به نام خدا

دانشکده فنی و مهندسی

پروژه کارشناسی مهندسی برق
گرایش قدرت

عنوان پروژه: شبیه سازی روش های راه اندازی موتور القایی سه فاز

نگارش: احسان الماسی
استاد راهنما: دکتر منصور اجاقی

پاییز ۱۳۹۲

اصالت اثر

اینجانب **احسان الماسی** تایید می نمایم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب بوده و به دستاورد های پژوهشی دیگران که در نوشته از آن ها استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پروژه قبلا برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارایه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشکده ی فنی و مهندسی دانشگاه زنجان می باشد.

احسان الماسی

امضاء

تقدیم به.....

پدر و مادر عزیزم

فهرست مطالب

چکیده..... ۷

فصل اول: مقدمه

ساختمان موتورهای القایی..... ۸

فصل دوم : بررسی موتورهای القایی

عملکرد موتورهای القایی سه فاز..... ۱۵

تحلیل حالت دائمی..... ۱۶

موتورهای القایی – قفس سنجابی..... ۲۳

طبقه بندی موتورهای قفس سنجابی..... ۲۴

موتورهای القائی با رتور سیم بندی شده..... ۲۶

راه‌اندازی..... ۲۶

ترمز کردن..... ۲۸

فصل سوم: انواع روش های راه اندازی موتور القایی

استفاده از مقاومت‌های راه‌انداز در مسیر استاتور..... ۲۹

ترانسفورماتورهای راه‌اندازی..... ۳۱

راه‌اندازی ستاره ـ مثلث..... ۳۲

راه‌اندازی موتورهای رتور سیم‌پیچی شده..... ۳۴

فصل چهارم: شبیه سازی روش های راه اندازی با استفاده از نرم افزار MATLAB

شبیه سازی حالت راه اندازی مستقیم با ولتاژ شبکه..... ۳۸

شبیه سازی روش استفاده از مقاومت راه‌انداز در مسیر استاتور.....۴۱

شبیه سازی روش راه اندازی ستاره – مثلث.....۴۴

شبیه سازی روش استفاده از ترانسفورماتور راه ا نداز.....۴۷

شبیه سازی روش مقاومت روتوری.....۵۰

نتیجه گیری.....۵۵

مراجع.....۵۶

چکیده:

با گسترش شبکه‌های جریان متناوب و استفاده از برق سه فاز به‌عنوان برق صنعتی، امروزه قسمت عمده ای از موتورهای الکتریکی از نوع جریان متناوب سه فاز هستند و در مراکز شهری و صنعتی به طور وسیعی از موتورهای القایی استفاده می‌کنند، زیرا قیمت آن مناسب، ساختمان آن ساده و هزینه‌ی نگهداری آن کم است و دارای قابلیت راه اندازی زیر بار می باشند همچنین در مناطق روستایی و کشاورزی نیز موتورهای بزرگ جهت پمپ کردن چاه‌های آب مورد استفاده قرار می‌گیرند.

اگر موتورالقایی به صورت مستقیم راه اندازی شود، جریان راه اندازی آن به۵ الی ۸ برابر جریان نامی افزایش می یابد که باعث افت شدید ولتاژ در شبکه قدرت متصل به آن و ایجاد اثرات نامطلوب درموتور خواهد شد. به عنوان نمونه می توان به اثرات مخرب روی میله ها و حلقه های روتور مدل قفسی؛ پیری عایق و صدمه دیدگی سیم پیچ های استاتور؛ بروز شوک مکانیکی مخرب روی موتور که ممکن است منجر به توقف موتور در زیر بار شود، اشاره نمود. کاهش جریان راه اندازی یکی از دغدغه های همیشگی سازندگان و بهره برداران موتورهای القایی بوده است.در این پروژه،چهار روش از روشهای کاهش جریان راه اندازی موتورهای القایی سه فاز مشتمل بر بکارگیری موتورهای القایی با کلید ستاره-مثلث، استفاده ازترانسفورماتور راه انداز ، استفاده از مقاومت راه انداز در استاتور و مقاومتهای راه انداز در روتور شبیه سازی شده و رفتار این موتورها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج شبیه سازی ها نشان می دهند که در صورت استفاده از هرکدام از این روشها، جریان راه اندازی به مقدار چشمگیری کاهش می یابد.

با سپاس و تشکر فراوان از.....

دکتر منصور اجاقی

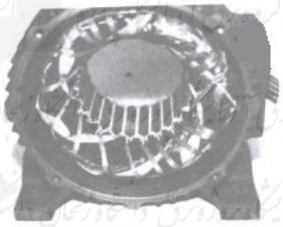
و تمامی اساتید محترم دانشگاه زنجان

فصل اول

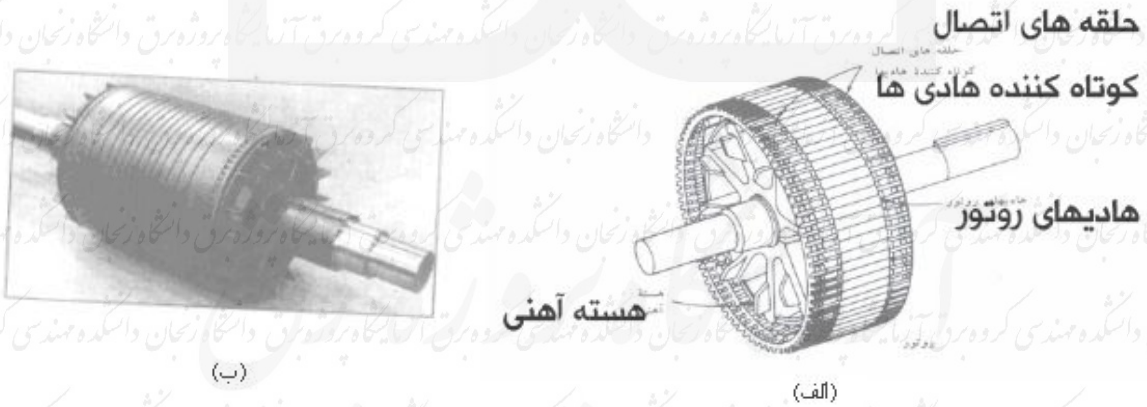
ساختمان موتورهای القایی

استاتور موتورهای القایی همان ساختار فیزیکی ماشین‌های سنکرون را دارد. ولی ساختار روتورشان متفاوت است. شکل (۱-۱) یک استاتور دوقطبی را نشان می‌دهد. این استاتور ظاهر استاتور ماشین‌های سنکرون را دارد (و واقعاً هم همان است). دو نوع مختلف رتور موتور القایی وجود دارد که می‌تواند داخل استاتور قرار گیرد. یک نوع رتور قفس سنجابی، یا رتور قفسی و دیگری رتور سیم‌پیچی شده نامیده می‌شود.

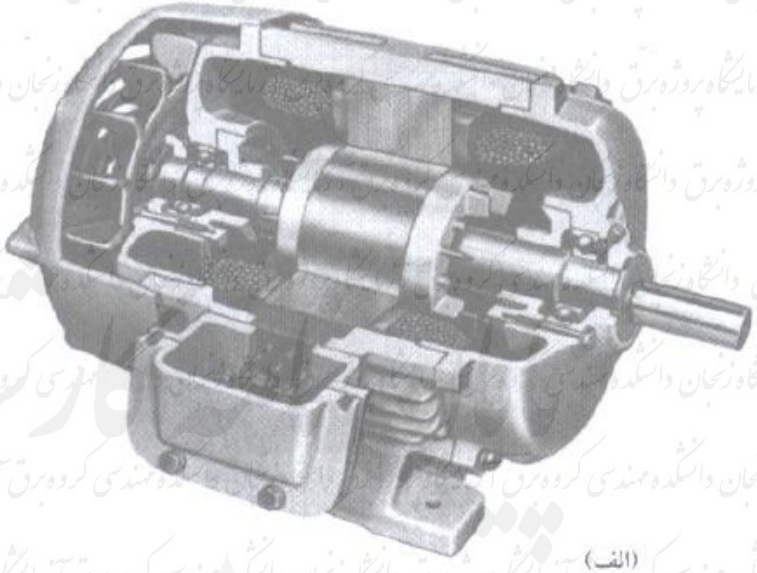
شکل (۱-۲ و۳) روتورهای قفس سنجابی موتورهای القایی را نشان می‌دهد. رتور قفس سنجابی از یک دسته میله هادی تشکیل می‌شود که در شیارهای سطح رتور قرار دارند در دو طرف با حلقه‌های اتصال کوتاه کننده به هم متصل شده‌اند. این طرح به این دلیل رتور قفس سنجابی نامیده می‌شود که مجموعه میله‌های هادی شبیه چرخ‌هایی هستند که سنجاب‌ها روی آن می‌دوند.



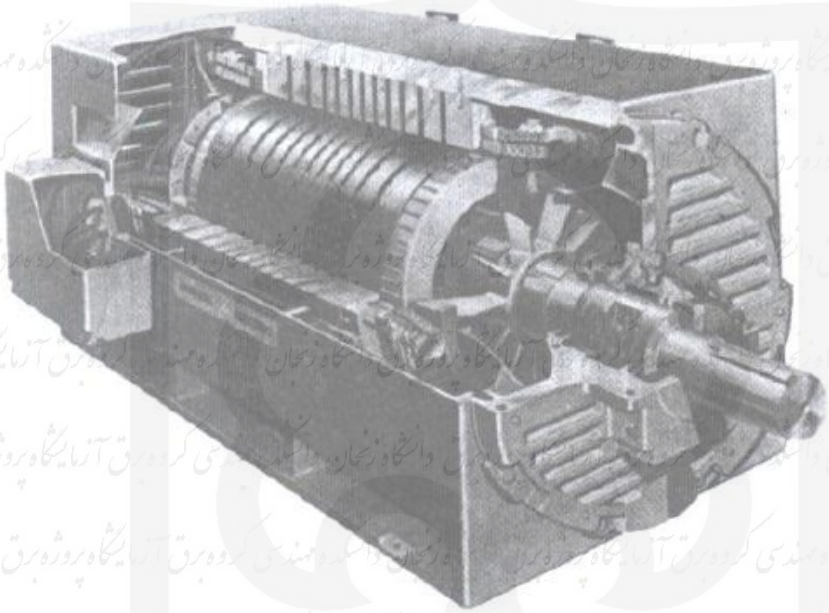
شکل ۱-۱ استاتور یک موتور القایی نوعی



شکل ۱-۲: الف- یک رتور قفس سنجابی ب- یک رتور قفس سنجابی نوعی



(الف)

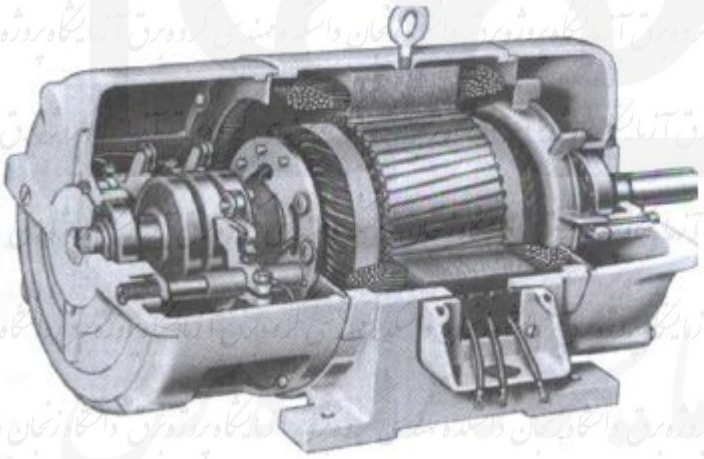


(ب)

شکل ۱-۳ (الف) برش یک موتور القایی قفس سنجابی کوچک (ب) برش یک موتور القایی قفس سنجابی بزرگ

نوع دیگر روتور، رتور سیم‌پیچی شده است. رتور سیم‌پیچی شده مجموعه کاملی از سیم‌پیچ‌های سه فاز دارد، که مثل تصویر آینه‌ای سیم‌پیچ‌های استاتور بر رتور هستند. سیم‌پیچ‌های سه فاز رتور معمولاً اتصال ستاره (Y) دارند و انتهای سه سیم رتور به حلقه‌های لغزان محور رتور متصل‌اند. سیم‌پیچ‌های رتور توسط جاروبک های سوار بر حلقه‌های لغزان اتصال کوتاه می‌شوند. بنابراین جریان‌های رتور موتورهای القایی با رتور سیم پیچی شده از طریق جاروبک‌های استاتور قابل دسترسی‌اند و از همین جا می‌توان این جریان‌ها را اندازه گرفت و مقاومت‌های اضافی در مدار رتور گذاشت. می‌توان از این خصوصیات استفاده کرد و مشخصه گشتاور ـ سرعت موتور را تغییر داد. شکل (۱-۴) دو رتور سیم‌پیچی شده و شکل (۱-۵) یک موتور القایی با رتور سیم‌پیچی شده کامل را نشان می‌دهد.

شکل ۱-۴ دو رتور سیم پیچی شده برای موتورهای القایی



شکل ۱-۵ برش یک موتور القایی با رتور سیم پیچی شده

موتور القایی با رتور سیم پیچی شده گران‌تر از موتور القایی قفس سنجابی است و به خاطر فرسایش ناشی از جاروبک‌ها و حلقه‌های لغزان نگهداری‌اش سخت‌تر است به همین خاطر موتورهای القایی با رتور سیم‌پیچی شده به ندرت به کار می‌روند.

از مسائلی که در تعیین اساس رفتار موتورهای القایی حایز اهمیت است مقادیر مقاومت‌های اهمی و القایی فازی رتور می‌باشد. معمولاً در هنگام راه‌اندازی مقدار مقاومت القایی فازی مدار رتور از مقاومت اهمی فازی آن چند برابر بزرگ‌تر می‌باشد که این نوع طراحی برای کاهش مقدار گشتاور راه‌اندازی مورد نیاز می‌باشد ولی از معایب آن افزایش جریان راه‌اندازی تا چندین برابر جریان نامی خواهد بود. که اگر مقدار مقاومت اهمی را تا نزدیکی مقدار مقاومت القایی افزایش دهیم در این صورت می‌توانیم مقدار جریان راه‌اندازی را تا حد زیادی کاهش دهیم ولی از سوی دیگر گشتاور راه‌اندازی مورد نیاز موتور تا حد زیادی افزایش خواهد یافت. به همین منظور برای افزایش مقدار مقاومت اهمی فازی رتور به جای استفاده از آلومینیوم خالص در ساخت میله‌های قفس رتور از جنس خاصی که از آلیاژهای آلومینیوم می‌باشد استفاده می‌نماییم تا مقاومت اهمی بیشتری به وجود آید که در نتیجه با افزایش مقاومت اهمی رتور مقدار اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان رتور کاسته شده و ضریب قدرت در رتور افزایش می‌یابد و با افزایش ضریب قدرت مقدار توان حقیقی رتور افزایش یافته و گشتاور راه‌اندازی بالاتری به دست خواهد آمد. البته انجام این عمل دارای معایبی می‌باشد زیرا با افزایش مقاومت اهمی میزان تلفات نیز بیشتر خواهد شد و راندمان سیستم پایین می‌آید. بنابراین معمولاً برای بدست آوردن مقاومت اهمی و القایی مورد نیاز از آلیاژ آلومینیوم استفاده نمی‌نماییم بلکه با ابعاد میله‌های رتور قفسی و عمق شیارهای رتور و یا تغییر شکل هندسی آنها خواسته خویش را اعمال می نماییم. در نتیجه اتحادیه N.E.M.A روتورهای قفس سنجابی را در چهار گروه دسته‌بندی می‌نمایند که این چهار گروه A,B,C,D هر کدام دارای مشخصات و کاربردهای ویژه‌ای بوده که متناسب با گشتاور راه اندازی و جریان مربوط به راه‌اندازی در هر کدام می‌باشد. به طور کلی می‌توان مشخصات هر کدام از این گروه‌ها را به این صورت بیان نمود: در طراحی N.E.M.A گروه A از میله‌های بزرگ در نزدیکی سطح استفاده می‌گردد گروه B از میله‌های بزرگ و در عمق با شیار عمیق استفاده می‌شود که در نتیجه آن

راکتانس رتور افزایش خواهد یافت. در طراحی N.E.M.A گروه C از رتور دو قفسه‌ای یا روتورهای با امپدانس دوگانه استفاده می گردد. در طراحی N.E.M.A گروه D از میله‌های کوچک و با شیارهای کم عمق و نزدیک به سطح استفاده می‌نماییم که در این صورت مقاومت رتور افزایش می‌یابد. برای توضیح عملکرد این گروه‌ها به این صورت عمل می‌نماییم که با توجه به این که مقاومت القایی همان شکل منتقل شده مقدار فوران نشتی یا فوران پراکندگی می‌باشد. خطوط نشتی مربوط به شارهای مغناطیسی رتور می باشد که سیم‌پیچ‌های استاتور را قطع نمی نماید. بنابراین اگر میله های روتور یا قسمتی از آنها دورتر باشد مقدار فوران پراکندگی بیشتر خواهد شد. زیرا مقدار کمتری از خطوط، مغناطیسی رتور به سیم‌پیچ‌های استاتور می‌رسد. بنابراین اگر میله‌های یک رتور قفسی سنجابی دارای عمق کم و نزدیک به سطح آن باشد. مقدار فوران پراکندگی، کوچک خواهد بود و مقدار مقاومت القایی در مدار معادل کوچک‌تر می‌باشد. از طرف دیگر اگر میله‌های رتور در عمق بیشتری نسبت به سطح آن قرار داشته باشد میدان پراکندگی بزرگ‌تری به وجود خواهد آمد و در نتیجه مقاومت القایی یا راکتانس رتور بزرگتر خواهد شد. از سوی دیگر بزرگی و کوچکی میله‌ها در مقدار مقاومت اهمی موثر می‌باشند زیرا مقدار مقاومت با سطح هادی نسبت عکس دارد. بنابراین اگر به‌عنوان مثال رتور دارای میله‌های بزرگ و نزدیک به سطح آن باشد در این طراحی مقاومت اهمی کم (به علت سطح مقطع بزرگ آن) و راکتانس پراکندگی و در نتیجه مقاومت القایی کم خواهد شد (به علت نزدیکی میله‌ها به سطح). بنابراین به علت مقاومت اهمی کوچک مقدار گشتاور بحرانی یا گشتاور شکست به سرعت سنکرون بسیار نزدیک می‌گردد و در نتیجه موتور دارای راندمان بالاتری می‌شود. در نهایت چون مقدار مقاومت اهمی کوچک می‌باشد، گشتاور راه‌اندازی موتور مقدار کمی خواهد شد و جریان راه‌اندازی زیاد می‌شود. که در این نوع طراحی رتور در استانداردهای سازندگان وسایل الکتریکی N.E.M.A گروه A می‌گویند که در حال حاضر اغلب موتورهای القایی دارای این کلاس طراحی می‌باشند که مشخصات آن با موتور دارای رتور سیم‌پیچی شده به هم شبیه است. حال اگر رتور دارای میله‌های کوچک نزدیک به سطح باشد به علت کوچکی سطح مقطع میله‌ها مقدار مقاومت اهمی آن زیاد شده و از طرفی چون میله‌ها در عمق کم و نزدیک به سطح قرار دارند میزان خطوط پراکندگی نیز کم می‌باشد. بنابراین گشتاور راه‌اندازی

این موتورها دارای مقدار بسیار زیادی می‌باشد و گشتاور بحرانی آنها در لغزش‌های بالا (سرعت کم) رخ می دهد ولی مقدار جریان راه‌اندازی در آنها نسبتاً کوچک می‌گردد که به این طراحی در N.E.M.A گروه D گفته می‌شود. طراحی با میله‌های عمیق دو قفسه ای: اصولاً هر دو طراحی توضیح داده شده در بالا (گروه های A و D) مشابه یک موتور که دارای رتور سیم‌پیچی شده و با دو دسته مقاومت متفاوت رتور می‌باشد. حال طراحی نوعی رتور مطلوب است که گشتاور راه‌اندازی زیاد و جریان راه‌اندازی کم طراحی در گروه D را با لغزش کار عادی کم و راندمان زیاد طراحی در گروه A را به یکدیگر ترکیب نماید. ایجاد مقاوت اهمی رتور با به کار بردن میله در شیارهای عمیق رتور و یا رتور دوقفسه‌ای امکان‌پذیر می‌باشد. اساس طراحی رتور با شیار عمیق در لغزش کم و فرکانس بسیار کوچک رتور می‌باشد و مقدار مقاومت القایی موازی شده در میله ها در مقایسه با مقدار مقاومت اهمی آنها بسیار کوچک است. در این نوع طراحی مقدار امپدانس تمام قسمت های میله تقریباً با هم برابر می‌باشند یعنی جریان از تمام قسمت‌های میله به طور یکسان عبور می‌نماید. سطح مقطع بزرگ، مقاومت اهمی رتور را بسیار کوچک می‌نماید و در نتیجه مقدار راندمان در لغزش‌های کم (سرعت‌های زیاد) بالا می‌رود. در لغزش‌های بزرگ (هنگام راه‌اندازی) مقدار مقاومت القایی در مقایسه با مقاومت اهمی میله‌های رتور دارای مقادیر بزرگی می‌باشد و این بدان معناست که تمام جریان‌ها مجبور به گذشتن از قسمت‌هایی که دارای مقاومت القایی کوچک که به سیم‌پیچ‌های استاتور نزدیک‌تر هستند می باشند. از طرفی چون سطح مقطع میله‌ها کوچک می‌باشد. مقاومت اهمی رتور بیشتر از حالت قبل است که در نتیجه این مسائل، گشتاور راه‌اندازی نسبتاً بزرگ شده و جریان راه‌اندازی کمتری نسبت به کلاس A به وجود می‌آید. عیب روتورهای دوقفسه‌ای در این است که از انواع روتورهای قفس سنجابی دیگر گران‌تر بوده اما طراحی آنها از رتور سیم‌پیچی شده ارزان‌تر می‌باشند. ضمناً در موتورهای با رتور دو قفس به دلیل بزرگ بودن سطح شیارهای آنها، میزان خطوط، پراکندگی بیشتر بوده و نتیجتاً میدان پراکندگی به وجود می‌آید و هنگامی که موتور در نقطه نامی کار می‌نماید مقدار ضریب قدرت و راندمان موتور مقدار تقریباً کمی می باشد.

نمونه کاربردهای موتورهای القایی با رتور قفس سنجابی (قفس): به علت مزایای زیادی که موتورهای القایی قفسی دارا می‌باشند استفاده‌های زیادی از این موتورها می‌گردد.

نتیجه گیری:

در این پروژه، مقایسه ای جامع بین روش های کاهش جریان راه اندازی در موتورهای القایی سه فاز انجام شد. هر چند این روش ها به صورت مکرر برای راه اندازی این موتورها مرسوم هستند و روابط ریاضی آنها نیز در دسترس می باشد، اما شبیه سازی این روش ها و مقایسه نتایج آنها در بهبود بهره برداری از این موتورها می تواند مفید باشد.

همچنین می توان برای حصول نتایج بهتر، این روشها را با هم ترکیب نمود .کارائی این روشها در طی مراحل شبیه سازی و با استفاده از شکل موجهای خروجی موتور کاملاً قابل مشاهده می باشد. این روش ها در زمان بهره برداری و برحسب نوع روتور به کار رفته در موتور مورد استفاده قرار می گیرند. مشاهده نتایج این شبیه سازی ها، قبل از طراحی و استفاده از موتور های القایی سه فاز به سازندگان و استفاده کنندگان این موتورها اجازه می دهد تا روش مناسب و بهینه را طبق کاربرد مورد نظر خود انتخاب نمایند.

مراجع

[1] Krause, P.; Wasynczuk, O. ;Sudhoff, S, "Analysis of Electric Machinery And Drive Systems", Proc. of WILY-IEEE Press,ebook Chapters, pp.605-613,2002.

[2] Yuan Youxin Xia Zezhong Wang Yalan Yuan PeigangPengWanquan," A Soft Starter of Three Phase Asynchronous Motor ", Proc. of IEEE Conference, pp. 563-567, 2007.

[3]Pensabene-Perez, N," an automatic starting device for asynchronous motors" , Proc. of IET Journals & Magazines, pp. 484-496, 1912 .

[4]Gui-xi, Jia; Yuan, Su," Research on Soft Starter of Asynchronous Electromotor Based on Magnetically Controllable Reactor ", Proc. of IEEE Conference , pp. 549-552,2010.

[5] Hu Wan-ting; Zhou Ya-jie; Ren Si-ming; Zhang Hai-yan, "A New Starting Method for Asynchronous induction Motor ", Proc. of IEEE Conference, pp. 341-344, 2011.

[6] Hadidi, R.; Mazhari, I.; Kazemi, A, " Simulation of Induction Motor Starting With SVC", Proc. of IEEE Conference, pp. 1135-1140,2007 .

[7] Bonnett, A.H," The benefits of allowing for increased starting current in AC squirrel cage induction motors", Proc. of IEEE Conference, pp.93-98 1990.

[8] Patil, P.S.; Porate, K.B," Starting Analysis of Induction Motor: A Computer Simulation by Etap Power Station" , Proc. of IEEE Conference ,pp. 494-499, 2009.

[9] P.C. Krause and C. H. Thomas, "Simulation of Symmetrical Induction Machinery", IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. 84, November 1965, pp. 1038-1053.