به نام خالق خوبی ها

نام استاد :

سرکار خانم دکتر سپیده بهرآور

تهیه کنندگان :

اسماعیل حبیبی، مهدی فرهاد، رضا فردی، مهرزاد کاظمی ،محمد انصاری

موضوع : موتورهای القایی تک فاز

- فهرست
  - ۱-تعریف کلی ماشین کسر اسب بخار
  - ۲-انواع موتور های تکفاز(القایی – سنکرون و یونیورسال)
  - ۳-موتور های القایی سه فاز
  - ۴-مشخصات ساختاری موتور القایی تکفاز
  - ۵-عملکرد موتور القایی تکفاز
  - ۶-مدار معادل موتر القایی تکفاز
  - ۷-اندازه گیری پارامترهای مدار معادل(آزمایش بی باری و روتور قفل شده)
  - ۸- مقایسه بین موتورهای الکتریکی القایی تکفاز و سه فاز
  - ۹- روش های راه اندازی موتور القایی تک فاز(راه اندازی فاز شکسته-قطب چاکدار-دفعی (ریپالیسونی) و رلوکتانسی)
  - ۱۰- مقایسه ای بین این ماشین ها
  - ۱۱- جمع بندی مطالب
  - ۱۲-فرمول ها

مقدمه

هدف کلی ما از این فصل بحث در مورد انواع ماشین های تکفاز که شامل(القایی – سنکرون و یونیورسال) و معرفی موتور های القایی تکفاز که مشخصات ساختار ، نحوه ی عملکرد ، مدار معادل ،اندازه گیری پارامتر مدار معادل(آزمایش بی باری و رتور قفل شد) و مقایسه بین موتورهای تکفاز و سه فاز در آن بیان شده است.

تعریف ماشین کسر – اسب بخار

یک ماشین الکتریکی ، درعمل تبدیل انرژی از الکتریکی به مکانیکی و یا بالعکس نقش واسطه را به عهده دارد . ماشین های الکتریکی را از دیدگاه های مختلف می توان به AC و DC و یا دوار و خطی تقسیم بندی نمود. به علاوه براساس قدرت خروجی نیز به دو دسته ی کسر اسب بخار و یک اسب بخار یا بالاتر از آن تقسیم می شوند . در تئوری ماشین های الکتریکی اعم از AC یا DC می توان ثابت کرد که :

که در آن P ، D ، L، و n به ترتیب قدرت ، قطر متوسط فاصله ی هوایی ، طول مفید ماشین و سرعت محور هستند . به عبارت دیگر توان ماشین نسبت مستقیم با حجم قسمت فعال ماشین (D^2L) و سرعت آن دارد . با توجه به این واقعیت ، یک ماشین کسر اسب بخار را براساس استاندارد NEMA به صورت زیر تعریف می کنیم :

تعریف کلی

" ماشین کسر اسب بخار به ماشینی اطلاق می شود که قدرت آن در سرعت 1700rpm ،کمتر از یک اسب بخار (۷۴۶ وات) باشد . "

بعنوان مثال چنانچه قدرت یک ماشین در سرعت 3400rpm ، 1kw باشد هنوز یک ماشین کسر اسب بخار است ، زیرا قدرت چنین ماشینی در سرعت 1700rpm در حدود ۵۰۰ وات (کمتر از یک اسب) خواهد بود . همچنین یک موتور 2kw ، 5600rpm هنوز در دسته موتورهای کسر اسب بخار جای دارد.

- **انواع موتورهای تک فاز**

به منظور پاسخگویی به کاربردهای گوناگون ، انواع متنوعی از موتورهای AC کسر – اسب بخار ساخته شده اند . بعنوان مثال موتور القایی تک فاز در جاهایی که درایو سرعت ثابت مورد نیاز باشد و موتور سری تک فاز در کابردهای با گشتاور راه اندازی زیاد استفاده می شود . به لحاظ مشخصات کاری ، موتورهای تک فاز به سه دسته عمده تقسیم می شوند :

۱- موتورهای القایی تک فاز: اکثر موتورهای تک فاز ازنوع القایی (آسنکرون) بوده و با توجه به نحوه راه اندازی شان نام گذاری می شوند ما نیز موتورهای فاز شکسته ، موتورهای با خازن راه انداز ، موتورهای با خازن دائم و موتورهای قطب چاکدار جزء موتورهای القایی تک فاز محسوب می شوند .

۲- موتورهای سنکرون تک فاز: موتورهای سنکرون تحت سرعت ثابت می چرخند و در صنعت ساعت سازی ، گرامافون و ضبط صوت مورد استفاده قرار می گیرند . موتورهای رلوکتانسی و هیستریس جزء موتورهای سنکرون تک فاز طبقه بندی می شوند .

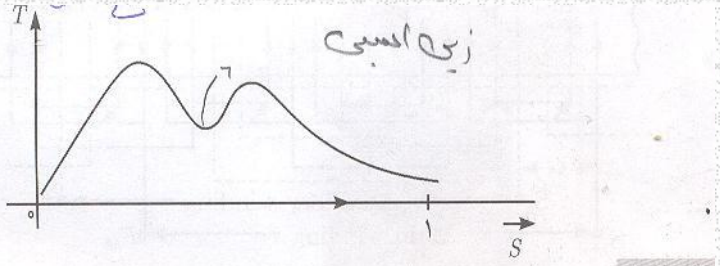
۳- موتورهای AC سری تک فاز یا موتورهای یونیورسال یا AC کموتاتوردار: موتورهای تک فاز سری را می توان همراه منبع تغذیه DC یا AC مورد بهره برداری قرار داد . در این گونه موتورها ، گشتاور راه اندازی قابل ملاحظه ای ایجاد می گردد . و سرعت آنها نسبتاً زیاد است . از این نوع موتورها در لوازم آشپزخانه ، جاروبرقی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

در این فصل موتور القایی تک فاز مورد بررسی قرار می گیرد .

موتور القایی سه فاز

هنگامی که یک موتور القایی سه فاز متعادل توسط منبع تغذیه سه فاز سه سیمه متقارن تغذیه می گردد یک میدان گردان در فاصله ی هوایی تولید شده و گشتاور راه اندازی ایجاد می گردد. چنانچه در یک موتور القایی سه فاز ، در حالی که کمتر از نصف بار نامی خود راتأمین می 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 تأمین انرژی موتور سهم دارند تغذیه منبع به صورت تک فاز است و

- نقاط ضعف کاربرد ماشین های سه فاز به عنوان تک فاز را می توان به صورت زیر برشمرد :
گشتاور راه اندازی آنها صفر یا کوچک است (میدان ضربانی و یا میدان بیضوی)
قدرت آنها حدود تا توان در حالت سه فاز است .
به خاطر وجود نامتقارنی ، هارمونیک ها اثرات نامطلوب بیشتری دارند . خصوصاً هارمونیک سوم چشمگیر خواهد بود . وجود هارمونیک موجب افزایش تلفات و نویز صوتی و موجب راندمان کمتر خواهد شد . در شکل (۲-۱) مشخصه ی گشتاور- سرعت ماشین سه فاز در شبکه ی تک فاز نشان داده شده است . گشتاور زین اسبی پدید آمده ، ناشی از هارمونیک سوم است که در این ماشین ها دارای مقدار قابل توجهی می باشد .

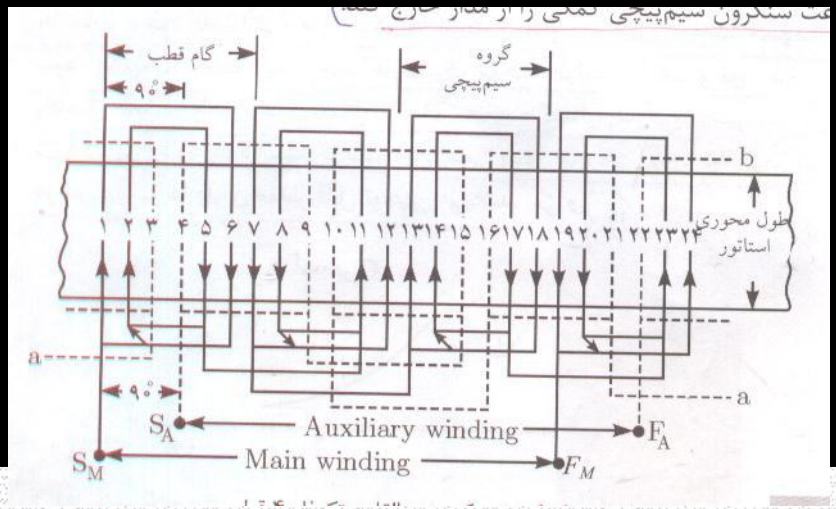


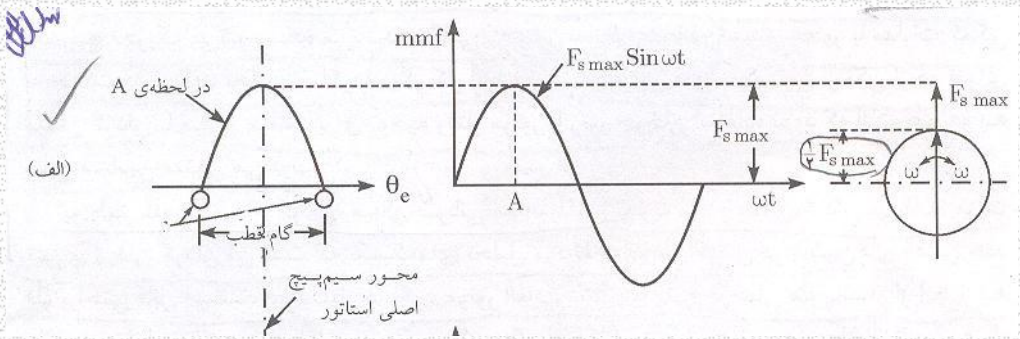
کل (۲-۱): مشخصه گشتاور ـ لغزش یک موتور سه فاز در شبکهٔ تک‌فاز

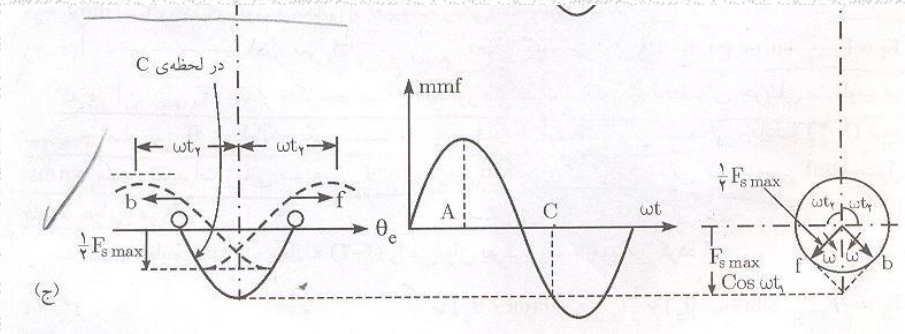
- **مشخصات ساختاری**

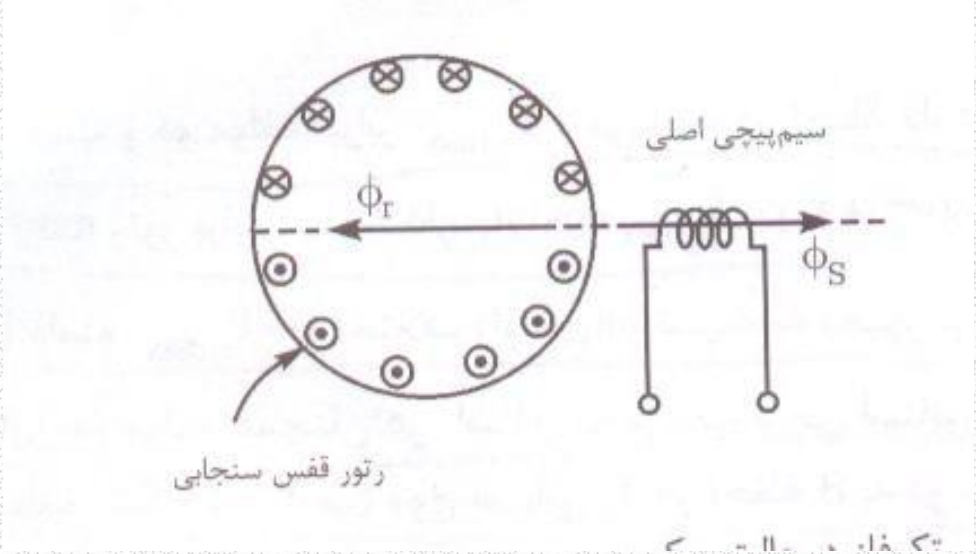
رتور یک موتور القایی تک فاز دقیقاً مشابه رتور قفس سنجابی یک موتور القایی سه فاز است . رتور سیم پیچی شده به ندرت در چنین موتورهایی استفاده می گردد زیرا هزینه تمام شده ماشین را افزایش می دهد . استاتور یک موتور القایی تک فاز حامل دو سیم پیچی یکی اصلی و دیگری کمکی می باشد . هر دو سیم پیچی به صورت متمرکز و تک لایه توزیع می شوند . سیم پیچی اصلی در تقریباً کل شیارهای پیرامون استاتور تعبیه می گردد زیرا هیچ مزیتی در توزیع سیم پیچی در تمام شیارها نمی باشد . چون محیط استاتور به طور کامل استفاده نمی شود یک موتور القایی تک فاز در مقایسه با یک موتور القایی سه فاز با همان فریم که در آن همه ی شیارهای استاتور سیم پیچی می شوند دارای توان خروجی کمتری است . شکل (۲-۲) هر دو سیم پیچی اصلی و کمکی را در یک موتور القایی تک فاز ۴ قطب با ۲۴ شیار نشان می دهد . در این شکل ۱۶ شیار برای سیم پیچ اصلی و ۸ شیار برای سیم پیچی کمکی در نظر گرفته شده است . اما در بعضی موارد شیارها ممکن است به هر دو سیم پیچ اختصاص یابند . چنانچه سیم پیچ اصلی از تا دنبال گردد دیده می شود که سیم پیچ های متمرکز ابتدا در جهت عقربه ی ساعت و سپس در خلاف جهت عقربه ی ساعت پیچیده شده اند و این روند به همین ترتیب ادامه می یابد

- همین مطلب درمورد سیم پیچ کمکی با بیش ازیک سیم پیچ درهرگروه سیم پیچی درهر گروه سیم پیچی نیزصادق است . باید توجه داشت که زاویه ی الکتریکی بین و است ، یعنی . محورهای مغناطیسی دو سیم پیچ کمکی و اصلی متعامد هستند .
دریک نوع ازموتورهای القایی تک فاز (موتور القایی فازشکسته) کلید گریز ازمرکزی به . طور سری با سیم پیچی کمکی تعبیه شده که برروی شافت رتور قراردارد . دراین موتورها ، هردو سیم پیچ درلحظه ی راه اندازی درمدارهستند و هدف کلید گریز ازمرکزآن است که با رسیدن سرعت به ۷۰ تا ۸۰ درصد سرعت سنکرون سیم پیچی کمکی را ازمدارخارج کند .




mmf
$F_{s\,max}\,Sin\,\omega t$
در لحظه‌ی A
$F_{s\,max}$
$\frac{1}{2}F_{s\,max}$
(الف)
θ_e
A
ωt
گام قطب
محور سیم‌پیچ
اصلی استاتور


در لحظه‌ی C
mmf
ωt_2
ωt_2
b
f
$\frac{1}{2}F_{s\,max}$
θ_e
A
C
ωt
$\frac{1}{2}F_{s\,max}$
$F_{s\,max}$ Cos ωt_1
(ج)


سیم‌پیچی اصلی
ϕ_r
ϕ_S
رتور قفس سنجابی

عملکرد موتور القایی تک فاز

توصیف کیفی

یک موتور القایی تک فاز با تنها یک سیم پیچی اصلی را می توان مطابق شکل (۲-۳) به تصویر کشید . در حالت رتور ساکن ، سیستم مشابه یک ترانسفورماتور می باشد که ثانویه آن اتصال کوتاه شده است . جریان متناوب در سیم پیچی اصلی یک موج mmf ضربانی ایجاد می کند . پیرو این امر شار استاتور(φ_s) نیز دارای تغییرات زمانی سینوسی است در حالی که پلاریته آن متناوباً عوض می گردد (شار ضربانی) . بواسطه عمل ترانسفورماتوری ، شار متناوب (φ_s)جریان های بزرگی در رتور جاری می سازد که جهت این جریان ها برای یک لحظه ی خاص در شکل (۲-۳) با علامت x و ۰ نشان داده شده است . این جریانها ، موج mmf رتور و استاتور در یک امتداد می باشند . به عبارت دیگر زاویه بین φ_s و φ_r برابر با 180° است و لذا هیچ گشتاور راه اندازی تولید نمی شود. این توصیف نشان می دهد که موتور القایی تک فاز ذاتاً فاقد گشتاور راه اندازی است .

همانگونه که دیدیم تحلیل رفتار موتور القایی تک فاز در حالتی که رتور ساکن است و تنها با یک سیم پیچ تحریک می شود ساده می باشد هنگامی که رتور توسط چرخاندن دستی محور با مدارات کمکی به حرکت در می آید تحلیل عملکرد ،دیگر کار آسانی نیست . در این صورت می توان از یکی از دو تئوری میدان گردان یا میدان متعامد برای توجیه رفتار موتور با رتور چرخان استفاده نمود که البته هر دو به نتایج مشابهی منتهی می شوند.

معادله اخیر نشان می دهد که موج mmf ضربانی قابل تجزیه به دو موج گردان با دامنه های مساوی می باشد .

ماکزیمم مقدار هر شکل موج گردان برابر می باشد که معادل نصف دامنه ی موج ضربانی اولیّه است. این دو موج گردان در شکل (۲-۴) به تصویر کشیده شده اند.

در لحظه ی A ، هنگامی که $\omega t = 90^{\circ}$ و جریان استاتور ماکزیمم است ، مطابق شکل (۲-۴- الف) MMF استاتور برابر $F_{s,max}$ است و دو مؤلفه ، برابر $\frac{1}{2}F_{s,max}$ می باشد . در لحظه ی B ، در یک زاویه ی ωt_1 بعد از لحظه ی A دامنه ی موج mmf رتور برابر با مقدار $F_{s,max}\sin(\omega t_1 + 90)$ و اختلاف زاویه ی ωt_1 نسبت به محور سیم پیچی استاتور دوران می کند . اما $\frac{1}{2}F_{s,max}$ می باشد و دو مؤلفه ی mmf گردان با دامنه $+ F_{s,max}\ cos\ \omega t_1$ ، منتجه این دو مؤلفه همچنان در راستای محور سیم پیچی استاتور عمل می کند . در شکل موج فضایی mmf ، مطابق شکل (۲-۴-ب) موج ضربانی F_s در لحظه ی B به دو موج mmf سینوسی که با f و b مشخص شده اند تجزیه شده است . موج مستقیم f به سمت راست و موج معکوس b به سمت چپ حرکت می نماید .

در لحظه ی c ، در یک زاویه ی ωt_2 نسبت به لحظه ی A ، هر دو موج mmf مستقیم و معکوس مطابق شکل (۲-۴-ج) به میزان زاویه ی ωt_2 حرکت می کنند اما منتجه این دو همچنان در راستای محور سیم پیچی استاتور می باشد . در شکل (۲-۴) ، منحنی های دست چپ ، شکل موج های فضایی mmf ، شکل های میانی ، تغییرات زمانی موج mmf و منحنی های دست راست ، بردارهای مکانی را در لحظات مختلفی از زمان نشان می دهند.

باید دقت شود که موج mmf استاتور و نه موج شار فاصله ی هوایی را می توان به دو موج گردان با دامنه ی مساوی تجزیه نمود. موج های mmf مستقیم و معکوس استاتور در هر وضعیتی از رتور دارای دامنه ی مساوی هستند در حالیکه موج های گردان مستقیم و معکوس شار فاصله ی هوایی که منتجه شار استاتور و رتور می باشد تنها در حالت رتور ساکن با هم برابرند .

فرض کنید که رتور با سرعت n_r می چرخد . آنگاه مشابه یک موتور القایی سه فاز ، سرعت رتور نسبت به میدان مستقیم استاتور برابر با $n_s - n_r$ دور بر ثانیه می باشد که در آن n_sسرعت میدان سنکرون استاتور است . لذا ، سرعت لغزشی نسبت به میدان مستقیم برابر با $n_s - n_r$ بوده و لغزش رتور به صورت زیر محاسبه می شود .

$$s_f = \frac{n_s - n_r}{n_s} = 2 - s \qquad (۵-۲)$$

از طرف دیگر ، سرعت رتور نسبت به میدان معکوس استاتور برابر با $n_s + n_r$دور بر ثانیه می باشد . در نتیجه، لغزش رتور به واسطه ی میدان معکوسی عبارت است از :

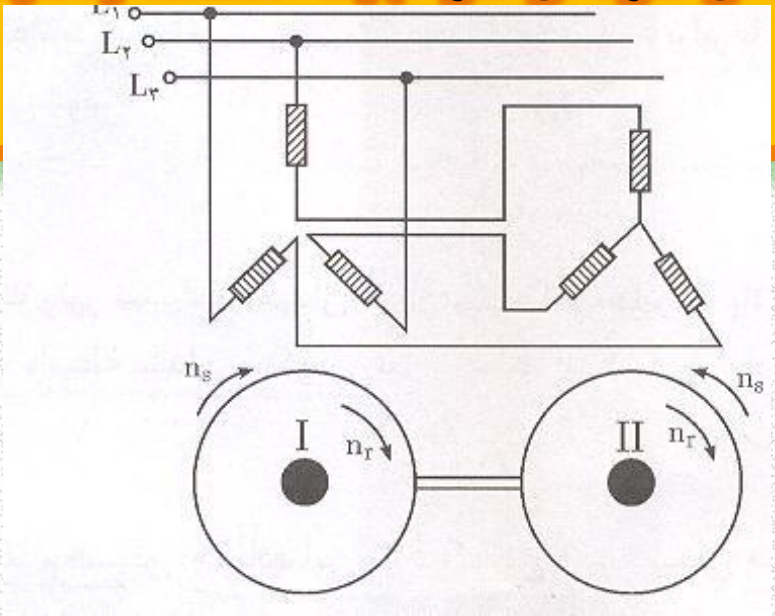
$$s_f = \frac{n_s + n_r}{n_s} = 2 - s$$

رتور در شکل (۲-۵) این امر را تأیید می نماید . دو میدان مزبور با جریان های رتور ، گشتاورهایی پدید می آورند که منتجه آنها گشتاور نهایی موتور است . میدان راست گرد و چپ گرد استاتور با جریان های رتور جمعاً چهار گشتاور می سازد ؛ در این میان ، گشتاورهای ناشی از میدان راست گرد استاتور با جریان رتور ناشی از میدان چپ گرد و نیز گشتاور ناشی از میدان چپ گرد استاتور با جریان رتور ناشی از میدان راست گرد دارای تغییرات زمانی با متوسط صفر هستند . دو گشتاور باقیمانده ، منتجه گشتاور را خواهند ساخت ؛ یعنی میدان راست گرد استاتور با جریان رتور ناشی از همین میدان و نیز میدان چپ گرد و نیز گشتاور ناشی از میدان چپ گرد استاتور با جریان رتور ناشی از میدان راست گرد دارای تغییرات زمانی با متوسط صفر هستند . دو گشتاور باقیمانده ، منتجه گشتاور را خواهند ساخت؛ یعنی میدان راست گرد استاتور با جریان رتور ناشی از همین میدان و نیز میدان چپ گرد استاتور با جریان رتور ناشی از همین میدان.

می توان نشان داد که میدان های گردان مستقیم و معکوس منتجه فقط در حالت رتور ساکن معادل اند. در هنگام کار موتور ، موج

مدار معادل موتور القایی تک فاز

جهت استخراج مدار معادل یک موتور القایی تک فاز برای سهولت می توان مطابق شکل (۲-۹-ب) آن را متشکل از دو استاتور سه فاز و دو رتور قفس سنجابی در نظر گرفت که رتورها توسط یک شافت مشترک به طور مکانیکی به هم کوپل شده اند . سیم پیچ های هر دو استاتور به طور سری به هم وصل شده اند تا جریان یکسانی از آنها عبور کند . هم چنین جهت جریان ها در سیم پیچ های استاتور سه فاز به گونه ای است که دو میدان گردان در جهت اختلاف یکدیگر ایجاد شود .



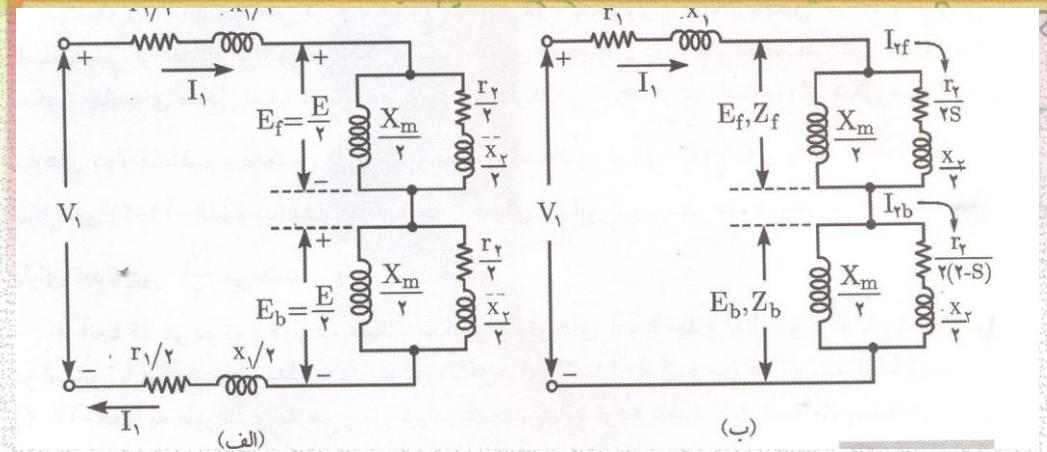
به عبارت دیگر ، مطابق شکل (۲-۹-ب) ، یک سیم بندی استاتور ، میدان گردان مستقیم تولید می کند در حالیکه دیگری میدان معکوس ایجاد می نماید . هر استاتور نصف تعداد دور سیم پیچ استاتور تک فاز نشان داده شده در شکل (۲-۹-الف) را داراست . در حالت سکون ، شکل موج های شار گردان مستقیم و معکوس ، دامنه های یکسانی دارند و گشتاور منتجه صفر است .

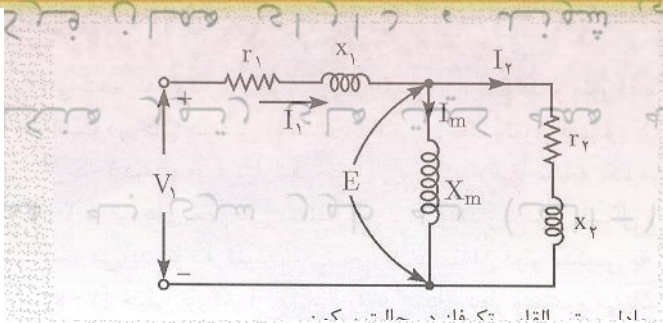
هنگامی که رتور ساکن است رفتار موتور شکل (۲-۹-الف) ، مشابه ترانسفورماتور تک فازی است که ثانویه آن اتصال کوتاه شده است . بنابراین مدار معادل موتور القایی تک فاز در حالت سکون همانند مدار معادل یک ترانس تک فاز اتصال کوتاه شده می باشد که در شکل (۲-۱۰) به تصویر کشیده شده است . در این مدار معادل ، $(r_1 + jx_1)$ امپدانس نشتی استاتور ،$(r_2 + jx_2)$ امپدانس نشتی رتور ارجاع یافته به سمت استاتور و X_m رأکتانس مغناطیس کنندگی می باشد . از اتلاف هسته صرف نظر شده است و به همراه تلفات اصطکاک و تهویه لحاظ خواهد شد . $\mathfrak{E}$ ولتاژ ضد محرکه القاء شده در سیم پیچی اصلی استاتور توسط موج شار منتجه ضربانی می باشد که از اثر متقابل $\boldsymbol{mmf}$ های استاتور و رتور تولید شده است . لازم به ذکر است که مدار معادل شکل (۲-۱۰) با در نظر گرفتن صرفاً سیم پیچی اصلی رسم شده است .

اکنون تئوری دو میدان گردان و شکل (۲-۹-ب) را در ذهن تجسم می کنیم . در حالت سکون ، هر دو شکل موج شار گردان مستقیم و معکوس رتور دارای دامنه ای معادل نصف دامنه شار ضربانی منتجه در فاصله ی هوایی می باشد . چنانچه فقط موج شار گردان مستقیم وجود می داشت (یعنی رتور ۱ به تنهایی) آنگاه مدار معادل شکل (۲-۱۱-ب) در حالت رتور ساکن به دست می آمد . هر دو مدار معادل شکل (۲-۱۱) با به یاد آوردن معادل موتور القایی سه فاز در حالت سکون رسم شده اند .

در شکل (۲-۱۰) ، امپدانس در حالت رتور ساکن $r_2 + jx_2$ موازی با jX_mمبین اثر شار ضربانی فاصله ی هوایی از دیدگاه استاتور می باشد . بر طبق تئوری دو میدان دوار ، هر دو میدان دوار مستقیم و معکوس دامنه ای معادل نصف دامنه ی میدان ضربانی دارند. 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 . ثابت های استاتور نیز نصف می شوند . زیرا هر استاتور دارای تعداد دور $\frac{N_1}{2}$ می باشد .

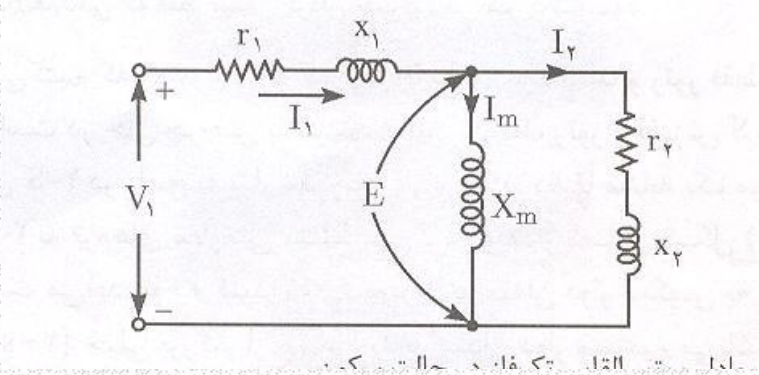
از آنجا که هر دو موج دوار مستقیم و معکوس و رتورهای ۱ و ۲ حضور دارند و در همان زمان ، هر دو استاتور با هم سری اند ، مدار معادل های شکل (۲-۱۱-الف و ب) می توانند مطابق شکل (۲-۱۲-الف) به طور سری به هم وصل شوند . همچنین باید توجه داشت که همه کیت های رتور هنگامی که به سمت استاتور ارجاع داده می شوند ، دارای همان فرکانس تغذیه استاتور می باشند.





شکل (۲-۱۱): مدار معادل موتور القایی تک فاز در حالت سکون ؛ الف) هنگامی که فقط میدان راست گرد وجود داشته باشد، ب) هنگامی که فقط میدان گردان چپ گرد در نظر گرفته شود.

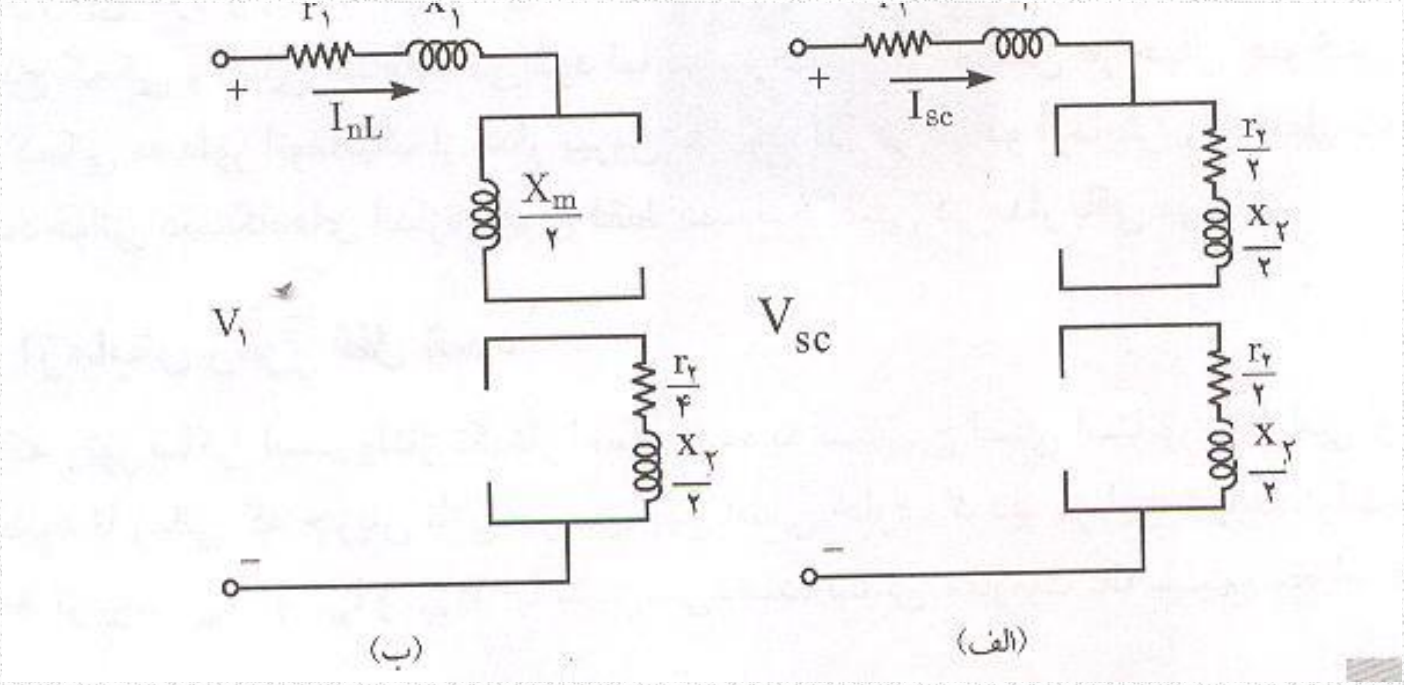
اکنون فرض می کنیم که موتور با ابزار کمکی راه اندازی شده است و رتور فقط با یک سیم پیچی اصلی که در مدار است در حال چرخش باشد. تحت این شرایط ، رتور با لغزش S نسبت به موج شار مستقیم و با لغزش 2-S در پاسخ به شار معکوس کار می کند. دقیقاً مشابه یک موتور القایی چند فاز لغزش های S و ۲-S به ترم های مقاومتی متناظر می گردد و مدار معادل شکل (۲-۱۲-ب) برای هر سرعت رتور به دست می آید. توجه کنید که r_2 مربوط به میدان دوار معکوس به واسطه ی اثر پوستی در فرکانس بالاتر (2-sf) خیلی بزرگتر از r_2 مربوط به میدان دور مستقیم می باشد . امپدانس Z_f داده شده توسط $\frac{1}{2}\left[\frac{r_2}{s}+jx_2\right]$ به موازات $j\frac{X_m}{2}$ مبین اثر منعکس شده رتور از دید میدان مستقیم استاتور – دقیقاً همان گونه که در موتور القایی چند فاز مطرح است – می باشد . به طور مشابه ، امپدانس Z_b ، داده شده توسط $\frac{1}{2}\left[\frac{r_2}{2-s}+jx_2\right]$ به موازات $j\frac{X_m}{2}$ ، مبین اثر منعکس شده رتور از دید میدان معکوس استاتور می باشد در اینجا Z_f و Z_b به ترتیب امپدانس های مستقیم و معکوس میدان نامیده می شوند .



شکل (۲-۱۲): مدار معادل های موتور القایی تک فاز (الف) بار رتور قفل شده (ب) با رتور چرخان

اندازه گیری پارامترهای مدار معادل

مشابه موتور القایی سه فاز ، پارامترهای مدار معادل موتور القایی تک فاز را می توان از طریق آزمایش های بی باری و رتور قفل و معلوم بودن مقاومت سیم پیچی استاتور ، r_1اندازه گیری نمود . توجه کنید که در استاتور موتور القایی تک فاز دو سیم پیچ اصلی و کمکی وجود دارد . سیم پیچ کمکی برای راه اندازی مورد استفاده قرار می گیرد و بعداً راجع به آن صحبت می شود . در آزمایش بی باری در لحظه ی راه اندازی از هر دو سیم پیچ کمکی و اصلی استفاده می شود اما در شرایطی که ماشین در حال چرخش عادی است سیم پیچ کمکی به طور اتوماتیک از مدار بیرون می رود . لذا در هر دو آزمایش رتور قفل شده و بی باری هنگام عددخوانی دستگاه های اندازه گیری فقط سیم پیچ اصلی در مدار باقی می ماند .


+
I_{nL}
X_m
V_1
r_2
X_2
(ب)
+
I_{sc}
V_{sc}
r_2
X_2
(الف)

آزمایش رتور قفل شده

در حالی که رتور ساکن است ولتاژ تک فاز اعمال شده به سیم پیچی اصلی استاتور به آرامی از صفر افزایش داده می شود تا زمانی که جریان نامی در سیم پیچی اصلی جاری گردد . در این شرایط ، ولت متر ، آمپرمتر و وات متر به ترتیب V_{sc} و I_{sc}و W_{sc}را نشان می دهند . سپس مقاومت dc سیم پیچ اصلی استاتور را توسط روش ولت متر – آمپرمتر اندازه می گیریم . این مقاومت dc باید در ضریب ۱/۱ الی ۳/۱ ضریب گردد. تا مقاومت ac مؤثر r_1 در فرکانس خط به دست می آید . در حالت رتور ساکن ، لغزش s=1 می باشد و و ولتاژ مورد نیاز جهت ایجاد جریان بار نامی بسیار کوچک است . بنابراین شار کوچک است و جریان مغناطیس کننده ی عبوری از X_mنیز بسیار کوچک است. از دیدگاه ، مطابق شکل (۲-۱۴-الف) از رأکتانس مغناطیس کنندگی می توان صرف نظر کرد .

لازم به ذکر است که در آزمایش رتور قفل شده ، صرفاً سیم پیچ اصلی تحریک می شود و سیم پیچ کمکی مدار باز است . همان گونه که ملاحظه گردید از آزمایش رتور قفل شده ، پارامترهای r_2 ، x_1 و x_2قابل تعیین است مشروط به این که r_1 مشخص باشد .

آزمایشی بی باری

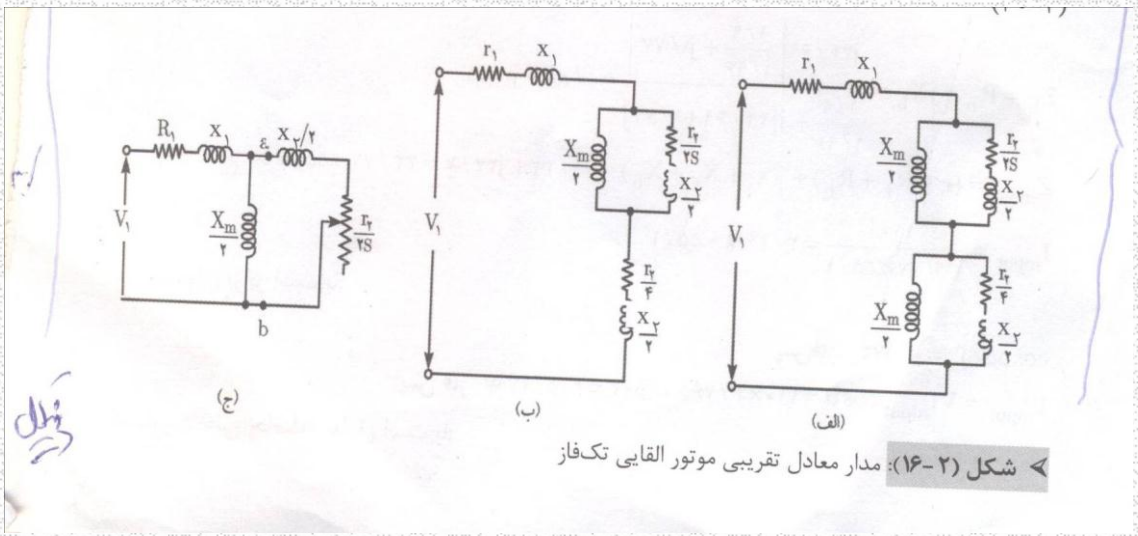
در این آزمایش ، موتور القایی تک فاز را تحت شرایط بی باری در ولتاژ و فرکانس نامی به گردش در می آورند . در این شرایط s بسیار به صفر نزدیک می شود . به گونه ای که می توان گفت $s \cong 0$ با این فرض عبارت $\frac{r_2}{2s}$ بی نهایت می گردد و ترم $\frac{r_2}{2(2-s)} = \frac{r_2}{4}$چندین برابر کوچکتر از $\frac{1}{2}X_m$ می گردد. با توجه به این تقریب ها ، مطابق شکل (۲-۱۴-ب) ، $\frac{r_2}{2s}$و $j\frac{x_2}{2}$ $\frac{X_m}{2}$ (به موازات $j\frac{x_2}{2}+$) قابل اغماضند .

چنانچه مقادیر خوانده شده توسط ولت متر ، آمپرمتر و وات متر را در آزمایش بی باری به ترتیب با V_1 ، I_{nl} وW_{nl} نشان دهیم آنگاه ضریب توان بی باری برابر خواهد بود با :

$$\cos\theta_{nL} = \frac{W_{nL}}{V_1 I_{nL}} \quad (۲-۲۵)$$

امپدانس معادل بی باری برابر است با :

$$Z_{nL} = \frac{V_1}{I_{nL}} \rightarrow X_{nL} = Z_{nL}\sqrt{1-\cos 2\,\theta_{nL}} = Z_{nL}\sin\theta_{nL} \quad (۲-۲۶)$$



شکل (۲-۱۶): مدار معادل تقریبی موتور القایی تک‌فاز

با توجه به شکل (۲-۱۴-ب) داریم :

$$\rightarrow x_1 + \frac{1}{2}(x_2 + X_m) = X_{nL}Z_{nL} = R_{nL} + jX_{nL} = \left(r_1 + \frac{r_2}{4}\right) + j\left(x_1 + \frac{1}{2}(x_2 + X_m)\right) \quad (۲۷-۲)$$

از آنجا که x_1 وx_2 قبلاً براساس آزمایش رتور قفل شده معلوم گردیده اند ، از رابطه فوق قابل محاسبه می باشد . بنابراین از آزمایش بی باری ، صرفاً رأکتانس مغناطیس کنندگی x_m تعیین می گردد به شرط آن کهx_1 و x_2معلوم باشند.

توجه کنید که در شرایط عملکرد نرمال موتور ، لغزش s نسبت به میدان مستقیم کوچک می باشد و فرکانس رتور sf است . بنابراین ، مقاومت رتور برای این میدان ، معادل مقاومت dc ، r_{2dc} می باشد . از این دیدگاه ، r_2به دست آمده از رابطه ی (۲-۲۲) در فرکانس تغذیه استاتور باید بر ضریب مناسب ۲/۱ الی ۴/۱ تقسیم گردد تا r_{2dc}به دست آید .

$$r_{2dc} = \frac{r_2}{1/2 \text{الی} 1/4} = r_{2f} \quad (۲۸-۲)$$

لغزش برحسب میدان معکوس ، تحت شرایط عملکرد نرمال ، (2-s) و فرکانس رتور f(2-s)می باشد . در این فرکانس بالاتر از فرکانس تغذیه استاتور ، مقاومت مؤثر رتور r_{2b} معمولاً با ضریبی بین ۵/۱ الی ۸/۱ بزرگتر از r_{2dc} است.

$$r_{2b} = (1/5\text{الی}1/8)r_{2dc} == (1/5\text{الی}1/8)r_{2f} \quad (۲-۲۹)$$

با توجه به مطالب فوق و به منظور دستیابی به تخمین دقیقتری از عملکرد موتور در حال گردش ، r_{2b} باید با امپدانس مستقیم و r_{2b} با امپدانس معکوس مرتبط گردد. بنابراین Z_f باید با جایگزینی r_{2f}به جای r_2و Z_b با جایگزینی r_{2b}به جای r_2 محاسبه شوند .

مدار معادل تقریبی

به دست آوردن مدار معادل تقریبی یک موتور القایی تک فاز جهت بررسی عملکرد حالت نرمال این ماشین بسیار مفید است .

لغزش بار کامل در شرایط نرمال حدود ۵ الی ۱۰ درصد است . لذا مقدار مقاومت معکوس $\frac{r_2}{2(2-S)}$مابین $\frac{r_2}{3/9}$و $\frac{r_2}{3/8}$ قرار دارد

و به طور تقریبی می توان آن را $\frac{r_2}{4}$ در نظر گرفت . با این تقریب مدار معادل شکل (۲-۱۲-ب) به شکل (۲-۱۷-الف)

تبدیل می شود . از آنجا که $\frac{X_m}{2}$ چندین برابر بزرگتر از $\sqrt{\left(\frac{r_2}{4}\right)^2+\left(\frac{x_2}{2}\right)^2}$ می باشد اثر$\frac{X_m}{2}$روی امپدانس معکوس Z_b

قابل صرف نظر است . در این صورت :

$$Z_b \cong \frac{r_2}{4}+\frac{x_2}{j_2} \quad (۲-۳۰)$$

مقایسه بین موتورهای الکتریکی القایی تکفاز و سه فاز:

سرعت و ابعاد رتور و استاتور هر دو موتور یکسان می باشد.

۱) تلفات هسته رتور در موتور القایی تکفاز به دلیل وجود میدان گردان معکوس، بزرگتر است.

۲) تلفات اهمی رتور به دلیل جریان های القاء شده توسط میدان معکوس در موتور القایی تکفاز بیشتر است.

۳) به ازای یک گشتاور بار معین، موتور القایی تکفاز به جریان استاتور بیشتری نیاز دارد و در لغزش بزرگتری کار می کند و تلفات مس استاتور آن بیشتر است.

۴) به ازای یک فریم یکسان، توان خروجی موتور القایی تکفاز کمتر است زیرا گشتاور معکوس به منزله یک بار مکانیکی بر روی شناخت با گشتاور مستقیم مخالفت می کند.

۵) سیم پیچ استاتور موتور تکفاز برای ایجاد هر دو میدان معکوس و مستقیم، جریان مغناطیس کنندگی می کشد. پس نسبت این جریان به مولفه اکتیو جریان استاتور در یک موتور و سه فاز به مراتب بزرگتر است. از این رو موتور القایی تکفاز دارای ضریب توان کوچکتری است. به ازای توان و سرعت معین موتور القایی تکفاز به فریمی بزرگتر نیاز دارد، بنابراین موتور القایی تکفاز نیاز به آهن بیشتری دارد.

موتور تکفاز به دلیل وجود سیم پیچ کمکی در آن ها گران تر از موتورهای سه فاز می باشد. اما تولید انبوه این موتورها قیمت آن ها را کاهش داده به طوری که با موتور سه فاز در همان رنج سرعت و توان یکسان است.

روش های راه اندازی موتور القایی تک فاز

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 نماید. به منظور فراهم نمودن گشتاور راه اندازی باید میدان دواری در فاصله هوایی تولید شود (میدان بیضوی). برای تولید میدان بیضوی در شرایط رتور ساکن علاوه بر سیم پیچ اصلی به سیم پیچ کمکی نیاز است که هر دو با یک منبع تحریک می شوند. البته لازم است محور سیم پیچ راه اندازی نسبت به محور سیم پیچ اصلی انحراف فضایی و هم چنین جریان دو سیم اختلاف فاز زمانی داشته باشند. از شیارهای استاتور برخی متعلق به سیم پیچ راه انداز و تعدادی هم متعلق به هر دو سیم پیچ است به طوری که محور سیم پیچ ها اختلاف فاز داشته باشند.

برای ایجاد اختلاف فاز زمانی بین جریان دو سیم پیچ روش های گوناگونی به کار می رود که تحت عنوان روش های راه اندازی موتور القایی تک فاز به فرم زیر دسته بندی می شوند:

الف) راه اندازی فاز شکسته

ب) راه اندازی قطب چاکدار

ج) راه اندازی دفعی (ریپالیسونی)

د) راه اندازی رلوکتانسی

معمولاً موتور القایی تک فاز بر اساس نحوه راه اندازی آن نامگذاری می شود. انتخاب یک موتور القایی مناسب و نتخاب روش راه اندازی آن به عوامل زیر بستگی دارد:

۱- مشخصه گشتاور – سرعت بار از حالت سکون تا سرعت عملکرد نرمال

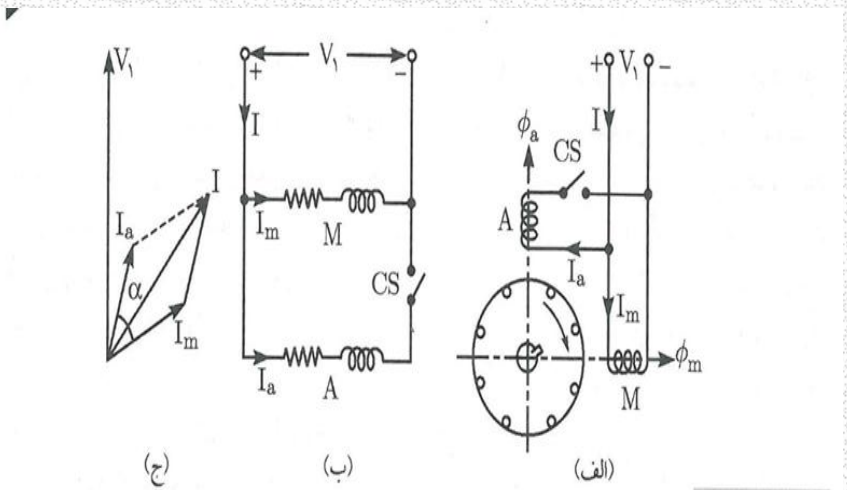
۲- محدودیت های جریان خط مربوط به پروسه راه اندازی و شرایط کاری که از طریق منبع تغذیه اعمال می گردد.

راه اندازی فاز شکسته

همه این موتورها، دارای دو سیم پیچ بر روی استاتورند؛ یکی سیم پیچ اصلی و دیگری سیم پیچ راه اندازی. دو سیم پیچ به صورت موازی به هم متصل می گردند اما محور مغناطیسی آن ها، 90° الکتریکی اختلاف فاز دارند.

موتور فاز شکسته مقاومتی

نمایی از سیم پیچ های متعامد استاتور این نوع موتور در شکل (۲-۱۹- الف) نشان داده شده است. شکل (۲-۱۹- ب) دیاگرام مداری دو سیم پیچ موتور فاز شکسته مقاومتی را نشان می دهد. اندیس های a و m به ترتیب به کمیت های مربوط به سیم پیچ های کمکی و اصلی اختصاص یافته است. cs یک کلید گریز از مرکز است.



شکل (۲-۱۹): موتور فاز شکسته مقاومتی؛ الف) نمای کلی ب) مدار مربوط به دو سیم‌پیچ آن ج) دیاگرام فازوری در هنگام راه‌اندازی

چنانچه جریان های دو سیم پیچ به لحاظ زمانی اختلاف فاز داشته باشند آنگاه یک میدان گردان ایجاد می گردد که شرط لازم برای ایجاد گشتاور می باشد. در اینگونه موتورها داریم:

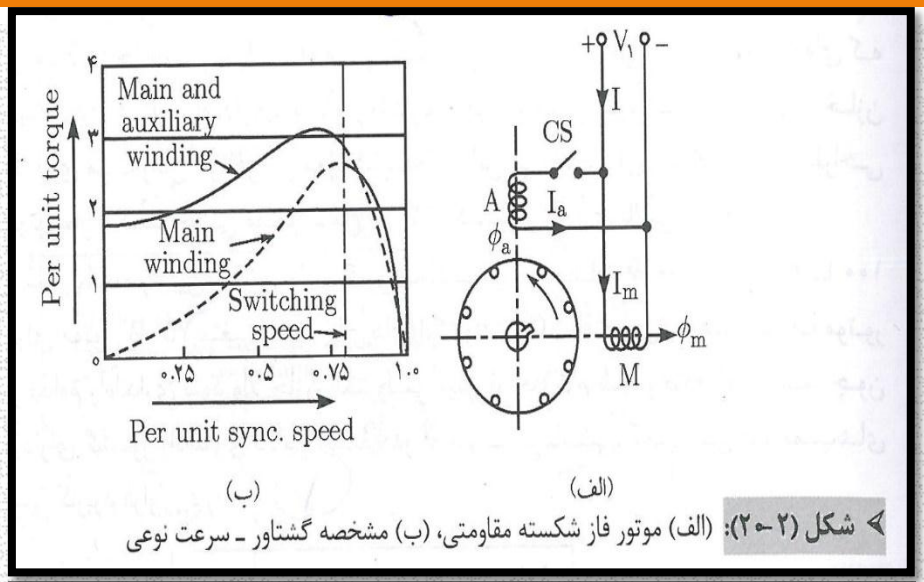
$$\frac{R_a}{X_a} > \frac{R_m}{X_m}$$

R_aمقاومت سیم پیچ کمکی و R_mمقاومت سیم پیچ اصلی است. X_aرأکتانس سیم پیچ کمکی و R_mرأکتانس سیم پیچ اصلی می باشد. سیم پیچ کمکی را نازکتر می سازند زیرا سیم پیچ کمکی فقط در لحظات راه اندازی در مدار قرار می گیرد و کلید گریز از مرکز پس از آنکه سرعت موتور به ۷۵ درصد سرعت سنکرون رسید آن را از مدار خارج می کند. از آنجا که رأکتانس متناسب با مجذور تعداد دور می باشد سیم پیچ کمکی با سیم پیچ اصلی با تعداد دور کمتری طراحی می شود به علاوه، رأکتانس سیم پیچ اصلی به وسیله تعبیه آن در قعر شیارها تا حدودی افزوده می گردد و رأکتانس نشتی سیم پیچ کمکی با جاسازی در بالای شیارها اندکی کاهش می یابد.

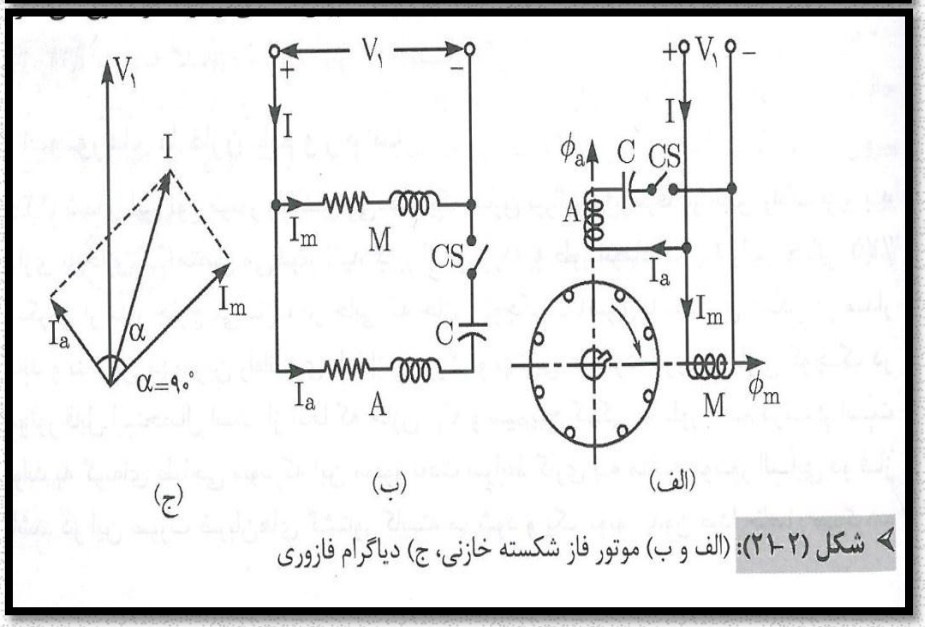
این دیاگرام نشان می دهد که در لحظه راه اندازی ابتدا جریان Imبه ماکزیمم می رسد. در نتیجه میدان استاتور ابتدا در راستای محور سیم پیچ کمکی به مقدار ماکزیمم می رسد و پس از مدتی در راستای محور مغناطیسی سیم پیچ اصل ماکزیمم می گردد. یعنی میدان شکل (۲-۱۹-الف) در جمعیت عقربه ساعت می چرخد در این راستا، یک میدان واحد گردان تولید می شود و رتور از سمت سیم پیچ کمکی به سمت سیم پیچ اصلی شروع به گردش می کند منوط به این که قطب های با پلاریته یکسان ایجاد شوند.

به منظور تغییر جهت گردش کافی است بر روی شکل (۲-۲۰-الف) جای ترمینال ها در یکی از دو سیم پیچ کمکی یا اصلی تعویض گردد. دو سیم پیچ به لحاظ مکانی ۹۰ درجه با هم اختلاف فاز دارند اما با توجه به شکل (۲-۱۹) دو جریان به لحاظ زمانی متعامد نیستند. بنابراین موتور در حین راه اندازی رفتاری مشابه یک موتور القایی دو فاز نامتعادل دارد.

پس از راه اندازی، سیم پیچ اصلی به تنهایی قادر به تأمینم گشتاور خواهد بود لذا سیم پیچ کمکی را می توان با رسیدن سرعت رتور به حوالی ۷۵ درصد سرعت سنکرون، به وسیله کلید CSاز مدار خارج نمود. اگر CSبدرستی عمل نکند، سیم پیچ کمکی در مدار باقی خواهد ماند و سر و صدای زیادی ایجاد خواهد کرد. مضافاً اینکه چون سیم پیچ کمکی برای عملکرد طی مدت زمان کوتاه طراحی شده است ممکن است در صورت خارج نشدن از مدار بر اثر ازدیاد دما بسوزد.



شکل (۲-۲۰): (الف) موتور فاز شکسته مقاومتی، (ب) مشخصه گشتاور ـ سرعت نوعی



شکل (۲-۲۱): (الف و ب) موتور فاز شکسته خازنی، ج) دیاگرام فازوری

مشخصه گشتاور- سرعت این نوع موتور در شکل (۲-۲۰-ب) دیده می شود.

موتور فاز شکسته خازنی

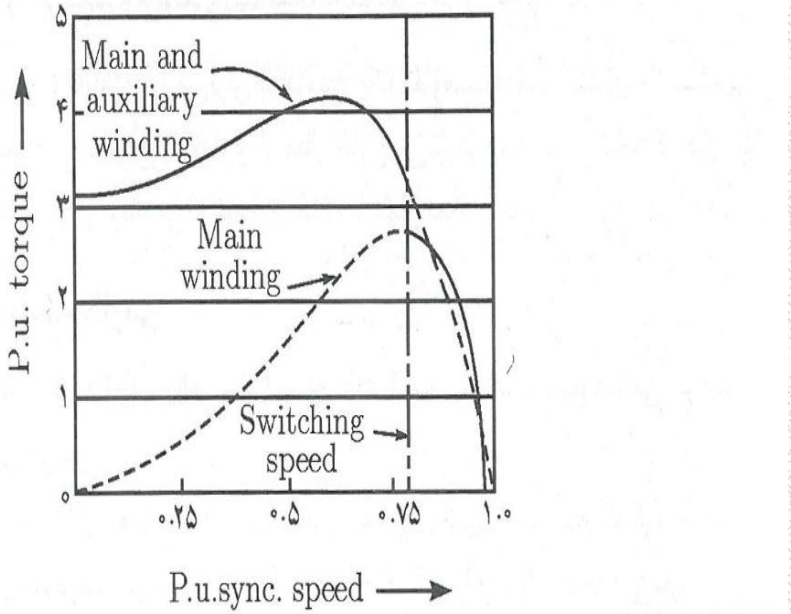
نمای کلی این نوع موتور در شکل (۲-۲۱-الف و ب) نشان داده شده است.

زمانی مابین I_a و I_m با تعبیه یک خازن مناسب به طور سری با سیم پیچ کمکی به دست می آید. کلید cs در ۷۰ الی ۸۰ درصد سرعت سنکرون، سیم پیچ کمکی را از مدار خارج می سازد.

بررسی شکل های (۲-۱۹-ج) و (۲-۲۱-ج) آشکار می سازد که جریان خط در موتور فاز شکسته خازنی در مقایسه با فاز شکسته مقاومتی کمتر است.

موتورهای فاز شکسته خازنی گشتاور راه اندازی بزرگتری نسبت به فاز شکسته مقاومتی دارند. با استفاده از خازن راه انداز مناسب زوایه $\propto$ می تواند در حالت رتور ساکن در ۹۰ درجه تنظیم گردد و در نتیجه بیشترین گشتاورراه اندازی ممکن را ایجاد کند که در این صورت اندازه و قیمت خازن بالا می رود. به همین دلیل زاویه $\propto$ اندکی کمتر از زاویه ۹۰ درجه طراحی می کنند به گونه ای که تعادلی بین جریان راه اندازی، گشتاور راه اندازی و قیمت به وجود بیاید.

ظرفیت خازن راه انداز بین ۲۰ تا ۳۰ میکرو فاراد برای موتورهای ۱۰۰W و بین ۶۰ تا ۱۰۰ میکروفاراد برای موتور ۷۵۰W متغییر است. خازن های الکترولیتی AC، اقتصادی تر هستند. اما موتور نباید به طور مداوم راه اندازی شود والا خازن الکترولیتی بیش از حد گرم شده و صدمه می بیند. چونین موتورهای دارای گشتاور راه اندازی بالایی هستند در تجهیزات سرمایشی، کمپرسورها و پمپ های رفت و برگشتی کاربرد فراوان دارند.

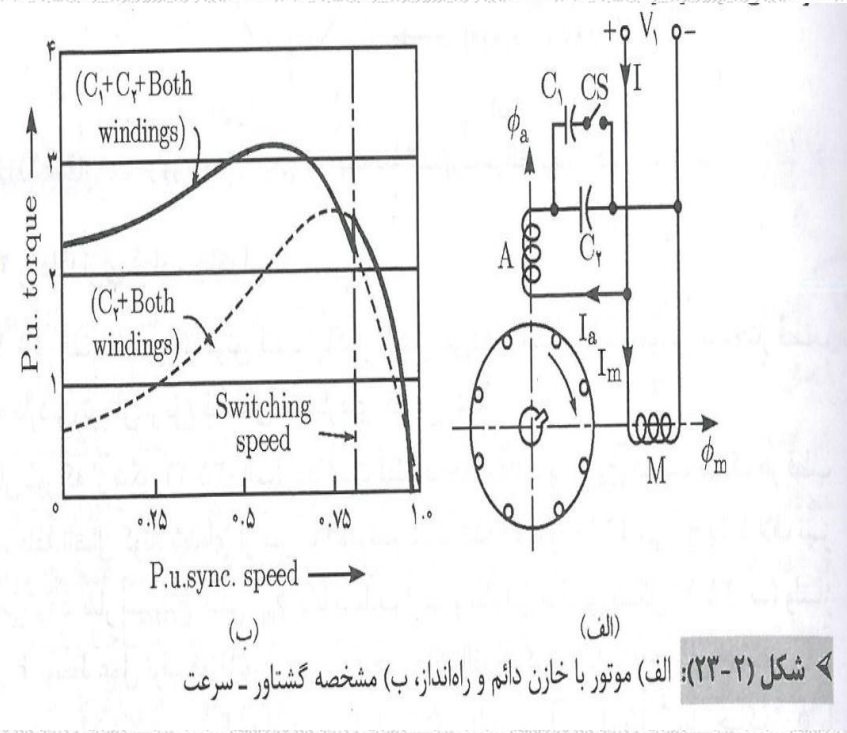


شکل (۲-۲۲): مشخصه گشتاور ـ سرعت موتور فاز شکسته خازنی

موتورهای با خازن دائم و راه انداز

شکل (۲-۲۳) شمای این نوع موتور را نشان می دهد. یک خازن بزرگ C1، صرفاً در حین راه اندازی به صورت موازی با خازن C2متصل می شود کلید گریز از مرکز csبه طور اتوماتیک C1را در حوالی ۷۵٪ سرعت سنکرون از مدار خارج می سازد، در حالی که خازن کوچک C2سری با سیم پیچ کمکی در مدار باقی می ماند و بنابراین مهم ترین راه اندازی با خازنی بزرگ و بهترین عملکرد کاری با خازنی کوچک در این نوع موتور قابل استحصال است. از آنجا که خازن C2و سیم پیچ کمکی به طور دائم در مدار است C2می تواند به گونه ای طراحی شود که این موتور تحت شرایط کاری به مثابه موتور القایی دو فاز متعادل باشد. در این صورت ضربان های گشتاور کاسته می شود و یک موتور بدون صدا حاصل می گردد.

در این شرایط ضریب توان و راندمان نیز بهبود می یابد. مشخصه گشتاور – سرعت نوعی این موتور در شکل (۳-۲۳-ب) آمده است.



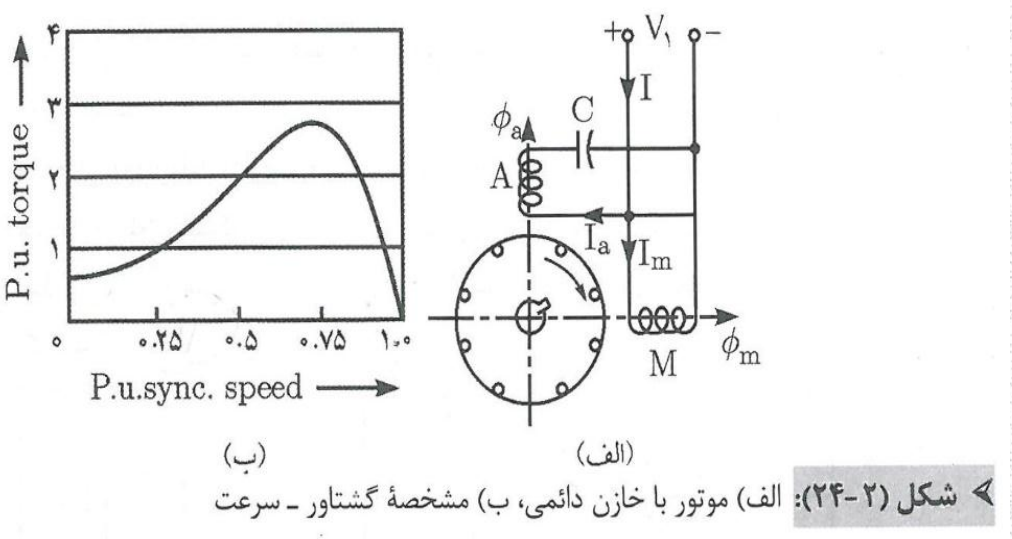
شکل (۲-۲۳): الف) موتور با خازن دائم و راه‌انداز، ب) مشخصه گشتاور ـ سرعت

این نوع موتورها برای تجهیزات اداری، فن ها و ... استفاده می شود که در این محیطها عملکرد آرام و بی صدا مدنظر است. به منظور عملکرد بهینه در شرایط راه اندازی و کاری، C2، باید کمتر از میانگین مقادیر C1و C2باشد. از این رو می توان دو خازن یکی الکترولیتی برای راه اندازی و دیگری رغنی برای کار دائمی در نظر گرفت.

موتورهای با خازن دائمی

در این نوع موتور که به موتور فاز شکسته خازنی نیز معروف است مطابق شکل (۲-۲۴)، خازن با سیم پیچ کمکی سری شده و کلید گریز از مرکز آن را از مدار خارج نمی کند بلکه همواره چه در مرحله راه اندازی و چه در شرائط کار عادی در مدار باقی می ماند. این موتورها به خاطر حذف کلید cs ارزان قیمت هستند. ضریب توان، ضربان گشتاور و بازده در این موتورها بهبود می یابد زیرا در شرایط موتور دو فاز مورد بهره برداری قرار می گیرند. سروصدای این گونه موتورها کم است. خازن از نوع ac و از جنس کاغذ آغشته به روغن می باشد.

در این نوع موتور، خازن طوری طراحی می شود تا مصالحه ای بین شرایط راه اندازی و کار حالت حالت عادی پدید آید. لذا گشتاور راه انداز نسبت به حالتی که خازن توسط کلید گریز از مرکز از مدار بیرون می رود کمتر است. شکل (۲-۲۴-ب) مشخصه گشتاور – سرعت نوعی این موتور را نشان می دهد. این موتورها در جاهایی همچون ادارات، کلاس درس، سالن تئاتر و ... به کار می روند. موتور پنکه سقفی از نوع خازن دائم است که ظرفیت خازن آن بین ۲ الی ۳ میکروفاراد است.



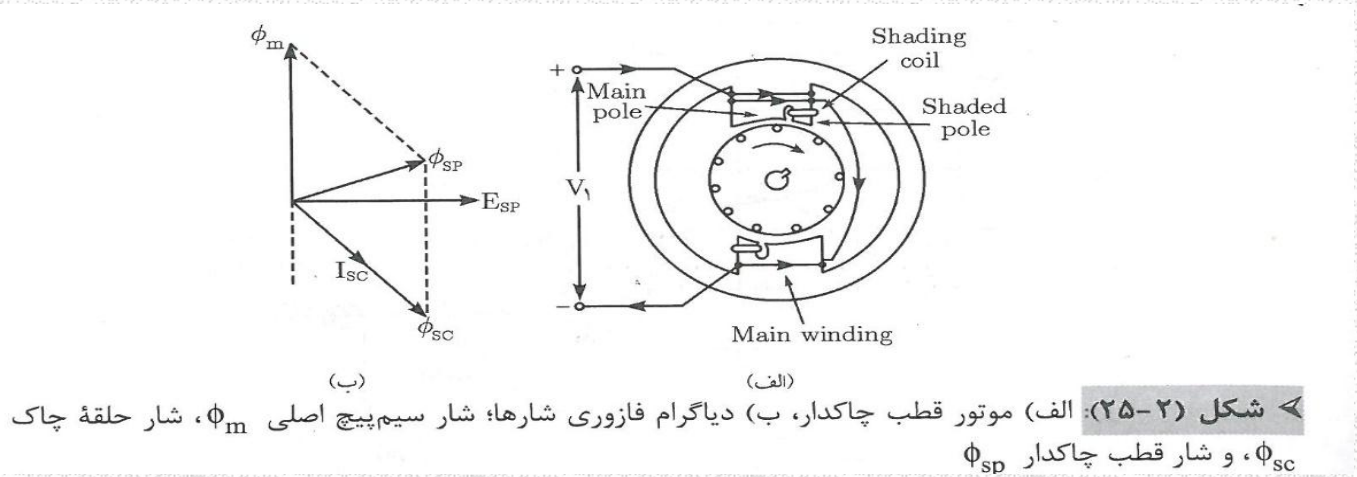
شکل (۲-۲۴): الف) موتور با خازن دائمی، ب) مشخصهٔ گشتاور ـ سرعت

راه اندازی قطب چاکدار

شکل (۱۵-۲- الف) شمای یک موتور قطب چاکدار را نشان می دهد. استاتور این موتور ساختار قطب برجسته دارد و رتور آن از نوع قفسه ای با شیارهای کج می باشد.

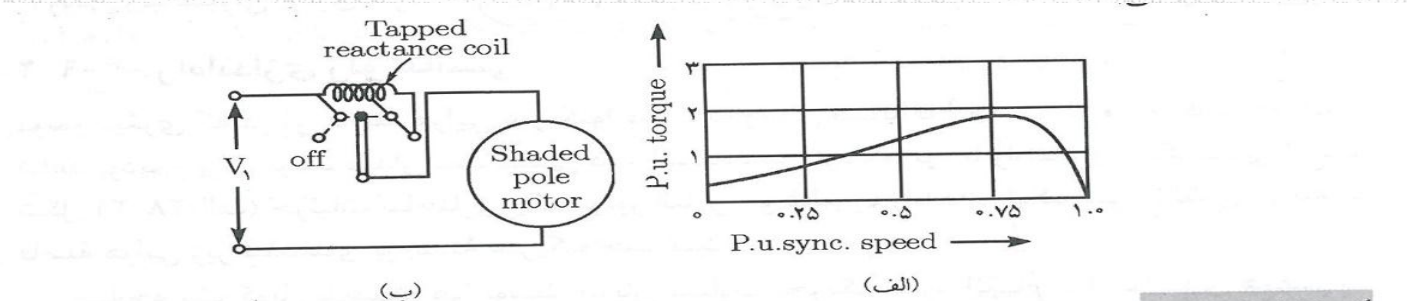
همان طور که از شکل (۱۵-۲- الف) پیدا ایت قطب ها چاک دارند و بر روی قسمت باریک هر قطب چاکدار حلقه اتصال کوتاه شده ای از مس یا آلومینیوم نصب شده است و به آن سیم پیچ یا کلاف نیز اطلاق می گردد. شار سیم پیچ اصلی ϕ_m ذاتاً متناوب است و بنابراین مطابق شکل (۱۵-۲- الف) ولتاژ القایی E_{sc} توسط عمل ترانسفورماتوری در سیم پیچی چاک القا می گردد.

دامنه جریان حلقه I_{sc} و زاویه پس فازی آن نسبت به E_{sc} به امپدانس کویل بستگی دارد.جریان I_{sc} شار گویل چاک ϕ_{sc} را همفاز با خود ایجا می کند. اکنون قطب چاکدار هر دو شار ϕ_m و ϕ_{sc} را از خود عبور می دهد به گونه ای که جمع فازوری آن ها، شار کل قطب چاکدار ϕ_{sp} را به دست می دهد. چون شار قطب اصلی ϕ_m و شار قطب چاکدار ϕ_{sp} مطابق شکل (۲۵-۲-ج) دارای اختلاف فاز زمانی هستند یک شار دورای ایجاد می شود و بالطبع گشتاور راه اندازی حاصل می گردد. در واقع در این حالت هم از سیم پیچ کمکی استفاده می شود با این تفائت که جریان سیم پیچ راه اندازی با القاء مغناطیسی تامین می گردد نه اتصال الکتریکی به منبع.



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}

شکل (۲۶-۲- الف) مشخصه گشتاور - سرعت این نوع موتور رانشان می دهد. از آنجا که حلقه های اتصال کوتاه در تمامی زمان کار موثر بوده و لذا تلفات مسی پدید می آورند باده این نوع متور پایین و در حدود ۲۰ الی ۵۰٪ می باشد. بنابراین کاربرد این نوع موتور در مصارف خانگی با مدت زمان کار طولانی معقول نمی باشد زیرا به شدت داغ می شود. با این وجود موتورهای قطب چاکدار به طور وسیع در اندازه های خیلی کوچک در کاربردهایی با کوپل راه اندازی کوچک و توان کم همچون موتورهای ضبط صوت ، هیترها، پرژکتورهای فیلم و .... استفاده می شوند.این نوع موتورها ساختار بسیار ساده ای دارند وبنابراین ارزان قیمت هستند وتا رنج توانی ۴۰ وات ساخته می شوند. حتی اگر از چرخش رتور این موتور ممانعت شود جریان رتور قفل آن تنها اندکی بیشتر از جریان بار نامی آن خواهد بود. در شکل (۲۶-۲- الف) کنترل سرعت موتور قطب چاکدار به روش کویل رأکتانسی تپ دار که به لحاظ تجاری مناسب می باشد آمده است.

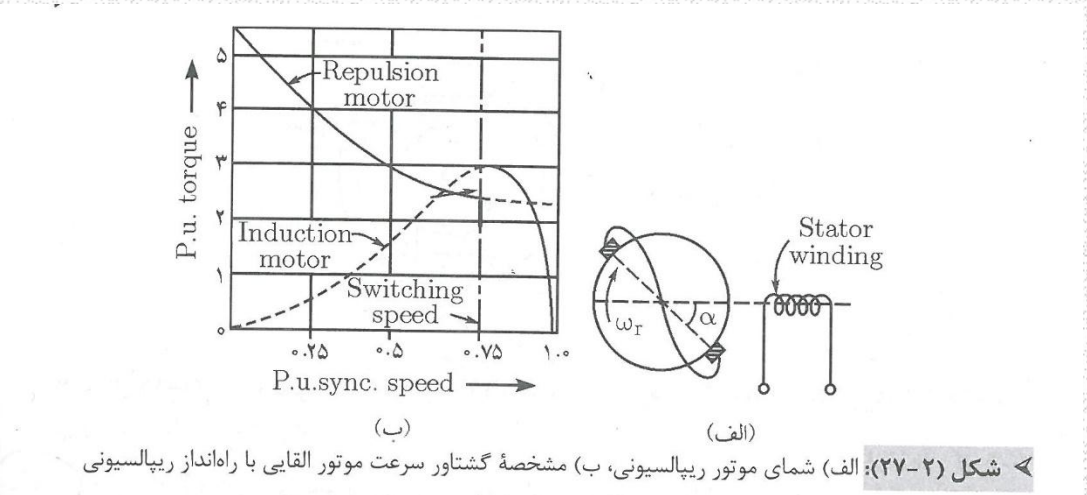


شکل (۲-۲۶): (الف) مشخصهٔ نوعی گشتاور-سرعت موتور قطب چاکدار (ب)کنترل سرعت موتور قطب چاکدار بوسیله کویل رأکتانسی تپ‌دار

شکل (۲۶-۲) : الف مشخصه نوعی گشتاور - سرعت موتور قطب چاکدار (ب) سرعت موتور قطب چاکدار بوسیله کویل رأکتانسی تپ دار

راه اندازی ریپالسیونی (دفعی)

در این موتور رتور حاوی یک سیم پیچ آرمیچر DCاضافی است. جاروبک ها مطابق (۲۷-۲- الف) اتصال کوتاه شده اند و محور جاروبک ها به اندازه زاویه مناسب aبا محور مغناطیسی استاتور اختلاف فاز دارد. این موتور ، مشخصه ای شبیه موتور سری دارد و لذا مطابق شکل (۲۷-۲-ب) در لحظه راه اندازی گشتاور بزرگی تولید می کند. لذا این روش برای مصارفی که به گشتاور راه اندازی زیادی نیاز دارند به کار می رود.

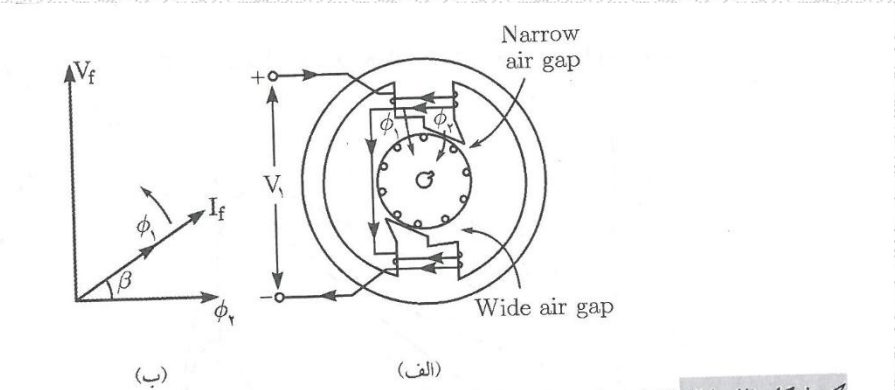


شکل (۲-۲۷): الف) شمای موتور ریپالسیونی، ب) مشخصهٔ گشتاور سرعت موتور القایی با راه‌انداز ریپالسیونی

هنگامی که سرعت به حوالی ۷۵ درصد سرعت سنکرون می رسد مکانیزم گریز از مرکز همه تیغه های کموتاتور را اتصال کوتاه می نماید. بعد از آن سیم بندی آرمیچر مشابه یک سیم پیچی قفس سنجابی رفتار می کند و موتور به یک موتور القایی تک فاز تبدیل می گردد. در بعضی موارد، به مجرد آن که تیغه های کموتاتور اتصال شوند جاروبک ها از جای خود بلند می شوند تا سر و صدا و گرم شدن موتور را کاهش دهند.

راه اندازی رلوکتاسی

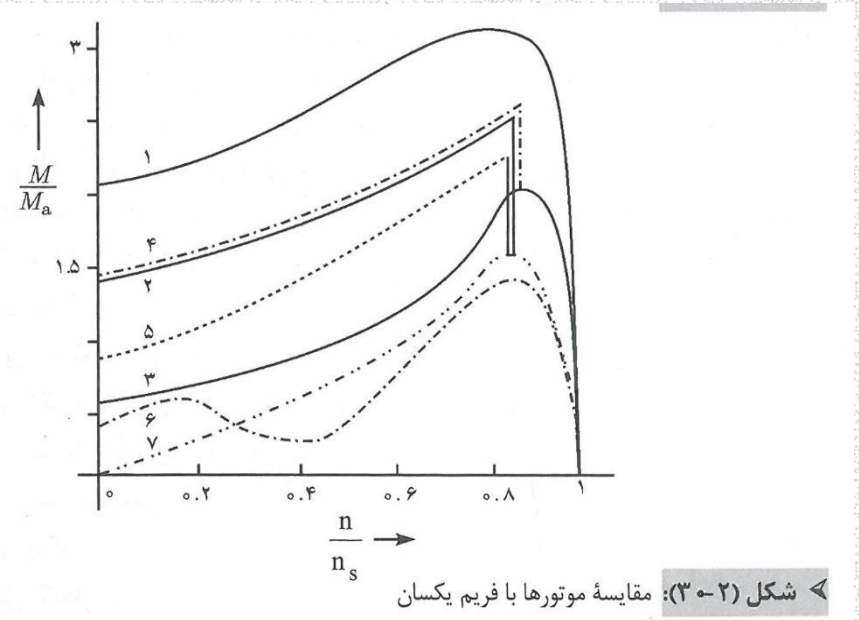
از موتور رلوکتاسی برای تولید میدان مغناطیسی دوار کهدر آن فاصله هوائی غیر یکنواخت وجود دارد استفاده می گردد. شکل (۲۸-۲-الف) جزئیات ساختاری یک موتور القایی دو قطب به راه انداز رلوکتاسی را نشان می دهد.



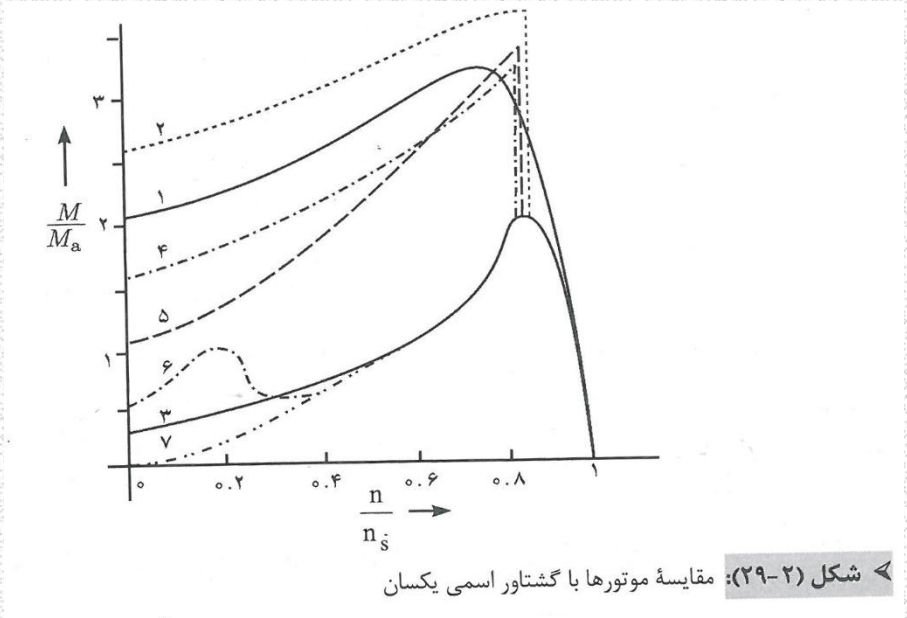
شکل (۲-۲۸): الف) شمای موتور القایی تک‌فاز با راه‌اندازی رلوکتانسی، ب) دیاگرام فازوری آن.

چنانچه یک کویل با هسته ی هوا توسط جریان متناوب تحریک شود آن گاه شار تولیدی همفاز با جریان تحریک خواهد بود اما در مورد یک کویل با هسته ی آهنی فاز و شار نسبت به جریان تحریک پس فاز است.شرایط موجود در فواصل هوایی عریض و باریک تا حدودی مشابه کویل ها با هسته ی هوا و آن می باشد. پس شاید ϕدر فاصله هوایی عریض همفاز با جریان تحریک I_1و شارژ ϕ_2 در فاصله هوایی باریک با زاویه βنسبت به جریان تحریک I_1پس فاز است یعنی ابتدا شار ϕ_1 به ماکزیمم می رسد ولحظاتی بعد ϕ_2به ماکزییم می رسد. بنابراین یک میدان مغناطیسی دوار از سمت فاصله هوایی عریض به باریک تولید می شود. در نتیجه رتور از سمت فاصله هوایی عریض به طرف فاصله ی هوایی باریک می چرخد.

این موتور نباید با موتور رلوکتاسی اشتباه شود که اساس کار ان تغییر رلوکتاس مسیر از نگاه شار استاتور با حرکت رتور می باشد زیرا در موتور القایی با راه اندازی رلوکتاسی، رتور انرژی خود را به روش القاء از استاتور دریافت می کند. مشخصات عملکردی این موتور مشابه قطب چاکدار می باشد. روش های کنترل دور موتور قطب چاکدار قابل استفاده برای این نوع موتور نیز می باشد.



شکل (۲-۳۰): مقایسهٔ موتورها با فریم یکسان



شکل (۲-۲۹): مقایسهٔ موتورها با گشتاور اسمی یکسان

با توجه به توضیحات قبلی می توانیم مقایسه ای بین این ماشین ها انجام دهیم.

۱ - موتور القایی سر فاز

بزرگترین قدرت به همراه گشتاور راه اندازی و کار مناسب

۲ - موتور القایی تکفاز با خازن راه انداز :

اگر تنها از خازن راه انداز استفاده شود موتور ضمن قطع خازن را انداز، عملکرد آن شبیه به موتورهای تکفاز خواهد بود.

۳ - موتور القایی تکفاز با خازن دائمی (کار) :

موتور القایی تکفاز با خازن کار تقریباً دارای گشتاور اسمی یکسان می باشد. اما گشتاورهای راه اندازی و بحرانی آن به شدت کوچکتر است. مهمترین نقطه ضعف این موتور گشتاور راه اندازی کوچک آن است.

۴ - موتور القایی تکفاز با خازن راه انداز و خازن کار :

در موتور با خازن راه انداز با گشتاور راه اندازی قابل ملاحضه ای رو به رو هستیم. اما خازن راه انداز می تواند موجب بروز جریان های بزرگ غیر مجازی در حالت نامی شود. لذا خازن راه انداز بایستی پس از راه اندازی توسط یک رله جریان از مدار خارج گردد. با قطع خازن راه انداز در دور حوالی ۸۰ درصد سنکرون (n=./ ns)گشتاور مطابق شکل های (۲۹-۲) و (۳۰-۲) بهمیزان مقدار آن با گشتاور خازن کار کاهش می یابد.

۵ - موتور فاز شکسته مقاومتی :

موتور با سیم پیچ کمکی فاز شکسته مقاوتی دارای مداری ساده ، گشتاور راه اندازی بزرگ و قیمتی مناسب است اما جریان راه اندازی آن نیز بزرگ هستند.لذا بایستی سیم پیچی کمکی پس از راه اندازی از مدار خارج گردد.

۶ - موتور قطب چاکدار :

موتور قطب چاکدار دارای قیمت مناسب ولی گشتاور راه اندازی متوسط بوده و راندمان ان چندان مطلوب نیست ، همچنین لازم است در خنک سازی ان دقت بیشتری گردد.

جمع بندی مطالب :

موتور فاز شکسته مقاومتی میتواند گشتاور راه اندازی بزرگتری از نوع خازن کار داشته باشد. گشتاور موتور القایی با خازن راه انداز و کار در ناحیهی راه اندازی به طور نامحسوس بزرگتر از نوع دوم است زیرا خازن کار نسبتاً کوچک است. گشتاور موتور نوع چهارم در حالت نامی بزرگتر از نوع دوم است (حدود ۵/۱ برابر)

جدول (۱-۲) مشخصه ها و کاربردهای موتورهای القایی تک فاز را نشان می دهد. د کاربردهای کمتر از ۱/۲۰ اسب بخار حتماً از موتورهای قطب چاکدار استفاده می شود اما برای کاربردهای بیش از ۱/۲۰ اسب بخار انتخاب موتور به گشتاور راه انداز و تا حدی به عملکرد آرام و بی سر و صدای آن بستگی دارد. به عنوان مثال می توان گفت :

۱ - اگر صدای کم مد نظر است و گشتاور راه انداز کم کفایت می کند در این صورت می توان از موتورهای با خازن دائم استفاده کرد (مثل پنکه های صنعتی ودمنده ها)

۲ - اگر صدای کم مد نظر است ولی گشتاور راه انداز زیاد لازم است در این صورت باید از موتورهای دو خازنی استفاده کنیم (مثل یخچال ها و کمپرسورها) گرچه ممکن است گران باشد.

۳ - اگر کمپرسور در محیط پر سر وصدایی نصب است در این صورت می توان از موتورهای با خازن راه انداز که ارزان تر هستند استفاده کرد.

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

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

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

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

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

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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:

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

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

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

اکنون برای ماکزیمم شدن گشتاور لازم است که:

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

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

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

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

۲-۱۱- طراحی سیم‌پیچی راه‌انداز

همانطور که می‌دانیم سیم‌پیچی راه‌انداز (کمکی) برای ایجاد گشتاور راه‌انداز در ماشین تعیین می‌شود. با توجه به تابع هدف مورد نظر که می‌تواند ماکزیمم نمودن گشتاور راه‌اندازی یا ماکزیمم نمودن نسبت گشتاور راه‌اندازی به جریان آن باشد این سیم‌پیچ طراحی می‌گردد. در ادامه جهت دستیابی به‌هدف مربوطه، سیم‌پیچی راه‌انداز به روش محاسباتی طراحی می‌شود.

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:

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

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

با توجه به رابطهٔ $X_a = X_a - X_c$

$$X_c = X_a - X_a \qquad (۴۸-۲)$$

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

پایان