

### 3相整流回路

(読んでほしい人：電気系の高専生と大学生)

2011/8/28 舞鶴高専 平地克也

#### はじめに

単相の整流回路については下記の2つの平地研究室技術メモで説明している。今回は3相の整流回路を説明する。整流回路の動作は3相では単相より複雑になる。平滑コンデンサを付加した時はさらに複雑になる。しかしながら整流回路の基本は単相も3相も同じであり、手順に沿って考えれば必ず理解できる。次の手順で考える。

Step 1：動作モードを考える

Step 2：電流径路を考える

Step 3：電圧電流波形を考える

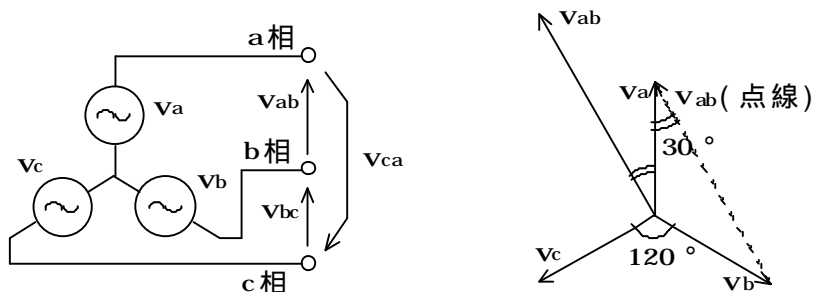
平地研究室技術メモ No.20070327「全波整流回路の電圧電流波形」<sup>(1)</sup>

平地研究室技術メモ No.20070401「平滑コンデンサ付き全波整流回路の電圧電流波形」<sup>(2)</sup>

#### 3相交流の復習

電気系のほとんどの高専生と大学生は電気回路の授業で3相交流を学習しているだろう。3相整流回路を考える前に3相交流の基本を復習をしておこう。図1(a)に3相交流の回路図を示す。a相、b相、c相の3つの相がある。それぞれの相の電圧を相電圧と言い、 $V_a$ 、 $V_b$ 、 $V_c$ の記号で表す。それぞれの相と相の間の電圧を線間電圧と言い、 $V_{ab}$ 、 $V_{bc}$ 、 $V_{ca}$ の記号で表す。それぞれの電圧をベクトル図で表すと図1(b)のようになる。相電圧 $V_a$ 、 $V_b$ 、 $V_c$ の間には120度ずつ位相差がある。ベクトル図から線間電圧 $V_{ab}$ は相電圧 $V_a$ より30度進んでいることが分かる。また、ベクトル図から $V_{ab}$ と $V_a$ の大きさには次の関係があることが分かる。

$$|V_{ab}| = |V_a| 2 \cos 30^\circ = \sqrt{3} |V_a|$$



(a) 3相交流の回路図

(b) 3相交流のベクトル図

図1 3相交流

それぞれの相電圧と線間電圧は次の式で与えられる。なお、 $V_p$  は相電圧のピーク値である。

$$V_a = V_p \sin t$$

$$V_b = V_p \sin(t - 120^\circ)$$

$$V_c = V_p \sin(t - 240^\circ)$$

$$V_{ab} = \sqrt{3} V_p \sin(t + 30^\circ)$$

$$V_{bc} = \sqrt{3} V_p \sin(t + 30^\circ - 120^\circ) = \sqrt{3} V_p \sin(t - 90^\circ)$$

$$V_{ca} = \sqrt{3} V_p \sin(t + 30^\circ - 240^\circ) = \sqrt{3} V_p \sin(t - 210^\circ)$$

図2にそれぞれの電圧波形を示す。

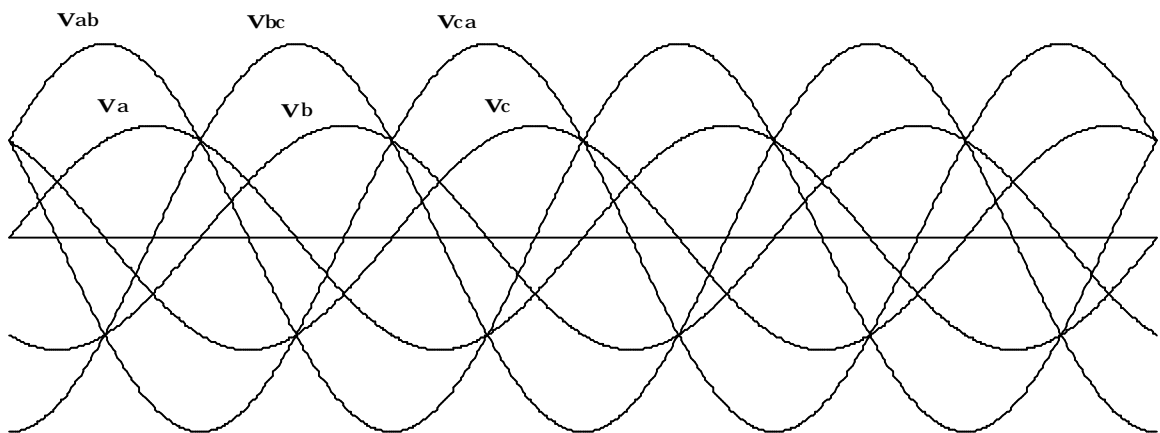


図2 3相交流の電圧波形

### 3相半波整流回路

図3に3相半波整流回路を示す。3相電源の3つの相電圧  $V_a$ 、 $V_b$ 、 $V_c$  のそれぞれにダイオード  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$  が直列接続されて3つの单相半波整流回路を構成している。3つの单相半波整流回路が並列接続されて3相半波整流回路を構成している。

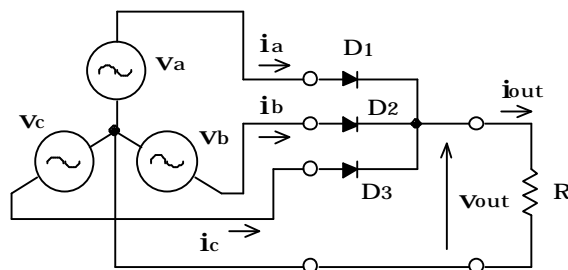


図3 3相半波整流回路

#### Step 1: 動作モードを考える

3つの回路が並列接続されているので出力電圧  $V_{out}$  は3つの回路のうち最も出力電圧の大きな相の電圧と一致するであろう。したがって、3つの相電圧の大小関係に応じて次の3つの Mode が存在

する。

Mode 1  $v_a$  が最大

Mode 2  $v_b$  が最大

Mode 3  $v_c$  が最大

### Step 2 : 電流経路を考える

図 4 に Mode 1 ~ 3 の電流経路を示す。3 つの相の半波整流回路が並列に接続されているので最も電圧の高い相にのみ電流が流れる。

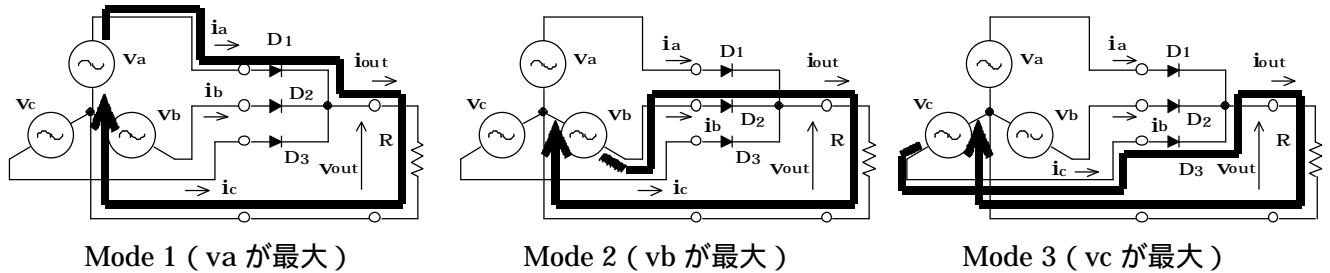


図 4 3 相半波整流回路の電流経路

### Step 3 : 電圧電流波形を考える

図 5 に回路各部の電圧電流波形を示す。 $v_{out}$  はそれぞれの動作モードで最も電圧の高い相電圧と一致する。 $i_{out}$  は  $v_{out}$  に比例する。 $i_a$ 、 $i_b$ 、 $i_c$  はそれぞれ Mode 1、Mode 2、Mode 3 のみ流れる。

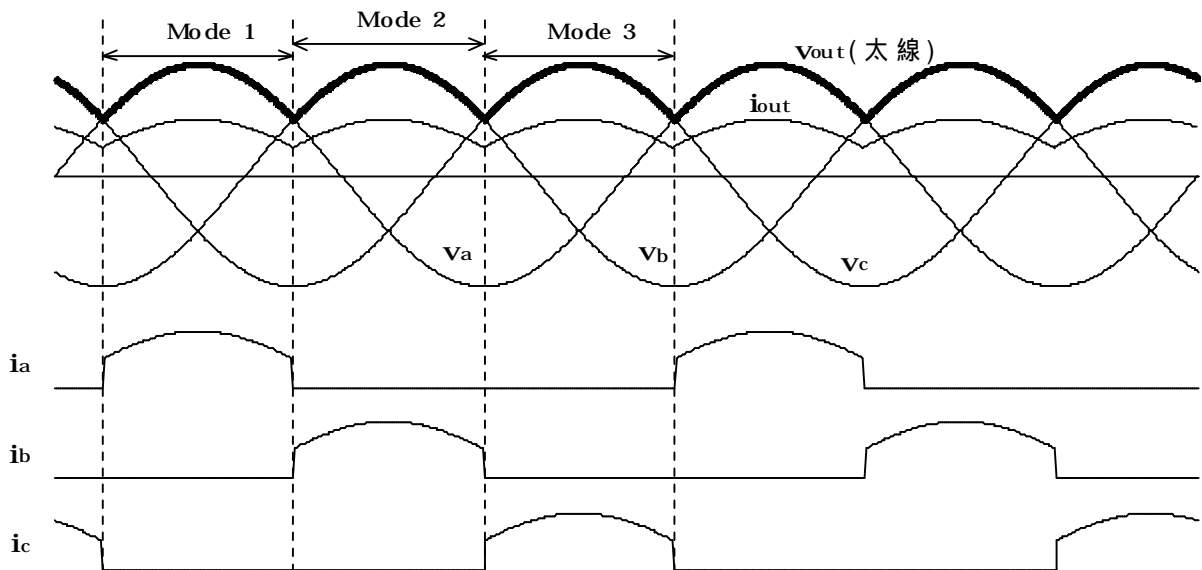


図 5 3 相半波整流回路の電圧電流波形

### 平滑コンデンサ付き 3 相半波整流回路

図 6 に平滑コンデンサ付き 3 相半波整流回路を示す。3 相半波整流回路 (図 3) に対して平滑コンデンサ  $C$  が付加されている。図 7 に平滑コンデンサ  $C$  の有無による出力電圧  $v_{out}$  の波形の変化を示す。コンデンサには電圧を保持する機能があるので、 $C$  のない時は相電圧が低下すれば  $v_{out}$  も同じように低下するが、 $C$  を付加すると相電圧が低下しても  $v_{out}$  はあまり低下せず、「平滑」されている。

図7に示すように、電圧の変動成分をリップル電圧と言う。Cのない時は大きなリップル電圧があるのに対し、Cを設けるとリップル電圧が小さくなるのが分かる。

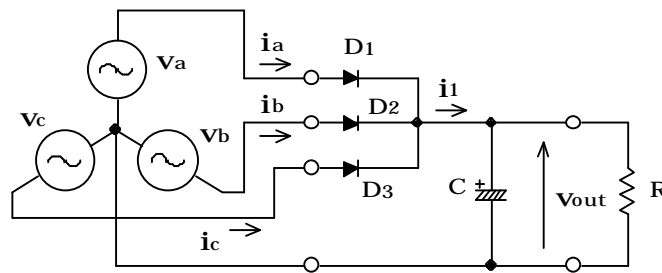


図6 平滑コンデンサ付き3相半波整流回路

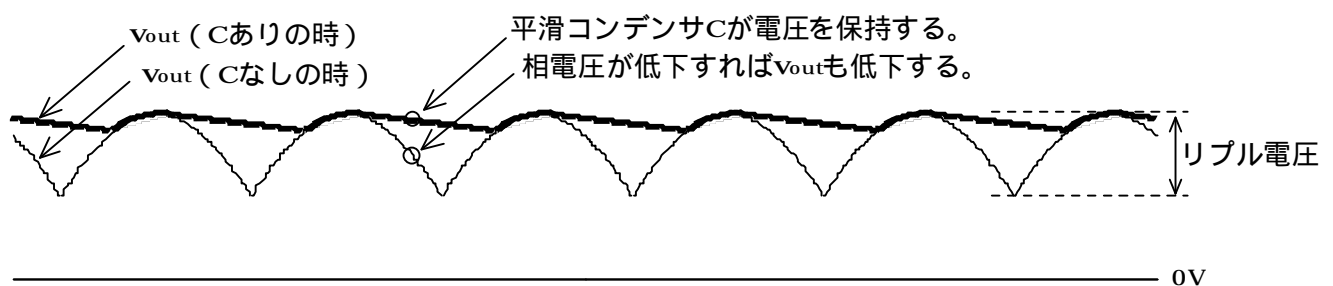


図7 平滑コンデンサの有無による  $V_{out}$  波形の変化

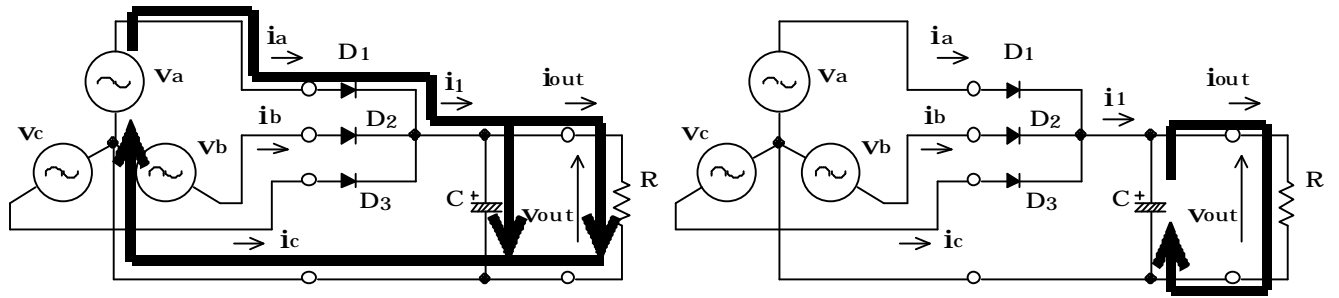
### Step 1 : 動作モードを考える

平滑コンデンサがあるので、平滑コンデンサ C が充電されている時と放電している時で動作モードが分かれる。したがって、Cのない時は動作モードは3ヶだったが、Cのある時は次の6ヶの動作モードを考える。

- Mode 1-1  $v_a$  が最大、平滑コンデンサ充電
- Mode 1-2  $v_a$  が最大、平滑コンデンサ放電
- Mode 2-1  $v_b$  が最大、平滑コンデンサ充電
- Mode 2-2  $v_b$  が最大、平滑コンデンサ放電
- Mode 3-1  $v_c$  が最大、平滑コンデンサ充電
- Mode 3-2  $v_c$  が最大、平滑コンデンサ放電

### Step 2 : 電流径路を考える

平滑コンデンサが充電されている時は平滑コンデンサへの入力電流  $i_1$  が流れる。図8 (a)に Mode 1-1 の電流径路を示す。この Mode では a 相の相電圧が最大なので  $D_1$  が導通する。Mode 2-1、Mode 3-1 では導通するダイオードが異なる以外は Mode 1-1 と同じである。図8 (b)に平滑コンデンサ C が放電している時 (Mode 1-2、Mode 2-2、Mode 3-2) の電流径路を示す。C が放電している時は C への入力電流  $i_1$  は流れないので  $i_a$ 、 $i_b$ 、 $i_c$  も流れない。



(a) Mode 1-1 (平滑コンデンサ C 充電) (b) Mode 1-2、Mode 2-2、Mode 3-2 (C 放電)

図 8 平滑コンデンサ付き 3 相半波整流回路の電流経路

### Step 3: 電圧電流波形を考える

図 9 に電圧電流波形を示す。図 5 と比較して  $v_{out}$  のリップル電圧が抑制されている。 $i_1$  は Mode 1-1、2-1、3-1 の短い期間だけに急峻に流れる。

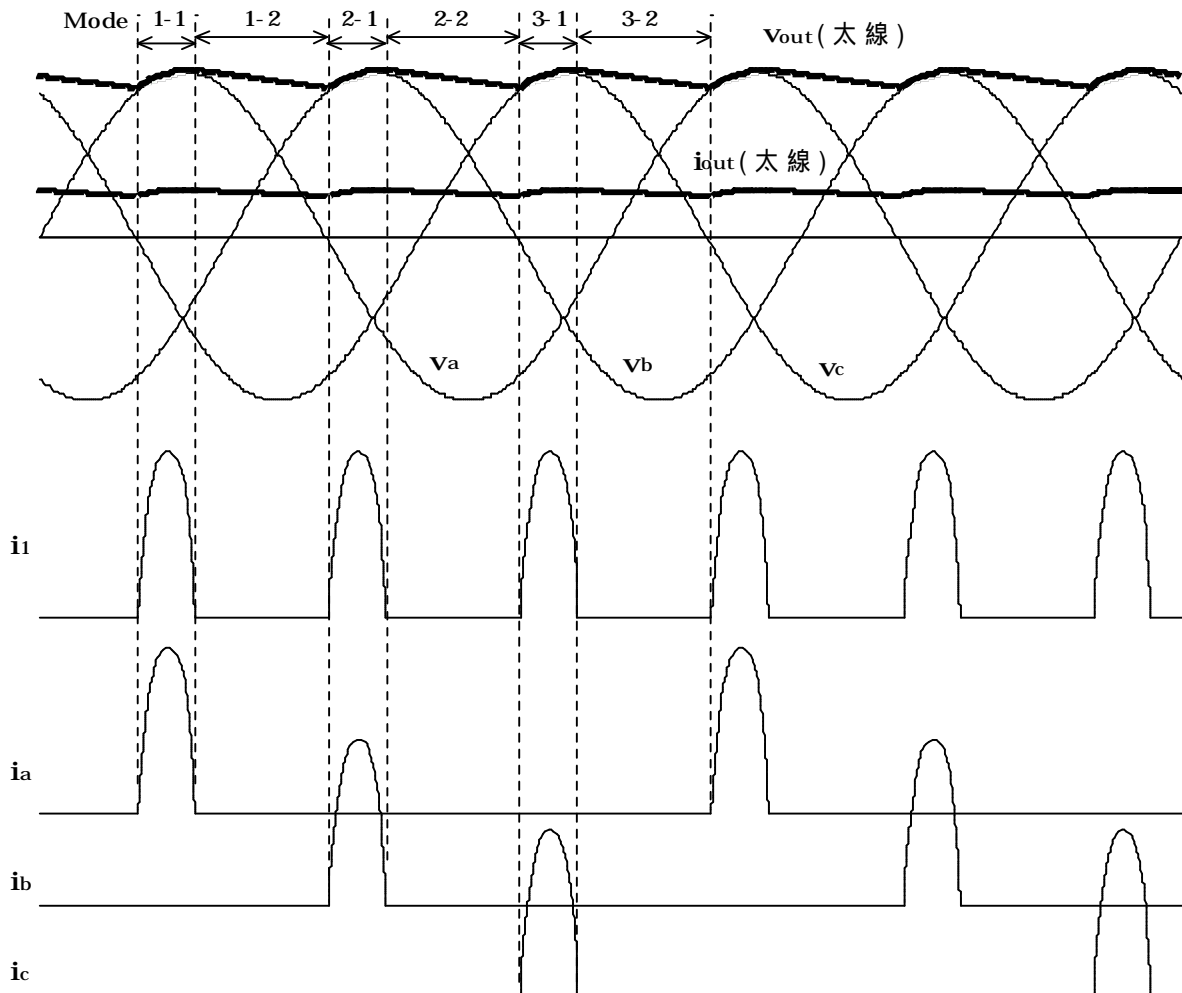


図 9 平滑コンデンサ付き 3 相半波整流回路の電圧電流波形

### 3 相全波整流回路

図 10 に 3 相全波整流回路を示す。回路から明かなように、整流回路には最も相電圧の高い相から

電流が流れ込んで最も相電圧の低い相から電流が流れ出る。したがって、出力電圧  $v_{out}$  は3つの線間電圧の最大絶対値と等しくなる。則ち、

$$V_{out} = |V_{ab}|、|V_{bc}|、|V_{ca}| \text{ の最大値}$$

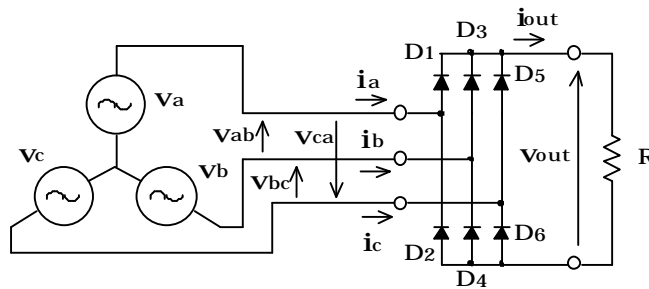


図 1 0 3 相全波整流回路

### Step 1 : 動作モードを考える

最大となる線間電圧とその正負により、表 1 の 6 ケの動作モードに分けられる。図 1 2 を見れば直感的に理解できるであろう。

表 1 動作モードと相電圧、線間電圧

動作モード	相電圧		最大線間電圧 (即ち $v_{out}$ )	導通ダイオード
	最高	最低		
	$V_a$	$V_b$	$V_{ab}$	$D_1、D_4$
	$V_a$	$V_c$	$-V_{ca}$	$D_1、D_6$
	$V_b$	$V_c$	$V_{bc}$	$D_3、D_6$
	$V_b$	$V_a$	$-V_{ab}$	$D_3、D_2$
	$V_c$	$V_a$	$V_{ca}$	$D_5、D_2$
	$V_c$	$V_b$	$-V_{bc}$	$D_5、D_4$

### Step 2 : 電流径路を考える

相電圧が最大の相から電流が整流回路に流れ込んで、相電圧が最小(マイナスの値)の相へ流れ出る。表 1 から例えば Mode 1 では a 相から電流が流れ込んで b 相に流れ出ることが分かる。Mode 1 の電流径路を図 1 1 に示す。

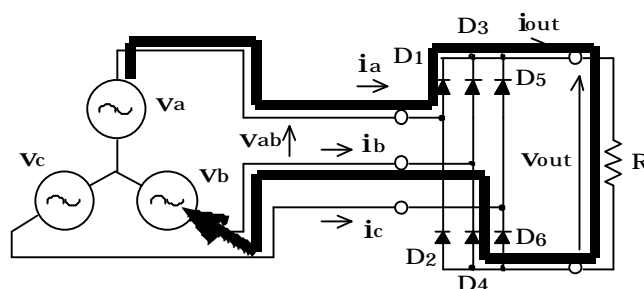


図 1 1 Mode 1 の電流径路

### Step 3 : 電圧電流波形を考える

図 1 2 に 3 相全波整流回路の主な電圧電流波形を示す。出力電圧  $v_{out}$  は線間電圧の絶対値の最大値である。出力電流  $i_{out}$  は  $v_{out}$  に比例する。各動作モードの電流経路から各相の電流  $i_a$ 、 $i_b$ 、 $i_c$  が推定できる。

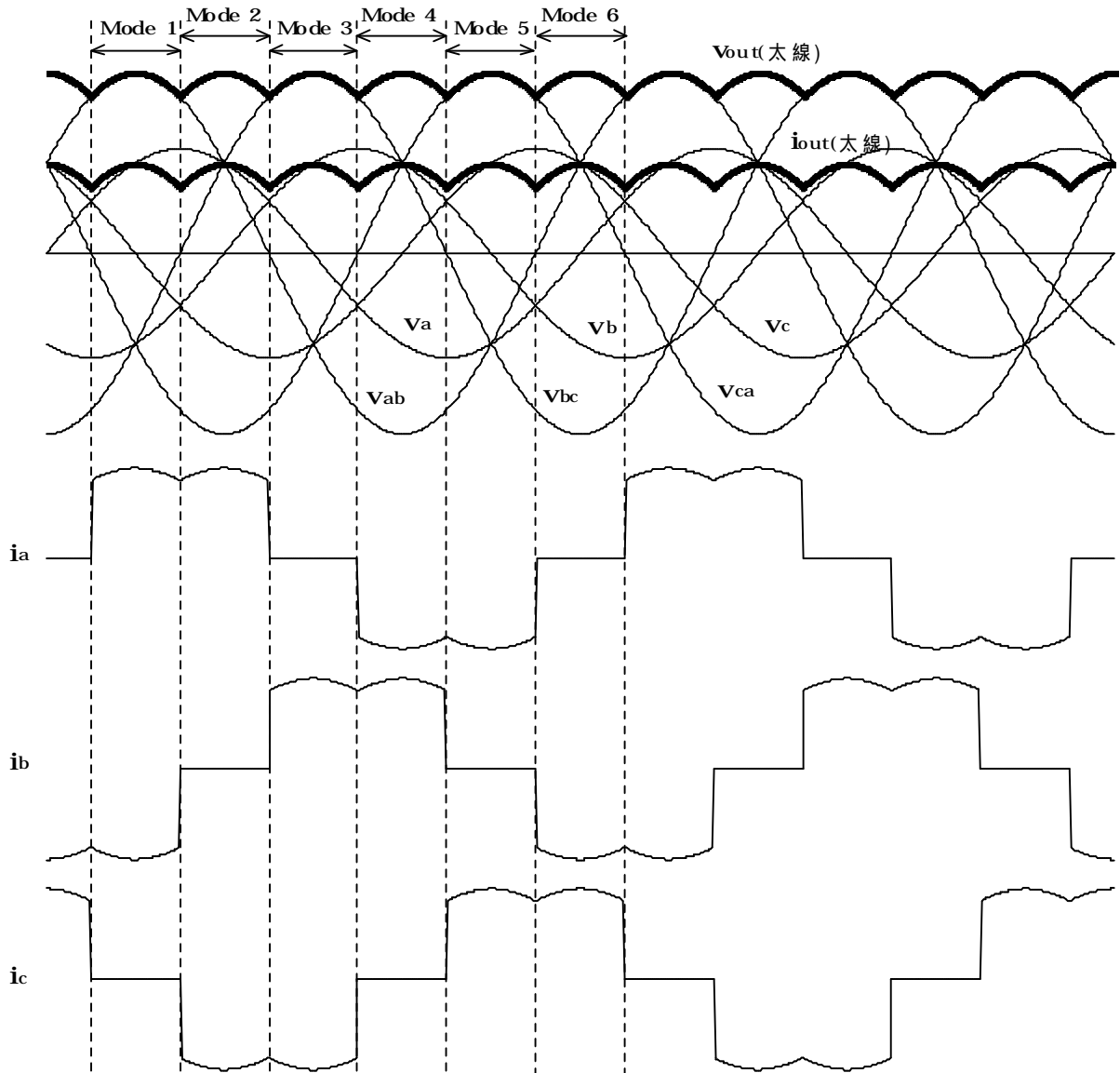


図 1 2 3 相全波整流回路の主な電圧電流波形

図 1 2 は波形がこみ入ってやや分かりにくいので図 1 3 に a 相だけの電圧電流波形を示す。次のような特徴がよく分る。

- $v_{ab}$  の大きさは  $v_a$  の  $\sqrt{3}$  倍。
- $v_{ab}$  は  $v_a$  より 30 度進み。
- $i_a$  は  $v_a$  と同相。

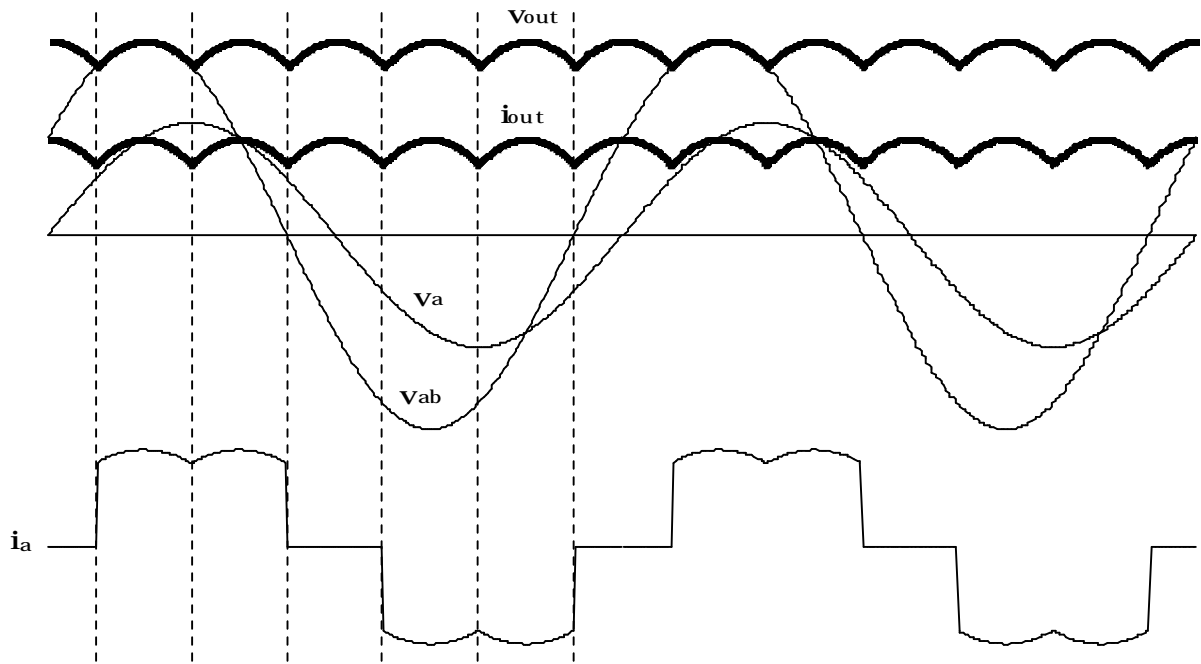


図 1.3 3相全波整流回路の a 相の電圧電流波形

### 平滑コンデンサ付き 3 相全波整流回路

図 1.4 に平滑コンデンサ付き 3 相全波整流回路を示す。3 相半波整流回路と同様に平滑コンデンサの効果で出力電圧  $V_{out}$  のリップル電圧が減少する。図 1.5 に平滑コンデンサがある場合の  $V_{out}$  波形を太線で示す。

動作モードは平滑コンデンサ付き 3 相半波整流回路と同じように考えれば良い。6 頁で説明したように、平滑コンデンサがない場合は 6 ケの動作モードがあったが、平滑コンデンサがあるとさらにコンデンサが充電されている場合と放電している場合の 2 つに分かれるので合計 12 ケの動作モードがある。電流経路も平滑コンデンサ付き 3 相半波整流回路と同じように考えれば良く、コンデンサが充電されている時は  $i_1$  が流れ、交流入力電流も流れる。コンデンサが放電している時は  $i_1$  は流れず、交流入力電流も流れない。

以上の検討から電圧電流波形は図 1.5 のようになることが推定できる。交流入力電流(図 1.5 では a 相電流  $i_a$ )は図の太線で示すようにピーク値の大きなパルス状の電流が半サイクルに 2 回ずつ流れることが分かる。

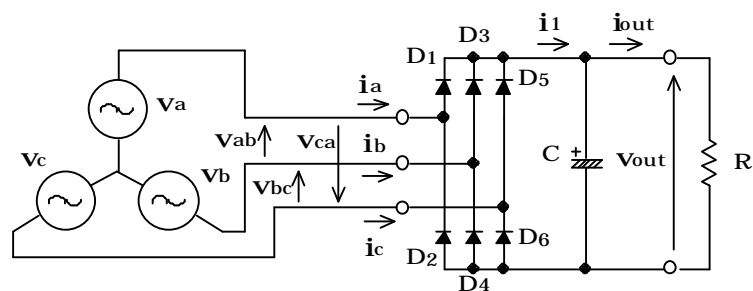


図 1.4 平滑コンデンサ付き 3 相全波整流回路



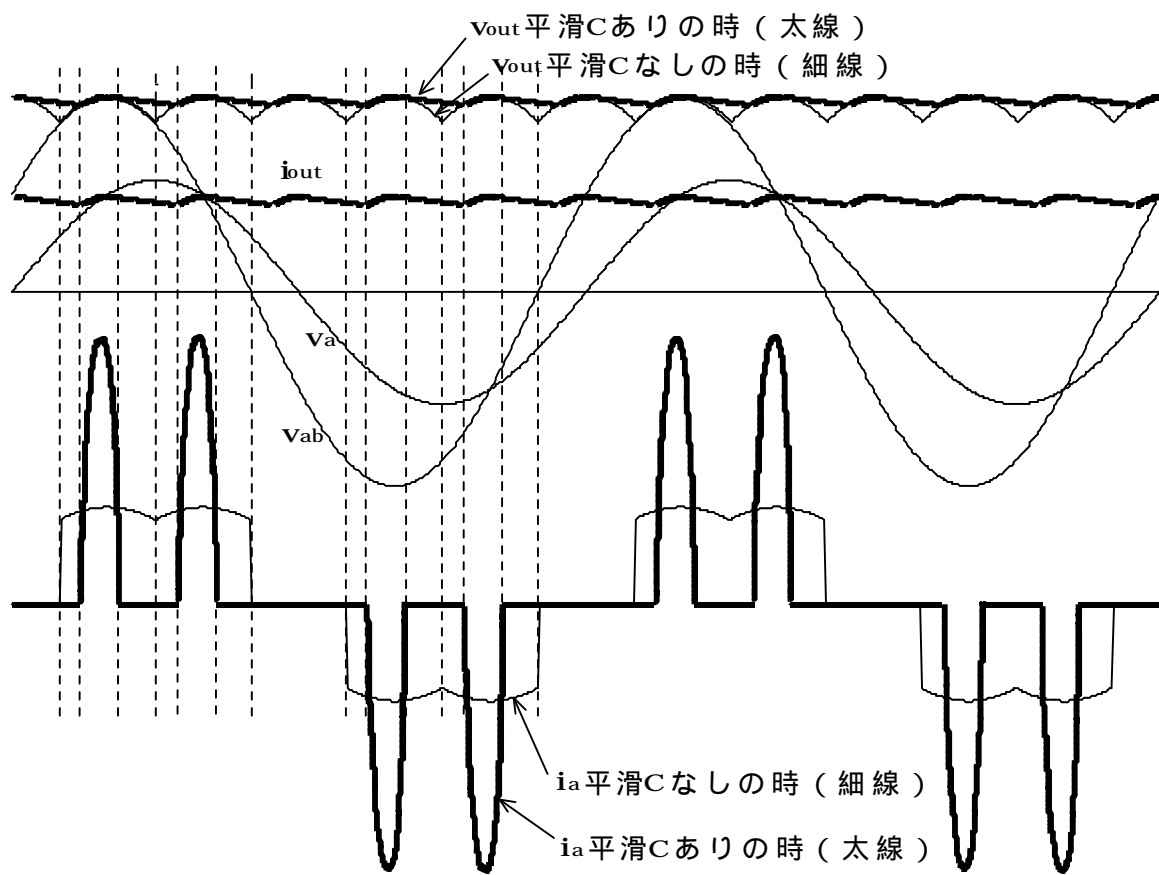


図15 平滑コンデンサ付き3相全波整流回路の主要波形

以上