



## دانشگاه سبزگان

دانشکده فنی و مهندسی

### پایان نامه کارشناسی مهندسی برق گرایش قدرت

عنوان پروژه: مدلسازی رله توان معکوس برای حفاظت از ژنراتور برق

نگارش: هومن کاظمی

استاد راهنما: دکتر کاظم مظلومی

## اصالت اثر

اینجناب **هومن کاظمی** تایید می نماید که مطالب مندرج در این پایان نامه، حاصل کار پژوهشی اینجناب بوده و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در نوشته از آنها استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه

هومن کاظمی

امضاء



## پیشگفتار:

ژنراتورها از مهمترین اجزاء یک سیستم قدرت به شمار می روند زیرا آنها تولید کننده انرژی در شبکه برق می باشند.

نقض داخلی ژنراتور علاوه بر زیانی که به خود ژنراتور وارد می کند، باعث قطع شدن قسمت بزرگی از انرژی نیروگاه و شبکه نیز می گردد و در صورتی که زینهای وارده بر ژنراتور در اثر نداشتن وسایل حفاظتی صحیح و قطع به موقع آن، گسترش یابد و ترمیم و تعمیر محل عیب دیده ممکن است مدت ها به طول بیانجامد و بهره برداری از ژنراتور برای مدت زیادی متوقف گردد و گاهی خسارات غیر قابل جبرانی را به دنبال دارند. لذا برای جلوگیری از اینگونه زیان ها، لازم است خطاهای داخل ژنراتور را قبل از توسعه شناخت و برطرف کرد.

در نظر گرفتن دامنه وسیعی از مشخصه ها و جنبه های ویژه کار ژنراتور سبب پیچیده تر شدن مسأله حفاظت در شبکه ها می شود. انتخاب حفاظت مناسب مولد بایستی با ملاحظات اقتصادی همراه باشد.

قدرت نامی می تواند به عنوان معیاری برای انتخاب حفاظتهای مناسب در نظر گرفته شود اما این به تنهایی کافی نیست و بایستی با عوامل دیگری همراه گردد مثلا محل قرار گرفتن این تجهیزات، نوع استفاده از آنها و میزان اهمیت و حساسیتی که در یک مجموعه دارا می باشد از جمله مواردی هستند که بایستی در انتخاب سیستم های حفاظتی بحساب آیند. وظیفه دستگاههای حفاظتی ژنراتور اینست که خطا را در همان مراحل ابتدایی پیدا کند، بسنجد و با اطلاع مسئولین امر برساند و در صورتی که لازم باشد، خود جهت قطع ژنراتور از شبکه و برداشت تحریک اقدام کند این عمل باید چنان سریع و ماهرانه انجام شود که نقطه معیوب فرصت توسعه یافتن پیدا نکند.

سپاس و تشکر فراوان از.....

دکتر کاظم مظلومی

و تمامی اساتید محترم دانشگاه زنجان

## فهرست مطالب

### مقدمه

2

### فصل اول

#### ژنراتور و رفتار آن در شبکه های قدرت

3

1-1 ساختمان و اساس کار ژنراتور سنکرون..... 4

2-1 رفتار ژنراتور در شبکه..... 8

3-1 پایداری ژنراتور در شبکه..... 9

### فصل 2:

#### حفاظت از ژنراتور

10

2-1 انواع حفاظت از ژنراتور..... 11

2-2 موتوری شدن ژنراتور و حفاظت از آن..... 15

### فصل 3:

#### شبیه سازی رله توان معکوس

20

3-1 آشنایی با رله توان معکوس..... 21

3-2 طراحی رله توان معکوس..... 24

3-3 تست رله توان معکوس..... 28

### مراجع

## مقدمه :

در نیروگاه‌های تولید انرژی مساله حفاظت و آماده بکار نگه داشتن دستگاهها از اهمیت خاصی برخوردار است، این سالها حفاظت مناسب ،علاوه بر صرفه جویی در سرمایه، سهم مهمی در تولید برق مطمئن را نیز دارا می باشد و در صورتی که دستگاهی فاقد مدارات و سیستم حفاظتی باشد و یا به هر دلیلی سیستم حفاظتی آن از کار افتاده باشد، به احتمال زیاد در هنگام بهره برداری و در مواقع بروز اشکال آنچنان دچار آسیب دیدگی می گردد که به مدار آوردن دوباره دستگاه امکان پذیر نبوده و این امر هزینه سنگینی را از نقطه نظر، خرید و تعمیرات و توقف طولانی مدت تولید الکتریسیته بهمراه خواهد داشت. و چون ژنراتورها یکی از تجهیزات اساسی نیروگاهها می باشند، ایجاد اشکال در آنها قطع کلی واحدها از شبکه و عدم تولید را بمدت طولانی به سیستم تحمیل خواهد نمود .

ابزار مدلسازی برای درک پایه ای از سیستم های قدرت مفید هستند به خصوص برای مهندسان جدید . این چنین ابزارهایی به مهندسان کمک می کند تا سیستم را تحت شرایط نرمال و خطا ، زیر و بم کنند . این مقاله مدلسازی و شبیه سازی رله توان معکوس دیجیتال را در سیمولینک مطلب ارائه می کند .مراحل تبدیل داده های مختلف و دیجیتال کردن سیگنال نیز مورد بحث قرار می گیرد .

در گذشته معمولا رله های الکترو مکانیکی مورد استفاده قرار می گرفت و در حال حاضر این رله ها با رله های دیجیتال که دارای دقت و سرعت بالا می باشند جایگزین شده اند.

بهره برداری سریع از رله ، مطلوب و مورد نیاز است، به خصوص برای خطاهایی که می تواند منجر به خاموشی سیستم شود . رله های دیجیتال مزایای دیگری نیز ارائه می دهند از جمله چندین تنظیم متغییر و اندازه جمع و جور آن. در این مقاله پس از طراحی رله عملکرد آن در شبیه سازی با ژنراتور سنکرون متصل به شبکه ، از طریق ترانسفورماتور افراينده ، آزمایش می شود.

# پایان نامه کارشناسی

## فصل اول

### ژنراتور و رفتار آن در شبکه های قدرت



## 1-1 ساختمان و اساس کار ژنراتور سنکرون

ژنراتورها همواره یکی از مهمترین عناصر شبکه قدرت بوده و نقش کلیدی در تولید انرژی و کاربردهای خاص دیگر ایفاء کرده است. ساخت اولین نمونه ژنراتور (سنکرون) به انتهای قرن 19 برمی گردد. مهمترین پیشرفت انجام شده در آن سالها احداث اولین خط بلند انتقال سه فاز از لافن به فرانکفورت آلمان بود. در کانون این تحول، یک هیدروژنراتور سه فاز 210 کیلو وات قرار گرفته بود. علیرغم مشکلات موجود در جهت افزایش ظرفیت و سطح ولتاژ ژنراتورها، در طول سالهای بعد تلاشهای گسترده ای برای نیل به این هدف صورت گرفت. مهمترین محدودیتها در جهت افزایش و سطح ولتاژ ژنراتورها، ضعف عملکرد سیستمهای عایقی و نیز روشهای خنک سازی بود. در راستای رفع این محدودیتها ترکیبات مختلف عایقهای مصنوعی، استفاده از هیدروژن برای خنک سازی و بهینه سازی روشهای خنک سازی با هوا نتایج موفقیت آمیزی را در پی داشت به نحوی که امروزه ظرفیت ژنراتورها به بیش از DC1600 افزایش یافته است.

در جهت افزایش ولتاژ، ابداع پاورفرم در انتهای قرن بیستم توانست سقف ولتاژ تولیدی را تا حدود سطح ولتاژ انتقال افزایش دهد. به نحوی که برخی محققان معتقدند در سالهای نه چندان دور، دیگر نیازی به استفاده از ترانسفورماتورهای افزایشده نیروگاهی نیست.

همچنین امروزه تکنولوژی ژنراتورهای ابرسانا بسیار مورد توجه است، انتظار می رود با گسترش این تکنولوژی در ژنراتورهای آینده، ظرفیتهای بالاتر در حجم کمتر قابل دسترسی باشند.

ژنراتورها، ماشین هایی هستند که انرژی مکانیکی را از محرک اصلی به یک توان الکتریکی در ولتاژ و فرکانس خاصی تبدیل می نماید. کلمه سنکرون به این حقیقت اشاره دارد که فرکانس الکتریک این ماشین با سرعت گردش مکانیکی شفت قفل شده است، ژنراتور سنکرون برای تولید بخش اعظم توان الکتریکی در سرتاسر جهان به کار می رود.

دو اصل فیزیکی مرتبط با عملکرد ژنراتورها وجود دارد. اولین اصل فیزیکی اصل القای الکترومغناطیسی کشف شده توسط مایکل فاراده دانشمند بریتانیایی است. اگر یک هادی در یک میدان مغناطیسی حرکت کند یا اگر طول یا حلقه ی القایی ساکنی جهت تغییر استفاده شود. یک جریان ایجاد میشود یا القاء می شود. اگر یک جریان از میان یک کنتاکتور که در میدان مغناطیسی قرار گرفته، عبور کند میدان، نیروی مکانیکی بر آن وارد می کند.

ژنراتورها از دو قسمت تشکیل شده اند: قسمت متحرک را رتور و قسمت ساکن آن را استاتور می گویند. رتور ها نیز از نظر ساختمان دو دسته اند: ماشین های قطب صاف و ماشین های قطب برجسته.

همچنین ژنراتورها بسته به آنکه نوع وسیله گرداننده رتور آنها چه نوع توربینی باشد به صورت زیر تقسیم می شوند:

#### 1- توربو ژنراتورها:

در این وسیله گرداننده رتور، توربین بخار است و چون توربین بخار جزء ماشین های تند گرد است بنابراین توربوژنراتور دارای قطب های صاف بوده و این ماشین توانائی ایجاد دورهای بسیار بالا را در قدرت های زیاد دارد امروزه اغلب توربوژنراتورها را دو قطبی می سازند چون با افزایش سرعت گردش کار توربین های بخار با صرفه تر و ارزان تر تمام می شود.

#### 2- هیدرو ژنراتورها :

در آن وسیله گرداننده رتور توربین آبی است و چون توربین آبی دارای دور کم است بنابراین هیدروژنراتور دارای قطب برجسته بوده و دارای سرعت کم می باشد.

#### 3- دیزل ژنراتورها :

در قدرت های کوچک و اضطراری وسیله گرداننده رتور دیزل است، که در این مورد هم قطب های رتور آن برجسته می باشد.

در یک ژنراتور سنکرون یک جریان DC به سیم پیچ رتور اعمال می گردد تا یک میدان مغناطیسی رتور تولید

شود. سپس رتور مربوط به ژنراتور به وسیله محرک اصلی چرخانده میشود، تا یک میدان مغناطیسی دوار در ماشین بوجود آید. این میدان مغناطیسی، یک ولتاژ سه فاز را در سیم پیچ های استاتور ژنراتور، القاء می نماید.

در یک ماشین دو عبارت در توصیف سیم پیچ ها بسیار مورد استفاده است یکی سیم پیچ های میدان و دیگری سیم پیچ های آرمیچر. بطور کلی عبارت سیم پیچ های میدان به سیم پیچ هایی گفته می شود که میدان مغناطیسی اصلی را در ماشین تولید می نماید و عبارت سیم پیچ های آرمیچر به سیم پیچ هایی اطلاق می شود که ولتاژ اصلی در آن القاء می شود. برای ماشین های سنکرون، سیم پیچ های میدان در رتور است.

رتور ژنراتور سنکرون در اصل یک آهنربای الکتریکی بزرگ است. قطب های مغناطیسی در رتور می تواند از نوع برجسته یا غیر برجسته باشد. کلمه برجسته به معنی قلمبیده است و قطب برجسته، یک قطب مغناطیسی خارج شده از سطح رتور می باشد. از طرف دیگر، یک قطب برجسته یک قطب مغناطیسی هم سطح با سطح رتور است. یک رتور غیر برجسته یا صاف معمولاً برای موارد 2 یا 4 قطبی بکار می روند. در حالی که رتورهای برجسته برای 4 قطب یا بیشتر مورد استفاده هستند. چون در رتور میدان مغناطیسی متغیر است برای کاهش تلفات، آن را از لایه های نازک می سازند. به مدار میدان در رتور باید جریان ثابتی اعمال شود، چون رتور می چرخد، نیاز به آرایش خاصی برای رساندن توان DC به سیم پیچ های میدانش دارد برای انجام این کار 2 روش موجود است:

- 1- تهیه جریان DC از یک منبع بیرونی به رتور با رینگ های لغزان و جاروبک.
- 2- فراهم نمودن جریان DC از یک منبع توان DC که مستقیماً روی شفت ژنراتورهای سنکرون نصب می شود.

رینگ های لغزان بطور کامل شفت ماشین را احاطه می کنند ولی از آن جدا هستند. یک انتهای سیم پیچ DC به هر یک از دو انتهای رینگ لغزان در شفت موتور سنکرون متصل است و یک جاروبک ثابت روی هر رینگ لغزان سر می خورد. جاروبک ها بلوکی از ترکیبات گرافیک مانند هستند که الکتریسیته را به راحتی هدایت می کنند ولی اصطکاک خیلی کمی دارند و لذا روی رینگ ها خوردگی به وجود نمی آورد. اگر سمت مثبت منبع ولتاژ DC به یک جاروبک و سر منفی به جاروبک دیگر وصل می شود. آنگاه ولتاژ ثابتی به سیم پیچ، جدا از مکان و سرعت زاویه ای آن، میدان در تمام مدت اعمال می شود. رینگ های لغزان و جاروبک ها به هنگام اعمال ولتاژ DC چند مشکل برای سیم پیچ های میدان ماشین سنکرون تولید می کنند، آنها نگهداری را در ماشین افزایش می دهند، زیرا جاروبک باید مرتباً به لحاظ سائیدگی چک شود. علاوه بر آن، افت ولتاژ جاروبک ممکن است تلفات قابل توجه توان را همراه با جریان های میدان به دنبال داشته باشد. علیرغم این مشکلات رینگ های لغزان روی همه ماشین های سنکرون کوچک تر بکار می رود. زیرا راه اقتصادی تر برای اعمال جریان میدان موجود نیست.

در موتور ها و ژنراتورهای بزرگ تر، از محرک های بی جاروبک استفاده می شود تا جریان میدان DC را به ماشین برسانند یک محرک بی جاروبک، یک ژنراتور AC کوچکی است که مدار میدان آن روی استاتور و مدار آرمیچر آن روی رتور نصب است خروجی سه فاز ژنراتور محرک یکسو شده و جریان مستقیم توسط یک مدار یکسو ساز سه فاز که روی شفت ژنراتور نصب است حاصل می شود که بطور مستقیم به مدار میدان DC اصلی

اعمال می‌گردد. با کنترل جریان میدان DC کوچکی از ژنراتور محرک (که روی استاتور نصب می‌شود) می‌توان جریان میدان را روی ماشین اصلی و بدون استفاده از رینگ های لغزان و جاروبک ها تنظیم کرد. چون اتصال مکانیکی هرگز بین رتور و استاتور بوجود نمی‌آید ، یک محرک جاروبک نسبت به نوع حلقه های لغزان و جاروبک ها ، به نگهداری کمتری نیاز دارد. برای اینکه تحریک ژنراتور بطور کامل مستقل از منابع تحریک بیرونی باشد، یک محرک پیلوت کوچکی اغلب در سیستم لحاظ می‌گردد . محرک پیلوت ، یک ژنراتور AC کوچک با مگنت های ( آهن ربا ) دائمی نصب شده بر روی شفت رتور و یک سیم پیچ روی استاتور است . این محرک انرژی را برای مدار میدان محرک بوجود می‌آورد که این به نوبه خود مدار میدان ماشین اصلی را کنترل می‌نماید . اگر یک محرک پیلوت روی شفت ژنراتور نصب شود آن گاه هیچ توان الکتریکی خارجی برای راندمان ژنراتور لازم نیست .

بسیاری از ژنراتور های سنکرون که دارای محرک های بی جاروبک هستند ، دارای رینگ های لغزان و جاروبک نیز هستند بنابراین یک منبع اضافی جریان میدان DC در موارد اضطراری در اختیار است . استاتور ژنراتور های سنکرون معمولاً در دو لایه ساخته می‌شوند : خود سیم پیچ توزیع شده و گام های کوچک دارد تا مولفه های هارمونیک ولتاژ ها و جریان های خروجی را کاهش دهد .

چون رتور با سرعتی برابر با سرعت میدان مغناطیسی می‌چرخد ، توان الکتریکی با فرکانس 50 یا 60 هرتز تولید می‌شود و از ژنراتور بسته به تعداد قطب ها باید با سرعت ثابتی بچرخد مثلاً " برای تولید توان 60 هرتز در یک ماشین دو قطب رتور باید با سرعت 3600 دور در دقیقه بچرخد . برای تولید توان 50 هرتز در یک ماشین 4 قطب ، رتور باید با سرعت 1500 دور در دقیقه دوران کند .

ولتاژ القایی در استاتور به شار در ماشین ، فرکانس یا سرعت چرخش ، و ساختمان ماشین بستگی دارد . ولتاژ تولیدی داخلی مستقیماً متناسب با شار و سرعت است ولی خود شار به جریان جاری در مدار میدان رتور بستگی دارد.

وقتی یک ژنراتور کار می‌کند و بار های سیستم را تغذیه می‌کند آنگاه :

1- توان مستقیم و راکتیو تولیدی بوسیله ژنراتور برابر با مقدار توان تقاضا شده بوسیله بار متصل شده به آن

است .

2- نقاط تنظیم گاورنر ژنراتور ، فرکانس کار سیستم قدرت را کنترل می‌نماید.

3- جریان میدان ( یا نقاط تنظیم رگولاتور میدان ) ولتاژ پایانه سیستم قدرت را کنترل می‌نماید.

این وضعیتی است که در ژنراتورهای جدا و به فواصل دور از هم وجود دارد.

[1] S. Tamronglak, et al., "Anatomy of power system blackouts: preventive relaying strategies," *Power Delivery, IEEE Transactionson*, vol. 11, pp. 708-715, 1996.

[2] Vahidi, B. and Esmaeeli, E., "MATLAB-SIMULINK-based simulation for digital differential relay protection of power transformer for educational purpose". *Computer Applications in Engineering Education*.

[3] Yalla V.V.S. Murty, a and W.J. Smolinskib, "Design and implementation of a versatile digital directional overcurrent relay" *Electric Power Systems Research Volume 18, Issue 1, January 1990, Pages 47-55 Published by Elsevier B.V.*"

[4] ABB, "SRW Reverse Power Relay" Available on: [http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/5a5acc6d19070dd985256ead0068d04c/\\$file/41-252A.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/5a5acc6d19070dd985256ead0068d04c/$file/41-252A.pdf) [Accessed on: 03 Mac 2012].

[5] M. M. Aman, et al., "Digital Directional and Non-Directional Over Current Relays: Modelling and Performance Analysis," *NED University Journal of Research*, vol. 8, 2011.

[6] Peter Rush *Network Protection & Automation Guide ALSTOM T&D Energy Automation & Information (2002) ASIN: B00480IKQO.*

[7] Online Article Available on: <http://www.electrotechnik.net/2009/06/reverse-power-relayfunction-and.html> [Accessed on 25 Feb 2012]

[8] K. Rajamani and U. K. Hambarde, "Islanding and load shedding schemes for captive power plants," *Power Delivery, IEEE Transactions on*, vol. 14, pp. 805-809, 1999.

[9] Basler Electric Available from: <http://www.electricalmanuals.net/files/RELAYS/BASLER/BEI32R/9171100990R.pdf> Accessed on: 03 March 2012," September

2007.

[10] Pathinkar, Y.G. and Bhide, S.R., "Fundamentals of Power System Protection", *PHI Learning Pvt Limited (2008)*

[11] Arun G. Phadke, James S. Thorp 'Computer relaying for powersystems' *John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA ©1988 ISBN: 0-471-92063-0.*"

[12] MATLAB File Exchange. Author: Muhammad Mohsin Aman

<http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/authors/126> 622.