مرکز اطلاعات علمی ایران
ثبت مدارک

۱۳۷۸ /۴/ ۲۵

دانشگاه تهران

دانشکدهٔ فنّی

گروه مهندسی برق و کامپیوتر

موضوع :

تخمین پارامترهای سیستم تحریک و تنظیم کنندهٔ ولتاژ ژنراتور سنکرون بروش الگوریتم ژنتیک

پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد در رشتهٔ مهندسی کامپیوتر

گرایش هوش‌ماشین و رباتیک

نگارنده :

محمّد علیزاده

استاد راهنما :

دکتر محمود محمّد طاهری

۱۲۹۲۰/۲

فروردین ۱۳۷۸

۲۵۸۹۸

موضوع :

تخمین پارامترهای سیستم تحریک و تنظیم‌کنندهٔ ولتاژ ژنراتور سنکرون بروش الگوریتم ژنتیک

نگارنده :

محمّد علیزاده

پایان‌نامه برای دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر
گرایش هوش‌ماشین و رباتیک

از این پایان‌نامه در تاریخ ۱۳۷۸/۱/۳۱ در مقابل هیئت داوران دفاع به عمل آمد و مورد تصویب قرار گرفت.

محل امضاء :

سرپرست کمیتهٔ تحصیلات تکمیلی دانشکده: دکتر محمدعلی بنی‌هاشمی
مدیر گروه آموزشی: دکتر محمود کمره‌ای
نمایندهٔ تحصیلات تکمیلی گروه: دکتر محمود کمره‌ای
استاد راهنما: دکتر محمود محمّدطاهری
عضو هیئت داوران: دکتر کامبیز بدیع
عضو هیئت داوران: دکتر حمید لسانی
عضو هیئت داوران: دکتر سعید افشارنیا

۲۵۸۶۸

با نام ایزد یکتا

تقدیم به :

پدر و مادر

و

همسرم

تشکر و قدردانی :

در اینجا لازم میدانم از زحمات استاد گرانقدر جناب آقای دکتر محمود محمد طاهری که راهنمایی این پایان‌نامه را بر عهده داشته و در تمامی مراحل مشوق اینجانب بودند سپاسگزاری نمایم.

همچنین از جناب آقای مهندس منصور نصابی در واحد تاسیسات دریایی شرکت ملّی نفت ایران که توفیق کسب علم از محضرشان را در این مدت داشته‌ام و در طول انجام این پژوهش با در اختیار قراردادن امکانات لازم و راهنماییهای مؤثر، صبورانه اینجانب را یاری دادند، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

همچنین از آقای دکتر محمدعلی بنی‌هاشمی، سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده و آقای دکتر محمود کمره‌ای، سرپرست تحصیلات تکمیلی و مدیر گروه مهندسی برق و کامپیوتر، بخاطر کمک ارزنده‌شان در رفع مشکلات تحصیلی اینجانب، قدردانی مینمایم.

از دوستان مهندس مجید شرکاء و مهندس کریم جنگی بخاطر کمکها و تشویق مستمرشان در جهت پیشبرد کارهای پایان‌نامه کمال سپاسگزاری را داشته و توفیق روزافزونشان را از خداوند منّان مسئلت دارم.

فروردین ۱۳۷۸

فهرست مطالب

عناوین **صفحه**

چکیده (فارسی) iv

فصل اول : مقدمه ۱

فصل دوّم : معرفی و بررسی معادلات ژنراتور سنکرون، سیستم تحریک و AVR ۵

۲-۱- مقدّمه ۶

۲-۲- معادلات حالت ماشین سنکرون ۶

۲-۳- نمایش انواع اندوکتانسهای ماشین سنکرون ۱۰

۲-۳-۱- اندوکتانسهای خودی سیم پیچهای استاتور (عناصر قطری ماتریس L_{ss}) ۱۲

۲-۳-۲- اندوکتانسهای متقابل سیم‌پیچ های استاتور (عناصر غیر قطبی ماتریس L_{ss}) ۱۳

۲-۳-۳- اندوکتانسهای خودی سیم پیچهای روتور (عناصر قطری L_{RR}) ۱۳

۲-۳-۴- اندوکتانسهای متقابل سیم پیچهای روتور (عناصر غیر قطبی ماتریس L_{RR}) ۱۴

۲-۳-۵- اندوکتانسهای متقابل بین سیم‌پیچهای روتور استاتور (عناصر ماتریس L_{SR} یا L_{RS}) ۱۵

۲-۴- تبدیل اندوکتانسها با استفاده از معادلات پارک ۱۶

۲-۵- معادلات ولتاژ ژنراتور سنکرون ۱۸

۲-۶- تبدیلات مبنای واحد ۲۱

۲-۷- معادلات حالت ماشین سنکرون ۲۴

۲-۷-۱- معادلات حالت الکترومکانیکی ۲۶

۲-۷-۲- معادلات حالت ماشین سنکرون بر اساس متغیر حالت جریان ۳۰

۲-۸- تنظیم کننده اتوماتیک ولتاژ (AVR) ۳۲

۲-۸-۱- مدل سیستمهای تنظیم کننده نوع اول ۳۳

۲-۸-۲- مدل سیستمهای تنظیم کننده نوع دوم ۳۴

۲-۸-۳- مدل اشباع تنظیم کننده ۳۵

۲-۸-۴- سقف ولتاژ تحریک ۳۷

عناوین | صفحه

فصل سوم : مقدّمه‌ای بر تخمین و شناسائی سیستمها ۳۸

۳-۱- مقدمه‌ای بر تخمین و شناسایی سیستمها ۳۹

۳-۲- انواع مدل ۴۰

۳-۳- تفاوت مدلسازی ریاضی و شناسایی سیستم ۴۰

۳-۴- روال کلی شناسایی سیستم ها ۴۱

فصل چهارم : بهینه‌سازی و الگوریتم ژنتیک ۴۵

۴-۱- مقدمه ۴۶

۴-۲- الگوریتم ژنتیک ۴۷

۴-۳- تفاوت الگوریتم ژنتیک با روشهای کلاسیک ۴۷

۴-۴- کارنمای کلی الگوریتم ژنتیک ۴۹

۴-۵- کدینگ پارامترها ۵۰

۴-۶- عملگرهای ژنتیکی ۵۱

۴-۷- شرط خاتمه ۵۴

۴-۸- نکاتی در مورد الگوریتم ژنتیک ۵۵

فصل پنجم : تخمین پارامترهای سیستم تحریک و AVR ژنراتور سنکرون ۵۶

۵-۱- مقدمه و تاریخچه ۵۷

۵-۲- شبیه سازی اجزای سیستم ۶۰

۵-۲-۱- شبیه سازی سیستم تحریک و تنظیم کنندهٔ ولتاژ ۶۰

۵-۲-۲- شبیه سازی ژنراتور سنکرون ۶۲

۵-۲-۳- مدل کامل سیستم ژنراتور سنکرون و تحریک و AVR ۶۵

۵-۳- تخمین پارامترهای سیستم تحریک و AVR به روش الگوریتم ژنتیک ۶۷

۵-۳-۱- کدینگ پارامترها و تشکیل کروموزم ۶۷

۵-۳-۲- تابع برازش ۶۸

۵-۳-۳- شرط خاتمه ۶۹

عناوین **صفحه**

۵-۳-۴- اپراتورهای استفاده شده در الگوریتم ژنتیک تخمین زننده ۶۹
۵-۴- کارنمای تخمین پارامترها توسط الگوریتم ژنتیک ۷۱
۵-۵- تخمین پارامترهای سیستم تحریک و AVR با روش تکراری کمترین مربعات مبتنی بر حساسیت مسیر ۷۴

فصل ششم : نتایج تجربی ۷۸
۶-۱- تخمین پارامترهای سیستم تحریک با جارویک و AVR بروش کمترین مربعات ۷۹
۶-۲- تخمین پارامترهای سیستم تحریک بدون جارویک و AVR بروش کمترین مربعات مبتنی بر حساسیت مسیر ۸۰
۶-۳- تخمین پارامترهای سیستم تحریک با جارویک و AVR بروش کمترین مربعات مبتنی بر حساسیت مسیر در حضور نویز ۸۳
نتیجه‌گیری ۸۴

فصل هفتم : نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۸۵

مراجع ۸۷
چکیدهٔ انگلیسی

چکیده :

هدف از انجام این پایان‌نامه تخمین پارامترهای سیستم تحریک و تنظیم کنندهٔ ولتاژ(AVR) ژنراتور سنکرون میباشد. پارامترهای حاصل از تخمین، جهت مطالعات پایداری شبکهٔ قدرت و انجام تحلیلهای مشابه، توسط نرم‌افزارهای ویژهٔ مدلسازی و شبیه‌سازی سیستمهای قدرت استفاده میگردند. لزوم تخمین پارامترها از آنجا ناشی میشود که پارامترهای ارائه شده توسط سازندگان اجزای سیستمهای قدرت، اغلب حاصل از انجام آزمایشهای خارج خط بوده و پارامترهای مختلف بطور جداگانه اندازه‌گیری شده و سپس در کنار هم بعنوان یک مجموعهٔ پارامتر ارائه میگردند و تأثیر اجزای مختلف روی همدیگر و یا تأثیر بار در نظر گرفته نمیشود. همچنین در مواردی پارامترهای مربوط به یک سیستم خاص بدلایلی همچون قدمت زیاد در دسترس کاربران و طراحان نمی‌باشد و یا بعلت انجام برخی از تعمیرات، دیگر از دقت کافی برخوردار نیستند.

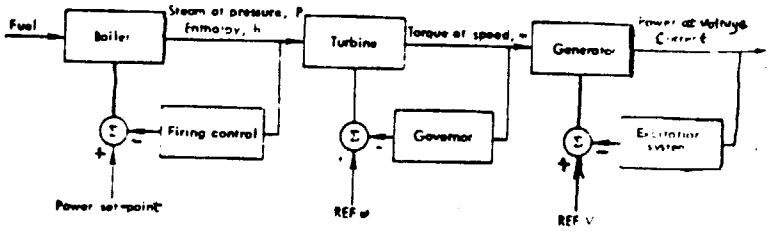
با توجه به این که سیستم تحریک و AVR طبق مدلهای استاندارد دارای اجزایی از قبیل محدودکننده‌های ولتاژ و عناصر اشباع میباشند، لذا روش تخمین بایستی قابلیت تخمین سیستمهای غیرخطی را داشته باشد. از اینرو در این پژوهش ترکیبی از الگوریتم ژنتیک، به جهت قابلیت جستجو در فضاهای غیرخطی چندبعدی و روش کمترین مربعات مبتنی بر حساسیت مسیر، به جهت دقت و سرعت همگرائی خوب در تخمین پارامترهای سیستم فوق مورد محک قرار گرفت. تخمین در این روش در حوزهٔ زمان بوده و نیازمند نمونه‌برداری از برخی سیگنالهای موجود در سیستم میباشد.

ویژگی دیگر روش ارائه شده، صرفهٔ اقتصادی و سهولت استفاده از آن در محیطهای صنعتی میباشد، زیرا سیگنال تحریک سیستم بسادگی با تغییر ولتاژ مرجع AVR حاصل میگردد و بر خلاف روشهای مرسوم قبلی نیازی به ایجاد یا رخداد اتصال کوتاه سه‌فاز در ترمینالهای ژنراتور سنکرون نمیباشد. نتایج حاصل از آزمایشهای مختلف، کارائی روش تخمین را نشان میدهند.

فصل اول

مقدّمه

بررسی پدیده های مختلف در یک شبکهٔ قدرت مستلزم این است که تمام عناصر آن بطور صحیح و دقیق مدل شوندتا نتایج بررسی، مطلوب ونزدیک به آنچه که در شبکه اتفاق می افتد، باشند. این عناصر شامل ماشین سنکرون به همراه سیستم تحریک و تنظیم کنندهٔ اتوماتیک ولتاژ (AVR) آن، توربینها و کنترل آنها (گاورنرها)، بارها، خطوط انتقال، ترانسفورماتورها، موتورهای القائی کلیدها ووسایل حفاظتی می باشند. شکل (۱-۱) نمای کلی یک نیروگاه را به همراه تجهیزات یاد شده نشان می دهد.



شکل (۱-۱) نمای کلی یک نیروگاه

همانطور که می دانیم در شبکهٔ قدرت، وظیفهٔ تولید انرژی بعهدهٔ ژنراتورهای سنکرون با محرکهای (توربینهای) بخار، آبی و گازی می باشد.

بنابراین جهت بررسی رفتار شبکه در حالت گذرا، دینامیک و ماندگار، نیاز به دستیابی به مدل مناسب برای شبیه سازی کامپیوتری ماشین سنکرون و ملحقات آن می باشد که مجموعاً نقش مبدّل انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی را دارند. امروزه با حضور کامپیوترهای

دیجیتال، شبیه سازی کامپیوتری ماشینهای سنکرون کاربرد و توسعهٔ فراوانی یافته است که یکی از همین زمینه ها مسئله تخمین پارامترهای سیستم است.

معمولاً سازندگان اجزای مختلف سیستم قدرت و بویژه ماشین سنکرون، مقادیر پارامترهای مربوط به آن را نیز ارائه می نمایند. اما بنا به دلایل مختلف از جمله ساده سازی مدلها، این اطلاعات بعضاً دارای دقت کافی نمی باشند. از طرفی این داده ها اغلب حاصل از آزمایشهای خارج خط[1] بوده و نیز پارامترهای هر کدام از اجزاء سیستم بطور جداگانه اندازه گیری شده و سپس در کنار هم بعنوان یک مجموعه پارامتر ارائه می گردند. ولی برای رسیدن به مدل دقیقتر تأثیر بار و تأثیر اجزای مختلف روی همدیگر نیز بایستی در نظر گرفته شوند. گذشته از اینها با مرور زمان و همچنین انجام برخی تعمیرات، همواره امکان تغییر پارامترهای سیستم وجود دارد. لذا ضرورت ارائه روش عملی مناسب برای مرتفع کردن نیازهای فوق احساس می شود.

با توجه به اینکه تاکنون سهم عمده ای از تحقیقات به تخمین پارامترهای خود ژنراتور سنکرون اختصاص یافته [۱] ، [۲]،[۳] ، [۴] در این پژوهش تخمین پارامترهای سیستم تحریک و تنظیم کنندهٔ اتوماتیک ولتاژ[2] (AVR) مد نظر قرار گرفته است.

---

[1] - Off - line

[2] - Automatic Voltage Regulation

مجموع سیستم تحریک و AVR ، با در نظر گرفتن اشباع تحریک و همچنین وجود محدود کننده ها یک سیستم غیر خطی محسوب می شود و لذا این مسئله باید در تخمین مدّ نظر قرار گیرد.

ظهور و توسعهٔ الگوریتم ژنتیک به عنوان یک روش جستجوی غیر خطی در فضاهای چند بعدی که حساسیت زیادی نیز روی اطلاعات اولیه از مسئله ندارد، ما را بر آن داشت تا از مزایای آن در مسئله تخمین پارامترهای مدل سیستم اشاره شده، بهره جوئیم. لذا بنابه دلایلی که شرح آن در فصول بعدی خواهد رفت، با یک الگوریتم ترکیبی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک اقدام به تخمین پارامترها نمودیم.

در فصل دوّم این پایان نامه اصول ماشین سنکرون و معادلات مربوط به آن بررسی گردیده است. در فصل سوّم مقدمه ای بر نحوهٔ تخمین و شناسایی سیستم و توضیح مفاهیم موجود در این زمینه خواهد آمد. معرفی الگوریتم ژنتیک و نحوهٔ کار آن نیز در فصل چهارم آمده است. فصل پنجم کار اصلی انجام گرفته در این پایان نامه یعنی طراحی یک روش تخمین ترکیبی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک را مد نظر قرار داده است. نتایج تجربی حاصل از شبیه سازی کامپیوتری مدلها و اجرای الگوریتم در فصل ششم، و در فصل هفتم جمعبندی و نتیجه گیری از مجموع مطالب ارائه شده آمده است.

فصل دوم

معرفی و بررسی معادلات ژنراتور سنکرون،

سیستم تحریک و *AVR*

۲-۱- مقدّمه

در اواخر دهه ۱۹۲۰ پارک (R. H. PARK) مفهوم تازه ای در آنالیز ماشینهای الکتریکی ارائه نمود. او رابطه ای برای تغییر و تبدیل متغیرهای وابسته به زمان مربوط به سیم پیچهای استاتور مانند ولتاژ، جریان و شار به متغیرهای جدید مربوط به سیم پیچهای فرضی که با روتور می چرخند ارائه نمود. به عبارت دیگر او متغیرهای جدید مربوط به استاتور را به کمک این رابطه به مرجعی که به روتور ثابت شده است، انتقال داد.

ظهور این روابط که به تبدیلات "پارک" معروف هستند در آنالیز ماشینها و شبکه های قدرت تحوّل بزرگی ایجاد نموده اند. از خواص منحصر بفرد این تبدیلات می توان حذف تمام اندوکتانسهای متغیر با زمان از معادلات ولتاژ ماشینهای سنکرون که ناشی از:

۱ - حرکت مدارات الکتریکی (استاتور و روتور) نسبت به هم.

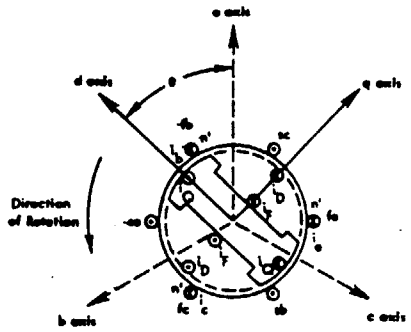
۲ - مدارات الکتریکی (سیم پیچ استاتور در ژنراتور قطب برجسته) با رلوکتانس مغناطیسی متغییر را نام برد.

۲-۲- معادلات حالت ماشین سنکرون

با استفاده از تبدیلات پارک می توان متغیرهای جدید استاتور (جریان، ولتاژ و شار) را بر حسب متغیرهای واقعی سیم پیچها نوشت. مقادیر جدید از تصویر متغیرهای استاتور روی سه محور، یکی در امتداد محور طولی سیم پیچ میدان روتور به نام محور طولی (d) و دیگری در

امتداد محور عمور بر سیم پیچ میدان به عرضی (q) و سومی در امتداد یک محور ساکن بدست آورده می شوند. معادلات پارک را می توان به صورت زیر بدست آورد[۵] (شکل ۱-۲).

ابتدا جریانهای فاز استاتور یعنی I_b، I_a و I_c با جریانهای فرضی در امتداد محورهای



شکل ۱-۲- تصویر ماشین سنکرون

طولی و عرضی و ساکن I_q, I_d و I_o مطابق زیر جایگزین می کنیم:

$$I_a = I_d \cos\theta + I_q \sin\theta + I_o \qquad (۲-۱)$$

$$I_b = I_d \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) + I_q \sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) + I_o \qquad (۲-۲)$$

$$I_c = I_d \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) + I_q \sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) + I_o \qquad (۲-۳)$$

حال با استفاده از روابط فوق می توان مقادیر جریانهای فرضی (I_o , I_q, I_d) را بر حسب جریانهای فاز استاتور بدست آورد.

$$I_{odq} = KI_{abc} \qquad (۲-۴)$$

در روابط بالا جریانهای I_o, I_q, I_d به ترتیب جریانهای محورهای طولی، عرضی و