۸) رفتار موتور القایی ۳ فاز در شرایط تغذیه نامتعادل :

با استفاده از روش مؤلفه های متقارن و تبدیل به ۳ سیستم متقارن (توالی مثبت، منفی و صفر) به کمک ماتریس تبدیل و ایده گرفته شده از تسکیو ($a = 1\angle 120$)

$$[V_{abc}] = [F][V^{+-0}]$$

$$\begin{bmatrix} V^+ \\ V^- \\ V^0 \end{bmatrix} = \underbrace{\frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}}_{[F]^{-1}} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} V_a = V_a^+ + V_a^- + V_a^0 \\ V_b = V_b^+ + V_b^- + V_b^0 \\ V_c = V_c^+ + V_c^- + V_c^0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} |V_a^+| = |V_b^+| = |V_c^+| = V^+ \\ |V_a^-| = |V_b^-| = |V_c^-| = V^- \end{cases}$$

اگر برحسب فاز a بازنویسی شود:

$$\begin{cases} V_a = V_a^+ + V_a^- + V_a^0 \\ V_b = a^2 V_a^+ + a V_a^- + V_a^0 \\ V_c = a V_a^+ + a^2 V_a^- + V_a^0 \end{cases}$$

اکنون موتور را با استفاده از هر کدام از ولتاژهای توالی مثبت، منفی و صفر جداگانه تحلیل می کنیم.

* مؤلفه توالی صفر نمی تواند میدان دوار تولید کند فقط تولید یک میدان جریانی می کند. لذا فقط در مؤلفه مثبت و منفی لحاظ می گردد.

$F^0 = K I_m \cos 3\theta \cos 3\omega t$ (جریانی)

و مؤلفه صفر در تولید گشتاور تأثیر نیست.

* ولتاژ تغذیه سه سیم را می توان به دو مؤلفه توالی مثبت و توالی منفی به صورت زیر بیان کرد:

برای هر فاز:

$f \rightarrow$ Foreward

$b \rightarrow$ backward

فاز a

$$\begin{cases} V_{af} = \frac{1}{3}(V_a + aV_b + a^2V_c) \\ V_{ab} = \frac{1}{3}(V_a + a^2V_b + aV_c) \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_a = V_{af} + V_{ab} \\ I_a = I_{af} + I_{ab} \end{cases}$$

نکته: مقدار لغزش برای مؤلفه توالی مثبت s_f و لغزش برای مؤلفه توالی منفی s_b متفاوت است و داریم:

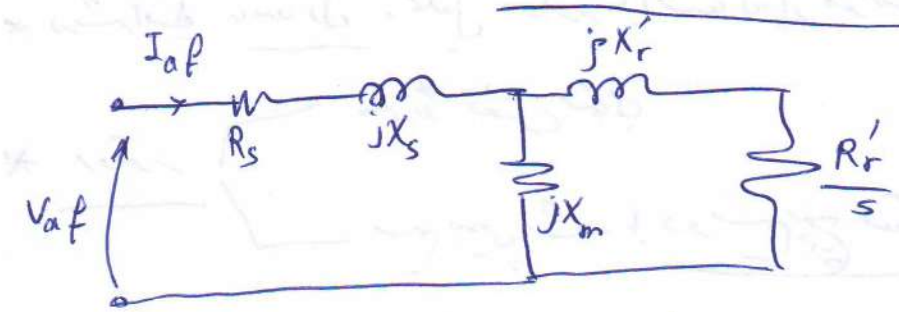
$$s_b = \frac{-n_s - n_m}{-n_s} = \frac{n_s + n_m}{n_s} = \frac{2n_s - (n_s - n_m)}{n_s}$$

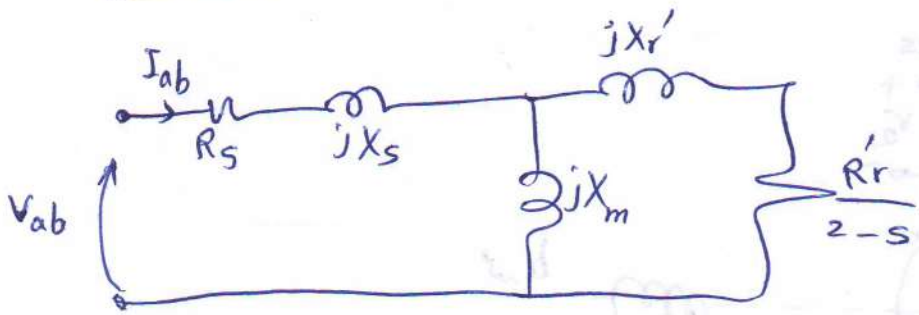
$$\boxed{s_b = 2 - s} \quad \& \quad \boxed{s_f = s}$$

* مقدار گشتاور هم برای دو حالت forward و backward از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$T = T_f + T_b = \frac{3R'_r (I'_{rf})^2}{s\omega_s} + \frac{3R'_r (I'_{rb})^2}{(2-s)(-\omega_s)}$$

* مدار معادل موتور القایی ۳ فاز در شرایط نامتعادل:





میزان نامتعادل ولتاژ:

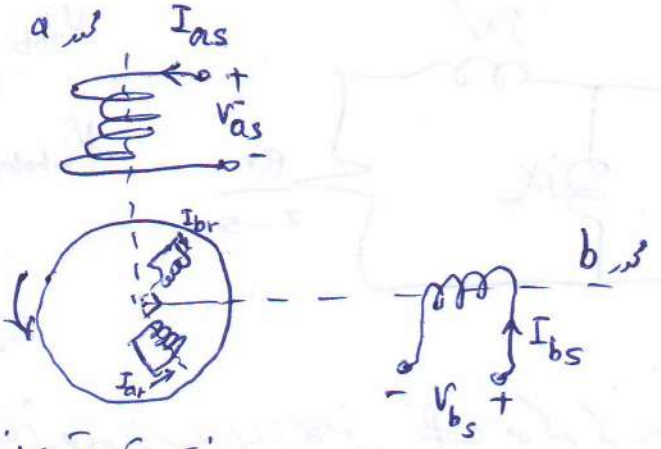
$$V_{unb} = \frac{V_{ab}}{V_{af}}$$

$$V_{imbalance} = \frac{\Delta V_{max}}{V_{ave}} = \frac{(V_{max} - V_{min})}{\frac{(V_a + V_b + V_c)}{3}}$$

* عدم تعادل ولتاژ تولید نوسان، ذکاس $2f_e$ می‌کند که باعث افزایش حرارت می‌شود. (یعنی میدان جریدی که با سرعت n_s می‌چرخد ایجاد می‌کند و میدان برآیند، سرعت $2n_s$ خواهد چرخید و تعادل ذکاس $2f_e$ می‌شود.)

موتورهای القایی دوفاز

* دو سیم پیچ بر روی استاتور با محورهای مغناطیسی عمود بر هم (۹۰ درجه اختلاف فاز الکتریکی)
* در شرایط متعادل: ولتاژهای متعادل تغذیه می شوند و همان اصول تحلیل سیستم های متعادل برقرار است.
* در شرایط نامتعادل: تحلیل موتور با استفاده از مؤلفه های متقارن صورت می گیرد.
* روتور: معمولاً قفس سنجابی
  سیم پیچی شده با دو سیم پیچ متعامد روی روتور



ساختار موتور القایی دوفاز سیم پیچی شده

* توزیع mmf در موتورهای دوفاز:

در موتورهای القایی سه فاز برای هر فاز توزیع mmf در فاصله هوایی به صورت یک توزیع سینوسی است.

$$\begin{cases} i_a = I_m \cos\omega t \\ i_b = I_m \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \end{cases} \xrightarrow{\text{جریان‌های متعادل}} \begin{cases} F_a = K i_a \cos\theta \\ F_b = K i_b \cos\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right) \end{cases}$$

$$F_{net} = F_a + F_b = K I_m \left[\cos\theta\cos\omega t + \sin\theta \sin\omega t\right] = K I_m \cos(\theta - \omega t)$$

موج رونده

طبق F_{net} بدست آمده برای توزیع mmf در موتور دوفاز (متعادل) مشابه رابطه mmf در موتور سه فاز است فقط ضریب آن متفاوت است. $\left[\frac{2}{2} K I_m \cos(\theta - \omega t)\right]$.

* بنابراین در موتورهای القایی دوفاز هم یک میدان دوار (گردان) به وجود می آید که باعث تولید گشتاور در موتور می شود.

* به طور کلی، در موتورهای القایی m فاز که با سیستم متعادل m فاز تغذیه می‌شوند، رابطه mmf برآیند برحسب $F_{net} = \frac{m}{2} K I_m \cos(\theta - \omega t)$ می‌باشد و منجر به تولید میدان دوار و گشتاور می‌گردد.

* امّا در صورت تغذیه نامتعادل، علاوه بر میدان دوار جلوگرد (forward)، میدان دوار عقب‌گرد (backward) هم ایجاد می‌شود (مثلاً موتورهای ۳ فاز) که جهت گشتاور آنها خلاف آنست و ممکن است تولید گشتاور و میدان برآیند در ماشین‌هایی را تحت تأثیر قرار دهد و به شکست تصفیف نماید.

نوشن نامتعادلی برحسب مؤلفه‌های متقارن در موتور دوفاز:

$$\begin{cases} i_a = I_m \cos \omega t \Rightarrow F_a = K I_m \cos \omega t \cos \theta \\ i_b = I_m \cos(\omega t - \alpha) \Rightarrow F_b = K I_m \cos(\omega t - \alpha) \cos(\theta - \frac{\pi}{2}) \end{cases}$$

$$\begin{cases} F_a = K I_m \cos \omega t \cos \theta = \frac{1}{2} K I_m \left[\cos(\theta - \omega t) + \cos(\theta + \omega t)\right] \\ F_b = K I_m \cos(\omega t - \alpha) \cdot \cos(\theta - \frac{\pi}{2}) = K I_m \left[\sin\theta \cos\alpha \cos\omega t + \sin\theta \sin\alpha \sin\omega t\right] \end{cases}$$

$$\Rightarrow F_b = \frac{1}{2} K I_m \left\{\cos\alpha \left[\sin(\theta - \omega t) + \sin(\theta + \omega t)\right] + \sin\alpha \left[\cos(\theta - \omega t) - \cos(\theta + \omega t)\right]\right\}$$

$$F_{net} = F_a + F_b$$

$$F_{net} = \frac{1}{2} K I_m \left[(1 + \sin\alpha)\cos(\theta - \omega t) + (1 - \sin\alpha)\cos(\theta + \omega t) + \cos\alpha \sin(\theta - \omega t) + \cos\alpha \sin(\theta + \omega t)\right]$$

در نهایت mmf برآیند در حالت تغذیه نامتعادل بصورت زیر خواهد بود:

$$F_{net} = \frac{1}{2} K I_m \left[a_{f_1} \cos(\theta - \omega t) + a_{b_1} \cos(\theta + \omega t) + a_{f_2} \sin(\theta - \omega t) + a_{b_2} \sin(\theta + \omega t)\right] \quad (*)$$

طبق رابطه (*)، زمانی که مقدار α برابر $\frac{\pi}{2}$ باشد رابطه F_{net} بصورت $F_{net} = K I_m \cos(\theta - \omega t)$ که مربوط به شرایط متعادل است، درمی‌آید.

* در رابطه (*)، با انحراف مقدار α از $\frac{\pi}{2}$ یا افزایش نامتقارن، ضریب قسمت عقب‌گرد در mmf افزایش می‌یابد که نشان دهنده تاثیر نامتقارنی روی میدان موتور و عملکرد آن است.

---

* تحلیل موتور القایی دوفاز در شرایط متقارن

* دلیل وجود میدان دوار و ایجاد گشتاور مثبت (جلوگرد)

مدار معادل موتور دوفاز همان مدار معادل تکفاز مربوط به موتور سه فاز است.

فقط:
- در حالت موتور دوفاز، دیگر نیازی به خط نداریم و فقط ولتاژ فازی مطرح است.
- ضرایب ۳ در کلیه سه فاز، به ۲ در موتور دوفاز تبدیل می‌شود مثلاً گشتاور کل ۲ برابر گشتاور حاصل از مدار معادل تکفاز است.

---

* کارکرد موتور القایی دوفاز در شرایط نامتقارن

* در عمل در بسیاری از مواقع، تغذیه موتور متقارن نیست. البته میزان نامتقارنی در سیستم تغذیه ناچیز و قابل صرف نظر کردن است. امّا گاهی حتی میزان نامتقارنی قابل توجه است و از آنجایی که تغذیه نامتقارن رفتار موتور را کاملاً تحت تاثیر قرار می‌دهد، لازم است نحوه تحلیل موتور در این شرایط بررسی شود. ضمن آنکه در کاربردهای خاصی (نظیر سروموتورهای ac)، شرایط تغذیه را خود نگوزاها تنظیم می‌کنیم که موتور به ناچار در شرایط نامتقارن کار کند.

* استفاده از مولفه متقارن در سیستم دوفاز

دو توالی مثبت و منفی (جلوگرد و عقب‌گرد)

$$V_a = V_a^+ + V_a^-$$
$$V_b = V_b^+ + V_b^-$$

&

$$V_b^+ = -jV_a^+$$
$$V_b^- = jV_a^-$$

$$\Rightarrow \begin{cases} V_a = V_a^+ + V_a^- \\ V_b = -jV_a^+ + jV_a^- \end{cases}$$

با فرض آنکه $\begin{cases} |V_a^+| = |V_b^+| = V^+ \\ |V_a^-| = |V_b^-| = V^- \end{cases}$ می‌توانیم

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -j & j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V^+ \\ V^- \end{bmatrix}$$

بنابراین

$$\begin{bmatrix} V^+ \\ V^- \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & j \\ 1 & -j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \end{bmatrix}$$

* یک سیستم دوفاز نامتعادل را می‌توان به دو سیستم متعادل دوفازه صورت زیر تجزیه کرد.

1) سیستم جلوگرد $(|V_a^+|\angle 0 \ , \ |V_b^+|\angle \frac{\pi}{2})$ تبدیل کرد.

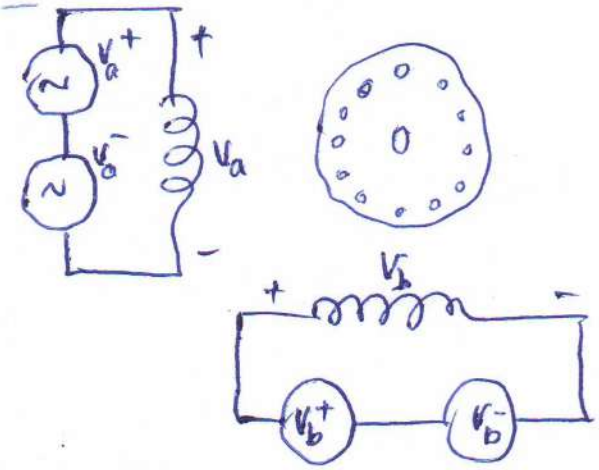
2) سیستم عقب‌گرد $(|V_a^-|\angle 0 \ , \ |V_b^-|\angle -\frac{\pi}{2})$

$a = 1\angle 90^\circ$ ضریب تبدیل

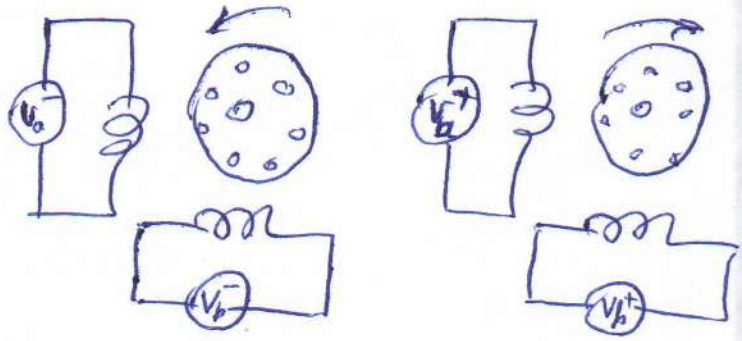
معنی گوی دو ماشین دوفاز متعادل داریم یکی با دنباله‌های توالی مثبت و دیگری با دنباله‌های توالی منفی کار می‌کند ولی با جهت چرخش‌های متفاوت و در نتیجه مقدار لغزش در دو سیستم متفاوت خواهد بود.

$$s^+ = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} \quad \& \quad s^- = \frac{-\omega_s - \omega_r}{-\omega_s} = \frac{\omega_s + \omega_r}{\omega_s} = \frac{2\omega_s - (\omega_s - \omega_r)}{\omega_s}$$

$$s^- = 2 - s^+$$



$\equiv$



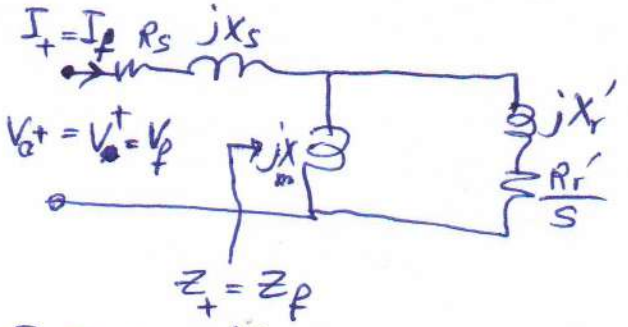
توالی منفی (عقب‌گرد) + توالی مثبت (جلوگرد)

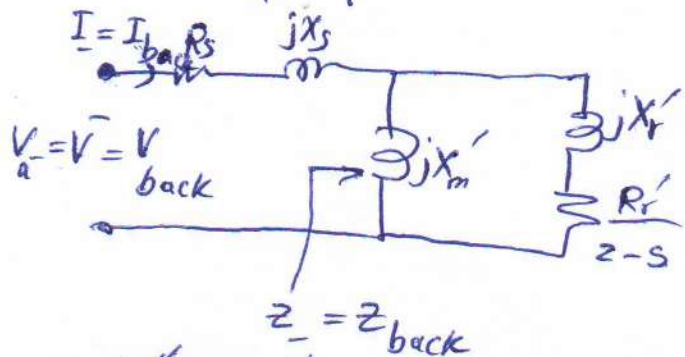
$Z_s = R_s + jX_s$ امپدانس هر فاز استاتور

$$I_f = \frac{V_f}{Z_f + Z_s}$$

$$I_{back} = \frac{V_{back}}{Z_{back} + Z_s}$$

$$\begin{cases} I_a = I_f + I_{back} \\ I_b = -jI_f + jI_{back} \end{cases}$$





مدار معادل در حالت جلوگرد و عقب‌گرد

(14)

$$\begin{cases} P_{ag-f} = 2 I_f^2 R_f \\ P_{ag-back} = 2 I_{back}^2 R_{back} \end{cases}$$

$$R_f = \text{Real}[Z_f]$$

$$R_{back} = \text{Real}[Z_{back}]$$

توان خروجی $P_m = (1-s)(P_{ag-f} - P_{ag-back})$

$$P_{out} = P_m - P_{rot} - P_{core}$$

$$T_{out} = \frac{P_{out}}{\omega_r} \quad \& \quad \omega_r = (1-s)\omega_s \quad \& \quad \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$