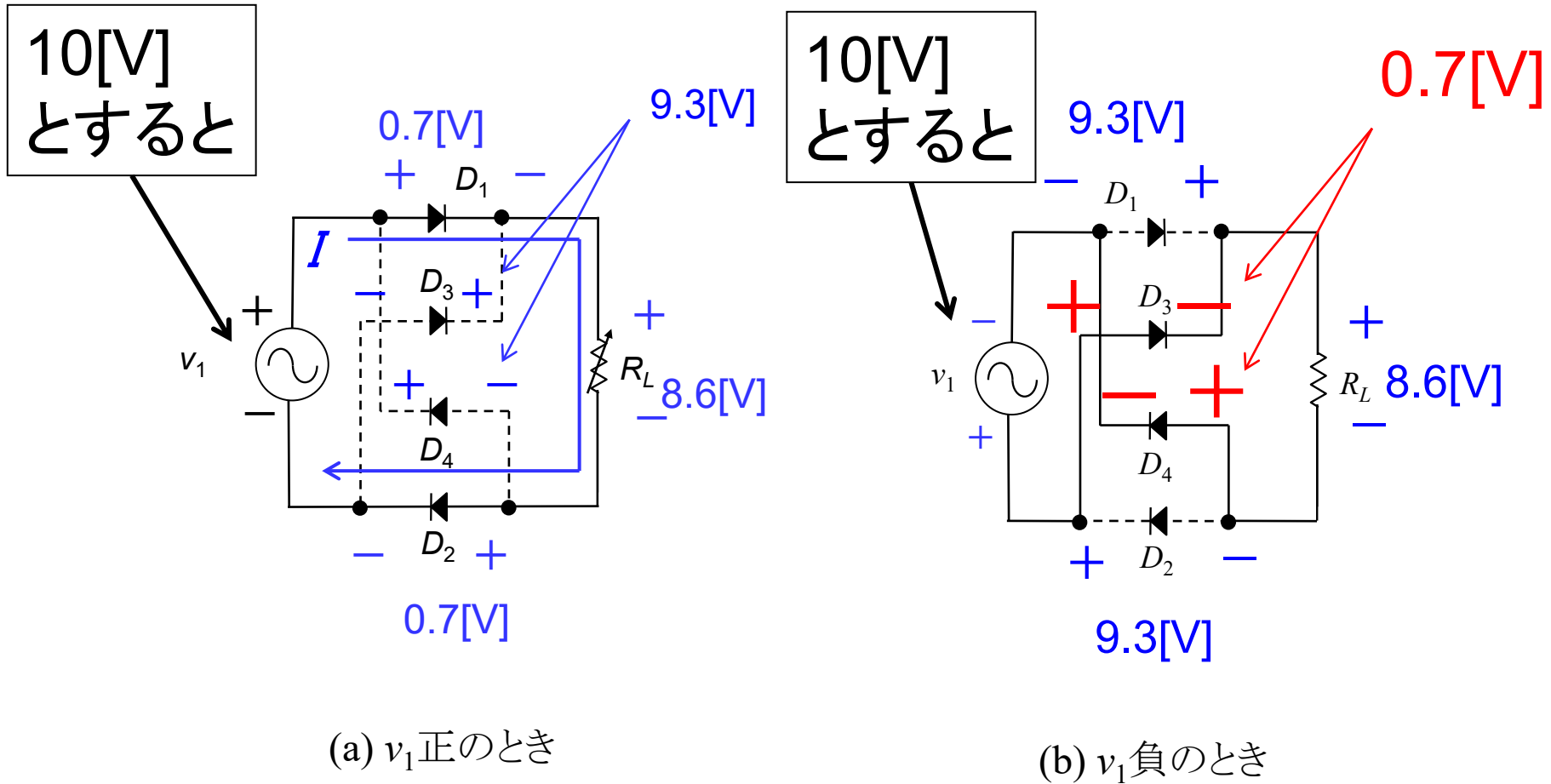


図1.27 ブリッジ整流回路の動作モード

STEP1 レポート課題(1) **解答** 次の整流回路において, (a) $v_1 = 10$ [V]のときのダイオード D_3, D_4 の両端電圧の大きさと向きを示せ. 次に, (b) $v_1 = -10$ [V]のときの, ダイオード $D_1 \sim D_4$ と抵抗 R_L の両端電圧の大きさと向き, および流れる電流の経路を示せ.

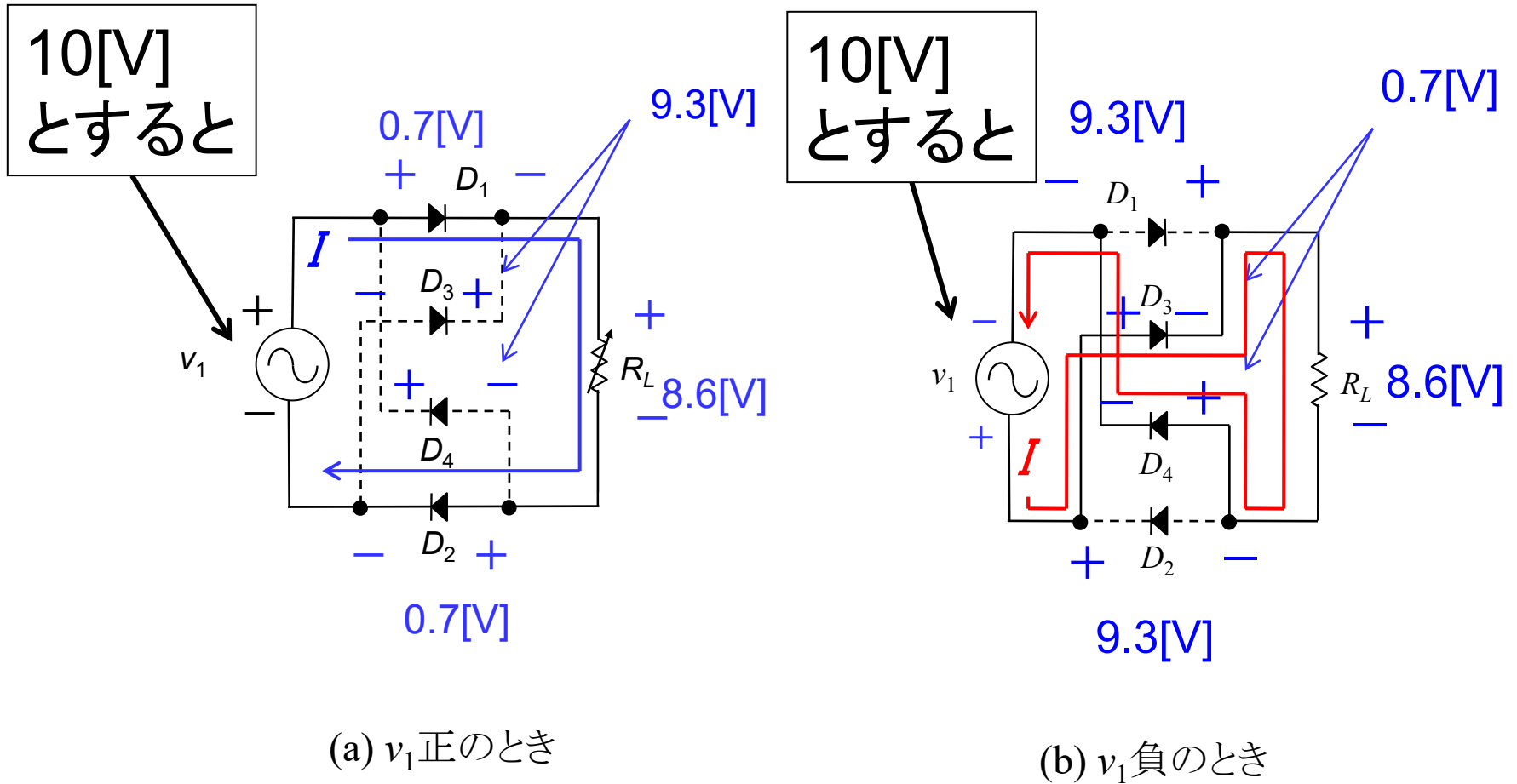
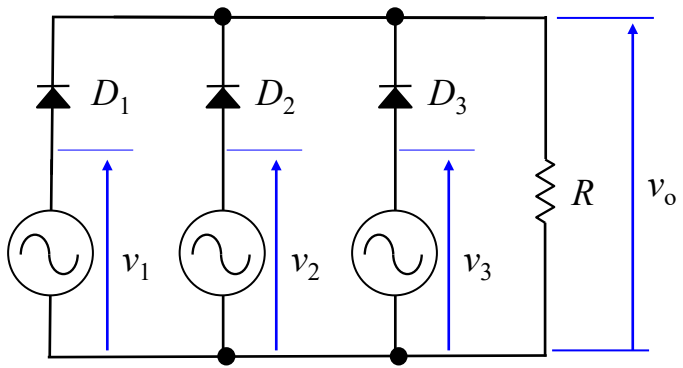


図1.27 ブリッジ整流回路の動作モード

STEP1 レポート課題(2)(a)解答 次の整流回路の入出力電圧波形を描け. そして, 出力電圧 v_o の平均値を求めよ. ただし, ダイオードは理想ダイオードとする.

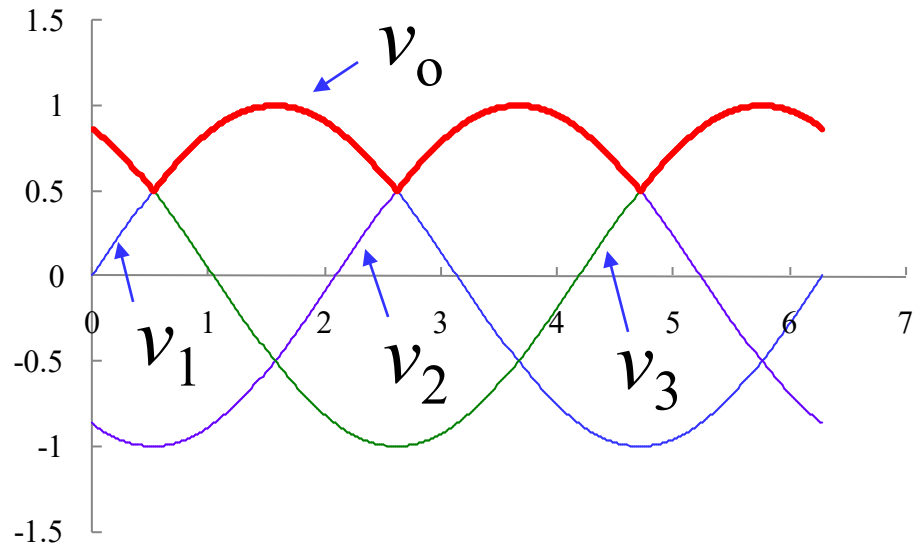


$$v_1 = V \sin \omega t$$

$$v_2 = V \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right)$$

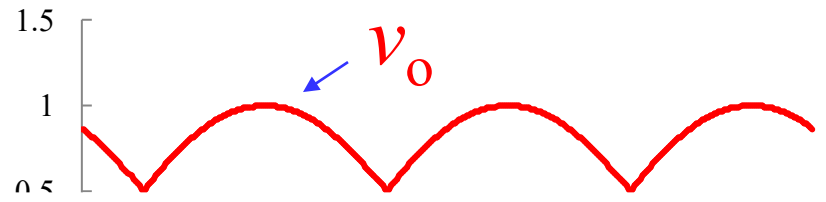
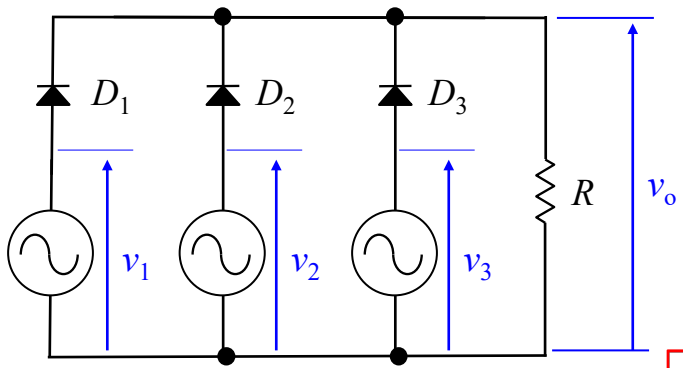
$$v_3 = V \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right)$$

(a) 3電源整流回路



$$\bar{v}_o = \frac{1}{2\pi/3} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} V \sin \omega t d\omega t$$

STEP1 レポート課題(2)(a)解答 次の整流回路の入出力電圧波形を描け. そして, 出力電圧 v_o の平均値を求めよ. ただし, ダイオードは理想ダイオードとする.



$$v_1 = V \sin \omega t$$

$$v_2 = V \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right)$$

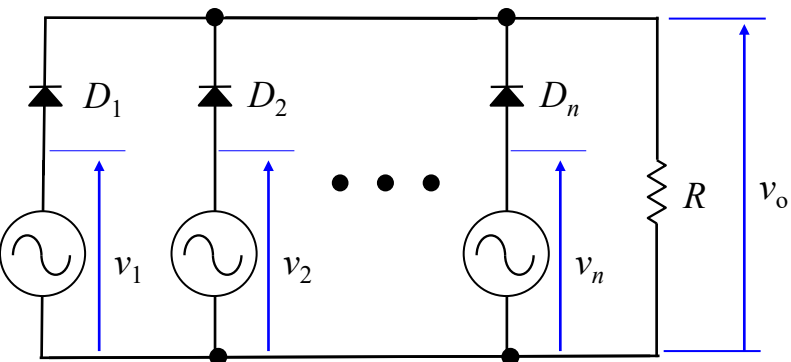
$$v_3 = V \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right)$$

(a) 3 電源整流回路

$$\bar{v}_o = \frac{1}{2\pi/3} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} V \sin \omega t d\omega t$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{3}{2\pi} [-V \cos \omega t]_{\pi/6}^{5\pi/6} \\
 &= \frac{3V}{2\pi} \left(-\sin \left(\frac{5\pi}{6} \right) + \sin \left(\frac{\pi}{6} \right) \right) \\
 &= \frac{3\sqrt{3}V}{2\pi}
 \end{aligned}$$

STEP1 レポート課題(2)(b) **解答** 次の整流回路の入出力電圧波形を描け. そして, 出力電圧 v_o の平均値を求めよ. ただし, ダイオードは理想ダイオードとする.



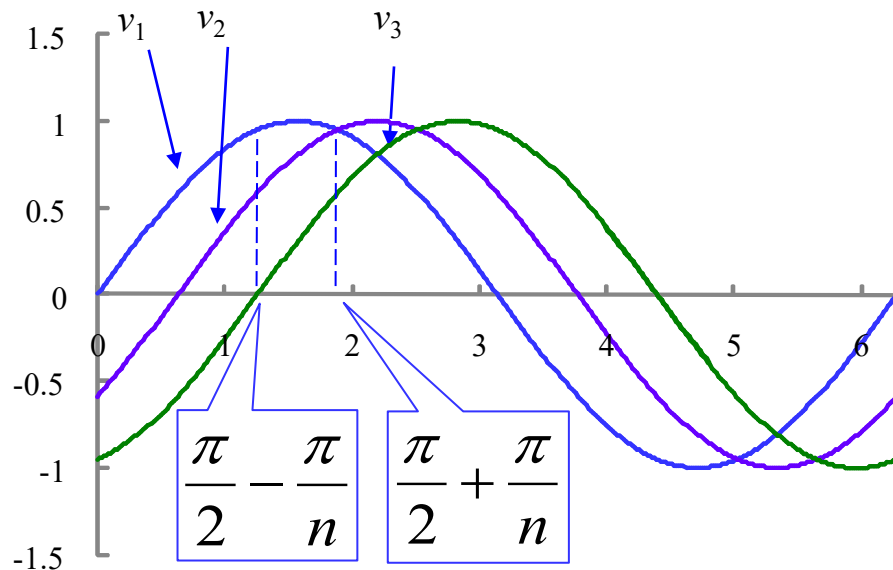
$$v_1 = V \sin \omega t$$

$$v_2 = V \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{n} \right)$$

....

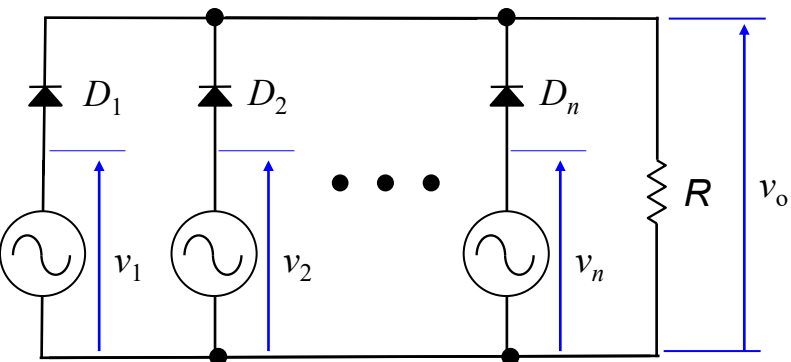
$$v_n = V \sin \left(\omega t - \frac{2(n-1)\pi}{n} \right)$$

(b) n 電源整流回路



$$\bar{v}_o = \frac{1}{2\pi/n} \int_{\pi/2 - \pi/n}^{\pi/2 + \pi/n} V \sin \omega t d\omega t$$

STEP1 レポート課題(2)(b) **解答** 次の整流回路の入出力電圧波形を描け. そして, 出力電圧 v_o の平均値を求めよ. ただし, ダイオードは理想ダイオードとする.



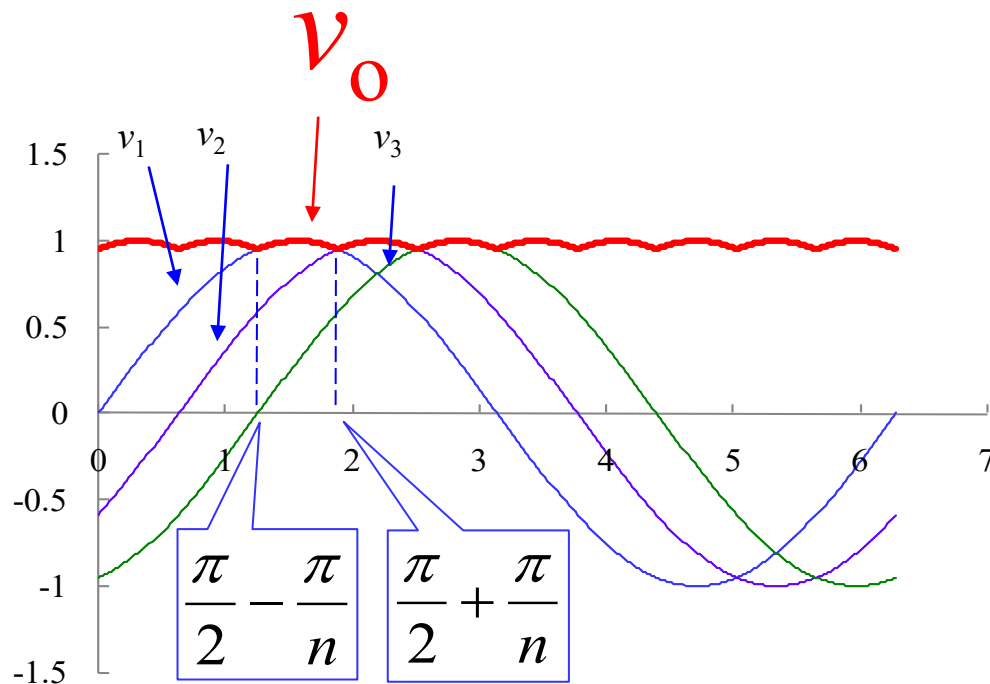
$$v_1 = V \sin \omega t$$

$$v_2 = V \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{n} \right)$$

...

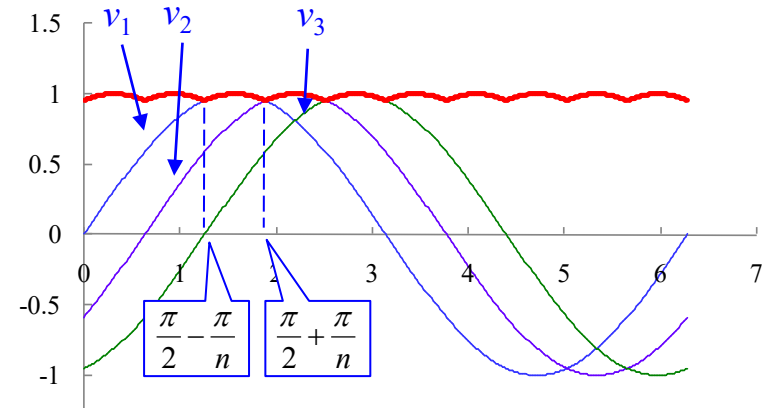
$$v_n = V \sin \left(\omega t - \frac{2(n-1)\pi}{n} \right)$$

(b) n 電源整流回路



$$\bar{v}_o = \frac{1}{2\pi/n} \int_{\pi/2 - \pi/n}^{\pi/2 + \pi/n} V \sin \omega t d\omega t$$

STEP1 レポート課題(2)(b) **解答** 次の整流回路の入出力電圧波形を描け. そして, 出力電圧 v_o の平均値を求めよ. ただし, ダイオードは理想ダイオードとする.



$$\begin{aligned}
 &= \frac{n}{2\pi} \left[-V \cos \omega t \right]_{\pi/2 - \pi/n}^{\pi/2 + \pi/n} \\
 &= \frac{nV}{2\pi} \left(-\cos \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{n} \right) + \cos \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{n} \right) \right) \\
 &= \frac{nV}{2\pi} \left(\sin \left(\frac{\pi}{n} \right) + \sin \left(\frac{\pi}{n} \right) \right) \\
 &= \frac{nV}{\pi} \sin \left(\frac{\pi}{n} \right)
 \end{aligned}$$

2章 平滑回路

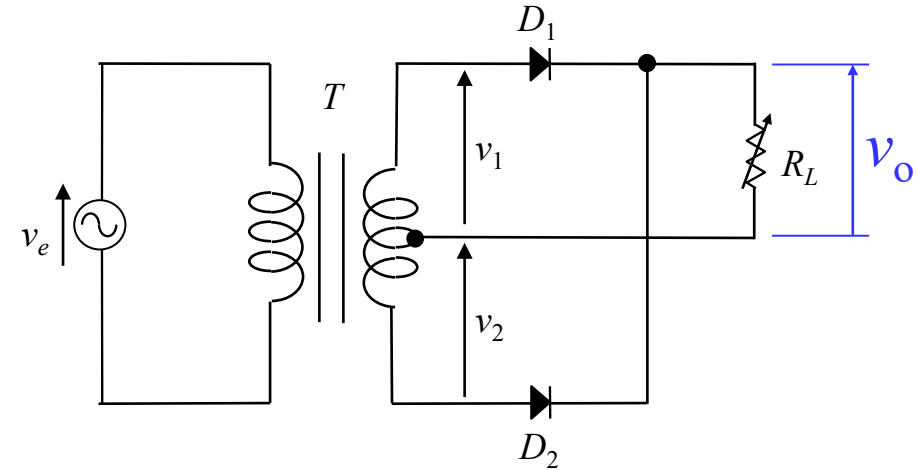
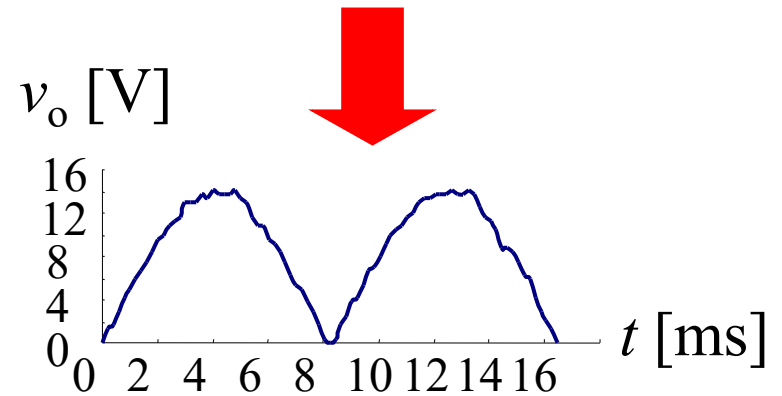


図1.23 全波整流回路の回路図



(b) ダイオードにより整流された電圧 v_o の波形

図1.25 全波整流回路の電圧波形

2章 平滑回路

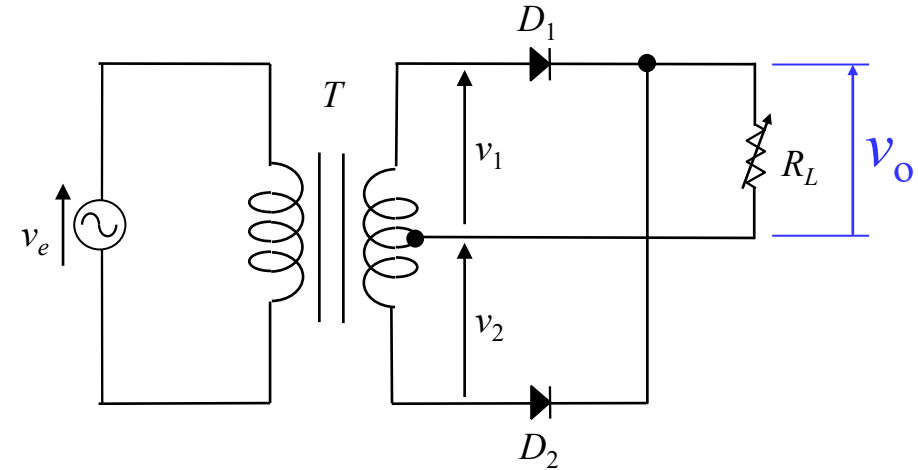
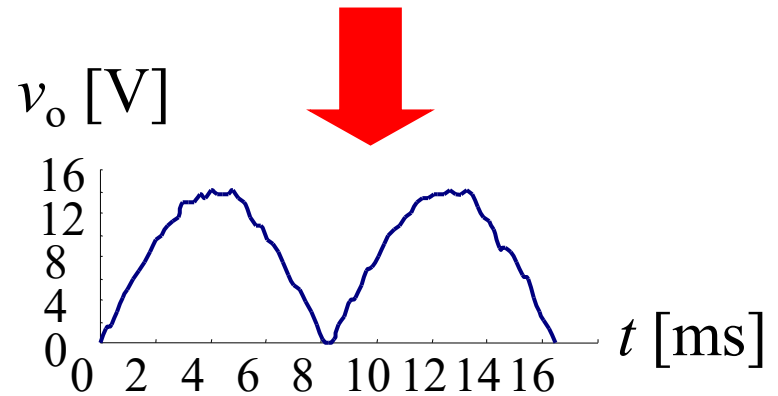


図1.23 全波整流回路の回路図

こんなにも出力電圧
が変動しては困る



(b) ダイオードにより整流された電圧 v_o の波形

図1.25 全波整流回路の電圧波形

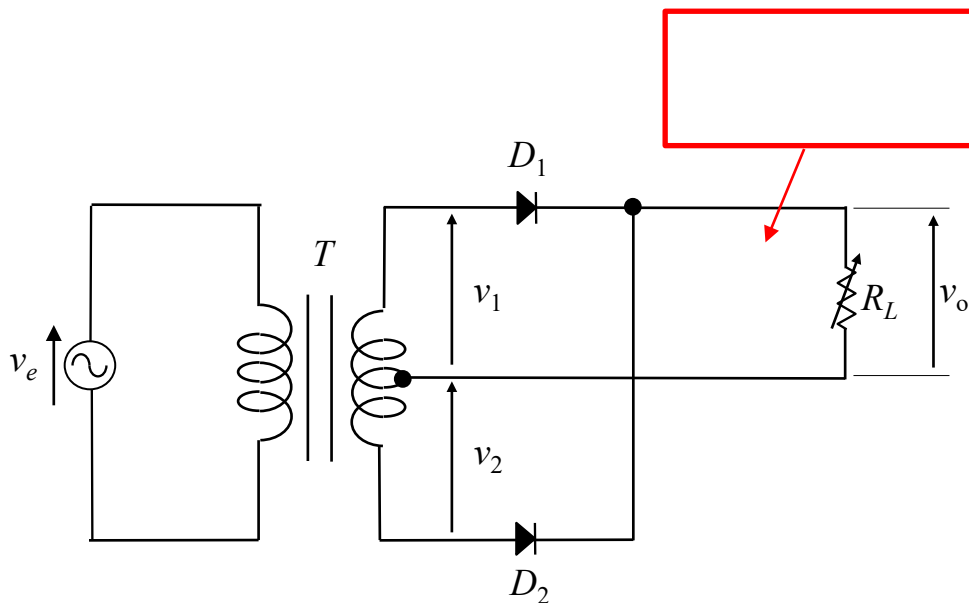


図2.5 コンデンサによる平滑回路を持つ全波整流回路の回路図

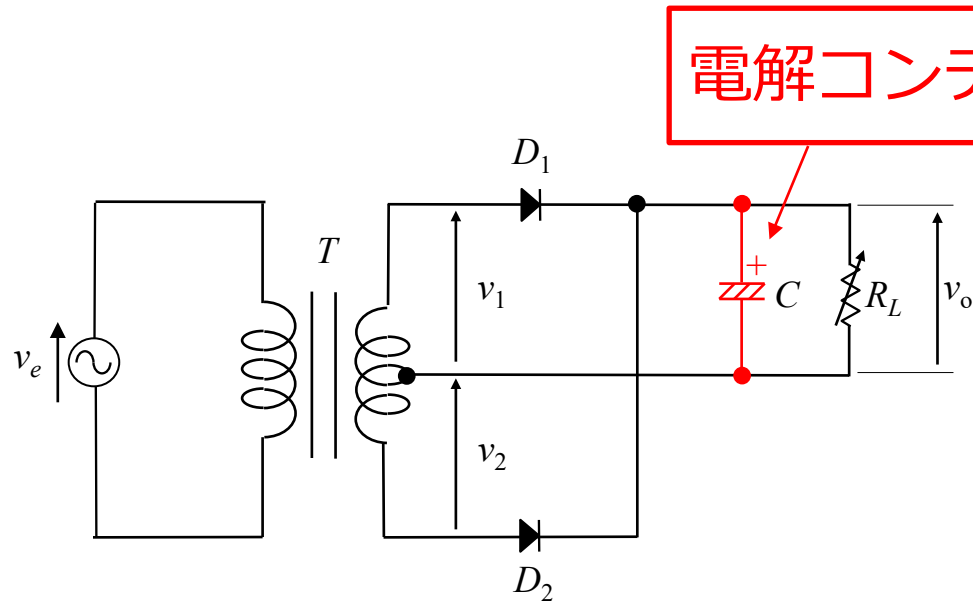


図2.5 コンデンサによる平滑回路を持つ全波整流回路の回路図

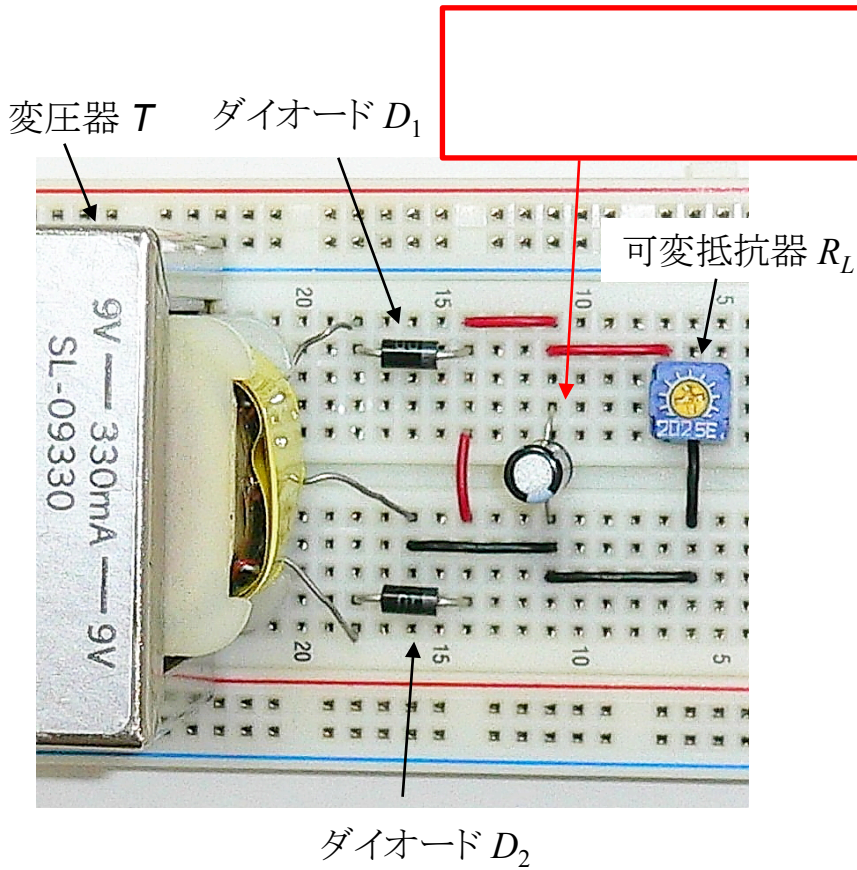


図2.1 コンデンサによる平滑回路の例

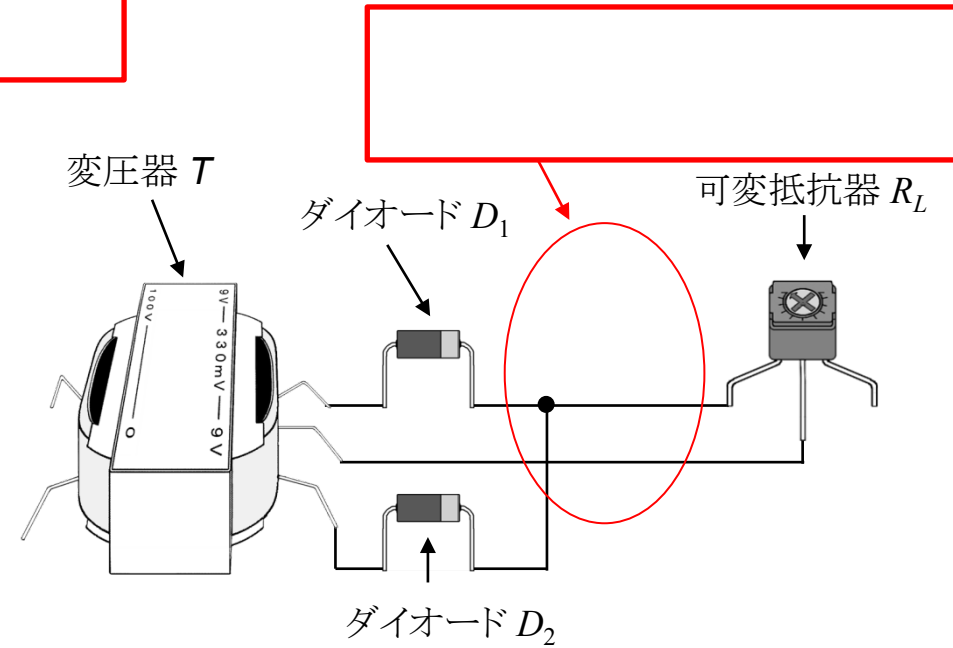


図2.2 コンデンサによる平滑回路の立体配線図

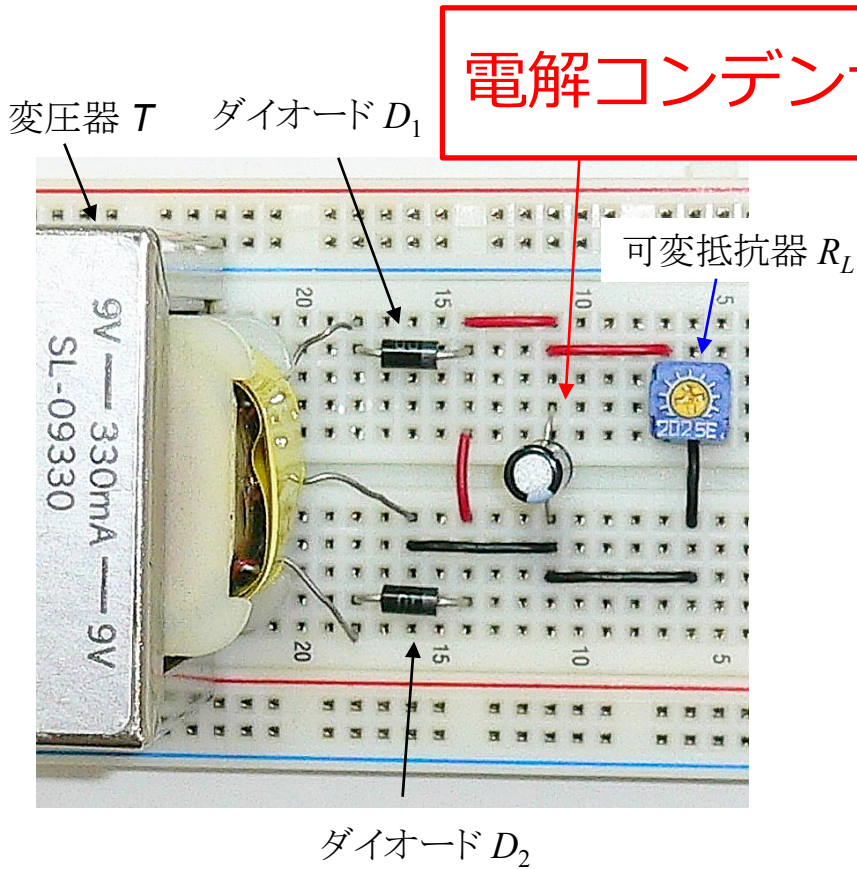


図2.1 コンデンサによる平滑回路の例

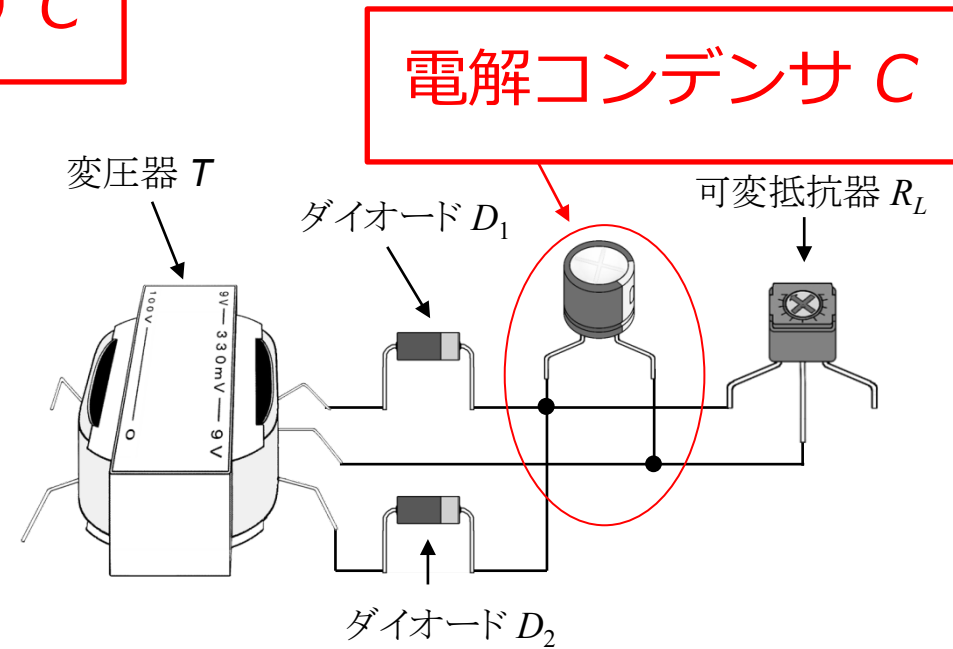
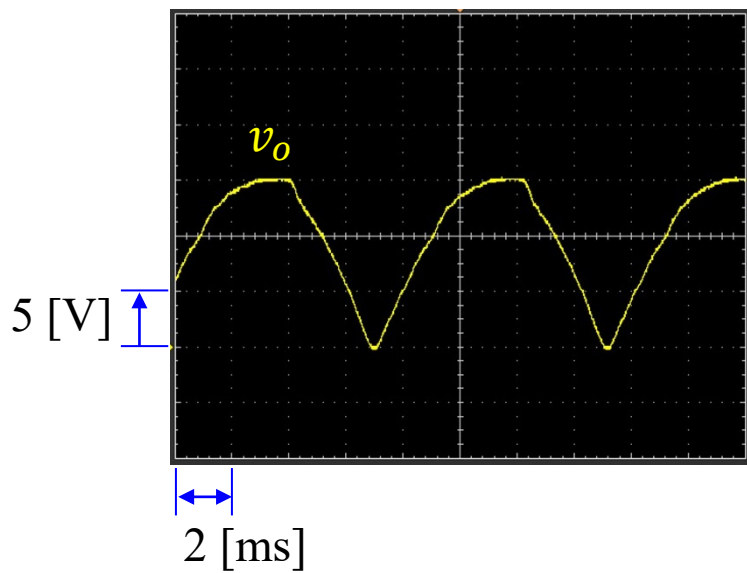
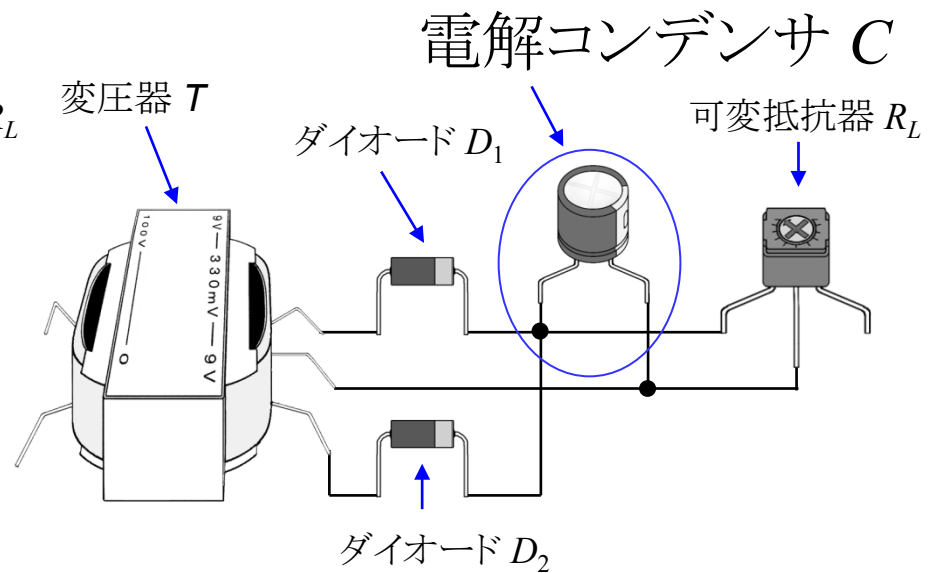
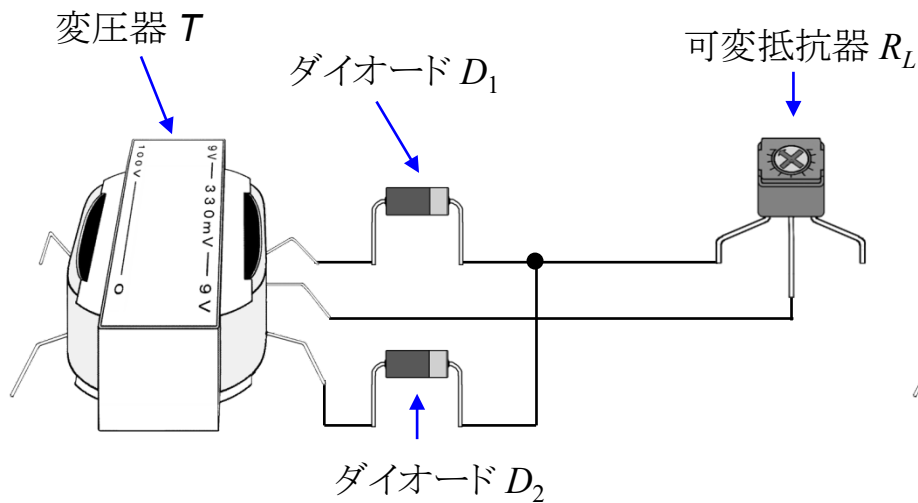
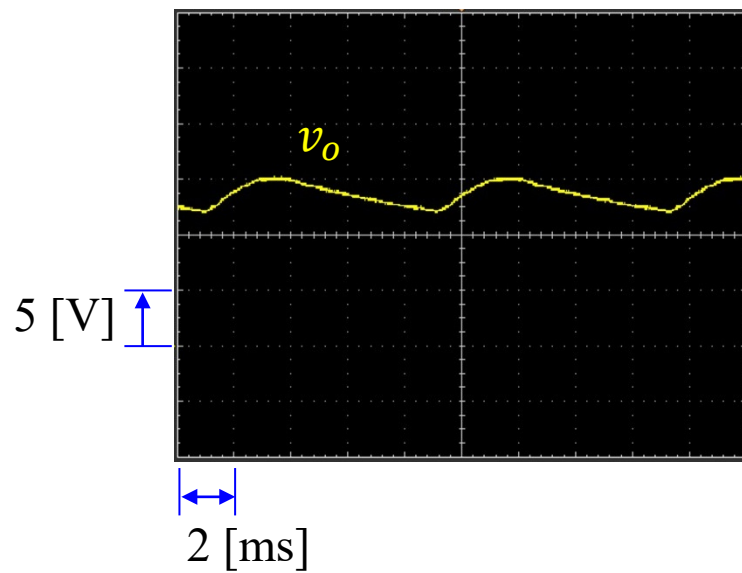


図2.2 コンデンサによる平滑回路の立体配線図



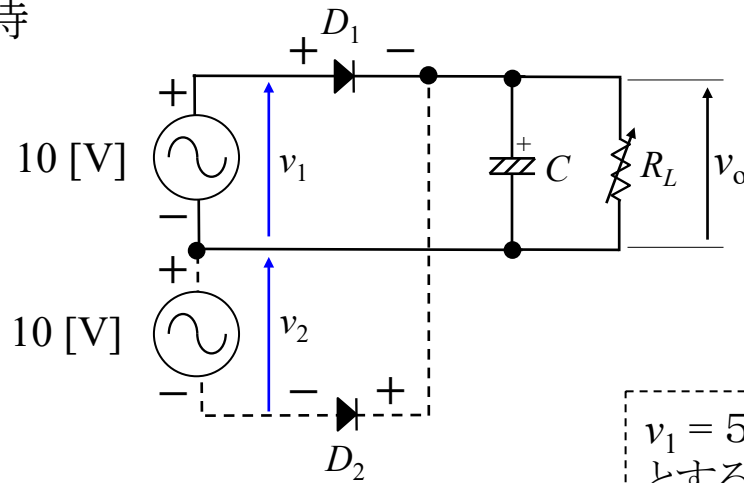
(a) 全波整流回路



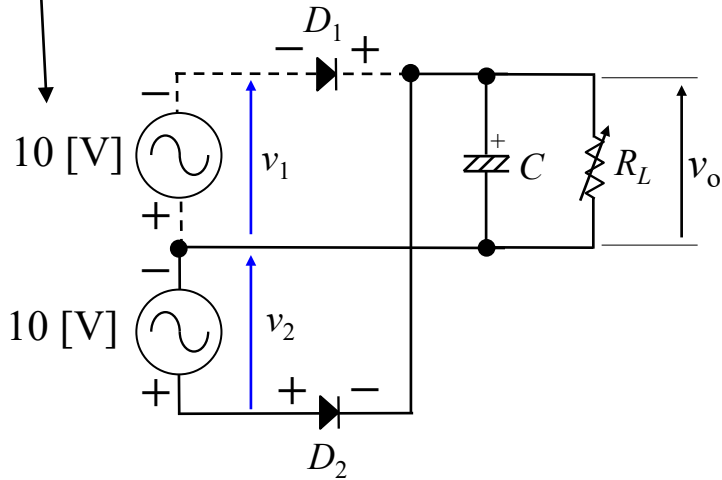
(b) 全波整流回路+平滑回路

(a) ダイオード D_1 導通時
 $(v_1 > v_o, v_1 > -v_2)$

$$\begin{aligned} v_1 &= 10 \text{ [V]} \\ v_2 &= 10 \text{ [V]} \\ &\text{とする} \end{aligned}$$

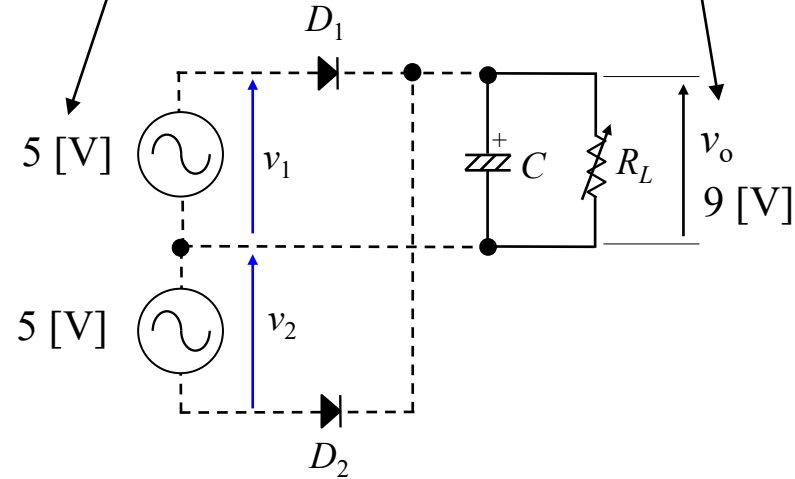


$$\begin{aligned} v_1 &= -10 \text{ [V]} \\ v_2 &= -10 \text{ [V]} \\ &\text{とする} \end{aligned}$$



(b) ダイオード D_2 導通時
 $(-v_2 > v_o, -v_2 > v_1)$

$$\begin{aligned} v_1 &= 5 \text{ [V]}, v_2 = 5 \text{ [V]}, v_o = 9 \text{ [V]} \\ &\text{とする} \end{aligned}$$

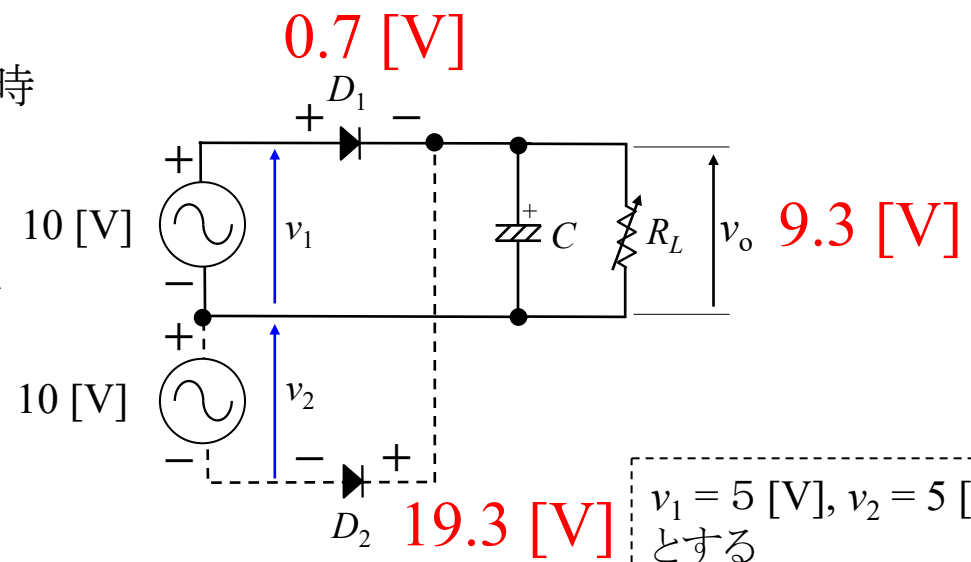


(c) ダイオード非導通時
 $(v_1 < v_o, -v_2 < v_o)$

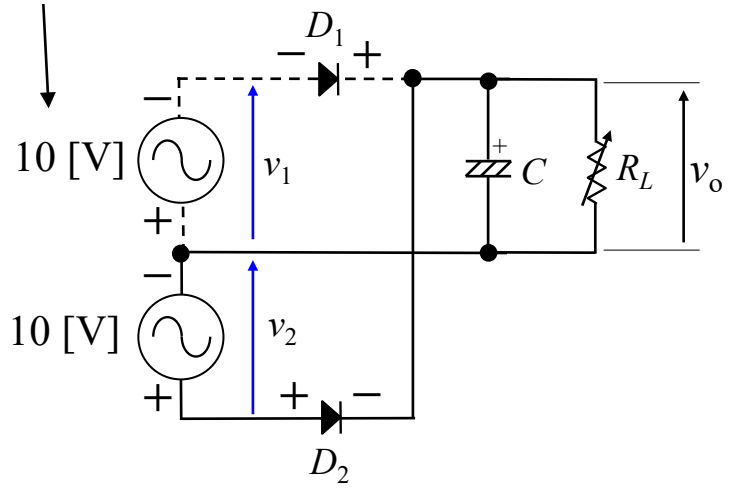
図2.6 コンデンサによる平滑回路を持つ全波整流回路の動作モード

(a) ダイオード D_1 導通時
 $(v_1 > v_o, v_1 > -v_2)$

$v_1 = 10$ [V]
 $v_2 = 10$ [V]
 とする

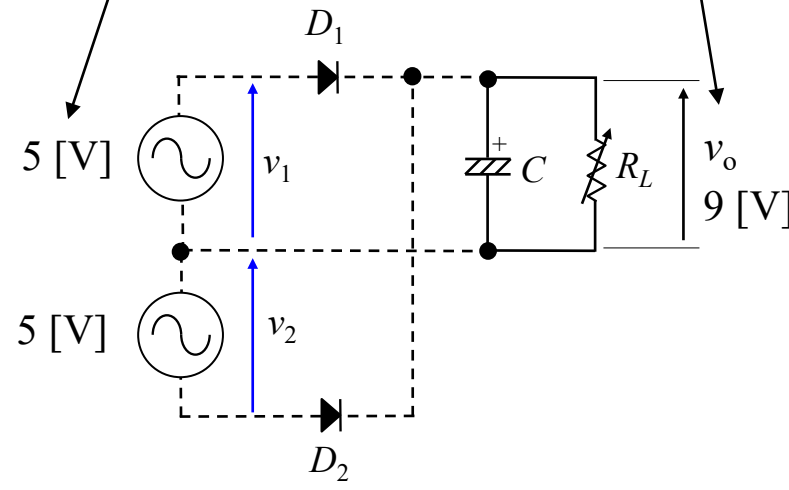


$v_1 = -10$ [V]
 $v_2 = -10$ [V]
 とする



(b) ダイオード D_2 導通時
 $(-v_2 > v_o, -v_2 > v_1)$

$v_1 = 5$ [V], $v_2 = 5$ [V], $v_o = 9$ [V]
 とする

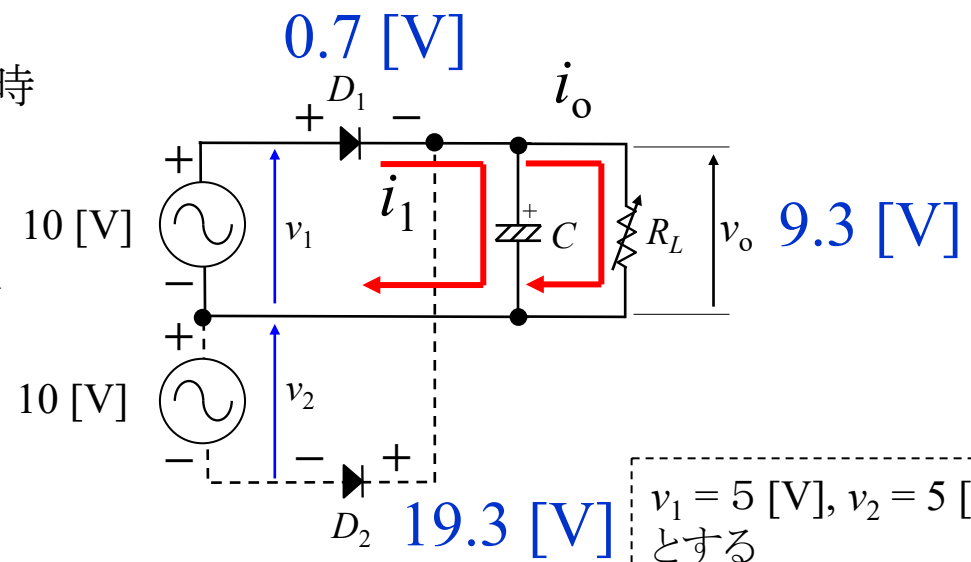


(c) ダイオード非導通時
 $(v_1 < v_o, -v_2 < v_o)$

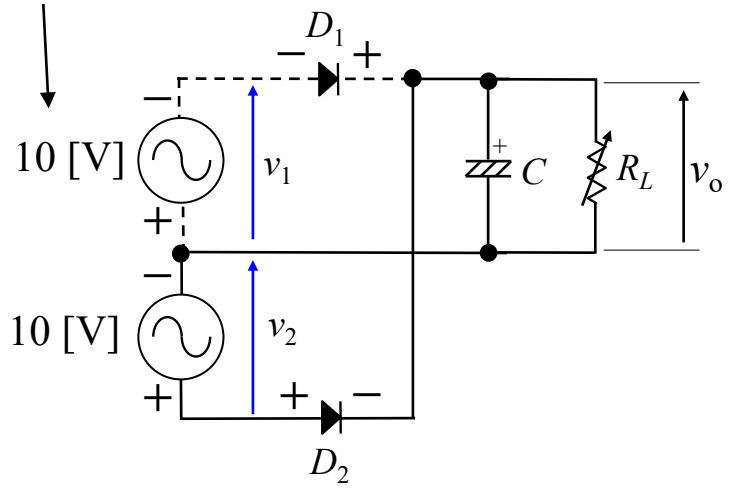
図2.6 コンデンサによる平滑回路を持つ全波整流回路の動作モード

(a) ダイオード D_1 導通時
 $(v_1 > v_o, v_1 > -v_2)$

$v_1 = 10$ [V]
 $v_2 = 10$ [V]
 とする

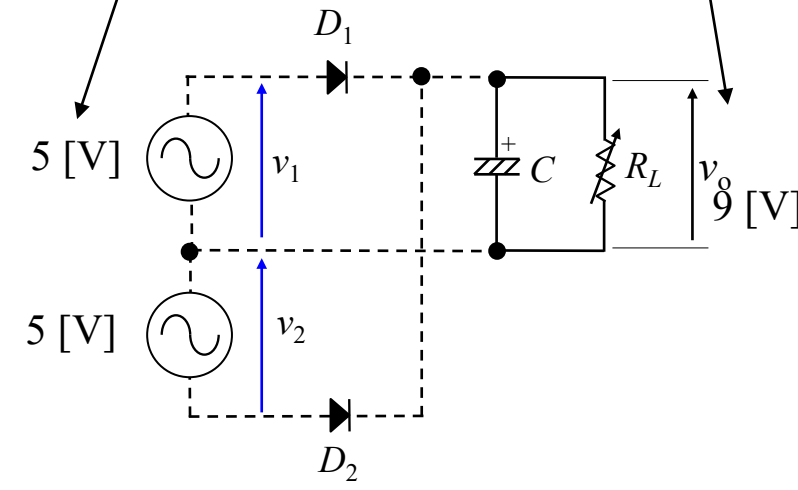


$v_1 = -10$ [V]
 $v_2 = -10$ [V]
 とする



(b) ダイオード D_2 導通時
 $(-v_2 > v_o, -v_2 > v_1)$

$v_1 = 5$ [V], $v_2 = 5$ [V], $v_o = 9$ [V]
 とする

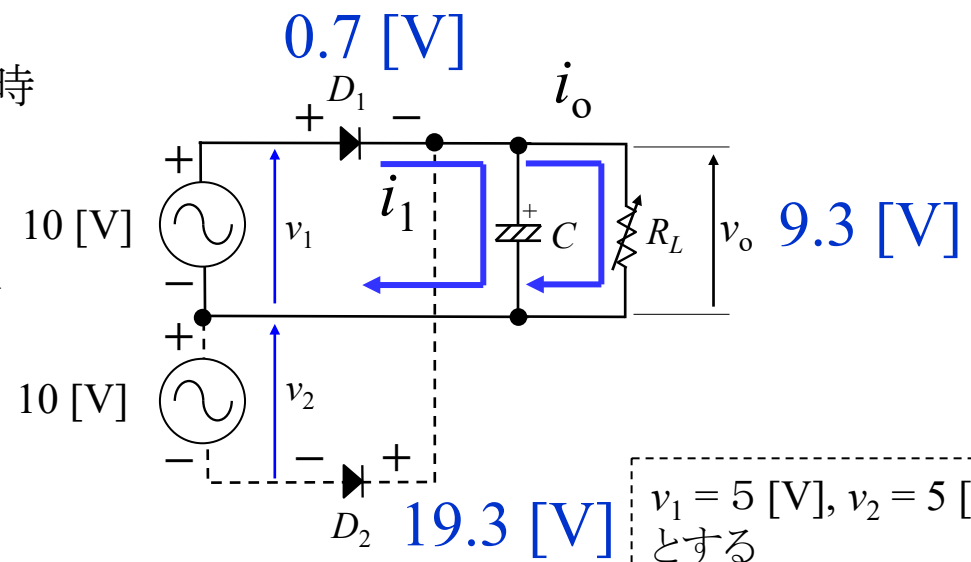


(c) ダイオード非導通時
 $(v_1 < v_o, -v_2 < v_o)$

図2.6 コンデンサによる平滑回路を持つ全波整流回路の動作モード

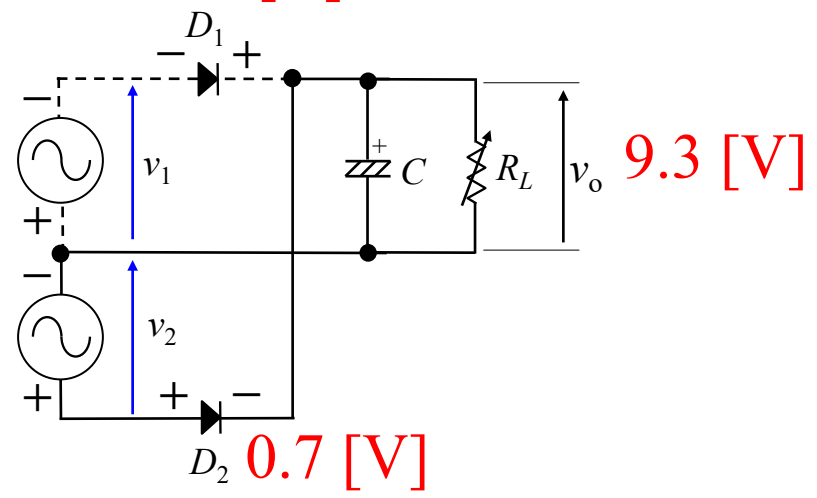
(a) ダイオード D_1 導通時
 $(v_1 > v_o, v_1 > -v_2)$

$v_1 = 10$ [V]
 $v_2 = 10$ [V]
 とする

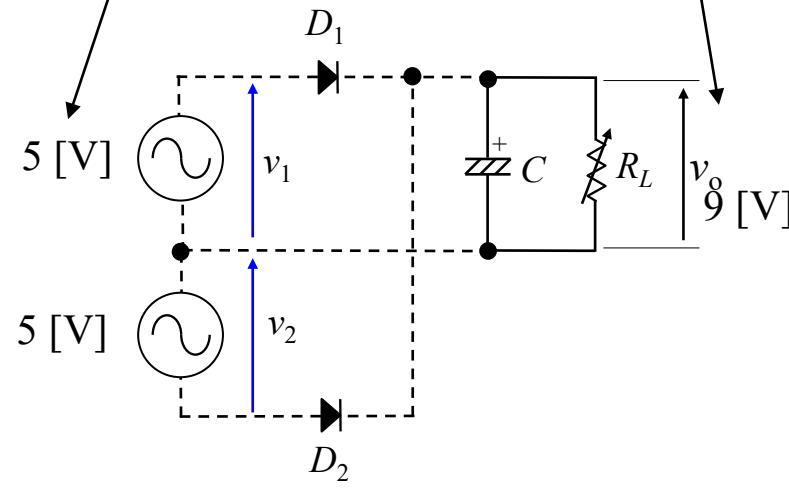


$v_1 = -10$ [V]
 $v_2 = -10$ [V]
 とする

19.3 [V]



$v_1 = 5$ [V], $v_2 = 5$ [V], $v_o = 9$ [V]
 とする



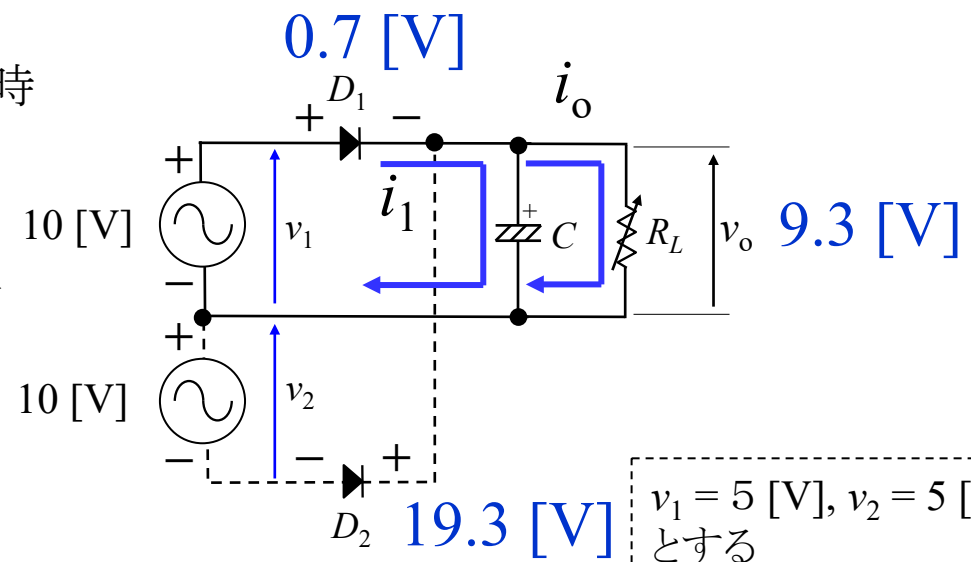
(b) ダイオード D_2 導通時
 $(-v_2 > v_o, -v_2 > v_1)$

(c) ダイオード非導通時
 $(v_1 < v_o, -v_2 < v_o)$

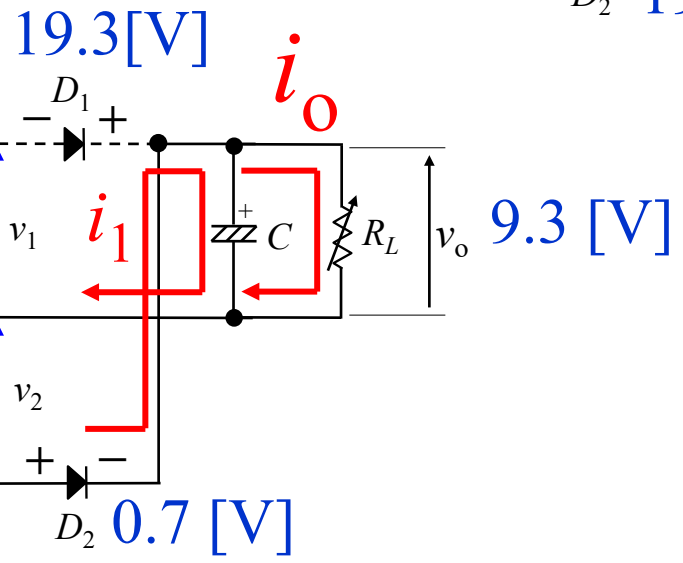
図2.6 コンデンサによる平滑回路を持つ全波整流回路の動作モード

(a) ダイオード D_1 導通時
 $(v_1 > v_o, v_1 > -v_2)$

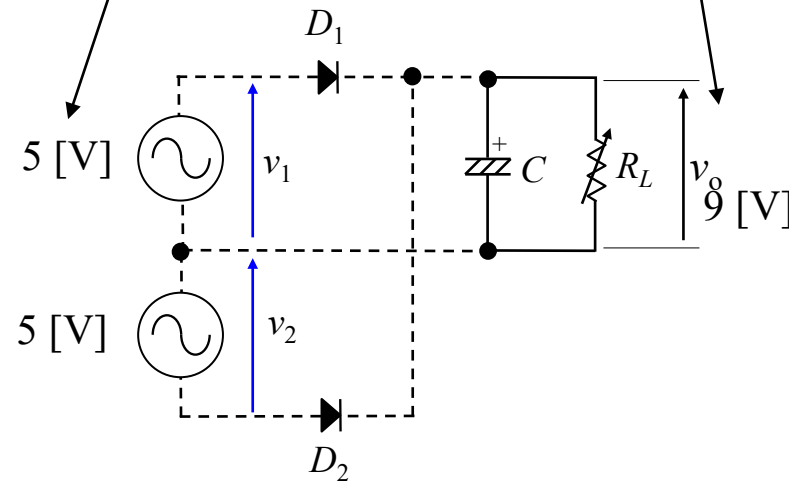
$v_1 = 10$ [V]
 $v_2 = 10$ [V]
 とする



$v_1 = -10$ [V]
 $v_2 = -10$ [V]
 とする



$v_1 = 5$ [V], $v_2 = 5$ [V], $v_o = 9$ [V]
 とする



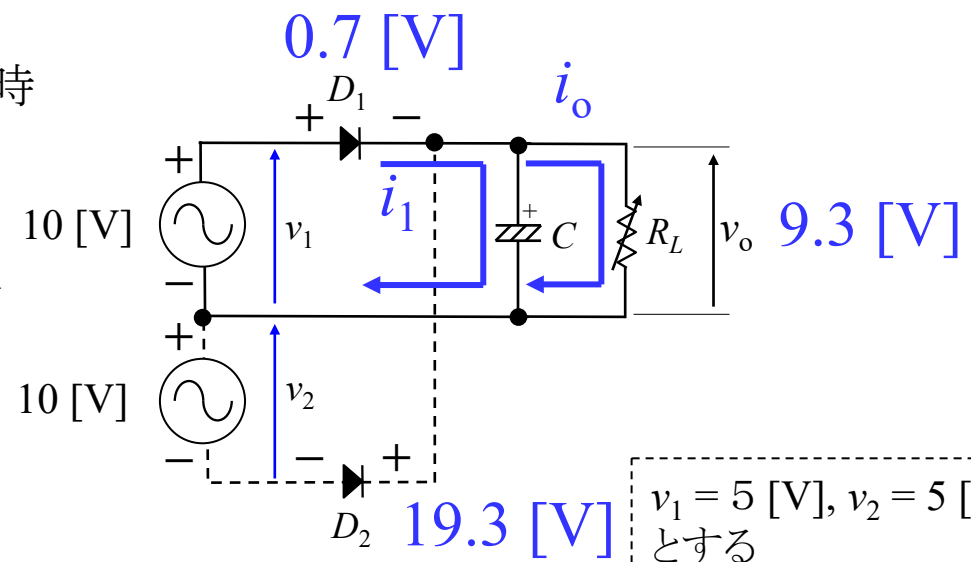
(b) ダイオード D_2 導通時
 $(-v_2 > v_o, -v_2 > v_1)$

(c) ダイオード非導通時
 $(v_1 < v_o, -v_2 < v_o)$

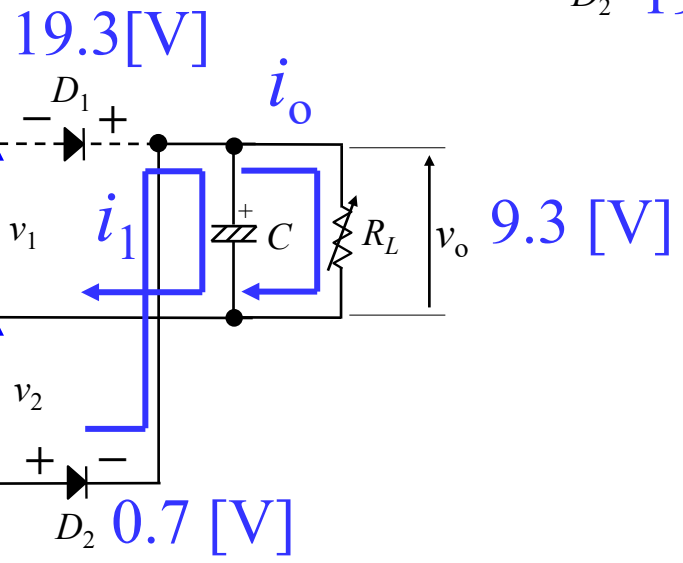
図2.6 コンデンサによる平滑回路を持つ全波整流回路の動作モード

(a) ダイオード D_1 導通時
 $(v_1 > v_o, v_1 > -v_2)$

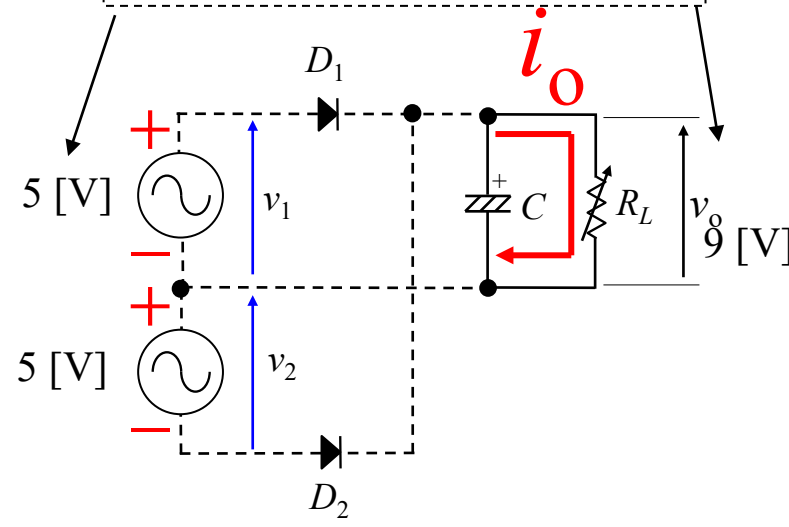
$v_1 = 10$ [V]
 $v_2 = 10$ [V]
 とする



$v_1 = -10$ [V]
 $v_2 = -10$ [V]
 とする



$v_1 = 5$ [V], $v_2 = 5$ [V], $v_o = 9$ [V]
 とする

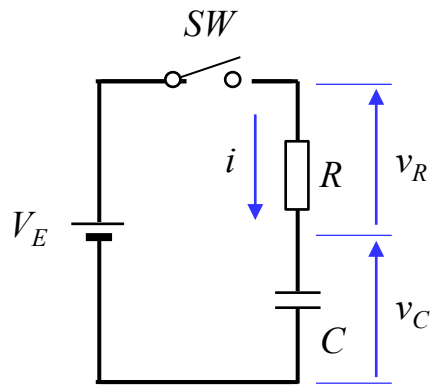


(b) ダイオード D_2 導通時
 $(-v_2 > v_o, -v_2 > v_1)$

(c) ダイオード非導通時
 $(v_1 < v_o, -v_2 < v_o)$

図2.6 コンデンサによる平滑回路を持つ全波整流回路の動作モード

RC直列回路の過渡現象解析



$t = 0$ にて SW 投入, $v_C = V_{C0}$

$$V_E = Ri + \frac{1}{C} \int_0^t i dt + V_{C0}$$

ラプラス変換をすると

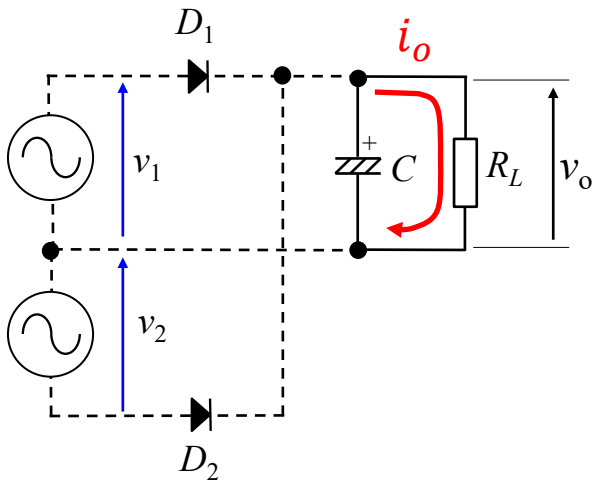
$$\frac{V_E}{s} = RI(s) + \frac{I(s)}{sC} + \frac{V_{C0}}{s}$$

$$\left(R + \frac{1}{sC} \right) I(s) = \frac{V_E - V_{C0}}{s}$$

$$I(s) = \frac{V_E - V_{C0}}{R} \frac{1}{s + \frac{1}{RC}}$$

逆ラプラス変換をすると

$$i(t) = \frac{V_E - V_{C0}}{R} e^{-\frac{1}{RC}t}$$



$$V_E = R_L i_o + \frac{1}{C} \int_0^t i_o dt + V_{C0}$$

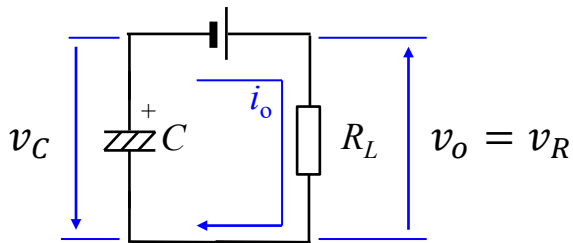
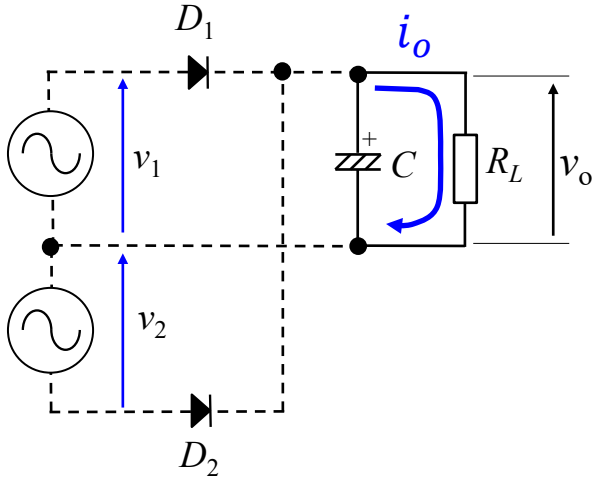


図2.9 整流回路の等価回路



$$V_E = R_L i_o + \frac{1}{C} \int_0^t i_o dt + V_{C0}$$

$t = 0$ にて,

$$V_E = 0,$$

$$V_{C0} = -v_o(0): \text{初期条件}$$

$$V_E = 0$$

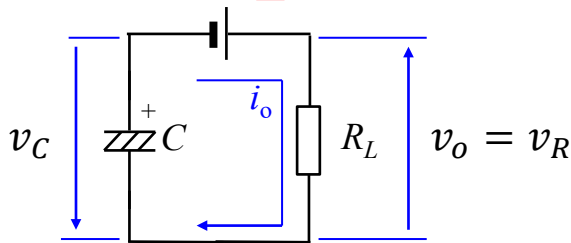
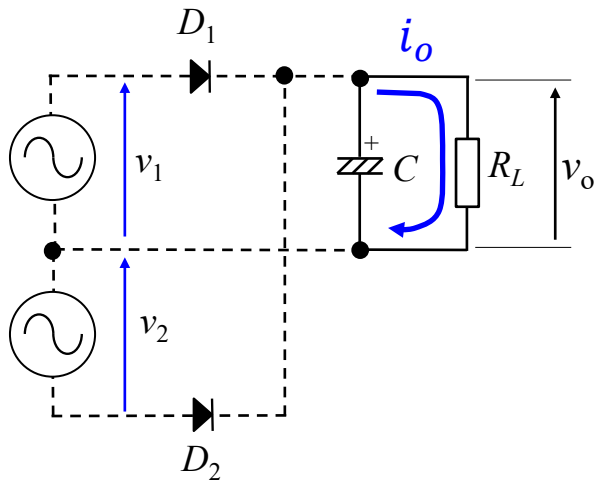


図2.9 整流回路の等価回路

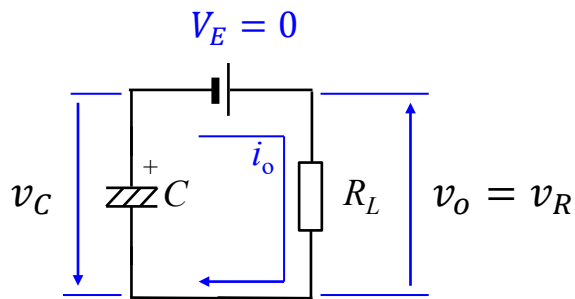


$$V_E = R_L i_o + \frac{1}{C} \int_0^t i_o dt + V_{C0}$$

$t = 0$ にて,

$$V_E = 0,$$

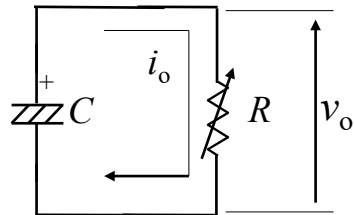
$$V_{C0} = -v_o(0): \text{初期条件}$$



$$R_L i_o + \frac{1}{C} \int_0^t i_o dt = v_o(0)$$

図2.9 整流回路の等価回路

ダイオード非導通時の過渡現象解析



$$Ri_o + \frac{1}{C} \int_0^t i_o dt = v_o(0) \quad (2.6)$$

$$(2.7)$$



(b) ダイオード非導通時

$$I_o = \frac{1}{s + \frac{1}{RC}} \frac{V_p}{R} \quad (2.8)$$

$$(2.9)$$



図2.9 整流回路の等価回路

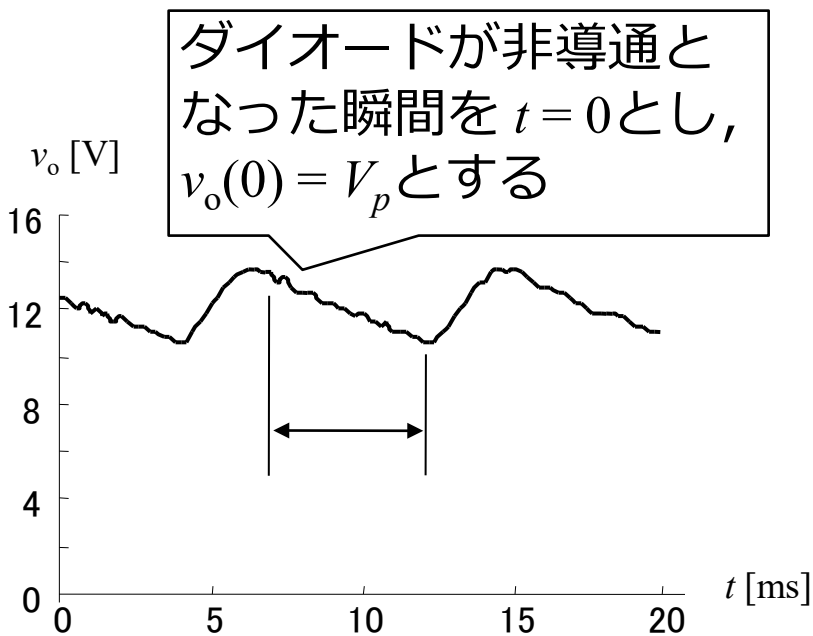
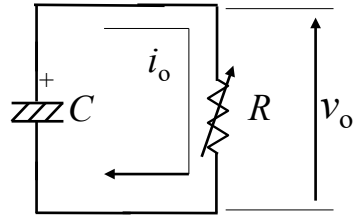


図2.8 コンデンサ電圧・入力電流 (実験結果)

ダイオード非導通時の過渡現象解析



$$Ri_o + \frac{1}{C} \int_0^t i_o dt = v_o(0) \quad (2.6)$$

$$RI_o + \frac{1}{sC} I_o = \frac{V_p}{s}$$

$$I_o = \frac{1}{s + \frac{1}{RC}} \frac{V_p}{R} \quad (2.8)$$

$$(2.9)$$

(b) ダイオード非導通時

図2.9 整流回路の等価回路

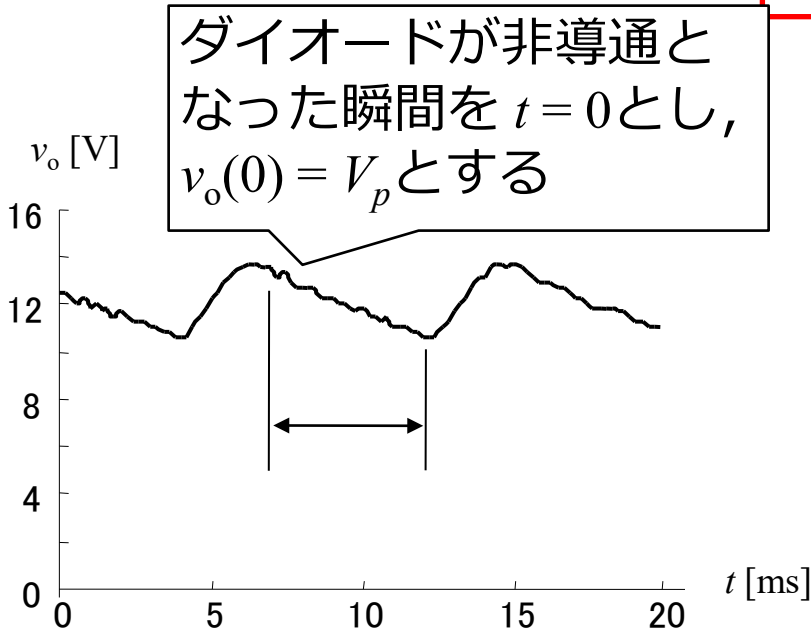
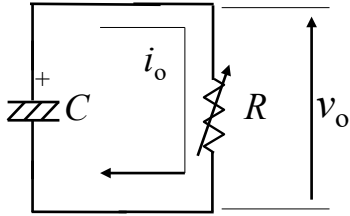


図2.8 コンデンサ電圧・入力電流 (実験結果)

ダイオード非導通時の過渡現象解析



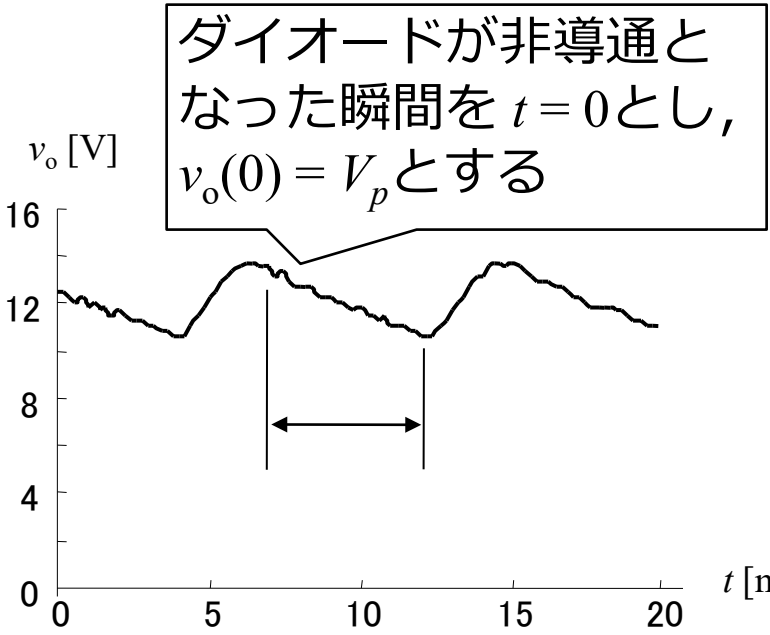
$$Ri_o + \frac{1}{C} \int_0^t i_o dt = v_o(0) \quad (2.6)$$

$$RI_o + \frac{1}{sC} I_o = \frac{V_p}{s} \quad (2.7)$$

(b) ダイオード非導通時

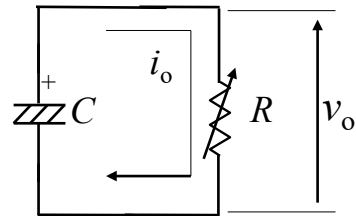
図2.9 整流回路の等価回路

$$I_o = \frac{1}{s + \frac{1}{R}} \frac{V_p}{s} \quad (2.8)$$



$$i_o = \frac{V_p}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \quad (2.9)$$

図2.8 コンデンサ電圧・入力電流 (実験結果)



(2.10)



(b) ダイオード非導通時

図2.9 整流回路の等価回路

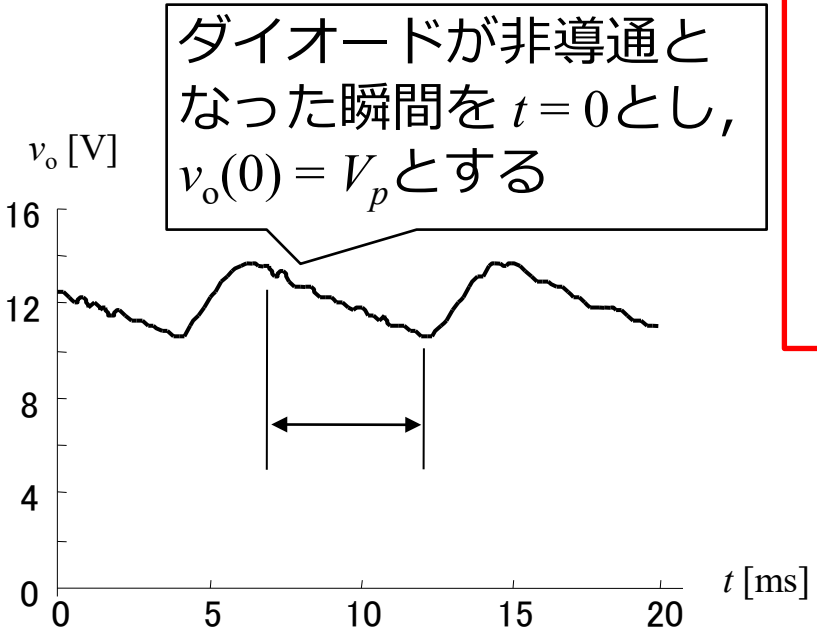
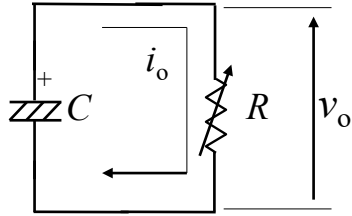


図2.8 コンデンサ電圧・入力電流 (実験結果)

ダイオード非導通時の過渡現象解析 (続き)



(b) ダイオード非導通時

$$v_o = Ri_o$$

$$= V_p e^{-\frac{t}{RC}} \quad (2.10)$$

図2.9 整流回路の等価回路

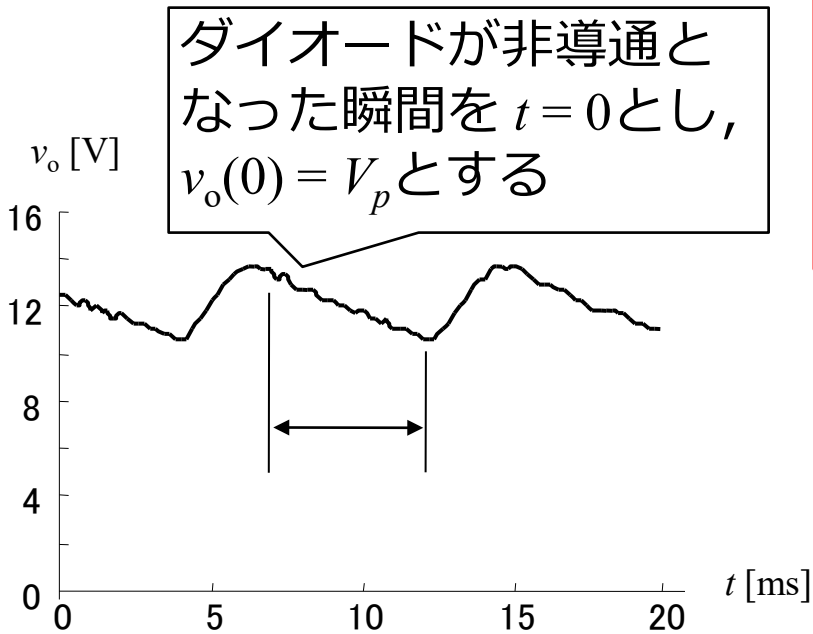
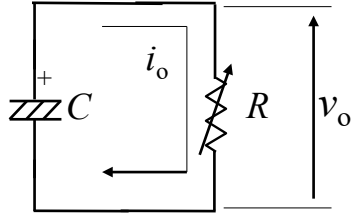


図2.8 コンデンサ電圧・入力電流 (実験結果)

ダイオード非導通時の過渡現象解析 (続き)



(b) ダイオード非導通時

$$v_o = Ri_o$$

$$= V_p e^{-\frac{t}{RC}} \quad (2.10)$$

RC : 時定数 [sec]

図2.9 整流回路の等価回路

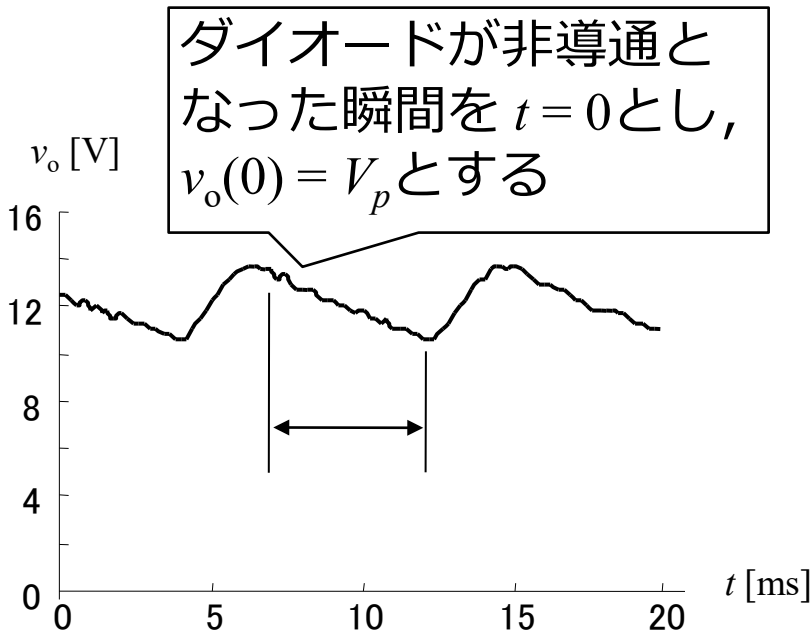
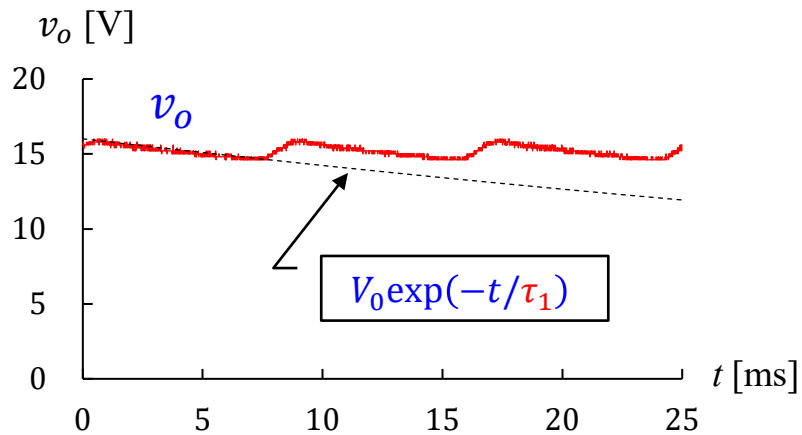
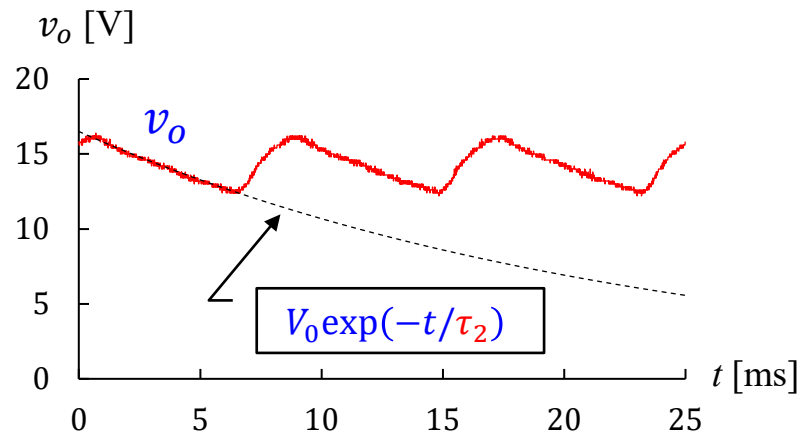


図2.8 コンデンサ電圧・入力電流 (実験結果)

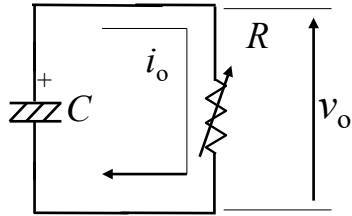
実測例と計算例



(a) $\tau_1 = 85$ [ms] ($R_L = 1.85$ [k Ω], $C = 46$ [μ F])



(b) $\tau_2 = 23$ [ms] ($R_L = 500$ [Ω], $C = 46$ [μ F])

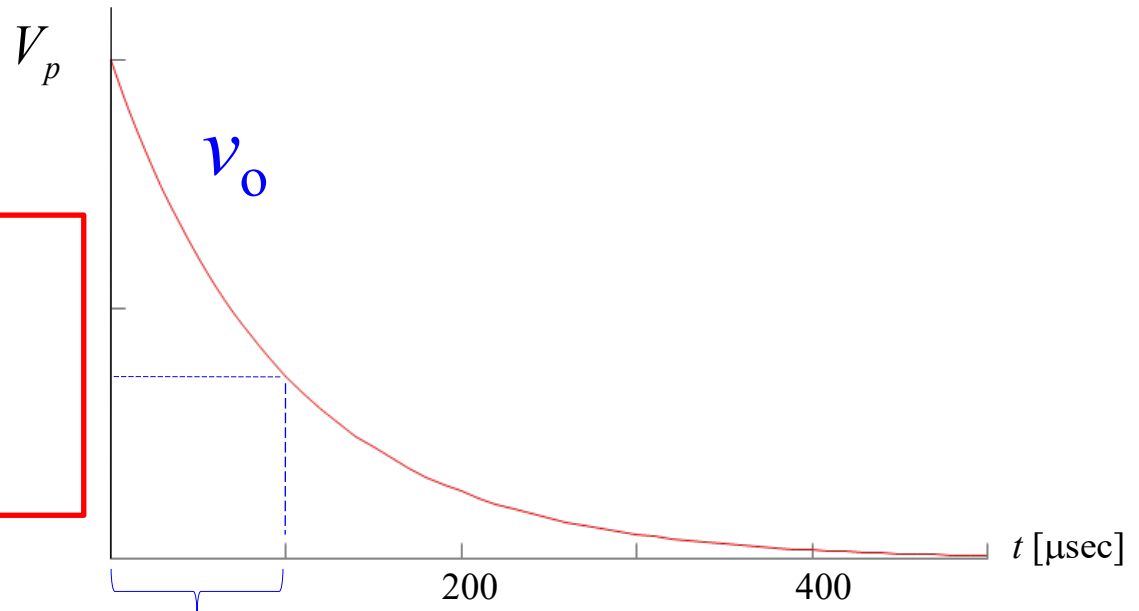


$$v_o = V_p e^{-\frac{t}{RC}}$$

(b) ダイオード非導通時

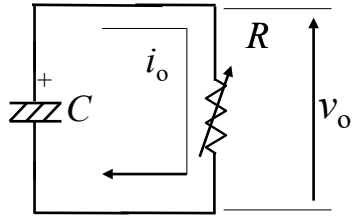
$R = 100[\Omega], C = 1[\mu\text{F}]$ のとき

図2.9 整流回路の等価回路



$$\tau = RC = 100 \times 10^{-6} = 100 [\mu\text{sec}]$$

時定数

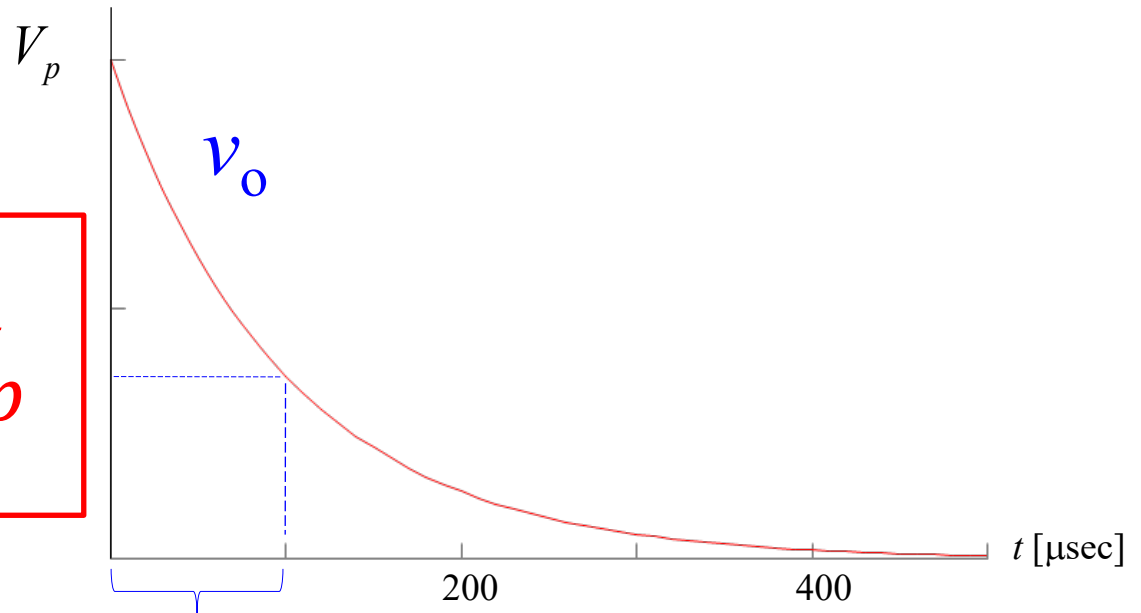


$$v_o = V_p e^{-\frac{t}{RC}}$$

$R = 100[\Omega], C = 1[\mu\text{F}]$ のとき

(b) ダイオード非導通時

図2.9 整流回路の等価回路



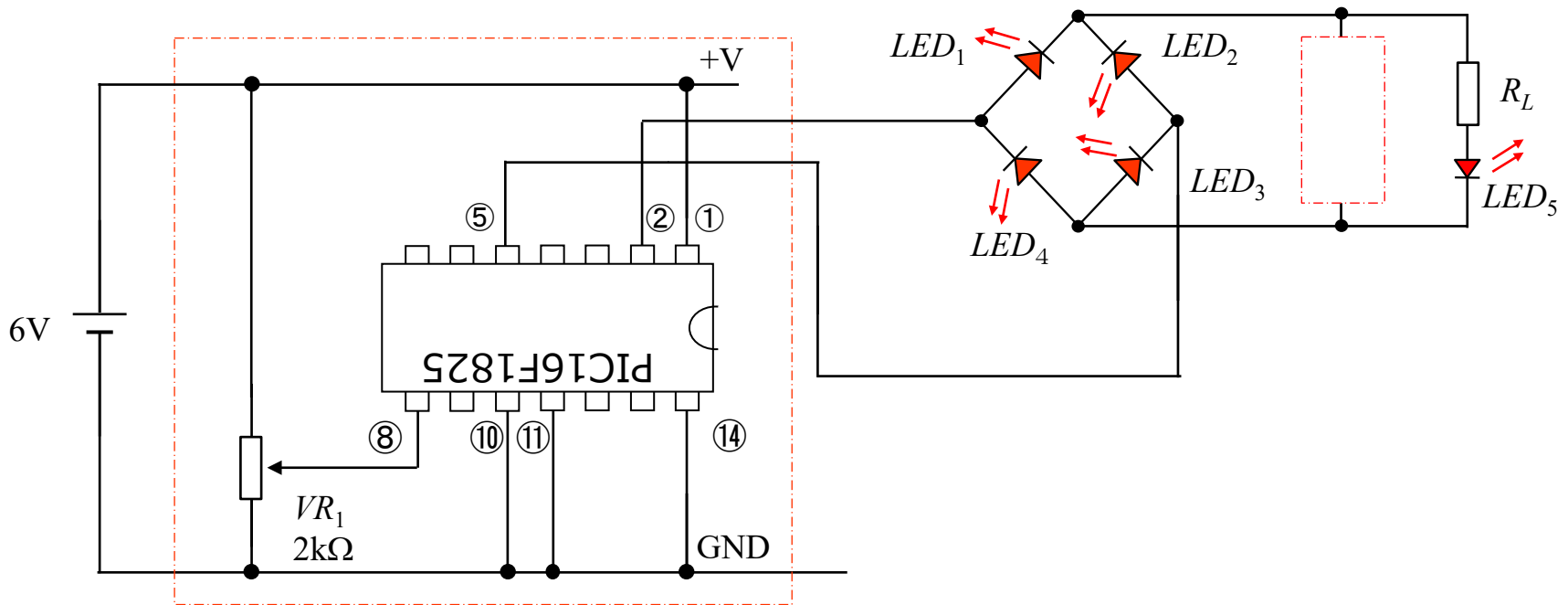
$$e^{-1}V_p = 0.37V_p$$

$$\tau = RC = 100 \times 10^{-6} = 100[\mu\text{sec}]$$

時定数

製作課題 STEP2 平滑回路

以下の全波整流回路に平滑回路を設けよ。ただし、コンデンサはプッシュスイッチにより入り切りができるようにせよ。また、コンデンサと抵抗 R_L からなる平滑回路の時定数が約 $0.24[\text{sec}]$ 程度となるように、コンデンサの静電容量と抵抗 R_L の抵抗値を決定せよ。プッシュスイッチの入り切りによる平滑回路の効果をTAに説明せよ。

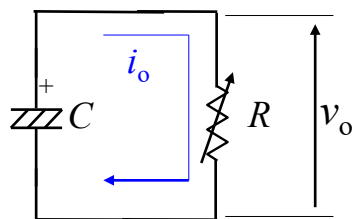


ビデオ

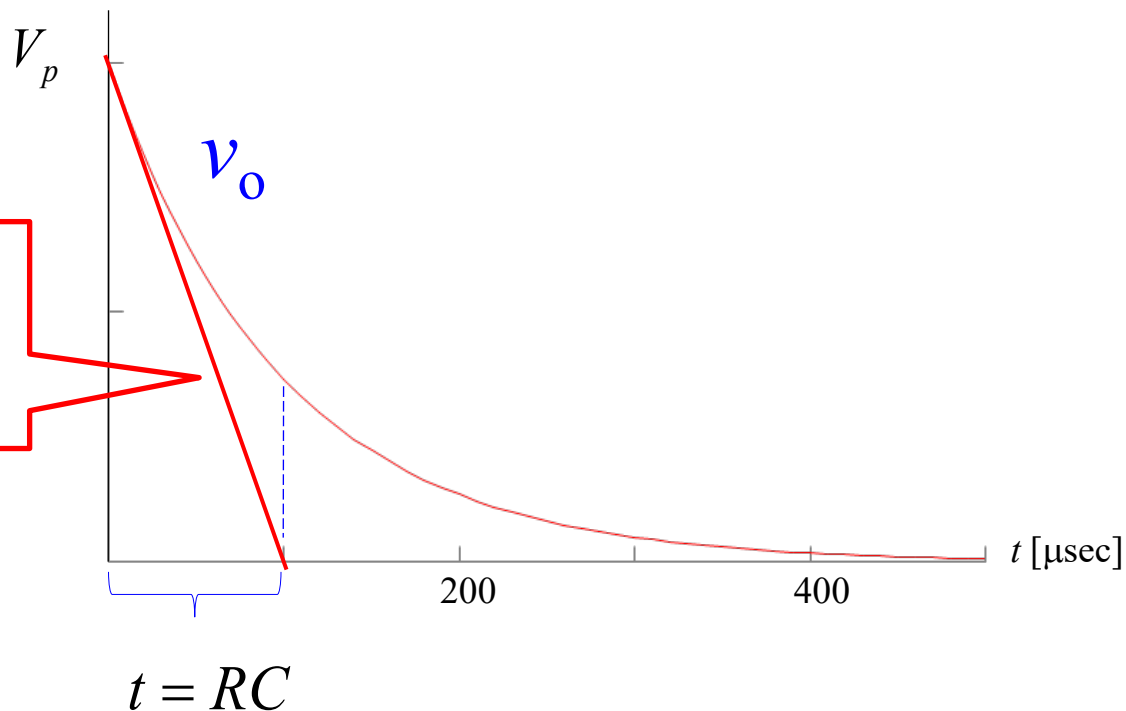
http://mybook-pub-site.sakura.ne.jp/Power_Electronics_Note/Exercise2/Exercise2.mp4

STEP2 レポート課題(1)

図は整流回路においてダイオード非導通時における出力電圧 v_o の波形例を示す． $t = 0$ にて非導通状態になったとする． $t = 0$ における v_o の接線は $t = R_L C$ にて $v_o = 0$ となることを示せ．



$t = 0$ における v_o の接線



STEP2 レポート課題(2)

図は抵抗 R とインダクタンス L の直列回路である。直流電源 E の電圧を V_E とする。以下の問いに答えよ。

- スイッチ SW_1, SW_2 がオフであったとする。時刻 $t=0$ にてスイッチ SW_1 をオンとしたとき、 $t \geq 0$ におけるこの回路の微分方程式を示せ。
- $t=0$ にて $i=0$ として、微分方程式を解き、 $t \geq 0$ における電流 i を求めよ。
- $t=10 L/R$ にてスイッチ SW_1 をオフ、 SW_2 をオンに切り替えたとき、 $t \geq 10 L/R$ におけるこの回路の微分方程式を示せ。
- 電流 i の波形を描け。

