

⑩【整流器/AC-AC変換/応用】 講師：譲原逸男

## 整流器/AC-AC変換器/応用

(第5日2限)

横浜国立大学  
譲原 逸男

## 目次

- 6. 整流器の概要と分類
- 7. 整流器の基礎
  - (7-1)～(7-14) 各種ダイオード整流器とLCの設計例
  - (7-15)～(7-22) 各種サイリスタ整流器
  - (7-23)～(7-25) PWM整流器
- 8. AC-AC直接変換器の概要
- 9. AC-AC直接変換回路の基礎
  - (9-1)～(9-5) サイクロコンバータ
  - (9-6)～(9-8) 交流位相調整回路
- 10. 応用
  - (10-1)～(10-3) 並列・直列共振コンバータ
  - (10-4) 超高周波RFブリッジインバータ

## 6-1. 整流器の概要

直流や交流電圧を出力する一般的電源装置は、商用交流電圧を受電し、**整流器**で一旦**直流に変換(AC-DC変換=コンバータ)**後にコンバータやインバータを動作させる。

高調波規制 JIS C61000-3-2：高調波電流による他電気機器への障害防止

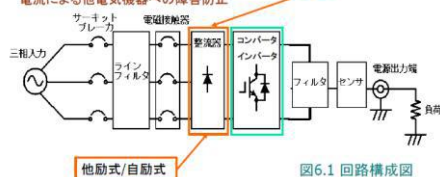


図6.1 回路構成図

## 6-2 整流器の分類

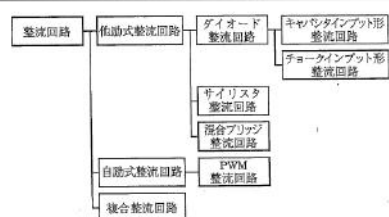


図6.2 整流器の分類

## 7. 整流器の基礎

### (7-1) 単相ダイオードブリッジ整流回路

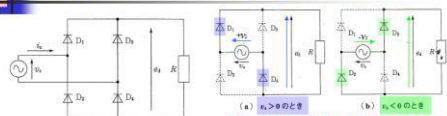


図7.1 単相ダイオードブリッジ整流回路

図7.3の出力電圧 $e_d$ の平均値電圧 $E_d$ は

$$E_d = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi v_d \, d\omega t = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \sqrt{2} V_{\text{rms}} \sin \omega t \, d\omega t = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V_{\text{rms}} = 0.9 V_{\text{rms}} \quad (7.1)$$

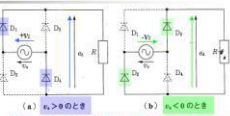


図7.2 単相ダイオードブリッジ整流回路の動作モード

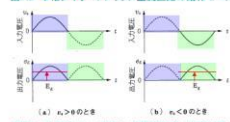


図7.3 単相ダイオードブリッジ整流回路の各部波形

⑩【整流器/AC-AC変換/応用】 講師: 譲原逸男

## 7. 整流器の基礎

### (7-2) キャパシタインプット形整流回路

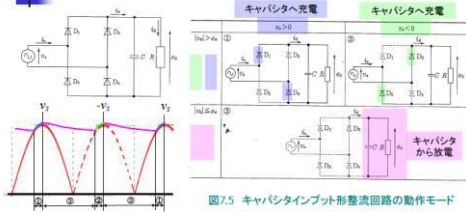


図7.4 キャパシタインプット形整流回路

## 7. 整流器の基礎

### (7-3) キャパシタインプット形整流回路の動作波形

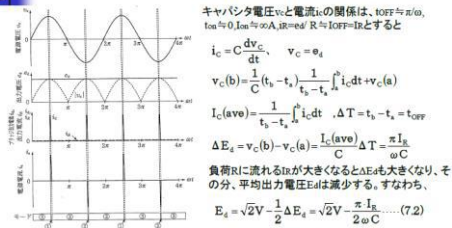


図7.6 キャパシタインプット整流回路の動作波形

## 7. 整流器の基礎

### (7-4) チョークインプット形整流回路(平滑用C付)

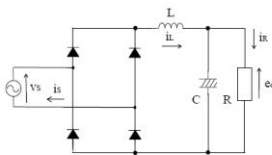


図7.7 チョークインプット形整流回路(平滑用C付)

## 7. 整流器の基礎

### (7-5) チョークインプット形(平滑用C付)の各部近似波形

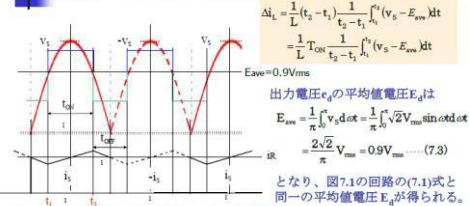


図7.8 チョークインプット形整流回路(平滑用C付)の各部近似波形

## 2. LCの働き

### (2-4) インダクタのふるまい

#### インダクタ電流の性質

$$v_L = L \frac{di}{dt} \quad i(b) = \frac{1}{L} t_{ab} \frac{1}{t_{ab}} \int_a^b v_L dt + i(a)$$

$$\Delta i_{ab} = i(b) - i(a) = \frac{V(ave)_{ab}}{L} t_{ab} \quad (2.3)$$

$$V(ave)_{ab} = \frac{1}{t_{ab}} \int_a^b v_L dt \quad t_{ab} = t_b - t_a$$

$$\Delta i_{bc} = i(c) - i(b) = \frac{V(ave)_{bc}}{L} t_{bc} \quad (2.4)$$

$$|\Delta i_{ab}| = |\Delta i_{bc}|$$

周期波形の場合、 $i(p)$ と一周後の $i(q)$ は等しい

(例):  $L = 10 \text{ mH}$ ,  $V(ave)_{ab} = 100 \text{ V}$ ,  $t_{ab} = 80 \mu\text{s}$

$$\Delta i_{ab} = \frac{V(ave)_{ab}}{L} t_{ab} = \frac{100 \text{ V}}{10 \text{ mH}} \cdot 80 \mu\text{s} = 0.8 \text{ A}$$

$$W_L = \frac{1}{2} L i^2$$

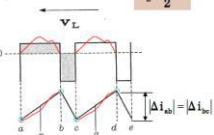


図2.4 インダクタの特性波形

⑩【整流器/AC-AC変換/応用】 講師: 譲原逸男

## 2. LCの働き

### (2-5) キャパシタのふるまい

#### キャパシタ電圧の性質

$$i = C \frac{dv}{dt}, v_C(b) = \frac{1}{C} t_{ab} \int_a^b i dt + v_C(a)$$

$$\Delta v_{ab} = v_C(b) - v_C(a) = \frac{i(\text{ave})_{ab}}{C} t_{ab} \dots (2.5)$$

$$i(\text{ave})_{ab} = \frac{1}{t_{ab}} \int_a^b i dt, t_{ab} = t_b - t_a$$

$$\Delta v_{bc} = v_C(c) - v_C(b) = \frac{i(\text{ave})_{bc}}{C} t_{bc} \dots (2.6)$$

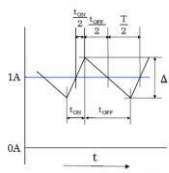
$$|\Delta v_{ab}| = |\Delta v_{bc}|$$

周期波形の場合、 $v(p)$ と一周後の $v(q)$ は等しい

図2.5 キャパシタの特性波形

## 3. チョッパ回路

### (3-4) 降圧チョッパの出力リップル電圧



出力リップル電圧 $\Delta v_{ab}$ の関数式は  
 図3.3(d)、(e)の波形と(2.5)式より導出可能。  
 図3.3(d)を拡大した左図の $\Delta i_{ab}$ を用いると、

$$\Delta i_C = \Delta i_L = \Delta i_{ab}$$

$$\Delta v_{ab} = \frac{i(\text{ave})_{ab}}{C} t_{ab}$$

$$= \frac{\Delta i_{ab}}{4C} \left( \frac{t_{ON} + t_{OFF}}{2} \right) = \frac{\Delta i_{ab}}{8C} T \dots (3.2)$$

図3.4 降圧チョッパにおける $\Delta v_{ab}$ の導出例

## 7. 整流器の基礎

### (7-6) チョークインプット形整流回路の各部波形

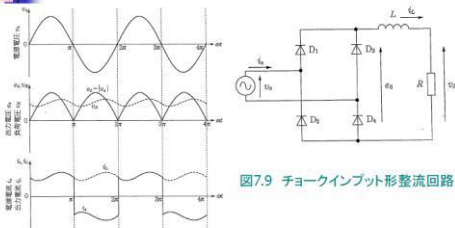
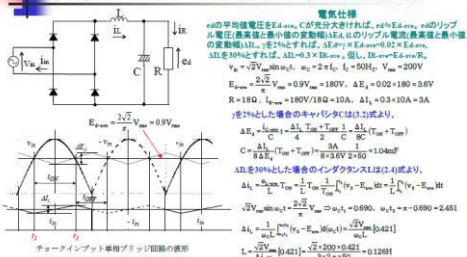


図7.9 チョークインプット形整流回路

図7.10 各部波形

## 7. 整流器の基礎

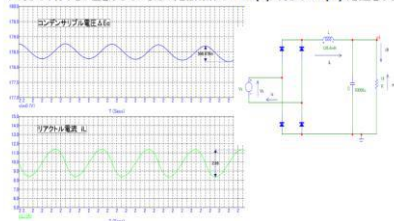
### (7-7) チョークインプット形の図7.8におけるLC設計例



## 7. 整流器の基礎

### (7-8) 設計したLC値によるシミュレーションその1

(1)  $C = 10.000 \mu F$ の場合  
 シミュレーション結果は $\Delta L = 2.99 [A]$ 、 $\Delta E_d = 0.5 [V]$ である。リップル電圧 $\Delta E_d$ は、設計条件の $\Delta E_d = 3.6 [V]$ に対して十分小さい値を示しているため、設計条件の $\Delta L = 3 [A]$ に対して $0.33 [A]$ の誤差を示した

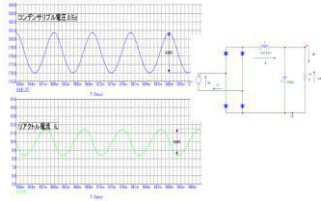


⑩【整流器/AC-AC変換/応用】 講師: 譲原逸男

## 7. 整流器の基礎

### (7-9) 設計したLC値によるシミュレーションその2

(2)  $C=1.040[\mu F]$ の場合  
 設計条件の  $\Delta E=3.00[V]$  に対して  $\Delta E=4.69[V]$  に対して  $\Delta E=4.69[V]$  は  $\sim 38.5[\%]$ 。  
 この差は  $\Delta E$  を三角波に近似したため、シミュレーションの  $\Delta E$  はほぼ正弦波である。近似計算とシミュレーション波  
 との差は、時間経過の差が顕著になっている。  
 $\Delta E=3.00[V]$  と異なるためには、キレレタは  $1.305 \times 1.040=1.360[\mu F]$  になる。近似計算は簡単な回路設計が可能に  
 なるが、異なる誤差を考慮する必要がある。



## 7. 整流器の基礎

### (7-10) 三相ダイオードブリッジ整流回路

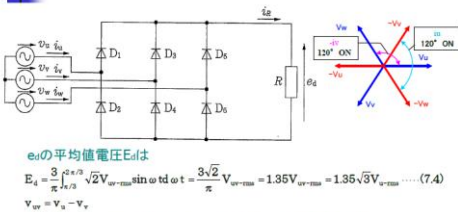


図7.11 三相ダイオードブリッジ整流回路

## 7. 整流器の基礎

### (7-11) 三相ダイオードブリッジ整流回路の動作波形

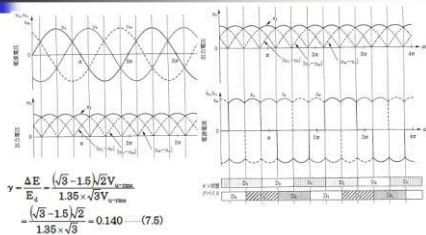


図7.12 三相ダイオードブリッジ整流回路の動作波形

## 7. 整流器の基礎

### (7-12) 受電設備等によるインダクタンス $L_{line}$ の影響その1

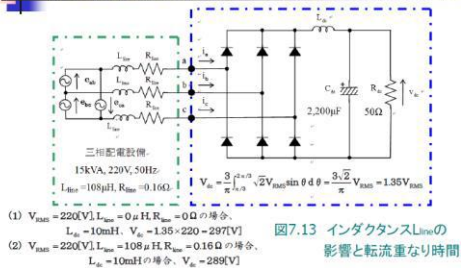


図7.13 インダクタンス  $L_{line}$  の影響と転流重なり時間

## 7. 整流器の基礎

### (7-13) 受電設備等によるインダクタンス $L_{line}$ の影響その2

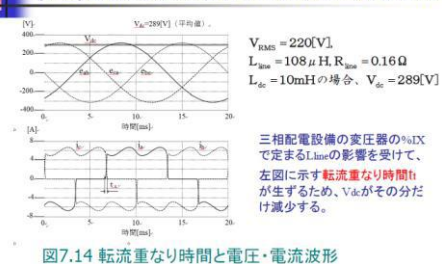


図7.14 転流重なり時間と電圧・電流波形



⑩【整流器/AC-AC変換/応用】 講師: 譲原逸男

## 7. 整流器の基礎

(7-14) 受電設備等によるインダクタンス $L_{line}$ の影響その3

転流重なり時間 $t_c$ における $i_a$ と $i_c$ の転流状態

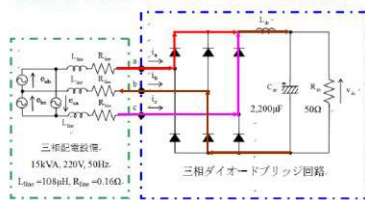


図7.15 転流重なり時間と電圧・電流波形

## 7. 整流器の基礎

(7-15) サイリスタの動作原理

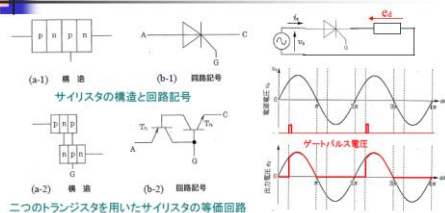


図7.16 サイリスタの構造と等価回路

図7.17 動作波形

## 7. 整流器の基礎

(7-16) 単相サイリスタブリッジ整流回路と動作波形

正電圧の発生:  $i_L$ は連続電流状態

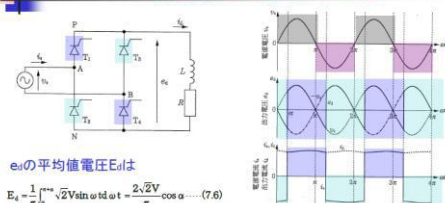


図7.18 単相サイリスタブリッジ整流回路

図7.19 動作波形(正電圧)

## 7. 整流器の基礎

(7-17) 単相サイリスタブリッジ整流回路と動作波形

負電圧の発生:  $i_L$ は連続電流状態

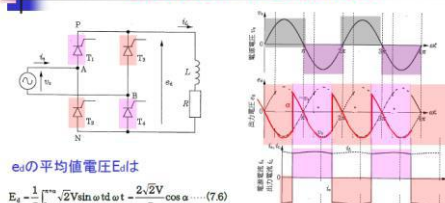


図7.20 単相サイリスタブリッジ整流回路

図7.21 動作波形(負電圧)

## 7. 整流器の基礎

(7-18) 単相サイリスタブリッジ整流回路と動作モード

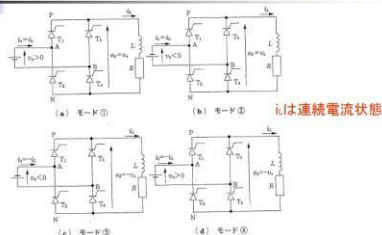


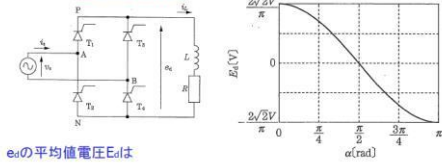
図7.22 単相サイリスタブリッジ整流回路の動作モード

⑩【整流器/AC-AC変換/応用】 講師: 譲原逸男

### 7.整流器の基礎

(7-19)単相サイスタブリッジ整流回路の平均値電圧と特性カーブ

$i_L$ は連続電流状態



$e_d$ の平均値電圧 $E_d$ は

$$E_d = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{2} V_m \sin \omega t d\omega t = \frac{2\sqrt{2}V}{\pi} \cos \alpha \dots (7.6)$$

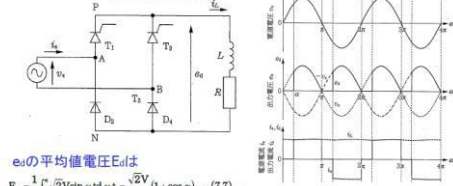
図7.24 位相制御角 $\alpha$ に対する出力平均値電圧 $E_d$

図7.23 単相サイスタブリッジ整流回路

### 7.整流器の基礎

(7-20)単相混合ブリッジ整流回路と動作波形

$i_L$ は連続電流状態



$e_d$ の平均値電圧 $E_d$ は

$$E_d = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{2} V_m \sin \omega t d\omega t = \frac{\sqrt{2}V}{\pi} (1 + \cos \alpha) \dots (7.7)$$

図7.25 単相混合ブリッジ整流回路

図7.26 動作波形

### 7.整流器の基礎

(7-21)単相混合ブリッジ整流回路と動作モード

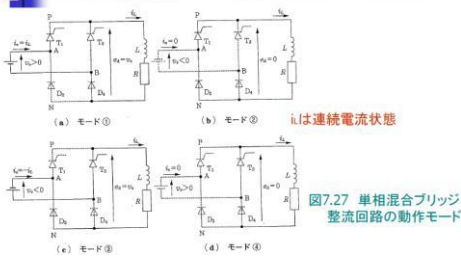
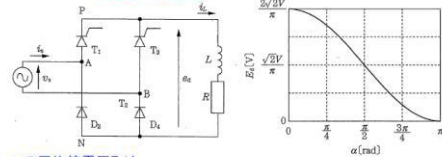


図7.27 単相混合ブリッジ整流回路の動作モード

### 7.整流器の基礎

(7-22)単相混合ブリッジ整流回路の平均値電圧と特性カーブ

$i_L$ は連続電流状態



$e_d$ の平均値電圧 $E_d$ は

$$E_d = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{2} V_m \sin \omega t d\omega t = \frac{\sqrt{2}V}{\pi} (1 + \cos \alpha) \dots (7.7)$$

図7.29 位相制御角 $\alpha$ に対する出力平均値電圧 $E_d$

図7.28 単相混合ブリッジ整流回路

### 7.整流器の基礎

(7-23)PWM整流回路の動作原理

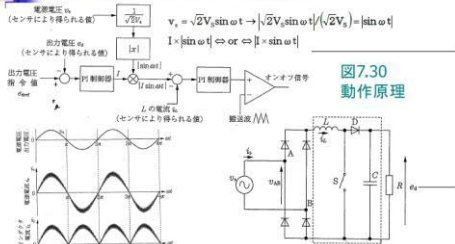


図7.30 動作原理

⑩【整流器/AC-AC変換/応用】 講師: 譲原逸男

## 7. 整流器の基礎

### (7-24) 三相PWM整流回路の主回路構成

自動式整流回路の代表例は三相PWM整流器である。

交流入力電流は正弦波で力率=1.0の制御が可能になる。

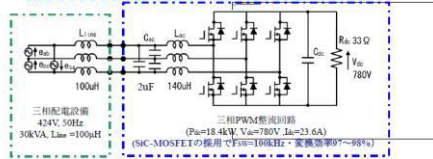


図7.31 三相PWM整流回路の主回路構成

## 7. 整流器の基礎

### (7-25) 三相PWM整流回路の交流入力電流波形

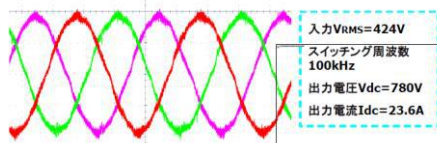


図7.32 三相PWM整流回路の交流入力電流波形

三相/二相変換(d-q変換) デジタル制御

## 8. AC-AC直接変換器の概要

AC-AC直接変換回路は、50または60Hzの商用交流電圧を入力とし、その一部が負荷に直接印加される方式である。代表例としては、サイクロコンバータや交流位相調整回路が挙げられる。

(1) サイクロコンバータ:

入力=商用周波数(50/60Hz)の実効値電圧

出力=低周波の周波数(数Hz~17/20Hz)と電圧を可変

(2) 交流位相調整回路:

入力=実効値電圧(50/60Hz)

出力=実効値電圧の可変(50/60Hz)

## 9. AC-AC直接変換回路の基礎

### (9-1). サイクロコンバータ主回路と負荷電流

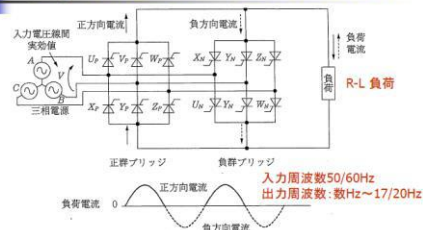


図9.1 非循環形単相サイクロコンバータの構成

## 9. AC-AC直接変換回路の基礎

### (9-2). サイクロコンバータ出力電圧波形

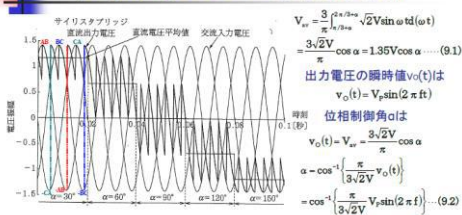


図9.2 位相制御角αに対するブリッジ出力電圧の変化

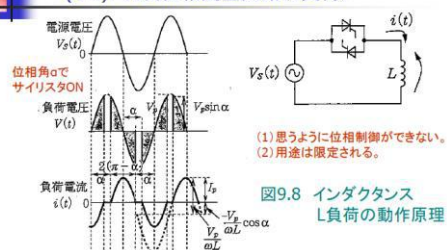




⑩【整流器/AC-AC変換/応用】 講師: 譲原逸男

## 9. AC-AC直接変換回路の基礎

### (9-8). 交流位相調整回路(L負荷)



## 10. 応用

### 10-1 並列共振形コンバータの構成

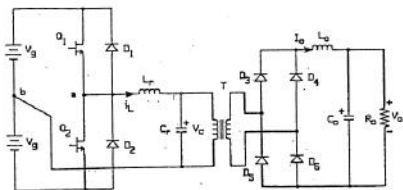


図10.1 ハーフブリッジ並列共振形コンバータ

## 10. 応用

### 10-2 並列共振形コンバータの等価回路と動作波形

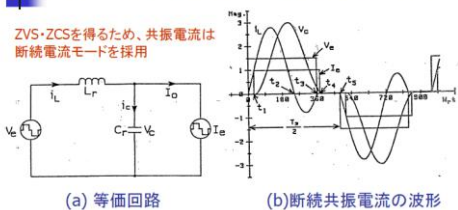
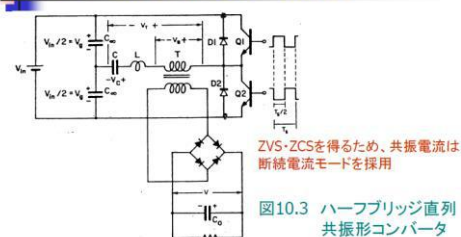


図10.2 断続共振電流状態における等価回路と動作波形

## 10. 応用

### 10-3 直列共振形コンバータの構成



## 10. 応用

### 10-4 超高周波RFブリッジインバータ

#### 4.5kW RFインバータ ZVS制御によって実現

