بسم الله الرحمن الرحيم

فهرست

فصل۲ موتورهای القایی تک فاز

۲-۱-مقدمه..... ۵
۲-۲-تعریف ماشین کسر-اسب بخار..... ۵
۲-۳-انواع موتورهای تکفاز..... ۶
۲-۴-موتورالقایی تک فاز..... ۷
۲-۴-۱-مشخصات ساختاری..... ۷
۲-۴-۲-عملکرد موتورالقایی تک فاز..... ۸
۲-۴-۲-۱-توصیف کیفی..... ۸
۲-۴-۲-۲-تحلیل رفتاری موتور به کمک تئوری میدان..... ۸
۲-۴-۲-۳-ضربان گشتاور..... ۸
۲-۵مدار معادل موتور القایی تکفاز ۸
۲-۶اندازه گیری پارامترهای مدار معادل ۱۳
۲-۶-۱آزمایش روتور قفل شده..... ۱۴
۲-۶-۲ آزمایش بی باری..... ۱۵
۲-۷- مدار معادل تقریبی ۱۵
۲-۸-مقایسه بین موتورهای القایی تکفاز و سه فاز ۱۶
۲-۹-روش های راه اندازی موتور القایی تک فاز ۱۷
۲-۹-۱راه اندازی فاز شکسته ۱۷
۲-۹-۱-۱موتور فاز شکسته مقاومتی ۱۷

۲-۹-۱-۲موتور فاز شکسته خازنی ۱۸
۲-۹-۱-۳موتورهای با خازن دائم و راه انداز ۱۸
۲-۹-۱-۴ موتورهای با خازن دائمی ۱۹
۲-۹-۲ راه اندازی قطب چاکدار ۱۹
۲-۹-۳- راه اندازی ریپالسیونی (دفعی) ۲۰
۲-۹-۴- راه اندازی رلوکتانسی ۲۰
۲-۱۰- مقایسه ی ماشین های القایی تکفاز و کاربرد هر یک ۲۱
۲-۱۱- طراحی سیم پیچ راه انداز..... ۲۲
۲-۱۱-۱- ماکزیمم نمودن گشتاور راه اندازی با R_a مناسب در موتور فاز شکسته مقاومتی..... ۲۲
۲-۱۱-۲ ماکزیمم نمودن گشتاور راه اندازی با انتخاب مناسب X_e در موتور القایی تک فاز با خازن راه انداز ۲۲
۲-۱۱-۳ ماکزیمم کردن نسبت گشتاور راه اندازی به جریان راه اندازی با انتخاب مناسب خازن در موتور القایی تک فاز خازن ۲۲

فصل ۲
موتورهای القایی تک فاز

۲-۱-مقدمه

. اغلب موتورهایAC با توان کسر اسب بخار بصورت تکفاز طراحی می شوند ، اگر چه موتورهای سه فاز نیز در چنین اندازه های کوچکی قابل ساخت هستند ولی به علت هزینه بالا از این کار ممانعت به عمل می آید .
موتورهای AC با قدرت کسر اسب بخار در جاهایی مثل منازل ، مغازه ، ادارات ، صنایع سبک کارایی دارند که عموماً دارای برق تکفاز هستند .
تولید سالانه موتورهای کسر اسب بخار به لحاظ تعداد بیش از نصف کل انواع ماشین های تولیدی اعم از تکفاز و سه فاز است .

۲-۱- تعریف ماشین کسر- اسب بخار

یک ماشین الکتریکی ، در عمل نقش تبدیل انرژی الکتریکی به مکانیکی و بالعکس را دارد.
*دسته بندی ماشین های الکتریکی از دیدگاه های مختلف :
الف)AC یا دوار
ب)DC یا خطی
*دسته بندی ماشین های الکتریکی بر اساس قدرت خروجی :
الف)کسر اسب بخار
ب)یک اسب بخار یا بالاتر
*در تئوری ماشین های الکتریکی اعم از AC و DC می توان ثابت کرد : $P \propto D^2.L.n$
P = قطر متوسط فاصله هوایی L و D = طول مفید ماشین N = سرعت محور
به عبارت دیگر می توان گفت توان ماشین نسبت مستقیم با حجم قسمت فعال ماشین ($D^2.L$) و سرعت آن دارد.

*تعریف ماشین کسر اسب بخار :
ماشین کسر اسب بخار به ماشینی اطلاق می شود که قدرت آن در سرعت ۱۷۰۰ rpm ، کمتر از یک اسب بخار باشد (۱ Hp = ۷۴۶ w) .

مثال : اگر قدرت یک ماشین در سرعت ۳۴۰۰ rpm ، ۱ kw باشد ، این یک ماشین کسر اسب بخار است .

$$\frac{3400^{rpm}}{1700^{rpm}} = \frac{1000^{w}}{X} \Rightarrow X = 500^{w} < 746^{w}$$

۲-۳- انواع موتورهای تکفاز

به منظور پاسخگویی به کاربردهای گوناگون ، انواع متنوعی از موتورهای AC کسر – اسب بخار ساخته شده است.
به لحاظ مشخصات کاری ، موتورهای تک فاز به سه دسته عمده تقسیم می شوند .

دسته بندی موتورهای تکفاز

۱-موتورهای القائی تکفاز :
اکثر موتورهای القائی تکفاز از نوع القائی (آسنکرون) بوده و با توجه به نحوه راه اندازی نام گذاری می شوند . موتورهای فاز شکسته ، موتورهای با خازن راه انداز ، موتورهای با خازن دائم و موتورهای قطب چاکدار .

۲- موتورهای سنکرون تکفاز :
موتورهای سنکرون تحت سرعت ثابت می چرخند و در صنعت ساعت سازی گرمافون و ضبط صوت استفاده می شوند (موتورهای رلوکتانسی و هیسترزیس جزء موتورهای سنکرون تکفار هستند)

۳- موتورهای AC سری تکفاز یا موتورهای یونیورسال یا AC کموتاتوردار:
موتورهای تکفاز سری را میتوان همراه منبع تغذیه AC یا DC مورد بهره برداری قرار داد ، در این موتورهای گشتاور راه اندازی قابل ملاحظه ای ایجاد می گردد و سرعت آنها نسبت زیاد است از این نوع موتورها در لوازم آشپزخانه و جاروبرقی و ... استفاده می شود .

۲-۴- موتورالقائی تکفاز

هنگامی که یک موتور القائی سه فاز متعادل توسط منبع تغذیه سه فاز سه سیمه متقارن تغذیه می گردد ، یک میدان گردان در فاصله هوائی تولید شده و گشتاور راه اندازی ایجاد می گردد .
چنانچه در یک موتور القائی سه فاز ، در حالی که کمتر از نصف بارنامی خود را تامین کند ، یکی از فازها قطع گردد موتور به حرکت خود ادامه می دهد در حالی که سرعت اندکی افت می کند و جریان استاتور افزایش می یابد در این شرایط که دو سیم پیچ در تامین انرژی موتور سهم دارند تغذیه بصورت تکفاز است بنابراین استاتور دارای میدان ضربانی است .

*نقاط ضعف کاربرد ماشین های سه فاز به عنوان تکفاز :

۱) گشتاور راه اندازی آنها صفر یا کوچک است (میدان ضربانی)

۲) قدرت آنها $\frac{1}{2}$ تا $\frac{1}{3}$. توان در حالت سه فاز است

۳) به خاطر وجود نا متقارنی ، هارمونیک ها اثرات نامطلوب بیش تری دارند . وجود هارمونیک موجب افزایش تلفات و نویز صوتی و موجب راندمان کمتر خواهد شد .

۲-۴-۱- مشخصات ساختاری

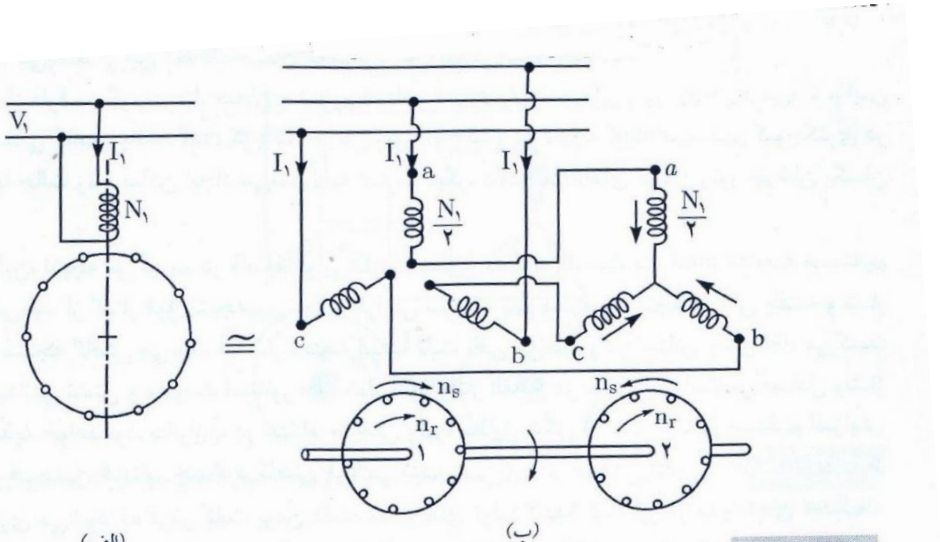
روتور یک موتور القائی تکفاز دقیقاً مشابه روتور قفس سنجابی یک موتور القائی سه فاز است . (به علت هزینه زیاد از روتور سیم پیچی شده استفاده نمی شود)
استاتور یک موتور القائی تکفاز حامل دوسیم پیچی : یکی اصلی و دیگری کمکی می باشد هر دو سیم پیچی بصورت متمرکز و تک لایه توزیع می شوند ؛سیم پیچی اصلی تقریبا $\frac{2}{3}$ کل شیارهای پیرامون استاتور تعبیه می شود .

در محیط استاتور موتور القائی تکفاز در مقایسه با یک موتور سه فاز ، موتور تکفاز دارای توان خروجی کمتری می باشد زیرا از تمام محیط استاتور استفاده نشده است !!

۲-۵- مدار معادل موتور القائی تکفاز

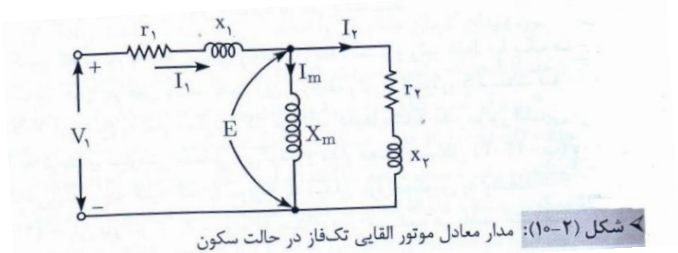
جهت استخراج مدار معادل یک موتور القائی تکفاز برای سهولت در کار آن را متشکل از دو استاتور سه فاز هر دو روتور قفسه سنجابی در نظر می گیریم که روتورها توسط شافت مشترک به طور مکانیکی با هم کوبل شده اند . سیم پیچ های هر دو استاتور به طور سری به هم وصل هستند تا جریان یکسانی از آنها عبور کند ،

همچنین جهت جریان ها در سیم پیچ های استاتور سه فاز به گونه ای می باشد که دو میدان گردان خلاف یکدیگر می باشند .



شکل (۲-۹): معادل‌سازی موتور القایی تک‌فاز با دو موتور سه فاز

هنگامی که روتور ساکن است رفتار آن مشابه ترانسفورماتور تکفازی است که ثانویه آن اتصال کوتاه شده است .



شکل (۲-۱۰): مدار معادل موتور القایی تک‌فاز در حالت سکون

امپدانس نشتی استاتور $r_1 + jx_1$

امپدانس نشتی روتور ارجاع یافته به سمت استاتور $r_2 + jx_2$

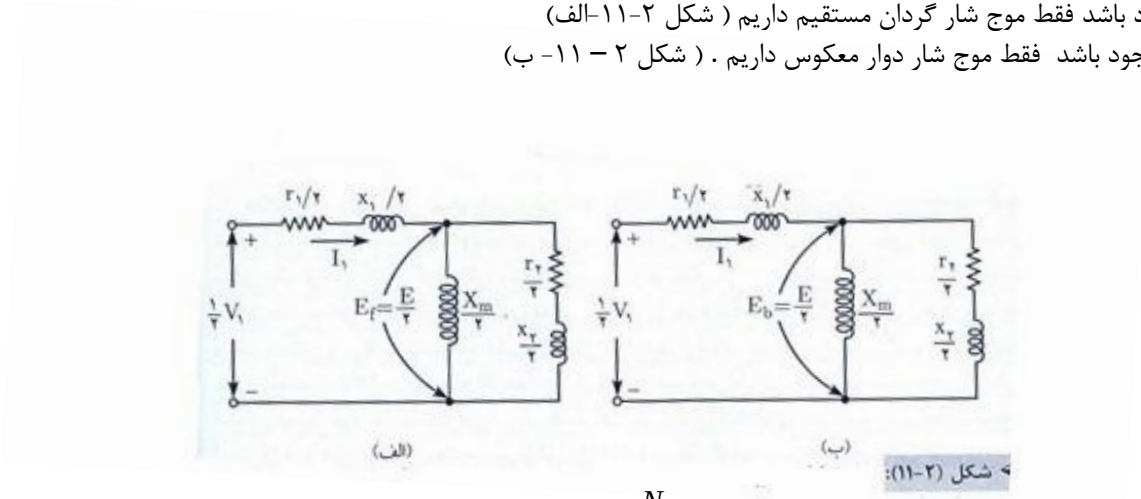
راکتانس مغناطیس کنندگی X_m

بر طبق تئوری دو میدان دوار ، هر دو میدان دوار مستقیم و معکوس برای معادل نصف میدان ضربانی دارد در نتیجه از دید استاتور ، اثر شکل موج های شارهای

دوار مستقیم و معکوس می تواند توسط یک امپدانس $\frac{1}{2}(r_2 + jx_2)$ به موازات $J\frac{X_m}{2}$ مطابق شکل های(۲-۱۱ الف و ب)نشان داده شود

چنانچه فقط روتور ۱موجود باشد فقط موج شار گردان مستقیم داریم (شکل ۲-۱۱-الف)

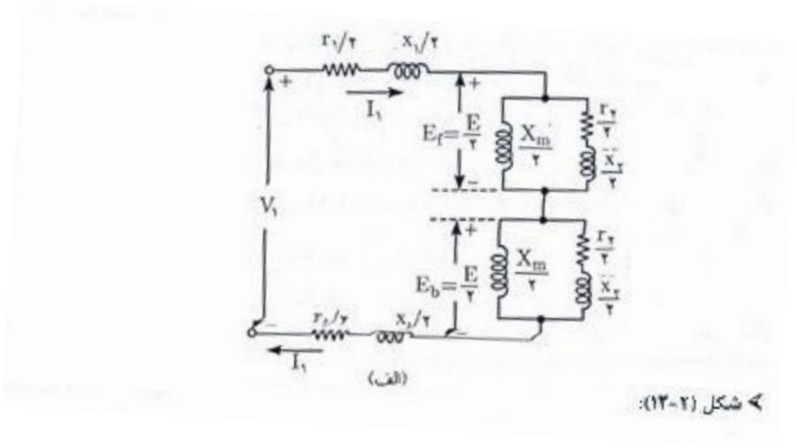
و چنانچه فقط روتور ۲ موجود باشد فقط موج شار دوار معکوس داریم . (شکل ۲ – ۱۱- ب)



شکل (۲-۱۱):

ثابت های هر استا تور نیز نصف می شود چون هراستا تور دارای تعداد دور $\frac{N_1}{2}$ می باشد

با توجه به اینکه هر دو موج دوار مستقیم و معکوس و رتورهای ۱ و ۲ حضور دارند و در همان زمان هر دو استاتور با هم سری هستند مدار معادل های فوق را می توان بصورت شکل ۲- ۱۲- الف رسم کرد .



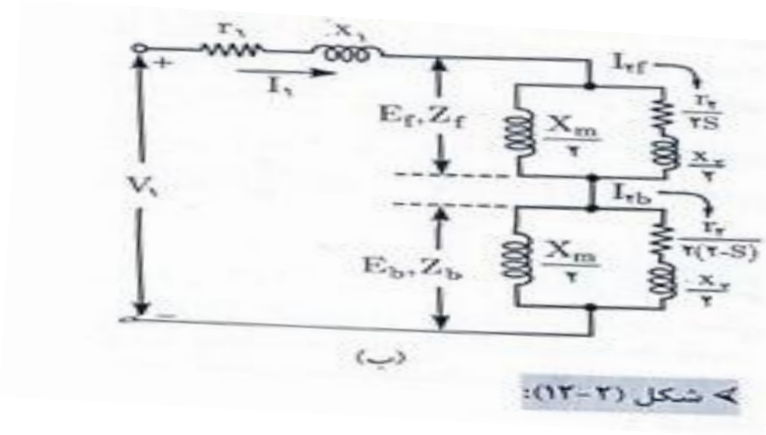
شکل (۲-۱۲):

حال اگر فرض کنیم موتور با یک ابزار کمکی راه اندازی شود :

۱- روتور فقط با یک سیم پیچ اصلی در مداراست

۲- روتور با لغزش S نسبت به موج شار مستقیم

۳-روتور با لغزش S– ۲ نسبت به شار معکوس



شکل (۲-۱۳):

Z_f = امپدانس مستقیم

Z_b = امپدانس معکوس

سرعت زاویه ای سنکرون $W_s = \frac{4\pi f}{p}$ سرعت روتور $n_r = (1-S)n_s$

گشتاور = $\frac{\text{توان خروجی}}{\text{سرعت روتور}} = \frac{p_{out}}{(1-S)n_s}(N.m)$

.تلفات گردشی ثابت فرض می شود زیرا از بی باری تا بار کامل تغییر کمی در سرعت روتور رخ می دهد

امپدانس مستقیم $Z_f = R_f + jX_f = \dfrac{j\frac{X_m}{2}\left[\frac{r_2}{2s} + j\frac{X_2}{2}\right]}{\frac{r_2}{2s} + j\left[\frac{X_2}{2} + \frac{X_M}{2}\right]}$

امپدانس معکوس $Z_b = R_b + jX_b = \dfrac{j\frac{X_m}{2}\left[\frac{r_2}{2(2-S)} + j\frac{X_2}{2}\right]}{\frac{r_2}{2(2-S)} + j\left[\frac{X_2}{2} + \frac{X_m}{2}\right]}$

چون از مقاومت $\frac{R_c}{2}$ متناظر با تلفات هسته صرف نظر شده است :

$P_{gb} = I_1^2 R_b = I_{2b}^2 \dfrac{r_2}{2(2-S)}$

$P_{gf} = I_2^2 \dfrac{r_2}{2S}$

$P_g = P_{gf} - P_{gb} = I_1^2 (R_f - R_b)$ توان فاصله هوایی

$P = (1-S) I_1^2 (R_f - R_b)$ توان مکانیکی

.مثال: یک موتور القایی تک فاز ۲۲۰ ولت،۴ قطب،۵۰ هرتز دارای مشخصات زیر است

$r_1 = r_2 = 2/3\Omega$ تلفات اصطکاک و تهویه = 30w

$X_1 = X_2 = 3/2\Omega \qquad X_m = 74\Omega$

چنانچه این موتور در حال کار در لغزش ۰،۰۵ تحت ولتاژ و فرکانس نامی باشد،مطلوب است محاسبه جریان استاتور،ضریب توان،توان خروجی،گشتاور و راندمان در حالیکه سیم پیچی کمکی مدار باز است.

امپدانس مستقیم برابر است با :

$$Z_f = R_f + jX_f = \frac{j\frac{X_m}{2}\left[\frac{r_2}{2s} + j\frac{x_2}{2}\right]}{\frac{r_2}{2s} + j\left[\frac{X_2}{2} + \frac{X_M}{2}\right]}$$

$$= \frac{j37(42 + j1.6)}{42 + j38.6} = 27.23\angle 49.64^\circ = 17.66 + j20.75\ \Omega$$

:امپدانس معکوس برابر است با

$$Z_b = R_b + jX_b = \frac{j\frac{X_m}{2}\left[\frac{r_2}{2(2-S)} + j\frac{X_2}{2}\right]}{\frac{r_2}{2(2-S)} + j\left[\frac{X_2}{2} + \frac{X_m}{2}\right]}$$

$$= \frac{j(37)(1.077 + j1.6)}{1.077 + j38.6} = 1.85\angle 57.6^\circ = (90.99 + j1.562)\ \Omega$$

کل امپدانس موتور برابر است با:

$$(r_1 + R_f + R_b) + j(X_1 + X_b + X_f) = (20.95 + j25.5) = 33.1\angle 50.4^\circ$$

:در نتیجه جریان استاتور برابر خواهد بود با

$$I_1 = \frac{230}{33.1} = 6.95(\mathrm{A})$$

$$P.F = \cos 50.4^\circ = 0.637(lag)$$

$$P_{in} = V_1 I_1 \cos\theta = 230 \times 6.95 \times 0.637 = 1020(w)$$

توان تحویلی به مبدان مستقیم:

$$P_{gb} = I_1^2 R_f = (6.95)^2 \times 17.66 = 854 \ (w)$$

توان تحویلی به میدان معکوس:

$$P_{gb} = I_1^2 R_b = (6.95)^2 \times 0.99 = 47.8 \ (w)$$

کل توان الکتریکی تولیدی در فاصله هوایی:

845-47.8=806.2 (w)

کل توان مکانیکی داخلی:

$(1-S)(P_{gf} - P_{gb})$=(0.95)(806.2)=765 (w

(w) ۱۲۸ = ۹۸+۳۰= تلفات اصطکاک و هسته + تلفات هسته= تلفات گردشی

انگاه توان خروجی برابر است با:

765-128=637 (w

سرعت سنکرون:

$$\omega_s = \frac{4\pi f}{p} = \frac{4\pi \times 50}{4} = 50\pi \ (rad/sec)$$

سرعت روتور: $(1-S)n_s$

$$\omega_r = (1-S)\omega_s = 0.95 \times 50\pi = 149.2 \quad \text{(rad/sec)}$$

گشتاور= $\frac{\text{خروجی توان}}{\text{روتور سرعت}} = \frac{637}{149.2} = 4027 \ (N.m)$

راندمان:

$$\eta = \frac{637}{1020} \times 100 = 62.5\%$$

P_{gb} و P_{gf} که در روابط بالا بر اساس R_f و R_b محاسبه شده اند می توانند از روی $I_{2b}I_{2f}$ محاسبه گردد

$$I_{2f}=\frac{I_1\left(jX_{\frac{m}{2}}\right)}{\frac{r_2}{2S}+j\left[\frac{X_2}{2}+\frac{X_m}{2}\right]}=\frac{(6.95)(37)}{38.6-j42}=4.51(\text{A})$$

$$\Rightarrow P_{gf}=I_{2f}^2\frac{r_2}{2S}=(4.51)^2(42)=854(\text{w})$$

$$I_{2b}=\frac{I_2\left[j\frac{X_m}{2}\right]}{\frac{r_2}{2(2-S)}+j\left[\frac{X_2}{2}+\frac{X_m}{2}\right]}=\frac{(6.95)(37)}{38.6-j1.077}=6.66(\text{A})$$

$$\Rightarrow P_{gb}=I_{2b}^2\frac{r_2}{2(2-S)}=(6.66)^2(1.077)=47.8(\text{w})$$

۲-۶- اندازه گیری پارامترهای مدار معادل

مشابه موتورهای القایی سه فاز ، پارامترهای مدار معادل موتور القائی تک فاز را می توان از طریق آزمایش بی باری و روتور قفل شده و معلوم بودن مقاومت سیم پیچ استاتور ، r_1 ، اندازه گیری کرد .

نکته : استاتور موتور القائی تک فاز دارای دو سیم پیچ می باشد .(اصلی و کمکی)

سیم پیچ کمکی برای راه اندازی مورد استفاده قرار می گیرد; در آزمایش بی باری در لحظه راه اندازی از هر دو سیم پیچ استفاده می شود اما در حالت چرخش عادی سیم پیچ کمکی بطور اتوماتیک از مدار خارج می شود .

۲-۶-۱- آزمایش روتور قفل شده :

در حالت روتور ساکن ولتاژ تک فاز به سیم پیچ اصلی اعمال می شود .در حالت روتور ساکن S=1 می باشد . ولتاژ مورد نیاز جهت ایجاد جریان بار نامی بسیار کوچک است بنابر این شار کوچک است و جریان مغناطیس کنندگی عبوری از X_m نیز بسیار کوچک است (از راکتانس مغناطیس کنندگی صرف نظر می شود)

بر اساس داده های بدست آمده از آزمایش روتور قفل شده ، امپدانس مدار معادل ارجاء شده به سمت استاتور :

$$Z_{sc} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}}$$

مقاوت معادل R_{sc}

$$R_{sc} = r_1 + \left(\frac{r_2}{2}\right) \times 2 = \frac{W_{sc}}{I_{sc}^2}$$

چون مقاومت سیم پیچ اصلی استاتور r_1 قبلاً محاسبه شده است :

$$R_{sc} = \frac{W_{sc}}{I_{sc}^2} - r_1$$

$$X_{sc} = X_1 + \left(\frac{X_2}{2}\right) \times 2 = X_1 + X_2$$

به واسطه عدم امکان محاسبه جداگانه مقادیر X_1 و X_2 متداول است که فرض می شود :

$$X_1 = X_2 = \frac{1}{2} X_{sc} = \frac{1}{2} \sqrt{Z_{sc}^{\ 2} - R_{sc}^{\ 2}}$$

* در آزمایش روتور قفل شده صرفاً سیم پیچ اصلی تحریک می شود و سیم پیچ کمکی مدار باز است .

۲-۶-۲- آزمایش بی باری :

در این آزمایش موتور تحت شرایط بی باری و فرکانس نامی به گردش در می آید (S=0)

با فرض S=0 عبارت $\frac{r_2}{2S}$ بی نهایت می شود و $\frac{r_2}{2(2-S)}=\frac{r_2}{4}$ چندین برابر کوچکتر از $\frac{1}{2}X_m$ می شود که با توجه به این تقریبها،

$\frac{X_m}{2}$ و $\frac{S}{X^S}+1\frac{S2}{S^2}$ قابل چشم پوشی است .

ضریب توان بی باری

$$\cos\ \theta_{nl}=\frac{W_{nl}}{V_1 I_{nl}}$$

امپدانس معادل بی باری

$$Z_{nl}=\frac{V_1}{I_{nl}}\Rightarrow X_{nl}\sqrt{1-\cos^2\theta_{nl}}=Z_{nl}\sin\ \theta_{nl}$$

۲-۷- مدار معادل تقریبی :

بدست آوردن مدار معادل تقریبی جهت بررسی عملکرد موتور در حالت نرمال می باشد و لغزش آن در شرایط نرمال و بار کامل حدود ۵ الی ۱۰ درصد است .

$$Z_b=\frac{r_2}{4}+\frac{X_2}{J_2}$$

$$Z_e=R_e+jX_e=\frac{\frac{1}{2}R_1X_m}{X_1+\frac{1}{2}X_m}+\frac{\frac{1}{2}jX_1X_m}{X_1+\frac{1}{2}X_m}$$

$$V_e=\frac{1}{2}\frac{V_1X_m}{X_1+\frac{1}{2}X_m}$$

لغزشی که در گشتاورmax اتفاق میافتد :

$$S_{mT} = \frac{r_2}{2\sqrt{R_e^2 + \left(X_e + \frac{X_2}{2}\right)^2}}$$

لغزش ایجاد شده از r_2 تأثیر می پذیرد.

گشتاورmax متناظر با S_{mT} :

$$T_{em} = \frac{V_e^2}{2\pi n_s} \frac{1}{2\left[R_e + \sqrt{R_e^2 + \left(X_e + \frac{X_2}{2}\right)^2}\right]}$$

. T_{em} به r_2 بستگی ندارد.

* نکته : عملکرد موتور القائی تک فاز بر اساس مدار معادل تقریبی به دست آمده خیلی دقیق نیست اما این تقریب ها، رفتار عمومی موتور القایی تک فاز را در شرایط کاری نرمال به خوبی نشان میدهد.

۲-۸- مقایسه بین موتورهای القایی تک فاز و سه فاز :

هر دو موتور دارای سرعت یکسان و ابعاد روتور و استاتور یکسانی هستند .
۱- تلفات هسته رتور در موتور القایی تک فاز به واسطه وجوود میدان گردان معکوس، بزرگتر است
۲- تلفات اهمی رتور به واسطه جریان های القا شده توسط میدان معکوس در موتور القایی تک فاز بیشتراست
۳- به ازای گشتاور بار معین، موتور القایی تک فاز به جریان استاتور بیشتری نیاز دارد و در لغزش بزرگتری کار میکند.از این دیدگاه، تلفات مسی استاتور آن بیشتر است
۴- به ازای این فریم یکسان، توان خروجی موتور القایی تک فاز کمتر است زیرا گشتاور معکوس به منزله بار مکانیکی بر روی شافت با گشتاور مستقیم مخالفت میکند.

۵- سیم پیچ موتور تک فاز، برای ایجاد هر دو میدان مستقیم و معکوس، جریان مغناطیس کنندگی میکشد. در نتیجه، نسبت جریان مغناطیس کنندکی به مؤلفه اکتیو جریان استاتور در یک موتور القایی از نوع سه فاز به مراتب بزرگتر است. به ازای یک توان و سرعت معین ، موتور القایی تک فازبه فریمی بزرگتر نیاز دارد و بنابراین، موتورهای القایی تک فاز نیاز به آهن داده است، به بیشتری دارد. به علاوه ضرورت وجودسیم پیچ کمکی آنها را گرانتر از نوع سه فاز نموده است. اما تولید انبوه موتورهای القایی تک فاز کسر- کیلووات آن ها را کاهش .نحوی که با قیمت موتورهای القایی سه فاز در همان رنج سرعت و توان قابل مقایسه میباشد

۲-۹- روشهای راه اندازی موتور القایی تک فاز :

همانطور که قبلاً گفته شد یک موتور القایی تک فاز با سیم پیچ اصلی ذاتاً فاقد گشتاور راه اندازی است . زیرا سیم پیچ اصلی صرفاً شار ضربانی ساکن در فاصله هوایی ایجاد می کند .

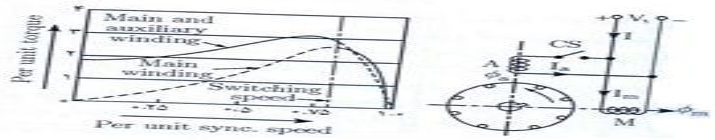
۲-۹-۱- راه اندازی فاز شکسته :

موتورهایی که با این روش راه اندازی می شوند به موتورهای فاز شکسته معروف هستند . همه این موتورها دارای دو سیم پیچ بر روی استاتور هستند (یک سیم پیچ اصلی و دیگری سیم پیچ راه انداز) دو سیم پیچ بصورت موازی به هم متصل می شوند اما محور مغناطیسی آنها ۹۰ درجه الکتریکی اختلاف فاز دارند .

۲-۹-۱-۱- موتور فاز شکسته مقاومتی :

اندیسهای aوx کمیتهای مربوط به سیم پیچ کمکی و اصلی است و CS یک کلید گریز از مرکز است چنانچه جریان دو سیم پیچ از نظر زمانی اختلاف فاز داشته باشند آنگاه یک میدان گردان ایجاد می گردد که شرط لازم برای ایجاد گشتاورد می باشد .

$$\frac{R_a}{X_a} > \frac{R_m}{X_m}$$



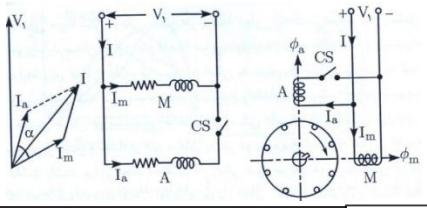
R_a مقاومت سیم پیچ کمکی ، R_m مقاومت سیم پیچ اصلی

X_a راکتانس سیم پیچ کمکی، X_m راکتانس سیم پیچ اصلی

برای حصول شرط فوق سیم پیچ کمکی را کمی نازکتر می گیریم زیرا این سیم پیچ فقط در لحظه راه اندازی مورد استفاده قرارا می گیرد و کلید گریز از مرکز پس از آنکه سرعت موتور به ۷۵ درصد سرعت سنکرون رسید آنرا از مدار خارج می کند .

همانطور که در شکل می بینیم چون سیم پیچ اصلی در مقایسه با سیم پیچ کمکی راکتانس نشطی بزرگتری دارد جریان سیم پیچ اصلی I_m مطابق شکل (۲-۱۹-ج) از جریان سیم پیچ کمکی I_a پس فاز تر می باشد . این دیاگرام فازوری بیانگر شرایط در لحظه راه اندازی تایین می شود جریان I_a به مقدار max میرسد و بعد از مدتی که توسط زاویه α (۳۰ تا ۴۰ درجه)تعین میشود به ماکزیمم میرسد.در نتیجه میدان در جهت عقربه ساعت می چرخد و یک میدان گردان تولید می شود و روتور از سمت سیم پیچ کمکی به سمت سیم پیچ اصلی شروع به گردش می کند به شرط آنکه قطبهایی با پلاریته یکسان ایجاد شود .

بمنظور تغییر جهت گردش کافی است جای ترمینالها در یکی از دو سیم پیچ کمکی یا اصلی تعویض شود اگر کلید گریز از مرکز کار خود را انجام ندهد و سیم پیچ کمکی را زا مدار خارج نکند سر و صدای زیادی ایجاد خواهد شد و ممکن است به دلیل گرمای زیاد ایجاد شده بسوزد .



۲-۹-۱-۲ – موتور فاز شکسته خازنی :

نماد کلی موتور را می توان در شکل دید ، بررسی ها بر روی دیاگرام فازوری نشان می دهد جریان خط در موتور فاز شکسته خازنی نسبت به فاز شکسته مقاومتی کمتر است .

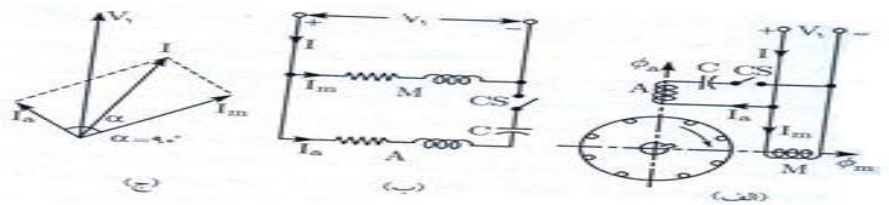
چون گشتاور راه اندازی متناسب با $I_a I_m \sin\alpha$ می باشد این موتور گشتاور راه اندازی بزرگتری نسبت به موتور فاز شکسته مقاومتی دارد .

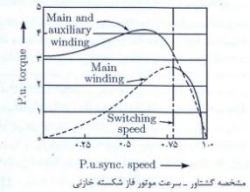
سیم پیچ کمکی و خازن راه انداز برای مدت کوتاهی در مدار هستند بنابر این میتوان برای حداقل قیمت طراحی شوند یک موتور فاز شکسته خازنی مطابق شکل زیر گشتاور راه انداز بالایی دارد .

ظرفیت خازن راه انداز بین ۲۰ تا ۳۰ میکروفاراد برای موتورهای W ۱۰۰ و بین ۶۰ تا ۱۰۰ میکروفاراد برای موتورهای W ۷۵۰ متغیر است .

خازنهای الکتریکی AC ، اقتصادی تر هستند اما موتور نباید بطور مداوم راه اندازی شود در غیر اینصورت خازن بیش از حد گرم شده و صدمه می بیند .

. این موتور چون گشتاور راه اندازی بالایی دارد در تجهیزات سرمایشی و کمپرسورها و پمپهای رفت و برشتی کاربرد دارد



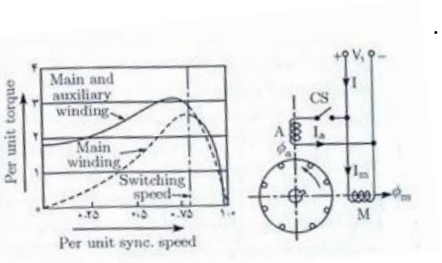


۲-۹-۱-۳- موتورهای با خازن دائم و راه انداز :

همانطور که در شکل (۲ – ۲۳) مشاهده می شود یک خازن بزرگ C_1 در حین راه اندازی بصورت موازی با خازن C_2 متصل می شود و کلید گریز از مرکز CS بطور اتوماتیک C_1 را حوالی ۷۵ درصد سرعت سنکرون از مدار خارج می شود در حالی که خازن کوچک C_2 سری با سیم پیچ کمکی در مدار باقی می ماند در نتیجه بهترین راه اندازی با خازن بزرگ و بهترین عملکرد کاری با خازن کوچک است .

چون خازن C_2 بطور دائم در مدار می باشد این موتور مثل موتور القایی دو فاز متعادل می شود در نتیجه از ضربان گشتاور کاسته شده و یک موتور بدون مدار را به ما تحویل می دهد در این شرایط ضریب توان و راندمان نیز افزایش می یابد .

این نوع موتورها برای تجهیزات اداری، فن ها و ... استفاده می شود چون در این محیط ها عملکردی آرام و بی صدا مورد نظر است .

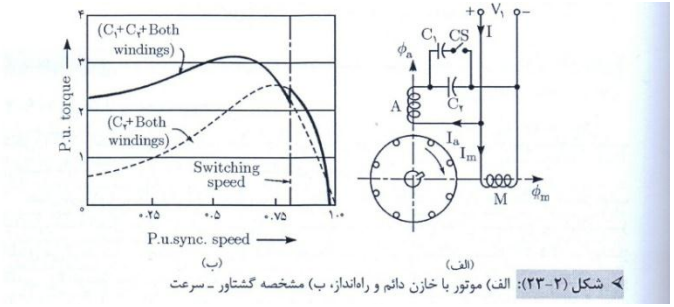


۲-۹-۱-۴ – موتورهای با خازن دائمی :

این نوع موتور به موتور فاز شکسته خازنی نیز معروف است مطابق شکل خازن با سیم پیچ کمکی سری شده و کلید گریز از مرکز آنرا از مدار خارج نمی کنـد بلکـه هم در شرایط راه انداز ی و هم در شرایط عادی در مدار باقی خواهد ماند .

این موتورها به خاطر حذف کلید CS ازران قیمت هستند با ضریب توان ، ضربان گشتاور و بازده نیز بهبود یافته است . زیرا موتور در شرایط دو فاز مورد بهره برداری قرار گرفته است سر و صدای این موتورها کم می باشد و خازن از نوع AC و از جنس کاغذ آغشته به روغن می باشد .

مشخصه گشتاور سرعت این موتور نشان می دهد این موتورها در جاهایی همچون ادارات ، کلاسهای درس ، سالن تئاتر ... استفاده می شود موتور پنکه سقفی از نوع خازن دائم است .



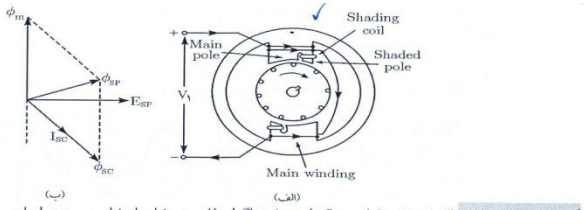
شکل (۲-۲۳): الف) موتور با خازن دائم و راه‌انداز، ب) مشخصه گشتاور ـ سرعت

۲-۹-۲- راه اندازی قطب چاکدار :

همانطور که در شکل می بینیم استاتور این موتور ساختار قطب برجسته دارد و روتور آن از نوع قفسه ای با شیارهای کج می باشد .

همانطور که در شکل مشخص است بازده این موتور پایین است در حدود ۲۰ الی ۵۰ درصد بنا بر این استفاده این موتورها در مصرف خانگی با مدت زمانی طولانی معقول نمی باشد . زیرا به شدت داغ می شود با این وجود از این موتور بصورت وسیع در اندازه های کوچک استفاده می شود مانند ضبط صوت ، هیترها ، پروژکتورهای فیلم این موتورها ساختار بسیار ساده ای دارند و ارزان قیمت هستند .

.

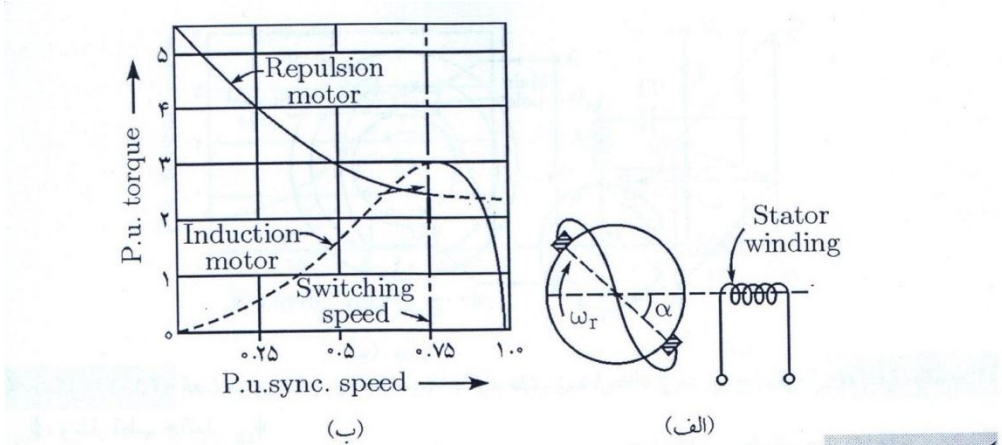


شکل (۲-۲۵): الف) موتور قطب چاکدار، ب) دیاگرام فازوری شارها؛ شار سیم‌پیچ اصلی ϕ_m، شار حلقهٔ چاک ϕ_{sc}، و شار قطب چاکدار ϕ_{sp}

۲-۹-۳- راه اندازی ریپالسیونی (دفعی)

این موتور دارای یک سیم پیچ آرمیچر DC اضافی است مطابق شکل جاروبکها اتصال کوتاه شده اند و محور جاروبکها به اندازه زاویه مناسب α با محور مغناطیسی استاتور اختلاف فاز دارند چون این موتور شبیه موتور سری است در لحظه راه اندازی گشتاور بزرگی تولید می کند .

زیرا موتور القایی تک فاز با خازن راه انداز بر موتور القایی با راه اندازی ریپاسیونی برتری دارد.

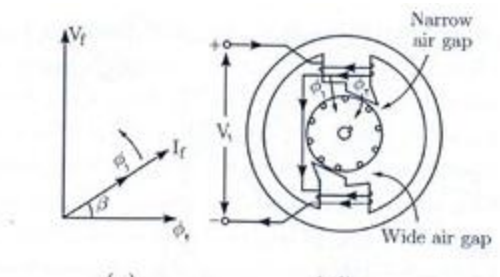


شکل (۲-۲۷): الف) شمای موتور ریپالسیونی، ب) مشخصهٔ گشتاور سرعت موتور القایی با راه‌انداز ریپالسیونی

۲-۹-۴- راه راندازی رلوکتانسی :

موتور دیگری که در آن فاصله هوایی – غیر یکنواخت – به روش مشابه با آنچه که در مورد قطب چاکدار شاهد بودیم برای تولید میدان مغناطیسی دوار استفاده می گردد موتور با راه اندازی رلوکتانسی است . در این روش روتور انرژی خود را به روش القاء از استاتور دریافت می کند .

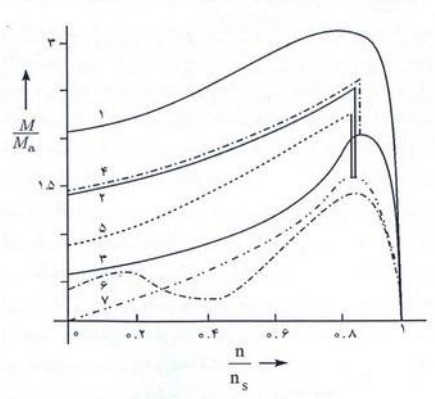
مشخصات عملکردی این موتور مشابه قطب چاکدار است .

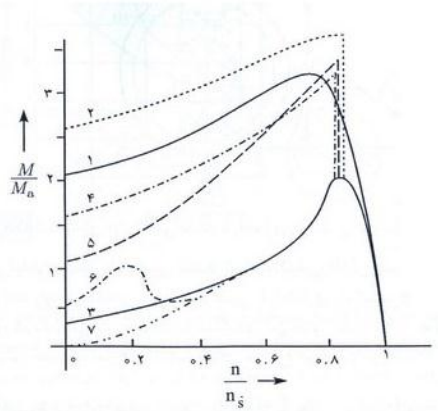


شکل (۲-۲۸): الف) شمای موتور القایی تک‌فاز با راه‌اندازی رلوکتانسی، ب) دیاگرام فازوری آن.

۲-۱۰- مقایسه ماشینهای القایی تکفاز و کاربرد هر یک :

همانگونه که تأکید شد برای راه اندازی موتورهای تک فاز القایی از سیم پیچ کمکیی استفاده میگردد. بدین طریق اختلاف فاز زمانی و مکانی لازم پدید می آید. میدان های ناشی از سیم پیچ کمکی و اصلی، میدانی بیضوی پدید می آورند که ایجاد گشتاور راه اندازی را پدید می آورند. در ابتدا، موتورهای القایی تک فاز را در گشتاور نامی یکسان و سپس برای ماشین های با فریم یکسان مقایسه می نماییم. بدین طریق می توان مقایسه منطقی از انواع ماشین ها انجام داد. مشخصه ۱ یا ۷ در شکل های زیر به موتور های ذیل اشاره دارند.





۱- موتور القایی سه فاز
۲- موتور القایی تک فاز با خارن راه انداز
۳- موتور القایی تک فاز با خارن دایمی(کار)
۴- موتور القایی تک فاز با خارن راه انداز وخازن کار
۵- موتور فاز شکسته مقاومتی
۶- موتور قطب چاکدار
۷- موتور القایی تک فاز ساده

جدول (۲-۱): مشخصه‌ها و کاربردهای موتورهای القایی تک‌فاز

کاربردها	قیمت تقریبی (درصد)	اسب بخار	بار نامی(درصد) – بازده (درصد)		گشتاور ماکزیمم راه‌اندازی (درصد از گشتاور اسمی)		نوع موتور و علامت اختصاری
پنکه‌ها، دمنده‌ها، پمپ‌های گریز از مرکز، ماشین رختشویی که به گشتاور راه‌انداز متوسط وکم نیاز دارند.	۱۰۰	۱ تا $\frac{۱}{۲۰}$	۶۵- ۵۵	۶۵- ۵۰	تا ۳۰۰	۱۰۰ تا ۲۵۰	موتور فاز شکسته
کمپرسورها، پمپ‌ها، یخچال‌ها، لوازم تهویه مطبوع و ماشین رختشویی	۱۲۵	۱ تا $\frac{۱}{۸}$	۶۵- ۵۵	۶۵- ۵۰	تا ۳۵۰	۲۵۰ تا ۴۰۰	موتور با خازن راه‌انداز
پنکه‌ها و دمنده‌های کم صدا	۱۴۰	۱ تا $\frac{۱}{۸}$	۷۰- ۶۰	۹۰- ۷۵	تا ۲۵۰	۱۰۰ تا ۲۰۰	موتور با خازن دائمی
کمپرسورها و پمپ‌هایی که باید صدای کم و گشتاور راه‌اندازی زیاد داشته باشند	۱۸۰	۱ تا $\frac{۱}{۸}$	۷۰- ۶۰	۹۰- ۷۵	تا ۲۵۰	۲۰۰ تا ۳۰۰	موتور دو خازنی
پنکه‌ها، سشوارها و اسباب بازی‌هایی که به گشتاور راه‌اندازی کم نیاز دارند	۶۰	$\frac{۱}{۲۰}$ تا $\frac{۱}{۲۰۰}$	۴۰- ۲۵	۴۰- ۲۵	۱۴۰	۴۰ تا ۶۰	موتور قطب چاکدار

۲-۱۱- طراحی سیم پیچی راه انداز

۲-۱۱-۱- ماکزیمم نمودن گشتاور راه اندازی با R_a مناسب در موتور فاز شکسته مقاومتی

$$R_a = \frac{X_a}{X_m}\left(R_m + |Z_m|\right)$$

۲-۱۱-۲- ماکزیمم نمودن گشتاور راه اندازی با انتخاب مناسب X_e در موتور

القایی تک فاز با خازن راه انداز

$$X_e = X_a + \frac{R_a R_m}{|Z_m| + X_m}$$

۲-۱۱-۳- ماکزیمم نمودن گشتاور راه اندازی به جریان راه اندازی با انتخاب مناسب خازن در موتور القایی تک فاز خازن

$$X_c = X_a + \frac{X_m R_a}{R_m} + \sqrt{\left(\frac{X_m R_a}{R_m}\right)^2 + \left[\frac{2X_m^2 R_a}{R_m} + \left(R_m + R_a\right)^2 + X_m^2\right]^2}$$

۲-۱۱-۱- ماکزیمم نمودن گشتاور راه‌اندازی با R_a مناسب در موتور فاز شکسته مقاومتی

با توجه به رابطهٔ گشتاور راه‌اندازی $T_{st} = KI_m I_a \sin\alpha$ (اثبات در فصل بعد)، از آنجا که I_m ثابت است کافی است $I_a \sin\alpha$ ماکزیمم شود. با عنایت به شکل (۲-۱۹) داریم:

$$I_a \sin\alpha = I_a \sin(\theta_m - \theta_a) = \frac{V}{Z_a}(\sin\theta_m \cos\theta_a - \sin\theta_a \cos\theta_m)$$

$$= \frac{V}{Z_a}\left(\frac{X_m}{Z_m}\cdot\frac{R_a}{Z_a} - \frac{X_a}{Z_a}\cdot\frac{R_m}{Z_m}\right) = \frac{V}{Z_m}\left(\frac{X_m R_a - X_a R_m}{Z_a^2}\right) = \frac{V}{Z_m}\left(\frac{X_m R_a - X_a R_m}{R_a^2 + X_a^2}\right)$$

اکنون برای ماکزیمم شدن گشتاور لازم است که:

$$\frac{\partial(I_a \sin\alpha)}{\partial R_a} = 0$$

$$\Rightarrow X_m Z_a^2 - 2R_a (X_m R_a - X_a R_m)/Z_a^4 = 0$$

$$\Rightarrow X_m (R_a^2 + X_a^2) - 2X_m R_a^2 + 2R_a R_m X_a = 0$$

$$\Rightarrow R_a^2 - \frac{2X_a R_m}{X_m} R_a - X_a^2 = 0 \Rightarrow R_{a_{1,2}} = R_m \frac{X_a}{X_m} \pm \sqrt{\left(\frac{X_a R_m}{X_m}\right)^2 + X_a^2}$$

$$\Rightarrow R_{a_{1,2}} = \frac{X_a}{X_m} R_m \pm \frac{X_a}{X_m} \sqrt{R_m^2 + X_m^2}$$

علامت (-) عبارت فوق قابل قبول نمی‌باشد، لذا:

$$R_a = \frac{X_a}{X_m}(R_m + |Z_m|)$$

۲-۱۱-۲- ماکزیمم نمودن گشتاور راه‌اندازی با انتخاب مناسب X_c در موتور القایی تک فاز با خازن راه‌انداز

هدف یافتن X_c در این موتور با هدف ماکزیمم نمودن گشتاور راه‌اندازی می‌باشد. در این حالت با توجه به شکل (۲-۲۱) داریم:

$$I_a \sin\alpha = \frac{V}{\tilde{Z}_a} \sin(\theta_m + \theta_a) \quad ; \quad \tilde{Z}_a = R_a - j\tilde{X}_a \quad ; \quad \tilde{X}_a = X_c - X_a$$

$$= \frac{V}{\tilde{Z}_a}(\sin\theta_m \cos\theta_a + \sin\theta_a \cos\theta_m) = \frac{V}{\tilde{Z}_a}\left(\frac{X_m}{Z_m}\cdot\frac{R_a}{\tilde{Z}_a} + \frac{\tilde{X}_a}{\tilde{Z}_a}\cdot\frac{R_m}{Z_m}\right)$$

$$= \frac{V}{\tilde{Z}_m}\left(\frac{X_m R_a + \tilde{X}_a R_m}{\tilde{Z}_a^2}\right) = \frac{V}{Z_m}\left(\frac{X_m R_a + \tilde{X}_a R_m}{R_a^2 + \tilde{X}_a^2}\right)$$

اکنون برای ماکزیمم شدن گشتاور لازم است که:

$$\frac{\partial(I_a \sin\alpha)}{\partial \tilde{X}_a} = 0 \Rightarrow \frac{R_m \tilde{Z}_a^2 - 2\tilde{X}_a (X_m R_a + R_m \tilde{X}_a)}{\tilde{Z}_a^4} = 0$$

$$\Rightarrow R_a (R_m^2 + \tilde{X}_a^2) - 2\tilde{X}_a X_m R_a - 2\tilde{X}_a^2 R_m = 0$$

$$\Rightarrow \tilde{X}_a^2 + \frac{2\tilde{X}_a X_m R_a}{R_m} - R_a^2 = 0 \Rightarrow \tilde{X}_a = -\frac{X_m R_a}{R_m} + \sqrt{\left(\frac{X_m R_a}{R_m}\right)^2 + R_a^2}$$

$$= \frac{-X_m R_a + R_a |Z_m|}{R_m} = \frac{R_a}{R_m}(|Z_m| - X_m) = \frac{R_a}{R_m}\cdot\frac{(|Z_m|^2 - X_m^2)}{|Z_m| + X_m}$$

۲-۱۱-۳ ماکزیمم کردن نسبت گشتاور راه‌اندازی به جریان راه‌اندازی با انتخاب مناسب خازن در موتور القایی تک‌فاز خازن

داریم:

$$\mathrm{Max}\left(\frac{T_{st}}{I_{st}}\right)\equiv \mathrm{Max}\left(\frac{T_{st}}{I_{st}^{2}}\right)\equiv \mathrm{Max}\left(\frac{(I_a \sin\alpha)}{I_{st}^{2}}\right) \qquad (۳۷-۲)$$

برای مخرج، داریم:

$$I_{st}=I_m+I_a=\frac{V_s}{Z_m}+\frac{V_s}{Z_a}=V_s\left(\frac{Z_m+Z_a}{Z_m Z_a}\right) \qquad (۳۸-۲)$$

در اینجا متغیر، باز هم همان X_a است:

$$\rightarrow |I_{st}|^{2}=\frac{V_s^{2}}{Z_m^{2}Z_a^{2}}\left|(R_m+R_a)+j(X_m+X_a)^{2}\right|^{2} \qquad (۳۹-۲)$$

$$\rightarrow |I_{st}|^{2}=\frac{V_s^{2}}{Z_m^{2}Z_a^{2}}\left|(R_m+R_a)+(X_m+X_a)^{2}\right|^{2} \qquad (۴۰-۲)$$

$$\rightarrow \left|\frac{I\sin\alpha}{I_{st^{2}}}\right|^{2}=\frac{\frac{V_s}{Z_m}\left[\frac{X_m R_a+R_m X_a}{Z_a^{2}}\right]}{\frac{V_s^{2}}{Z_m^{2}Z_a^{2}}\left[(R_m+R_a)^{2}+(X_m+X_a)^{2}\right]} \qquad (۴۱-۲)$$

$$\rightarrow \left(\frac{I_a\sin\alpha}{I_{st^{2}}}\right)=\left[\frac{X_m R_a+R_m X_a}{(R_m+R_a)^{2}+(X_m+X_a)^{2}}\right] \qquad (۴۲-۲)$$

حال نسبت به X_a که متغیر است، مشتق می‌گیریم:

$$\frac{\partial}{\partial X_a}\left(\frac{T_{st}}{I_{st}}\right)\equiv\frac{\partial}{\partial X_a}\left(\frac{T_{st}}{I_{st}^{2}}\right)\equiv\frac{\partial}{\partial X_a}\left(\frac{I_a\sin\alpha}{I_{st}^{2}}\right)=0 \qquad (۴۳-۲)$$

$$\rightarrow R_m\left[(R_m+R_a)^{2}+(X_m+X_a)^{2}\right]-2(X_m+X_a)\left[R_a X_m+R_m X_a\right]=0 \qquad (۴۴-۲)$$

با توجه به این رابطه:

$$(X_m+X_a)^{2}=X_m^{2}+X_s^{2}-2X_m X_a \qquad (۴۵-۲)$$

$$\rightarrow X_a^2 + \frac{2X_m R_a X_a}{R_m} + \left[-\left(R_m + R_a\right)^2 - X_m + \frac{2R_a X_m^2}{R_m} \right] = 0 \qquad (۴۶-۲)$$

$$X_a = -\frac{X_m R_a}{R_m} - \sqrt{\left(\frac{X_m R_a}{R_m}\right)^2 + \left[\frac{2R_a X_m^2}{R_m} \left(R_m + R_a\right)^2 + X_m^2 \right]} \qquad (۴۷-۲)$$

با توجه به رابطهٔ $X_a = X_a - X_c$

$$X_c = X_a - X_a \qquad (۴۸-۲)$$

$$X_c = X_a + \frac{X_m R_a}{R_m} + \sqrt{\left(\frac{X_m R_a}{R_m}\right)^2 + \left[\frac{2R_a X_m^2}{R_m} + \left(R_m + R_a\right)^2 + X_m^2 \right]^2} \qquad (۴۹-۲)$$