



دانشگاه زنجان
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی برق-قدرت

پروژه‌ی کارشناسی:

حفاظت OUT OF STEP موتورهای سنکرون

استاد راهنما:

آقای دکتر کاظم مظلومی

دانشجو:

مصطفی دودانگه

87442131

تابستان 91

فهرست

صفحه	فهرست
1	§ مقدمه
4	§ فصل اول
4	حفاظت موتورهای AC
11	§ فصل دوم
11	موتورهای سنکرون
12	• ساختار موتور سنکرون
13	• راه اندازی موتور سنکرون
17	• موتور سنکرون خطی (LSM)
17	• موتورهای سنکرون مخصوص
	§ فصل سوم
21	OUT OF STEP
24	• روش های مختلف تشخیص Out Of Step و نوسان توان
24	- روش های مبتنی بر امیدانس
29	- روش های مبتنی بر ادمیتانس
29	- PMU
34	- SCV
35	- روشی مبتنی بر منطق فازی و شبکه های عصبی
36	- معیار سطوح معادل
	§ فصل چهارم
38	حفاظت OUT OF STEP موتورهای سنکرون
43	• حفاظت OUT OF STEP موتورهای سنکرون با رله امیدانسی
56	§ نتیجه گیری
57	§ منابع و ماخذ

مقدمه

بسیاری از لوازم می توانند در تبدیل انرژی الکترومکانیکی استفاده شوند به این لوازم مبدل های انرژی الکترومکانیکی گفته می شود. برخی از این تجهیزات دارای حرکت دورانی و برخی دارای حرکت خطی هستند. برخی از این لوازم ماشین های الکتریکی هستند که واسط تبدیل انرژی در آن ها میدان مغناطیسی می باشد. از این بین شاید بتوان گفت که ماشین های الکتریکی دوار دارای دامنه ی کاربرد وسیع تری هستند.

ماشین های الکتریکی دوار اصولاً به دودسته ی کلی ماشین های الکتریکی DC و ماشین های الکتریکی AC سه فاز تقسیم می شوند. به جهت در دسترس بودن برق AC سه فاز در واحد های صنعتی و نیاز بیشتر صنعت و مردم به این نوع از انرژی (نسبت به برق DC) و رشد سریع شبکه های AC نسبت به شبکه های DC، ماشین های الکتریکی AC سه فاز کاربرد و گسترش بیشتری نسبت به ماشین های الکتریکی DC در صنعت و زندگی مردم داشتند.

ماشین های الکتریکی AC سه فاز به دو دسته تقسیم می شوند:

1. ماشین های الکتریکی AC سه فاز سنکرون

2. ماشین های الکتریکی AC سه فاز آسنکرون یا القایی

در این میان در تبدیل انرژی از حالت مکانیکی به الکتریکی (ژنراتورها) ماشین های سنکرون سه فاز بیشتر مورد توجه و استفاده قرار می گیرند و در مورد تبدیل انرژی از حالت الکتریکی به حالت مکانیکی (موتورها) ماشین های آسنکرون سه فاز بیشتر مورد توجه و استفاده قرار می گیرند. این تقسیم بندی هر چند تا حد زیادی قابل قبول است ولی به عنوان یک قاعده ی 100% و حتمی نیست. چنان که در مواردی استفاده از ژنراتورهای آسنکرون و موتور های سنکرون در شبکه های قدرت به چشم می خورد.

در مواردی استفاده از موتورهای سنکرون نسبت به موتورهای آسنکرون دارای ارجحیت است و یا اینکه استفاده از موتور های القایی در آن کاربرد امکان پذیر نمی باشد. ممکن است دلایل اقتصادی یا فنی دلیل مزیت استفاده از موتورهای سنکرون باشد.

برخی از موارد استفاده از موتورهای سنکرون:

• مواردی که نیاز به سرعت ثابت داریم:

1. استفاده از ماشین سنکرون به عنوان محرک ساعت های سنکرون

واضح است که استفاده از موتور های القایی در این مورد سبب ایجاد خطا در عملکرد ساعت می گردد و خطای ساعت برابر با انتگرال خطای سرعت موتور می باشد.

2. چرخاندن روتور یک ژنراتور سنکرون

روتور مجموعه ای عظیم از اتصالات و ادوات مکانیکی است که دارای فرکانس های تحریک بی شماری می باشد، چرخاندن روتور با یک موتور القایی مستلزم چرخش در سرعت و فرکانسی غیر از سرعت و فرکانس نامی است که ممکن است سبب تحریک یکی از بی شمار فرکانس تحریک روتور شده و حتی تا ناپایداری مدار مکانیکی روتور و رساندن آسیب های جدی به مجموعه موتور و ژنراتور و شبکه ی تغذیه شده از ژنراتور مذکور گردد.

• کندانسور سنکرون

استفاده از ماشین سنکرون سه فاز برای اصلاح ضریب توان از دیر باز مورد توجه بوده است و اصطلاح خازن دوار نیز برای آن کاربرد دارد این ماشین ممکن است هم زمان دارای گشتاور روی محور خود باشد و یا این که تنها به عنوان یک جبران کننده وظیفه ی اصلاح ضریب توان را به دوش بکشد. خازن دوار با تولید یا مصرف توان راکتیو اصلاح ضریب توان را انجام می دهد. هر چند قیمت این جبران گر نسبت به سایر ادوات جبران کننده هم چون خازن های استاتیکی و SVC ها و... گران است ولی دامنه ی وسیع تولید و مصرف توان راکتیو نسبت به

سایر ادوات جبران کننده و هم چنین قابلیت استفاده از آن بصورت هم زمان به عنوان موتور و

گرفتن توان مکانیکی از خازن دوار برای این جبران گر نسبت به سایر ادوات جبران گر مزیت

محسوب می شود.

- لغزش، سروصدا و تلفات کم

- کاربرد در توان های بزرگ

کارکرد صحیح هر وسیله نیازمند کنترل ها و حفاظت هایی می باشد و در موتور ها این

حفاظت ها به دو دسته ی مکانیکی و الکتریکی تقسیم می شود.

در این پروژه پس از مروری کلی بر حفاظت موتور های **AC**، کاربرد موتوری ماشین سنکرون و

OUT OF STEP به بررسی حفاظت **OUT OF STEP** موتورهای سنکرون خواهیم پرداخت.

فصل اول :

حفاظت موتورهای AC

به دلیل کاربرد زیاد موتور های AC محدوده ی وسیعی از موتور های AC و با مشخصات مختلف وجود دارد. همه ی موتور ها نیاز به حفاظت دارند اما خوشبختانه بیشتر مشکلاتی که برای این تجهیزات رخ می دهد وابسته به نوع موتور و بار روی شفت آن هاست. در زمان تعیین حفاظت ها باید مشخصات موتور به دقت بررسی شود که به دست آوردن این ممکن آسان نباشند چون یک موتور ممکن است همیشه در شرایط یکسانی به کار گرفته نشود. برای مثال در تعیین حفاظت اضافه بار، زمان و مقدار جریان های راه اندازی و حالت پایدار را در نظر می گیرند.

برای تعیین حفاظت های هر موتور لازم است که عوامل خطا به دو قسمت شرایط تحمیلی خارجی و خطاهای داخلی تقسیم شود، جدول زیر خطاهایی که نیازمند حفاظت هستند را بیان می کند.

خطاهای داخلی	خطاهای خارجی
خطاهای بالبیئرینگ	عدم تعادلی در تغذیه
خطاهای سیم پیچی	افت ولتاژها
اضافه بار	خطا های تک فاز
	خطای کشیدن جریان مولفه ی منفی

جدول 1- تقسیم بندی خطاهای داخلی و خارجی

طراحی درست حفاظت موتور باید دارای موارد زیر باشد :

- حفاظت حرارتی
- حفاظت محدود کننده ی جریان راه اندازی
- حفاظت روتور قفل شده
- حفاظت محدود کننده ی تعداد راه اندازی های متوالی
- حفاظت اتصال کوتاه
- حفاظت خطای زمین شده (Earth Fault)
- تعیین جریان مولفه ی منفی
- حفاظت افت ولتاژ
- حفاظت فقدان بار
- حفاظت عدم هم گامی (Out Of Step)
- حفاظت قطع تغذیه

اغلب رله ها ممکن است شرایط کلید مربوط به موتور را نیز بررسی کنند و یا اینکه در بعضی از موتورهای بزرگ، رله ها (مانند حفاظت از موتور های القایی کم ارزش) حتی برخی از شرایط بالا را نیز بررسی نکنند.

در این جا شرح مختصری بر موارد مهم از حفاظت های فوق الذکر می آوریم.

حفاظت حرارتی

اغلب خطاهای سیم پیچی به طور مستقیم و یا غیر مستقیم توسط اضافه بار رخ می دهند. کار کردن با ولتاژ تغذیه ی نا متعادل یا شرایط تک فاز شدن موتور دمای عایق سیم پیچی موتور را افزایش می دهد تا یک خطای الکتریکی (اتصال بدنه یا اتصال کوتاه دو فاز) رخ دهد. به عنوان یک قانون پذیرفته شده عمر عایقها با افزایش 10°C در دمای کاری آن ها نصف می گردد چون سیم پیچی ماشین های الکتریکی ظرفیت حرارتی بالایی دارند ممکن است اضافه بارهای غیر مکرر را تحمل کنند اما تکرار شرایط اضافه بار به مواد عایقی آن ها آسیب خواهد رساند. بنابراین مهم است که رله شرایط بی باری و بار کامل را از اضافه بار (به عنوان شرایط آستانه ی رخداد خطا) تشخیص دهد.

حفاظت راه اندازی

هنگامی که موتور راه اندازی می شود در یک دوره ی کوتاه جریانی چند برابر جریان بار کامل از شبکه می کشد حفاظت موتور علاوه بر این که این جریان را نباید در دوره ی مذکور قطع کند باید از بیشتر شدن این جریان از یک جریان خاص و طولانی شدن دوره ی راه اندازی جلوگیری نماید.

راه اندازی موتور ممکن است به دلایل زیر طولانی شود:

1. دو فاز یا تک فاز شدن تغذیه
2. خطاهای مکانیکی
3. افت ولتاژ تغذیه
4. گشتاور بیشتر از گشتاور راه اندازی
5. و ...

جریان زیادی از تغذیه کشیده می شود و دمای سیم پیچی های موتور افزایش می یابد. با رخداد خطا در سیم پیچی ها به سرعت روتور و استاتور آسیب می بینند. که برای جلوگیری از این مسائل باید شرایط فوق الذکر و محدودیت حرارتی موتور در طراحی حفاظت در نظر گرفته شود.

حفاظت روتور قفل شده

ممکن است روتور بایستد و قادر به راه اندازی نباشد چون گشتاور بیشتر از گشتاور راه اندازی است. در این حالت موتور جریانی برابر جریان آزمایش روتور قفل شده از تغذیه می کشد که اگر خطا به سرعت رفع نشود ممکن است به موتور صدمه بزند. در این شرایط ممکن است موتور با کشیدن یک جریان خیلی بزرگ راه اندازی شود و پس از راه اندازی جریان موتور به محدوده ی جریان نامی بازگردد. طولانی شدن مدت کشیدن این جریان بالا موجب آسیب رسیدن به موتور می گردد. و این شرایط باید توسط حفاظت آشکار و رفع گردد.

حفاظت محدود کننده ی تعداد راه اندازی های متوالی

سیم پیچی های موتور برای مدتی محدود توانایی تحمل جریان راه اندازی را دارد اگر به هر دلیلی راه اندازی به صورت درست انجام نپذیرد و بلافاصله بخواهیم بدون محدودیت در تعداد چندین بار پیاپی موتور را راه اندازی کنیم چون سیم پیچی ها به اندازه ی کافی فرصت برای خنک شدن و تبادل گرما با محیط ندارند همانند این است که موتور یک مدت زمان طولانی جریان راه اندازی را در سیم پیچی های خود تجربه می کند و این موضوع سبب آسیب رسیدن به عایق سیم پیچی های موتور و بروز خطاهایی هم چون خطای اتصال به بدنه و یا دو فاز می گردد. برای جلوگیری از بروز چنین خطاهایی باید تعداد راه اندازی های پیاپی موتور را متناسب با جریان راه اندازی، مدت زمان دوره ی راه اندازی و کلاس عایقی موتور تعیین و در طراحی حفاظت موتور منظور کرد.

حفاظت اتصال کوتاه

اتصال کوتاه در موتور به صورت اتصال یک فاز با بدنه یا دو فاز باهم و یا سه فاز باهم (این حالت کم تر از سایر حالات رخ می دهد) رخ می دهد و سبب می شود که موتور جریانی بیش از جریان نامی موتور از تغذیه بکشد و سبب آسیب دیدن سیم پیچی گردد هم چنین اتصال بدنه می تواند سبب بروز جرقه بین موتور و سایر تجهیزات و عوارض انسانی گردد. معمولاً 125% جریان راه اندازی را به عنوان جریان رخداد اتصال کوتاه در موتور در نظر گرفته و رله ی جریان زیاد باید این جریان را در مدت کوتاهی قطع کند.

حفاظت در مقابل جریان مولفه ی منفی

جریان مولفه ی منفی در اثر هر گونه عدم تعادلی در ولتاژ تغذیه، هم چون قطع یکی از فاز ها، خطا های فاز به فاز عدم تعادلی در بار ایجاد می شود. این جریان با ایجاد گشتاور مقاوم در مقابل حرکت روتور سبب ایجاد لغزش، تلفات و سر و صدا شده و از بازده موتور می کاهد.

جریان مولفه ی منفی وابسته به درجه ی عدم تعادلی تغذیه، نسبت جریان توالی منفی به جریان توالی مثبت یا به عبارتی نسبت امپدانس توالی منفی به امپدانس توالی مثبت است.

عدم تعادلی در تغذیه می تواند به صورت عدم برابری اندازه ی ولتاژها، زاویه ی ولتاژها و یا هر دو باشد.

جریان توالی منفی ممکن است در برخی موتورها از جریان توالی مثبت بیشتر باشد. امروزه در طراحی رله های حفاظتی موتور ها اندازه گیرنده ی جریان مولفه ی منفی وجود دارد و 50% جریان راه اندازی را به عنوان آستانه ی بروز خطای جریان توالی منفی در نظر می گیرند.

نتیجه گیری

برای جلوگیری از صدمات و تاثیرات قابل توجه رخداد **out of step** در موتورهای سنکرون

باید حفاظتی برای این موتور در مقابل این پدیده طراحی شود.

با توجه به عدم توانایی آشکارسازی **out of step** توسط حفاظت‌های معمول موتورها، یک

روش برای حفاظت در مقابل این پدیده را در این پروژه بررسی نمودیم و عملکرد این روش را

با نرم‌افزار **PSCAD** آزمودیم.

روش فوق‌الذکر استفاده از یک رله‌ی دیستانس با مشخصه‌ی مهو بود که با قرار گرفتن

امپدانس توالی مثبت در ناحیه‌ی خطا با صدور فرمان به بریکر موتور، تغذیه‌ی موتور را قطع می-

نماید.

منابع و مأخذ:

- [1] Sen Paresh Chandra، ماشین‌های الکتریکی، تحلیل-بهره‌برداری-کنترل، ترجمه‌ی مهرداد عابدی-محمد تقی نبوی، ویرایش جدید چاپ 1386، چاپ جباری، چاپ اول 1373 چاپ بصیر.
- [2] استغفان ج. چاپمن، مبانی ماشین‌های الکتریکی، ترجمه‌ی قدرت الله سپیدنام، ویرایش چهارم، چاپ دوم، پاییز 1385، انتشارات علوم رایانه، چاپ اول 1384 انتشارات علوم رایانه.
- [3] محمدرضا فیض-کامران خفافی، ماشین‌های الکتریکی مخصوص، چاپ سوم، 1387، انتشارات دانشگاه تبریز، چاپ اول 1380 انتشارات دانشگاه تبریز.
- [4] رحمت الله هوشمند، تولید برق در نیروگاه‌ها، ویرایش دوم، چاپ دوم، 1389، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، چاپ اول 1387 انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.
- [5] هادی سعادت، بررسی سیستم‌های قدرت، جلد دوم، ترجمه‌ی حیدرعلی شایان‌فر-شهرام جدید-احد کاظمی، چاپ 1390، 7، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، چاپ اول 1380 انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.
- [6] حسین عسکریان ابیانه-مهدی تالشیان جلودار، حفاظت و رله‌ها، چاپ 5، تابستان 1389، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ اول 1380 انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- [7] جواد فیض-مهدی داور پناه، بررسی رفتار ژنراتور آسنکرون بعد از جدا شدن از شبکه، 18 آمین کنفرانس بین المللی برق.
- [8] علیرضا حیدریان-علی کریمیان-فرزاد خلیلی اصفهانی، بررسی پدیده‌ی لغزش قطب در ژنراتورها و دلایل ایجاد آن، چهاردهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق، شهریور 1390، دانشگاه صنعتی کرمانشاه.
- [9] رویاسادات نیک‌جو-محمدرضا قانع-حسین عسگریان ابیانه، حفاظت موثر لغزش قطب ژنراتور نیروگاه، به کمک شبیه‌سازی نمونه‌ای، اولین کنفرانس صنعت نیروگاه‌های حرارتی، اردیبهشت 1388.
- [10] همایون حایری، دلایل لغزش قطب و بررسی اثرات ناشی از آن در عملکرد ژنراتور یکی از نیروگاه‌های ایران، شرکت سهامی برق منطقه‌ای تهران.
- [11] توحید اکبری-سعید ذوالفقاری مقدم، آشکارسازی out of step در سیستم‌های قدرت توسط PMU.
- [12] Sumit Paudyal-Out Of Step protection using energy equilibrium criterion in the time domain, June 2008, University of Saskatchewan Saskatoon.
- [13] Synchronous Motor Brush-Type Excitation System –Copyright 2004 Kilowatt Classroom, LLC.
- [14] IEEE Power System Relaying Committee, Power Swing and OOS Considerations on Transmission Lines, July 2005.

[15]Electrical Energy Technology-Chapter6-Synchronous machines.

[16]Paderno Dugnano-Alessandro Manunza- Out Of Step condition and torsional stress of synchronous generator.

[17]Hans Joachim Herrmann,Diego Gao - Under excitation Protection based on Admittance Measurement Excellent Adaptation on Generator Capability Curves.

[18]C.Russell Mason-The Art & Science of Protective Relaying.

[19]Arun G.Phadke,James S.Thorp-Computer Relaying for Power Systems,second edition-2009-Wiley publication.

[20]WANG Chao,GAo Peng,ZHANG Xue-song SHAO Wei-New finding on out of step separation configuration of large scale power systems-J Zhejiang Univ Sci A 2007.

[21]S.Sachdev,Shengli Cheng-out of step protection using area criterion-IEEE2005.

[22]J.Lewis Blackburn,Thomas J.Domin-Protective Relaying Principles and Applications-third edition-2007-CRC press.

[23]Arkadiusz BUREK,Jaroslaw KRATA,Marek FULCZY,Janne ALTONEN-the new power based approach in pole slip protection-ABB.

[24]Walter A.Elmore-Protective Relaying Theory and Applications-second edition-Marcel Dekker.

[25]IEEE -Application of Phasor Measurements and Partial energy analysis in Stabilizing larg Disturbances,Feb.1995

[26]IEEE,PMU data characterization and application to stability monitoring,Summer 2006.

[27]Del Angel, Estimation of rotor angles of synchronous machines using artificial neural networks and local PMU-based quantities.

[28]Li Ning-out of step protection of synchronous motor-IEEE2011.