

電験どうでしょう管理人
KWG presents

電験オンライン塾

第11回 機械
同期機(4)

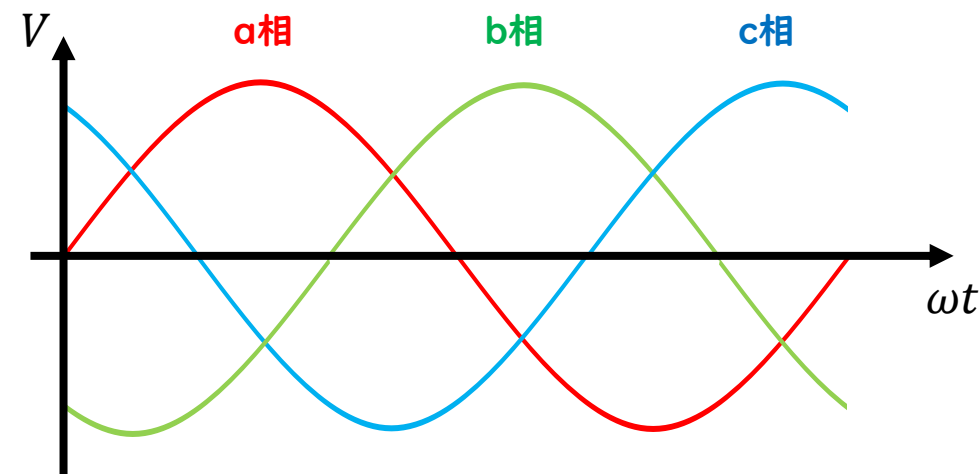
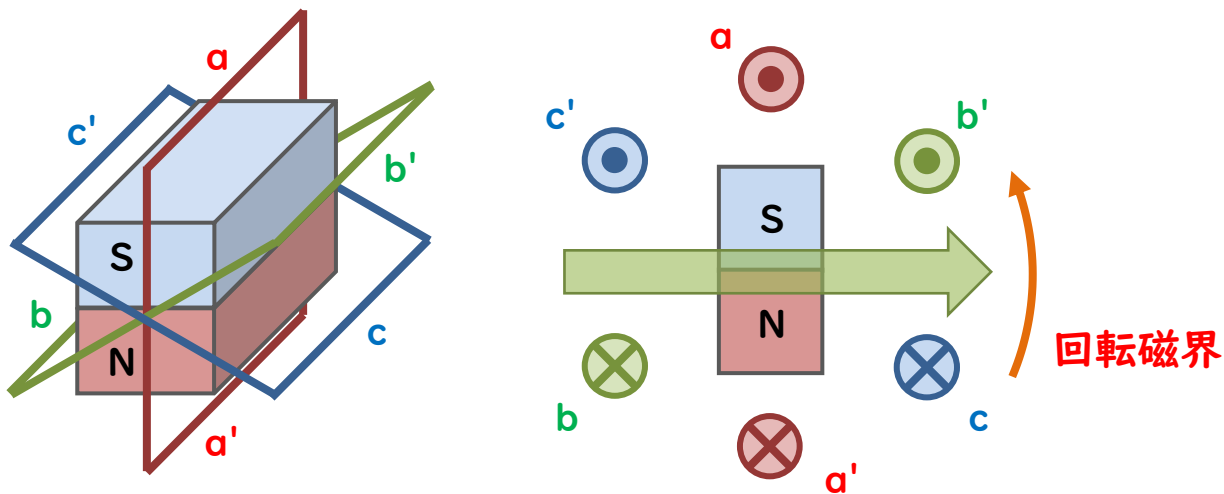
2023.2.26 Sun

同期電動機

同期電動機の構造

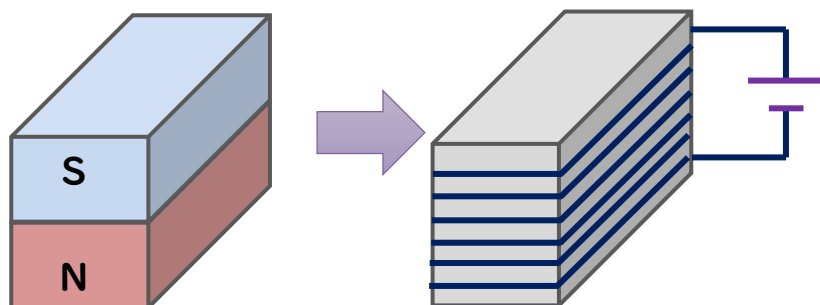
固定子（鉄心（円筒）＋電機子巻線）：電機子巻線に三相交流を印加し、**回転磁界を作る**

回転子（鉄心＋界磁巻線）：界磁巻線には直流電流（励磁電流）が流れており、回転磁界により回転する



回転子（電磁石）の周りに三種類の巻線を配置
各巻線は120°ずつずらして対象に配置

固定子の各電機子巻線に三相交流電圧を
印加することで回転磁界を作る

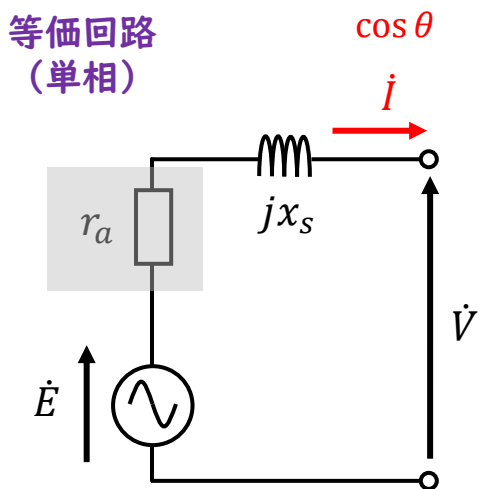


回転子は鉄心に界磁巻線を巻きつけ、
直流電流（励磁電流）により磁束を調整

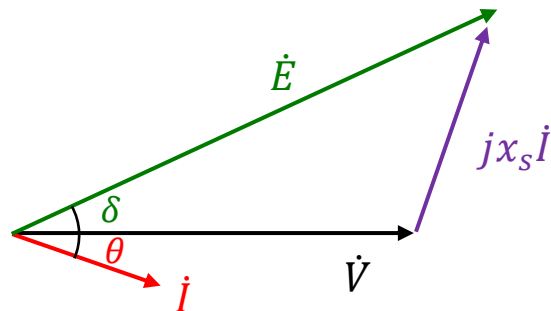
同期電動機の等価回路

同期発電機の等価回路

等価回路
(単相)

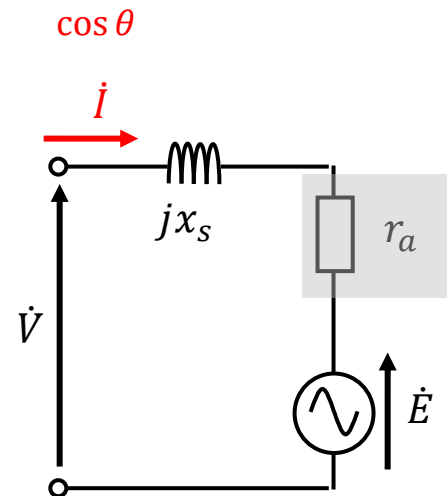


$$\dot{E} = r_a \dot{I} + jx_s \dot{I} + \dot{V} \sim jx_s \dot{I} + \dot{V}$$

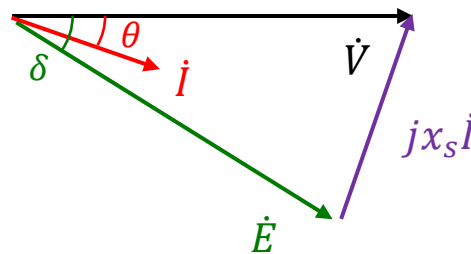


負荷角 δ : 無負荷誘導起電力と端子電圧の位相差
→ 負荷をつないだことによる誘導起電力の位相変化

同期電動機の等価回路



$$\dot{V} = r_a \dot{I} + jx_s \dot{I} + \dot{E} \sim jx_s \dot{I} + \dot{E}$$



負荷角 δ : 端子電圧と誘導起電力の位相差

電動機誘導起電力 : E [V]
電機子巻線抵抗 : r_a [Ω]
同期リアクタンス : x_s [Ω]
端子電圧 : V [V]

電験三種では
ほぼ無視

電機子電流 : I [A]
力率 : $\cos \theta$

電動機の負荷特性で決まる

同期電動機の出力 (有効電力) P

$$P = 3VI \cos \theta \quad [\text{W}]$$

同期電動機のトルク T

$$T = \frac{P}{\omega_s} = \frac{P}{2\pi \frac{N_s}{60}}$$

$$\omega_s = 2\pi \frac{N_s}{60}$$

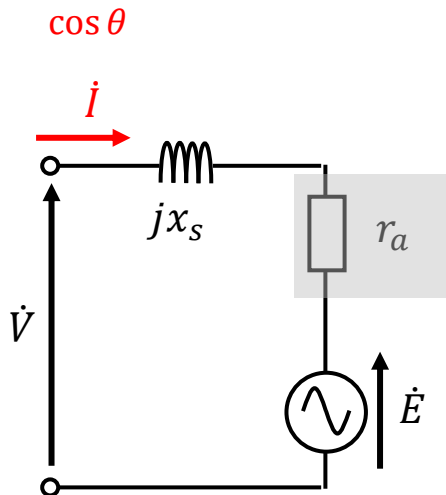
トルク : T [$\text{N} \cdot \text{m}$]

同期速度 : N_s [min^{-1}]

同期角周波数 : ω_s [rad/s]

同期電動機の有効電力と負荷角

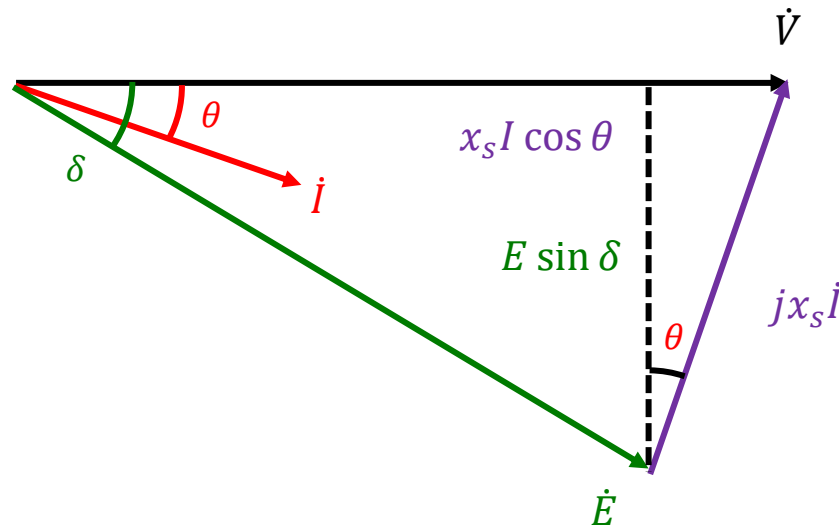
同期電動機の等価回路



電動機誘導起電力： E [V]
 電機子巻線抵抗： r_a [Ω]
 同期リアクタンス： x_s [Ω]
 端子電圧： V [V]

電機子電流： I [A]
 力率： $\cos \theta$

$$\dot{V} = jx_s \dot{I} + \dot{E}$$



負荷角 δ ：端子電圧と誘導起電力の位相差

同期電動機出力（有効電力） P

$$P = 3VI \cos \theta \quad [\text{W}]$$

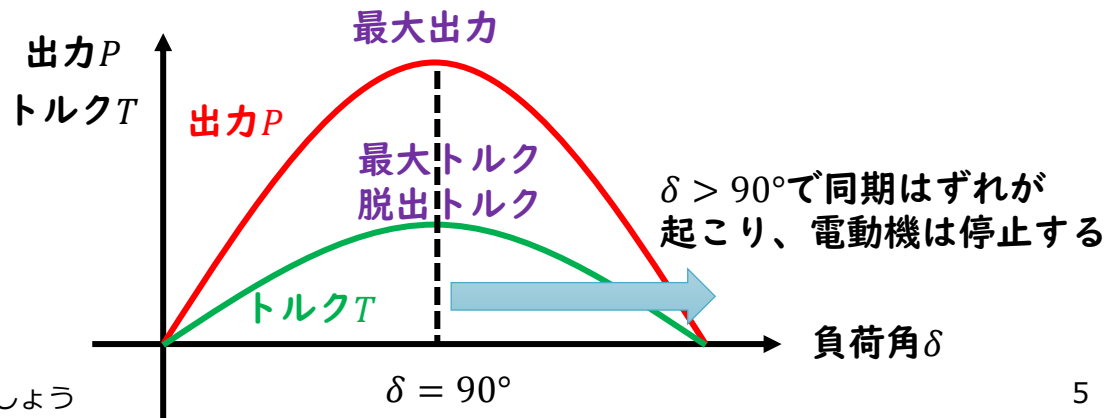
$$E \sin \delta = x_s I \cos \theta$$

$$\rightarrow I \cos \theta = \frac{E \sin \delta}{x_s}$$

$$P = 3V \frac{E \sin \delta}{x_s} = 3 \frac{VE \sin \delta}{x_s}$$

端子電圧と誘導起電力を線間電圧とすると

$$P = 3V \frac{E \sin \delta}{x_s} = \frac{V_l E_l \sin \delta}{x_s}$$



R01 問5

問5 次の文章は、星形結線の円筒形三相同期電動機の入力、出力、トルクに関する記述である。

この三相同期電動機の1相分の誘導起電力 E [V]、電圧 V [V]、電流 I [A]、 V と I の位相差を θ [rad] としたときの1相分の入力 P_i [W] は次式で表される。

$$P_i = VI \cos \theta$$

また、 E と V の位相差を δ [rad] とすると、1相分の出力 P_o [W] は次式で表される。 E と V の位相差 δ は といわれる。

$$P_o = EI \cos(\delta - \theta) = \frac{VE}{x} \quad \text{(イ)}$$

ここで x [Ω] は同期リアクタンスであり、電機子巻線抵抗は無視できるものとする。

この三相同期電動機の全出力を P [W]、同期速度を n_s [min^{-1}] とすると、トルク T [$\text{N}\cdot\text{m}$] と P の関係は次式で表される。

$$P = 3P_o = 2\pi \frac{n_s}{60} T$$

これから、 T は次式のようになる。

$$T = \frac{60}{2\pi n_s} \cdot 3P_o = \frac{60}{2\pi n_s} \cdot \frac{3VE}{x} \quad \text{(イ)}$$

以上のことから、 $0 \leq \delta \leq \frac{\pi}{2}$ の範囲において δ が なるに従って T は なり、理論上 $\frac{\pi}{2}$ [rad] のとき となる。

上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)、(エ)及び(オ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)	(オ)
(1)	負荷角	$\cos \delta$	大きく	大きく	最大値
(2)	力率角	$\cos \delta$	大きく	小さく	最小値
(3)	力率角	$\sin \delta$	小さく	小さく	最小値
(4)	負荷角	$\sin \delta$	大きく	大きく	最大値
(5)	負荷角	$\cos \delta$	小さく	小さく	最大値

R01 問5

問5 次の文章は、星形結線の円筒形三相同期電動機の入力、出力、トルクに関する記述である。

この三相同期電動機の1相分の誘導起電力 E [V]、電圧 V [V]、電流 I [A]、 V と I の位相差を θ [rad] としたときの1相分の入力 P_i [W] は次式で表される。

$$P_i = VI \cos \theta$$

また、 E と V の位相差を δ [rad] とすると、1相分の出力 P_o [W] は次式で表される。 E と V の位相差 δ は $\boxed{\text{(ア)}}$ といわれる。

負荷角

$$P_o = EI \cos(\delta - \theta) = \frac{VE}{x} \boxed{\text{(イ)}} \sin \delta$$

ここで x [Ω] は同期リアクタンスであり、電機子巻線抵抗は無視できるものとする。

この三相同期電動機の全出力を P [W]、同期速度を n_s [min^{-1}] とすると、トルク T [$\text{N}\cdot\text{m}$] と P の関係は次式で表される。

$$P = 3P_o = 2\pi \frac{n_s}{60} T$$

これから、 T は次式のようになる。

$$T = \frac{60}{2\pi n_s} \cdot 3P_o = \frac{60}{2\pi n_s} \cdot \frac{3VE}{x} \boxed{\text{(イ)}} \sin \delta$$

大きく

以上のことから、 $0 \leq \delta \leq \frac{\pi}{2}$ の範囲において δ が $\boxed{\text{(ウ)}}$ なるに従って T は

$\boxed{\text{(エ)}}$ なり、理論上 $\frac{\pi}{2}$ [rad] のとき $\boxed{\text{(オ)}}$ となる。

大きく

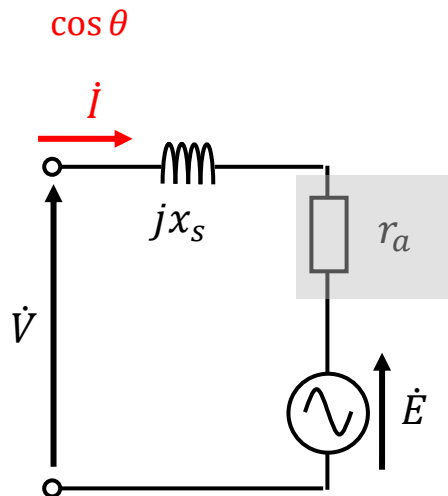
最大値

上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)、(エ)及び(オ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)	(オ)
(1)	負荷角	$\cos \delta$	大きく	大きく	最大値
(2)	力率角	$\cos \delta$	大きく	小さく	最小値
(3)	力率角	$\sin \delta$	小さく	小さく	最小値
(4)	負荷角	$\sin \delta$	大きく	大きく	最大値
(5)	負荷角	$\cos \delta$	小さく	小さく	最大値

同期電動機の有効電力と負荷角

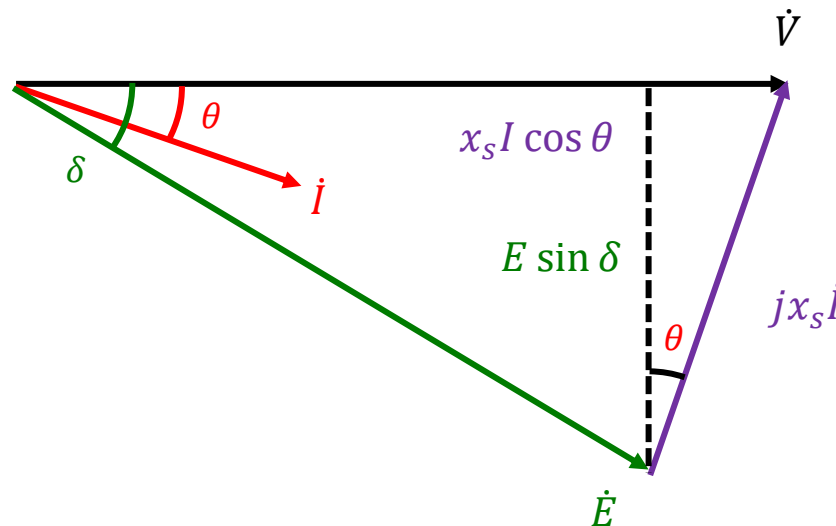
同期電動機の等価回路



電動機誘導起電力： E [V]
 電機子巻線抵抗： r_a [Ω]
 同期リアクタンス： x_s [Ω]
 端子電圧： V [V]

電機子電流： I [A]
 力率： $\cos \theta$

$$\dot{V} = jx_s \dot{I} + \dot{E}$$



負荷角 δ ：端子電圧と誘導起電力の位相差

同期電動機出力（有効電力） P
 $P = 3VI \cos \theta$ [W]

端子電圧と誘導起電力を線間電圧とすると

$$P = 3V \frac{E \sin \delta}{x_s} = \frac{V_l E_l \sin \delta}{x_s}$$

$$P = \frac{3VE}{x_s} \sin \delta \rightarrow E \sin \delta = \frac{x_s P}{3V}$$

負荷の消費電力（または負荷トルク）が一定ならば、

$$E \sin \delta = \text{一定}$$

電動機の界磁電流 I_f と誘導起電力 E の関係

$$E = K_f I_f$$

- ・ 界磁電流を小さくすると、誘導起電力は小さくなる
- ・ 界磁電流を大きくすると、誘導起電力は大きくなる

→ しかし、 $E \sin \delta = \text{一定}$ となる

同期電動機の有効電力と負荷角

$$P = \frac{3VE}{x_s} \sin \delta \rightarrow E \sin \delta = \frac{x_s P}{3V}$$

負荷の消費電力（または負荷トルク）が一定ならば、

$$E \sin \delta = \text{一定}$$

電動機の界磁電流 I_f と誘導起電力 E の関係
 $E = K_f I_f$

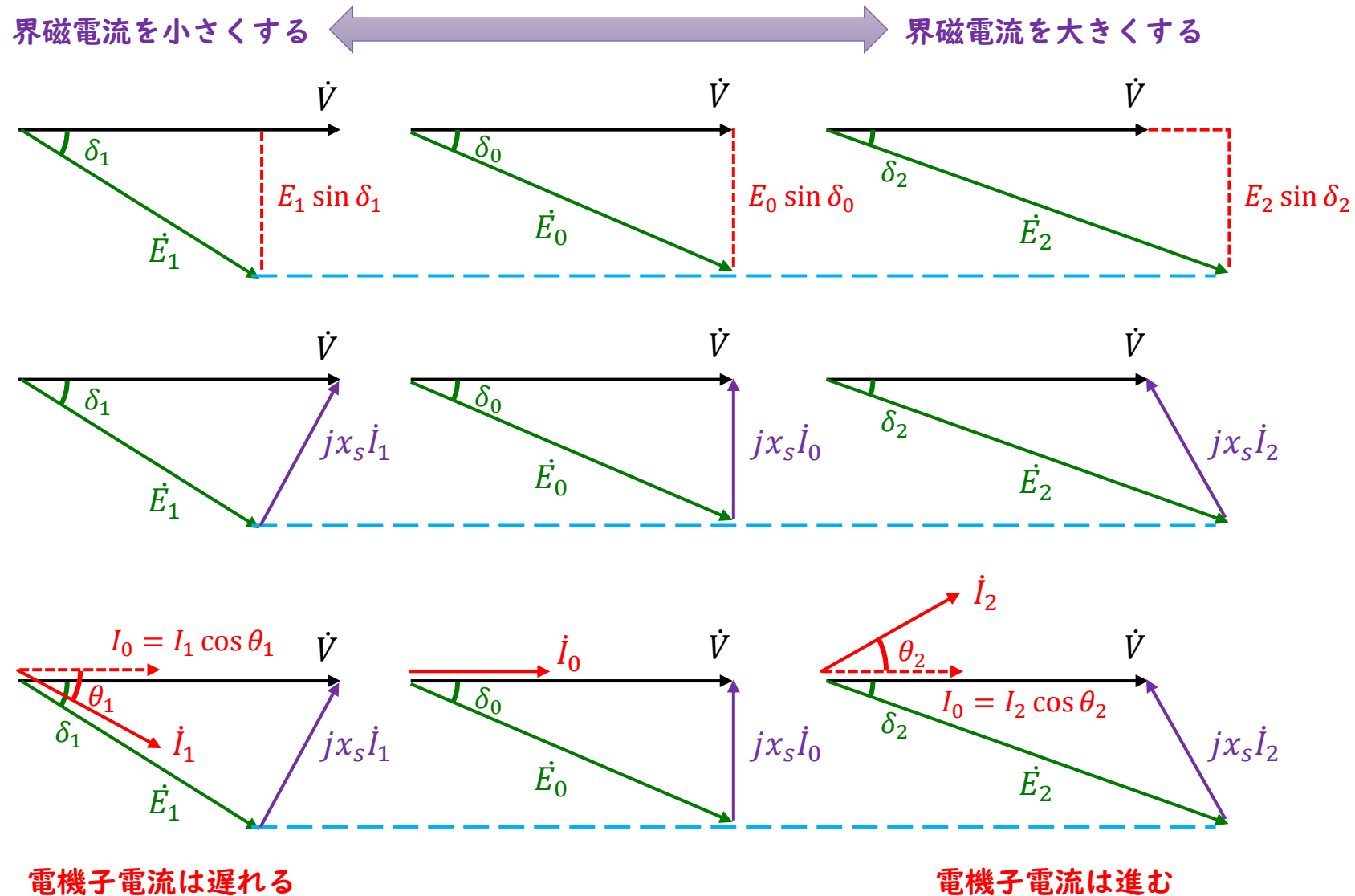
- ・ 界磁電流を小さくすると、誘導起電力は小さくなる
- ・ 界磁電流を大きくすると、誘導起電力は大きくなる

→しかし、 $E \sin \delta = \text{一定}$ となる

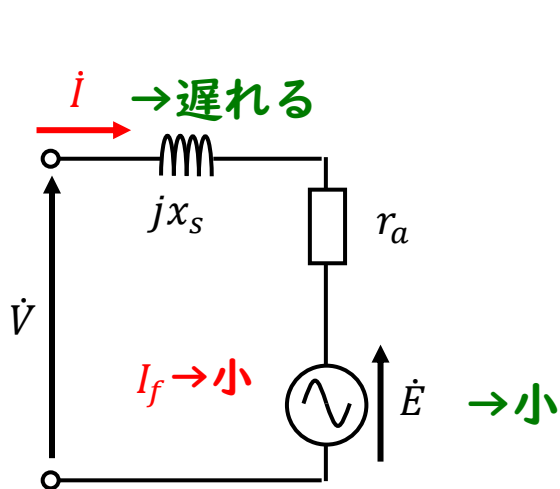
さらに電機子電流 I と誘導起電力 E の関係

$$E \sin \delta = x_s I \cos \theta$$

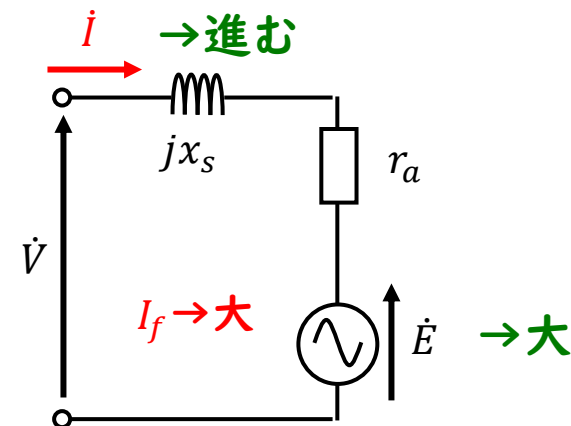
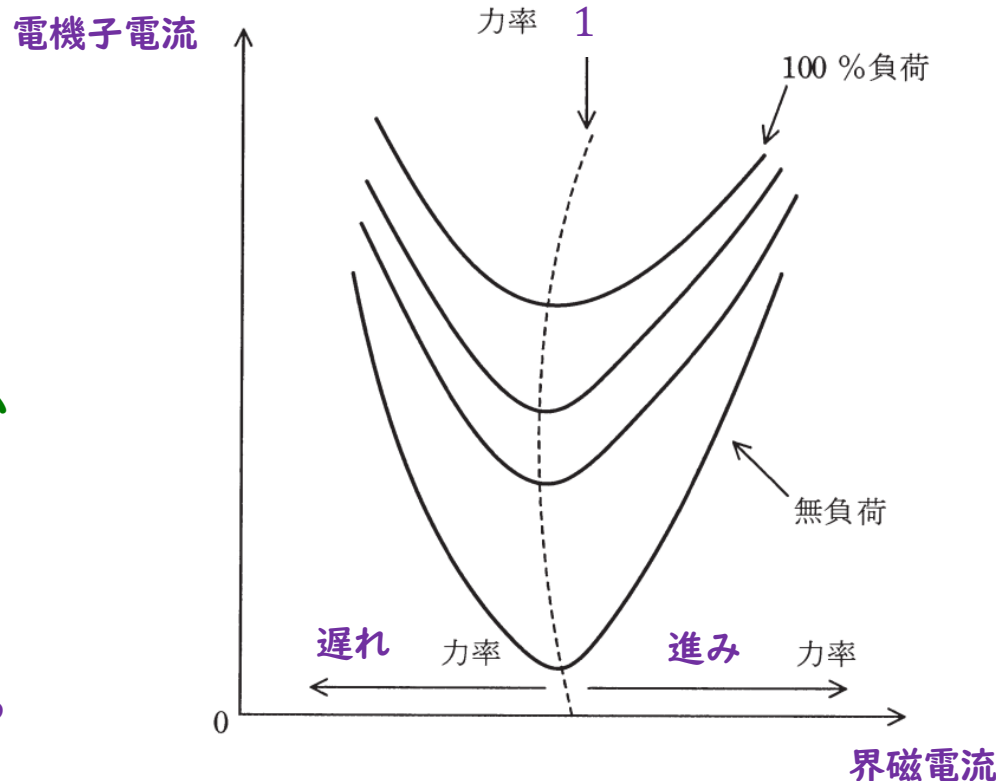
$$I \cos \theta = \frac{E \sin \delta}{x_s} = \text{一定}$$



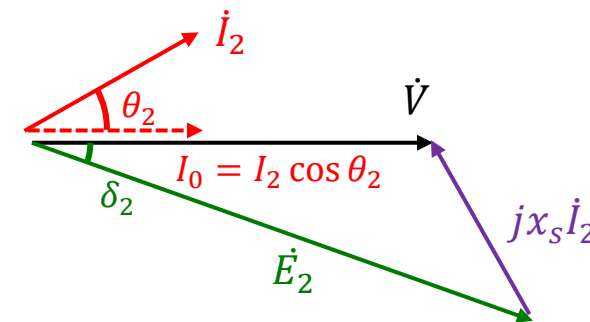
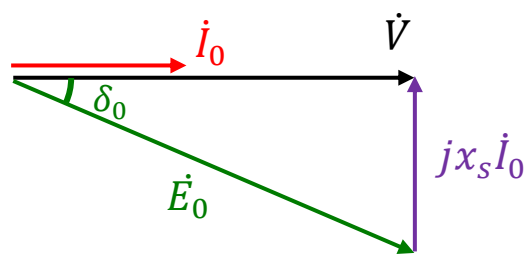
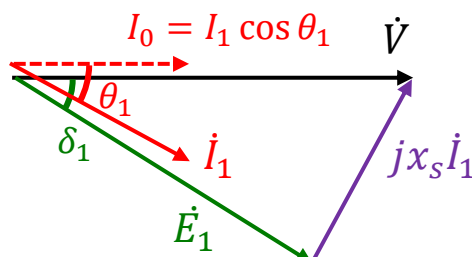
電動機のV字曲線



- 界磁電流を小さくすると
- ・誘導起電力が小さくなる
 - ・電機子電流は遅れる
 - ・電動機の増磁作用が生じる



- 界磁電流を大きくすると
- ・誘導起電力が大きくなる
 - ・電機子電流は進む
 - ・電動機の減磁作用が生じる



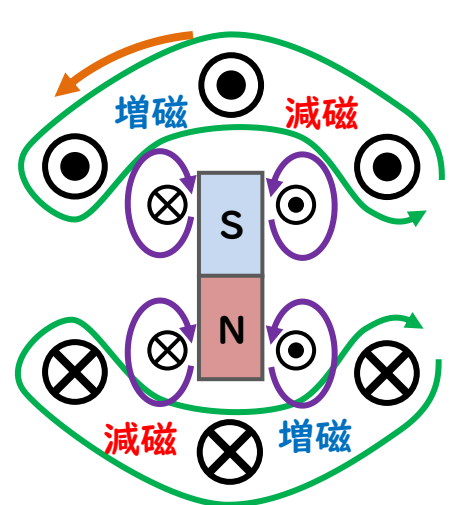
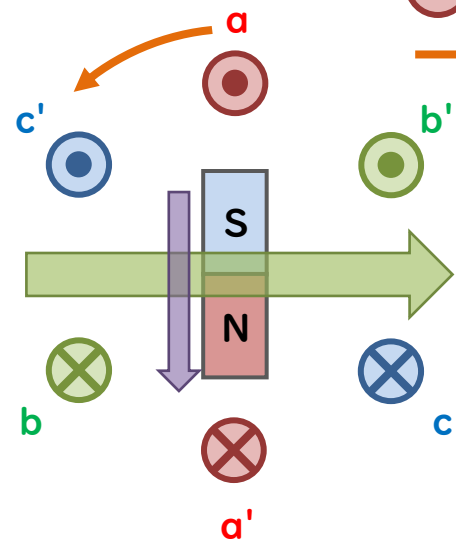
同期電動機の電機子反作用

端子電圧 V と電機子電流 I が
同相（力率1）

電機子電流

回転磁界の回転方向

回転子の磁界の方向と
固定子の磁界の方向が
垂直になる

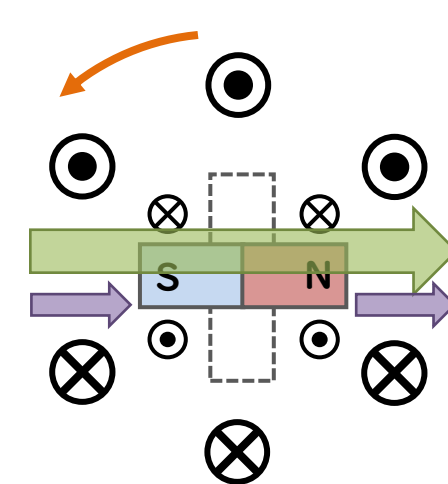
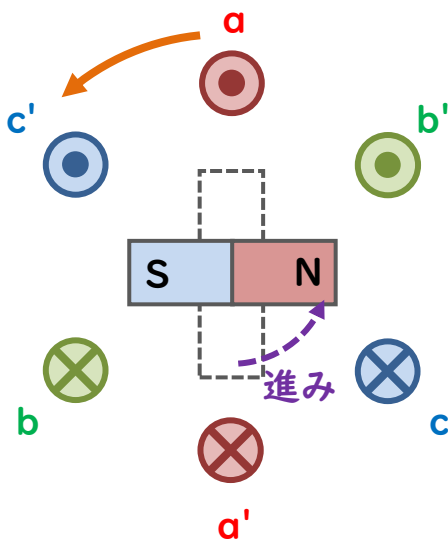


回転子の磁界
回転磁界（固定子）
（電機子反作用）

回転磁界の回転方向の
前方は増磁
後方は減磁となる

横軸反作用という

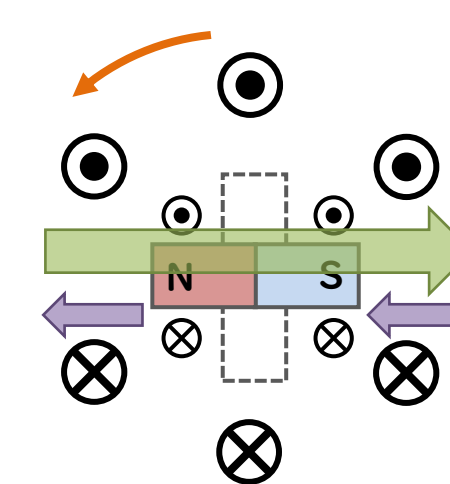
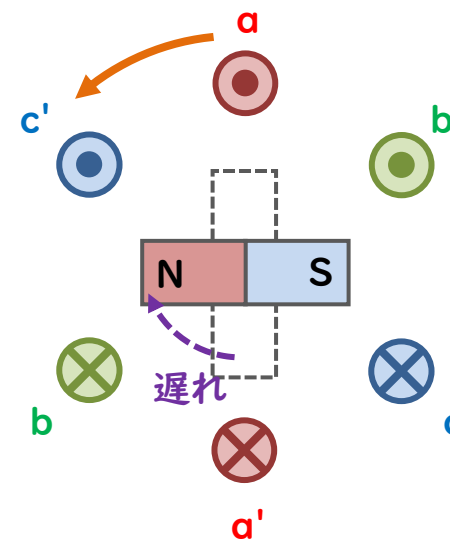
端子電圧 V に対して電機子電流 I が
遅れ（負荷が誘導性）



→電機子電流が遅れ

回転磁界が
固定子の磁界を
強める
→増磁作用

端子電圧 V に対して電機子電流 I が
進み（負荷が容量性）



回転子が電機子電流
より遅れている

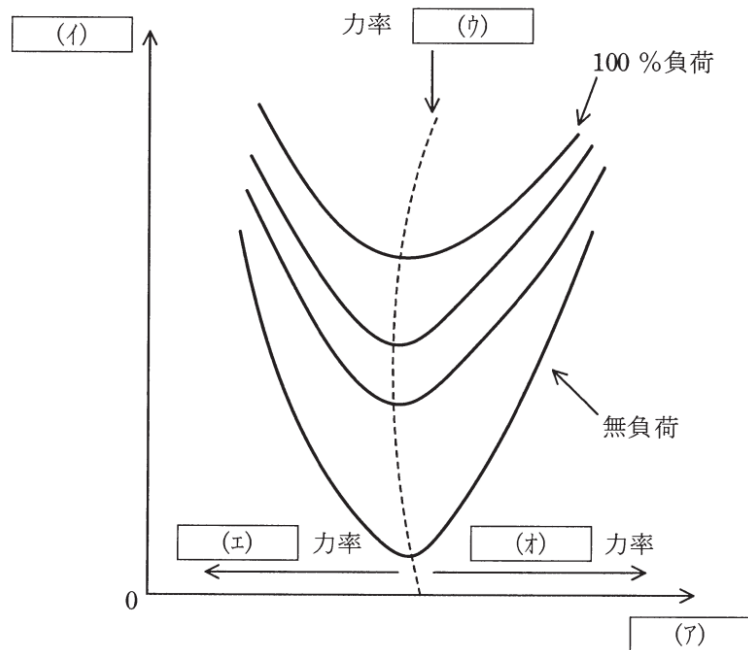
→電機子電流が進み

回転磁界が
固定子の磁界が
弱める
→減磁作用

H28 問5

問5 次の文章は、同期電動機に関する記述である。記述中の空白箇所の記号は、図中の記号と対応している。

図は同期電動機の位相特性曲線を示している。形がVの字のようになっているのでV曲線とも呼ばれている。横軸は (ア) ，縦軸は (イ) で、負荷が増加するにつれ曲線は上側へ移動する。図中の破線は、各負荷における力率 (ウ) の動作点を結んだ線であり、この破線の左側の領域は (エ) 力率、右側の領域は (オ) 力率の領域である。



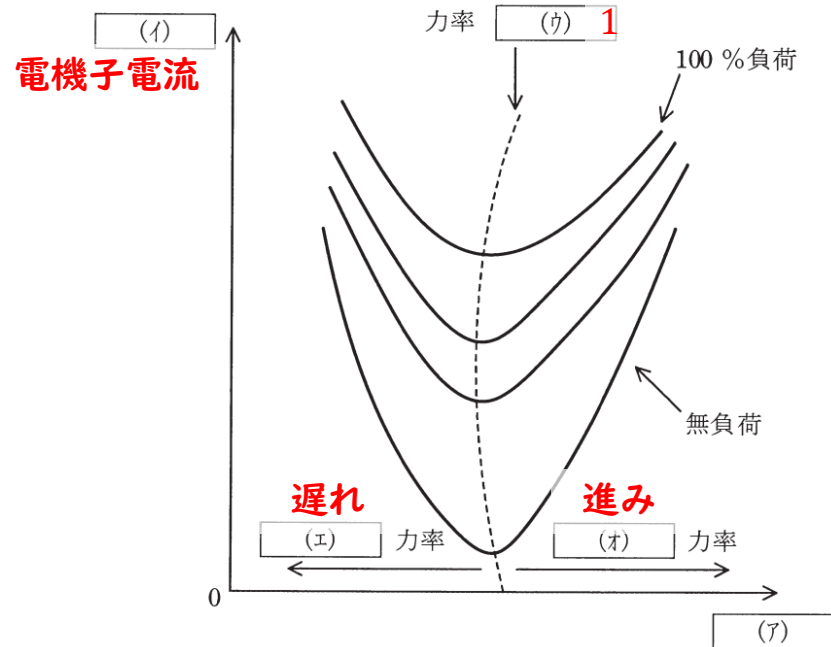
	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)	(オ)
(1)	電機子電流	界磁電流	1	遅れ	進み
(2)	界磁電流	電機子電流	1	遅れ	進み
(3)	界磁電流	電機子電流	1	進み	遅れ
(4)	電機子電流	界磁電流	0	進み	遅れ
(5)	界磁電流	電機子電流	0	遅れ	進み

上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)、(エ)及び(オ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

H28 問5

問5 次の文章は、同期電動機に関する記述である。記述中の空白箇所の記号は、図中の記号と対応している。

図は同期電動機の位相特性曲線を示している。形がVの字になっているのでV曲線とも呼ばれている。横軸は 、縦軸は で、負荷が増加するにつれ曲線は上側へ移動する。図中の破線は、各負荷における力率1 の動作点を結んだ線であり、この破線の左側の領域は 力率、右側の領域は 力率の領域である。



	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)	(オ)
(1)	電機子電流	界磁電流	1	遅れ	進み
(2)	界磁電流	電機子電流	1	遅れ	進み
(3)	界磁電流	電機子電流	1	進み	遅れ
(4)	電機子電流	界磁電流	0	進み	遅れ
(5)	界磁電流	電機子電流	0	遅れ	進み

上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)、(エ)及び(オ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ご聴講ありがとうございました!!