

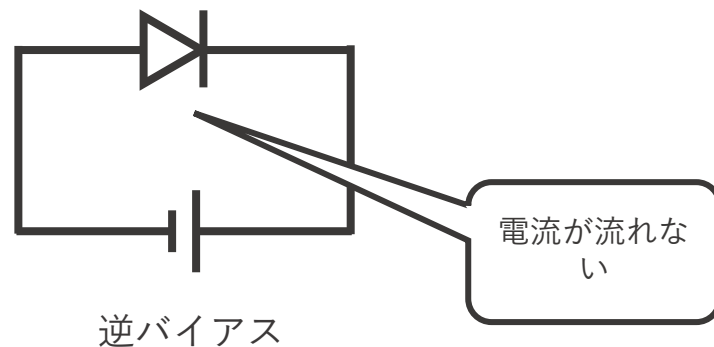
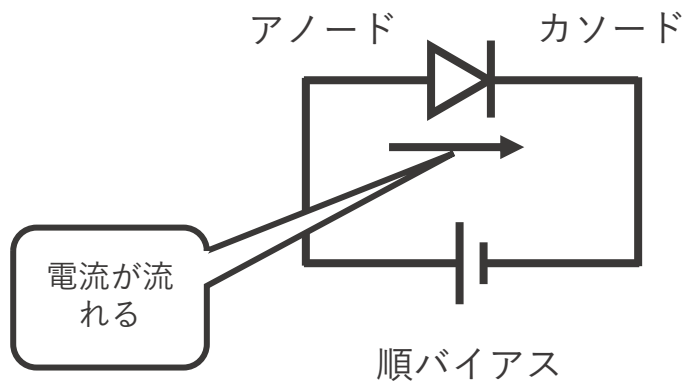
電気工学2第11回

藤田 一寿

ダイオード

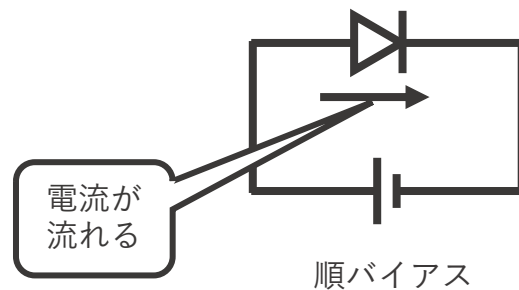
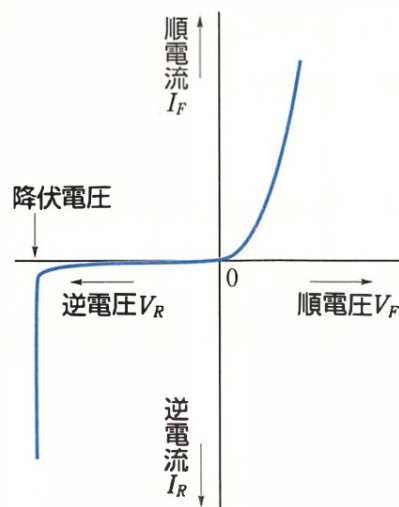
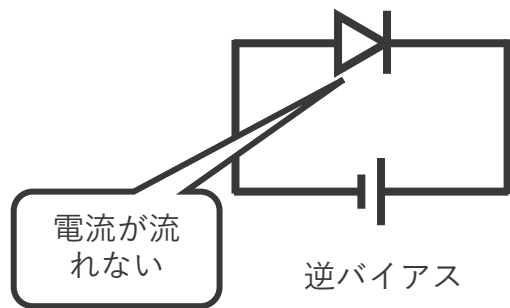
ダイオード

- 電流を一定方向にしか流さない（整流作用）
- 電流を流す方向に電圧をかけることを順バイアス（順電圧）
- 電流を流す方向に流れる電流を順電流
- 電流を流さない方向に電圧をかけることを逆バイアス（逆電圧）
- 電流を流す方向に流れる電流を逆電流



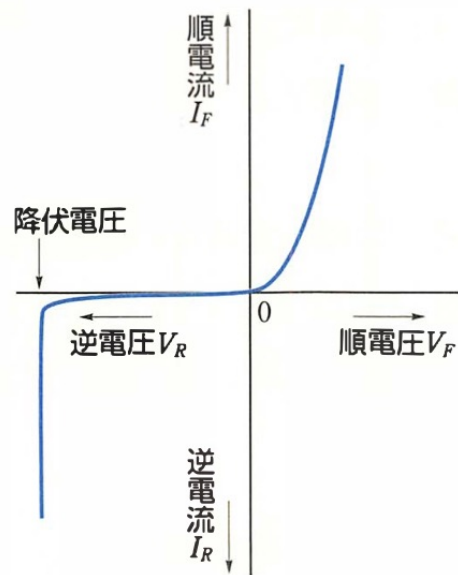
■ 特性図

- ダイオードにかける電圧（印加電圧）と電流の関係を表した図を特性図（V-I特性図）という。
- 逆電圧を大きくすると、ある電圧で大きな逆電流が流れ始める。これを降伏状態といい、その時の電圧を降伏電圧という。



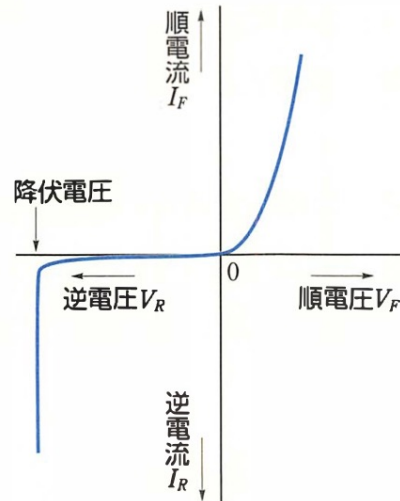
■ 特性図の解釈

- 電流に対する電圧降下の関係と見ることもできる.
- つまり, 特性図は, ある電流を流すとダイオードで
どれほど電圧降下が起こるかを示す.
- 逆電流を流すと降伏電圧の電圧降下が起こる.
 - 電流をいくら流しても降伏電圧以上の電圧降下は起
こらない.
 - この性質は低電圧ダイオード (ツェナーダイオード)
で用いられる.
- 順電流だとしても, ダイオードで電圧降下が起こる.



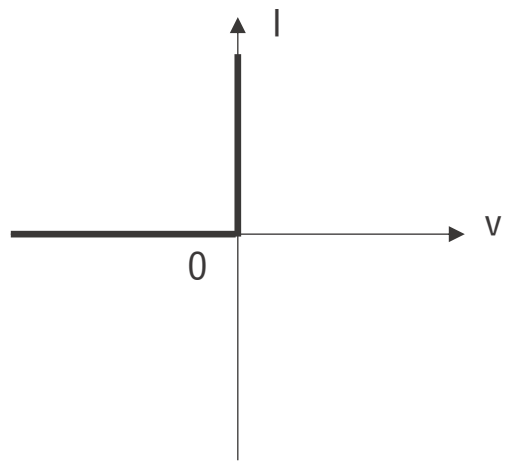
■ 特性図のオームの法則による解釈

- オームの法則
- $V = RI$
- $I = V/R$
- 特性図の縦軸は電流横軸は電圧なので、特性図は $I = V/R$ を表している。
- 特性図の傾きが大きい
 - 抵抗が低い
- 特性図の傾きが小さい
 - 抵抗が大きい



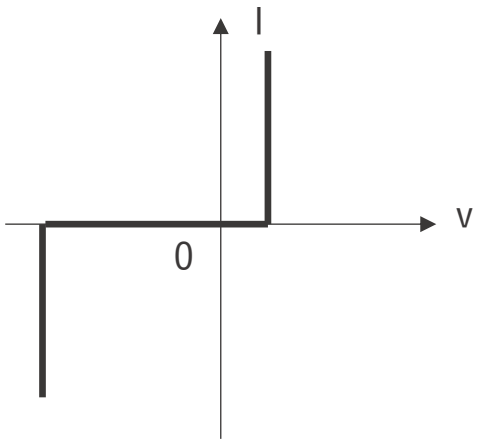
■ 様々な特性図

特性図

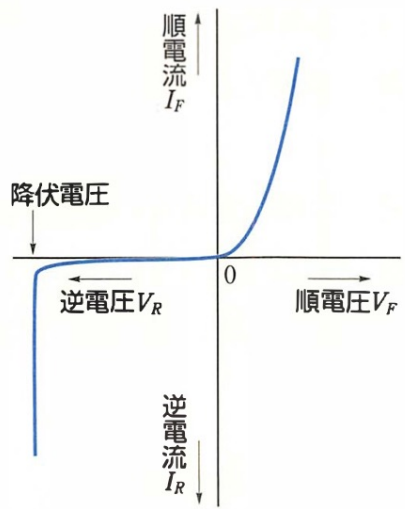


理想的

特性図



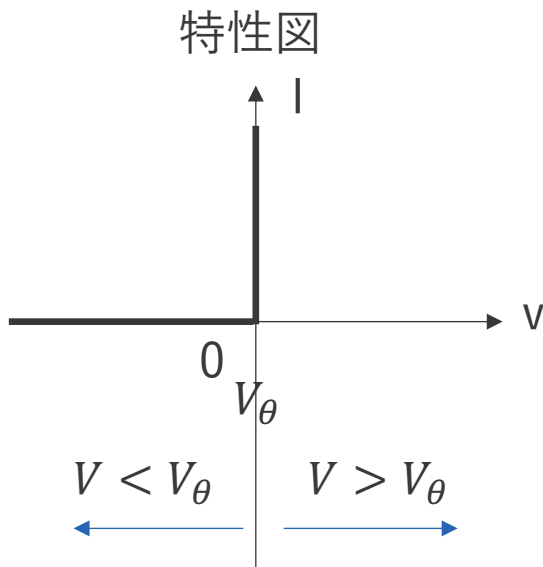
比較的理想の



現実的

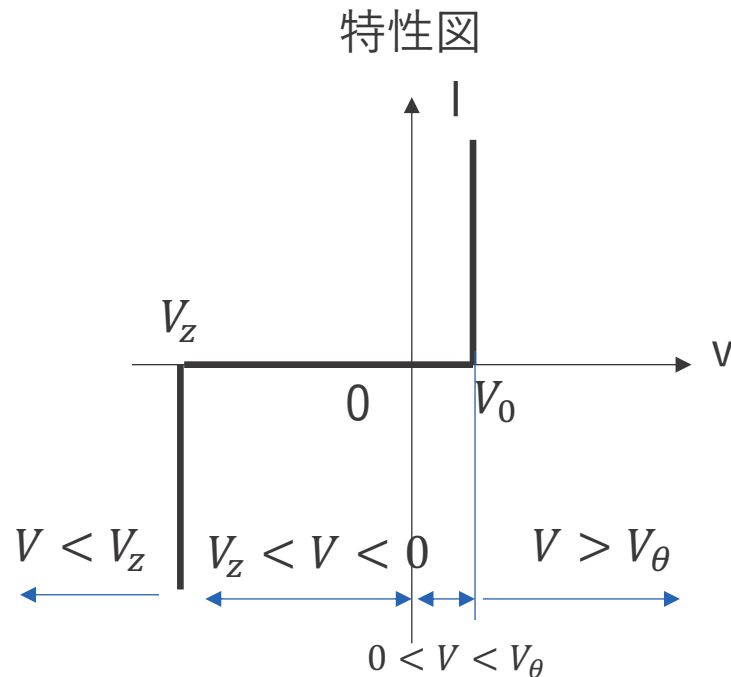
■ 理想的な場合

- $V > V_\theta$ のときインピーダンス0
 - 電圧降下は起こらない.
- $V < V_\theta$ のときインピーダンス無限大
 - 電源電圧がダイオードの電圧降下になる.



■ 比較的理想的な場合

- $V > V_\theta$ のとき
 - インピーダンスは0となる.
 - 順バイアスの状態.
 - 閾値電位 V_θ の電圧降下がある.
- $0 < V < V_\theta$
 - インピーダンスは無限大となる.
 - 順バイアスではあるが電流が流れない.
- $V_z < V < 0$
 - インピーダンスは無限大となる.
- $V < V_z$
 - 逆バイアスではあるが電流が流れる.
 - インピーダンスは0となる.
 - ツェナー電圧 V_z の電圧降下がある.



■ 問題解説

- 5Vの直流電源に抵抗器1個とLED1個を直列に接続して、電流10mAでLEDを点灯させる回路がある。LEDの電圧降下が2Vのとき抵抗器の抵抗値は何 Ω か。(第39回ME2種)

1. 100
2. 200
3. 300
4. 400
5. 500

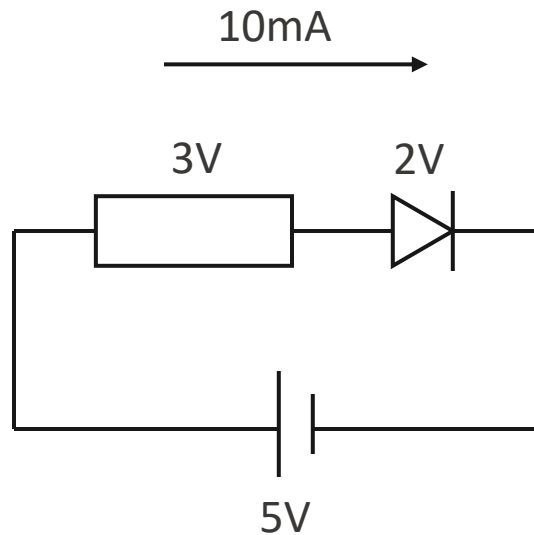
問題解説

- 5Vの直流電源に抵抗器1個とLED1個を直列に接続して、電流10mAでLEDを点灯させる回路がある。LEDの電圧降下が2Vのとき抵抗器の抵抗値は何Ωか。(第39回ME2種)

- 100
- 200
- 300
- 400
- 500

LEDの電圧降下が2Vなので、抵抗にかかる電圧は3Vである。
よってオームの法則から

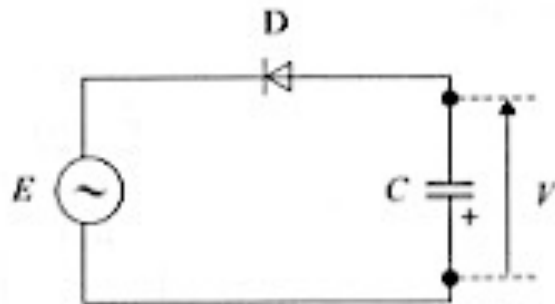
$$\frac{3}{10 \times 10^{-3}} = 300 \Omega$$



問題

- 図の回路で電圧 V はおおよそ何 V になるか。ただし、ダイオード D は理想ダイオードとする。(31ME)

1. -140
2. -100
3. 0
4. 100
5. 140



E : 実効値 $100V$, $50Hz$ 正弦波交流電圧源

C : $10\mu F$ のキャパシタ

問題

- 図の回路で電圧 V はおよそ何 V になるか。ただし、ダイオード D は理想ダイオードとする。(31ME)

1. -140

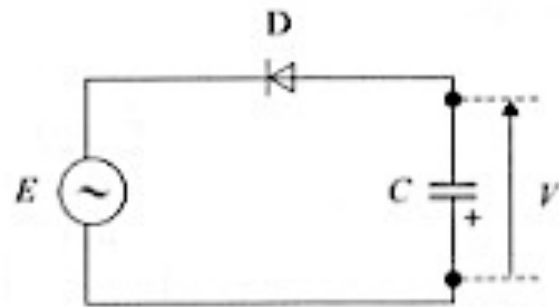
2. -100

3. 0

4. 100

5. 140

ダイオードの向きから時計と反対周りにしか電流は流れない。図の電圧の向きの定義から、電源電圧が負のときのみコンデンサに電荷がたまる。この回路には抵抗がないので、瞬時にコンデンサの電圧は電源電圧となる。さらに、コンデンサは放電しようにもダイオードがあるため、放電できない。つまり、コンデンサは電源のピーク電圧 $100\sqrt{2} \cong 140V$ まで貯まる。向きを考えると答えは $-140V$ である。



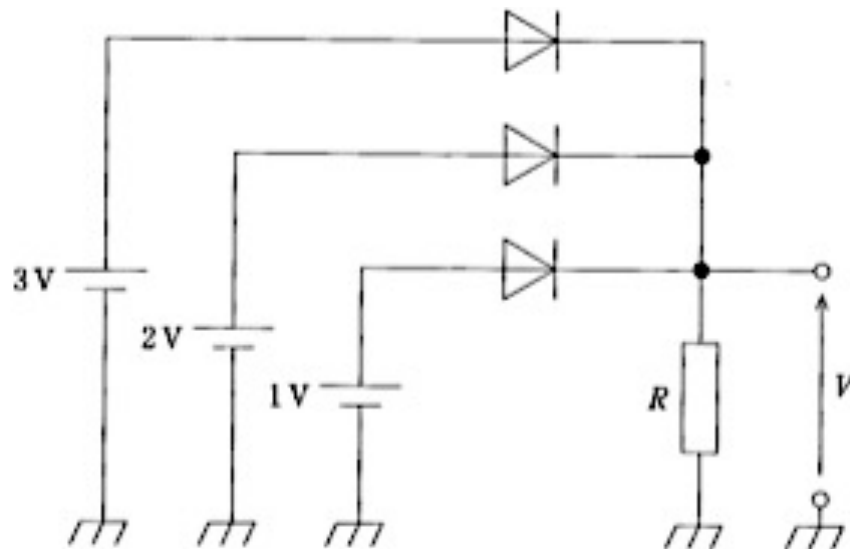
E : 実効値 100V, 50Hz 正弦波交流電圧源

C : 10 μ F のキャパシタ

問題

- 図の回路の出力電圧 V [V]はどれか。ただし、ダイオードは理想ダイオードとする。（国家試験25）

- 1
- 2
- 3
- 5
- 6

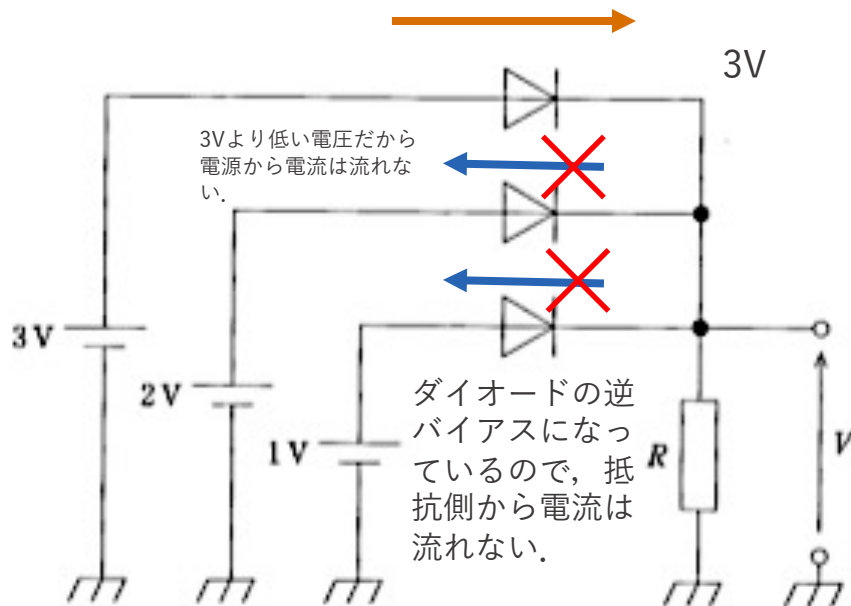


問題

- 図の回路の出力電圧 $V[V]$ はどれか。ただし、ダイオードは理想ダイオードとする。（国家試験25）

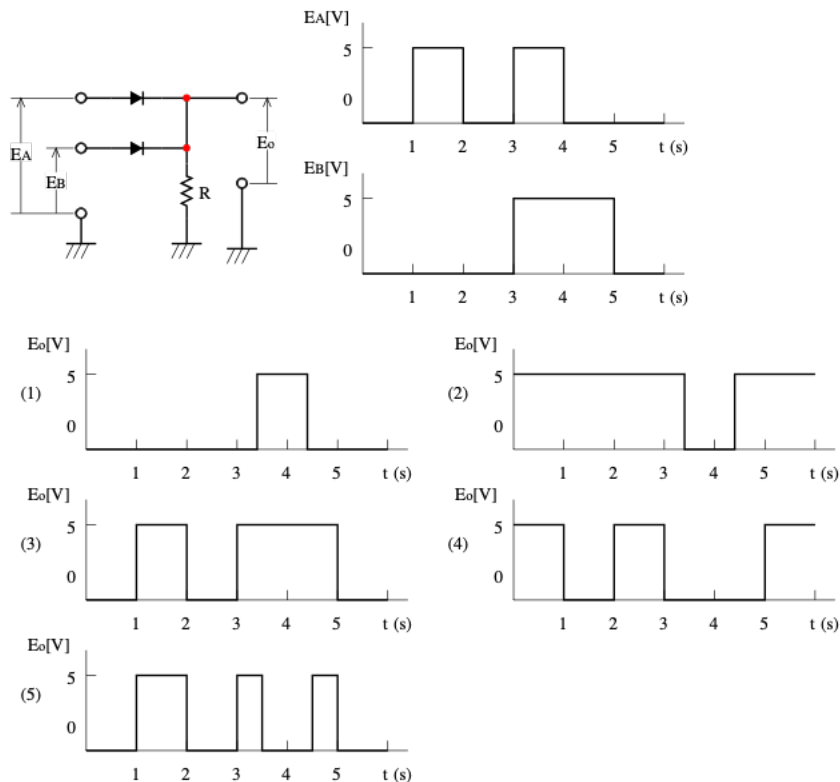
- 1
- 2
- 3
- 5
- 6

3Vの電源から見たとき、2V、1Vにつながっているダイオードは逆バイアスとなるためインピーダンスは無限大とみなせる。電流は高い電圧から低い電圧に流れるため、2V、1Vから電流は流れない。よって、抵抗にかかる電圧は3Vである。



問題

- 図の回路に入力 E_A と E_B を加えた場合、出力波形 E_O で正しいのはどれか。
ただし、ダイオードは理想的とする。（15回国家試験）



問題

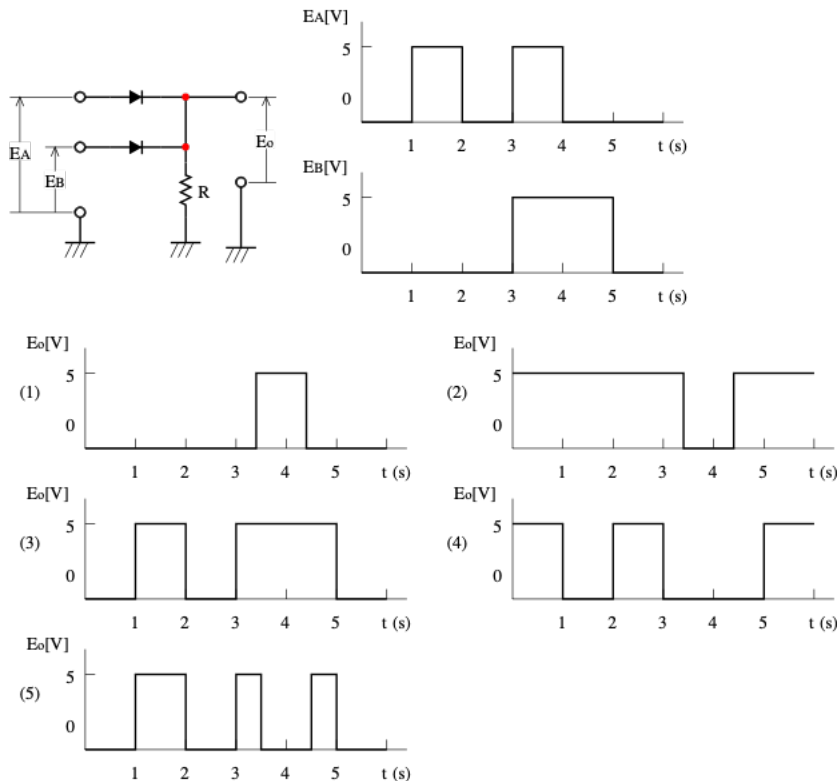
- 図の回路に入力 E_A と E_B を加えた場合、出力波形 E_O で正しいのはどれか。
ただし、ダイオードは理想的とする。（15回国家試験）

これはOR回路なので、3が正解。

まず E_A のみ考えてみると、順バイアスなので $E_A = 5V$ のとき $E_O = 5V$ となる。 E_B のみのときも同様である。

では、 $E_A = E_B = 5V$ のときはどうだろうか。
電源の並列つなぎになっているので $E_O = 5V$ である。

よって、3が正解。



問題

- ダイオードの電流 I ，電位 E の方向を図のように定めたとき，このダイオードの特性グラフは図2の用になった．このとき，このダイオードの順方向電圧 V_F と逆方向降伏電圧 V_R はどれか．（臨床工学技士国家試験34）

1. $V_F = 0.6V$ $V_R = -3.0V$
2. $V_F = -0.6V$ $V_R = -3.0V$
3. $V_F = -0.6V$ $V_R = 3.0V$
4. $V_F = -3.0V$ $V_R = 0.6V$
5. $V_F = 3.0V$ $V_R = 0.6V$

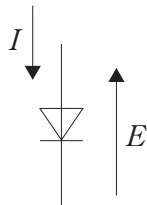


図1

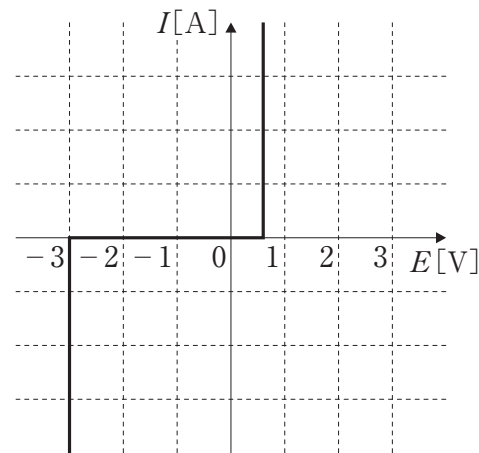


図2

問題

- ダイオードの電流 I 、電位 E の方向を図のように定めたとき、このダイオードの特性グラフは図2の用になった。このとき、このダイオードの順方向電圧 V_F と逆方向降伏電圧 V_R はどれか。（臨床工学技士国家試験34）

1. $V_F = 0.6V$ $V_R = -3.0V$

2. $V_F = -0.6V$ $V_R = -3.0V$

3. $V_F = -0.6V$ $V_R = 3.0V$

4. $V_F = -3.0V$ $V_R = 0.6V$

5. $V_F = 3.0V$ $V_R = 0.6V$

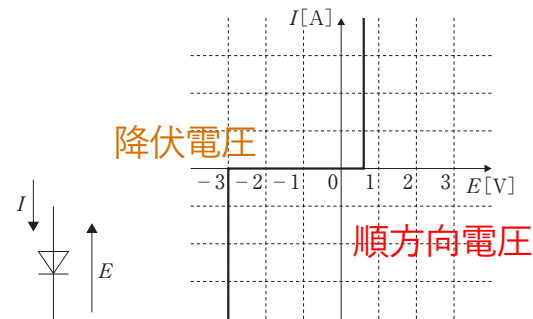


図 1

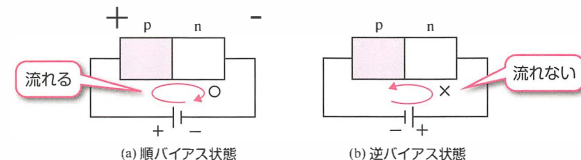
図 2

順方向電圧は順方向に電流を流すために必要な電圧（ダイオードの電圧降下），降伏電圧はダイオードの機能が果たせなくなる電圧である。

グラフから、このダイオードは0.6V以上の電圧で電流を順方向に流すことが分かる。

さらに、-3V以上で逆方向に電流を流してしまうことも分かる。

よって、順方向電圧 V_F は0.6V、逆方向降伏電圧 V_R は-3.0Vである。



問題

- ダイオードの順方向における電流電圧特性を図1に示す．このダイオードを図2のような等価回路に置き換えたとき， V_d と r_d の組み合わせで正しいのはどれか．（国家試験33回）

1. $V_d = 1.0\text{V}$ $r_d = 250\Omega$
2. $V_d = 1.0\text{V}$ $r_d = 100\Omega$
3. $V_d = 0.6\text{V}$ $r_d = 250\Omega$
4. $V_d = 0.6\text{V}$ $r_d = 100\Omega$
5. $V_d = 0.6\text{V}$ $r_d = 0\Omega$

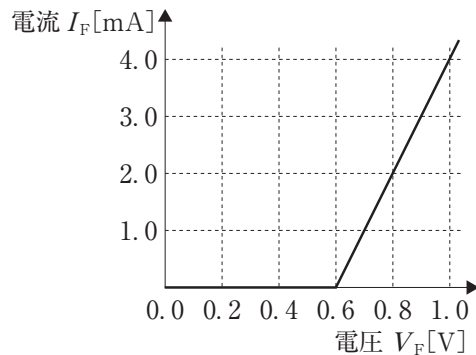


図1

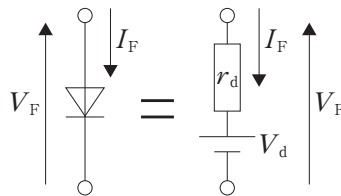


図2

問題

- ダイオードの順方向における電流電圧特性を図1に示す。このダイオードを図2のような等価回路に置き換えたとき、 V_d と r_d の組み合わせで正しいのはどれか。（国家試験33回）

1. $V_d = 1.0\text{V}$ $r_d = 250\Omega$
2. $V_d = 1.0\text{V}$ $r_d = 100\Omega$
3. $V_d = 0.6\text{V}$ $r_d = 250\Omega$
4. $V_d = 0.6\text{V}$ $r_d = 100\Omega$
5. $V_d = 0.6\text{V}$ $r_d = 0\Omega$

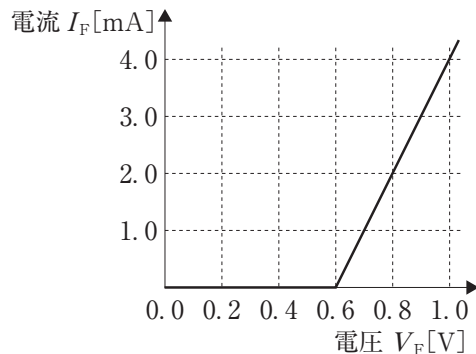


図1

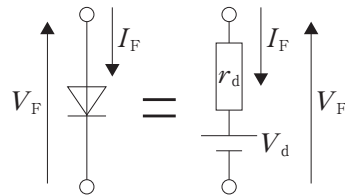


図2

図2の等価回路から

$$V_F = I_F r_d + V_d$$

ダイオードが電流を流す0.6V以上の場合のみ考える。

0.6V以上のとき、直線の傾きは $0.002\text{mA}/0.2\text{V}=1/100$ である。

よって、

$$I_F = 1/100(V_F - 0.6)$$

$$V_F = 100I_F + 0.6$$

最初の式との対応を見ると、

$$V_d = 0.6\text{V} \quad r_d = 100\Omega$$

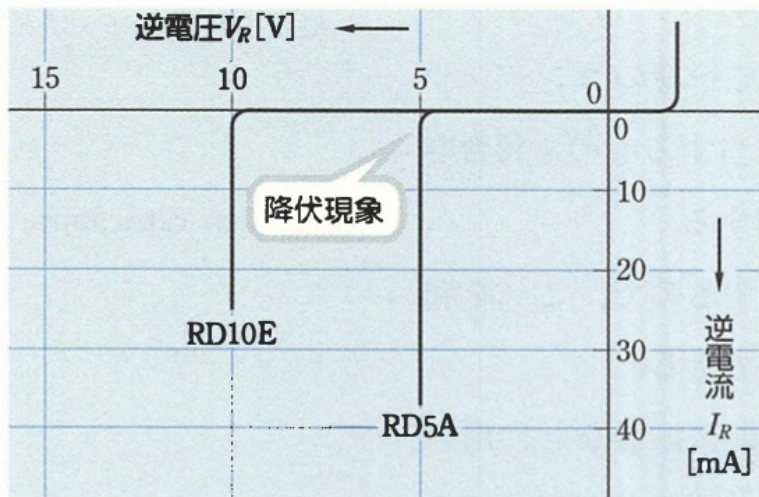
別解：グラフからすぐ0.6Vであることが分かる。

オームの法則から、傾きは抵抗値（このグラフではその逆数）なので、傾きから 100Ω と求まる。

ツェナーダイオード

■ 定電圧ダイオード（ツェナーダイオード）

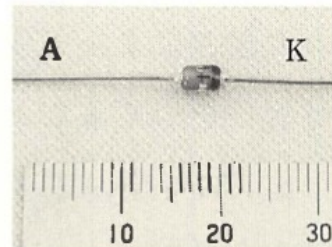
- 降伏現象を利用し，ダイオードの流れる電流の大きさにかかわらずダイオードの電圧を一定に保つ機能を持つダイオード．
- 定電圧源として利用される．



(a) 特性



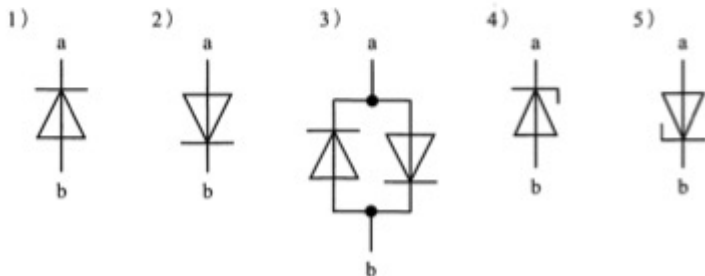
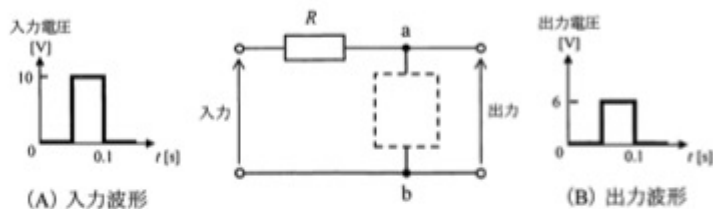
(b) 図記号



(c) 外観例

問題解説

- 図の回路a-b間に素子を接続して、(A)のような正矩形波パルス(0-10V)を入力したところ、(B)のような正矩形波パルス(0-6V)が出力された。
a-b間に接続したのはどれか。(第42回ME2種)



問題解説

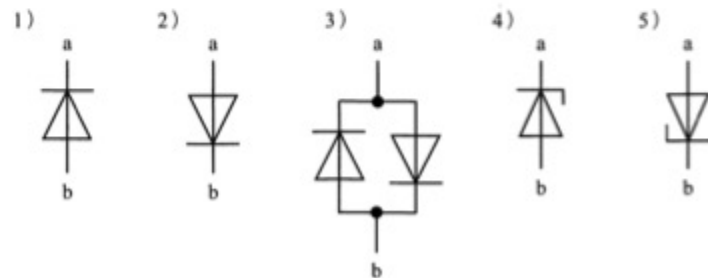
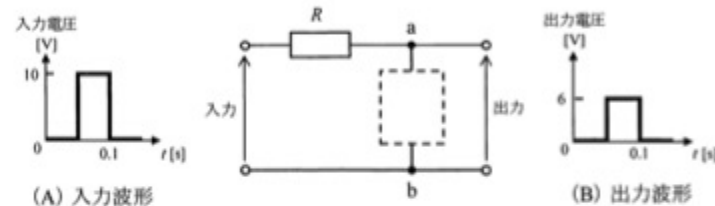
- 図の回路a-b間に素子を接続して、(A)のような正矩形波パルス(0-10V)を入力したところ、(B)のような正矩形波パルス(0-6V)が出力された。a-b間に接続したのはどれか。ただし、ダイオードはすべて理想的である。(第42回ME2種介)

グラフBからa-b間で6Vの電圧降下が起こっている。

理想的なダイオードに降伏電圧がないと考えるので、1は間違いである。

理想的なダイオードは順方向の電圧降下がないため、2, 3, 5は間違いである。

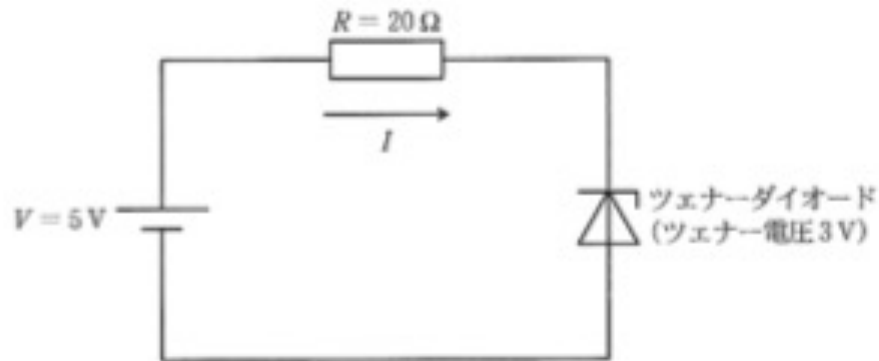
ツェナーダイオードの降伏電圧が6Vであるとすると、4のツェナーダイオードが答えとなる。



問題

- 図のツェナーダイオード（ツェナー電圧 3 V ）を用いた回路で抵抗 R に流れる電流 $I[\text{mA}]$ はどれか。

- 0
- 100
- 150
- 250
- 400



■ 問題

- 図のツェナーダイオード（ツェナー電圧 3 V）を用いた回路で抵抗 R に流れる電流 I [mA] はどれか.

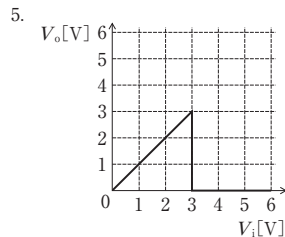
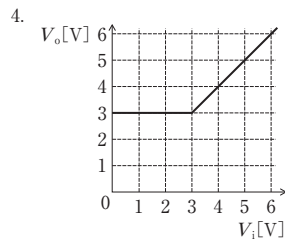
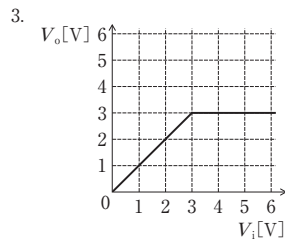
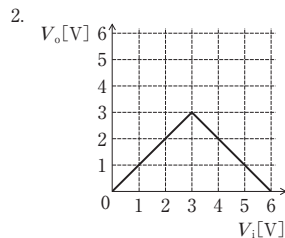
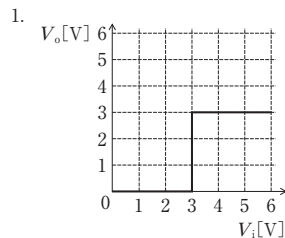
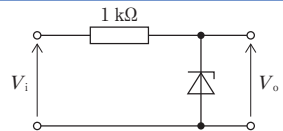
1. 0
2. 100
3. 150
4. 250
5. 400

ツェナーダイオードで 3V の電圧降下が起こる. よって抵抗には 2V の電圧がかかる.

$$I = \frac{2}{20} = 0.1A = 100mA$$

問題

- ツェナー電圧 3 V のツェナーダイオードを含む図の回路の V_1 と V_0 の間の関係を示すグラフはどれか。 (3 2)



問題

- ツェナー電圧 3 V のツェナーダイオードを含む図の回路の V_1 と V_0 の間の関係を示すグラフはどれか。 (3 2)

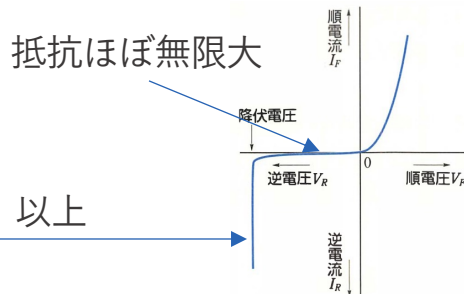
ツェナーダイオードは別名低電圧ダイオードである。

つまり、ダイオードの両端電圧はツェナー電圧を超えれば、一定である。

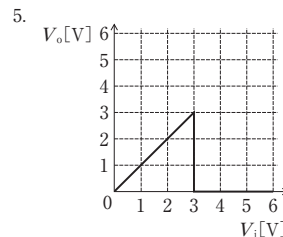
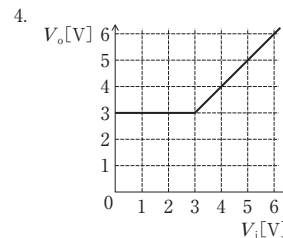
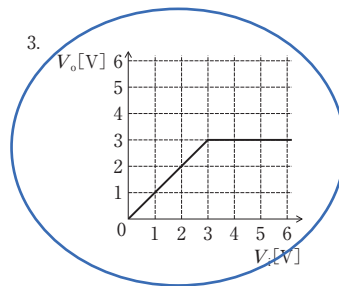
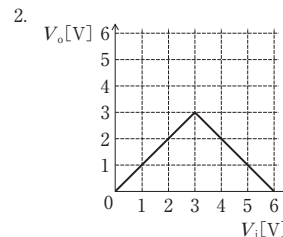
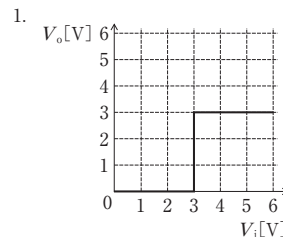
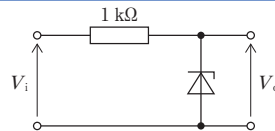
そこから、ツェナー電圧を超えても、 V_0 が 3 V より大きくなっているものと 3 V を下回っているグラフは間違いである。

ツェナーダイオードはツェナー電圧以下では抵抗が無限大であると考えて良い。すなわち、入力電圧そのものがダイオードに加わると考えられる。

よって3が答えである。



ツェナー電圧（降伏電圧）以上
上がらない。

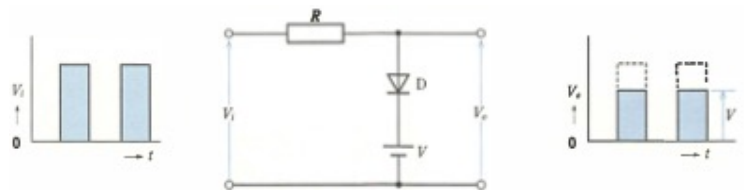


クリッパ, リミッタ

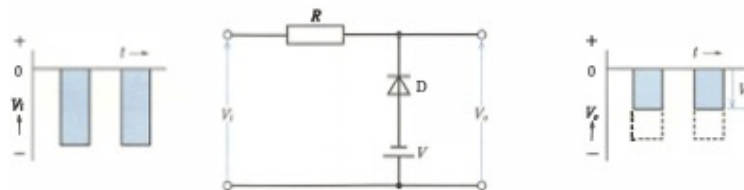
■ クリッパ

- クリッパとは入力波形の電圧の上部か下部をある値で切り取る役割を果たす回路である。

ピーククリッパ



ベースクリッパ

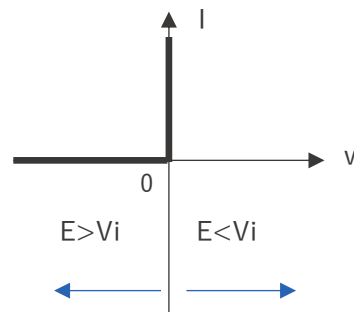


■ ピーククリップ回路の原理

- $E > V_i$ の時

- ダイオードは V_i から見て逆バイアスとなる。
- 逆バイアスの場合、BからAへ電流が流れようとするが、ダイオードがあるため電流は流れない。
- よって、AB間のインピーダンスは無限大とみなすことができる。（開放と見なせる。）
- つまり、AB間の電圧降下は V_i そのものとなる。

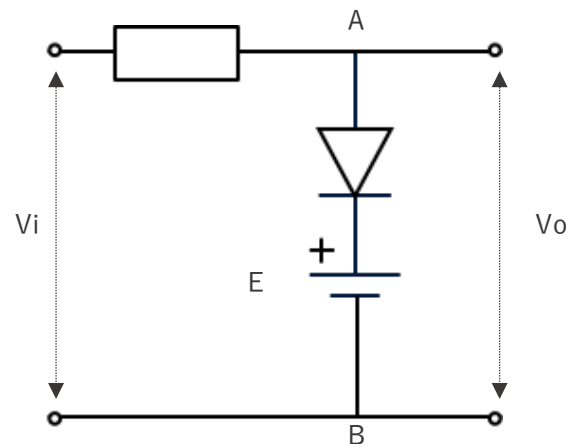
特性図



- $E < V_i$ の時

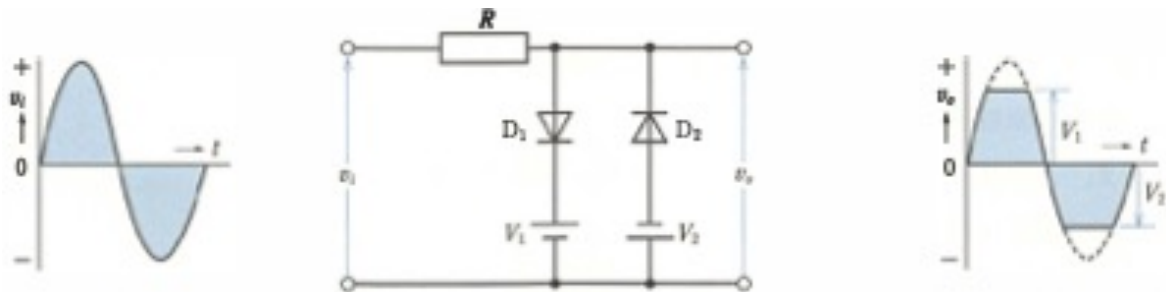
- ダイオードは V_i から見て順バイアスとなる。
- 順バイアスのとき、ダイオードの抵抗は0となるため、ダイオードは短絡とみなせる。（電圧降下は起らない。）
- AB間の電圧降下は E のみとなるため、 $V_o = E$ となる。

ピーククリップ回路



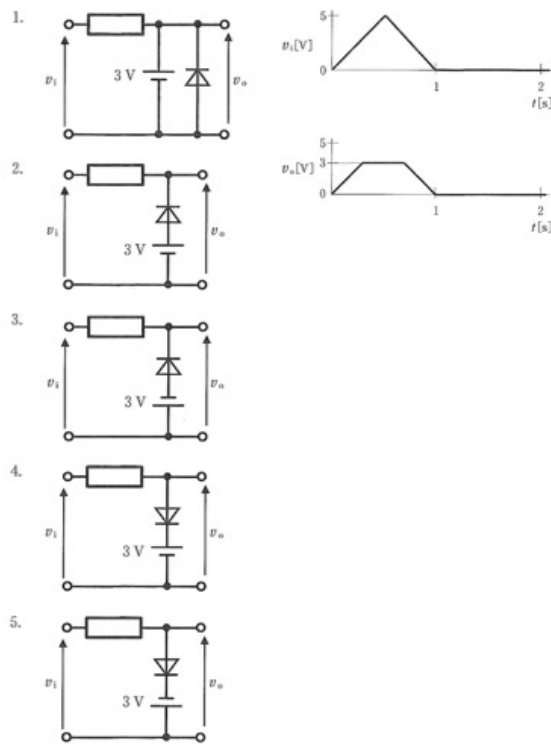
リミタ

- ピーククリッパとベースクリッパを組み合わせた回路をリミタとよぶ。
- 入力電圧の振幅を制限するために用いられる。



問題

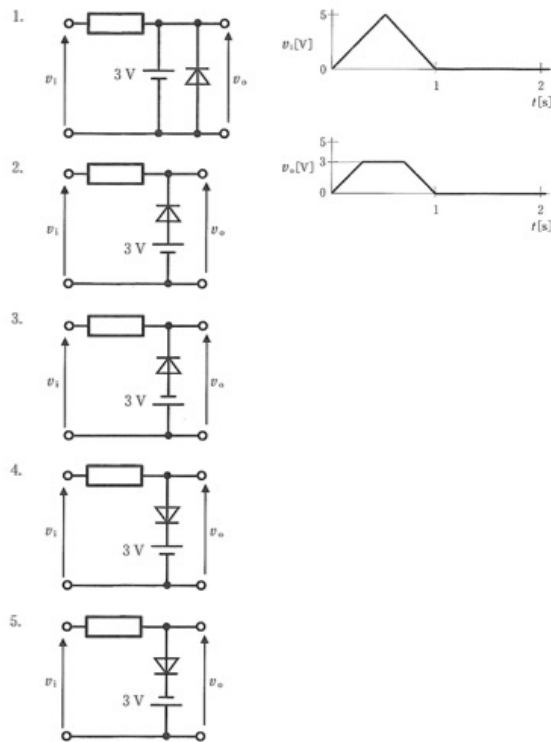
- 図に示すような波形の入力電圧 v_i が加えられたとき，出力電圧 v_o の波形を出力する回路はどれか．ただし，ダイオードは理想ダイオードとする．（国家試験26）



問題

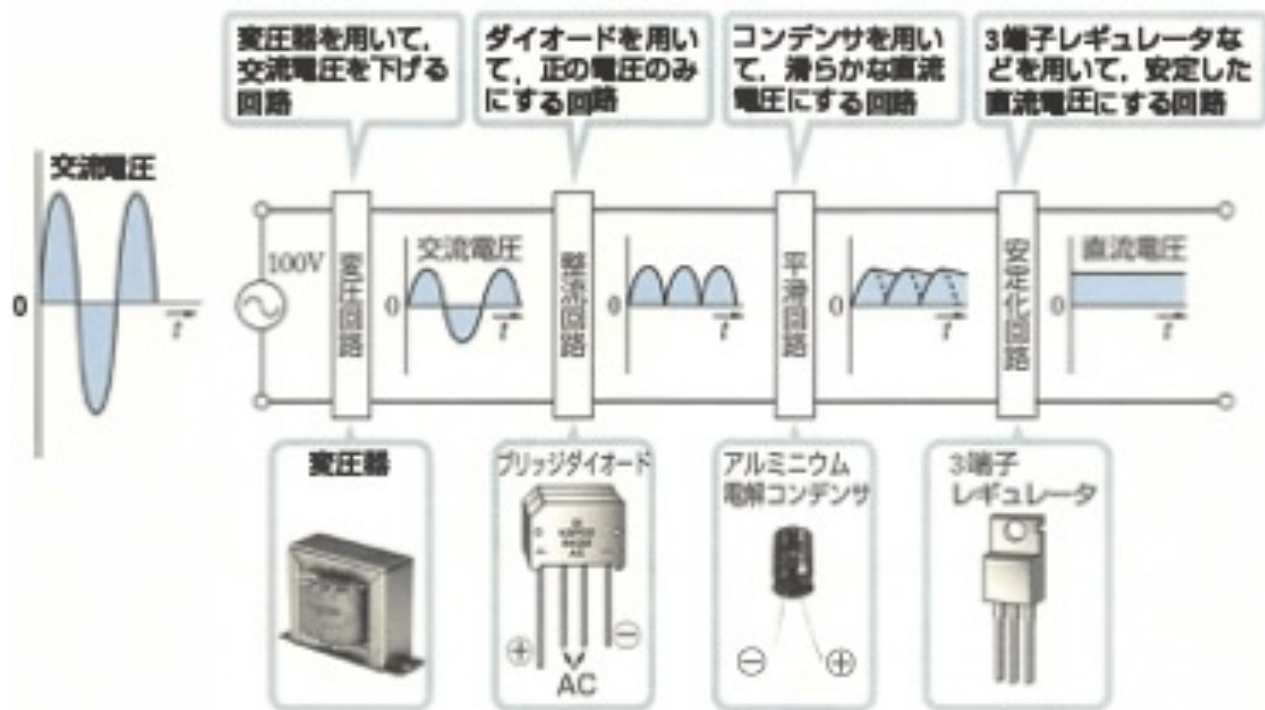
- 図に示すような波形の入力電圧 v_i が加えられたとき、出力電圧 v_o の波形を出力する回路はどれか。ただし、ダイオードは理想ダイオードとする。(国家試験26)

ピーククリップなので、4が答え。



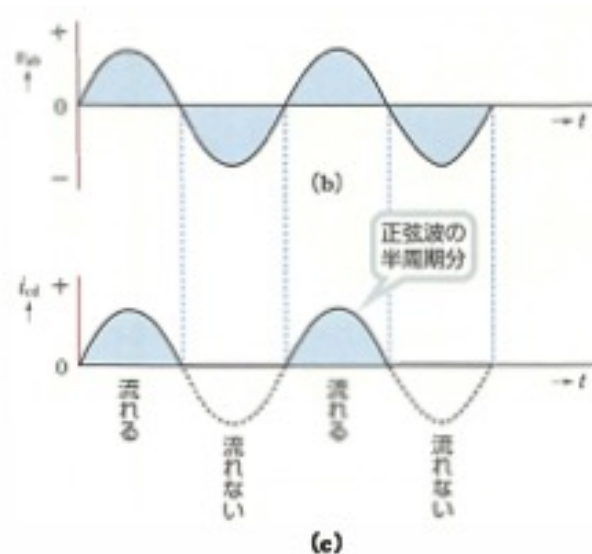
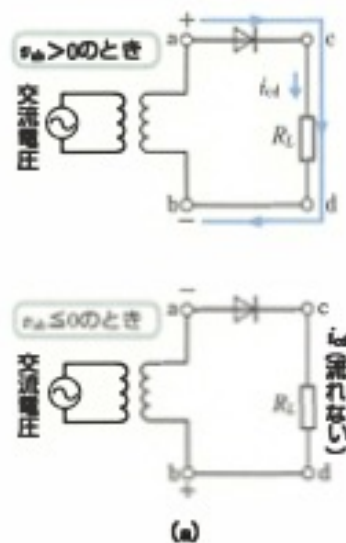
整流回路

制御系電源回路の構成



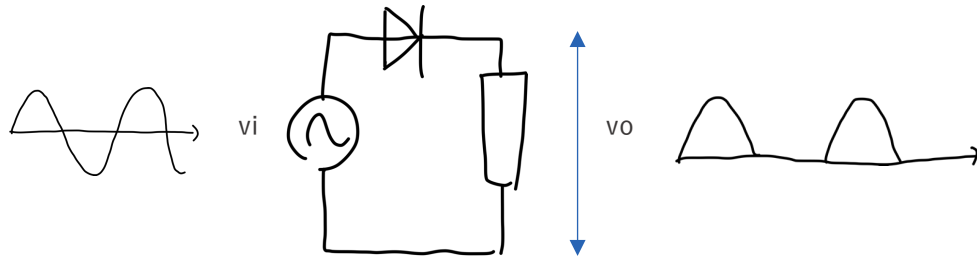
半波整流回路

- ダイオード 1 個の整流回路を半波整流回路という。
- ダイオードは一方方向の電流しか流さないため、正弦波の半分だけが抵抗 R_L に流れる。



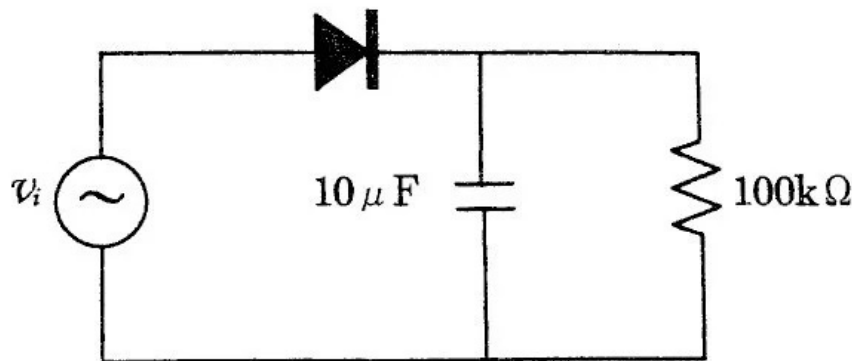
整流回路

- 交流を直流に変換する回路を整流回路という.
- 半波整流
 - ダイオード 1 個で構成される.
 - ダイオードは一方方向にしか電流を流さないため、正弦波の半分だけが抵抗に流れる.



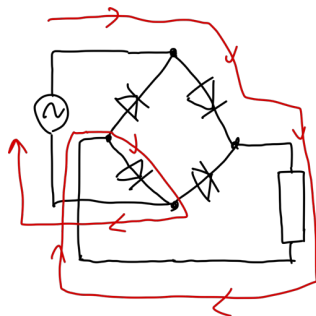
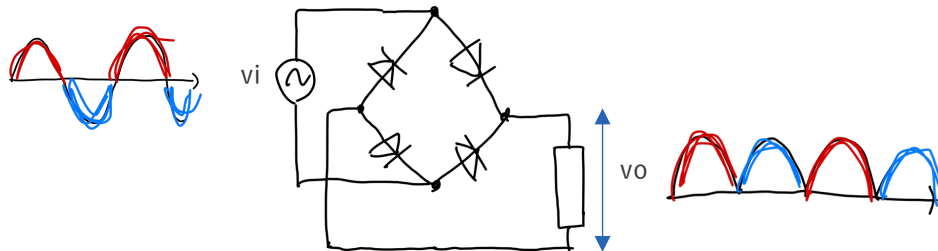
問題

- 図の回路について正しいのはどれか。ただし、ダイオードは理想的とし入力電圧 V_i は周波数50Hz振幅1Vの正弦波とする。
- ダイオードにかかる電圧の最大値は約2Vである。
 - ダイオードに流れる電流は正弦波である。
 - コンデンサにかかる電圧の最大値は約1.4Vである。
 - コンデンサにかかる電圧は正弦波である。
 - 抵抗を $1\text{k}\Omega$ に変えるとコンデンサにかかる電圧のリップル(変動量)は減少する。

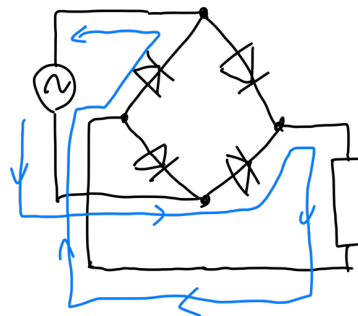


全波整流

- 全波整流では正弦波電源の正の部分はそのままに，負の部分を反転させる．
- 図のようにダイオードをブリッジ状に組んだ整流回路をブリッジ全波整流回路と呼ぶ．



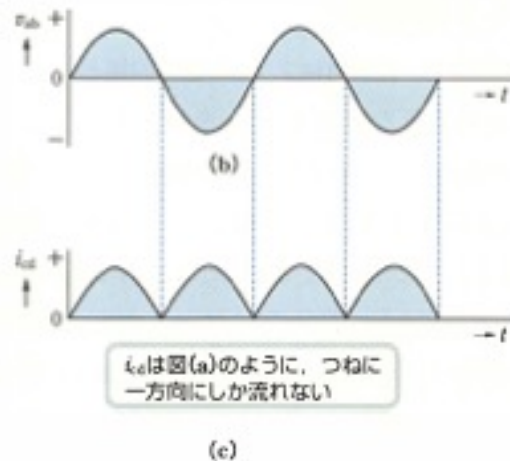
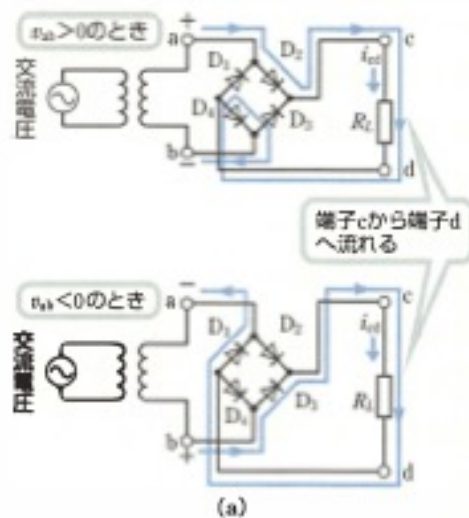
電源の電圧が正のときの電流の流れ



電源の電圧が負のときの電流の流れ

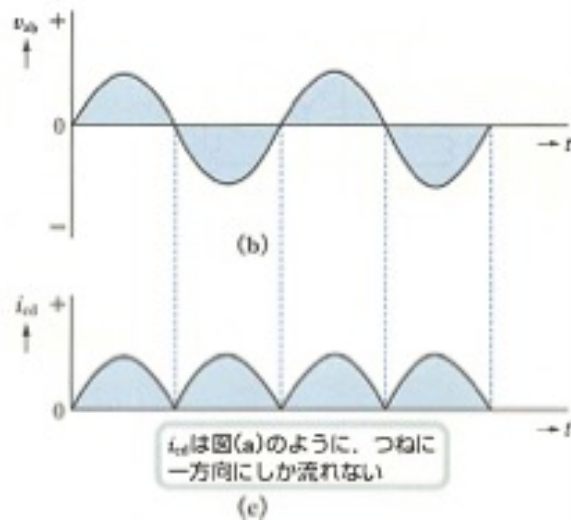
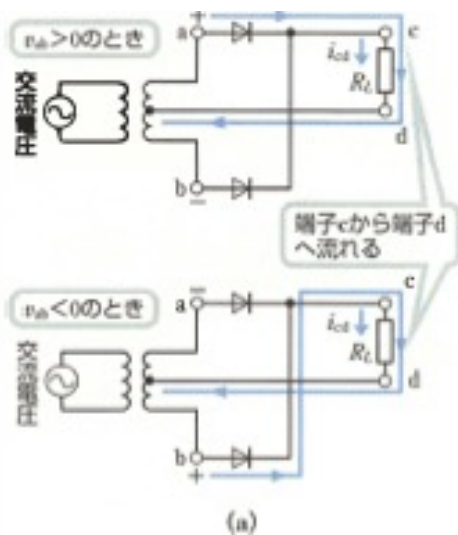
ブリッジ全波整流回路

- 全波整流では正弦波電源の正の部分はそのままに，負の部分を反転させる．
- 図のようにダイオードをブリッジ状に組んだ整流回路をブリッジ全波整流回路と呼ぶ．



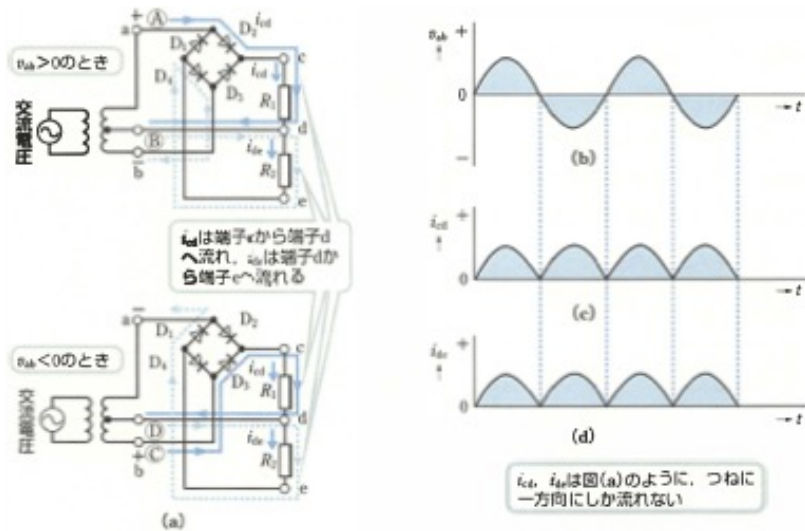
センタタップ全波整流回路

- センタータップ付きトランスと2個のダイオードを接続した整流回路をセンタタップ型全波整流回路という。



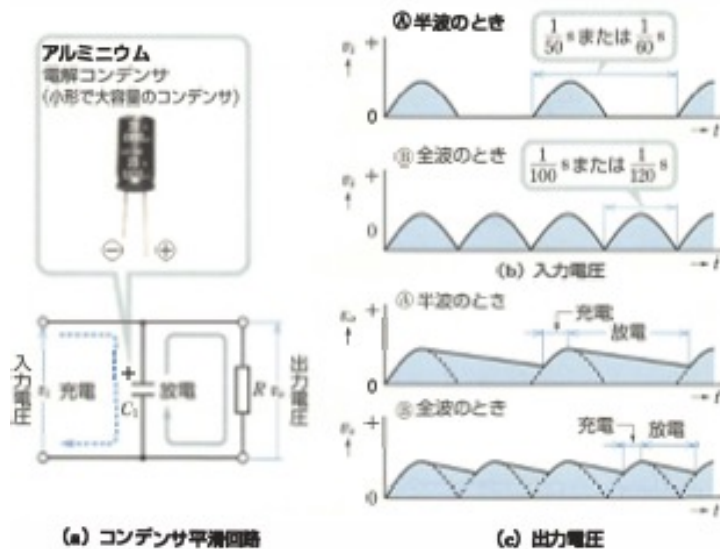
正負対称ブリッジ整流回路

- センタタップ付きトランスとダイオードを図のように接続したものを正負対称ブリッジ整流回路という。
- この回路は、全波整流回路が2つあるとみなすことができる。そのため、正負電源が必要な増幅回路などで用いられる。



コンデンサ平滑回路

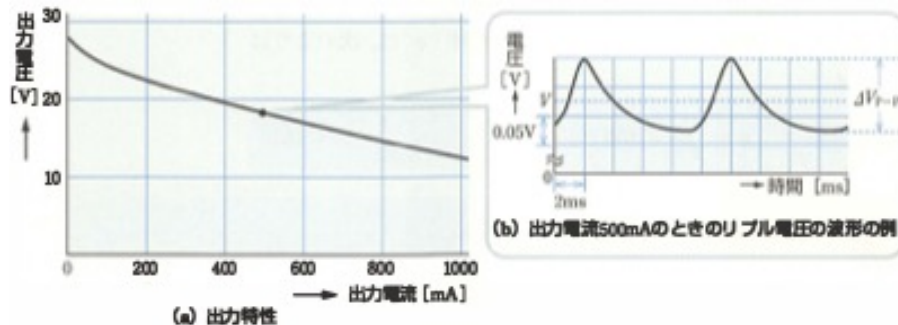
- 整流回路で整流された電流は直流電流ではなく、山が複数ある脈動電流である。
- 平滑回路により脈動電流を平にする（平滑）する。



■ 電圧変動率

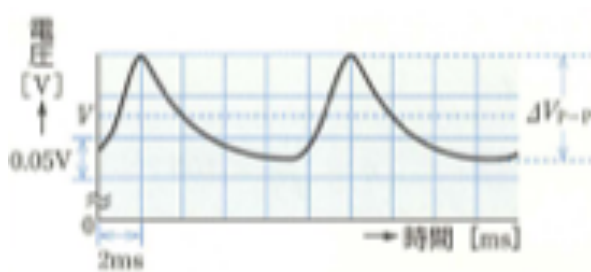
- 電源回路では，負荷側で多くの出力電流を流すと，変圧器の内部インピーダンスやダイオードの順方向抵抗などによる電圧降下のため，出力電圧が下がる．
- 出力変動の割合が小さいものが望ましい．その割合を電圧変動率と呼ぶ．
- 無負荷時の出力電圧を V_0 ，負荷接続時の出力電圧を V_L とすると，電圧変動率 δ は次のように表される．

$$\delta = \frac{V_0 - V_L}{V_L} \times 100 [\%]$$



リップル

- 交流電源から直流を得る場合、どうしても図のような完全な直流にならず交流成分が残ってしまう。
- この交流分をリップルと呼ぶ。

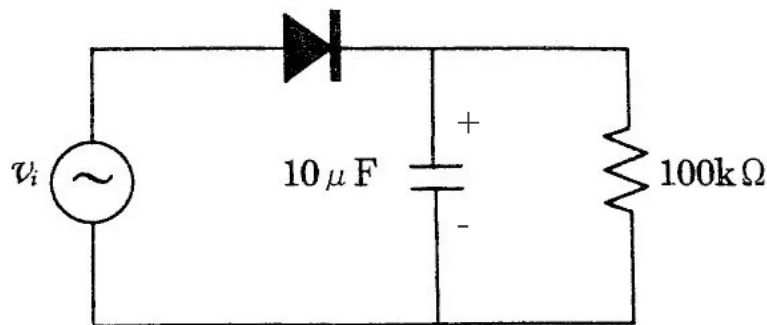


問題

- 図の回路について正しいのはどれか。ただし、ダイオードは理想的とし入力電圧 V_i は周波数50Hz振幅1Vの正弦波とする。
- 1. ダイオードにかかる電圧の最大値は約2Vである。
- 2. ダイオードに流れる電流は正弦波である。
- 3. コンデンサにかかる電圧の最大値は約1.4Vである。
- 4. コンデンサにかかる電圧は正弦波である。
- 5. 抵抗を1k Ω に変えるとコンデンサにかかる電圧のリップル(変動量)は減少する。

この図の回路は半波整流回路で、コンデンサで平滑化しているとみなせる。また、抵抗とコイルの時定数は $10 \times 10^{-6} \times 100 \times 10^3 = 1\text{s}$ なので50Hzの波形に対し十分大きいので、抵抗の影響は無視する。

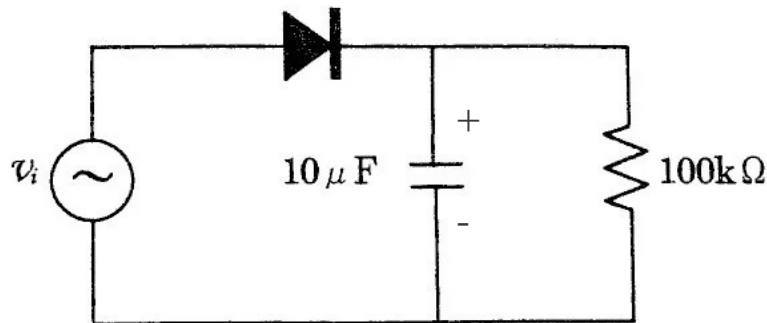
1. 順バイアスのときコンデンサは充電され、電極間の電圧は1Vとなる。電源が-1Vとなったときコンデンサも-1Vの電源とみなせる。また、電源が-1Vのときは逆バイアスなので、インピーダンス無限大である。つまり、このときダイオードにかかる電圧は-2Vである。よって正解。



問題

- 図の回路について正しいのはどれか。ただし、ダイオードは理想的とし入力電圧 V_i は周波数50Hz振幅1Vの正弦波とする。
- 1. ダイオードにかかる電圧の最大値は約2Vである。
- 2. ダイオードに流れる電流は正弦波である。
- 3. コンデンサにかかる電圧の最大値は約1.4Vである。
- 4. コンデンサにかかる電圧は正弦波である。
- 5. 抵抗を1k Ω に変えるとコンデンサにかかる電圧のリプル(変動量)は減少する。

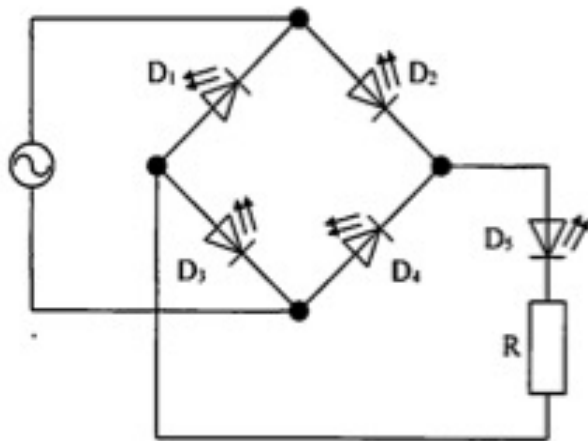
- 2. 半波整流回路なので、ダイオードには半波整流が流れる。 よって間違い。
- 3. 最大値は1Vである。 半波整流回路なので、ダイオードには半波整流が流れる。 よって間違い。
- 4. 半波整流回路なので、コンデンサにかかる電圧は正弦波ではない。 よって間違い。
- 5. コンデンサの容量を大きくするとリプルは減る。 よって間違い。



第41回ME2種

- 図の回路においてD1のLED（発光ダイオード）が発光しているときに同時に発光するのはどれか。

1. D2とD3
2. D2とD5
3. D3とD4
4. D3とD5
5. D4とD5



第41回ME2種

- 図の回路においてD1のLED（発光ダイオード）が発光しているときに同時に発光するのはどれか。

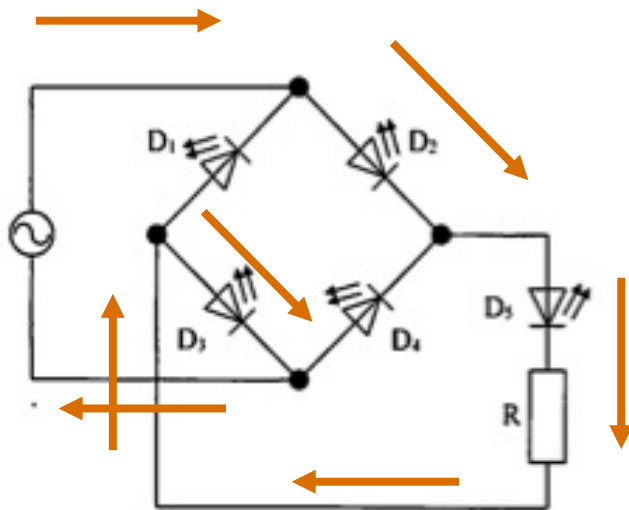
1. D2とD3

2. D2とD5

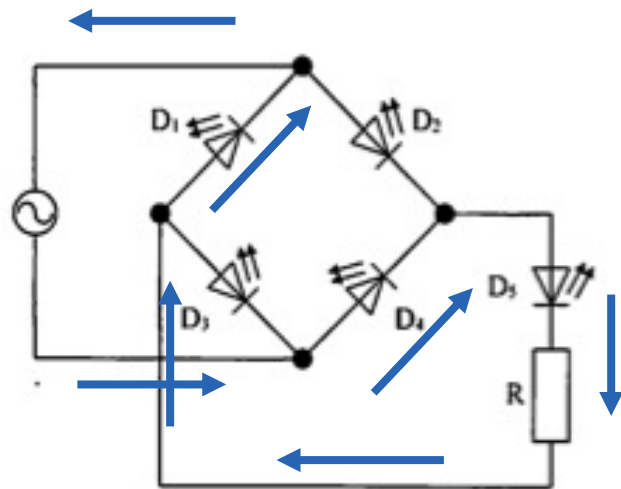
3. D3とD4

4. D3とD5

⑤ D4とD5



電源の電圧が正のとき
D1は点灯しない。



電源の電圧が負のとき
D1は点灯する。
このとき、電流が流れているD4とD5も点灯している。

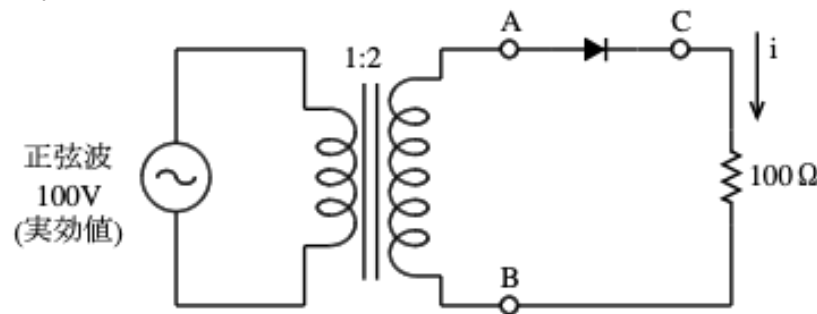
平滑回路

■ 平滑回路

- 半波整流回路も全波整流回路も出力は直流ではない.
- より直流に近づけるためには, 交流成分 (脈流) を軽減する平滑回路が必要となる.
- 平滑回路とは, 出力を直流に近づけるため, 出力の凸凹を平らに, なめらかにする回路である.

問題

- 図の回路について正しいのはどれか。ただし，変圧器は理想的なもので，1次対2次の巻数比は1:2である(15回国家試験)。
 - a. 1次側に流れる電流波形は正弦波である。
 - b. AB間の電圧波形は正弦波である。
 - c. CB間の電圧波形は半波整流波形である。
 - d. 電流*i*の最大値は約2.8Aである。
 - e. 抵抗100Ωの消費電力は400Wである。



問題

- 図の回路について正しいのはどれか。ただし、変圧器は理想的なもので、1次対2次の巻数比は1:2である(15回国家試験)。
 - a. 1次側に流れる電流波形は正弦波である。
 - b. AB間の電圧波形は正弦波である。
 - c. CB間の電圧波形は半波整流波形である。
 - d. 電流*i*の最大値は約2.8Aである。
 - e. 抵抗100Ωの消費電力は400Wである。
- a. 2次側に流れる電流波形がダイオードにより半波整流波形になる。つまり1次側にも半波整流波形の電流が流れる。間違い。
- b. AB間も正弦波である。正しい。
- c. CB間は半波整流である。正しい。
- d. 2次側の電圧は200Vである。よって電流は2Aである。これは実効値なので瞬時値は $2 \times 1.41 = 2.82\text{A}$ となる。正しい。
- e. $200 \times 2 = 400\text{W}$ としたいが、半波整流なので電力はその半分の200Wである。よって間違い。

