

電験どうでしょう管理人
KWG presents

短期集中講座

第5回 誘導機

2023.10.15 Sun

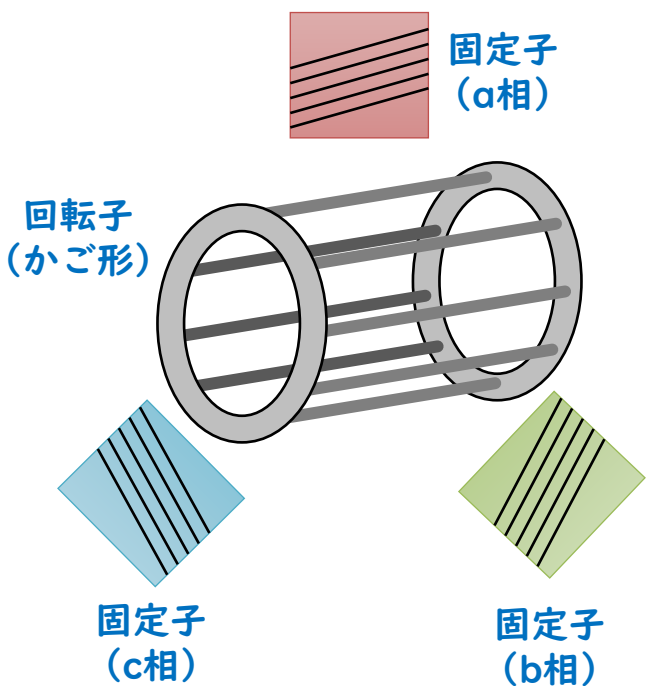
誘導（電動）機

回転子と固定子を有し、一方の巻線に電流を流すことで回転磁界を発生させ、電磁誘導により回転子を回転させるもの

一般的に

固定子→回転磁界（固定子巻線）→三相交流で実現
回転子→電機子（電機子巻線）

かご形誘導電動機

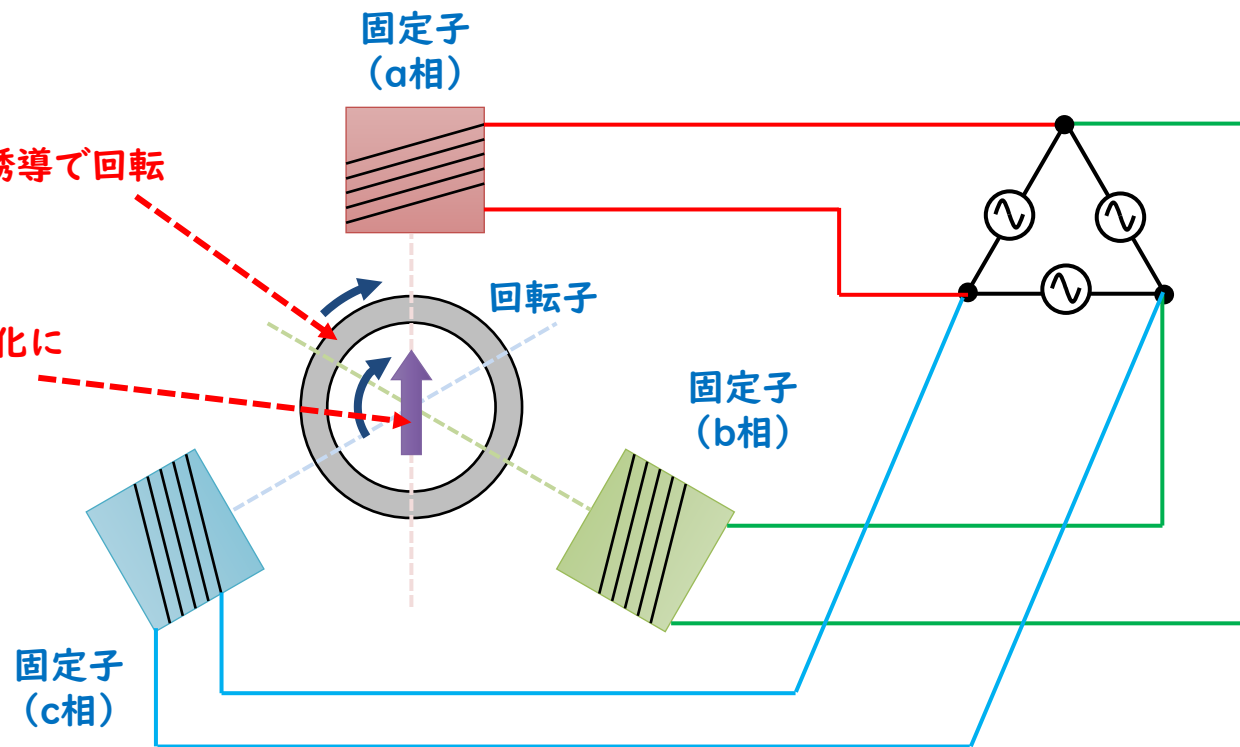


回転子

回転磁界との電磁誘導で回転

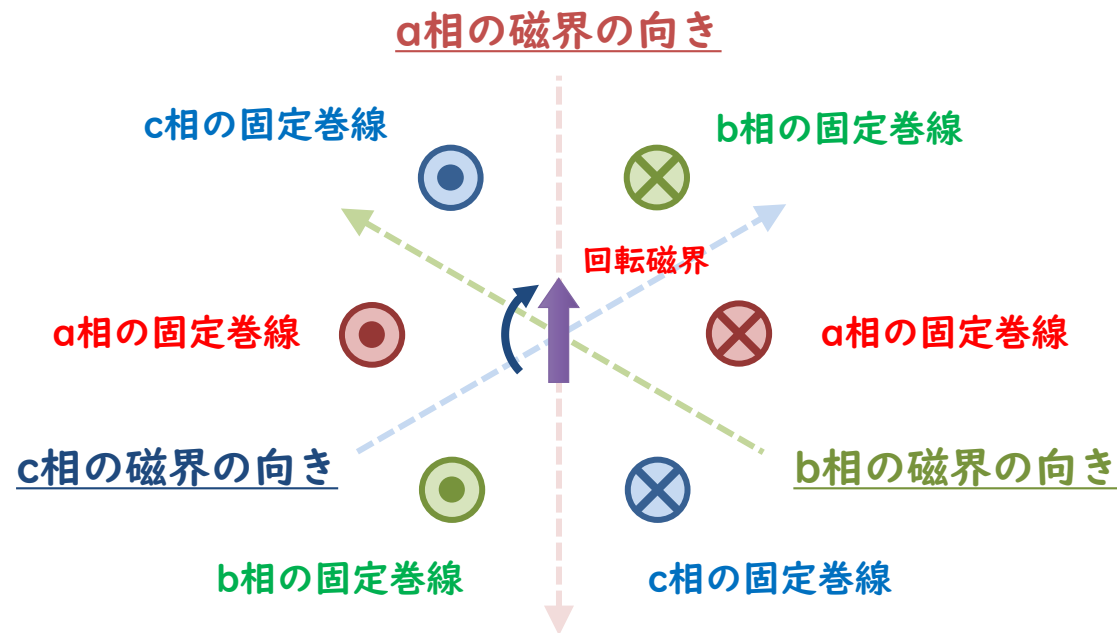
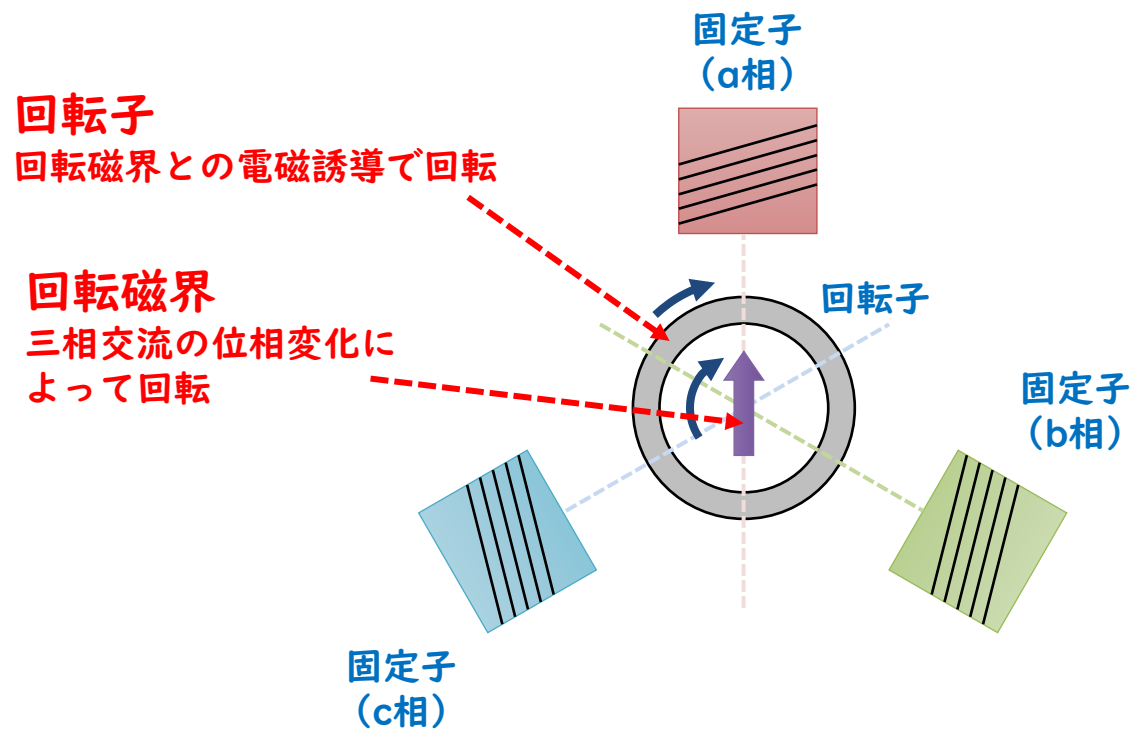
回転磁界

三相交流の位相変化によって回転



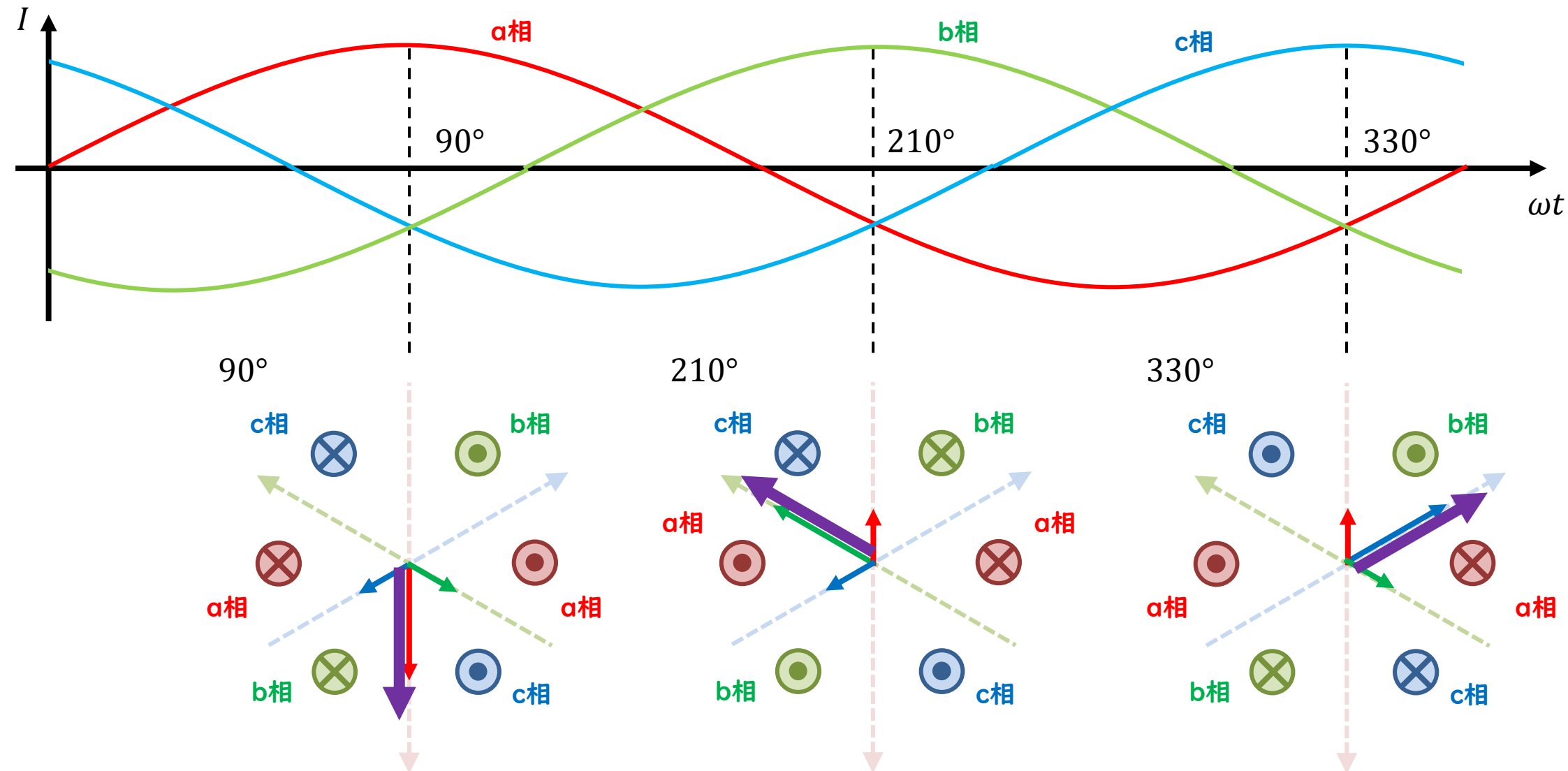
回転磁界

回転磁界の仕組みを考えるために、固定子巻線を抽象化する
各相の磁界の大きさは時間的に変化するが、各相の磁界の向きは決まった軸上で固定される

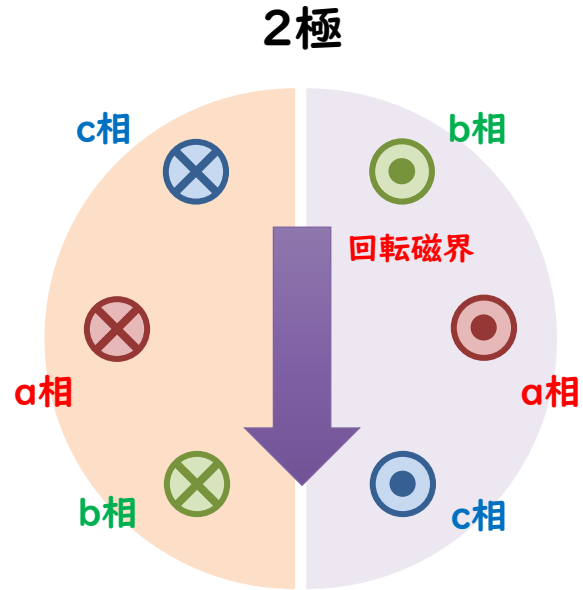


回転磁界

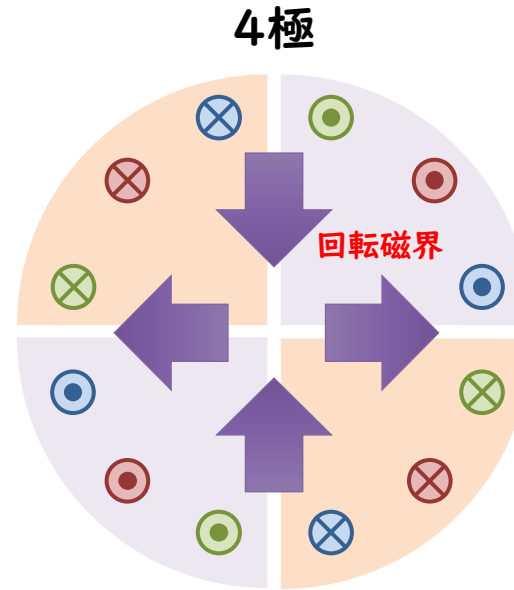
三相交流により作られる回転磁界は、
大きさは一定に保ったまま位相変化に合わせて回転する



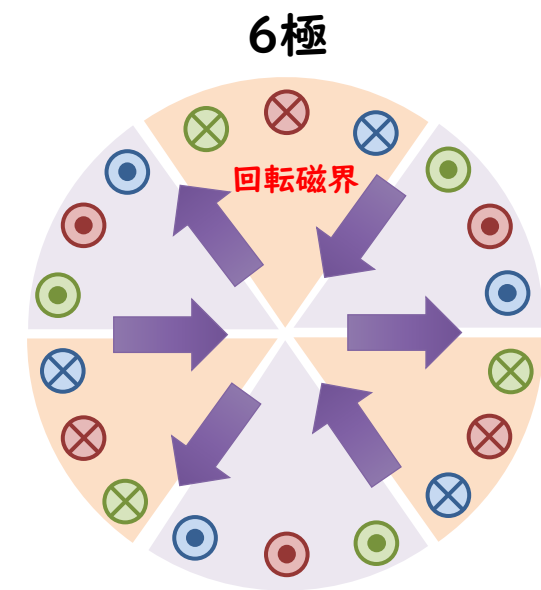
回転磁界と極数



電気角： 360°
幾何学的角度： 180°



電気角： 360°
幾何学的角度： 90°

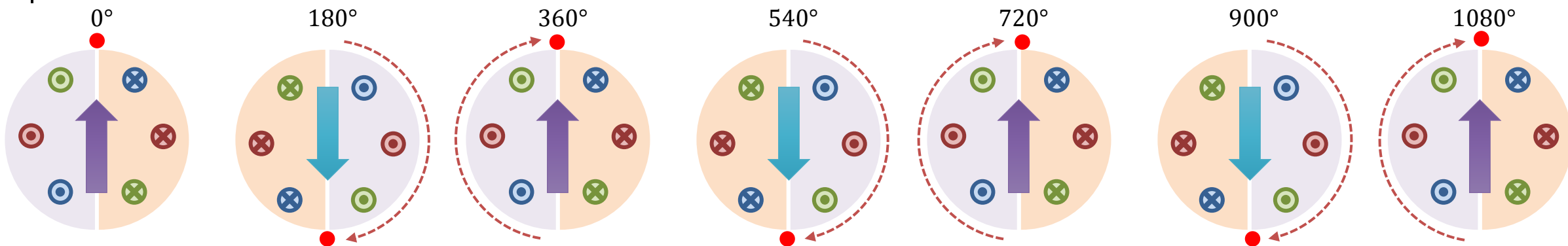


電気角： 360°
幾何学的角度： 60°

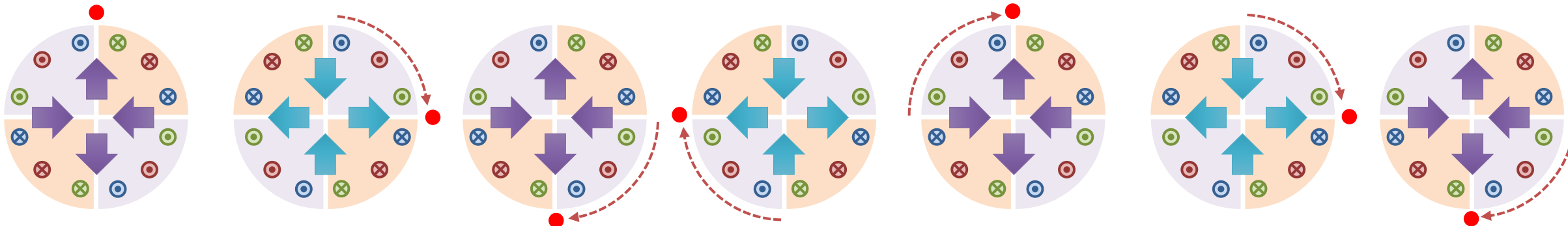
電気角：交流周波数の1周期で変化する電圧または電流の位相
幾何学的角度：回転構造における1つの極性が有する範囲の角度

回転磁界の回転速度

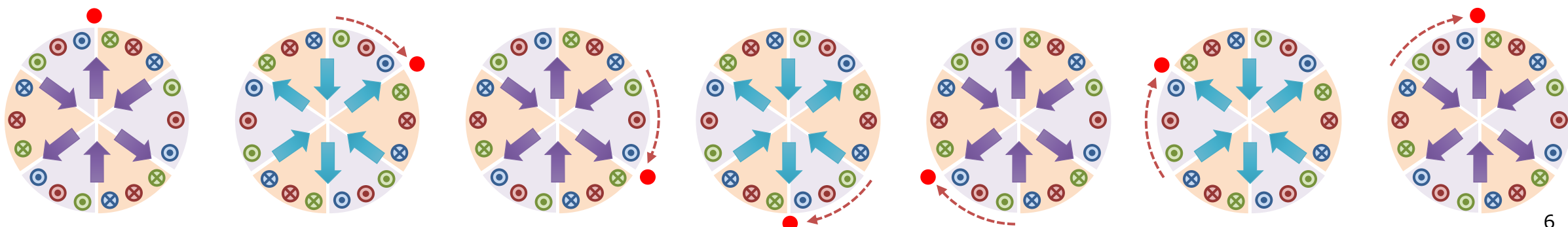
2極



4極



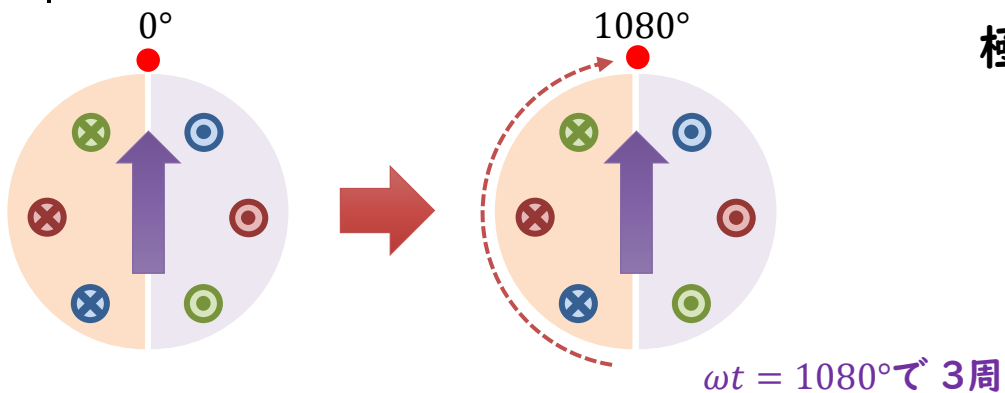
6極



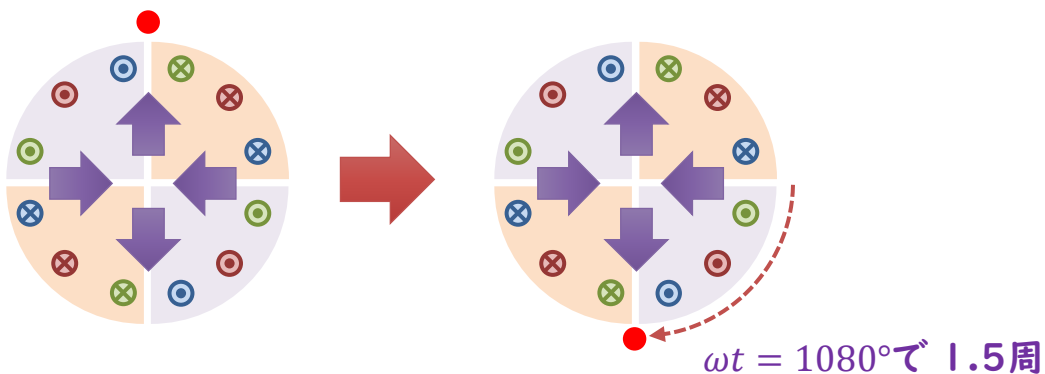
回転磁界の回転速度

極数が増えると、物体が一周するのに時間がかかる

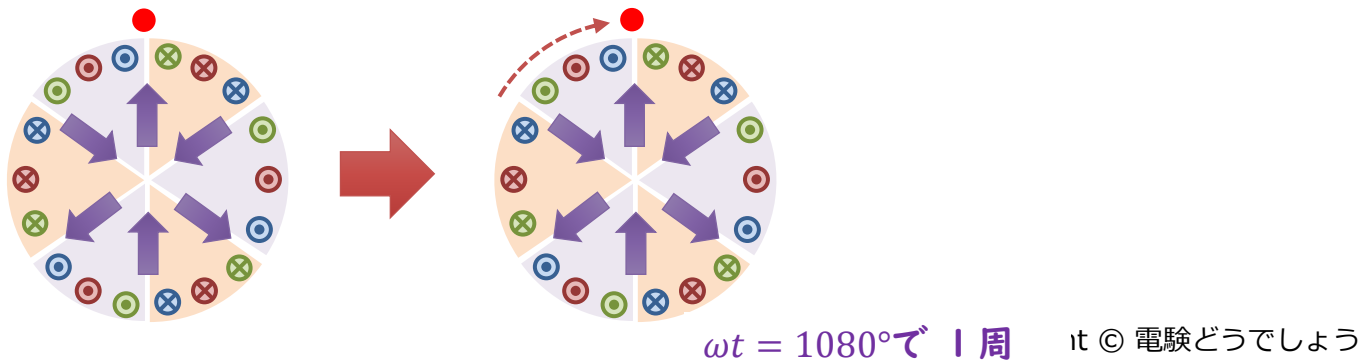
2極



4極



6極



回転磁界の回転速度（同期速度）

$$N_s = \frac{120f}{p} [\text{min}^{-1}]$$

N_s ：同期速度 $[\text{min}^{-1}]$

f ：電源周波数 $[\text{Hz}]$

p ：極数

誘導（電動）機の回転の原理

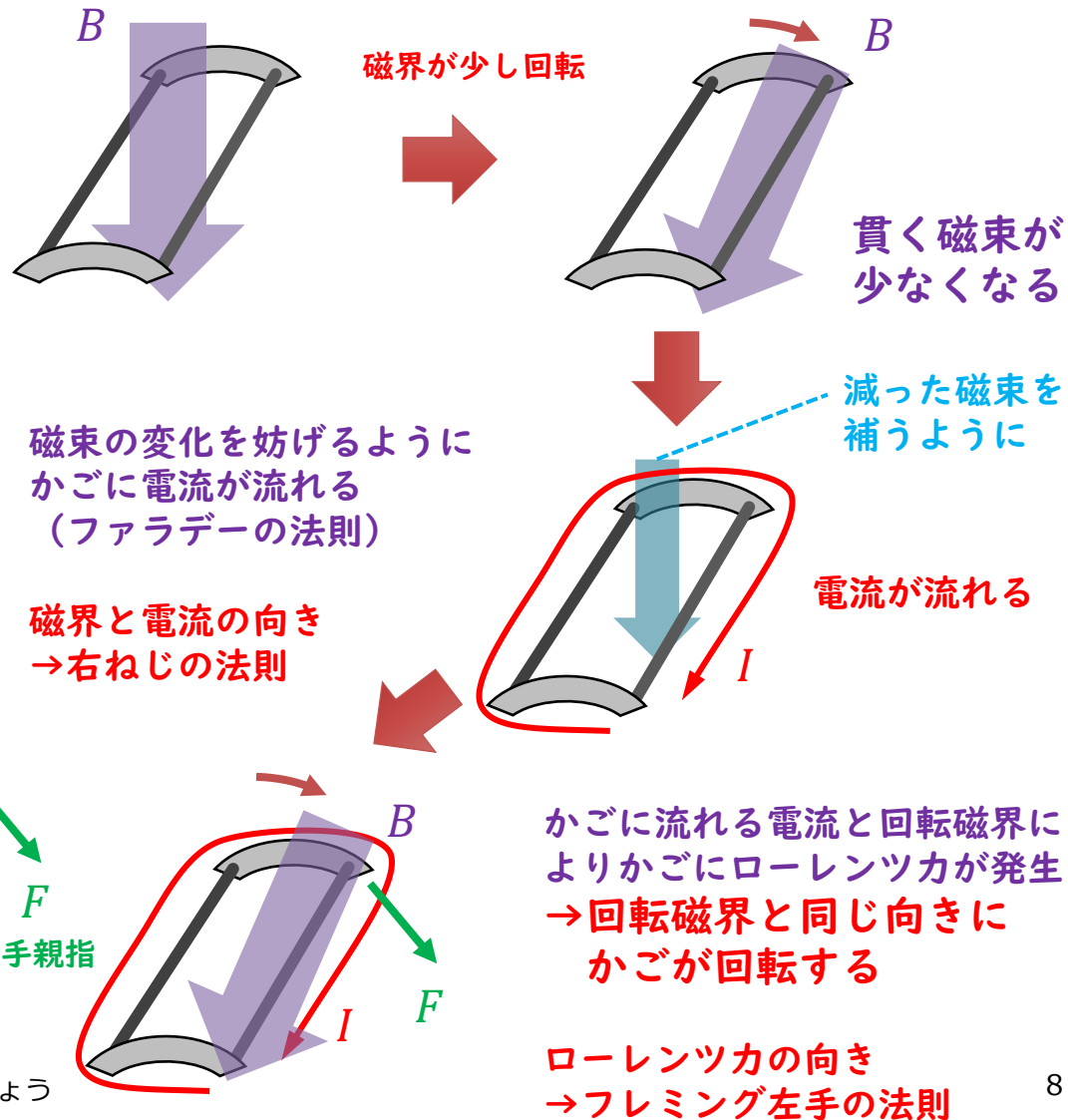
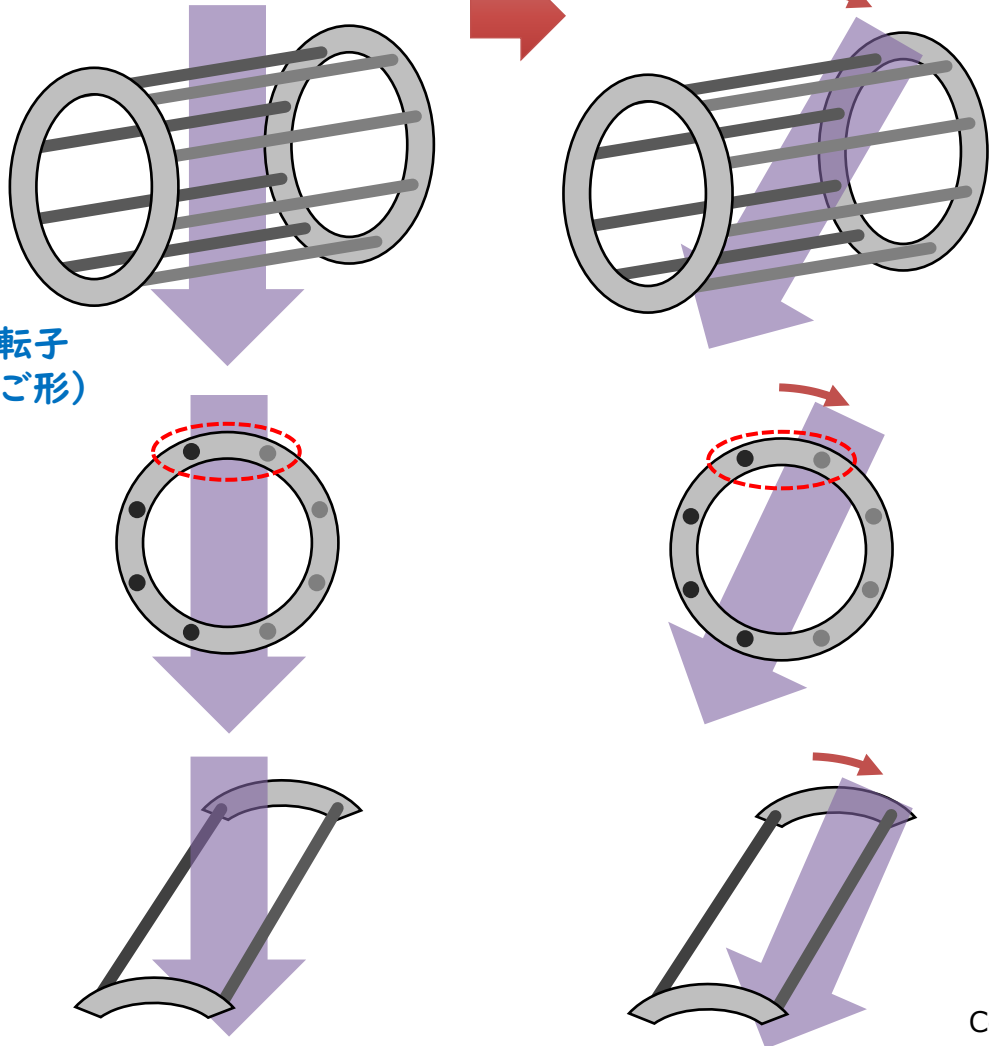
かごを貫く磁束の変化について考える

かご形誘導電動機

回転磁界

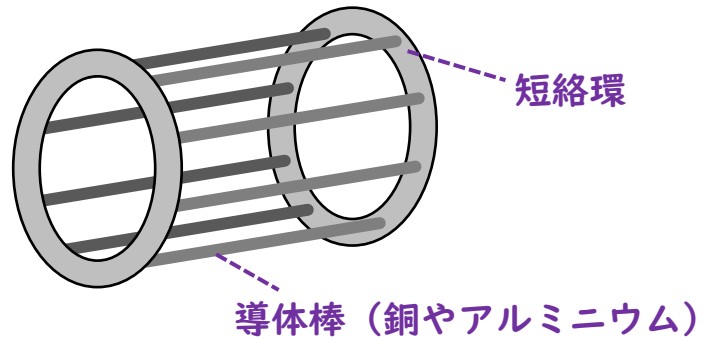
磁界が少し回転

回転子
(かご形)



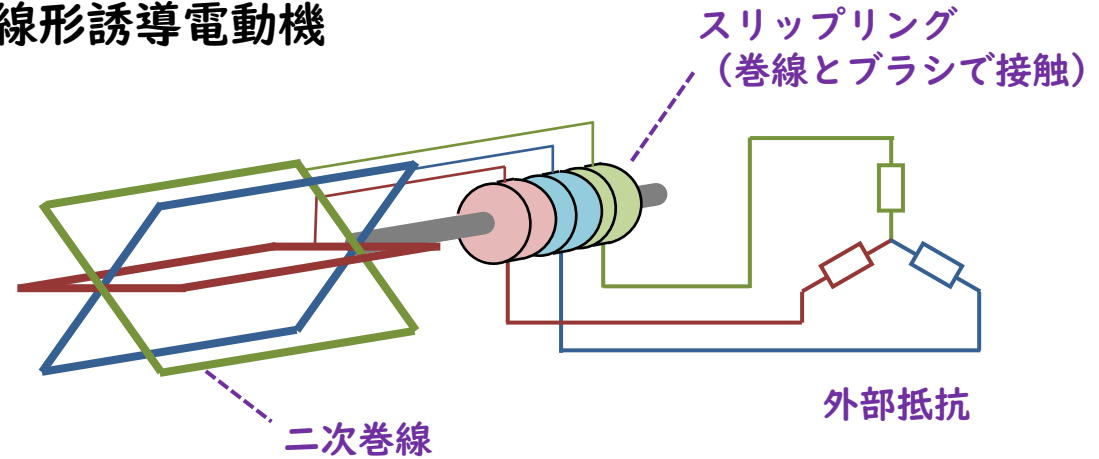
誘導機の回転子の構造

かご形誘導電動機



- ・ 内部に鉄心を有する
- ・ 構造が簡単（小型化が容易）
- ・ 頑丈

巻線形誘導電動機



- ・ 内部に鉄心を有する
- ・ スリップリングを介して外部抵抗を接続できる
→ 始動特性の改善、速度制御が可能（比例推移）

R03 問4

問4 次の文章は、誘導電動機の種類における、固定子と回転子に関する事項に関する記述である。

a. 固定子の分類

三相交流を三相巻線に流すと (ア) 磁界が発生する。この磁界で運転される誘導電動機を三相誘導電動機という。一方、単相交流では (イ) 磁界が発生する。この (イ) 磁界は、正逆両方向の (ア) 磁界が合成されたものと説明される。したがって、コンデンサ始動形単相誘導電動機では、コンデンサで位相を進めた電流を始動巻線に短時間流すことによって始動トルクの発生と回転方向の決定が行われる。

b. 回転子の分類

巻線形誘導電動機では、回転子溝に巻線を納め、その巻線を (ウ) とブラシを介して外部抵抗回路に接続し、 (エ) 電流を変化させて特性制御を行う。かご形誘導電動機では、回転子溝に導体棒を納め、 (オ) に導体棒を接続する。

上記の記述中の空白箇所(ア)～(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)	回転	交番	スリップリング	二次	端絡環
(2)	交番	回転	整流子	二次	継鉄
(3)	交番	回転	スリップリング	一次	継鉄
(4)	回転	交番	整流子	一次	端絡環
(5)	交番	固定	スリップリング	二次	継鉄

R03 問4

問4 次の文章は、誘導電動機の種類における、固定子と回転子に関する事項に関する記述である。

a. 固定子の分類

三相交流を三相巻線に流すと **回転** (ア) 磁界が発生する。この磁界で運転される誘導電動機を三相誘導電動機という。一方、単相交流では **交番** (イ) 磁界が発生する。この **交番** (イ) 磁界は、正逆両方向の **回転** (ウ) 磁界が合成されたものと説明される。したがって、コンデンサ始動形単相誘導電動機では、コンデンサで位相を進めた電流を始動巻線に短時間流すことによって始動トルクの発生と回転方向の決定が行われる。

b. 回転子の分類

巻線形誘導電動機では、回転子溝に巻線を納め、その巻線を **スリップリング** (ウ) とブラシを介して外部抵抗回路に接続し、 **二次** (エ) 電流を変化させて特性制御を行う。かご形誘導電動機では、回転子溝に導体棒を納め、 **短絡環** (オ) に導体棒を接続する。

上記の記述中の空白箇所(ア)～(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)	回転	交番	スリップリング	二次	端絡環
(2)	交番	回転	整流子	二次	継鉄
(3)	交番	回転	スリップリング	一次	継鉄
(4)	回転	交番	整流子	一次	端絡環
(5)	交番	固定	スリップリング	二次	継鉄

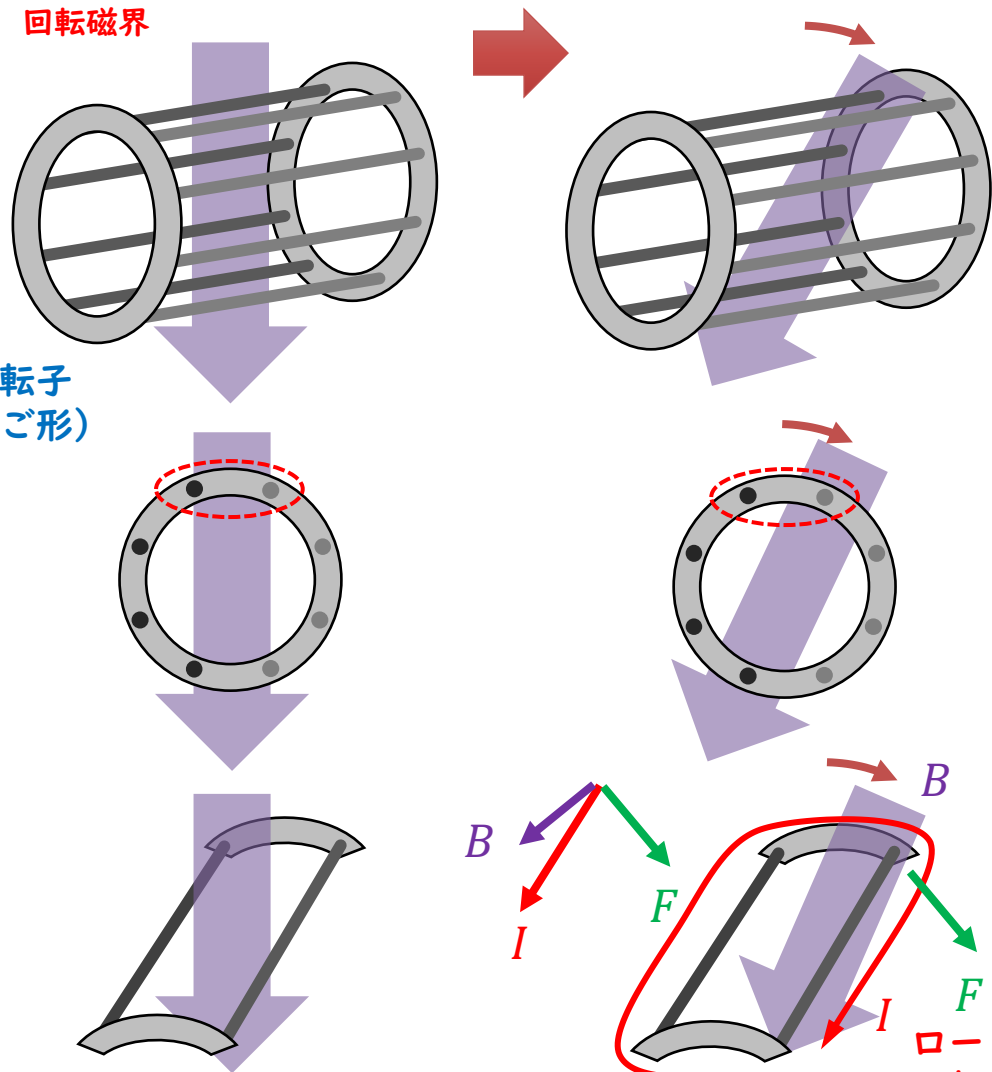
誘導機の回転速度

かご形誘導電動機

回転磁界

磁界が少し回転

回転子
(かご形)



ローレンツ力に対して

回転子が小さく軽かったら

→ 回転子の回転速度は大きい

回転子が大きく重かったら

→ 回転子の回転速度は小さい

回転磁界の回転速度 N_s > 回転子の回転速度 N

という関係になる（回転磁界と回転子の速度はずれる）

回転磁界と回転子の速度の関係を表すために、

$$N = (1 - s)N_s$$

N : 回転子の速度 [min^{-1}]

N_s : 回転磁界の速度（同期速度） [min^{-1}]

s : すべり

$$s = \frac{N_s - N}{N_s}$$

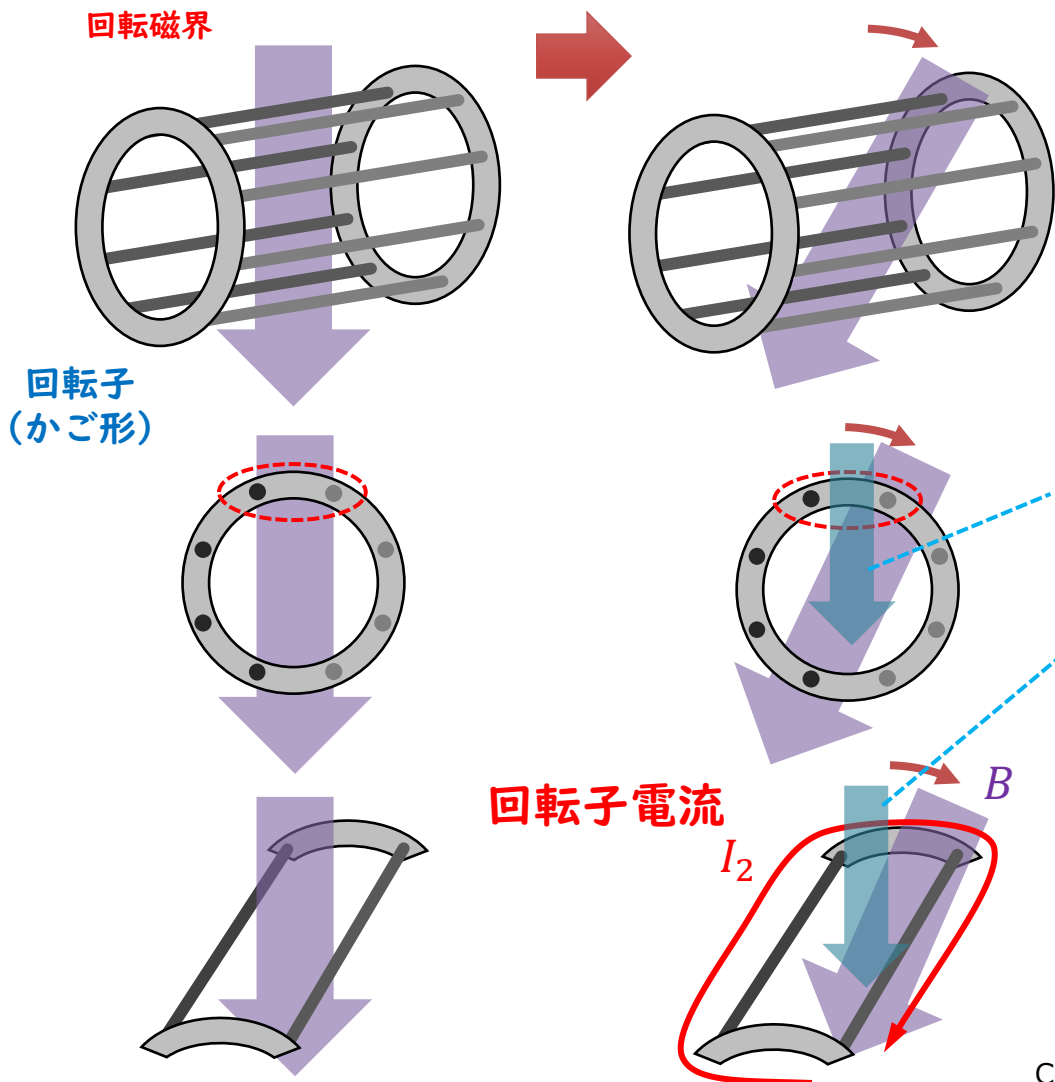
sN_s : 回転子からみた回転磁界の相対速度 [min^{-1}]

すべり	$s = 1$	→	$s = 0$
回転子の回転速度	$N = 0$	→	$N = N_s$
回転磁界の相対速度	$sN_s = N_s$	→	$sN_s = 0$

ローレンツ力が
回転子の回転速度を決める

誘導機の電流

かご形誘導電動機

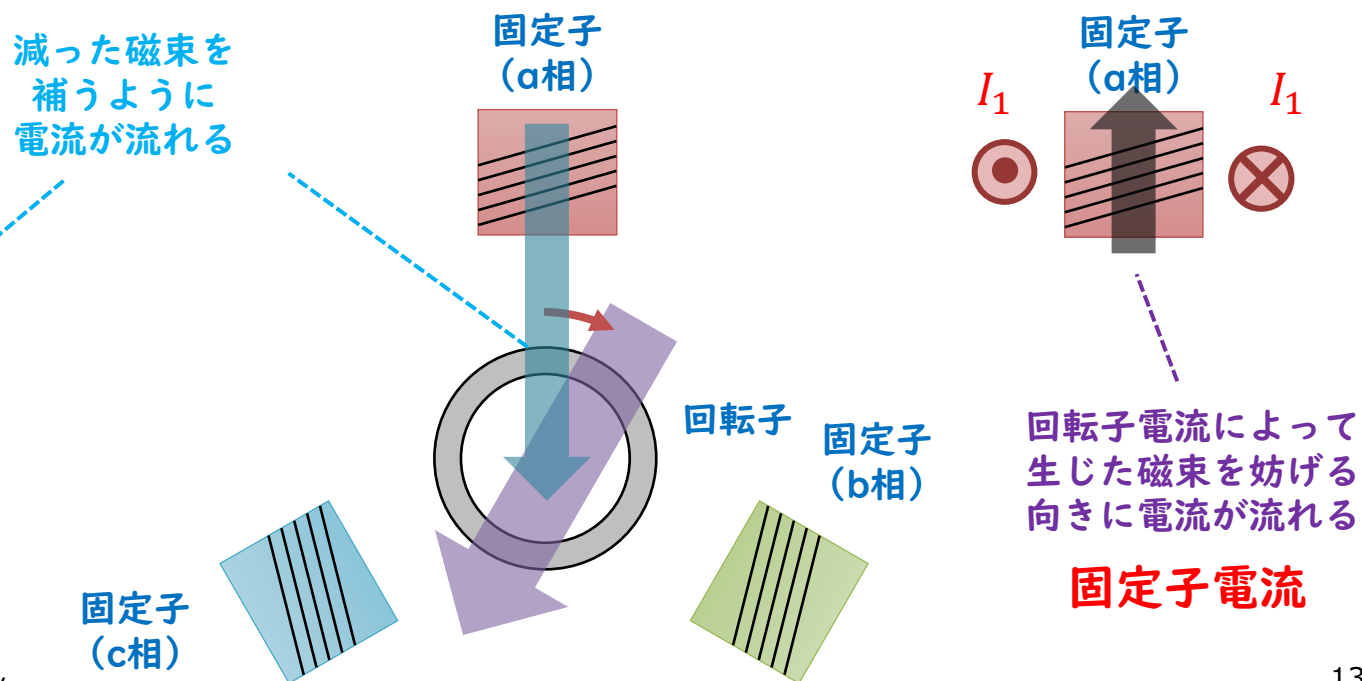


回転子電流によって生じる磁束（回転磁界を妨げるために生じた磁束）が固定子に影響を与える

固定子では回転子電流によって生じた磁束を妨げる向きに電流を流す（固定子電流）

→変圧器の1次巻線電流と2次巻線電流と同じ原理で発生している

変圧器	1次巻線電流	2次巻線電流
誘導電動機	固定子電流	回転子電流



H28 問3

問3 次の文章は、三相誘導電動機の誘導起電力に関する記述である。

三相誘導電動機で固定子巻線に電流が流れると (ア) が生じ、これが回転子巻線を切ることで回転子巻線に起電力が誘導され、この起電力によって回転子巻線に電流が流れることでトルクが生じる。この回転子巻線の電流によって生じる起磁力を (イ) ように固定子巻線に電流が流れる。

回転子が停止しているときは、固定子巻線に流れる電流によって生じる (ア) は、固定子巻線を切るのと同じ速さで回転子巻線を切る。このことは原理的に変圧器と同じであり、固定子巻線は変圧器の (ウ) 巻線に相当し、回転子巻線は (エ) 巻線に相当する。回転子巻線の各相には変圧器と同様に (イ) 誘導起電力を生じる。

回転子が $n[\text{min}^{-1}]$ の速度で回転しているときは、(ア) の速度を $n_s[\text{min}^{-1}]$ とすると、滑り s は $s = \frac{n_s - n}{n_s}$ で表される。このときの (エ) 誘導起電力の大きさは、回転子が停止しているときの (オ) 倍となる。

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)	交番磁界	打ち消す	二 次	一 次	$1-s$
(2)	回転磁界	打ち消す	一 次	二 次	$\frac{1}{s}$
(3)	回転磁界	増加させる	一 次	二 次	s
(4)	交番磁界	増加させる	二 次	一 次	$\frac{1}{s}$
(5)	回転磁界	打ち消す	一 次	二 次	s

H28 問3

問3 次の文章は、三相誘導電動機の誘導起電力に関する記述である。

三相誘導電動機で固定子巻線に電流が流れると **回転磁界** (ア) が生じ、これが回転子巻線を切ることで回転子巻線に起電力が誘導され、この起電力によって回転子巻線に電流が流れることでトルクが生じる。この回転子巻線の電流によって生じる起磁力を **打ち消す** (イ) ように固定子巻線に電流が流れる。

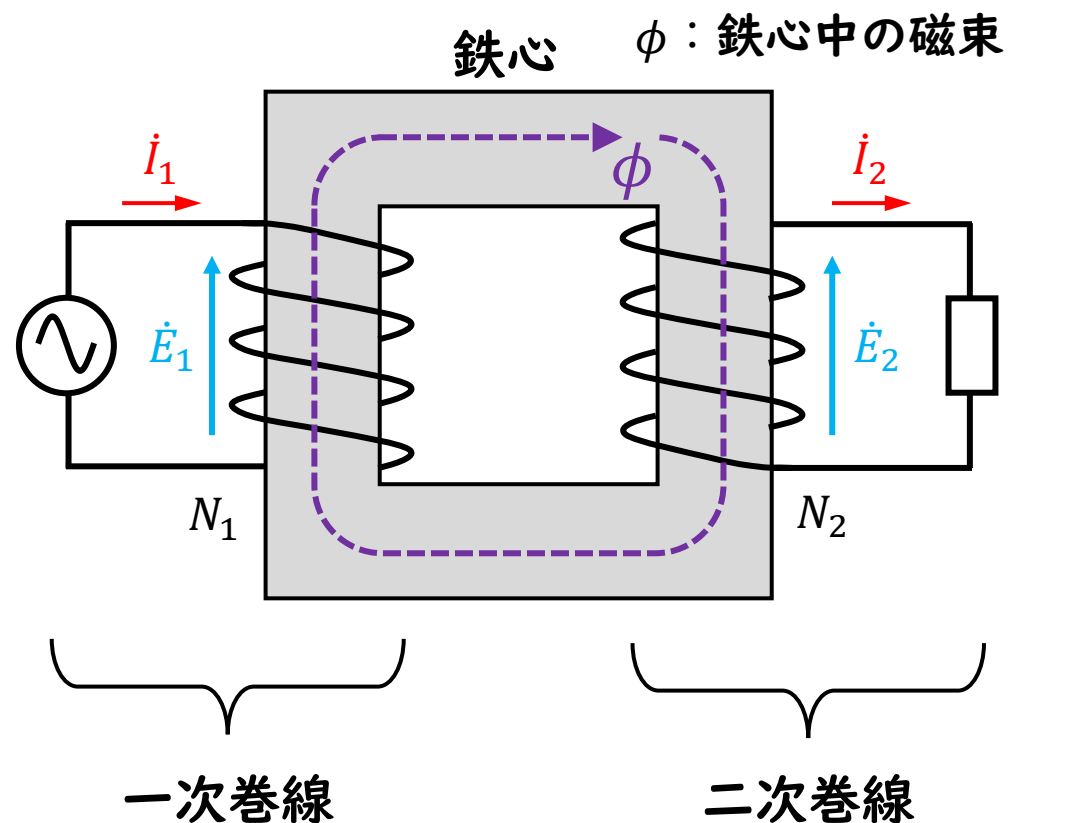
回転子が停止しているときは、固定子巻線に流れる電流によって生じる **回転磁界** (ア) は、固定子巻線を切るのと同じ速さで回転子巻線を切る。このことは原理的に変圧器と同じであり、固定子巻線は変圧器の **一次** (ウ) 巻線に相当し、回転子巻線は **二次** (エ) 巻線に相当する。回転子巻線の各相には変圧器と同様に **二次** (エ) 誘導起電力を生じる。

回転子が n [min⁻¹] の速度で回転しているときは、**回転磁界** (ア) の速度を n_s [min⁻¹] とすると、滑り s は $s = \frac{n_s - n}{n_s}$ で表される。このときの **二次** (エ) 誘導起電力の大きさは、回転子が停止しているときの **二次** (エ) 倍となる。
S

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)	交番磁界	打ち消す	二次	一次	$1-s$
(2)	回転磁界	打ち消す	一次	二次	$\frac{1}{s}$
(3)	回転磁界	増加させる	一次	二次	s
(4)	交番磁界	増加させる	二次	一次	$\frac{1}{s}$
(5)	回転磁界	打ち消す	一次	二次	s

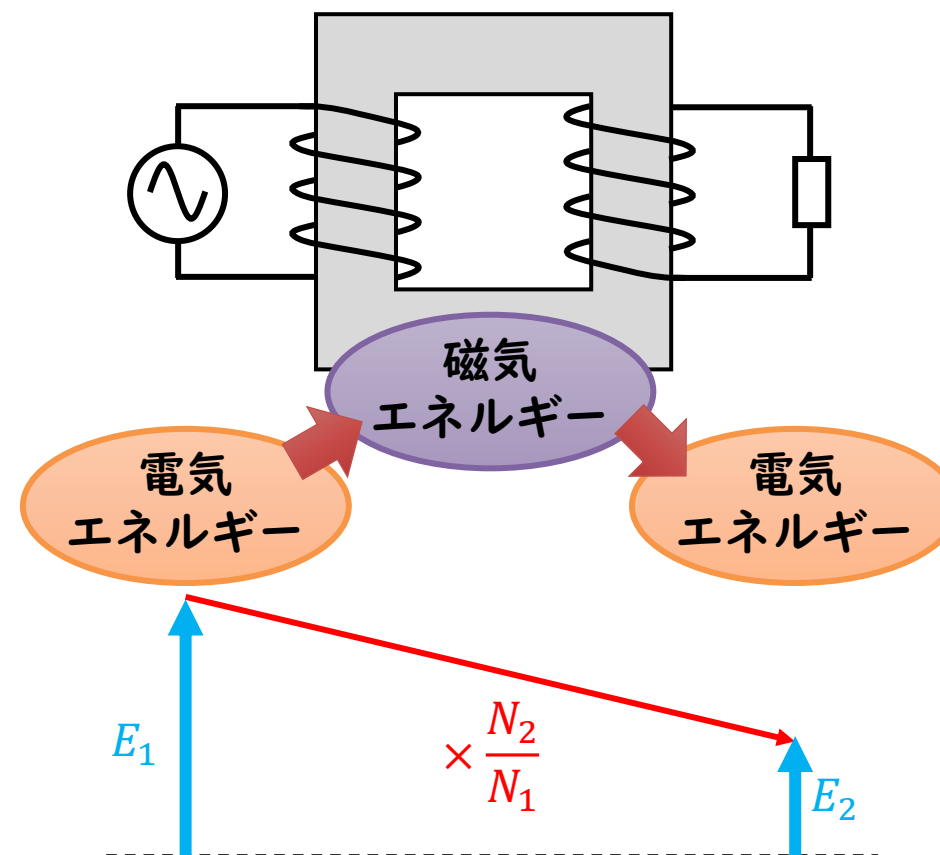
変圧器の基本特性



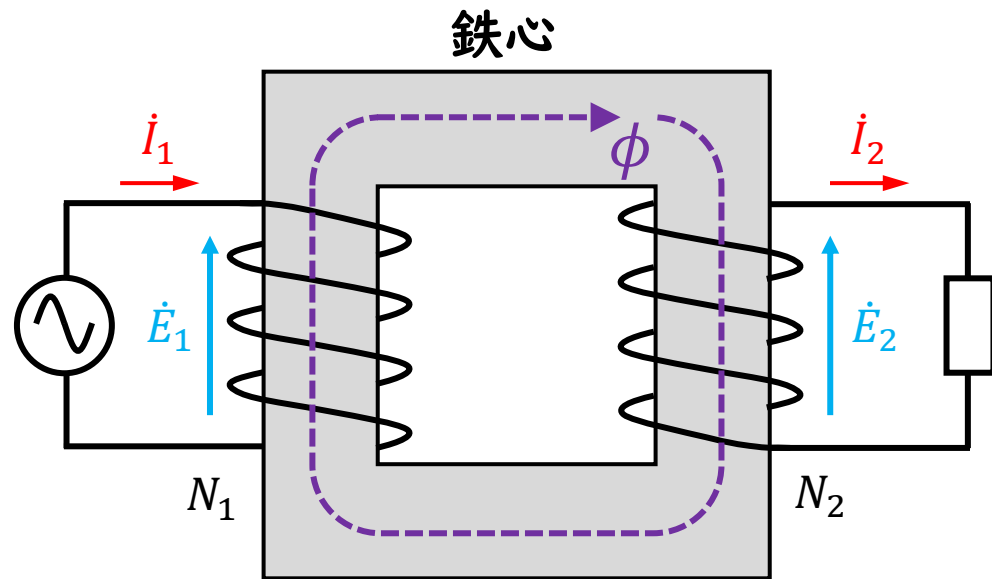
N_1 : 一次巻線の巻数
 E_1 : 一次側電圧
 I_1 : 一次側電流

N_2 : 二次巻線の巻数
 E_2 : 二次側電圧
 I_2 : 二次側電流

変圧器とは、
 電磁誘導を利用して交流電圧の電圧の大きさを
 変換する電気機器



変圧器の基本特性



<一次側電圧 E_1 と二次側電圧 E_2 の関係の導出>

ファラデーの法則

$$V = \frac{d\phi'}{dt}$$

ϕ' : 鎖交磁束

(鎖交磁束) = (巻数) × (磁束)

$$e_1 = \sqrt{2}E_1 \sin \omega t \quad e_2 = \sqrt{2}E_2 \sin \omega t \quad \phi = -\phi_m \cos \omega t$$

$$\begin{aligned} e_1 &= \frac{d\phi'}{dt} = \frac{dN_1\phi}{dt} = N_1 \frac{d\phi}{dt} \\ &= N_1 \frac{d}{dt} (-\phi_m \cos \omega t) \\ &= \omega N_1 \phi_m \sin \omega t \end{aligned}$$

※ここでは計算しやすい
ように定義

$$\begin{aligned} \sqrt{2}E_1 \sin \omega t &= \omega N_1 \phi_m \sin \omega t \\ E_1 &= \frac{\omega N_1}{\sqrt{2}} \phi_m = \frac{2\pi f N_1}{\sqrt{2}} \phi_m = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f N_1 \phi_m \end{aligned}$$

$$E_1 = 4.44 f N_1 \phi_m \quad \textcircled{1}$$

$$\begin{aligned} e_2 &= \frac{d\phi'}{dt} = \frac{dN_2\phi}{dt} = N_2 \frac{d\phi}{dt} \\ &= N_2 \frac{d}{dt} (-\phi_m \cos \omega t) \\ &= \omega N_2 \phi_m \sin \omega t \end{aligned}$$

①と②より

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{4.44 f N_1 \phi_m}{4.44 f N_2 \phi_m}$$

$$\therefore \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$E_2 = 4.44 f N_2 \phi_m \quad \textcircled{2}$$

変圧器と誘導機の違い

変圧器の1次側電圧と
2次側電圧の関係

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{4.44fN_1\phi_m}{4.44fN_2\phi_m}$$

$$\therefore \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

電源周波数に一致するように
回転磁界が発生するので
 f_1 は電源周波数

回転子停止時($s = 1$)の
回転子で発生する誘導起電力 E_2

$$E_2 = \frac{N_2}{N_1} E_1$$

回転子が回転時($s \neq 1$)の
回転子で発生する誘導起電力 E'_2

$$E'_2 = s \frac{N_2}{N_1} E_1 = s E_2$$

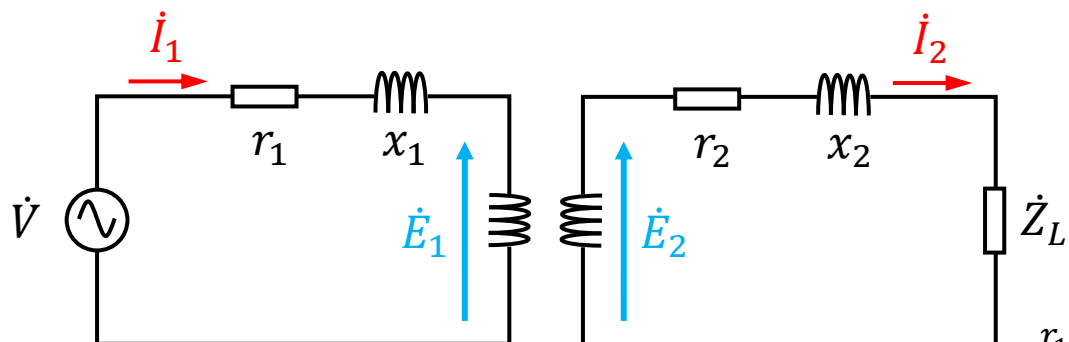
誘導電動機では、

$$\frac{\text{固定子で発生する誘導起電力 } E_1}{\text{回転子で発生する誘導起電力 } E_2} = \frac{4.44 \cancel{f_1} N_1 \phi_m}{4.44 \cancel{f_2} N_2 \phi_m} = \frac{f_1 N_1}{f_2 N_2} = \frac{f_1 N_1}{s f_1 N_2} = \frac{1}{s} \frac{N_1}{N_2} \rightarrow E_2 = s \frac{N_2}{N_1} E_1$$

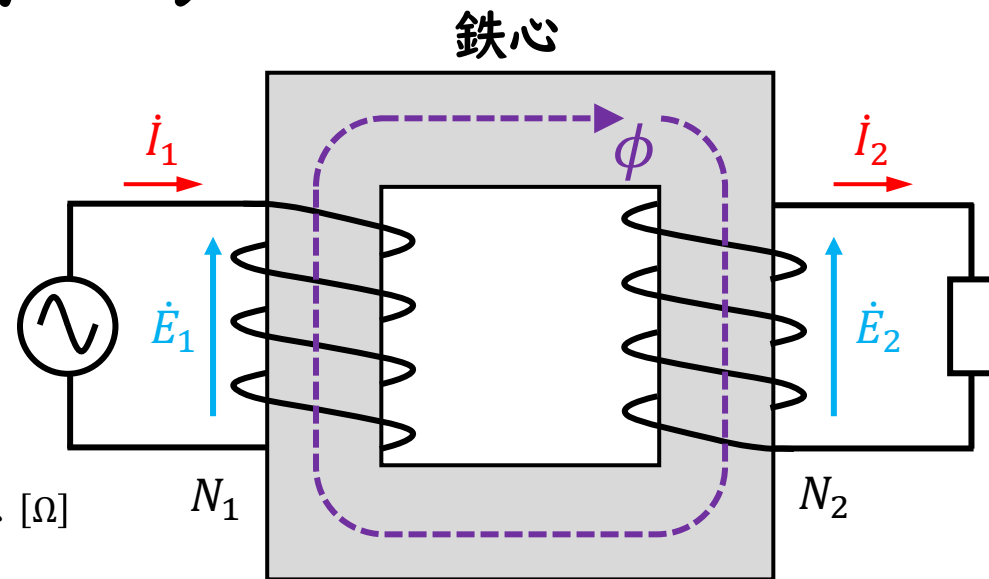
回転子から見える回転磁界の変化は回転子の速度に
よって変化するので
 f_2 は回転子から見た回転磁界の相対速度
($f_2 = s f_1$: すべり周波数)

誘導機の等価回路(1/4)

<変圧器の場合>



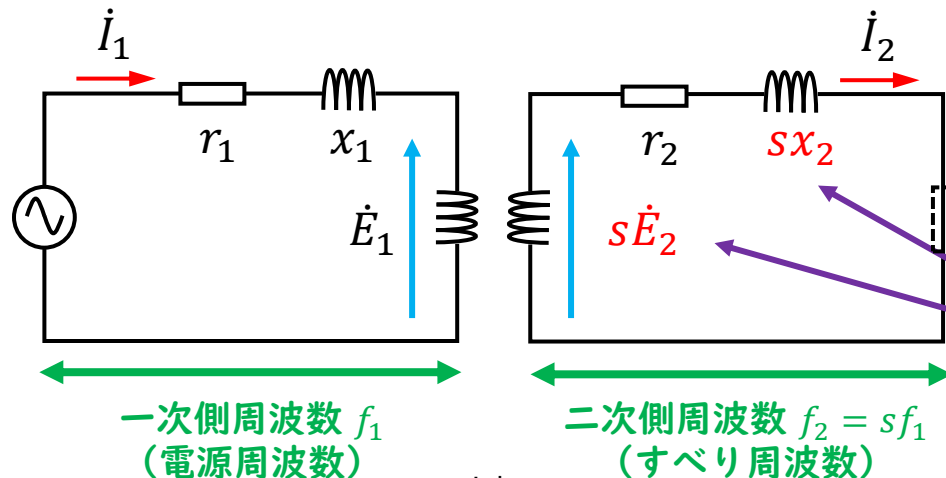
r_1 : 一次巻線抵抗 $[\Omega]$
 x_1 : 一次漏れリアクタンス $[\Omega]$
 r_2 : 二次巻線抵抗 $[\Omega]$
 x_2 : 二次漏れリアクタンス $[\Omega]$



<誘導機の場合 (単相分)>

三相交流の単相分
(相電圧とする)

$$\dot{V}_1 = \frac{V}{\sqrt{3}}$$

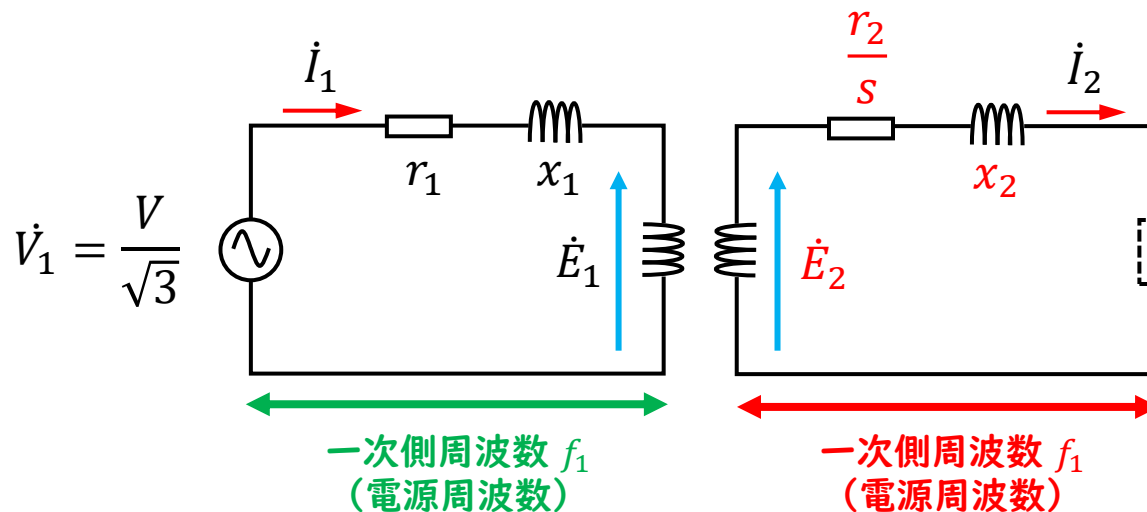
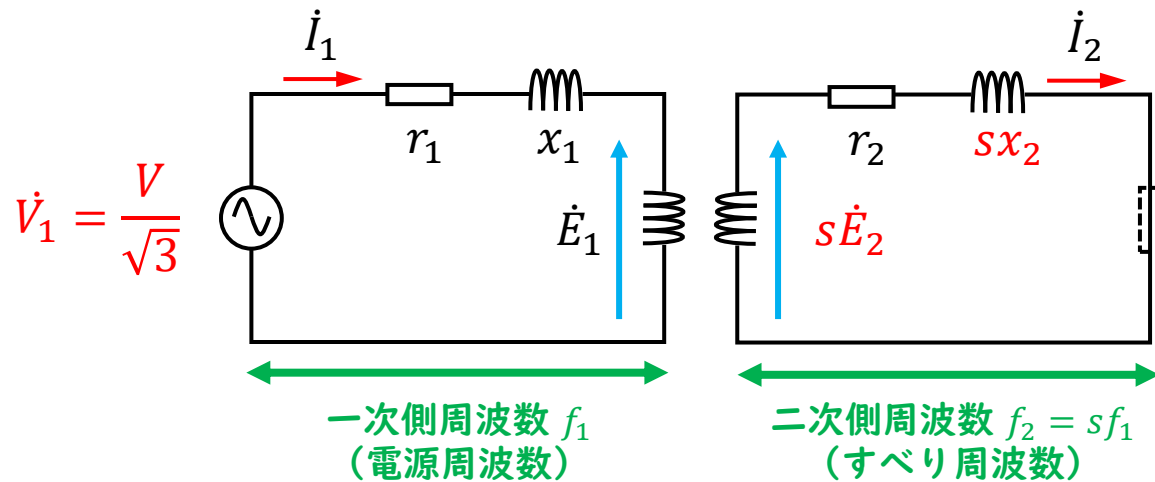


負荷は回転子の抵抗に含まれる

すべりの影響を受ける

誘導機の等価回路(2/4)

< 誘導機の場合 (単相分) >



二次電流 I_2 を式で表すと、

$$I_2 = \frac{s E_2}{\sqrt{r_2^2 + (s x_2)^2}} = \frac{\frac{1}{s} \times s E_2}{\frac{1}{s} \times \sqrt{r_2^2 + (s x_2)^2}} = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{r_2}{s}\right)^2 + x_2^2}}$$

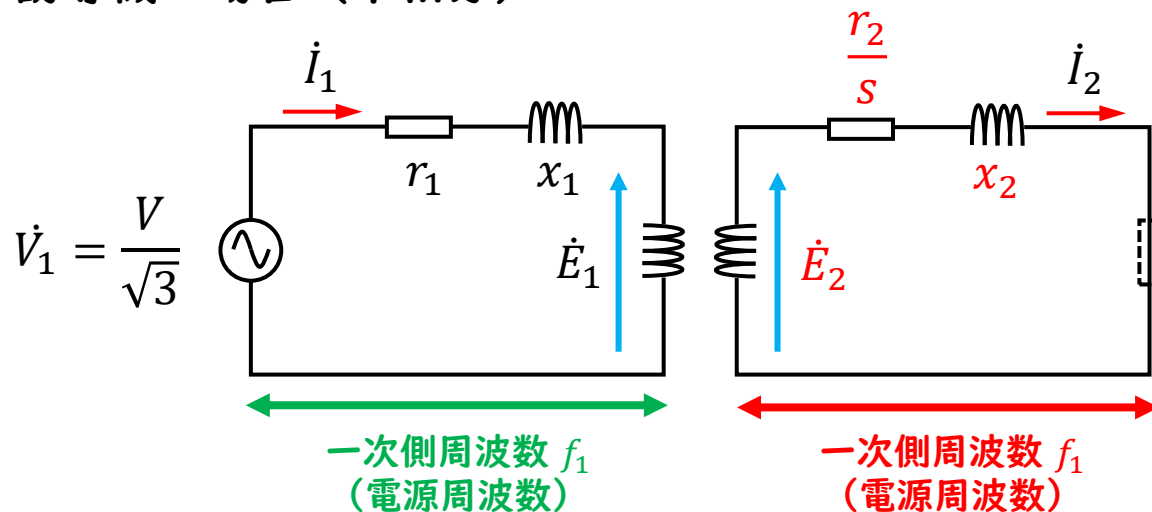
$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{r_2}{s}\right)^2 + x_2^2}}$$

周波数により変化する二次電圧や二次漏れリアクタンスは変化せず、抵抗がすべりで変化すると考える

→ 二次側も 1 次側周波数と同じ周波数で変化するという見方ができる

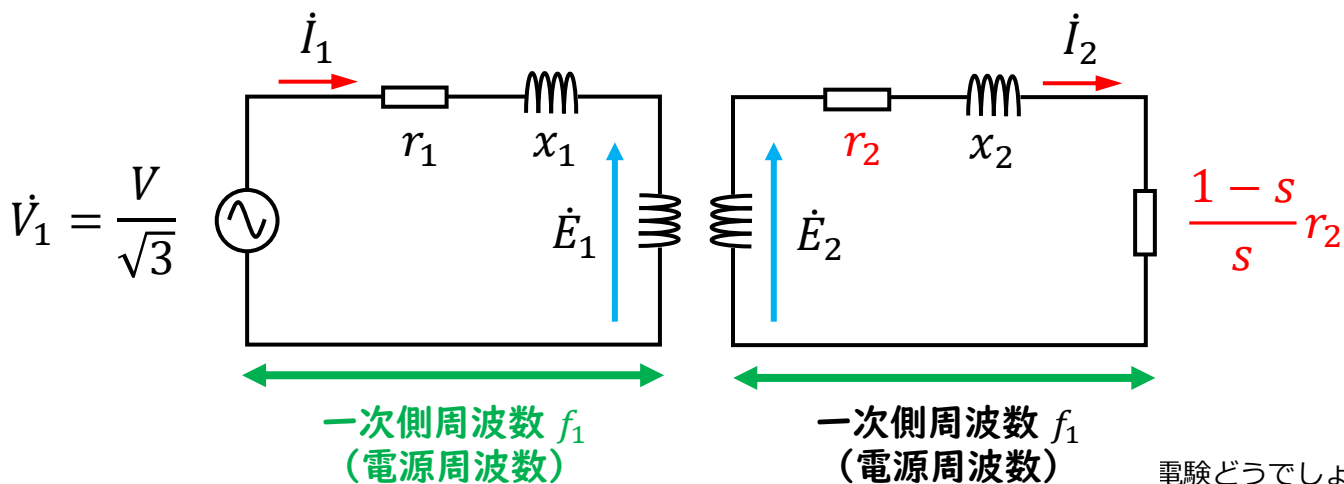
誘導機の等価回路(3/4)

<誘導機の場合(単相分)>



すべり s が小さいと $\rightarrow \frac{r_2}{s}$ は大きい
 $\rightarrow$ 回転子の回転速度が上昇すると
 負荷が大きくなる

すべり s が大きいと $\rightarrow \frac{r_2}{s}$ は小さい
 $\rightarrow$ 回転子の回転速度が減少すると
 負荷は小さくなる



$$\frac{r_2}{s} = \frac{r_2}{s} + \frac{1-s}{s} r_2$$

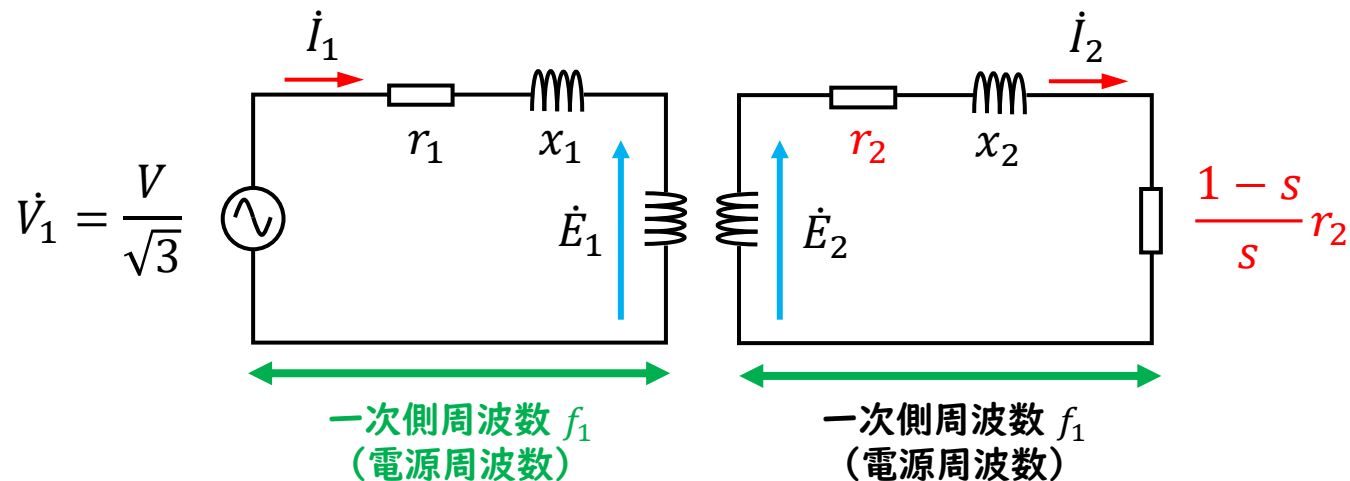
回転子
の抵抗

回転子の回転に
対して電源が感じる
負荷の重さ

- ・ 回転子の抵抗と
- ・ 回転子の回転に対して電源が感じる負荷の重さに二次側の負荷を分解することができる

誘導機の等価回路(4/4)

< 誘導機の場合 (単相分) >



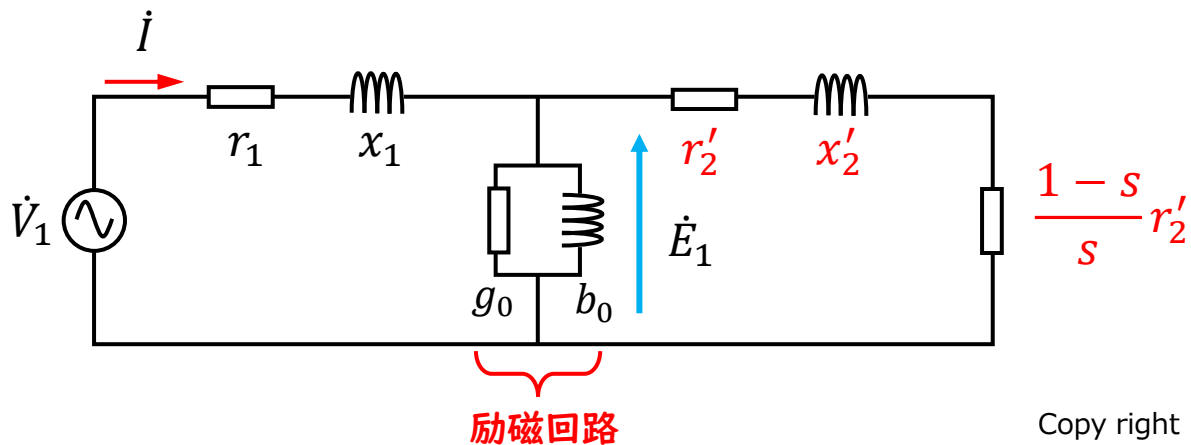
変圧器の1次側に換算した回路
(2次側の負荷の大きさを1次側換算した回路)
と同様に誘導機の回路を変形することができる

電験三種では励磁回路の位置をずらした
L形等価回路 (簡易等価回路) を覚えておけばよい

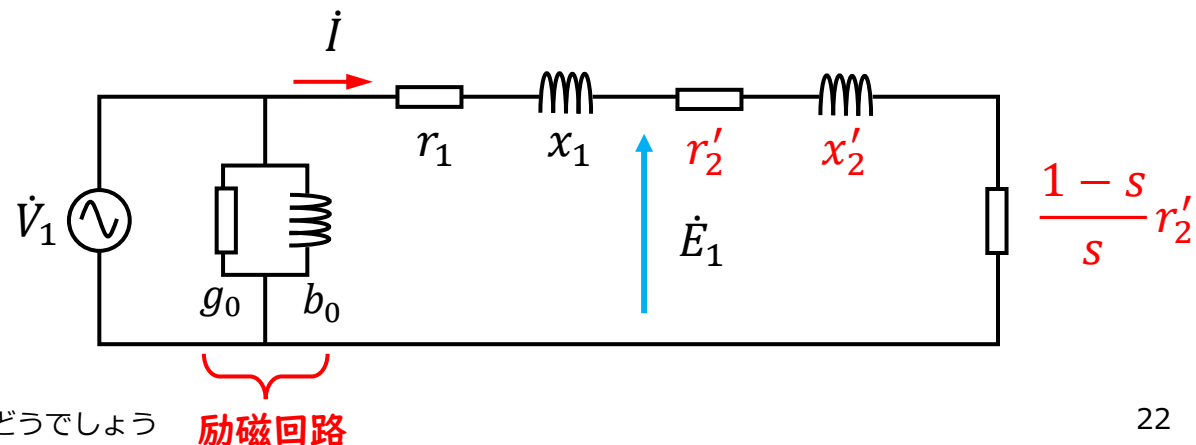
※励磁回路：1次側と2次側の磁気結合のための磁束を蓄える回路 (電験三種では**鉄損の計算**に利用)

< 誘導機の場合 (単相分, 一次側に換算した回路) >

T形等価回路



★**L形等価回路 (簡易等価回路)**

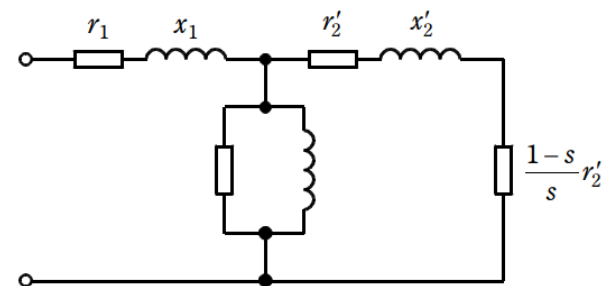


H26 問6

問6 次の文章は、三相誘導電動機の等価回路に関する記述である。

三相誘導電動機の1相当たりの等価回路は、(ア)と同様に表すことができ、その等価回路を使用することによって電圧 V 及び周波数 f を同時に変化させるインバータで運転したときの磁束、トルクの特性を検討することができる。

図の(イ)等価回路において、誘導電動機を例えば定格周波数、定格電圧の数パーセント程度の周波数、電圧で始動するときの特性を考える。この場合、もし始動電流が定格電流と同じだけ流れると、(ウ)による電圧降下の一次電圧に対する比率が定格時よりも大きくなるので、磁束が減少し、発生トルクが(エ)することが理解できる。また、誘導電動機を例えば定格周波数、定格電圧で運転するときは、上記電圧降下による計算誤差が小さく、計算が簡単になるので、励磁回路を図の(オ)側に移した簡易等価回路を使うことも有効である。この運転では、もしインバータが出力する電圧 V が減少したとしても、 $\frac{V}{f}$ 比を一定に保つように周波数 f を減少させれば、負荷変動に影響されずに励磁電流がほぼ一定となることが分かる。



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。

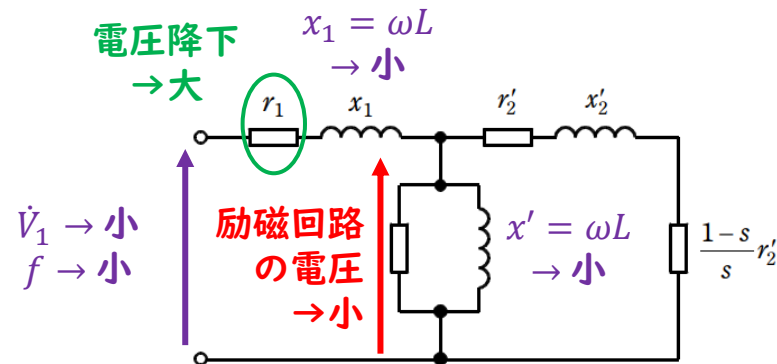
	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)	(オ)
(1)	同期電動機	L 形	一次抵抗	増 加	右端の負荷抵抗
(2)	変圧器	T 形	一次抵抗	減 少	左端の端子
(3)	同期電動機	T 形	二次漏れリアクタンス	減 少	右端の負荷抵抗
(4)	変圧器	L 形	一次抵抗	増 加	右端の負荷抵抗
(5)	変圧器	T 形	二次漏れリアクタンス	減 少	左端の端子

H26 問6

問6 次の文章は、三相誘導電動機の等価回路に関する記述である。

三相誘導電動機の1相当りの等価回路は、**変圧器** (ア) と同様に表すことができ、その等価回路を使用することによって電圧 V 及び周波数 f を同時に変化させるインバータで運転したときの磁束、トルクの特性を検討することができる。

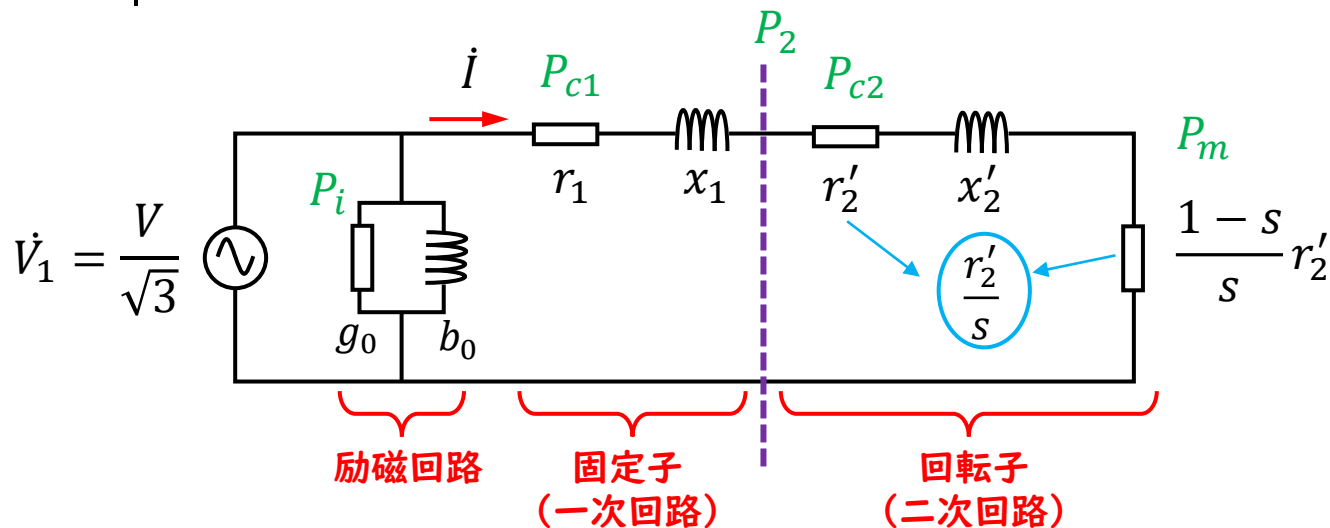
図の **T形** (イ) 等価回路において、誘導電動機を例えば定格周波数、定格電圧の数パーセント程度の周波数、電圧で始動するときの特性を考える。この場合、もし始動電流が定格電流と同じだけ流れると、**一次抵抗** (ウ) による電圧降下の一次電圧に対する比率が定格時よりも大きくなるので、磁束が減少し、発生トルクが **減少** (エ) することが理解できる。また、誘導電動機を例えば定格周波数、定格電圧で運転するときは、上記電圧降下による計算誤差が小さく、計算が簡単になるので、励磁回路を図の (オ) 側に移した簡易等価回路を使うことも有効である。この運転では、もしインバータが出力する電圧 V が減少したとしても、 $\frac{V}{f}$ 比を一定に保つように周波数 f を減少させれば、負荷変動に影響されずに励磁電流がほぼ一定となることが分かる。



励磁回路の電圧が小 → 回転磁界の磁束が小
→ ローレンツ力が小 $F = IBl$
→ トルクが小

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)	(オ)
(1)	同期電動機	L 形	一次抵抗	増 加	右端の負荷抵抗
(2)	変圧器	T 形	一次抵抗	減 少	左端の端子
(3)	同期電動機	T 形	二次漏れリアクタンス	減 少	右端の負荷抵抗
(4)	変圧器	L 形	一次抵抗	増 加	右端の負荷抵抗
(5)	変圧器	T 形	二次漏れリアクタンス	減 少	左端の端子

誘導機の重要公式の導出



P_1 : 一次入力

P_i : 入力鉄損

P_{c1} : 一次銅損

P_2 : 二次入力

P_{c2} : 二次銅損

P_m : 機械的出力

$$P_1 = P_i + P_{c1} + P_{c2} + P_m$$

$$P_i = 3g_0V_1^2$$

$$P_{c1} = 3r_1I^2$$

$$P_2 = P_{c2} + P_m = 3\frac{r_2'}{s}I^2$$

$$P_{c2} = 3r_2'I^2$$

$$P_m = 3\frac{1-s}{s}r_2'I^2$$

$$P_2 : P_{c2} : P_m = 3\frac{r_2'}{s}I^2 : 3r_2'I^2 : 3\frac{1-s}{s}r_2'I^2 = \frac{1}{s} : 1 : \frac{1-s}{s} = 1 : s : 1-s$$

$$P_2 : P_{c2} : P_m = 1 : s : 1-s$$

効率

$$\eta = \frac{P_m}{P_m + P_i + P_{c1} + P_{c2}} \times 100 [\%] = \frac{P_m}{P_1} \times 100 [\%]$$

H23 問3

問3 次の文章は、巻線形誘導電動機に関する記述である。

三相巻線形誘導電動機の二次側に外部抵抗を接続して、誘導電動機を運転することを考える。ただし、外部抵抗は誘導電動機内の二次回路にある抵抗に比べて十分大きく、誘導電動機内部の鉄損、銅損及び一次、二次のインダクタンスなどは無視できるものとする。

いま、回転子を拘束して、一次電圧 V_1 として 200 [V] を印加したときに二次側の外部抵抗を接続した端子に現れる電圧 V_{2s} は 140 [V] であった。拘束を外して始動した後に回転速度が上昇し、同期速度 1500 [min^{-1}] に対して 1200 [min^{-1}] に到達して、負荷と釣り合ったとする。

このときの一次電圧 V_1 は 200 [V] のままであると、二次側の端子に現れる電圧 V_2 は (ア) [V] となる。

また、機械負荷に P_m [W] が伝達されたとすると、一次側から供給する電力 P_1 [W]、外部抵抗で消費される電力 P_{2c} [W] との関係は次式となる。

$$P_1 = P_m + \text{(イ)} \times P_{2c}$$

$$P_{2c} = \text{(ウ)} \times P_1$$

したがって、 P_{2c} と P_m の関係は次式となる。

$$P_{2c} = \text{(エ)} \times P_m$$

接続する外部抵抗には、このような運転に使える電圧・容量の抵抗器を選択しなければならない。

上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)及び(エ)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)
(1)	112	0.8	0.8	0.25
(2)	28	1	0.2	4
(3)	28	1	0.2	0.25
(4)	112	0.8	0.8	4
(5)	112	1	0.2	0.25

H23 問3

問3 次の文章は、巻線形誘導電動機に関する記述である。

三相巻線形誘導電動機の二次側に外部抵抗を接続して、誘導電動機を運転することを考える。ただし、外部抵抗は誘導電動機内の二次回路にある抵抗に比べて十分大きく、誘導電動機内部の鉄損、銅損及び一次、二次のインダクタンスなどは無視できるものとする。

いま、回転子を拘束して、一次電圧 V_1 として 200 [V] を印加したときに二次側の外部抵抗を接続した端子に現れる電圧 V_{2s} は 140 [V] であった。拘束を外して始動した後に回転速度が上昇し、同期速度 1500 [min^{-1}] に対して 1200 [min^{-1}] に到達して、負荷と釣り合ったとする。

このときの一次電圧 V_1 は 200 [V] のままであると、二次側の端子に現れる電圧 V_2 は (ア) [V] となる。

また、機械負荷に P_m [W] が伝達されたとすると、一次側から供給する電力 P_1 [W]、外部抵抗で消費される電力 P_{2c} [W] との関係は次式となる。

$$P_1 = P_m + \text{(イ)} \times P_{2c}$$

$$P_{2c} = \text{(ウ)} \times P_1$$

したがって、 P_{2c} と P_m の関係は次式となる。

$$P_{2c} = \text{(エ)} \times P_m$$

接続する外部抵抗には、このような運転に使える電圧・容量の抵抗器を選択しなければならない。

上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)及び(エ)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)
(1)	112	0.8	0.8	0.25
(2)	28	1	0.2	4
(3)	28	1	0.2	0.25
(4)	112	0.8	0.8	4
(5)	112	1	0.2	0.25

P_1 : 一次入力

$$P_1 = P_i + P_{c1} + P_{c2} + P_m$$

$$N_s = \frac{120f}{p} [\text{min}^{-1}]$$

P_i : 入力鉄損

$$P_i = 3g_0 V_1^2$$

P_{c1} : 一次銅損

$$P_{c1} = 3r_1 I^2$$

P_2 : 二次入力

$$P_2 = P_{c2} + P_m = 3 \frac{r_2'}{s} I^2$$

P_{c2} : 二次銅損

$$P_{c2} = 3r_2' I^2$$

P_m : 機械的出力

$$P_m = 3 \frac{1-s}{s} r_2' I^2$$

$$P_2 : P_{c2} : P_m = 1 : s : 1 - s$$

$$N = (1 - s) N_s$$

$$s = \frac{N_s - N}{N_s}$$

N : 回転子の速度 [min^{-1}]
 N_s : 回転磁界の速度
 (同期速度) [min^{-1}]

s : すべり
 f : 電源周波数 [Hz]
 p : 極数

H23 問3

問3 次の文章は、巻線形誘導電動機に関する記述である。

三相巻線形誘導電動機の二次側に外部抵抗を接続して、誘導電動機を運転することを考える。ただし、外部抵抗は誘導電動機内の二次回路にある抵抗に比べて十分大きく、誘導電動機内部の鉄損、銅損及び一次、二次のインダクタンスなどは無視できるものとする。

いま、回転子を拘束して、一次電圧 V_1 として 200 [V] を印加したときに二次側の外部抵抗を接続した端子に現れる電圧 V_{2s} は 140 [V] であった。拘束を外して始動した後に回転速度が上昇し、同期速度 1500 [min^{-1}] に対して 1200 [min^{-1}] に到達して、負荷と釣り合ったとする。

このときの一次電圧 V_1 は 200 [V] のままであると、二次側の端子に現れる電圧 V_2 は 28 (ア) [V] となる。

また、機械負荷に P_m [W] が伝達されるとすると、一次側から供給する電力 P_1 [W]、外部抵抗で消費される電力 P_{2c} [W] との関係は次式となる。

$$P_1 = P_m + \text{1} \times P_{2c}$$

$$P_{2c} = \text{0.2} \times P_1$$

したがって、 P_{2c} と P_m の関係は次式となる。

$$P_{2c} = \text{0.25} \times P_m$$

接続する外部抵抗には、このような運転に使える電圧・容量の抵抗器を選択しなければならない。

上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)及び(エ)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)
(1)	112	0.8	0.8	0.25
(2)	28	1	0.2	4
(3)	28	1	0.2	0.25
(4)	112	0.8	0.8	4
(5)	112	1	0.2	0.25

$$s = \frac{N_s - N}{N_s} = \frac{1500 - 1200}{1500} = 0.2$$

$$V_2 = sV_1 = 0.2 \times 140 = 28 \text{ V}$$

$$P_{20} : P_{2c} : P_m = 1 : s : 1 - s$$

内部損失は無視できるので
 $P_{20} = P_1$ より

$$\begin{aligned} P_1 &= P_m + P_{2c} \\ P_{2c} &= sP_1 = 0.2P_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{2c} : P_m &= s : 1 - s \\ sP_m &= (1 - s)P_{2c} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{2c} &= \frac{s}{1 - s} P_m = \frac{0.2}{0.8} P_m \\ &= 0.25P_m \end{aligned}$$

R01 問3



問3 4 極の三相誘導電動機が 60 Hz の電源に接続され，出力 5.75 kW，回転速度 1656 min^{-1} で運転されている。このとき，一次銅損，二次銅損及び鉄損の三つの損失の値が等しかった。このときの誘導電動機の効率の値[%]として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし，その他の損失は無視できるものとする。

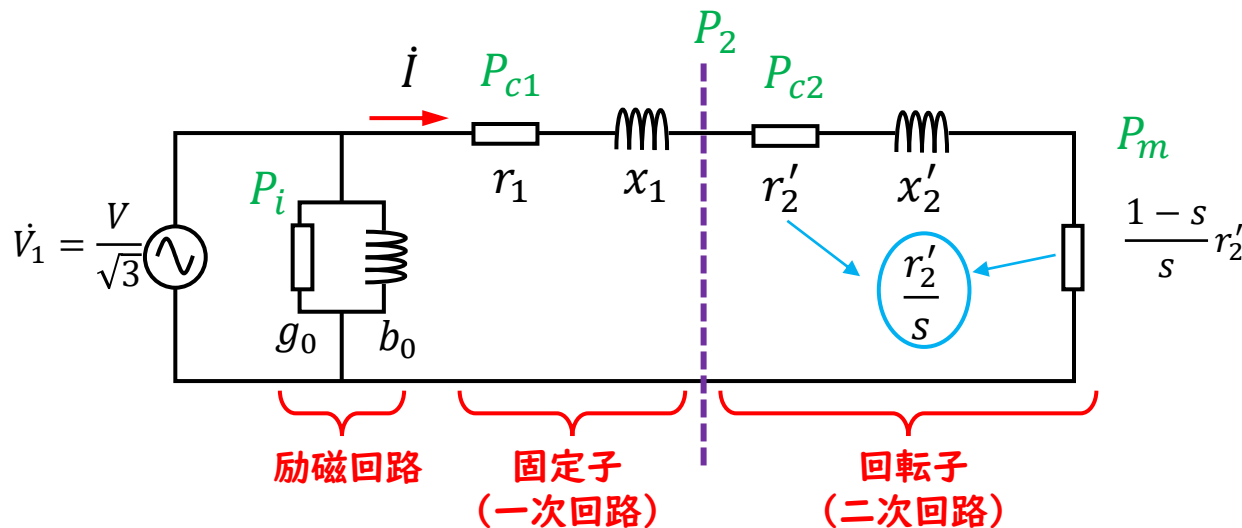
- (1) 76.0 (2) 77.8 (3) 79.3 (4) 80.6 (5) 88.5

R01 問3

問3 4極の三相誘導電動機が 60 Hz の電源に接続され、出力 5.75 kW、回転速度 1656 min^{-1} で運転されている。このとき、一次銅損、二次銅損及び鉄損の三つの損失の値が等しかった。このときの誘導電動機の効率の値[%]として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、その他の損失は無視できるものとする。

- (1) 76.0 (2) 77.8 (3) 79.3 (4) 80.6 (5) 88.5



P_1 : 一次入力

P_i : 入力鉄損

P_{c1} : 一次銅損

P_2 : 二次入力

P_{c2} : 二次銅損

P_m : 機械的出力

$$P_1 = P_i + P_{c1} + P_{c2} + P_m$$

$$P_i = 3g_0V_1^2$$

$$P_{c1} = 3r_1I^2$$

$$P_2 = P_{c2} + P_m = 3\frac{r_2'}{s}I^2$$

$$P_{c2} = 3r_2'I^2$$

$$P_m = 3\frac{1-s}{s}r_2'I^2$$

$$P_2 : P_{c2} : P_m = 1 : s : 1 - s$$

$$N_s = \frac{120f}{p} [\text{min}^{-1}]$$

$$N = (1 - s)N_s$$

$$s = \frac{N_s - N}{N_s}$$

N : 回転子の速度 $[\text{min}^{-1}]$

N_s : 回転磁界の速度
(同期速度) $[\text{min}^{-1}]$

s : すべり

f : 電源周波数 $[\text{Hz}]$

p : 極数

効率

$$\eta = \frac{P_m}{P_m + P_i + P_{c1} + P_{c2}} \times 100 [\%] = \frac{P_m}{P_1} \times 100 [\%]$$

R01 問3



問3 4極の三相誘導電動機が 60 Hz の電源に接続され、出力 5.75 kW、回転速度 1656 min^{-1} で運転されている。このとき、一次銅損、二次銅損及び鉄損の三つの損失の値が等しかった。このときの誘導電動機の効率の値[%]として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、その他の損失は無視できるものとする。

- (1) 76.0 (2) 77.8 (3) 79.3 (4) 80.6 (5) 88.5

$$N_s = \frac{120f}{p} = \frac{120 \times 60}{4} = 1800 \text{ min}^{-1}$$

$$s = \frac{N_s - N}{N_s} = \frac{1800 - 1656}{1800} = 0.08$$

$$P_2 : P_{2c} : P_m = 1 : s : 1 - s$$

$$P_{2c} : P_m = s : 1 - s$$

$$P_{2c} = \frac{s}{1 - s} P_m = \frac{0.08}{1 - 0.08} \times 5.75 = 0.5 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{5.75}{5.75 + 0.5 + 0.5 + 0.5} \times 100 \frac{5.75}{7.25} \times 100 = 79.3 \%$$

H24 問4

問4 三相誘導電動機があり，一次巻線抵抗が $15 [\Omega]$ ，一次側に換算した二次巻線抵抗が $9 [\Omega]$ ，滑りが 0.1 のとき，効率 [%] の値として，最も近いものを次の (1)～(5) のうちから一つ選べ。

ただし，励磁電流は無視できるものとし，損失は，一次巻線による銅損と二次巻線による銅損しか存在しないものとする。

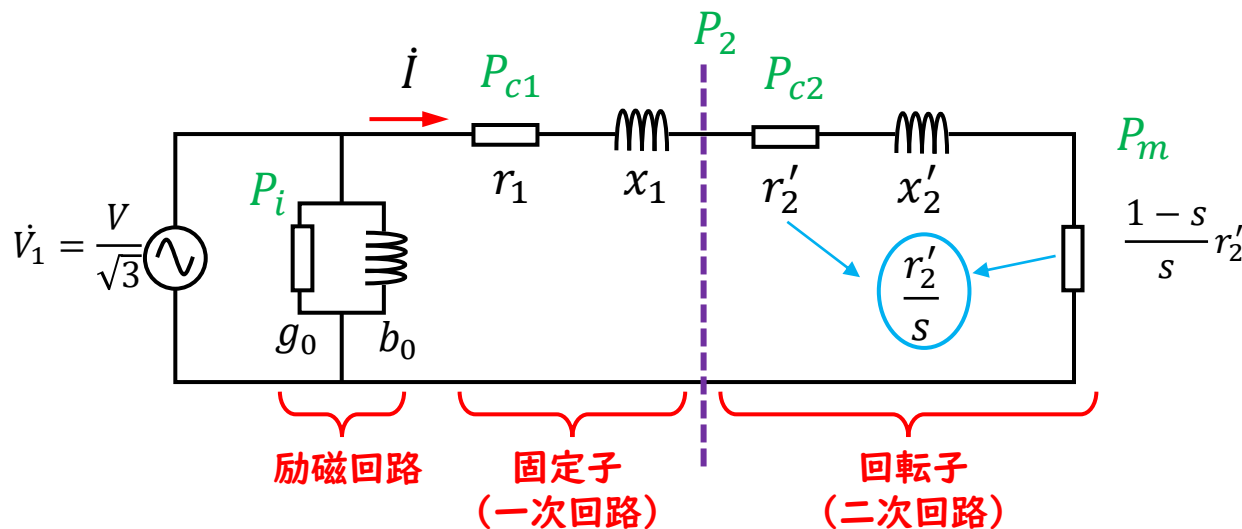
- (1) 75 (2) 77 (3) 79 (4) 82 (5) 85

H24 問4

問4 三相誘導電動機があり、一次巻線抵抗が $15 [\Omega]$ 、一次側に換算した二次巻線抵抗が $9 [\Omega]$ 、滑りが 0.1 のとき、効率 $[\%]$ の値として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、励磁電流は無視できるものとし、損失は、一次巻線による銅損と二次巻線による銅損しか存在しないものとする。

- (1) 75 (2) 77 (3) 79 (4) 82 (5) 85



P_1 : 一次入力

P_i : 入力鉄損

P_{c1} : 一次銅損

P_2 : 二次入力

P_{c2} : 二次銅損

P_m : 機械的出力

$$P_1 = P_i + P_{c1} + P_{c2} + P_m$$

$$P_i = 3g_0V_1^2$$

$$P_{c1} = 3r_1I^2$$

$$P_2 = P_{c2} + P_m = 3\frac{r_2'}{s}I^2$$

$$P_{c2} = 3r_2'I^2$$

$$P_m = 3\frac{1-s}{s}r_2'I^2$$

$$P_2 : P_{c2} : P_m = 1 : s : 1 - s$$

$$N_s = \frac{120f}{p} [\text{min}^{-1}]$$

$$N = (1 - s)N_s$$

$$s = \frac{N_s - N}{N_s}$$

N : 回転子の速度 $[\text{min}^{-1}]$

N_s : 回転磁界の速度
(同期速度) $[\text{min}^{-1}]$

s : すべり

f : 電源周波数 $[\text{Hz}]$

p : 極数

効率

$$\eta = \frac{P_m}{P_m + P_i + P_{c1} + P_{c2}} \times 100 [\%] = \frac{P_m}{P_1} \times 100 [\%]$$

H24 問4

問4 三相誘導電動機があり、一次巻線抵抗が $15 [\Omega]$ 、一次側に換算した二次巻線抵抗が $9 [\Omega]$ 、滑りが 0.1 のとき、効率 $[\%]$ の値として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、励磁電流は無視できるものとし、損失は、一次巻線による銅損と二次巻線による銅損しか存在しないものとする。

- (1) 75 (2) 77 (3) 79 (4) 82 (5) 85

$$P_m = 3 \frac{1-s}{s} r_2' I^2 = 3 \times \frac{1-0.1}{0.1} \times 9 \times I^2 = 243 I^2$$

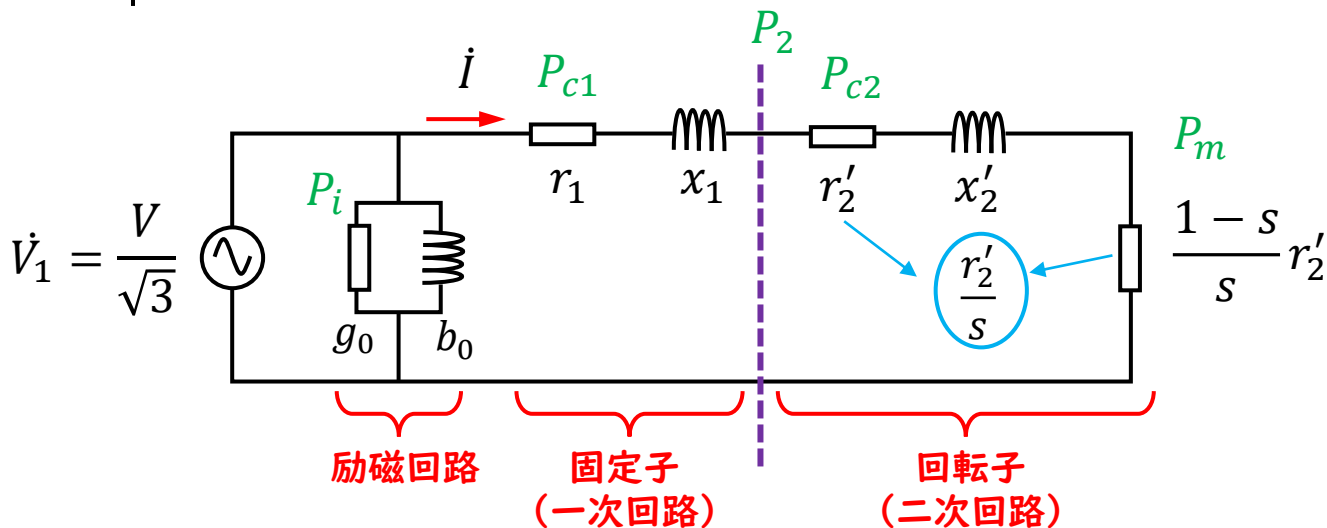
$$P_{2c} = 3 r_2' I^2 = 3 \times 9 \times I^2 = 27 I^2$$

$$P_{1c} = 3 r_1 I^2 = 3 \times 15 \times I^2 = 45 I^2$$

$$\eta = \frac{P_m}{P_m + P_{c1} + P_{c2}} = \frac{243 I^2}{243 I^2 + 45 I^2 + 27 I^2} = \frac{243}{243 + 45 + 27}$$

$$\eta = 0.771 \rightarrow 77.1 \%$$

誘導機の重要公式の導出



$$P_m = \omega T \rightarrow T = \frac{P_m}{\omega} = \frac{(1-s)P_2}{2\pi \frac{N}{60}} = \frac{(1-s)P_2}{(1-s)2\pi \frac{N_s}{60}} = \frac{P_2}{2\pi \frac{N_s}{60}} = \frac{P_2}{\omega_s}$$

$$T = \frac{P_m}{\omega} = \frac{P_2}{\omega_s}$$

$$\omega = 2\pi \frac{N}{60}$$

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

T : 電動機のトルク [N・m]

N : 回転子の速度 [min^{-1}]

N_s : 回転磁界の速度 (同期速度) [min^{-1}]

s : すべり

ω : 回転子の角周波数 [rad/s]

ω_s : 同期角周波数 [rad/s]

f : 電源周波数 [Hz]

p : 極数

$$P_2 = \omega_s T$$

この式を満たすことから二次入力のことを
同期ワットともいう

$$N_s = \frac{120f}{p} [\text{min}^{-1}]$$

$$N = (1-s)N_s$$

$$s = \frac{N_s - N}{N_s}$$

H28 問4



問4 定格周波数 50 Hz, 6 極のかご形三相誘導電動機があり, トルク 200 N・m, 機械出力 20 kW で定格運転している。このときの二次入力 (同期ワット) の値 [kW] として, 最も近いものを次の (1) ~ (5) のうちから一つ選べ。

- (1) 19 (2) 20 (3) 21 (4) 25 (5) 27

H28 問4



問4 定格周波数 50 Hz, 6極のかご形三相誘導電動機があり, トルク 200 N・m, 機械出力 20 kWで定格運転している。このときの二次入力(同期ワット)の値 [kW]として, 最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 19 (2) 20 (3) 21 (4) 25 (5) 27

$$T = \frac{P_m}{\omega} = \frac{P_2}{\omega_s}$$

$$\omega = 2\pi \frac{N}{60}$$

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

$$N_s = \frac{120f}{p} [\text{min}^{-1}]$$

$$N = (1 - s)N_s$$

$$s = \frac{N_s - N}{N_s}$$

T : 電動機のトルク [N・m]

N : 回転子の速度 [min^{-1}]

N_s : 回転磁界の速度
(同期速度) [min^{-1}]

s : すべり

ω : 回転子の角周波数 [rad/s]

ω_s : 同期角周波数 [rad/s]

f : 電源周波数 [Hz]

p : 極数

H28 問4

問4 定格周波数 50 Hz, 6極のかご形三相誘導電動機があり, トルク 200 N・m, 機械出力 20 kWで定格運転している。このときの二次入力(同期ワット)の値 [kW]として, 最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 19 (2) 20 (3) 21 (4) 25 (5) 27

同期速度を求める

$$N_s = \frac{120f}{p} = \frac{120 \times 50}{6} = 1000 \text{ min}^{-1}$$

同期ワットを求める

$$P_2 = \omega_s T = 2\pi \times \frac{1000}{60} \times 200 = 20.9 \text{ kW}$$

H30 問3



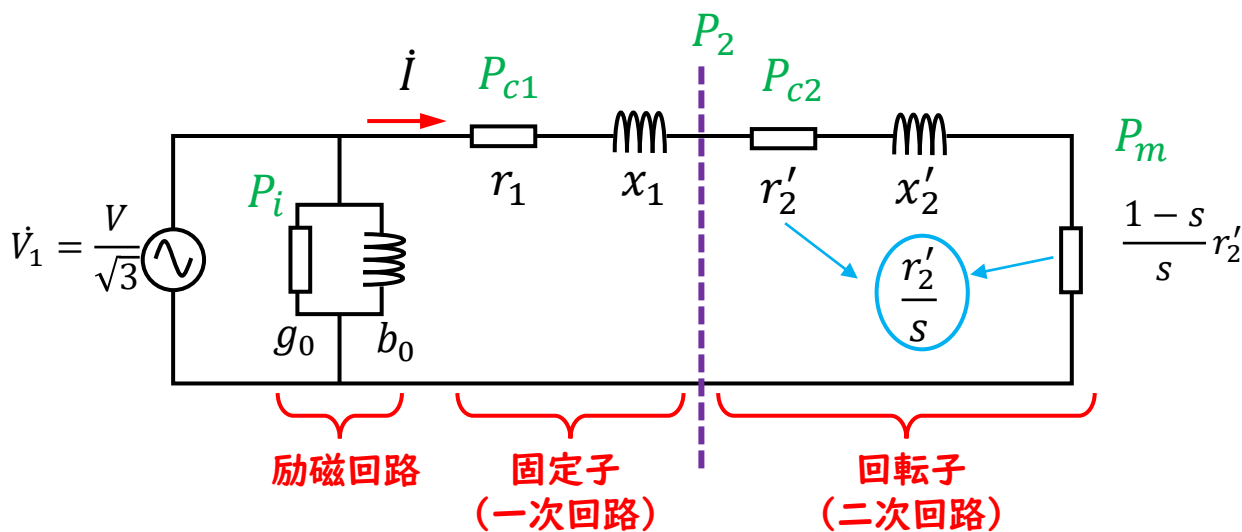
問3 定格出力 11.0 kW, 定格電圧 220 V の三相かご形誘導電動機が定トルク負荷に接続されており, 定格電圧かつ定格負荷において滑り 3.0 % で運転されていたが, 電源電圧が低下し滑りが 6.0 % で一定となった。滑りが一定となったときの負荷トルクは定格電圧のときと同じであった。このとき, 二次電流の値は定格電圧のときの何倍となるか。最も近いものを次の (1) ～ (5) のうちから一つ選べ。ただし, 電源周波数は定格値で一定とする。

- (1) 0.50 (2) 0.97 (3) 1.03 (4) 1.41 (5) 2.00

H30 問3

問3 定格出力 11.0 kW, 定格電圧 220 V の三相かご形誘導電動機が定トルク負荷に接続されており, 定格電圧かつ定格負荷において滑り 3.0 % で運転されていたが, 電源電圧が低下し滑りが 6.0 % で一定となった。滑りが一定となったときの負荷トルクは定格電圧のときと同じであった。このとき, 二次電流の値は定格電圧のときの何倍となるか。最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。ただし, 電源周波数は定格値で一定とする。

- (1) 0.50 (2) 0.97 (3) 1.03 (4) 1.41 (5) 2.00



$$P_2: \text{二次入力} \quad P_2 = P_{c2} + P_m = 3 \frac{r_2'}{s} I^2$$

$$P_{c2}: \text{二次銅損} \quad P_{c2} = 3 r_2' I^2$$

$$P_m: \text{機械的出力} \quad P_m = 3 \frac{1-s}{s} r_2' I^2$$

$$P_2 : P_{c2} : P_m = 1 : s : 1 - s$$

$$T = \frac{P_m}{\omega} = \frac{P_2}{\omega_s}$$

$$\omega = 2\pi \frac{N}{60}$$

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

$$N_s = \frac{120f}{p} \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

$$N = (1-s)N_s$$

$$s = \frac{N_s - N}{N_s}$$

T : 電動機のトルク [N・m]
 N : 回転子の速度 [min⁻¹]
 N_s : 回転磁界の速度 (同期速度) [min⁻¹]
 s : すべり
 ω : 回転子の角周波数 [rad/s]
 ω_s : 同期角周波数 [rad/s]
 f : 電源周波数 [Hz]
 p : 極数

H30 問3

問3 定格出力 11.0 kW, 定格電圧 220 V の三相かご形誘導電動機が定トルク負荷に接続されており, 定格電圧かつ定格負荷において滑り 3.0 % で運転されていたが, 電源電圧が低下し滑りが 6.0 % で一定となった。滑りが一定となったときの負荷トルクは定格電圧のときと同じであった。このとき, 二次電流の値は定格電圧のときの何倍となるか。最も近いものを次の (1) ~ (5) のうちから一つ選べ。ただし, 電源周波数は定格値で一定とする。

- (1) 0.50 (2) 0.97 (3) 1.03 (4) 1.41 (5) 2.00

$$P_2 = 3 \frac{r'_2}{s} I_2^2$$

$$T = \frac{P_2}{\omega_s} = \frac{1}{\omega_s} \times 3 \frac{r'_2}{s} I_2^2$$

$$\frac{1}{\omega_s} \times 3 \frac{r'_2}{s} I_2^2 = \frac{1}{\omega_s} \times 3 \frac{r'_2}{s'} I_2'^2 \rightarrow \frac{1}{s} I_2^2 = \frac{1}{s'} I_2'^2 \rightarrow \frac{I_2'}{I_2} = \sqrt{\frac{s'}{s}}$$

$$\frac{I_2'}{I_2} = \sqrt{\frac{0.06}{0.03}} = \sqrt{2} = 1.41$$

R02 問15



問 15 定格出力 45 kW，定格周波数 60 Hz，極数 4，定格運転時の滑りが 0.02 である三相誘導電動機について，次の(a)及び(b)の問に答えよ。

(a) この誘導電動機の定格運転時の二次入力(同期ワット)の値[kW]として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 43 (2) 44 (3) 45 (4) 46 (5) 47

(b) この誘導電動機を，電源周波数 50 Hz において，60 Hz 運転時の定格出力トルクと同じ出力トルクで連続して運転する。この 50 Hz での運転において，滑りが 50 Hz を基準として 0.05 であるときの誘導電動機の出力の値[kW]として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 36 (2) 38 (3) 45 (4) 54 (5) 56

R02 問15



問 15 定格出力 45 kW，定格周波数 60 Hz，極数 4，定格運転時の滑りが 0.02 である三相誘導電動機について，次の(a)及び(b)の問に答えよ。

(a) この誘導電動機の定格運転時の二次入力(同期ワット)の値[kW]として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 43 (2) 44 (3) 45 (4) 46 (5) 47

(b) この誘導電動機を，電源周波数 50 Hz において，60 Hz 運転時の定格出力トルクと同じ出力トルクで連続して運転する。この 50 Hz での運転において，滑りが 50 Hz を基準として 0.05 であるときの誘導電動機の出力の値[kW]として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 36 (2) 38 (3) 45 (4) 54 (5) 56

$$P_2: \text{二次入力} \quad P_2 = P_{c2} + P_m = 3 \frac{r_2'}{s} I^2$$

$$P_{c2}: \text{二次銅損} \quad P_{c2} = 3 r_2' I^2$$

$$P_m: \text{機械的出力} \quad P_m = 3 \frac{1-s}{s} r_2' I^2$$

$$P_2 : P_{c2} : P_m = 1 : s : 1 - s$$

$$T = \frac{P_m}{\omega} = \frac{P_2}{\omega_s}$$

$$\omega = 2\pi \frac{N}{60}$$

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

$$N_s = \frac{120f}{p} [\text{min}^{-1}]$$

$$N = (1 - s)N_s$$

$$s = \frac{N_s - N}{N_s}$$

T : 電動機のトルク [N・m]

N : 回転子の速度 [min^{-1}]

N_s : 回転磁界の速度

(同期速度) [min^{-1}]

s : すべり

ω : 回転子の角周波数 [rad/s]

ω_s : 同期角周波数 [rad/s]

f : 電源周波数 [Hz]

p : 極数

R02 問15



問 15 定格出力 45 kW，定格周波数 60 Hz，極数 4，定格運転時の滑りが 0.02 である三相誘導電動機について，次の(a)及び(b)の問に答えよ。

(a) この誘導電動機の定格運転時の二次入力(同期ワット)の値[kW]として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 43 (2) 44 (3) 45 (4) 46 (5) 47

(b) この誘導電動機を，電源周波数 50 Hz において，60 Hz 運転時の定格出力トルクと同じ出力トルクで連続して運転する。この 50 Hz での運転において，滑りが 50 Hz を基準として 0.05 であるときの誘導電動機の出力の値[kW]として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 36 (2) 38 (3) 45 (4) 54 (5) 56

$$P_2 : P_{2c} : P_m = 1 : s : 1 - s$$

$$P_2 = \frac{P_m}{1 - s} = \frac{45}{1 - 0.02} = \frac{45}{0.98} = 45.9 \text{ kW}$$

$$T = \frac{P_m}{\omega} = \frac{P_m}{2\pi \frac{(1-s)N_s}{60}} = \frac{P_m}{2\pi(1-s) \frac{120f}{p} \frac{1}{60}} = \frac{p}{4\pi f(1-s)} P_m$$

$$\frac{p}{4\pi \times 60 \times (1-s)} P_m = \frac{p}{4\pi \times 50 \times (1-s')} P'_m$$

$$\frac{1}{60 \times (1-s)} P_m = \frac{1}{50 \times (1-s')} P'_m \rightarrow P'_m = \frac{50 \times (1-s')}{60 \times (1-s)} P_m$$

$$P'_m = \frac{50 \times (1 - 0.05)}{60 \times (1 - 0.02)} \times 45 = 36.4 \text{ kW}$$

H26 問4

問4 一般的な三相かご形誘導電動機がある。

出力が大きい定格運転条件では，誘導機の等価回路の電流は，「二次電流」励磁電流」であるから，励磁回路を省略しても特性をほぼ表現できる。さらに，「二次抵抗による電圧降下」その他の電圧降下」となるので，一次抵抗と漏れリアクタンスを省略しても，おおよその特性を検討できる。

このような電動機でトルク一定負荷の場合に，電流 100 A の定格運転から電源電圧と周波数を共に 10 % 下げて回転速度を少し下げた。このときの電動機の電流の値 [A] として，最も近いものを次の (1) ～ (5) のうちから一つ選べ。

- (1) 80 (2) 90 (3) 100 (4) 110 (5) 120

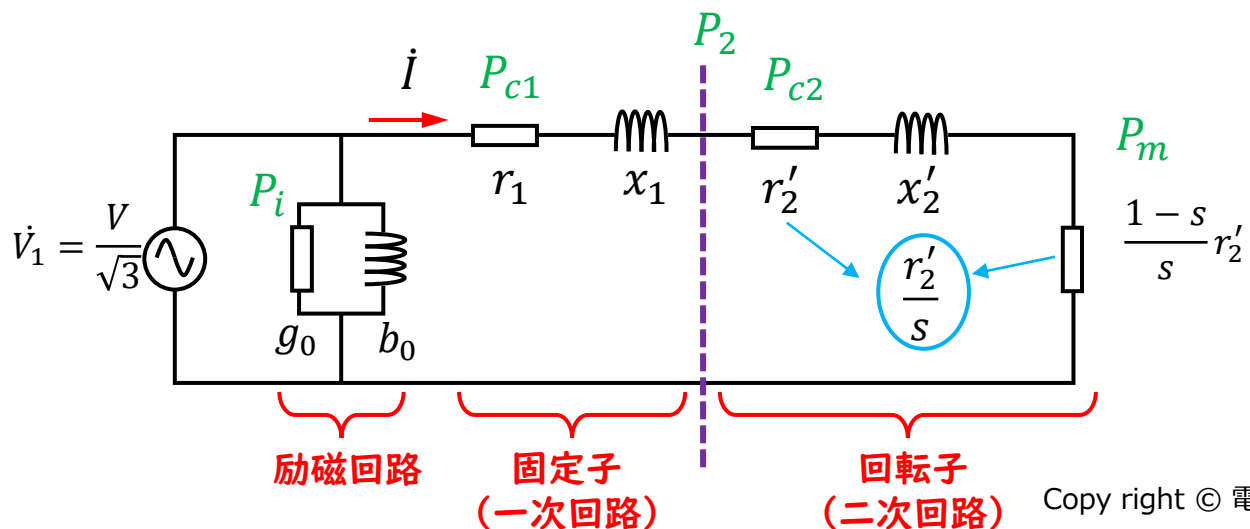
H26 問4

問4 一般的な三相かご形誘導電動機がある。

出力が大きい定格運転条件では、誘導機の等価回路の電流は、「二次電流」励磁電流」であるから、励磁回路を省略しても特性をほぼ表現できる。さらに、「二次抵抗による電圧降下」その他の電圧降下」となるので、一次抵抗と漏れリアクタンスを省略しても、おおよその特性を検討できる。

このような電動機でトルク一定負荷の場合に、電流 100 A の定格運転から電源電圧と周波数を共に 10 % 下げて回転速度を少し下げた。このときの電動機の電流の値 [A] として、最も近いものを次の (1) ~ (5) のうちから一つ選べ。

- (1) 80 (2) 90 (3) 100 (4) 110 (5) 120



$$P_2: \text{二次入力} \quad P_2 = P_{c2} + P_m = 3 \frac{r_2'}{s} I^2$$

$$P_{c2}: \text{二次銅損} \quad P_{c2} = 3 r_2' I^2$$

$$P_m: \text{機械的出力} \quad P_m = 3 \frac{1-s}{s} r_2' I^2$$

$$P_2 : P_{c2} : P_m = 1 : s : 1 - s$$

$$T = \frac{P_m}{\omega} = \frac{P_2}{\omega_s}$$

$$\omega = 2\pi \frac{N}{60}$$

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

$$N_s = \frac{120f}{p} [\text{min}^{-1}]$$

$$N = (1-s)N_s$$

$$s = \frac{N - N_s}{N_s}$$

T : 電動機のトルク [N・m]

N : 回転子の速度 [min^{-1}]

N_s : 回転磁界の速度

(同期速度) [min^{-1}]

s : すべり

ω : 回転子の角周波数 [rad/s]

ω_s : 同期角周波数 [rad/s]

f : 電源周波数 [Hz]

p : 極数

H26 問4

問4 一般的な三相かご形誘導電動機がある。

出力が大きい定格運転条件では、誘導機の等価回路の電流は、「二次電流」励磁電流」であるから、励磁回路を省略しても特性をほぼ表現できる。さらに、「二次抵抗による電圧降下」その他の電圧降下」となるので、一次抵抗と漏れリアクタンスを省略しても、およそその特性を検討できる。

このような電動機でトルク一定負荷の場合に、電流 100 A の定格運転から電源電圧と周波数を共に 10 % 下げて回転速度を少し下げた。このときの電動機の電流の値 [A] として、最も近いものを次の (1) ～ (5) のうちから一つ選べ。

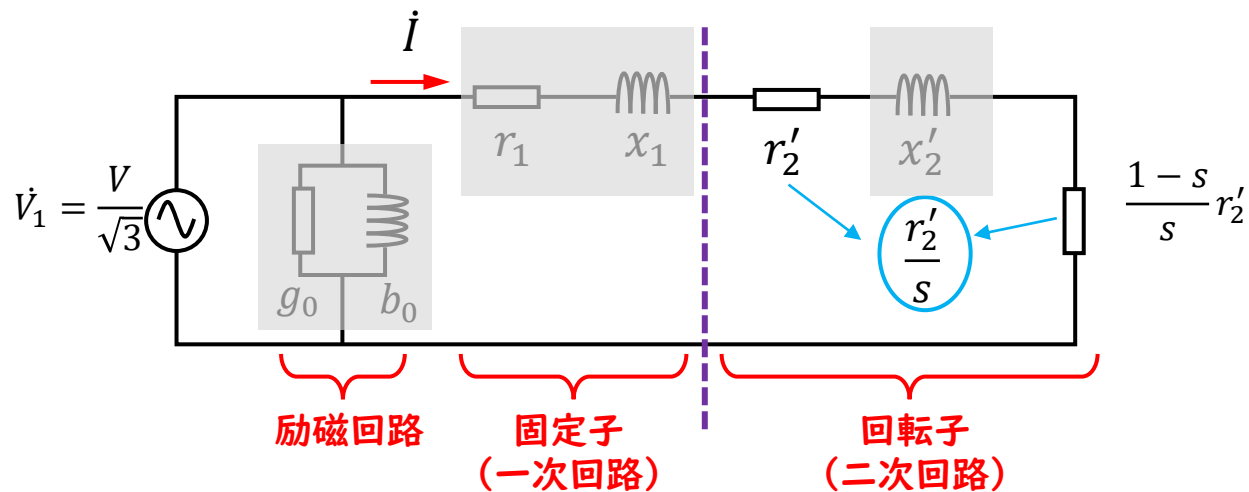
- (1) 80 (2) 90 (3) 100 (4) 110 (5) 120

$$T = \frac{P_2}{\omega_s} = \frac{\sqrt{3}VI}{\omega_s} = \frac{\sqrt{3}V'I'}{\omega_s'}$$

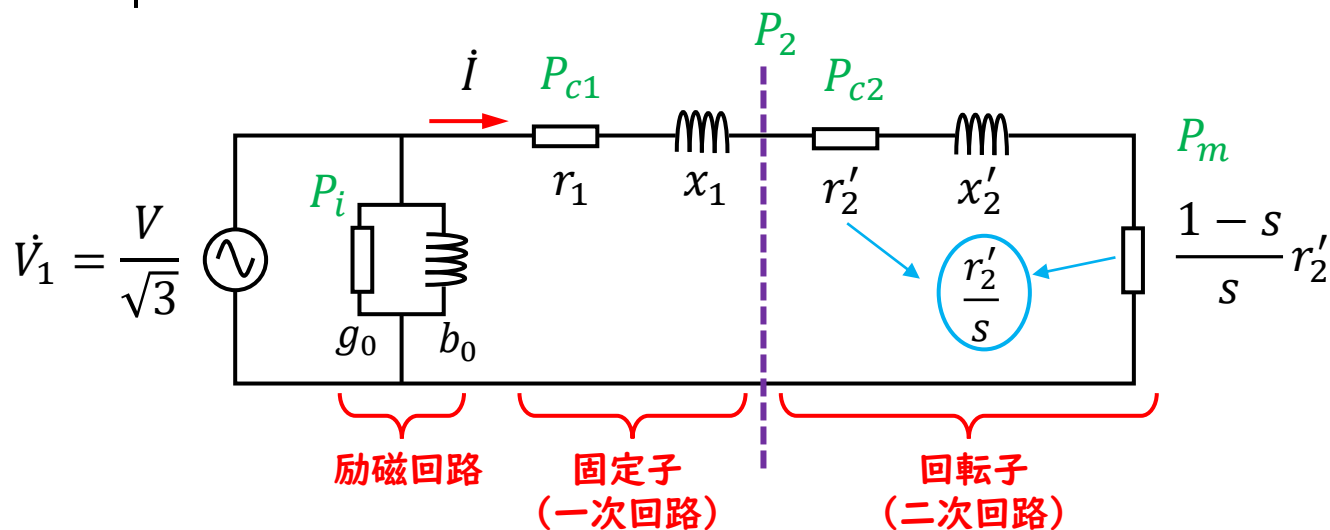
$$\omega_s' = 0.9 \times \omega_s$$

$$V' = 0.9 \times V$$

$$\frac{\sqrt{3}V'I'}{\omega_s'} = \frac{\sqrt{3} \times 0.9 \times V \times I'}{0.9 \times \omega_s} = \frac{\sqrt{3}V \times I'}{\omega_s} = \frac{\sqrt{3}VI}{\omega_s} \rightarrow I' = I = 100 \text{ A}$$



誘導機の重要公式まとめ



効率

$$\eta = \frac{P_m}{P_m + P_i + P_{c1} + P_{c2}} \times 100 [\%] = \frac{P_m}{P_1} \times 100 [\%]$$

P_1 : 一次入力

P_i : 入力鉄損

P_{c1} : 一次銅損

P_2 : 二次入力

P_{c2} : 二次銅損

P_m : 機械的出力

$$P_1 = P_i + P_{c1} + P_{c2} + P_m$$

$$P_i = 3g_0 V_1^2$$

$$P_{c1} = 3r_1 I^2$$

$$P_2 = P_{c2} + P_m = 3 \frac{r_2'}{s} I^2$$

$$P_{c2} = 3r_2' I^2$$

$$P_m = 3 \frac{1-s}{s} r_2' I^2$$

$$P_2 : P_{c2} : P_m = 1 : s : 1 - s$$

$$T = \frac{P_m}{\omega} = \frac{P_2}{\omega_s}$$

$$\omega = 2\pi \frac{N}{60}$$

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

$$N_s = \frac{120f}{p} [\text{min}^{-1}]$$

$$N = (1-s)N_s$$

$$s = \frac{N_s - N}{N_s}$$

T : 電動機のトルク [N・m]

N : 回転子の速度 [min⁻¹]

N_s : 回転磁界の速度

(同期速度) [min⁻¹]

s : すべり

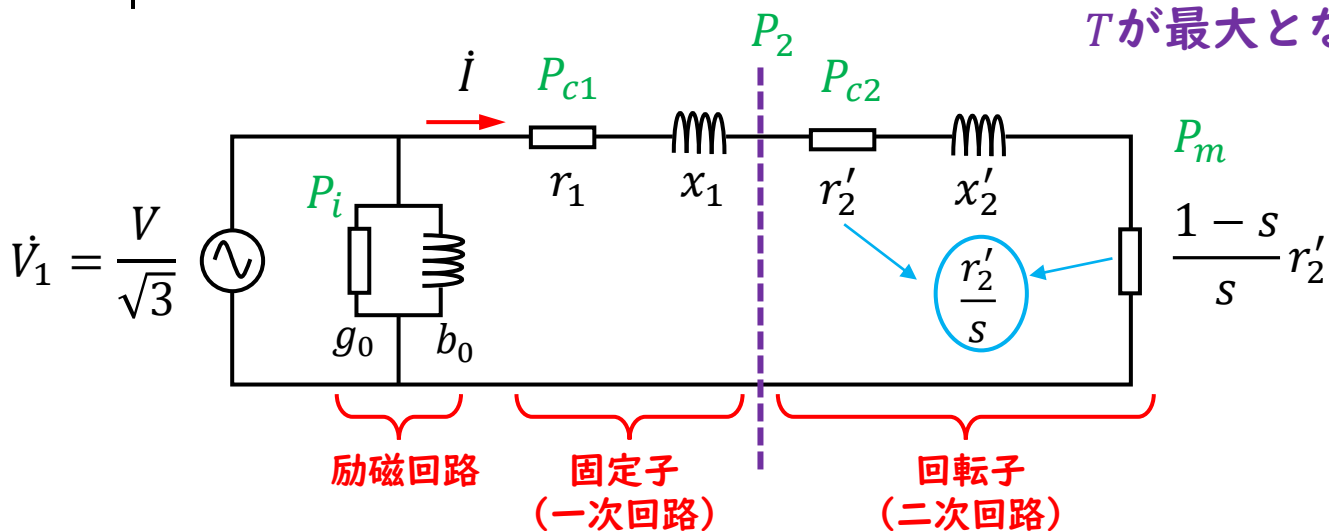
ω : 回転子の角周波数 [rad/s]

ω_s : 同期角周波数 [rad/s]

f : 電源周波数 [Hz]

p : 極数

すべりとトルク



T が最大となる s は

$$I = \frac{V_1}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2}}$$

$$T = \frac{P_2}{\omega_s} = \frac{1}{\omega_s} \left(3 \frac{r_2'}{s} I^2 \right) = \frac{3}{\omega_s} \frac{\frac{r_2'}{s} V_1^2}{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2}$$

$$\frac{dT}{ds} = \frac{3}{\omega_s} r_2' V_1^2 \frac{d}{ds} \frac{\frac{1}{s}}{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2}$$

$$= \frac{3}{\omega_s} r_2' V_1^2 \frac{d}{ds} \frac{1}{s \left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + s(x_1 + x_2')^2}$$

$$\frac{dT}{ds} = 0 \rightarrow \frac{d}{ds} \left\{ s \left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + s(x_1 + x_2')^2 \right\} = 0$$

$$\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + 2s \left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right) \left(-\frac{r_2'}{s^2}\right) + (x_1 + x_2')^2 = 0$$

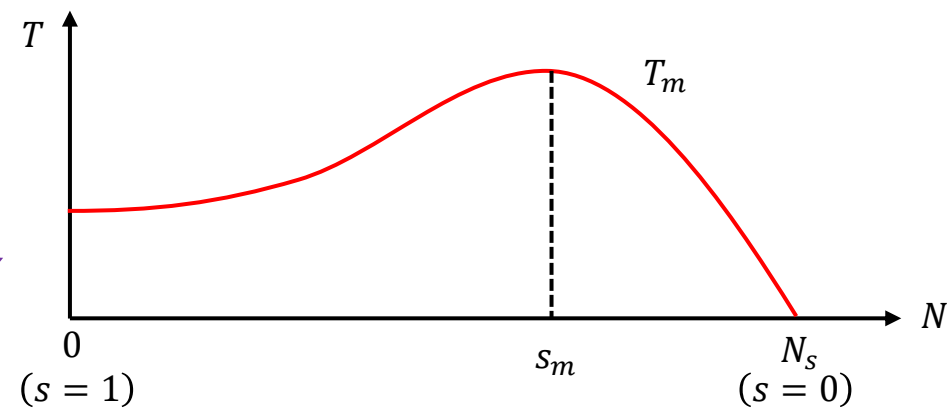
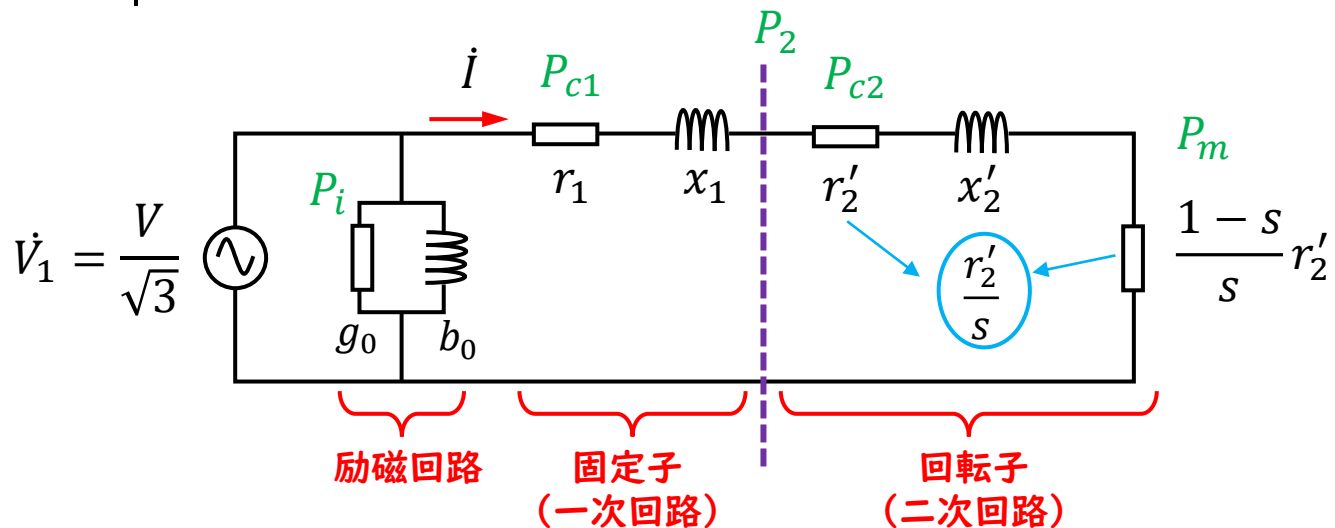
$$\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 - 2 \frac{r_2'}{s} \left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right) + (x_1 + x_2')^2 = 0$$

$$r_1^2 + 2 \frac{r_1 r_2'}{s} + \frac{r_2'^2}{s^2} - 2 \frac{r_1 r_2'}{s} - 2 \frac{r_2'^2}{s^2} + (x_1 + x_2')^2 = 0$$

$$r_1^2 - \frac{r_2'^2}{s^2} + (x_1 + x_2')^2 = 0$$

$$\frac{r_2'^2}{s^2} = r_1^2 + (x_1 + x_2')^2 \rightarrow s_m = \frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2}}$$

すべりとトルク



滑り s とトルク T
の関係のグラフ

$$I = \frac{V_1}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2}}$$

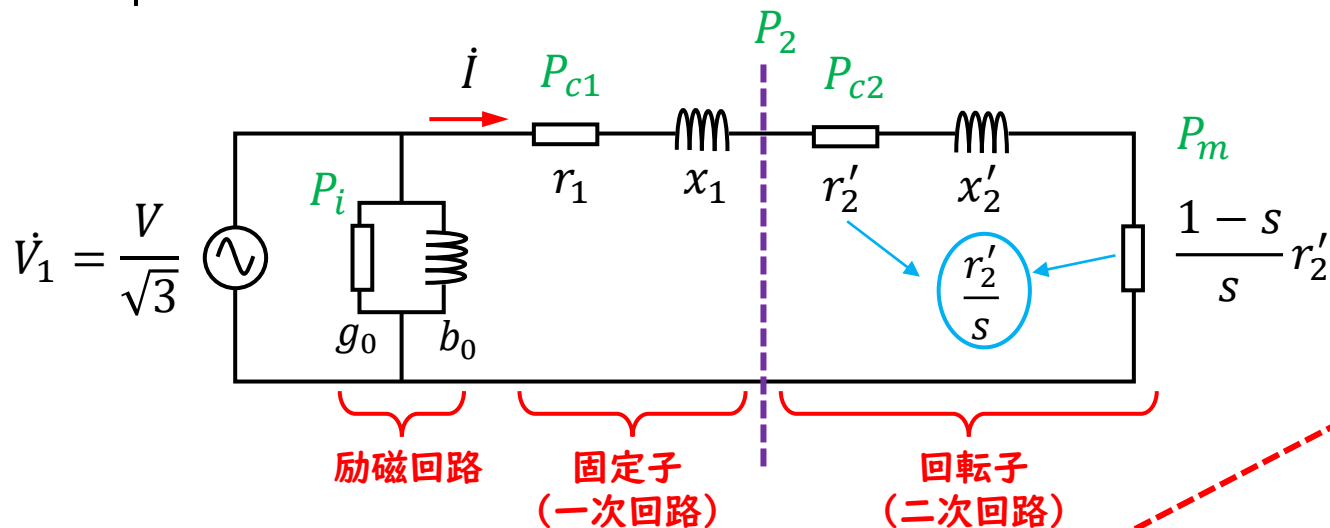
$$T = \frac{P_2}{\omega_s} = \frac{1}{\omega_s} \left(3 \frac{r_2'}{s} I^2 \right) = \frac{3}{\omega_s} \frac{\frac{r_2'}{s} V_1^2}{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2}$$

トルク T は電圧の2乗に比例する
電圧が2倍→トルクは4倍
電圧が半分→トルクは4分の1

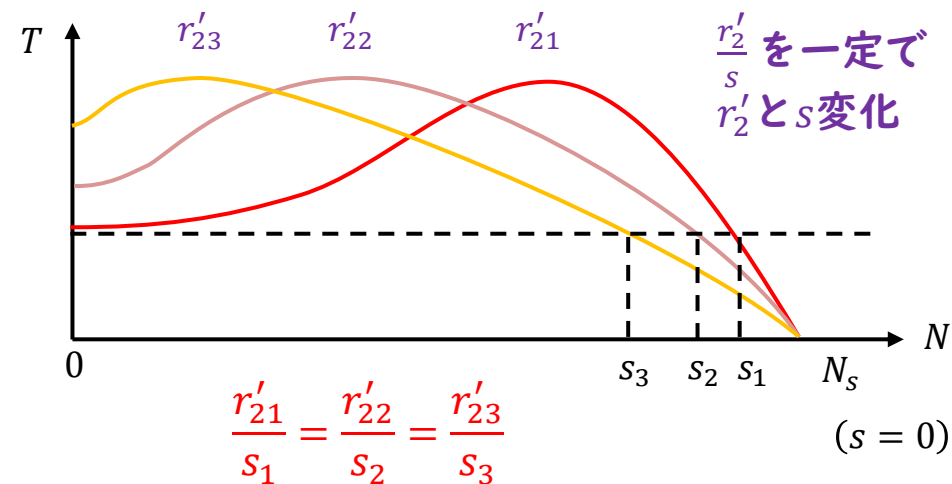
T が最大となる s は

$$s_m = \frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2}}$$

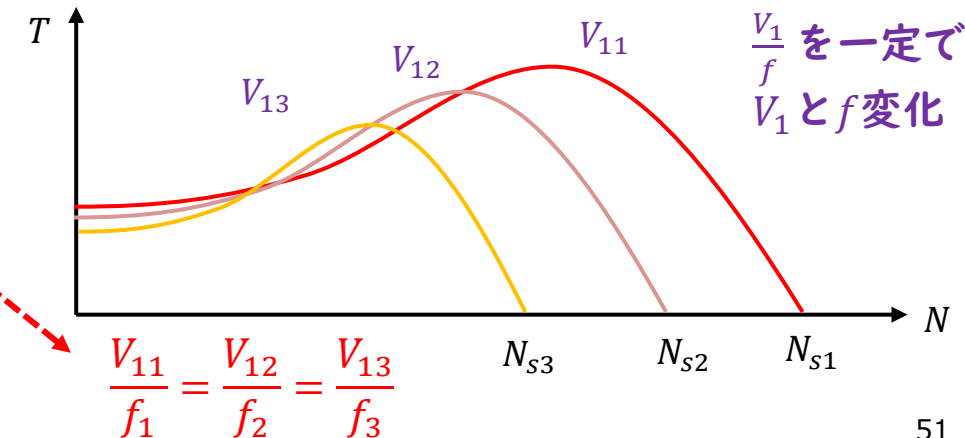
すべりとトルク



比例推移



V/f 制御



$$I = \frac{V_1}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2}}$$

$$T = \frac{P_2}{\omega_s} = \frac{1}{\omega_s} \left(3 \frac{r_2'}{s} I^2 \right) = \frac{3}{\omega_s} \frac{\left(\frac{r_2'}{s} \right) V_1^2}{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 + (x_1 + x_2')^2} = \frac{3}{2\pi \frac{1}{60} \frac{120}{p}} \frac{\frac{r_2'}{s} \left(\frac{V_1^2}{f} \right)}{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 + (x_1 + x_2')^2}$$

Tが最大となるsは

$$s_m = \frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2}}$$

H24 問3



問3 誘導電動機に関する記述として、誤っているものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、誘導電動機の滑りを s とする。

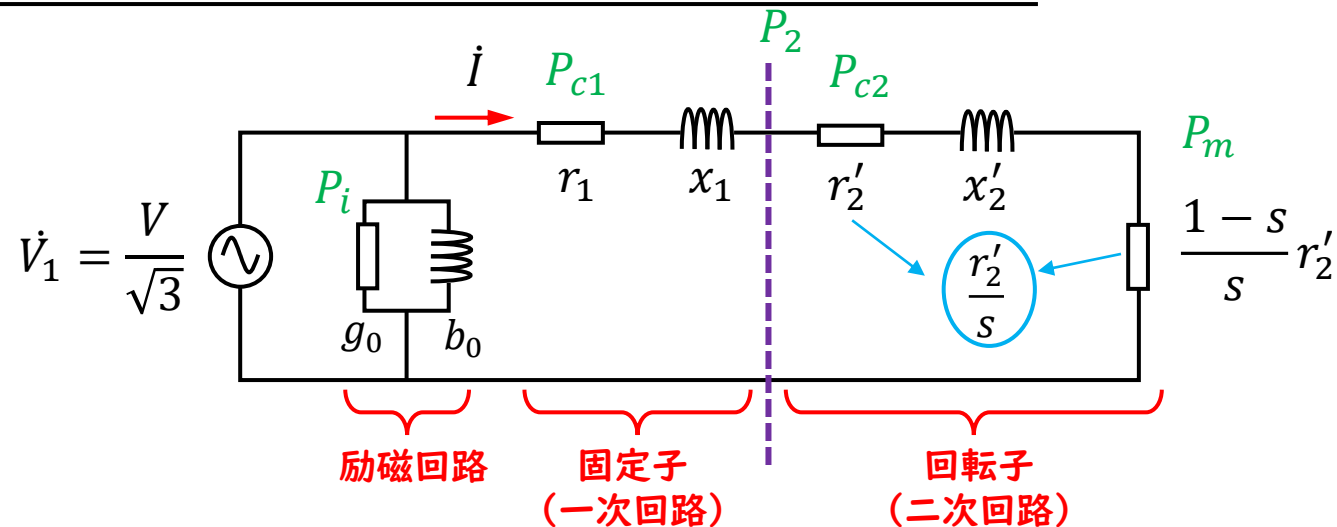
- (1) 誘導電動機の一次回路には同期速度の回転磁界、二次回路には同期速度の s 倍の回転磁界が加わる。したがって、一次回路と二次回路の巻数比を1とした場合、二次誘導起電力の周波数及び電圧は一次誘導起電力の s 倍になる。
- (2) s が小さくなると、二次誘導起電力の周波数及び電圧が小さくなるので、二次回路に流れる電流が小さくなる。この変化を電気回路に表現するため、誘導電動機の等価回路では、二次回路の抵抗の値を $\frac{1}{s}$ 倍にして表現する。
- (3) 誘導電動機の等価回路では、一次巻線の漏れリアクタンス、一次巻線の抵抗、二次巻線の漏れリアクタンス、二次巻線の抵抗、及び電動機出力を示す抵抗が直列回路で表されるので、電動機の力率は1にはならない。
- (4) 誘導電動機の等価回路を構成するリアクタンス値及び抵抗値は、電圧が変化しても s が一定ならば変わらない。 s 一定で駆動電圧を半分にすれば、等価回路に流れる電流が半分になり、電動機トルクは半分になる。
- (5) 同期速度と電動機トルクとで計算される同期ワット(二次入力)は、二次銅損と電動機出力との和となる。

H24 問3

問3 誘導電動機に関する記述として、誤っているものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、誘導電動機の滑りを s とする。

- (1) 誘導電動機の一次回路には同期速度の回転磁界、二次回路には同期速度の s 倍の回転磁界が加わる。したがって、一次回路と二次回路の巻数比を 1 とした場合、二次誘導起電力の周波数及び電圧は一次誘導起電力の s 倍になる。
- (2) s が小さくなると、二次誘導起電力の周波数及び電圧が小さくなるので、二次回路に流れる電流が小さくなる。この変化を電気回路に表現するため、誘導電動機の等価回路では、二次回路の抵抗の値を $\frac{1}{s}$ 倍にして表現する。
- (3) 誘導電動機の等価回路では、一次巻線の漏れリアクタンス、一次巻線の抵抗、二次巻線の漏れリアクタンス、二次巻線の抵抗、及び電動機出力を示す抵抗が直列回路で表されるので、電動機の力率は 1 にはならない。
- (4) 誘導電動機の等価回路を構成するリアクタンス値及び抵抗値は、電圧が変化しても s が一定ならば変わらない。 s 一定で駆動電圧を半分にすれば、等価回路に流れる電流が半分にになり、電動機トルクは半分にになる。**
- (5) 同期速度と電動機トルクとで計算される同期ワット(二次入力)は、二次銅損と電動機出力との和となる。



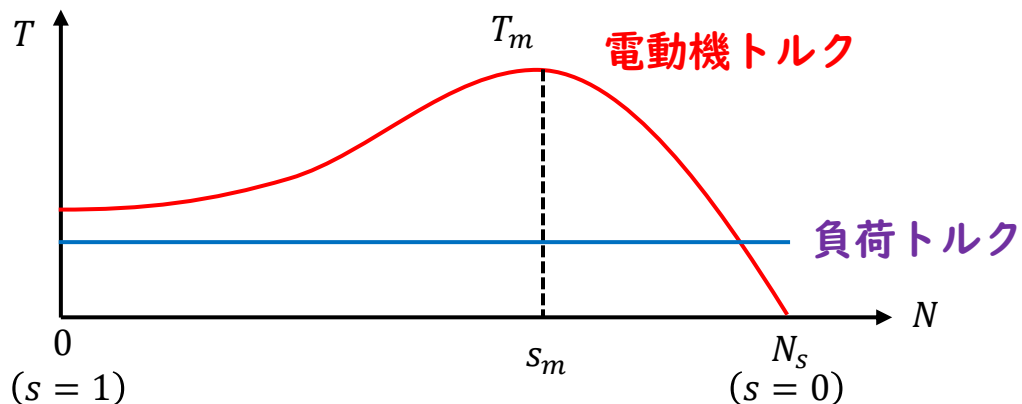
$$I = \frac{V_1}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2}}$$

$$T = \frac{P_2}{\omega_s} = \frac{1}{\omega_s} \left(3 \frac{r_2'}{s} I^2 \right) = \frac{3}{\omega_s} \frac{\frac{r_2'}{s} V_1^2}{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2}$$

トルクは電圧（又は電流）の二乗に比例するため、電圧が半分になると、トルクは4分の1になる。

トルク

電動機トルクと負荷トルク

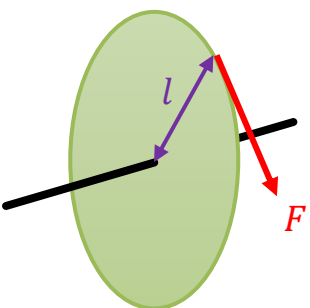


電動機トルク > 負荷トルク
→ 負荷が軽いため、回転速度が上昇する

電動機トルク < 負荷トルク
→ 負荷が重いため、回転速度が減少する
(始動時であれば、回転しない)

電動機トルク = 負荷トルク
→ 定速で回転する

トルクとは『回転に必要な力』



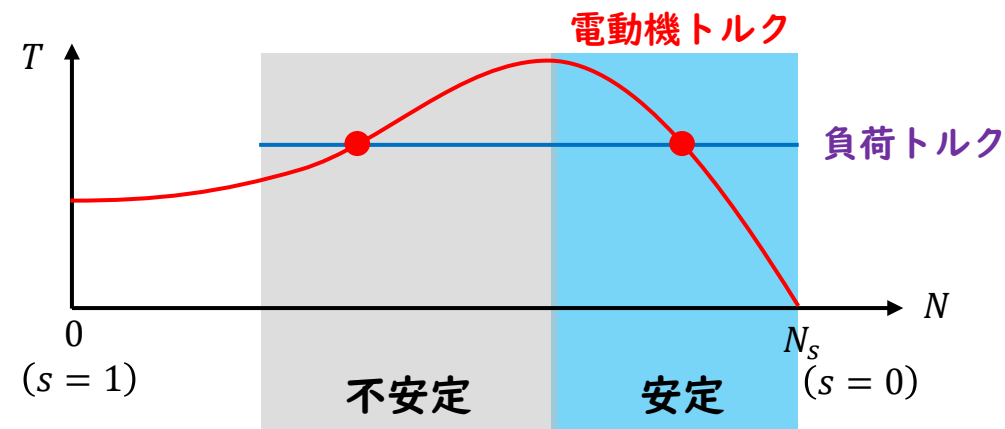
$$T = F \cdot l \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

力と回転対象の回転軸から長さで
トルク（回転に必要な力）が決まる

電動機トルク：回転子を回そうとする力

負荷トルク：回転時に電動機が感じる重さ

(電験三種では回転速度によらず一定)



回転速度が上がる
電動機トルク > 負荷トルクとなり
速度が上昇し続ける (暴走)

回転速度が下がる
電動機トルク < 負荷トルクとなり
速度が減少し続ける (停止)

回転速度が上がる
電動機トルク < 負荷トルクとなり
速度が下がる (元に戻る)

回転速度が下がる
電動機トルク > 負荷トルクとなり
速度が上がる (元に戻る)

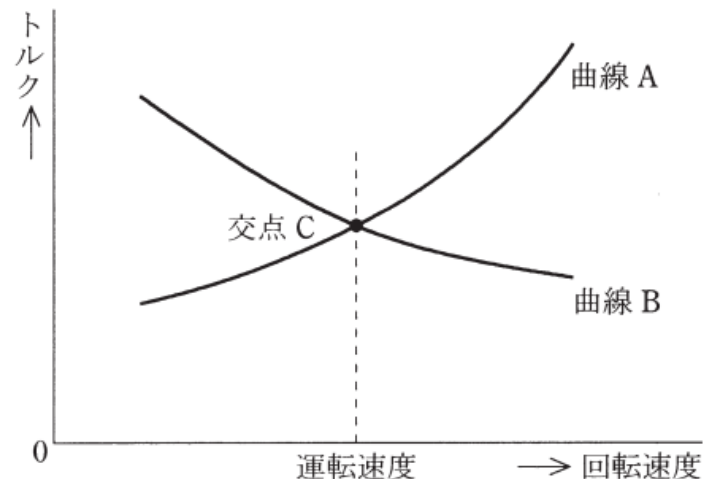
H24 問5

問5 次の文章は、電動機と負荷のトルク特性の関係について述べたものである。

横軸が回転速度、縦軸がトルクを示す図において2本の曲線A、Bは、一方が電動機トルク特性、他方が負荷トルク特性を示している。

いま、曲線Aが (ア) 特性、曲線Bが (イ) 特性のときは、2本の曲線の交点Cは不安定な運転点である。これは、何らかの原因で電動機の回転速度がこの点から下降すると、電動機トルクと負荷トルクとの差により電動機が (ウ) されるためである。具体的に、電動機が誘導電動機であり、回転速度に対してトルクが変化しない定トルク特性の負荷のトルクの大きさが、誘導電動機の始動トルクと最大トルクとの間にある場合を考える。このとき、電動機トルクと負荷トルクとの交点は、回転速度零と最大トルクの回転速度との間、及び最大トルクの回転速度と同期速度との間の2箇所にある。交点Cは、 (エ) との間の交点に相当する。

上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)及び(エ)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)
(1)	電動機トルク	負荷トルク	減速	回転速度零と最大トルクの回転速度
(2)	電動機トルク	負荷トルク	減速	最大トルクの回転速度と同期速度
(3)	負荷トルク	電動機トルク	減速	回転速度零と最大トルクの回転速度
(4)	負荷トルク	電動機トルク	加速	回転速度零と最大トルクの回転速度
(5)	負荷トルク	電動機トルク	加速	最大トルクの回転速度と同期速度

H24 問5

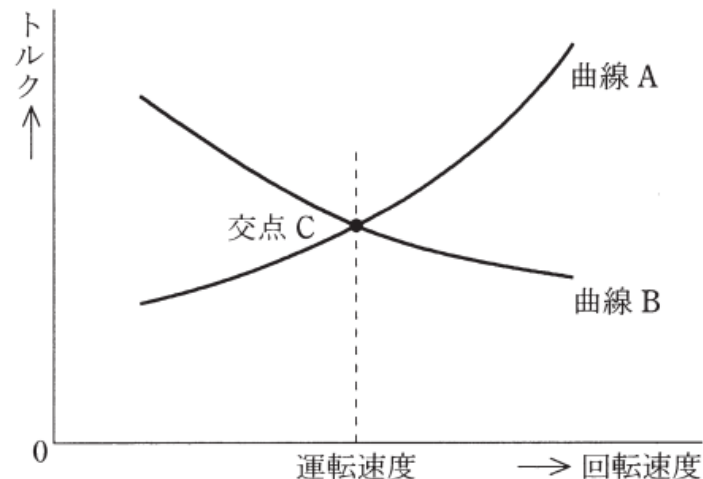
問5 次の文章は、電動機と負荷のトルク特性の関係について述べたものである。

横軸が回転速度、縦軸がトルクを示す図において2本の曲線A、Bは、一方が電動機トルク特性、他方が負荷トルク特性を示している。

いま、曲線Aが(ア)特性、曲線Bが(イ)特性のときは、2本の曲線の交点Cは不安定な運転点である。これは、何らかの原因で電動機の回転速度がこの点から下降すると、電動機トルクと負荷トルクとの差により電動機が(ウ)されるためである。具体的に、電動機が誘導電動機であり、回転速度に対してトルクが変化しない定トルク特性の負荷のトルクの大きさが、誘導電動機の始動トルクと最大トルクとの間にある場合を考える。このとき、電動機トルクと負荷トルクとの交点は、回転速度零と最大トルクの回転速度との間、及び最大トルクの回転速度と同期速度との間の2箇所にある。交点Cは、(エ)との間の交点に相当する。

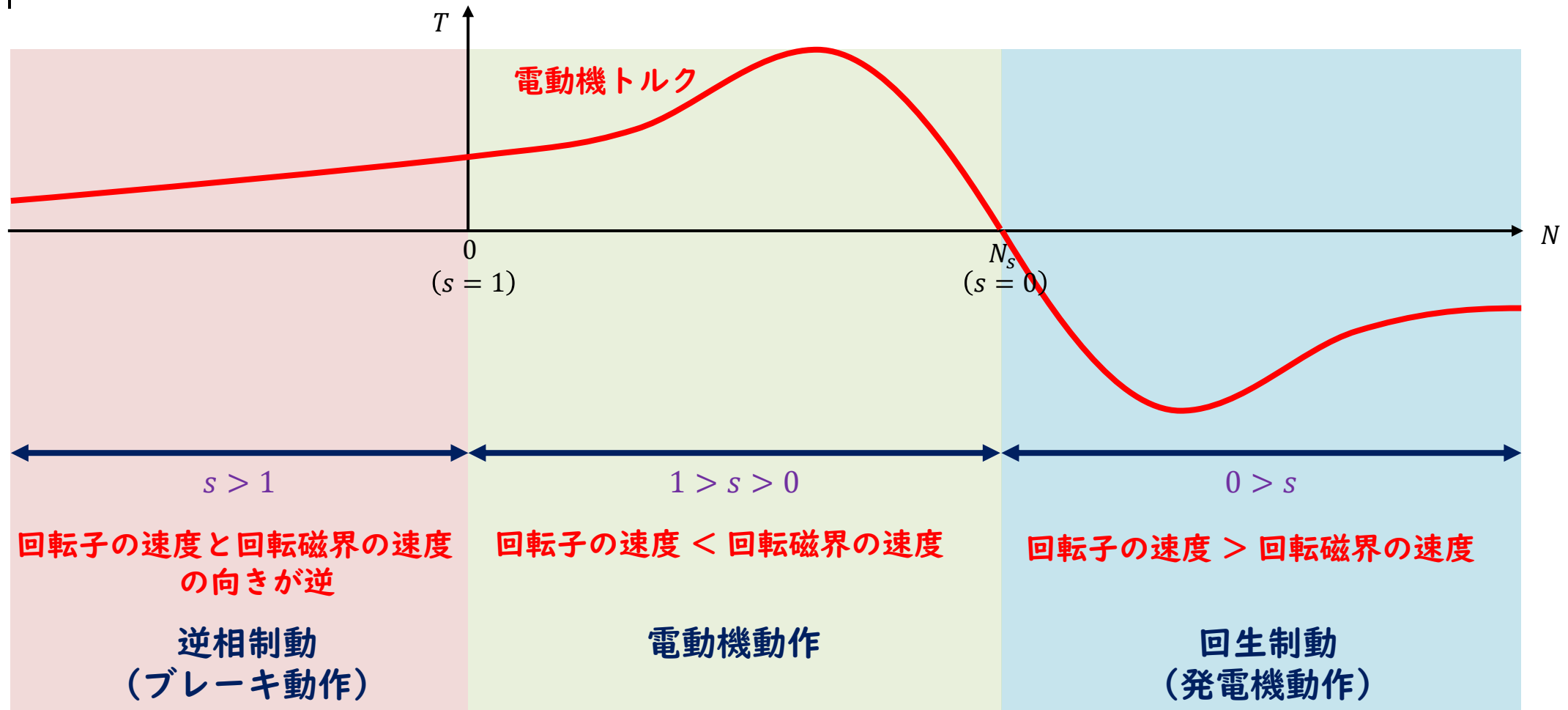
回転速度零と最大トルクの回転速度

上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)及び(エ)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)
(1)	電動機トルク	負荷トルク	減速	回転速度零と最大トルクの回転速度
(2)	電動機トルク	負荷トルク	減速	最大トルクの回転速度と同期速度
(3)	負荷トルク	電動機トルク	減速	回転速度零と最大トルクの回転速度
(4)	負荷トルク	電動機トルク	加速	回転速度零と最大トルクの回転速度
(5)	負荷トルク	電動機トルク	加速	最大トルクの回転速度と同期速度

すべりとトルク その2



$$s = 1.5$$

$$N = (1 - s)N_s \rightarrow N = -0.5N_s$$

→ N と N_s の向きが逆

$$s = 0.5$$

$$N = (1 - s)N_s \rightarrow N = 0.5N_s$$

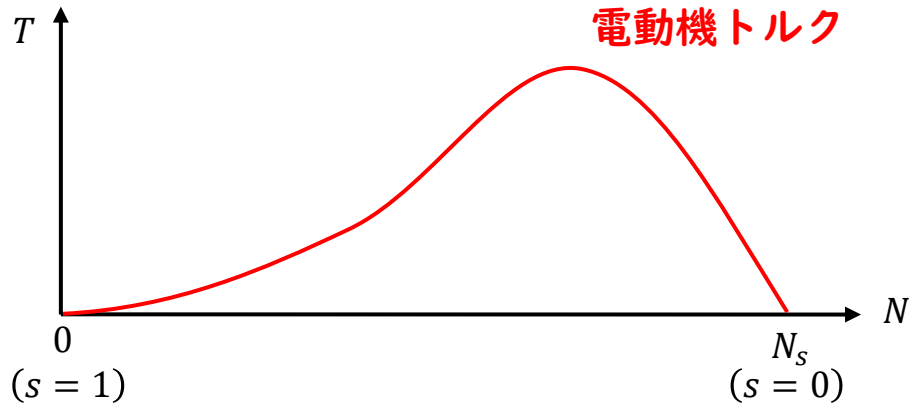
→ $N < N_s$

$$s = -0.1$$

$$N = (1 - s)N_s \rightarrow N = 1.1N_s$$

→ $N > N_s$

単相交流（交番磁界）とトルク



単相交流を動力とする単相誘導電動機は
回転磁界ではなく交番磁界により回転子を
回転させる

交番磁界は静止時のトルクが零なので、
始動トルクを供給する工夫が必要となる

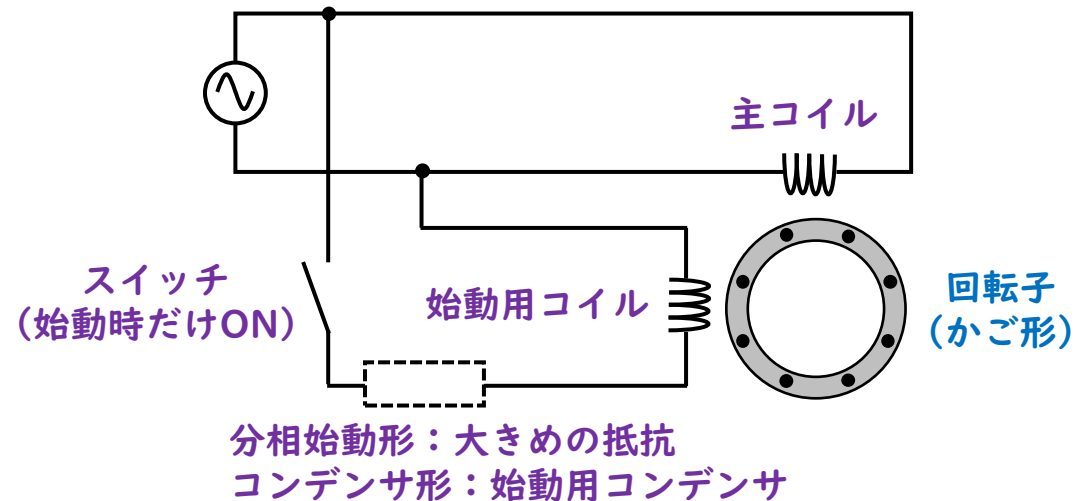
単相交流に対して逆相と正相の2つの2つの
交流磁界を作ることができる

実用例
扇風機、換気扇、洗濯機など

単相交流に対して逆相と正相の2つの2つの交流磁界を
作ることができる

始動時に2つの磁界の位相をずらすことで始動トルクを
得ることができる

- ・分相始動形：始動時に逆相の始動コイルを入れる
- ・コンデンサ形：始動時に始動コイル+コンデンサを入れる



その他の方法として磁界を歪ませることで始動トルクを得る

- ・くま取りコイル形

H29 問3

問3 次の文章は、誘導機に関する記述である。

誘導機の二次入力は一 (ア) とも呼ばれ、トルクに比例する。二次入力における機械出力と二次銅損の比は、誘導機の滑りを s として (イ) の関係にある。この関係を用いると、二次銅損は常に正であることから、 s が -1 から 0 の間の値をとるとき機械出力は (ウ) となり、誘導機は (エ) として運転される。

上記の記述中の空白箇所 (ア)、(イ)、(ウ) 及び (エ) 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)
(1)	同期ワット	$(1-s) : s$	負	発電機
(2)	同期ワット	$(1+s) : s$	負	発電機
(3)	トルクワット	$(1+s) : s$	正	電動機
(4)	同期ワット	$(1-s) : s$	負	電動機
(5)	トルクワット	$(1-s) : s$	正	電動機

H29 問3

問3 次の文章は、誘導機に関する記述である。

誘導機の二次入力 (ア) ^{同期ワット}とも呼ばれ、トルクに比例する。二次入力における機械出力と二次銅損の比は、誘導機の滑りを s として (イ) ^{$(1-s):s$} の関係にある。この関係を用いると、二次銅損は常に正であることから、 s が -1 から 0 の間の値をとるとき機械出力は (ウ) ^負となり、誘導機は (エ) ^{発電機}として運転される。

上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)及び(エ)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)
(1)	同期ワット	$(1-s):s$	負	発電機
(2)	同期ワット	$(1+s):s$	負	発電機
(3)	トルクワット	$(1+s):s$	正	電動機
(4)	同期ワット	$(1-s):s$	負	電動機
(5)	トルクワット	$(1-s):s$	正	電動機

H25 問3



問3 三相誘導電動機の回転磁界に関する記述として、誤っているものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 三相誘導電動機の一次巻線による励磁と、三相同期電動機の電機子反作用とは、それぞれの機種固有の表現になっているが、三相巻線に電流が流れて生じる回転磁界という点では同じ現象である。
- (2) 3組のコイルを互いに電気角で $120 [^\circ]$ ずらして配置し、三相電源から三相交流を流せば回転磁界ができる。磁界の回転方向を逆転させるには、三相電源の3線のうち、いずれかの2線を入れ換える。
- (3) 交番磁界は正転と逆転の回転磁界を合成したものである。三相電源の3線のうち1線が断線した三相誘導電動機の回転磁界は単相の交番磁界であるが、正転の回転磁界が残っているので、静止時に負荷が軽い場合は正回転を始める。
- (4) 回転磁界の隣り合う磁極間(N極とS極間)の幾何学的角度は、2極機は $180 [^\circ]$ 、4極機は $90 [^\circ]$ 、6極機は $60 [^\circ]$ 、8極機は $45 [^\circ]$ であるが、電気角は全て $180 [^\circ]$ である。
- (5) 三相交流の1周期の間に、回転磁界は電気角で $360 [^\circ]$ 回転する。幾何学的角度では、2極機は $360 [^\circ]$ 、4極機では $180 [^\circ]$ 、6極機では $120 [^\circ]$ 、8極機では $90 [^\circ]$ 回転するので、極数を多くすると、回転速度を小さくすることができる。

H25 問3

問3 三相誘導電動機の回転磁界に関する記述として、誤っているものを次の

(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 三相誘導電動機の一次巻線による励磁と、三相同期電動機の電機子反作用とは、それぞれの機種固有の表現になっているが、三相巻線に電流が流れて生じる回転磁界という点では同じ現象である。
- (2) 3組のコイルを互いに電気角で 120° ずらして配置し、三相電源から三相交流を流せば回転磁界ができる。磁界の回転方向を逆転させるには、三相電源の3線のうち、いずれかの2線を入れ換える。
- (3) 交番磁界は正転と逆転の回転磁界を合成したものである。三相電源の3線のうち1線が断線した三相誘導電動機の回転磁界は単相の交番磁界であるが、正転の回転磁界が残っているので、静止時に負荷が軽い場合は正回転を始める。
- (4) 回転磁界の隣り合う磁極間 (N 極と S 極間) の幾何学的角度は、2 極機は 180° 、4 極機は 90° 、6 極機は 60° 、8 極機は 45° であるが、電気角は全て 180° である。
- (5) 三相交流の1周期の間に、回転磁界は電気角で 360° 回転する。幾何学的角度では、2 極機は 360° 、4 極機では 180° 、6 極機では 120° 、8 極機では 90° 回転するので、極数を多くすると、回転速度を小さくすることができる。

交番磁界は静止時にトルクが零となるため、自力で回転は起こらない

比例推移

巻線形誘導電動機

スリップリング
(巻線とブラシで接触)

二次巻線

外部抵抗

r'_2

R

R

R

-
- 励磁回路
- 固定子 (一次回路)
- 回転子 (二次回路)
- Copy right © 電験ド

Figure 10 is a graph showing the relationship between torque T (vertical axis) and speed N (horizontal axis). The horizontal axis is marked with 0 , s_3 , s_2 , s_1 , and N_s . A horizontal blue line represents the load torque (負荷トルク). Three curves are plotted, labeled r'_{23} , r'_{22} , and r'_{21} from left to right, representing different values of the parameter r'_2/s . The curves intersect the load torque line at points corresponding to speeds s_3 , s_2 , and s_1 on the horizontal axis. The x-axis also shows N_s at the origin and $(s=0)$ at the right end. A purple text label r'_2/s を一定で r'_2 と s 変化 is present in the upper right area.

$$\frac{r'_2}{s_1} = \frac{r'_2 + R}{s_2} = \text{一定}$$

外部抵抗を変化することで
負荷トルクに合わせて滑りが変化し、
速度制御ができる

H25 問4

問4 二次電流一定（トルクがほぼ一定の負荷条件）で運転している三相巻線形誘導電動機がある。滑り 0.01 で定格運転しているときに，二次回路の抵抗を大きくしたところ，二次回路の損失は 30 倍に増加した。電動機の出力は定格出力の何〔％〕になったか，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 10 (2) 30 (3) 50 (4) 70 (5) 90

H25 問4

問4 二次電流一定（トルクがほぼ一定の負荷条件）で運転している三相巻線形誘導電動機がある。滑り 0.01 で定格運転しているときに、二次回路の抵抗を大きくしたところ、二次回路の損失は 30 倍に増加した。電動機の出力は定格出力の何 [%] になったか、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

$$\frac{r'_2}{s_1} = \frac{r'_2 + R}{s_2} = \text{一定}$$

- (1) 10 (2) 30 (3) 50 (4) 70 (5) 90

P_1 : 一次入力

P_i : 入力鉄損

P_{c1} : 一次銅損

P_2 : 二次入力

P_{c2} : 二次銅損

P_m : 機械的出力

$$P_1 = P_i + P_{c1} + P_{c2} + P_m$$

$$P_i = 3g_0V_1^2$$

$$P_{c1} = 3r_1I^2$$

$$P_2 = P_{c2} + P_m = 3\frac{r'_2}{s}I^2$$

$$P_{c2} = 3r'_2I^2$$

$$P_m = 3\frac{1-s}{s}r'_2I^2$$

$$P_2 : P_{c2} : P_m = 1 : s : 1 - s$$

$$N_s = \frac{120f}{p} [\text{min}^{-1}]$$

$$N = (1 - s)N_s$$

$$s = \frac{N_s - N}{N_s}$$

N : 回転子の速度 [min^{-1}]

N_s : 回転磁界の速度
(同期速度) [min^{-1}]

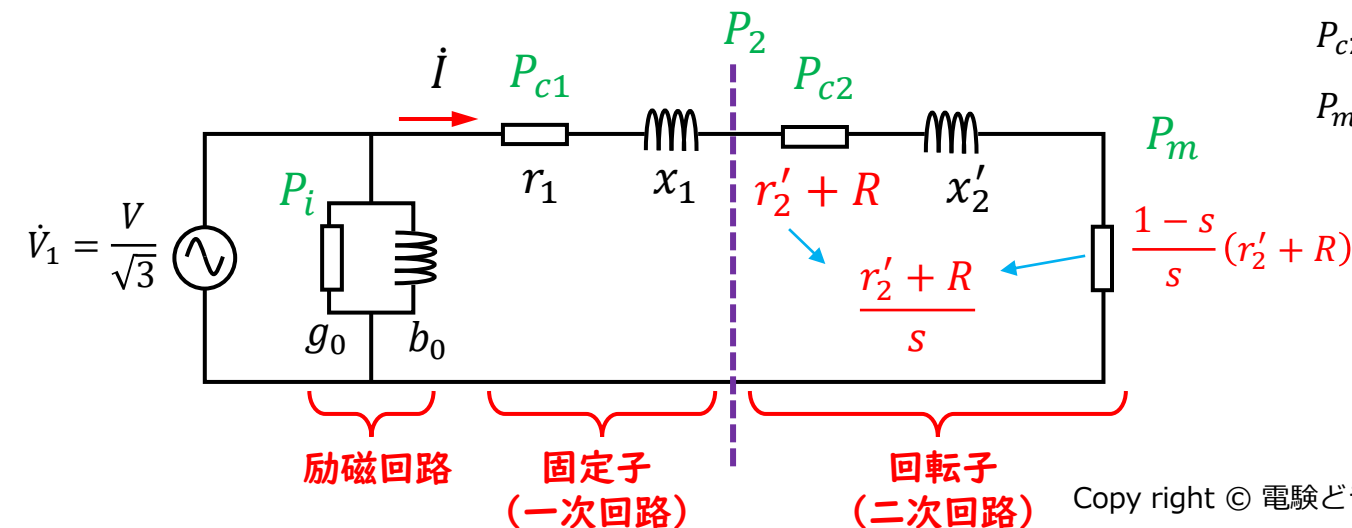
s : すべり

f : 電源周波数 [Hz]

p : 極数

効率

$$\eta = \frac{P_m}{P_m + P_i + P_{c1} + P_{c2}} \times 100 [\%] = \frac{P_m}{P_1} \times 100 [\%]$$



H25 問4

問4 二次電流一定（トルクがほぼ一定の負荷条件）で運転している三相巻線形誘導電動機がある。滑り 0.01 で定格運転しているときに、二次回路の抵抗を大きくしたところ、二次回路の損失は 30 倍に増加した。電動機の実出力は定格出力の何 [%] になったか、最も近いものを次の (1) ～ (5) のうちから一つ選べ。

- (1) 10 (2) 30 (3) 50 (4) 70 (5) 90

比例推移より

$$\frac{r_2}{s} = \frac{r_2'}{s'} \rightarrow s' = \frac{r_2'}{r_2} s = \frac{30 \times r_2}{r_2} \times 0.01 = 0.3$$

二次電流が一定→二次側入力電力 P_{20} が一定より
抵抗変更前の電動機出力 P_m （定格出力）は

$$P_m = (1 - s)P_{20}$$

抵抗変更後の電動機出力 P'_m は

$$P'_m = (1 - s')P_{20}$$

$$\frac{P'_m}{P_m} = \frac{(1 - s')P_{20}}{(1 - s)P_{20}} = \frac{1 - 0.3}{1 - 0.01} = 0.707$$

$$\therefore P'_m = 0.707P_m \rightarrow 70.7 \% \text{ になる}$$

H29 問15

問 15 定格出力 15 kW, 定格電圧 400 V, 定格周波数 60 Hz, 極数 4 の三相誘導電動機がある。この誘導電動機が定格電圧, 定格周波数で運転されているとき, 次の (a) 及び (b) の間に答えよ。

(a) 軸出力が 15 kW, 効率と力率がそれぞれ 90 % で運転されているときの一次電流の値 [A] として, 最も近いものを次の (1) ~ (5) のうちから一つ選べ。

- (1) 22 (2) 24 (3) 27 (4) 33 (5) 46

(b) この誘導電動機が巻線形であり, 全負荷時の回転速度が 1746 min^{-1} であるものとする。二次回路の各相に抵抗を追加して挿入したところ, 全負荷時の回転速度が 1455 min^{-1} となった。ただし, 負荷トルクは回転速度によらず一定とする。挿入した抵抗の値は元の二次回路の抵抗の値の何倍であるか。最も近いものを次の (1) ~ (5) のうちから一つ選べ。

- (1) 1.2 (2) 2.2 (3) 5.4 (4) 6.4 (5) 7.4

H29 問15

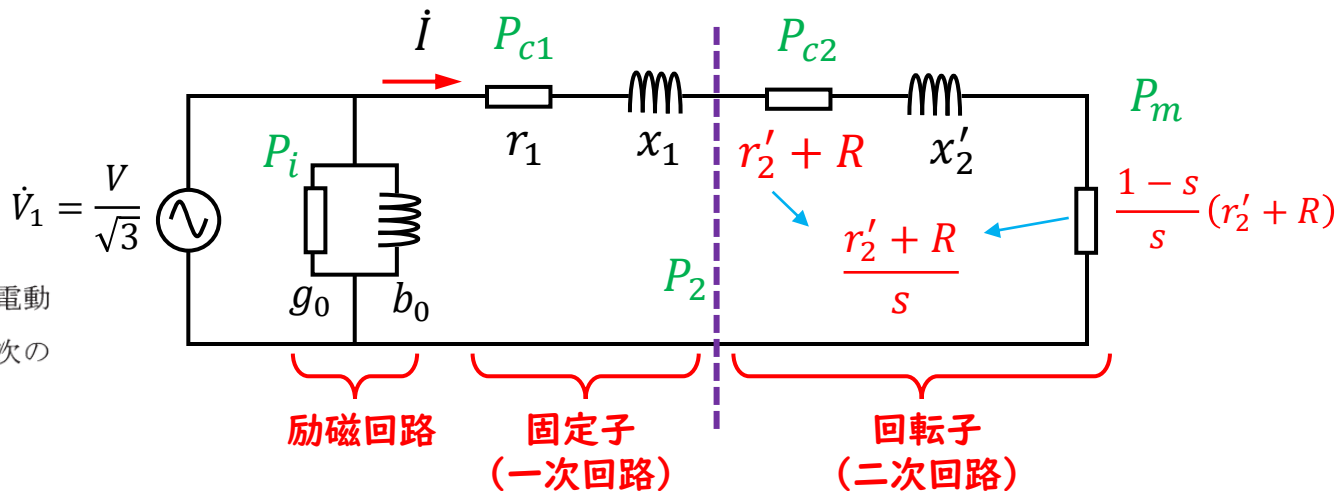
問 15 定格出力 15 kW、定格電圧 400 V、定格周波数 60 Hz、極数 4 の三相誘導電動機がある。この誘導電動機が定格電圧、定格周波数で運転されているとき、次の (a) 及び (b) の間に答えよ。

(a) 軸出力が 15 kW、効率と力率がそれぞれ 90 % で運転されているときの一次電流の値 [A] として、最も近いものを次の (1) ～ (5) のうちから一つ選べ。

- (1) 22 (2) 24 (3) 27 (4) 33 (5) 46

(b) この誘導電動機が巻線形であり、全負荷時の回転速度が 1746 min^{-1} であるものとする。二次回路の各相に抵抗を追加して挿入したところ、全負荷時の回転速度が 1455 min^{-1} となった。ただし、負荷トルクは回転速度によらず一定とする。挿入した抵抗の値は元の二次回路の抵抗の値の何倍であるか。最も近いものを次の (1) ～ (5) のうちから一つ選べ。

- (1) 1.2 (2) 2.2 (3) 5.4 (4) 6.4 (5) 7.4



P_1 : 一次入力

P_i : 入力鉄損

P_{c1} : 一次銅損

P_2 : 二次入力

P_{c2} : 二次銅損

P_m : 機械的出力

$$P_1 = P_i + P_{c1} + P_{c2} + P_m \quad N_s = \frac{120f}{p} [\text{min}^{-1}]$$

$$P_i = 3g_0V_1^2$$

$$P_{c1} = 3r_1I^2$$

$$P_2 = P_{c2} + P_m = 3\frac{r_2'}{s}I^2$$

$$P_{c2} = 3r_2'I^2$$

$$P_m = 3\frac{1-s}{s}r_2'I^2$$

$$P_2 : P_{c2} : P_m = 1 : s : 1 - s$$

$$N = (1 - s)N_s$$

$$s = \frac{N_s - N}{N_s}$$

N : 回転子の速度 [min^{-1}]
 N_s : 回転磁界の速度 (同期速度) [min^{-1}]

s : すべり
 f : 電源周波数 [Hz]
 p : 極数

$$\frac{r_2'}{s_1} = \frac{r_2' + R}{s_2} = \text{一定}$$

効率

$$\eta = \frac{P_m}{P_m + P_i + P_{c1} + P_{c2}} \times 100 [\%] = \frac{P_m}{P_1} \times 100 [\%]$$

H29 問15

問 15 定格出力 15 kW、定格電圧 400 V、定格周波数 60 Hz、極数 4 の三相誘導電動機がある。この誘導電動機が定格電圧、定格周波数で運転されているとき、次の(a)及び(b)の間に答えよ。

(a) 軸出力が 15 kW、効率と力率がそれぞれ 90 % で運転されているときの一次電流の値[A]として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 22 (2) 24 (3) 27 (4) 33 (5) 46

(b) この誘導電動機が巻線形であり、全負荷時の回転速度が 1746 min^{-1} であるものとする。二次回路の各相に抵抗を追加して挿入したところ、全負荷時の回転速度が 1455 min^{-1} となった。ただし、負荷トルクは回転速度によらず一定とする。挿入した抵抗の値は元の二次回路の抵抗の値の何倍であるか。最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 1.2 (2) 2.2 (3) 5.4 (4) 6.4 (5) 7.4

$$\frac{P_m}{P_1} = \eta \rightarrow P_1 = \frac{1}{\eta} P_m$$

$$P_1 = S_1 \cos \theta \rightarrow S_1 = \frac{P_1}{\cos \theta} = \frac{1}{\cos \theta} \times \frac{1}{\eta} \times P_m = \frac{1}{0.9} \times \frac{1}{0.9} \times 15 \\ = 18.52 \text{ kVA}$$

$$S_1 = \sqrt{3}VI \rightarrow I = \frac{S_1}{\sqrt{3}V} = \frac{18.52 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400} = 26.7 \text{ A}$$

$$N_s = \frac{120f}{p} = \frac{120 \times 60}{4} = 1800 \text{ min}^{-1}$$

$$s = \frac{N_s - N}{N_s} = \frac{1800 - 1746}{1800} = 0.03$$

$$s' = \frac{N_s - N'}{N_s} = \frac{1800 - 1455}{1800} = 0.192$$

$$\frac{r}{s} = \frac{r + ar}{s'} = \frac{(1 + a)r}{s'} \rightarrow 1 + a = \frac{s'}{s} = \frac{0.192}{0.03} = 6.4 \rightarrow a = 5.4$$

H27 問15

問 15 定格出力 15 kW，定格電圧 220 V，定格周波数 60 Hz，6 極の三相巻線形誘導電動機がある。二次巻線は星形(Y)結線でスリップリングを通して短絡されており，各相の抵抗値は $0.5\ \Omega$ である。この電動機を定格電圧，定格周波数の電源に接続して定格出力（このときの負荷トルクを T_n とする）で運転しているときの滑りは 5 % であった。

計算に当たっては，L 形簡易等価回路を採用し，機械損及び鉄損は無視できるものとして，次の(a)及び(b)の間に答えよ。

(a) 速度を変えるために，この電動機の二次回路の各相に $0.2\ \Omega$ の抵抗を直列に挿入し，上記と同様に定格電圧，定格周波数の電源に接続して上記と同じ負荷トルク T_n で運転した。このときの滑りの値 [%] として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 3.0 (2) 3.6 (3) 5.0 (4) 7.0 (5) 10.0

(b) 電動機の二次回路の各相に上記(a)と同様に $0.2\ \Omega$ の抵抗を直列に挿入したままで，電源の周波数を変えずに電圧だけを 200 V に変更したところ，ある負荷トルクで安定に運転した。このときの滑りは上記(a)と同じであった。

この安定に運転したときの負荷トルクの値 [$\text{N}\cdot\text{m}$] として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 99 (2) 104 (3) 106 (4) 109 (5) 114

H27 問15

問15 定格出力 15 kW, 定格電圧 220 V, 定格周波数 60 Hz, 6 極の三相巻線形誘導電動機がある。二次巻線は星形(Y)結線でスリップリングを通して短絡されており、各相の抵抗値は 0.5Ω である。この電動機を定格電圧, 定格周波数の電源に接続して定格出力 (このときの負荷トルクを T_n とする) で運転しているときの滑りは 5 % であった。

計算に当たっては, L 形簡易等価回路を採用し, 機械損及び鉄損は無視できるものとして, 次の(a)及び(b)の間に答えよ。

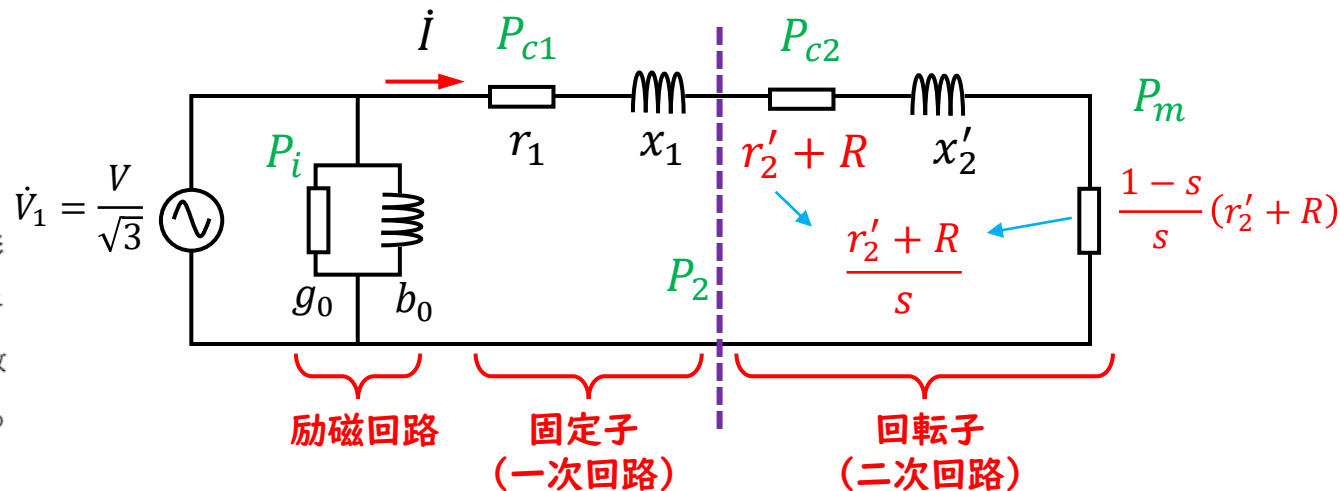
(a) 速度を変えるために, この電動機の二次回路の各相に 0.2Ω の抵抗を直列に挿入し, 上記と同様に定格電圧, 定格周波数の電源に接続して上記と同じ負荷トルク T_n で運転した。このときの滑りの値 [%] として, 最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 3.0 (2) 3.6 (3) 5.0 (4) 7.0 (5) 10.0

(b) 電動機の二次回路の各相に上記(a)と同様に 0.2Ω の抵抗を直列に挿入したままで, 電源の周波数を変えずに電圧だけを 200 V に変更したところ, ある負荷トルクで安定に運転した。このときの滑りは上記(a)と同じであった。

この安定に運転したときの負荷トルクの値 [$\text{N} \cdot \text{m}$] として, 最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 99 (2) 104 (3) 106 (4) 109 (5) 114



$$P_2: \text{二次入力} \quad P_2 = P_{c2} + P_m = 3 \frac{r_2'}{s} I^2$$

$$P_{c2}: \text{二次銅損} \quad P_{c2} = 3 r_2' I^2$$

$$P_m: \text{機械的出力} \quad P_m = 3 \frac{1-s}{s} r_2' I^2$$

$$P_2 : P_{c2} : P_m = 1 : s : 1 - s$$

$$T = \frac{P_m}{\omega} = \frac{P_2}{\omega_s}$$

$$N_s = \frac{120f}{p} [\text{min}^{-1}]$$

$$\omega = 2\pi \frac{N}{60}$$

$$N = (1-s)N_s$$

$$s = \frac{N_s - N}{N_s}$$

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

$$\frac{r_2'}{s_1} = \frac{r_2' + R}{s_2} = \text{一定}$$

T : 電動機のトルク [$\text{N} \cdot \text{m}$]

N : 回転子の速度 [min^{-1}]

N_s : 回転磁界の速度 (同期速度) [min^{-1}]

s : すべり

ω : 回転子の角周波数 [rad/s]

ω_s : 同期角周波数 [rad/s]

f : 電源周波数 [Hz]

p : 極数

H27 問15

問15 定格出力 15 kW、定格電圧 220 V、定格周波数 60 Hz、6 極の三相巻線形誘導電動機がある。二次巻線は星形(Y)結線でスリップリングを通して短絡されており、各相の抵抗値は 0.5Ω である。この電動機を定格電圧、定格周波数の電源に接続して定格出力（このときの負荷トルクを T_n とする）で運転しているときの滑りは 5 % であった。

計算に当たっては、L 形簡易等価回路を採用し、機械損及び鉄損は無視できるものとして、次の(a)及び(b)の間に答えよ。

(a) 速度を変えるために、この電動機の二次回路の各相に 0.2Ω の抵抗を直列に挿入し、上記と同様に定格電圧、定格周波数の電源に接続して上記と同じ負荷トルク T_n で運転した。このときの滑りの値 [%] として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 3.0 (2) 3.6 (3) 5.0 (4) 7.0 (5) 10.0

(b) 電動機の二次回路の各相に上記(a)と同様に 0.2Ω の抵抗を直列に挿入したままで、電源の周波数を変えずに電圧だけを 200 V に変更したところ、ある負荷トルクで安定に運転した。このときの滑りは上記(a)と同じであった。

この安定に運転したときの負荷トルクの値 [$\text{N} \cdot \text{m}$] として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 99 (2) 104 (3) 106 (4) 109 (5) 114

$$\frac{r}{s} = \frac{r + R}{s'}$$

$$s' = \frac{r + R}{r} s = \frac{0.5 + 0.2}{0.5} \times 0.05 = 0.07 \rightarrow 7 \%$$

$$\begin{aligned} T &= \frac{P_m}{\omega} = \frac{P_m}{2\pi(1-s) \frac{N_s}{60}} = \frac{P_m}{2\pi(1-s) \times \frac{1}{60} \times \frac{120f}{p}} \\ &= \frac{15 \times 10^3}{2\pi(1-0.05) \times \frac{1}{60} \times \frac{120 \times 60}{6}} = 125.7 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

負荷と滑りが一定のとき、トルクは1次電圧の二乗に比例するので

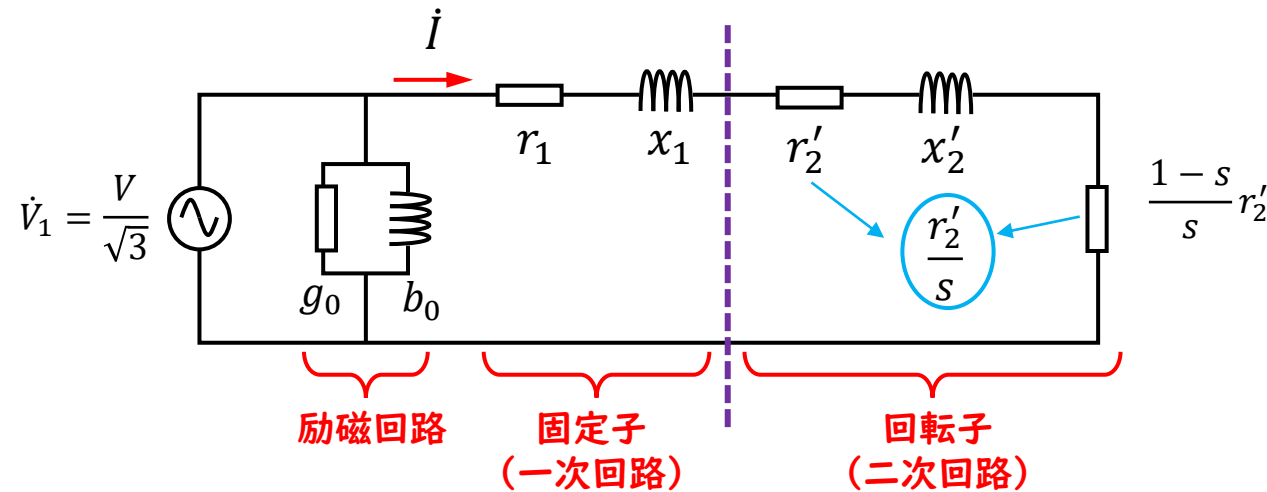
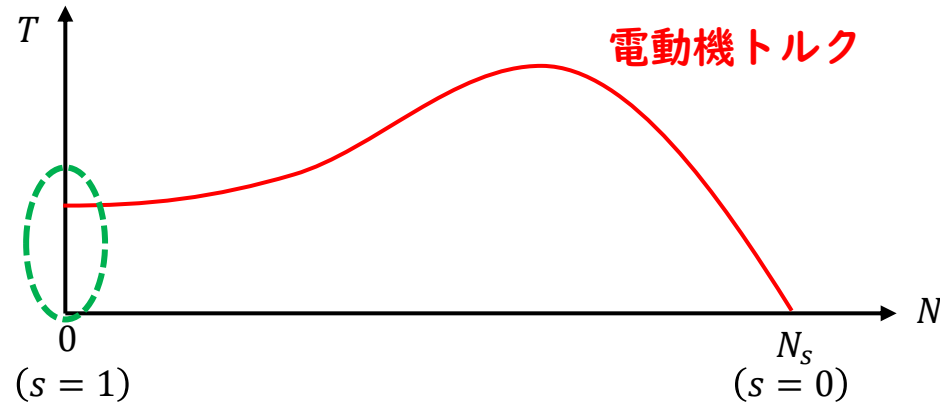
$$T = kV_1^2, T' = kV_1'^2$$

$$\frac{T'}{T} = \frac{V_1'^2}{V_1^2} \rightarrow T' = \frac{V_1'^2}{V_1^2} \times T = \frac{200^2}{220^2} \times 125.7 = 103.9 \text{ N} \cdot \text{m}$$

始動制御

誘導電動機の始動方法

始動時（速度が零）のとき、
電動機トルクはあまり大きくない



$s = 1 (N = 0)$ のとき

$\frac{r'_2}{s} = r'_2$ となるため、負荷が非常に軽く

電動機トルクはあまり大きく無いのに、
回転子に電流はたくさん流れる

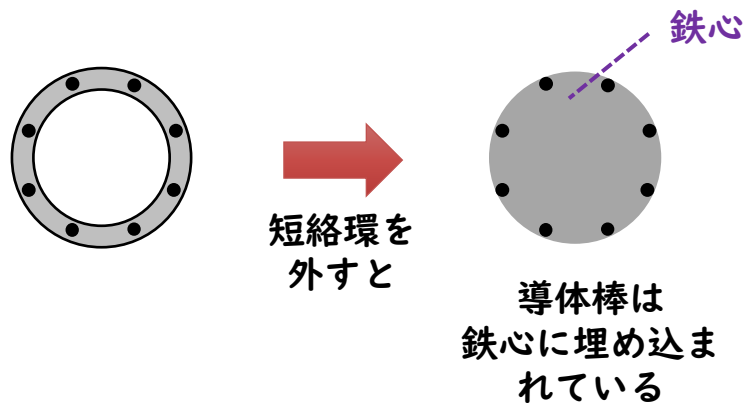
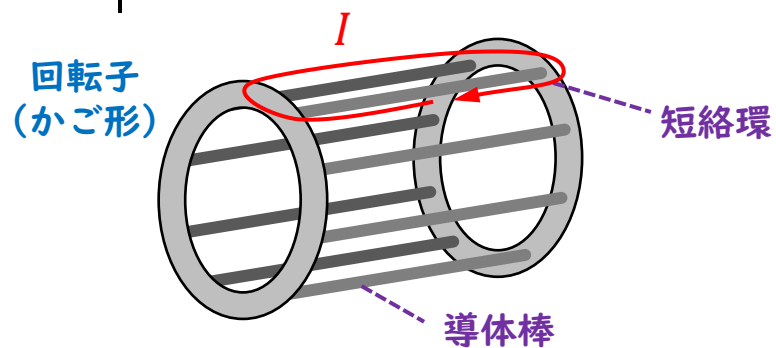
誘導電動機の始動において

- ・ 始動時の電動機トルクを大きくしたい
- ・ むやみに回転子に電流を流したくない

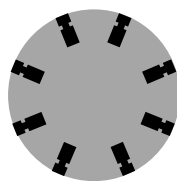
誘導電動機の始動方法

始動法	内容	かご形	巻線形	始動トルク	始動電流
全電圧始動法 (直入始動法)	停止している誘導電動機に定格電圧をいきなり加える (特に工夫無し)	○	○	—	—
Y-Δ始動法	始動時は 一次巻線をY結線 とし、速度が上昇したらΔ結線にする。 始動時の 入力電圧は$1/\sqrt{3}$倍 となる。	○	○	減少 ($1/3$ 倍)	減少 ($1/3$ 倍)
始動補償器法	一次側に三相単巻変圧器(始動補償器) を接続して、始動電圧を下げる。速度が上昇したら、定格電圧に切り替える。	○	○	減少	減少
リアクトル始動	始動時に 一次側に直列にリアクトル を接続し、始動電流を抑える。速度が上昇したら リアクトルを短絡 する。	○	○	減少	減少
始動抵抗器	二次側に始動抵抗器を挿入し、比例推移 により、始動電流を抑え、始動トルクを得る。	—	○	増加	減少
二重かご形	表皮効果 により、 低速時は外側の高抵抗部分のみに電流 が流れ、 高速時は内部の低抵抗部分に電流 が流れる。 比例推移の効果 が得られる。	○ (特殊)	—	増加	減少
深溝かご形	表皮効果 により、 低速時は外側のみに電流 が流れ、 高速時は内部まで電流 が流れる。 比例推移の効果 が得られる。	○ (特殊)	—	増加	減少

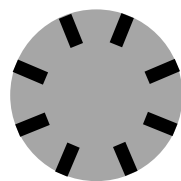
特殊かご形誘導電動機



特殊かご形



二重かご形
誘導電動機



深溝かご形
誘導電動機

二重かご形

導体棒
(外側)
抵抗 大

導体棒
(外側)
抵抗 小

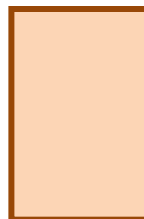
深溝かご形

導体棒
鉄心の深さ方向
に幅がある

すべり
回転子の回転速度
回転磁界の相対速度
表皮効果

$s = 1$
 $N = 0$
 $sN_s = N_s$
影響大

$s \sim 0$
 $N \sim N_s$
 $sN_s \sim 0$
影響小



外側

内側

外側

内側



外側

内側

外側

内側

低速時
外側に電流
が集まる
抵抗大であり

始動電流が小さく
始動トルクが大き
くなる

低速時
外側に電流が
集まる
抵抗が大きくなる

始動電流が小さく
始動トルクが大き
くなる



外側

内側

外側

内側

高速時
抵抗小の部分に
多くの電流が
流れる

高速時
導体全体に
電流が流れる

抵抗が小さくなる

H23 問2

問2 次の文章は、誘導電動機の始動に関する記述である。

- a. 三相巻線形誘導電動機は、二次回路を調整して始動する。トルクの比例推移特性を利用して、トルクが最大値となる滑りを (ア) 付近になるようにする。具体的には、二次回路を (イ) で引き出して抵抗を接続し、二次抵抗値を定格運転時よりも大きな値に調整する。
- b. 三相かご形誘導電動機は、一次回路を調整して始動する。具体的には、始動時は Y 結線、通常運転時は Δ 結線にコイルの接続を切り替えてコイルに加わる電圧を下げて始動する方法、 (ウ) を電源と電動機の間に入挿して始動時の端子電圧を下げる方法、及び (エ) を用いて電圧と周波数の両者を下げる方法がある。
- c. 三相誘導電動機では、三相コイルが作る磁界は回転磁界である。一方、単相誘導電動機では、単相コイルが作る磁界は交番磁界であり、主コイルだけでは始動しない。そこで、主コイルとは (オ) が異なる電流が流れる補助コイルやくま取りコイルを固定子に設けて、回転磁界や移動磁界を作って始動する。

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)	1	スリップリング	始動補償器	インバータ	位 相
(2)	0	整流子	始動コンデンサ	始動補償器	位 相
(3)	1	スリップリング	始動抵抗器	始動コンデンサ	周波数
(4)	0	整流子	始動コンデンサ	始動抵抗器	位 相
(5)	1	スリップリング	始動補償器	インバータ	周波数

H23 問2

問2 次の文章は、誘導電動機の始動に関する記述である。

- a. 三相巻線形誘導電動機は、二次回路を調整して始動する。トルクの比例推移特性を利用して、トルクが最大値となる滑りを (ア) 1 付近になるようにする。具体的には、二次回路を (イ) で引き出して抵抗を接続し、二次抵抗値を定格運転時よりも大きな値に調整する。
スリップリング
- b. 三相かご形誘導電動機は、一次回路を調整して始動する。具体的には、始動時は Y 結線、通常運転時は Δ 結線にコイルの接続を切り替えてコイルに加わる電圧を下げて始動する方法、 (ウ) を電源と電動機の間に入挿して始動時の端子電圧を下げる方法、及び (エ) を用いて電圧と周波数の両者を下げる方法がある。
始動補償器
インバータ
- c. 三相誘導電動機では、三相コイルが作る磁界は回転磁界である。一方、単相誘導電動機では、単相コイルが作る磁界は交番磁界であり、主コイルだけでは始動しない。そこで、主コイルとは (オ) が異なる電流が流れる補助コイルやくま取りコイルを固定子に設けて、回転磁界や移動磁界を作って始動する。
位相

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)	1	スリップリング	始動補償器	インバータ	位 相
(2)	0	整流子	始動コンデンサ	始動補償器	位 相
(3)	1	スリップリング	始動抵抗器	始動コンデンサ	周波数
(4)	0	整流子	始動コンデンサ	始動抵抗器	位 相
(5)	1	スリップリング	始動補償器	インバータ	周波数

R03 問3

問3 一定電圧、一定周波数の電源で運転される三相誘導電動機に関する記述として、誤っているものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) かご形誘導電動機では、回転子の導体に用いる棒の材料を銅から銅合金に変更すれば、等価回路の二次抵抗の値が増大するので、定格負荷時の効率が低下する。
- (2) 巻線形誘導電動機では、トルクの比例推移により、二次抵抗の値を大きくすると、最大トルク(停動トルク)を発生する滑りが小さくなり、始動特性が良くなる。
- (3) 巻線形誘導電動機では、外部の可変抵抗器で二次抵抗値を変化させ、大きな始動トルクと定格負荷時高効率の両方を実現することができる。
- (4) 二重かご形誘導電動機では、始動時に回転子スロット入口に近い断面積が小さい高抵抗の導体に、定格負荷時には回転子内部の断面積が大きい低抵抗の導体に主要な二次電流を流し、大きな始動トルクと定格負荷時高効率の両方を実現することができる。
- (5) 深溝かご形誘導電動機では、幅が狭い平たい二次導体の表皮効果による抵抗値の変化を利用し、大きな始動トルクと定格負荷時高効率の両方を実現することができる。

R03 問3

問3 一定電圧、一定周波数の電源で運転される三相誘導電動機に関する記述として、誤っているものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) かご形誘導電動機では、回転子の導体に用いる棒の材料を銅から銅合金に変更すれば、等価回路の二次抵抗の値が増大するので、定格負荷時の効率が低下する。
- (2) 巻線形誘導電動機では、トルクの比例推移により、二次抵抗の値を大きくすると、最大トルク(停動トルク)を発生する滑りが小さくなり、始動特性が良くなる。
- (3) 巻線形誘導電動機では、外部の可変抵抗器で二次抵抗値を変化させ、大きな始動トルクと定格負荷時高効率の両方を実現することができる。
- (4) 二重かご形誘導電動機では、始動時に回転子スロット入口に近い断面積が小さい高抵抗の導体に、定格負荷時には回転子内部の断面積が大きい低抵抗の導体に主要な二次電流を流し、大きな始動トルクと定格負荷時高効率の両方を実現することができる。
- (5) 深溝かご形誘導電動機では、幅が狭い平たい二次導体の表皮効果による抵抗値の変化を利用し、大きな始動トルクと定格負荷時高効率の両方を実現することができる。

比例推移では二次抵抗を大きくすると、
最大トルクを発生する滑りは大きくなる

H30 問4



問4 三相誘導電動機の始動においては、十分な始動トルクを確保し、始動電流は抑制し、かつ定常運転時の特性を損なわないように適切な方法を選定することが必要である。次の文章はその選定のために一般に考慮される特徴の幾つかを述べたものである。誤っているものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 全電圧始動法は、直入れ始動法とも呼ばれ、かご形誘導電動機において電動機の出力が電源系統の容量に対して十分小さい場合に用いられる。始動電流は定格電流の数倍程度の値となる。
- (2) 二重かご形誘導電動機は、回転子に二重のかご形導体を設けたものであり、始動時には電流が外側導体に偏り始動特性が改善されるので、普通かご形誘導電動機と比較して大きな容量まで全電圧始動法を用いることができる。
- (3) Y-Δ 始動法は、一次巻線を始動時のみ Y 結線とすることにより始動電流を抑制する方法であり、定格出力が 5～15 kW 程度のかご形誘導電動機に用いられる。始動トルクは Δ 結線における始動時の $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 倍となる。
- (4) 始動補償器法は、三相単巻変圧器を用い、使用する変圧器のタップを切り換えることによって低電圧で始動し運転時には全電圧を加える方法であり、定格出力が 15 kW 程度より大きなかご形誘導電動機に用いられる。
- (5) 巻線形誘導電動機の始動においては、始動抵抗器を用いて始動時に二次抵抗を大きくすることにより始動電流を抑制しながら始動トルクを増大させる方法がある。これは誘導電動機のトルクの比例推移を利用したものである。

H30 問4



問4 三相誘導電動機の始動においては、十分な始動トルクを確保し、始動電流は抑制し、かつ定常運転時の特性を損なわないように適切な方法を選定することが必要である。次の文章はその選定のために一般に考慮される特徴の幾つかを述べたものである。誤っているものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

(1) 全電圧始動法は、直入れ始動法とも呼ばれ、かご形誘導電動機において電動機の出力が電源系統の容量に対して十分小さい場合に用いられる。始動電流は定格電流の数倍程度の値となる。

(2) 二重かご形誘導電動機は、回転子に二重のかご形導体を設けたものであり、始動時には電流が外側導体に偏り始動特性が改善されるので、普通かご形誘導電動機と比較して大きな容量まで全電圧始動法を用いることができる。

(3) Y-Δ 始動法は、一次巻線を始動時のみ Y 結線とすることにより始動電流を抑制する方法であり、定格出力が 5～15 kW 程度のかご形誘導電動機に用いられる。始動トルクは Δ結線における始動時の $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 倍となる。

(4) 始動補償器法は、三相単巻変圧器を用い、使用する変圧器のタップを切り換えることによって低電圧で始動し運転時には全電圧を加える方法であり、定格出力が 15 kW 程度より大きなかご形誘導電動機に用いられる。

(5) 巻線形誘導電動機の始動においては、始動抵抗器を用いて始動時に二次抵抗を大きくすることにより始動電流を抑制しながら始動トルクを増大させる方法がある。これは誘導電動機のトルクの比例推移を利用したものである。

トルクは電圧の2乗に比例するので、電圧が $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 倍になると、トルクは $\frac{1}{3}$ 倍になる。

H27 問3

問3 誘導機に関する記述として、誤っているものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

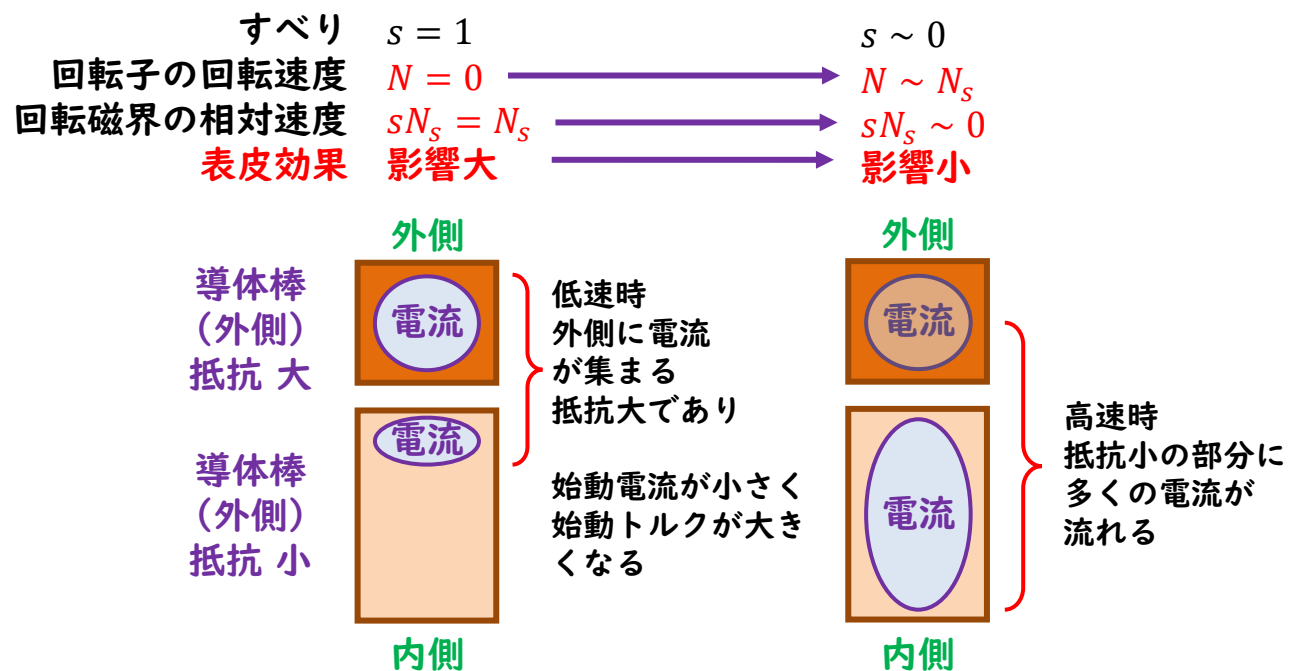
- (1) 三相かご形誘導電動機の回転子は、積層鉄心のスロットに棒状の導体を差し込み、その両端を太い導体環で短絡して作られる。これらの導体に誘起される二次誘導起電力は、導体の本数に応じた多相交流である。
- (2) 三相巻線形誘導電動機は、二次回路にスリップリングを通して接続した抵抗を加減し、トルクの比例推移を利用して滑りを変えることで速度制御ができる。
- (3) 単相誘導電動機はそのままでは始動できないので、始動の仕組みの一つとして、固定子の主巻線とは別の始動巻線にコンデンサ等を直列に付加することによって回転磁界を作り、回転子を回転させる方法がある。
- (4) 深溝かご形誘導電動機は、回転子の深いスロットに幅の狭い平たい導体を押し込んで作られる。このような構造とすることで、回転子導体の電流密度は定常時に比べて始動時は導体の外側（回転子表面側）と内側（回転子中心側）で不均一の度合いが増加し、等価的に二次導体のインピーダンスが増加することになり、始動トルクが増加する。
- (5) 二重かご形誘導電動機は回転子に内外二重のスロットを設け、それぞれに導体を埋め込んだものである。内側（回転子中心側）の導体は外側（回転子表面側）の導体に比べて抵抗値を大きくすることで、大きな始動トルクを得られるようにしている。

H27 問3

問3 誘導機に関する記述として、誤っているものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 三相かご形誘導電動機の回転子は、積層鉄心のスロットに棒状の導体を差し込み、その両端を太い導体環で短絡して作られる。これらの導体に誘起される二次誘導起電力は、導体の本数に応じた多相交流である。
- (2) 三相巻線形誘導電動機は、二次回路にスリップリングを通して接続した抵抗を加減し、トルクの比例推移を利用して滑りを変えることで速度制御ができる。
- (3) 単相誘導電動機はそのままでは始動できないので、始動の仕組みの一つとして、固定子の主巻線とは別の始動巻線にコンデンサ等を直列に付加することによって回転磁界を作り、回転子を回転させる方法がある。
- (4) 深溝かご形誘導電動機は、回転子の深いスロットに幅の狭い平たい導体を押し込んで作られる。このような構造とすることで、回転子導体の電流密度は定常時に比べて始動時は導体の外側（回転子表面側）と内側（回転子中心側）で不均一の度合いが増加し、等価的に二次導体のインピーダンスが増加することになり、始動トルクが増加する。
- (5) 二重かご形誘導電動機は回転子に内外二重のスロットを設け、それぞれに導体を埋め込んだものである。内側（回転子中心側）の導体は外側（回転子表面側）の導体に比べて抵抗値を大きくすることで、大きな始動トルクを得られるようにしている。

二重かご形



速度制御全般

誘導電動機の手度制御法

速度制御法	内容	かご形	巻線形
V/f 制御	電源電圧と周波数の比を一定に保つ速度制御法。磁束を一定に保つためトルク変動が小さい。 VVVFインバータ や サイクロコンバータ を用いる	○	○
極数切替	固定子巻線の接続を変更することで極数 p を切り替える速度制御法。	○	○
一次電圧制御	一次電圧を制御しトルクを変化させることで滑りを変化させる速度制御法。 トルクは一次電圧の二乗に比例 する。	○	○
二次抵抗制御	外部抵抗を変化させ、比例推移 を利用した速度制御法。	—	○
二次励磁制御	巻線形誘導電動機の二次回路に すべり周波数sfの電圧を印加 し、すべりを変える速度制御法。 クレーマ方式 ：速度制御で得た電力は 機械的動力に変換 セルビウス方式 ：速度制御で得た電力は 電源に回生	—	○

R01 問4

問4 次の文章は、誘導機の世界速度制御に関する記述である。

誘導機の回転速度 n [min^{-1}] は、滑り s 、電源周波数 f [Hz]、極数 p を用いて $n = 120 \cdot \boxed{\text{ア}}$ と表される。したがって、誘導機の世界速度は電源周波数によって制御することができ、特にかご形誘導電動機において $\boxed{\text{イ}}$ 電源装置を用いた制御が広く利用されている。

かご形誘導機ではこの他に、運転中に固定子巻線の接続を変更して $\boxed{\text{ウ}}$ を切り換える制御法や、 $\boxed{\text{エ}}$ の大きさを変更する制御法がある。前者は、効率はよいが、速度の変化が段階的となる。後者は、速度の安定な制御範囲を広くするために $\boxed{\text{オ}}$ の値を大きくとり、銅損が大きくなる。

巻線形誘導機では、 $\boxed{\text{オ}}$ の値を調整することにより、トルクの比例推移を利用して速度を変える制御法がある。

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)	$\frac{sf}{p}$	CVCF	極数	一次電圧	一次抵抗
(2)	$\frac{(1-s)f}{p}$	CVCF	相数	二次電圧	二次抵抗
(3)	$\frac{sf}{p}$	VVVF	相数	二次電圧	一次抵抗
(4)	$\frac{(1-s)f}{p}$	VVVF	相数	一次電圧	一次抵抗
(5)	$\frac{(1-s)f}{p}$	VVVF	極数	一次電圧	二次抵抗

R01 問4

問4 次の文章は、誘導機の世界制御に関する記述である。

誘導機の回転速度 n [min^{-1}] は、滑り s 、電源周波数 f [Hz]、極数 p を用いて $n = 120 \cdot \boxed{\text{ア}} (1-s)f$ と表される。したがって、誘導機の速度は電源周波数によって制御することができ、特にかご形誘導電動機において $\boxed{\text{イ}}$ 電源装置を用いた制御が広く利用されている。

かご形誘導機ではこの他に、運転中に固定子巻線の接続を変更して $\boxed{\text{ウ}}$ を切り換える制御法や、 $\boxed{\text{エ}}$ の大きさを変更する制御法がある。前者は、効率はよいが、速度の変化が段階的となる。後者は、速度の安定な制御範囲を広くするために $\boxed{\text{オ}}$ の値を大きくとり、銅損が大きくなる。

巻線形誘導機では、 $\boxed{\text{オ}}$ の値を調整することにより、トルクの比例推移を利用して速度を変える制御法がある。

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)	$\frac{sf}{p}$	CVCF	極数	一次電圧	一次抵抗
(2)	$\frac{(1-s)f}{p}$	CVCF	相数	二次電圧	二次抵抗
(3)	$\frac{sf}{p}$	VVVF	相数	二次電圧	一次抵抗
(4)	$\frac{(1-s)f}{p}$	VVVF	相数	一次電圧	一次抵抗
(5)	$\frac{(1-s)f}{p}$	VVVF	極数	一次電圧	二次抵抗

H26 問3

問3 次の文章は、三相かご形誘導電動機に関する記述である。

定格負荷時の効率を考慮して二次抵抗値は、できるだけ (ア) する。

滑り周波数が大きい始動時には、かご形回転子の導体電流密度が (イ) となるような導体構造（たとえば深溝形）にして、始動トルクを大きくする。

定格負荷時は、無負荷時より (ウ) であり、その差は (エ) 。このことから三相かご形誘導電動機は (オ) 電動機と称することができる。

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)	小さく	不均一	低速度	小さい	定速度
(2)	大きく	不均一	低速度	大きい	変速度
(3)	小さく	均 一	低速度	小さい	定速度
(4)	大きく	均 一	高速度	大きい	変速度
(5)	小さく	不均一	高速度	小さい	変速度

H26 問3

問3 次の文章は、三相かご形誘導電動機に関する記述である。

小さく

定格負荷時の効率を考慮して二次抵抗値は、できるだけ (ア) する。

不均一

滑り周波数が大きい始動時には、かご形回転子の導体電流密度が (イ) と

なるような導体構造（たとえば深溝形）にして、始動トルクを大きくする。

低速度

小さい

定格負荷時は、無負荷時より (ウ) であり、その差は (エ) 。この

ことから三相かご形誘導電動機は (オ) 電動機と称することができる。

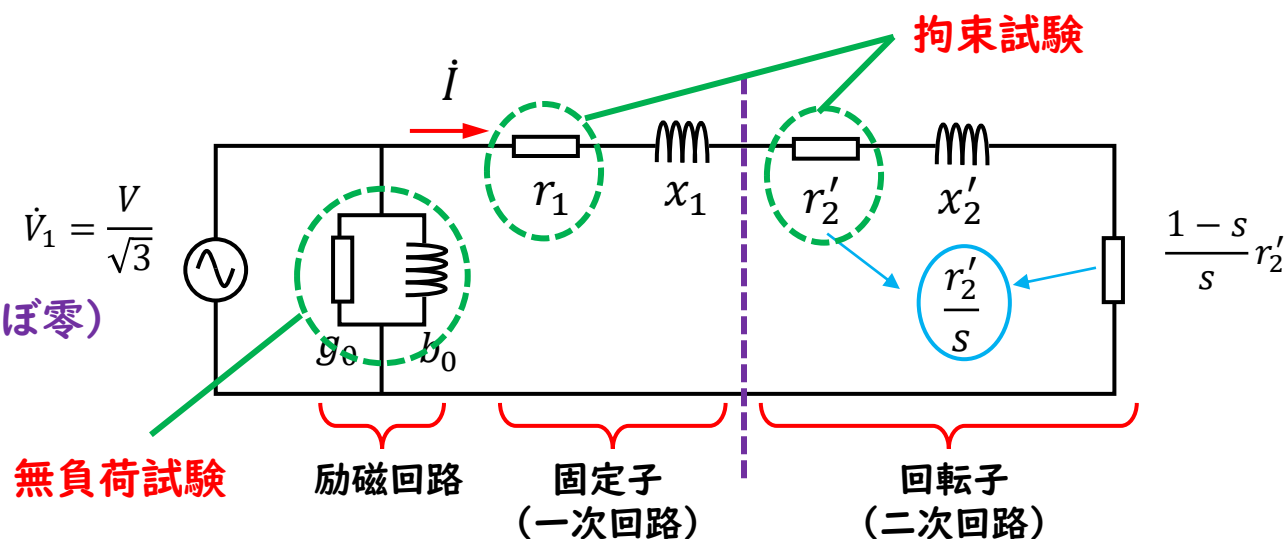
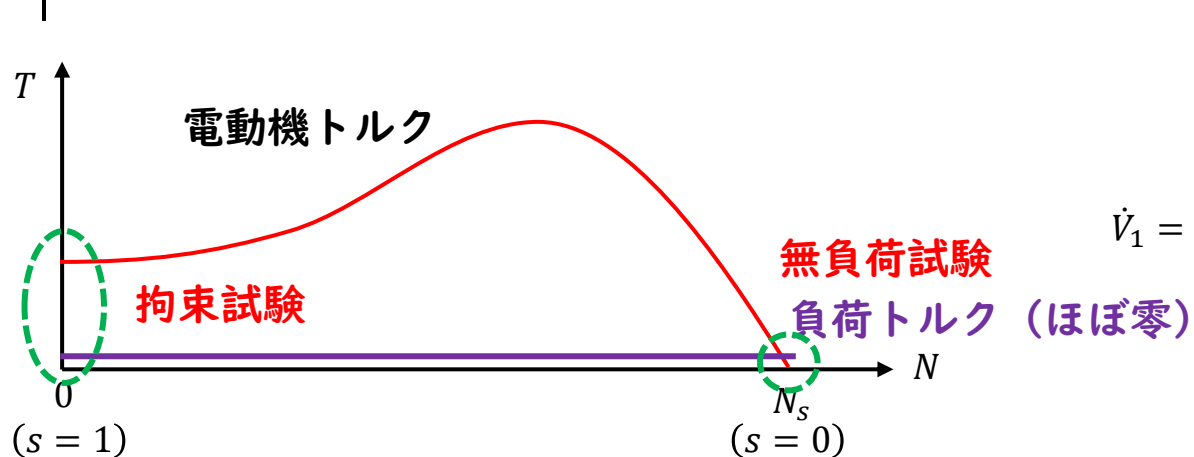
定速度

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)	小さく	不均一	低速度	小さい	定速度
(2)	大きく	不均一	低速度	大きい	変速度
(3)	小さく	均 一	低速度	小さい	定速度
(4)	大きく	均 一	高速度	大きい	変速度
(5)	小さく	不均一	高速度	小さい	変速度

無負荷試験と 拘束試験

無負荷試験と拘束試験



無負荷試験 ($N \sim N_s, s \sim 0$)

- ・定格電圧を印加する
- ・負荷トルクをほぼ零
- ・電流 I はほぼ零
- ・励磁回路にのみ電流が流れる
- ・励磁回路のインピーダンスが測定できる
- ・鉄損がわかる

拘束試験 ($N = 0, s = 1$)

- ・定格電流を流す
- ・回転子の速度は零
- ・電源電圧 V は小さい
- ・励磁回路の電流はほぼ零
- ・固定子と回転子の巻線抵抗が測定できる
- ・銅損がわかる

R02 問3



問3 三相かご形誘導電動機の等価回路定数の測定に関する記述として、誤っているものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、等価回路としては一次換算した一相分の簡易等価回路(L形等価回路)を対象とする。

- (1) 一次巻線の抵抗測定は静止状態において直流で行う。巻線抵抗値を換算するための基準巻線温度は絶縁材料の耐熱クラスによって定められており、75℃や115℃などの値が用いられる。
- (2) 一次巻線の抵抗測定では、電動機の一次巻線の各端子間で測定した抵抗値の平均値から、基準巻線温度における一次巻線の抵抗値を決められた数式を用いて計算する。
- (3) 無負荷試験では、電動機の一次巻線に定格周波数の定格一次電圧を印加して無負荷運転し、一次側において電圧[V]、電流[A]及び電力[W]を測定する。
- (4) 拘束試験では、電動機の回転子を回転しないように拘束して、一次巻線に定格周波数の定格一次電圧を印加して通電し、一次側において電圧[V]、電流[A]及び電力[W]を測定する。
- (5) 励磁回路のサセプタンスは無負荷試験により、一次二次の合成漏れリアクタンスと二次抵抗は拘束試験により求められる。

R02 問3



問3 三相かご形誘導電動機の等価回路定数の測定に関する記述として、誤っているものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、等価回路としては一次換算した一相分の簡易等価回路(L形等価回路)を対象とする。

- (1) 一次巻線の抵抗測定は静止状態において直流で行う。巻線抵抗値を換算するための基準巻線温度は絶縁材料の耐熱クラスによって定められており、75℃や115℃などの値が用いられる。
- (2) 一次巻線の抵抗測定では、電動機の一次巻線の各端子間で測定した抵抗値の平均値から、基準巻線温度における一次巻線の抵抗値を決められた数式を用いて計算する。
- (3) 無負荷試験では、電動機の一次巻線に定格周波数の定格一次電圧を印加して無負荷運転し、一次側において電圧[V]、電流[A]及び電力[W]を測定する。
- (4) 拘束試験では、電動機の回転子を回転しないように拘束して、一次巻線に定格周波数の定格一次電圧を印加して通電し、一次側において電圧[V]、電流[A]及び電力[W]を測定する。**
- (5) 励磁回路のサセプタンスは無負荷試験により、一次二次の合成漏れリアクタンスと二次抵抗は拘束試験により求められる。

**拘束試験→短絡試験なので電流がたくさん流れる。
定格電流になるように一次電圧を調整する。
このとき、一次電圧は定格一次電圧よりも小さくなる。**

ご聴講ありがとうございました!!