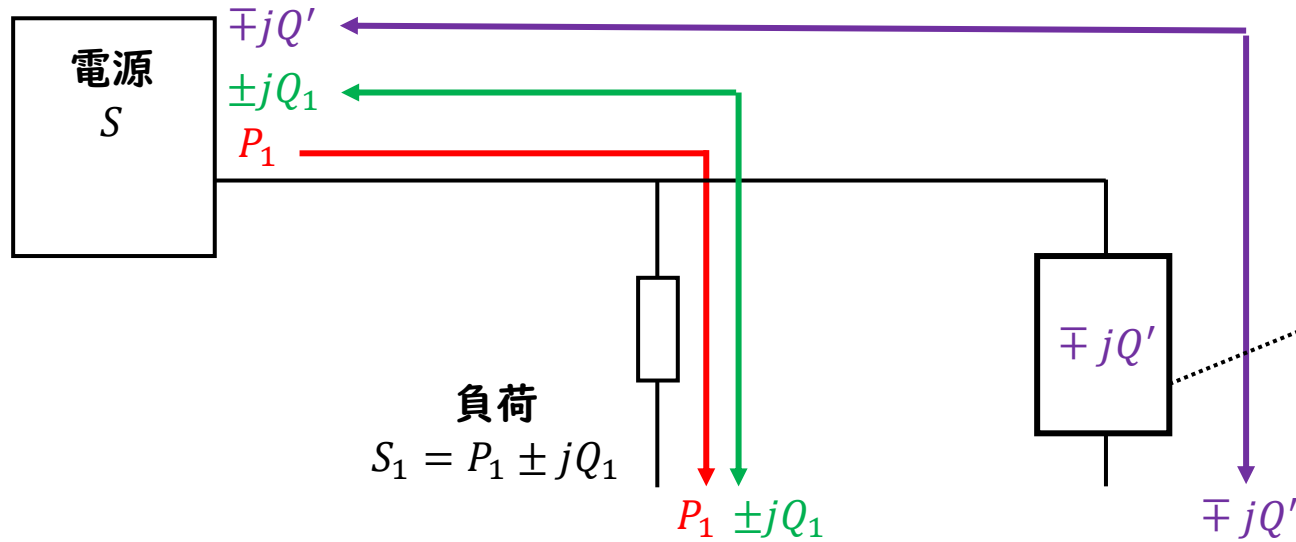


電験二種 オンライン講座

機械制御 パワエレ 三相インバータ

調相設備（同期調相機とSVC）



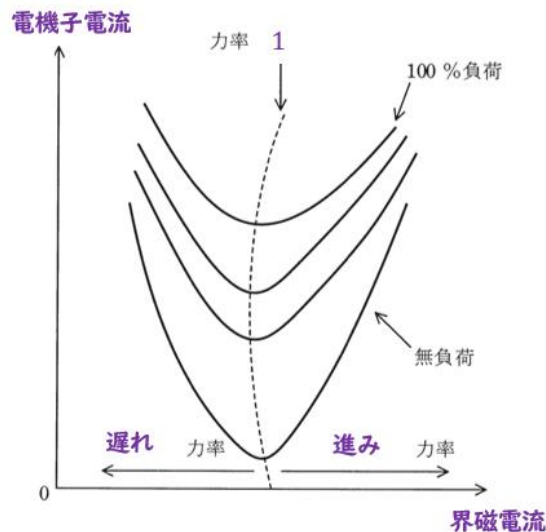
同期調相機やSVCは
出力する無効電力の向きと大きさを
動的に変化させることができる

同期調相機またはSVC

○同期調相機

同期電動機のこと。
界磁電流を調整することで
出力電流の遅れ/進みを
調整できる

同期電動機のV字曲線



ター電気事業部e-DE

OSVC (Static Var Compensator)

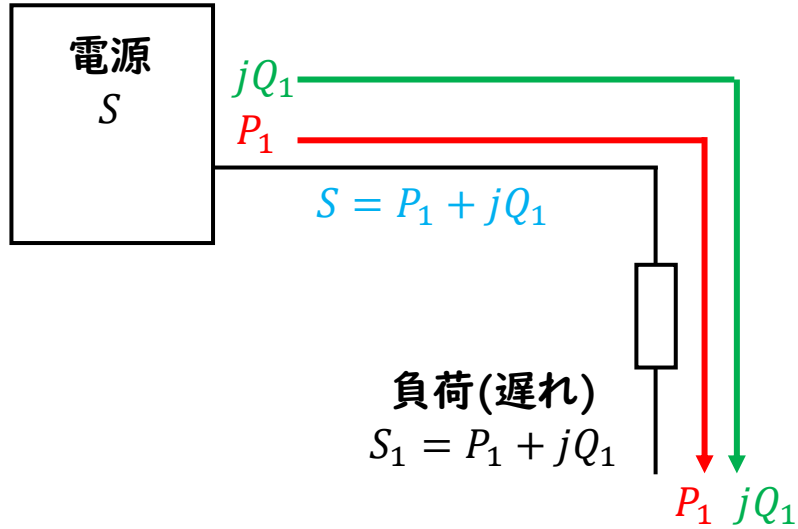
半導体スイッチを利用し、動的に無効電力を制御する

TSC：サイリスタ+コンデンサ
可変の進み電力を出力できる

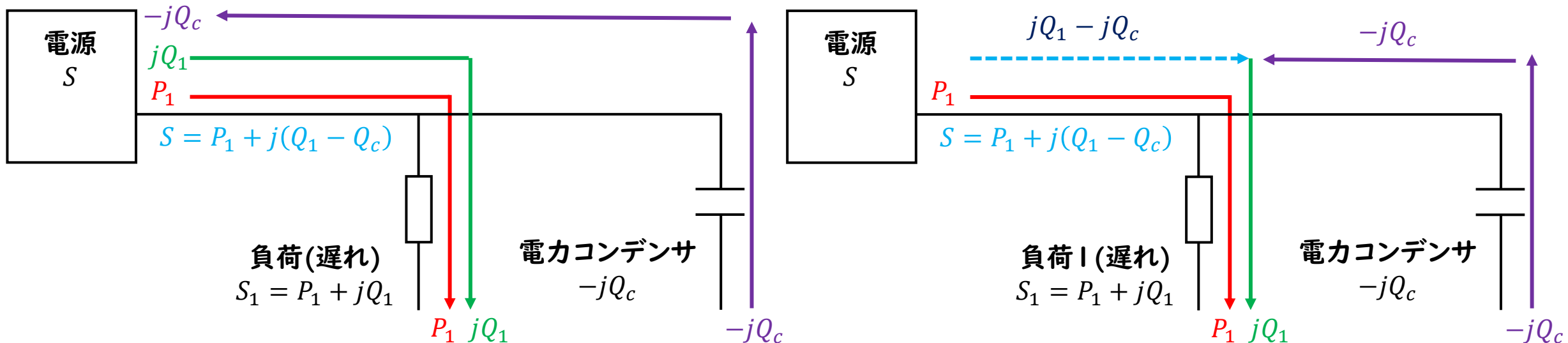
TCR：サイリスタ+リアクトル+コンデンサ
可変の進み/遅れ電力を出力できる

STATCOM：インバータ+リアクトル
可変の進み/遅れ電力を出力できる

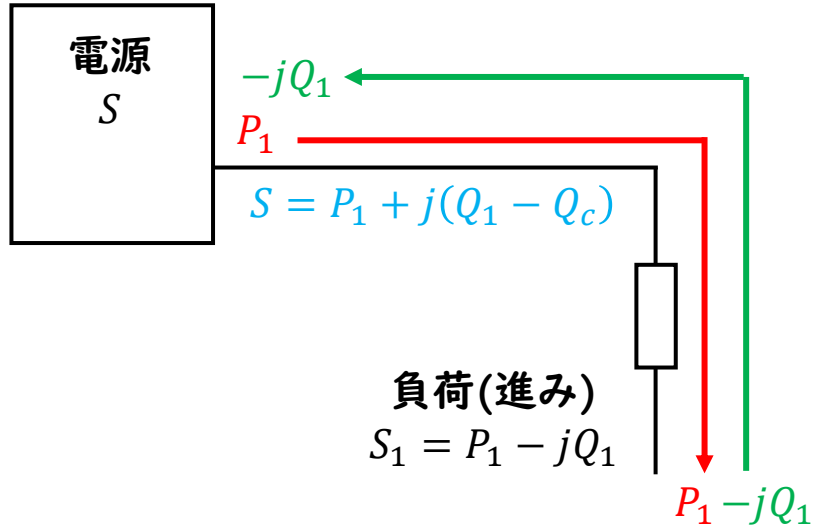
調相設備（電力コンデンサ）



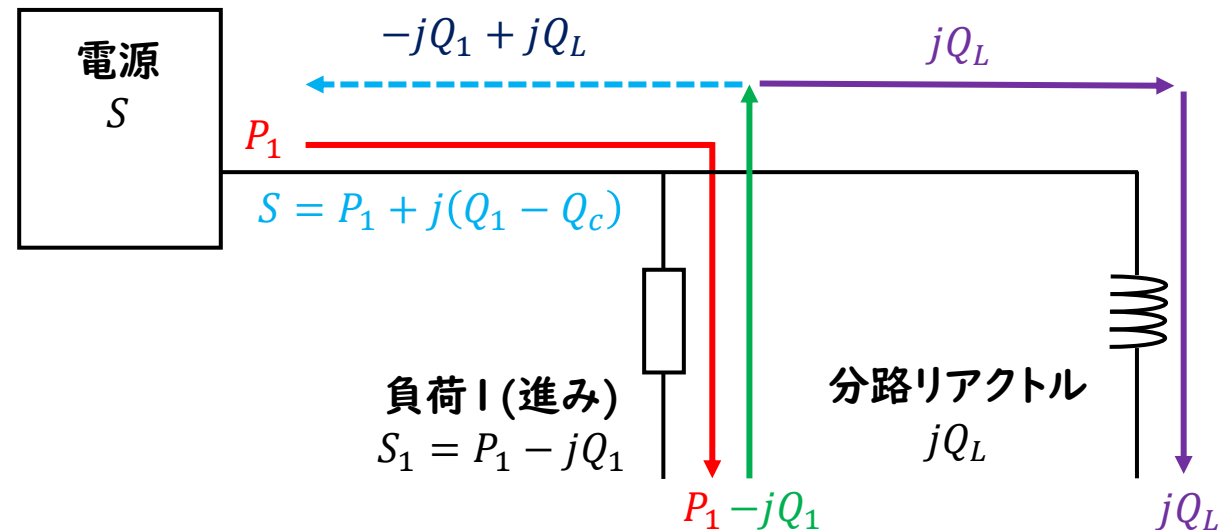
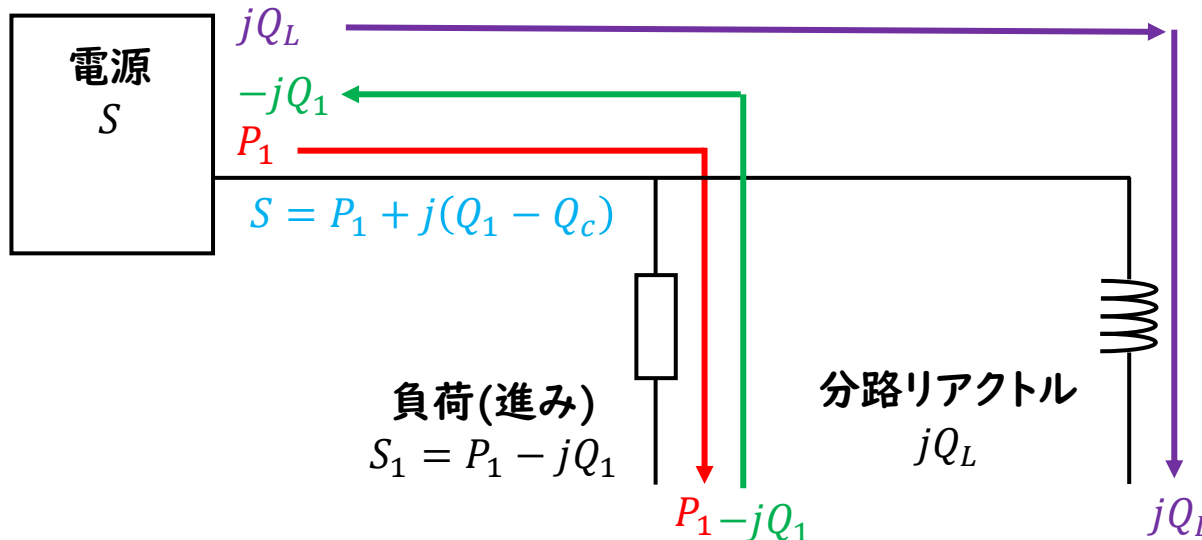
電力コンデンサ
遅れ力率の負荷に並列に接続して力率を改善する



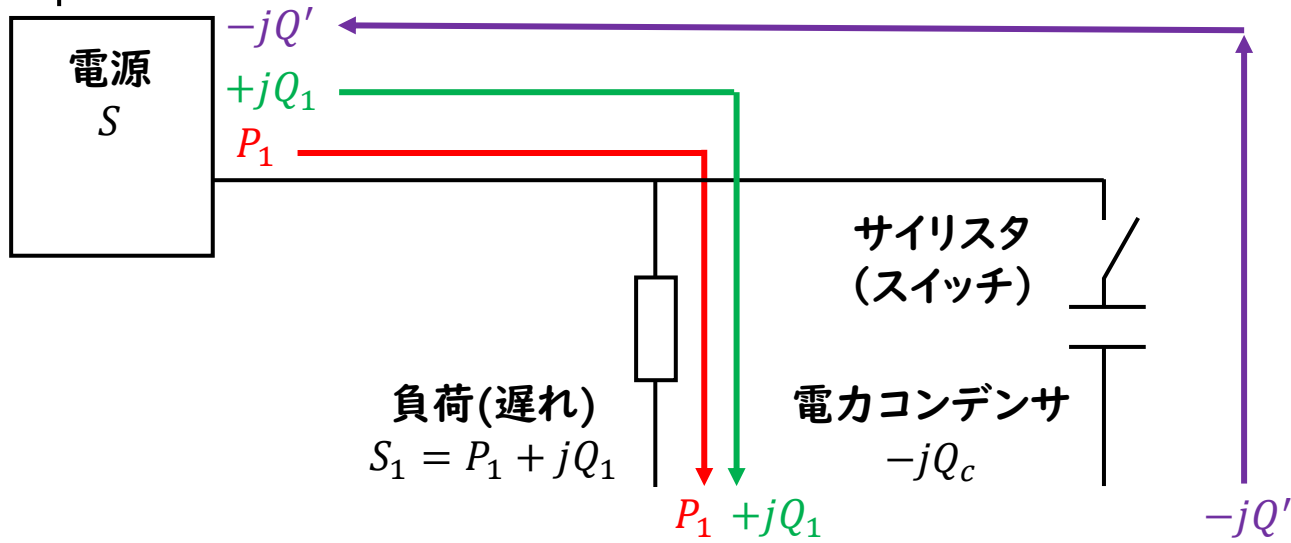
調相設備（分路リアクトル）



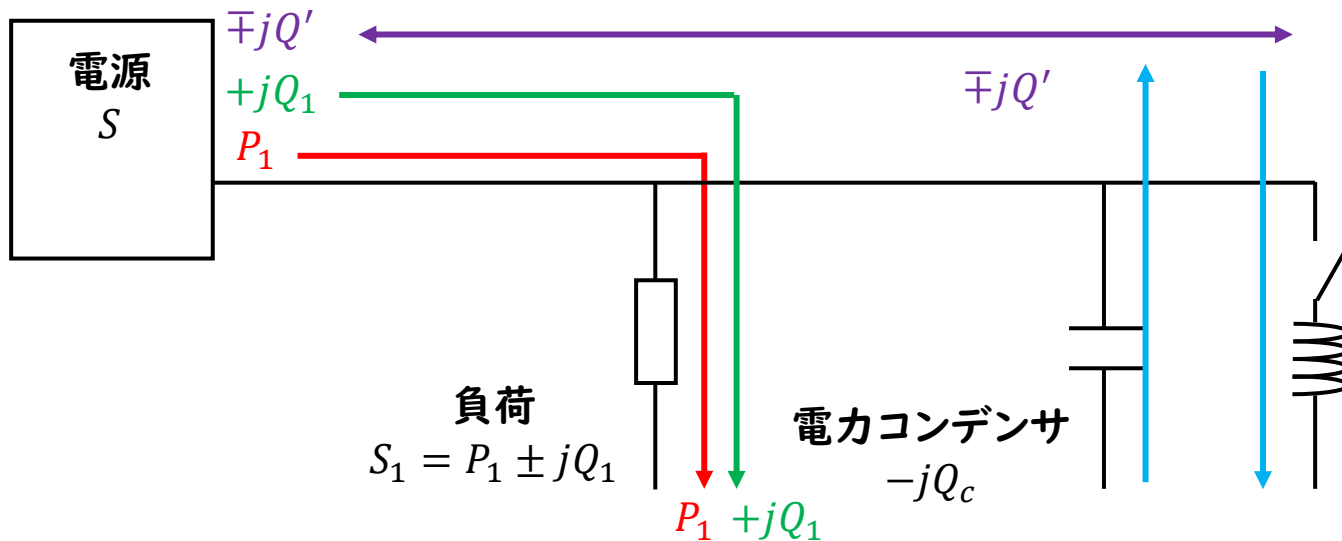
分路リアクトル
進み力率の負荷に並列に接続して力率を改善する



調相設備 (TSCとTCR)



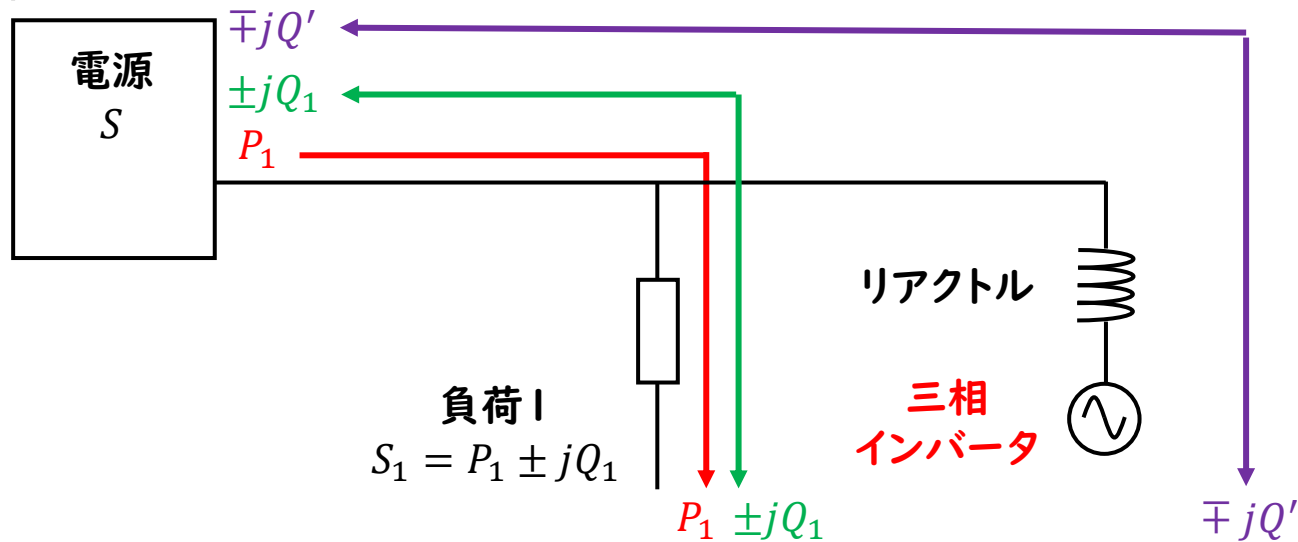
TSC : サイリスタ+コンデンサ
可変の進み電力を出力できる



TCR : サイリスタ+リアクトル+コンデンサ
可変の進み/遅れ電力を出力できる

- ①サイリスタを常時OFF
→電力コンデンサ
- ②サイリスタを少しON
→調相機能OFF
- ③サイリスタをたくさんON
→分路リアクトル

調相設備 (STATCOM)



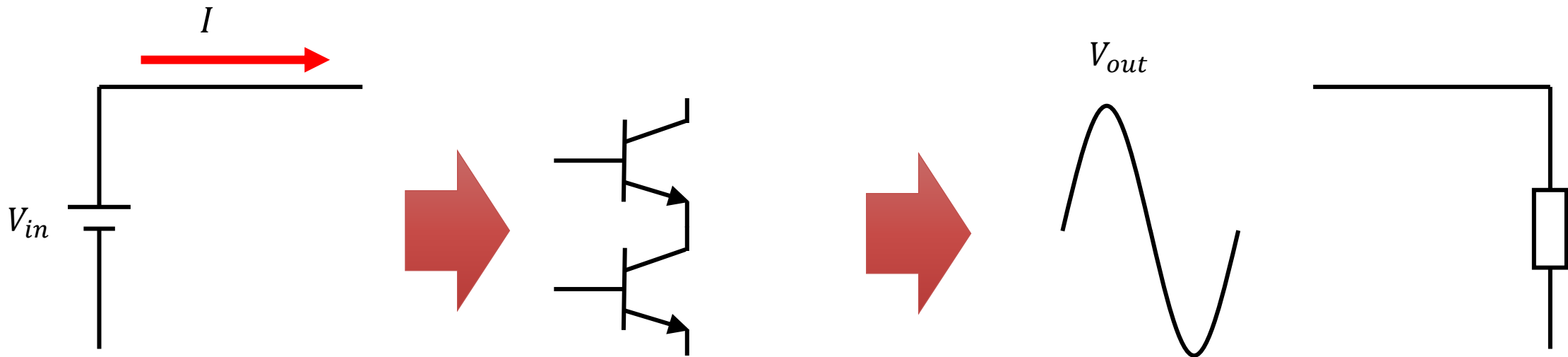
STATCOM (STATIC synchronous COMPensator)

リアクタンス＋三相インバータを組み合わせた調相設備

- ・インバータの出力電圧の位相は電力系統（電源）と一致させる
- ・インバータの出力電圧の振幅を調整することで無効電力の向きと大きさを制御できる

インバータ

半導体スイッチ素子を使い、直流を交流に変換する回路



トランジスタを使って
電圧/電流の向きを制御

負荷に交流電圧を
供給する

H24 問3

問3 図1に示す単相PWM制御電圧形インバータは、定格交流電流30[A]、直電圧 $E_d = 150$ [V]であり、リアクタンス $X = 0.4$ [Ω]のリアクトル(抵抗は、無視できるものとする。)を介して電圧 $V_L = 100$ [V]の交流電源に連系している。このインバータに次の信号 s

$$s = K \sin(\omega t + \phi)$$

を入力したとき、インバータにおける出力交流電圧の基本波瞬時値 v_v は、次になるものとする。

$$v_v = E_d \cdot K \sin(\omega t + \phi) \text{ [V]}$$

ここで、 K : 変調率 ($0 \leq K \leq 1$) (1まで可能なものとする。)

ω : 交流電源の角周波数

ϕ : 交流電源電圧の位相を基準とした v_v の位相角

このインバータで交流電流 i を出力したときの動作について次の問に答えよ。

ただし、高調波は考えないものとする。

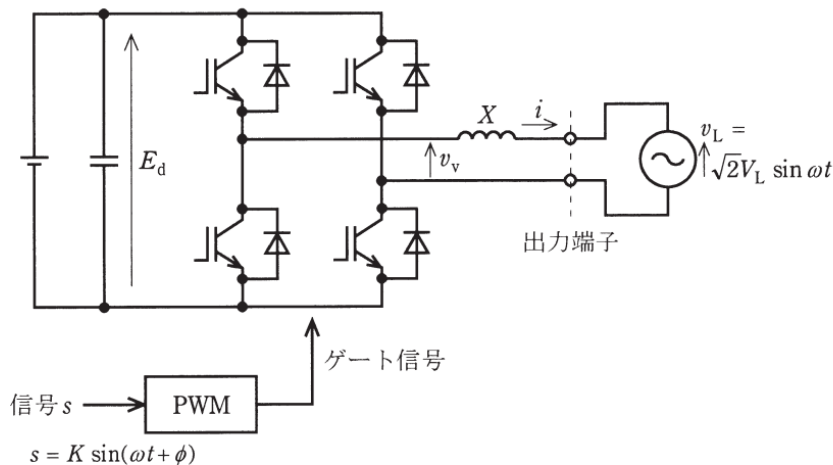


図1

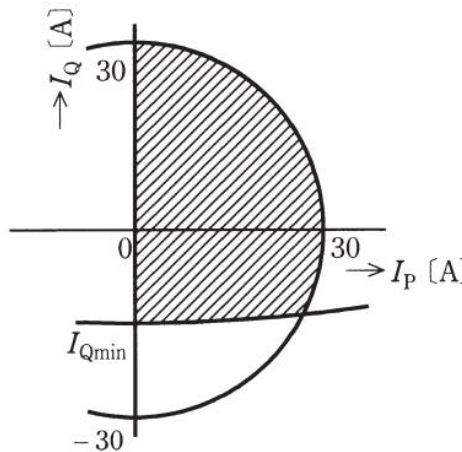


図2

- (1) フェーズで表したインバータ出力電流 \dot{I} 、交流電源電圧 V_L (位相の基準としているので実数で表示)及び X を用いて、インバータ出力電圧 \dot{V}_v を求める式を示せ。
- (2) このインバータが図1に示す出力端子において3[kW]の有効電力を力率1で出力している。このとき、次の値を求めよ。
 - a. \dot{V}_v の大きさ V_v [V] (実効値)
 - b. K
 - c. $\tan \phi$
- (3) このインバータを力率1以外でも運転するものとする。出力電流 \dot{I} を実数分 I_P と虚数分 I_Q とに分けて $\dot{I} = I_P + jI_Q$ と表す。 I_P 、 I_Q 、 V_L 及び X を用いて V_v [V]の値を求める式を示せ(絶対値の記号を付けただけでは不可。その値を求める式とする。)
- (4) I_P 及び I_Q の出力可能な範囲は、図2の網掛け範囲となる。 \dot{I} の大きさ(実効値) I [A]は、定格電流である30 [A]に制限される。 I_P は、インバータとして正の範囲(零を含む)に限定している。このほか、上記(3)の V_v の値を求める式で、 V_v が $K=1$ のときの値 $\frac{E_d}{\sqrt{2}}$ [V]に制限されることによっても電流の範囲が制限される。 $I_P=0$ [A]における I_Q の最小値 I_{Qmin} [A]の値を求めよ。

H24 問3

問3 図1に示す単相PWM制御電圧形インバータは、定格交流電流30[A]、直流電圧 $E_d = 150$ [V]であり、リアクタンス $X = 0.4$ [Ω]のリアクトル(抵抗は、無視できるものとする。)を介して電圧 $V_L = 100$ [V]の交流電源に連系している。このインバータに次の信号 s

$$s = K \sin(\omega t + \phi)$$

を入力したとき、インバータにおける出力交流電圧の基本波瞬時値 v_v は、次になるものとする。

$$v_v = E_d \cdot K \sin(\omega t + \phi) \text{ [V]}$$

ここで、 K : 変調率 ($0 \leq K \leq 1$) (1まで可能なものとする。)

ω : 交流電源の角周波数

ϕ : 交流電源電圧の位相を基準とした v_v の位相角

このインバータで交流電流 i を出力したときの動作について次の問に答えよ。ただし、高調波は考えないものとする。

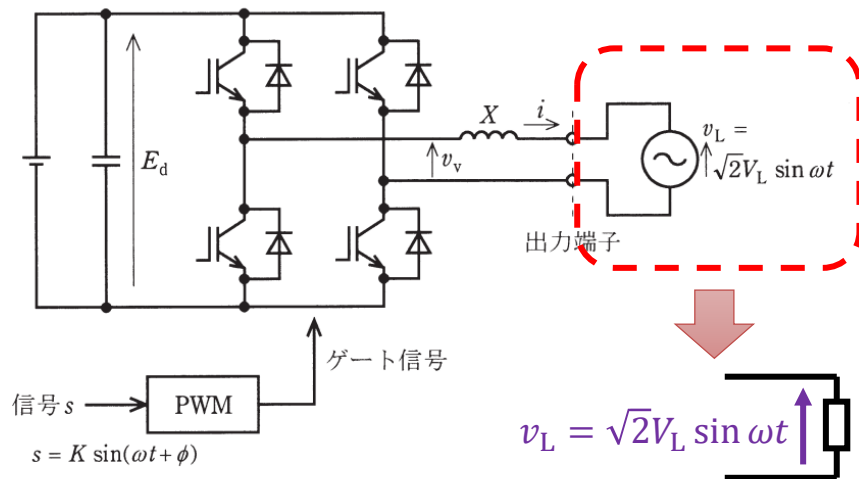


図 1

(1) フェーザで表したインバータ出力電流 \dot{I} 、交流電源電圧 V_L (位相の基準としているので実数で表示) 及び X を用いて、インバータ出力電圧 \dot{V}_v を求める式を示せ。

(2) このインバータが図1に示す出力端子において3[kW]の有効電力を力率1で出力している。このとき、次の値を求めよ。

a. \dot{V}_v の大きさ V_v [V] (実効値)

b. K

c. $\tan \phi$

H24 問3

問3 図1に示す単相PWM制御電圧形インバータは、定格交流電流30[A]、直流電圧 $E_d = 150$ [V]であり、リアクタンス $X = 0.4$ [Ω]のリアクトル(抵抗は、無視できるものとする。)を介して電圧 $V_L = 100$ [V]の交流電源に連系している。このインバータに次の信号 s

$$s = K \sin(\omega t + \phi)$$

を入力したとき、インバータにおける出力交流電圧の基本波瞬時値 v_v は、次になるものとする。

$$v_v = E_d \cdot K \sin(\omega t + \phi) \text{ [V]}$$

ここで、 K : 変調率 ($0 \leq K \leq 1$) (1まで可能なものとする。)

ω : 交流電源の角周波数

ϕ : 交流電源電圧の位相を基準とした v_v の位相角

このインバータで交流電流 i を出力したときの動作について次の問に答えよ。ただし、高調波は考えないものとする。

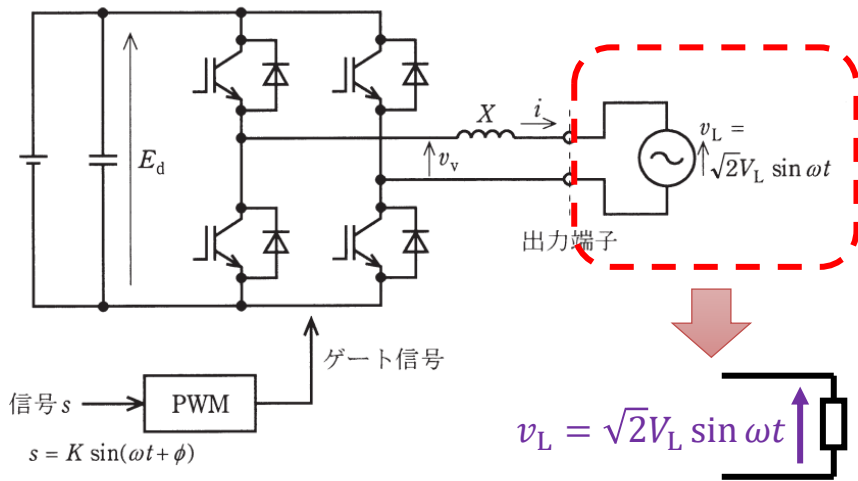


図1

- (1) フェーズで表したインバータ出力電流 i 、交流電源電圧 V_L (位相の基準としているので実数で表示)及び X を用いて、インバータ出力電圧 \dot{V}_v を求める式を示せ。

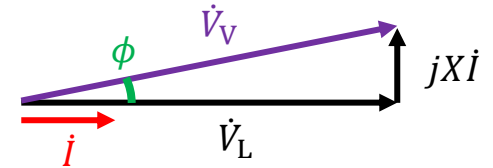
$$\dot{V}_v = \dot{V}_L + jXI$$

- (2) このインバータが図1に示す出力端子において3[kW]の有効電力を力率1で出力している。このとき、次の値を求めよ。

- a. \dot{V}_v の大きさ V_v [V] (実効値)

$$P_L = V_L I \rightarrow I = \frac{P_L}{V_L} = \frac{3000}{100} = 30 \text{ A}$$

$$V_v = \sqrt{V_L^2 + (XI)^2} = \sqrt{100^2 + (0.4 \times 30)^2} = 100.71 \text{ V}$$



- b. K

$$v_v = \sqrt{2}V_v \sin(\omega t + \phi) = E_d K \sin(\omega t + \phi)$$

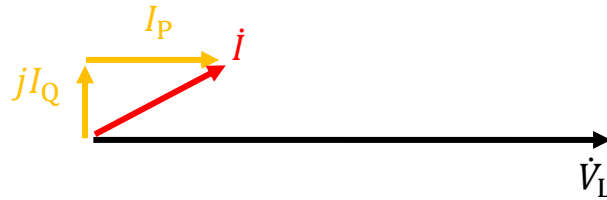
$$\rightarrow \sqrt{2}V_v = E_d K \rightarrow K = \frac{\sqrt{2}V_v}{E_d} = \frac{\sqrt{2} \times 100.71}{150} = 0.9495$$

- c. $\tan \phi$

$$\tan \phi = \frac{XI}{V_L} = \frac{0.4 \times 30}{100} = 0.12$$

H24 問3

(3) このインバータを力率1以外でも運転するものとする。出力電流 \dot{i} を実数分 I_P と虚数分 jI_Q とに分けて $\dot{i} = I_P + jI_Q$ と表す。 I_P , I_Q , V_L 及び X を用いて V_v [V] の値を求める式を示せ(絶対値の記号を付けただけでは不可。その値を求める式とする)。



(4) I_P 及び I_Q の出力可能な範囲は、図2の網掛け範囲となる。 \dot{i} の大きさ(実効値) I [A] は、定格電流である30 [A] に制限される。 I_P は、インバータとして正の範囲(零を含む)に限定している。このほか、上記(3)の V_v の値を求める式で、 V_v が $K=1$ のときの値 $\frac{E_d}{\sqrt{2}}$ [V] に制限されることによっても電流の範囲が制限される。 $I_P=0$ [A] における I_Q の最小値 I_{Qmin} [A] の値を求めよ。

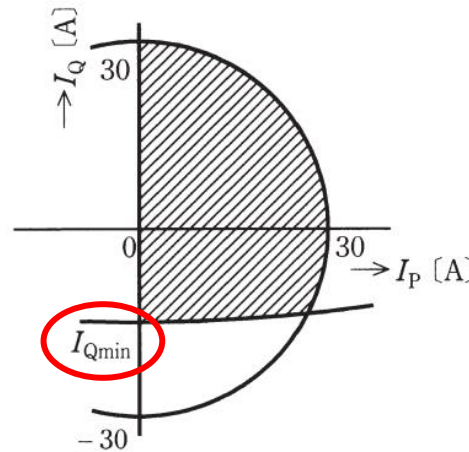


図2

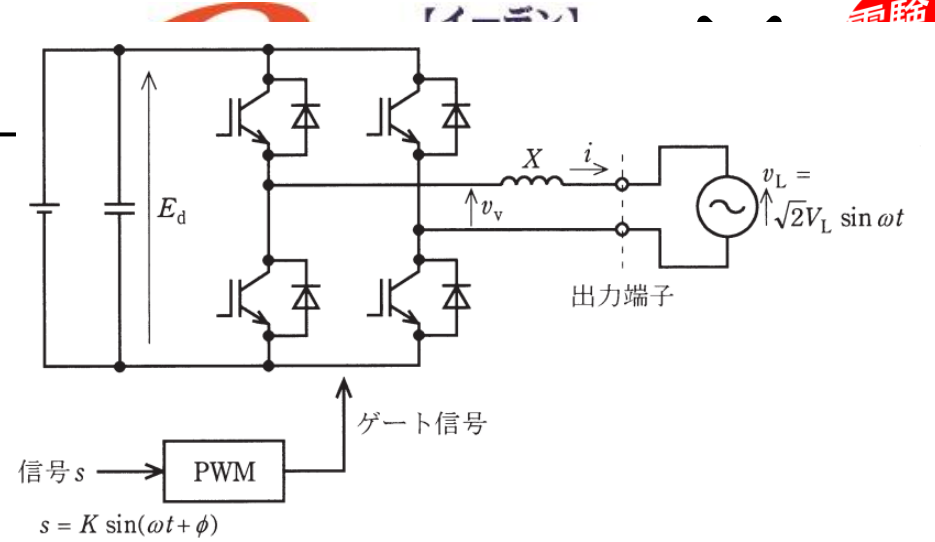
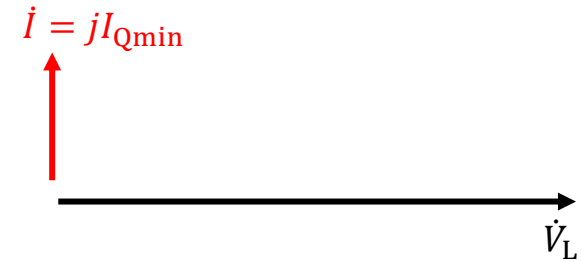


図1



H24 問3

(3) このインバータを力率1以外でも運転するものとする。出力電流 \dot{i} を実数分 I_P と虚数分 I_Q とに分けて $\dot{i} = I_P + jI_Q$ と表す。 I_P , I_Q , V_L 及び X を用いて V_V [V] の値を求める式を示せ(絶対値の記号を付けただけでは不可。その値を求める式とする。)

$$V_V = \sqrt{(V_L - XI_Q)^2 + (XI_P)^2}$$

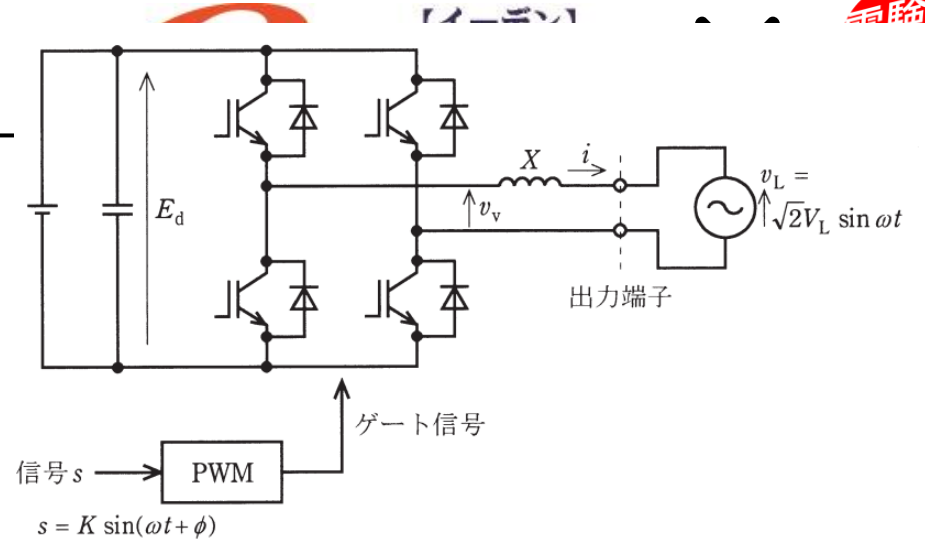
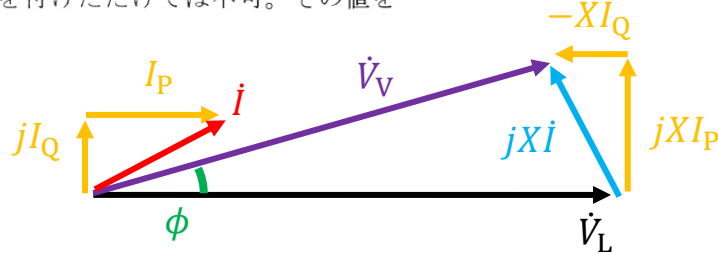


図 1

(4) I_P 及び I_Q の出力可能な範囲は、図 2 の網掛け範囲となる。 \dot{i} の大きさ(実効値) I [A] は、定格電流である 30 [A] に制限される。 I_P は、インバータとして正の範囲(零を含む)に限定している。このほか、上記(3)の V_V の値を求める式で、 V_V が $K=1$ のときの値 $\frac{E_d}{\sqrt{2}}$ [V] に制限されることによっても電流の範囲が制限される。 $I_P=0$ [A] における I_Q の最小値 I_{Qmin} [A] の値を求めよ。

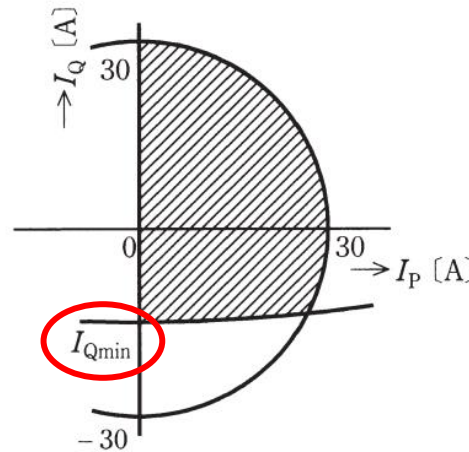
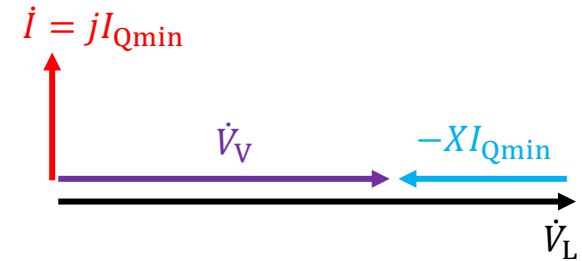


図 2



$$v_v = \sqrt{2}V_V \sin(\omega t + \phi) = E_d K \sin(\omega t + \phi)$$

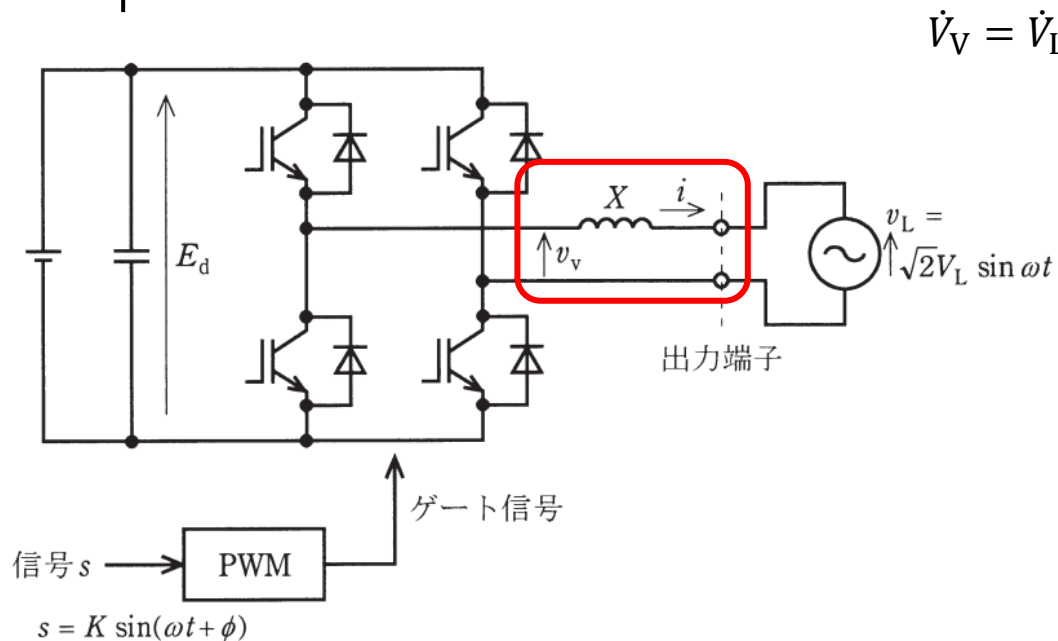
$$\sqrt{2}V_V = E_d K$$

$K=1$ のとき

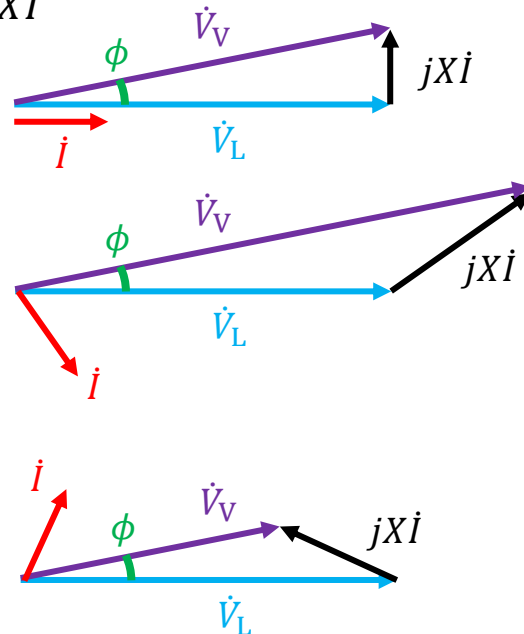
$$V_V = \frac{E_d}{\sqrt{2}} \rightarrow V_V = V_L - XI_{Qmin} = \frac{E_d}{\sqrt{2}} \rightarrow I_{Qmin} = \frac{1}{X} \left(V_L - \frac{E_d}{\sqrt{2}} \right)$$

$$I_{Qmin} = \frac{1}{X} \left(V_L - \frac{E_d}{\sqrt{2}} \right) = \frac{1}{0.4} \left(100 - \frac{150}{\sqrt{2}} \right) = -15.165 \text{ A}$$

電源（電力系統）とインバータの連系

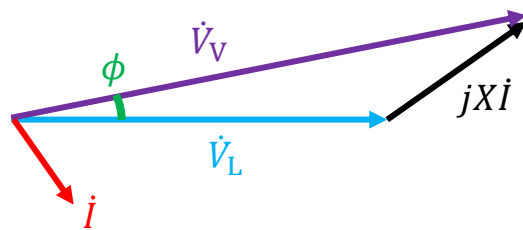
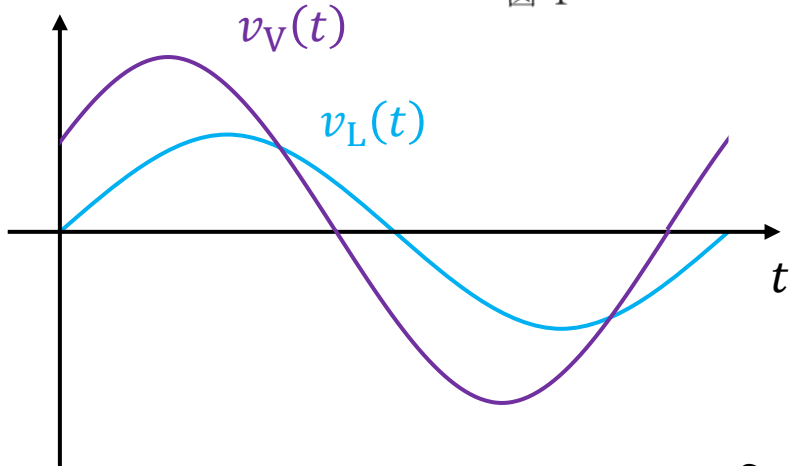


$$\dot{V}_V = \dot{V}_L + jXI$$

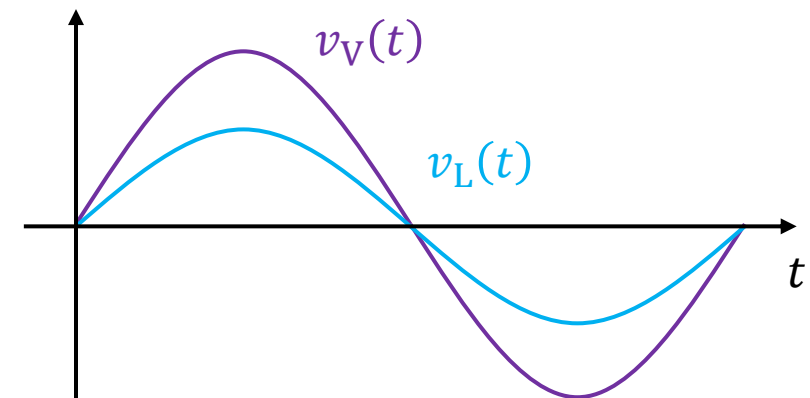


インバータの出力電圧の大きさを調整すると、

リアクトルに流れる電流の大きさや向きが変化する

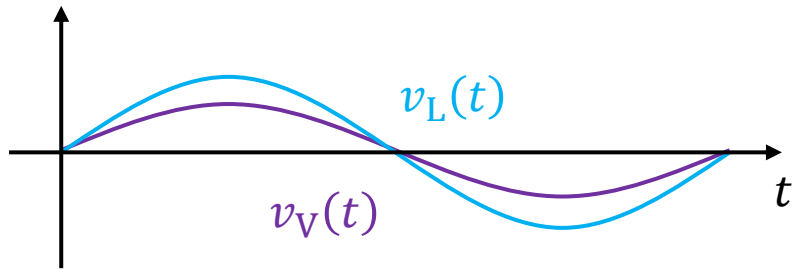


$v_V(t)$ と $v_L(t)$ を同相にする

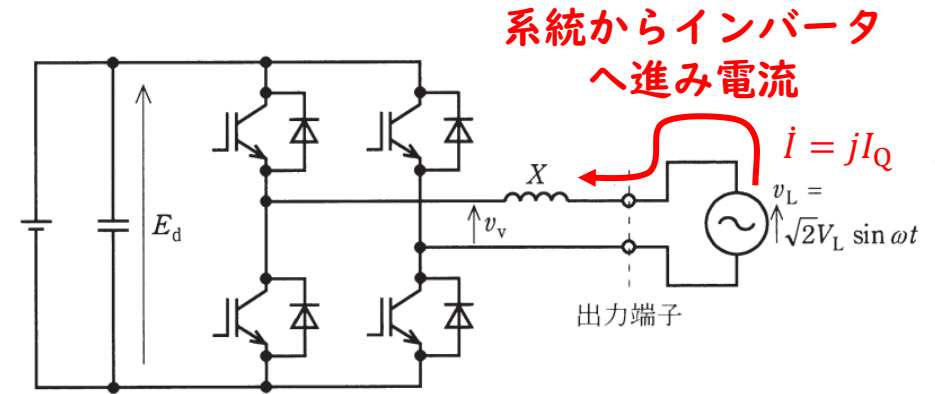
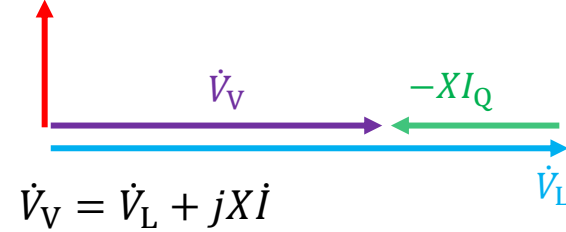


電源（電力系統）とインバータの連系

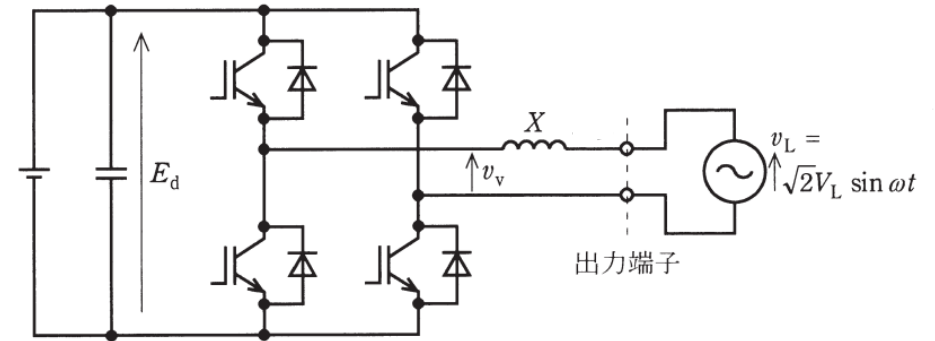
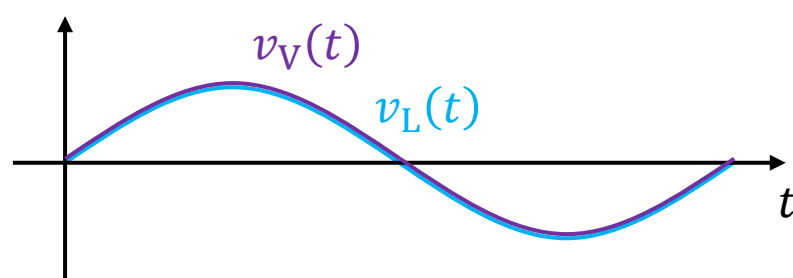
① $v_V < v_L$



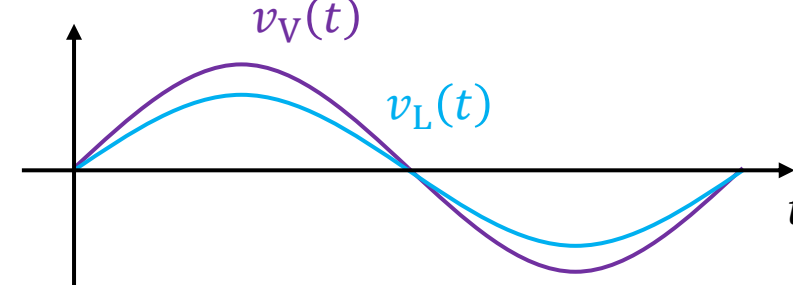
$i = jI_Q$ 進み電流が発生



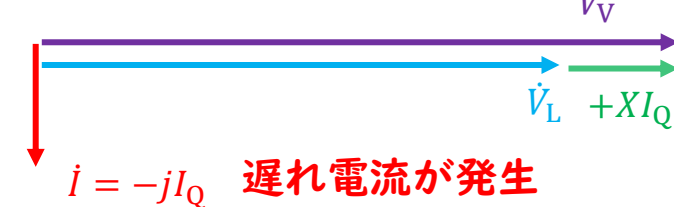
② $v_V = v_L$



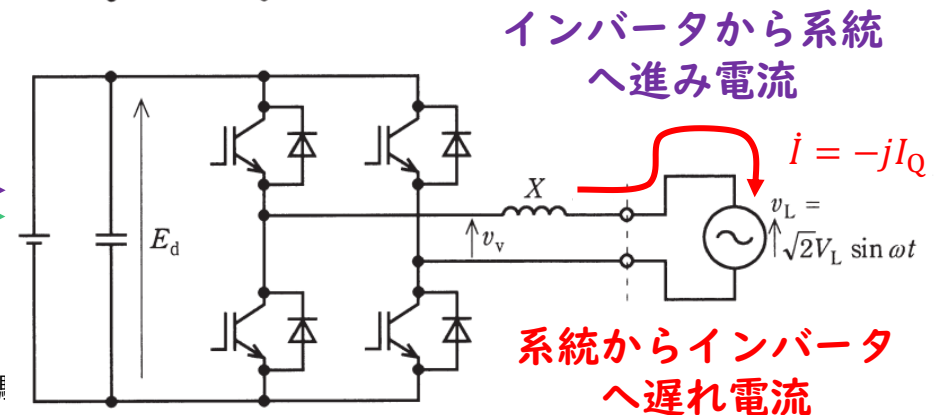
③ $v_V > v_L$



$$\dot{V}_V = \dot{V}_L + jXI$$

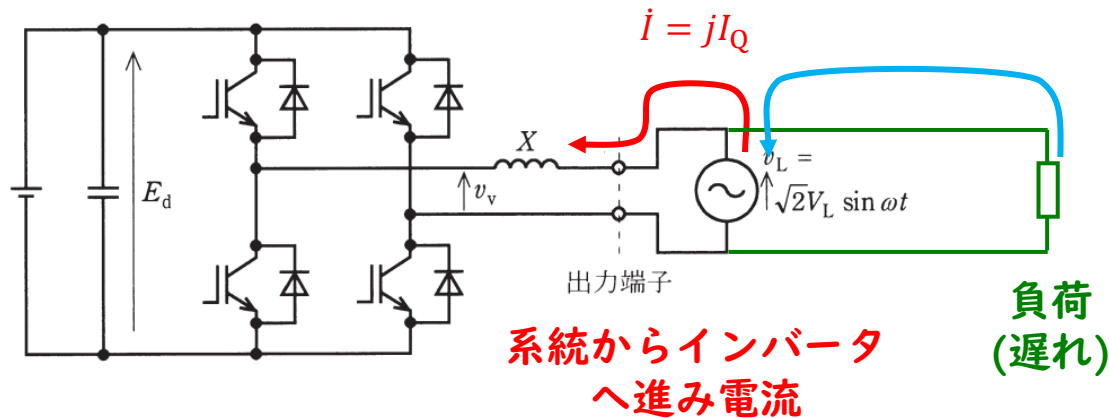
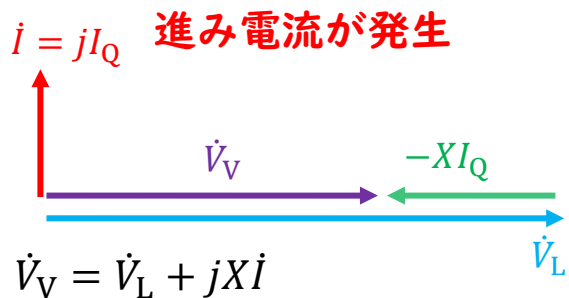


$i = -jI_Q$ 遅れ電流が発生



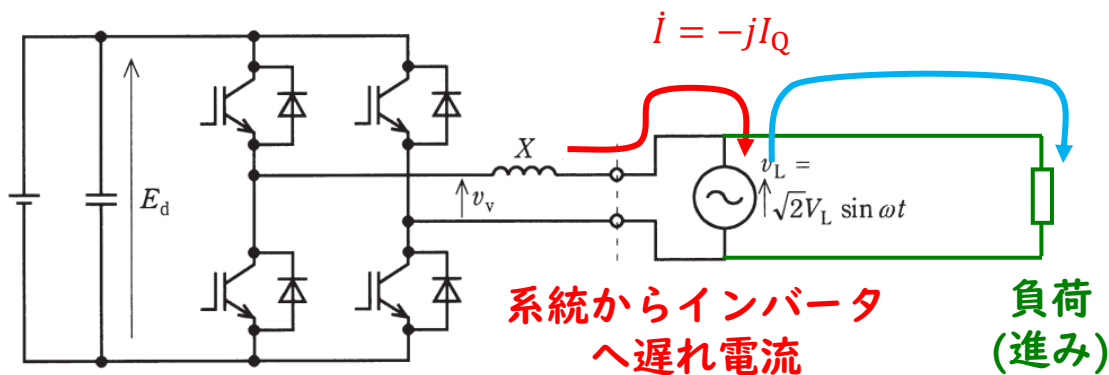
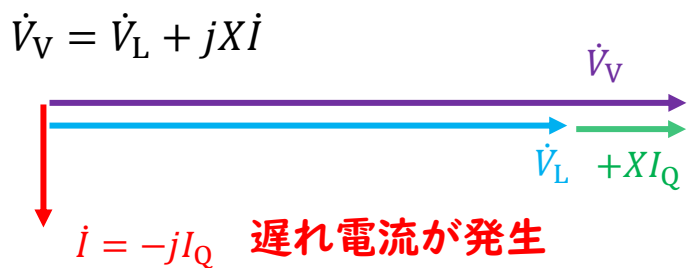
電源（電力系統）とインバータの連系

① $v_V < v_L$



① $v_V < v_L$ とすることで、STATCOMはコンデンサとして働き、電源の遅れ力率を改善できる

③ $v_V > v_L$



③ $v_V > v_L$ とすることで、STATCOMはリアクトルとして働き、電源の進み力率を改善できる

H28 問3

問3 図1には、R相→S相→T相の相順で、 180° 通電モードで運転する三相インバータとその三相負荷の回路を示す。直流電圧を E_d 一定、三相インバータ内には損失がないものとして、次の間に答えよ。

(1) 図2は三相インバータの動作を説明する図であり、波形 n_R はR相のノッチ波である。ノッチ波は1のときにプラス側のパワーデバイスをオンし、0のときにマイナス側のパワーデバイスをオンすることを意味している。図2の位相 θ_0 において、オン信号を与えているパワーデバイスは、R相では Q_1 であるが、S相及びT相ではどのパワーデバイスであるかを答えよ。

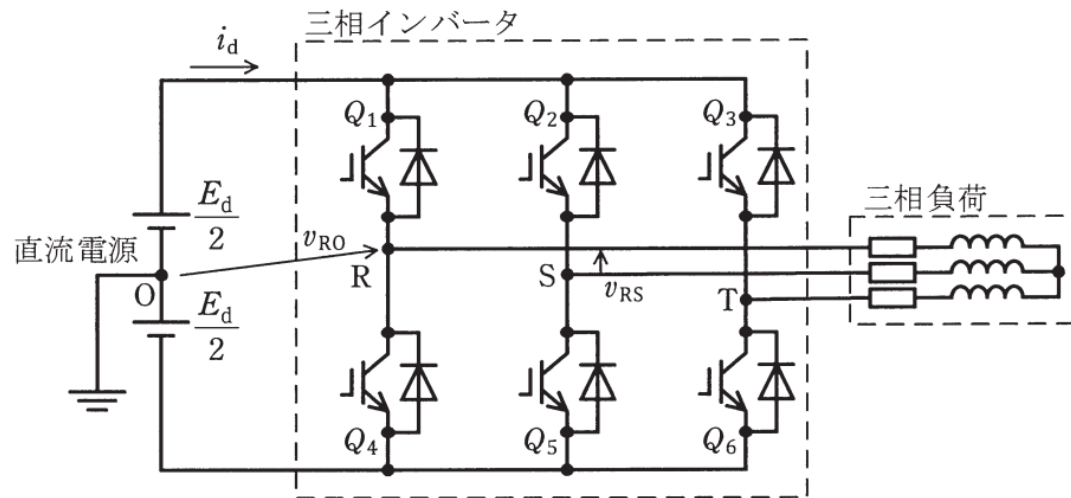


図1

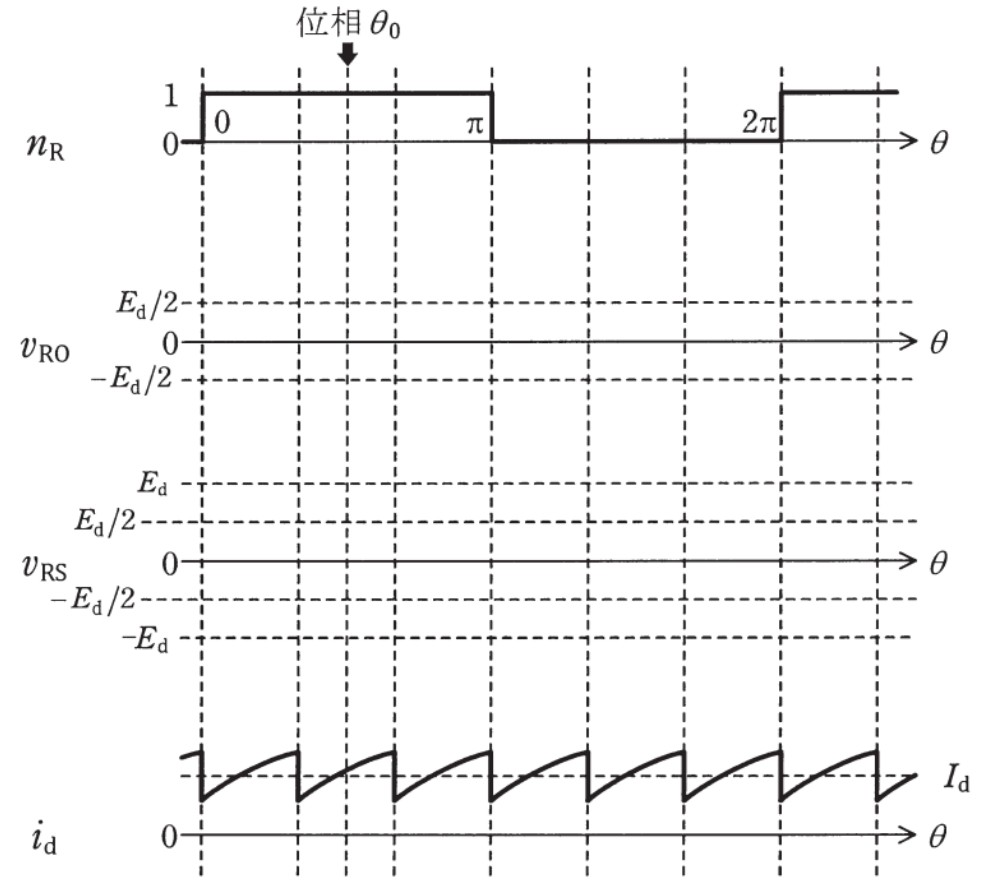


図2

H28 問3

問3 図1には、R相→S相→T相の相順で、180°通電モードで運転する三相インバータとその三相負荷の回路を示す。直流電圧を E_d 一定、三相インバータ内には損失がないものとして、次の間に答えよ。

(1) 図2は三相インバータの動作を説明する図であり、波形 n_R はR相のノッチ波である。ノッチ波は1のときにプラス側のパワーデバイスをオンし、0のときにマイナス側のパワーデバイスをオンすることを意味している。図2の位相 θ_0 において、オン信号を与えているパワーデバイスは、R相では Q_1 であるが、S相及びT相ではどのパワーデバイスであるかを答えよ。

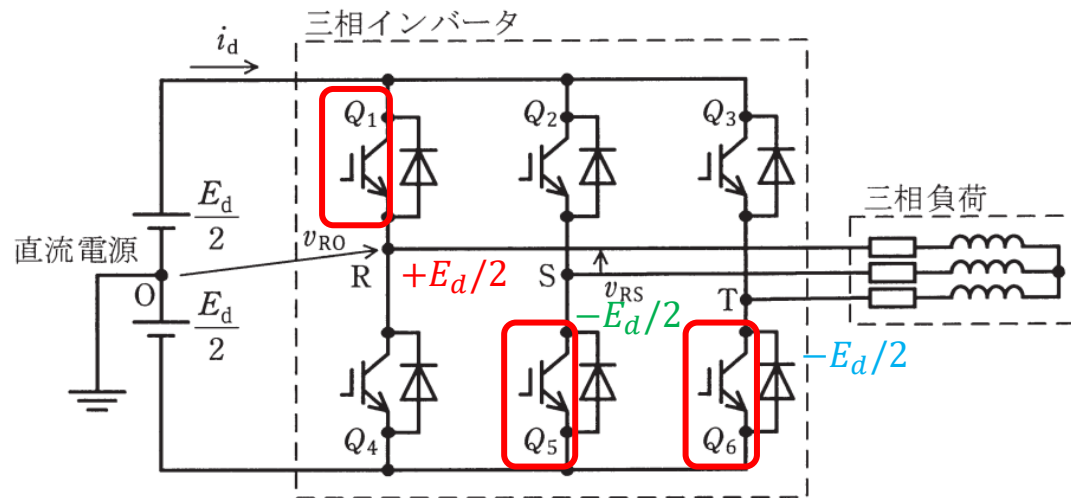
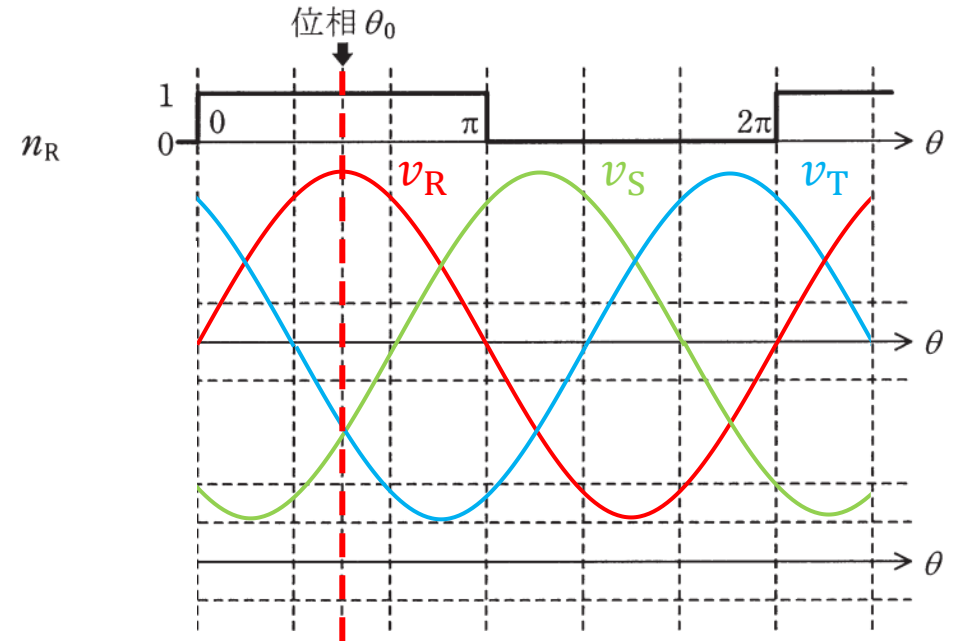


図1



Q_1, Q_5, Q_6 がON

H28 問3

- (2) 答案用紙に図2と同じ図が印刷されているので、図1のR相電圧 v_{RO} 、R-S相線間電圧 v_{RS} の波形を、波形の大きさとスイッチングの位相が明確に分かるように、太線で明確に描け。ただし、 v_{RO} の基準電位点は、直流電源の中間電位点Oとする。
- (3) 上記小問(2)において、二つの電圧波形 v_{RO} 、 v_{RS} のうち、出力周波数に対して3の整数倍次数の高調波が含まれている波形はどちらの波形であることを答えよ。

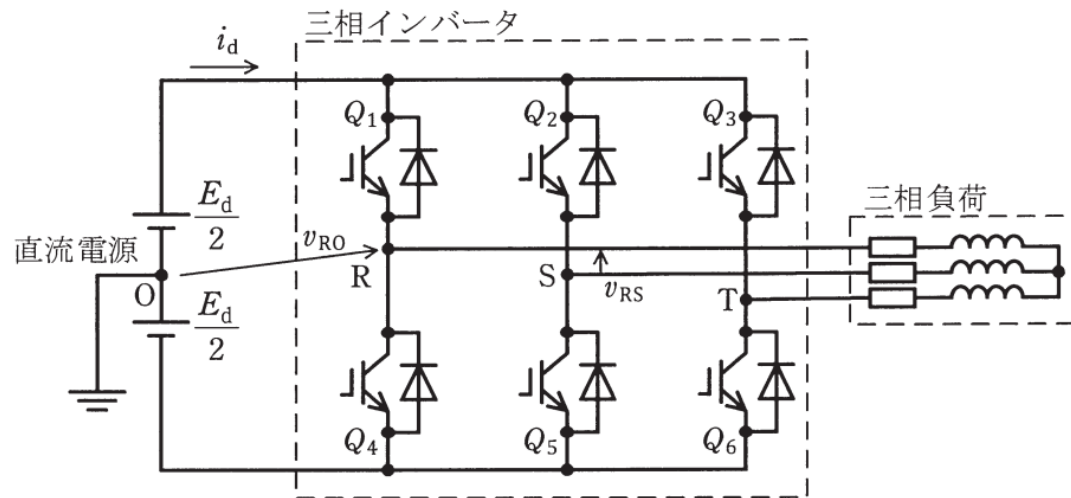


図1

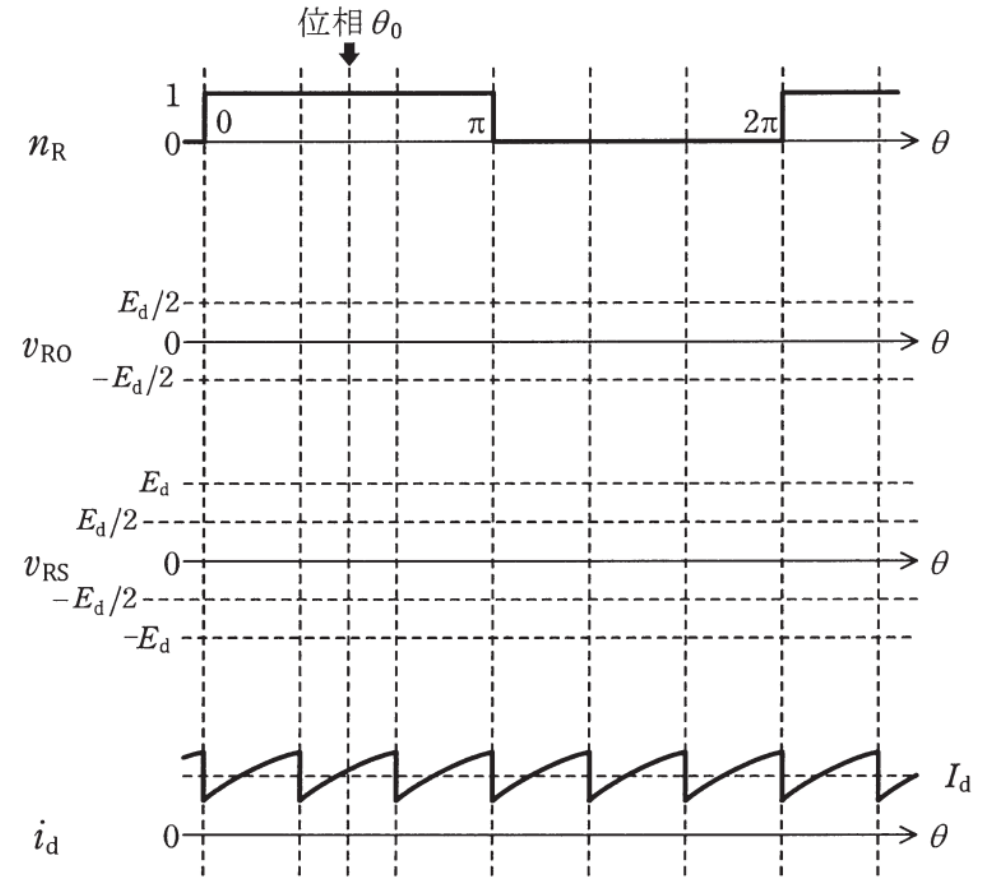


図2

H28 問3

(2) 答案用紙に図2と同じ図が印刷されているので、図1のR相電圧 v_{RO} 、R-S相線間電圧 v_{RS} の波形を、波形の大きさとスイッチングの位相が明確に分かるように、太線で明確に描け。ただし、 v_{RO} の基準電位点は、直流電源の中間電位点Oとする。

(3) 上記小問(2)において、二つの電圧波形 v_{RO} 、 v_{RS} のうち、出力周波数に対して3の整数倍次数の高調波が含まれている波形はどちらの波形であることを答えよ。

1周期の中の変化の回数が多いもの→高調波を含む→ v_{RS}

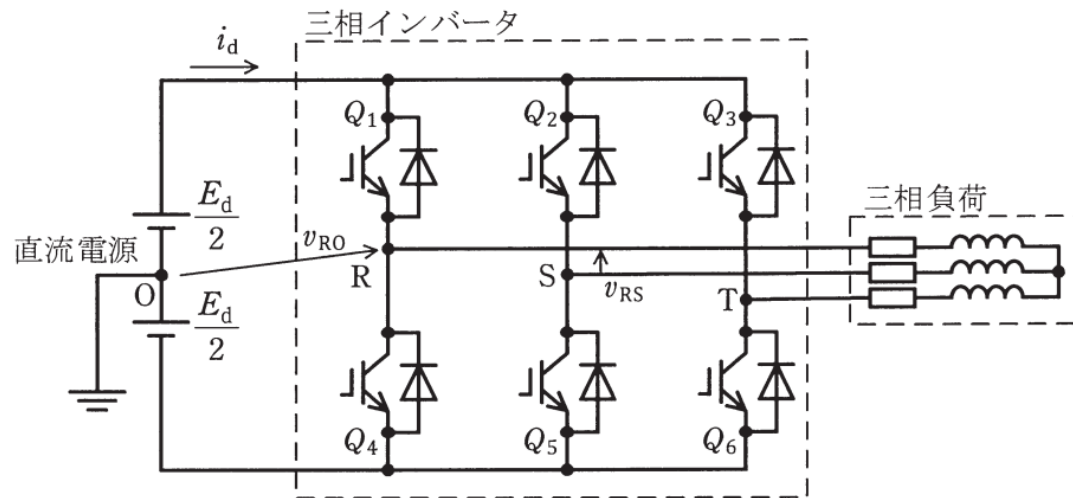
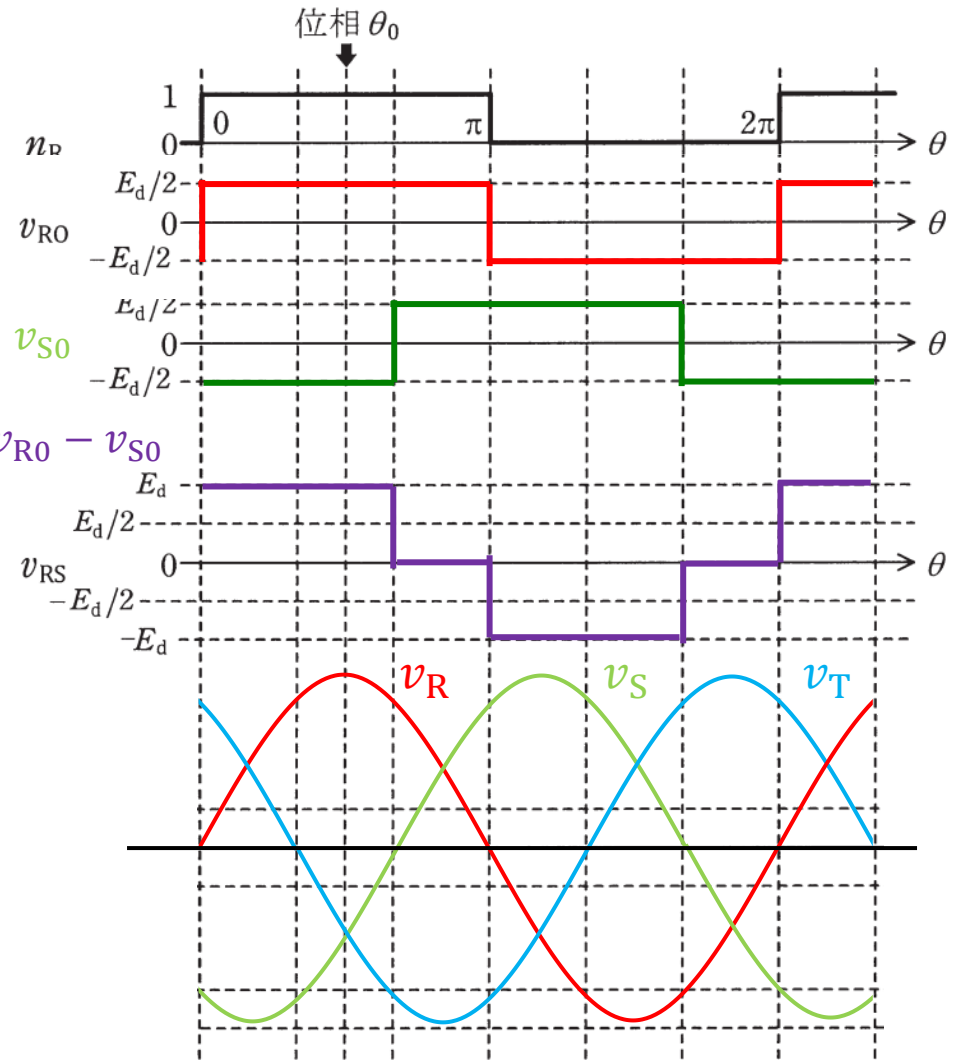


図1



H28 問3

(4) 上記小問(2)において、線間電圧 v_{RS} の実効値 E_0 を表す式を、 E_d を用いて示せ。

(5) 負荷電流が正弦波であるとみなせるとき、ある遅れの力率の場合の直流電流 i_d の波形を図2の最下段に示している。負荷に供給される有効電力が $P=50 \text{ kW}$ 、力率が $\cos\phi = \frac{\sqrt{3}}{2}$ であり、 $E_d=200 \text{ V}$ であった場合の直流電流の平均値 $I_d[\text{A}]$ を求めよ。

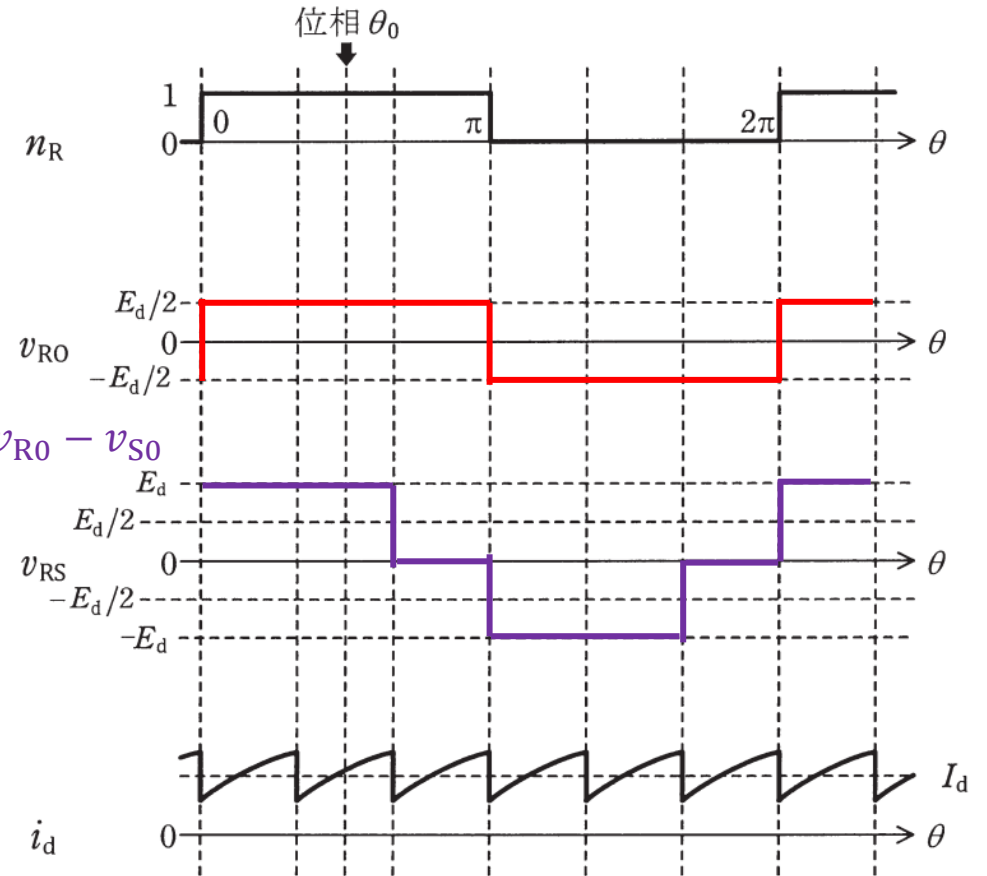


図 2

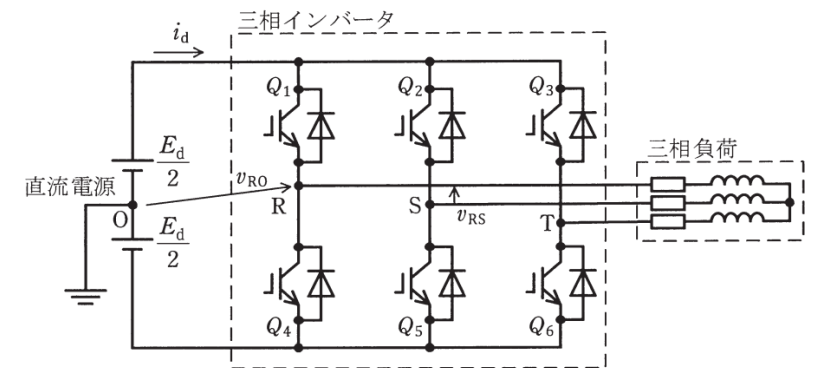


図 1

H28 問3

(4) 上記小問(2)において、線間電圧 v_{RS} の実効値 E_0 を表す式を、 E_d を用いて示せ。

$$E_0 = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (v_{RS})^2 d\theta} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} E_d^2 d\theta} = \sqrt{\frac{1}{\pi} E_d^2 \times 2\pi}$$

$$E_0 = \sqrt{\frac{2}{3}} \times E_d$$

(5) 負荷電流が正弦波であるとみなせるとき、ある遅れの力率の場合の直流電流 i_d の波形を図2の最下段に示している。負荷に供給される有効電力が $P=50 \text{ kW}$ 、力率が $\cos\phi = \frac{\sqrt{3}}{2}$ であり、 $E_d=200 \text{ V}$ であった場合の直流電流の平均値 $I_d[\text{A}]$ を求めよ。

$$P = E_d \times I_d = 50 \text{ kW}$$

$$I_d = \frac{P}{E_d} = \frac{50000}{200} = 250 \text{ A}$$

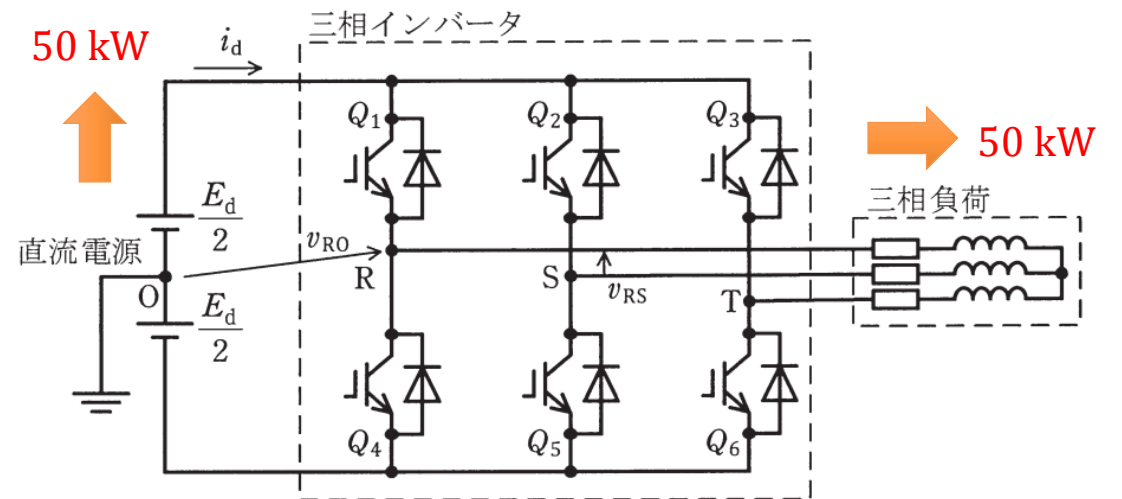
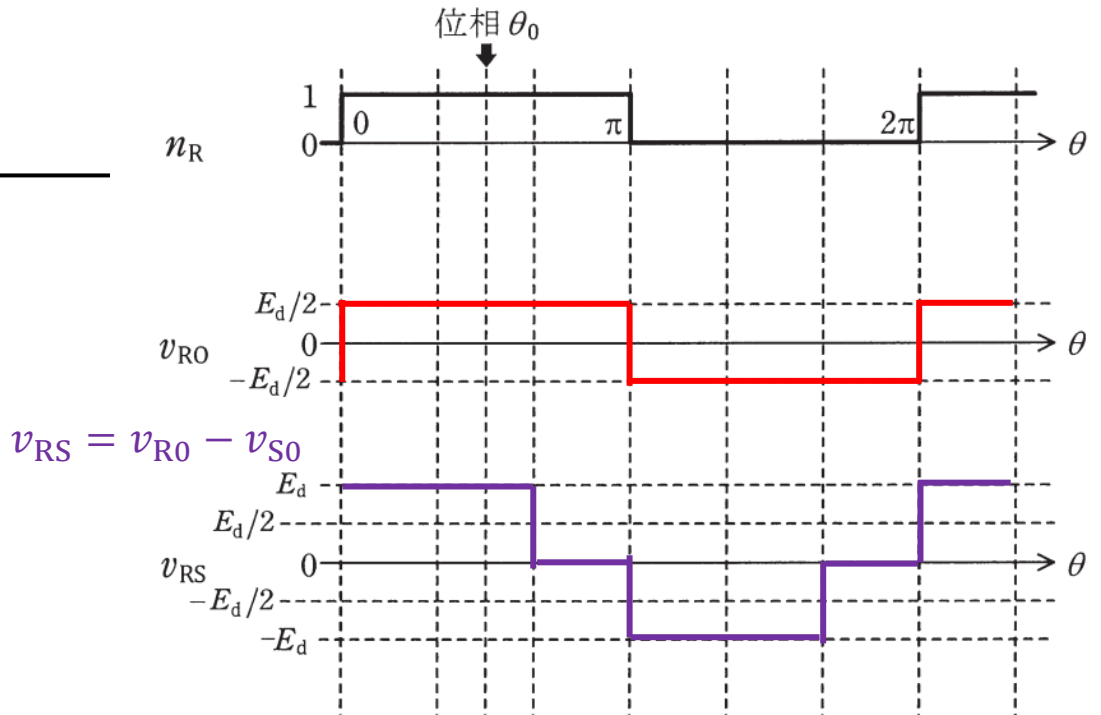


図 1

ご聴講ありがとうございました!!