



دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش: قدرت

عنوان:

تحلیل عملکرد ماشین سنکرون با آهنربای دائم (PMSM)

و شبیه سازی کنترل سرعت آن در متلب

استاد راهنما:

دکتر منصور اوجاقی

نگارش:

جواد اسلامی

پیمان افسری یگانه

تابستان 93

چکیده:

این مقاله به ماشین از نوع مغناطیس دائم پرداخته است. همانطور که از نام آن پیداست بخشی از ماشین باید از نوع مغناطیس دائم باشد. در این ماشین روتور از نوع مغناطیس دائم می باشد. بسته به نوع

مغناطیسی شدن هسته، ماشین را مورد بررسی قرار خواهیم داد. عملکرد ماشین سنکرون به نوع و مقدار ماده آهنربای دائم موجود و توزیع آن روی روتور بستگی دارد. چنانچه مواد مغناطیسی در داخل روتور

قرار داده شوند، وضعیت الکترومغناطیسی پیچیده تری پدید می آید که مفضلا به این موضوع پرداخته شده است. در این نوع ماشین به دلیل عدم وجود سیم پیچی روی روتور انتقال حرارت فقط از طریق

استاتور انجام می شود. برتری این ماشین سنکرون نسبت به انواع دیگر آن، جایگزینی سیم پیچ

تحریک، منبع تغذیه ی DC و رینگ های لغزان بامواد مغناطیسی طبیعی می باشد. سیم پیچی استاتور این ماشین کاملا مشابه ماشینهای جریان متناوب است. همچنین به دلیل اینکه هیچ اختلافی، بیم emf

تولید شده با مغناطیس طبیعی و آنچه به وسیله یک سیم پیچ تحریک DC، به وجود می آید، نمیتوان

در نظر گرفت، در نتیجه مدل ریاضی این نوع ماشین مشابهت زیادی با نوع روتور سیم پیچی شده دارد.

در ادامه برای تحلیل ریاضی موتور از ماتریس پارک و معادله دینامیکی موتور استفاده شده است.

قابلیت استفاده از موتور سنکرون مغناطیس دائم در رنج سرعتهای مختلف باعث شده است تا انواع کنترلها بر روی این موتور مورد توجه قرار گیرد. اولین روش کنترل ولتاژ و فرکانس می باشد به طوریکه

نسبت V/F ثابت باقی بماند. یعنی در زیر سرعت پایه نسبت V و F ثابت نگه می دارند ولی در

سرعتهای خیلی کم برای اینکه افت روی مقاومتهای آرمیچر را جبران نمایند این نسبت را افزایش می

دهند. در سرعتهای بالاتر از سرعت پایه ولتاژ را در مقدار نامی ثابت نگه میدارند و فرکانس را افزایش

می دهند، با افزایش فرکانس سرعت افزایش می یابد. در این نوع کنترل رابطه گشتاور با جریان خطی

نمی باشد. در موتورهای القایی معمولا از این روش استفاده می شود.

روشنی که در این مقاله مورد توجه قرار گرفته روش کنترل برداری است. در روش کنترل برداری

گشتاور رابطه مستقیمی با جریان پیدا می کند، به طوریکه با کنترل جریان می توان کنترل گشتاور را به

دست گرفت.

فهرست

فصل اول - تئوری ماشین های مغناطیس دائم سنکرون (PMSM)

1-1) مقدمه..... 1

2-1) بررسی مولدهای جریان مستقیم..... 2

3-1) طبقه بندی مولدهای جریان مستقیم..... 3

4-1) ماشین های سنکرون آهنربای دائم..... 10

5-1) روتور موتورهای مغناطیس دائم..... 18

6-1) مدل ریاضی موتور سنکرون با مغناطیس دائم..... 21

7-1) نتیجه..... 28

فصل دوم - اصول کنترل برداری بر روی ماشین مغناطیس دائم سنکرون

1-2) مقدمه..... 29

2-2) کنترل برداری ماشین سنکرون مغناطیس دائم با مغناطیس سطحی..... 30

3-2) کنترل برداری منشأ گرفته از شار دور رتور..... 32

4-2) کنترل برداری موتور سنکرون با مغناطیس داخلی..... 35

5-2) کنترل برداری در امتداد شار دور استاتور..... 36

6-2) کنترل سرعت موتور مغناطیس دائم تغذیه شده با اینورتر ولتاژ..... 38

فصل سوم - شبیه سازی

1-3) کنترل برداری در حلقه مدار بسته کنترل سرعت..... 42

2-3) بلوک محاسباتی FG_1 و FG_2 44

3-3) طراحی کنترل کننده PI فازی سرعت..... 46

4-3) شبیه سازی انجام شده در خصوص موتور سنکرون با آهنربای دائمی..... 50

نتیجه گیری..... 62

مراجع..... 63

فصل اول

تئوری ماشین های مغناطیس دائم سنکرون (PMSM)

1-1) مقدمه

ماشینهای سنکرون به دو دسته تقسیم می شوند:

1- ژنراتور سنکرون یا آلترناتور
2- موتور سنکرون
البته نوعی ماشین سنکرون به نام کمپانستور **compansator** یا اصلاح کننده ضریب توان نیز در صنایع موجود می باشد. این ماشین ها نیز از دو قسمت تشکیل شده اند که قسمت متحرک این ماشین ها را

روتور و قسمت ساکن آنها را استاتور گویند. رتور ماشین های سنکرون از لحاظ ساختمان دو دسته اند. ماشینهای سنکرون با قطب صاف و ماشین های با قطب برجسته. و همچنین ماشینهای سنکرون بسته به آنکه نوع وسیله گرداننده رتور آنها چه توریینی باشد به صورت زیر تقسیم می شود:

1- **توربو ژنراتور:** در این وسیله گرداننده ی رتور توربین بخار است و چون توربین بخار جزء ماشین های تند گرد است بنابر این توربو ژنراتور دارای قطب های صاف بوده و این ماشین توانایی ایجاد دورهای بسیار بالا را در قدرت های زیاد دارد امروزه اغلب توربو ژنراتورها را دو قطبی می سازند چون با افزایش سرعت گردش کار توربین های بخار با صرفه تر و ارزاتر تمام می شود.

2- **هیدرو ژنراتور:** در آن وسیله گرداننده رتور به وسیله ی توربین آبی است و چون توربین آبی دارای دور کم است بنابراین هیدرو ژنراتور دارای قطب برجسته بوده و دارای سرعت کم می باشد.

3- **دیزل ژنراتور:** در قدرت های کوچک و اضطراری وسیله گرداننده ی رتور دیزل است که در این مورد هم قطب های رتور آن قطب برجسته می باشد.

مولدهای AC یا آلترناتورها درست مثل مولدهای DC بر اساس القاء الکترومغناطیسی کار می کنند، آنها نیز شامل یک سیم پیچ آرمیچر و یک میدان مغناطیسی هستند. اما یک اختلاف مهم بین این دو وجود

دارد: درحالی که در ژنراتورهای dc آرمیچر چرخیده می شود و سیستم میدان ثابت است در آلترناتورهای آرایش عکس وجود دارد.

یک موتور سنکرون از نظر الکتریکی مشابه یک آلترناتور یا ژنراتور ac می باشد در حقیقت از نظر تئوری یک ماشین سنکرون می تواند به عنوان آلترناتور استفاده گردد که به طور مکانیکی راه اندازی شده و یاب به عنوان موتوری استفاده گردد که به صورت الکتریکی راه اندازی شده باشد. بیشتر موتورهای سنکرون دارای مقدار نامی 150 کیلو وات تا 15 مگاوات بوده و در محدوده سرعت 150rpm تا 1800rpm کار میکنند. بعضی از خواص مشخصه ی یک موتور سنکرون که جالب توجه است عبارتند از:

- 1- هم در سرعت سنکرون کار می کند و هم کار نمی کند یعنی در حال کار سرعت را ثابت نگه می دارد. تنها روش برای تغییر سرعت آن تغییر دادن در فرکانس تغذیه می باشد.
- 2- ذاتا خود راه انداز نبوده و مجبور است تا سرعت سنکرون با استفاده از وسیله خاص تا رسیدن به حالت سنکرون به حرکت در آید.

- 3- توانایی عمل کردن در محدوده ی وسیعی از ضریب قدرت های پس فاز و پیش فاز را دارد. لذا هم برای مقاصد تصحیح توان و به علاوه برای تغذیه گشتاور و راه اندازی بارها استفاده گردد.

1-2) بررسی مولدهای جریان مستقیم

مولد ساده جریان مستقیم
یک مولد ساده جریان مستقیم از چهار قسمت اصلی زیر تشکیل شده است:

- 1- قطبهای مغناطیسی: که وظیفه ایجاد میدان مغناطیسی مولد را بعهده دارد و می تواند بصورت آهنربای دائم و یا آهنربای الکتریکی باشد.

- 2- هادیها: برای ایجاد ولتاژ القایی به کار گرفته میشوند.
- 3- کموتاتور: در ساده ترین حالت از دو نیم استوانه مسی که توسط میکا نسبت به یکدیگر عایق شده اند تشکیل می گردد، وظیفه یک طرفه کردن ولتاژ و جریان القایی را در خارج از مولد بعهده دارد.

- 4- جاروبک: جهت انتقال جریان الکتریکی از هادیها به مصرف کننده استفاده میشود.

طرز کار مولد ساده جریان مستقیم: با حرکت هادیها در فضای مابین قطبها میدان مغناطیسی توسط هادیها قطع شده و بدین ترتیب مطابق پدیده القاء در هادیها ولتاژ القاء میشود. ابتدا وانتهای هر کلاف به یک نیم

استوانه مسی یا یک تیغه کوموتاتور وصل میشود روی تیغه های کوموتاتور دو عدد جاروبک بطور ثابت قرار داشته و با حرکت هادیها تیغه های کوموتاتور زیر جاروبک می لغزند، بدین ترتیب در ژنراتورهای جریان مستقیم از طریق کوموتاتور ولتاژ القاء شده طوری به جاروبکها منتقل می شود که همیشه یکی

از جاروبکها دارای پلاریته مثبت و دیگری دارای پلاریته منفی است.

برای افزایش سطح ولتاژ القاء شده و بهبود یکسوسازی بمنظور داشتن ولتاژ بادامنه ثابت باید تعداد کلافها را افزایش داد و کلافها را به کمک تیغه های کوموتاتور سری کنیم.

چگونگی تغییر پلاریته ولتاژ القایی در مولد ساده

در مولد جریان مستقیم تغییر پلاریته ولتاژ خروجی عملاً در صورت ایجاد یکی از دو حالت زیر ممکن است می شود:

1- جهت چرخش آرمیچر عوض شود.

2 - جهت جریان در سیم پیچ قطبها تغییر کند در صورتیکه قطبها از نوع مغناطیس دائم نباشد.

چگونگی تغییر دامنه ولتاژ القایی در مولد ساده

برای افزایش دامنه ولتاژ القا شده دو روش ممکن است:

1 - افزایش سرعت چرخش آرمیچر که باعث افزایش ولتاژ بصورت خطی می شود.

2 - افزایش جریان تحریک که باعث افزایش ولتاژ مولد بصورت غیر خطی می شود.

کاربرد مولدهای جریان مستقیم

از مولدهای جریان مستقیم بیشتر به عنوان منبع انرژی برای تحریک مولدهای نیروگاهی و ماشینهای خودکار، هواپیماها، جوشکاری باقوس الکتریکی، قطارهای راه آهن، اتوبوسهای برقی، زیر دریاییها و غیره

استفاده می نمایند. بدین ترتیب کاربرد مولدهای جریان مستقیم زیاد و متنوع است و لذا مولدهای جریان مستقیم با توان ها و دوره های مختلف ساخته می شوند.

1-3) طبقه بندی مولدهای جریان مستقیم

ماشین های DC واقعی دارای دو دسته سیم پیچ هستند:

1 - سیم پیچ آرمیچر

2 - سیم پیچ تحریک (قطب ها)

که با توجه به نحوه ارتباط الکتریکی سیم پیچ تحریک و سیم پیچ آرمیچر به دو دسته کلی تقسیم بندی می شوند.

1 - مولدهای تحریک مستقل

2- مولدهای خود تحریک

- در مولدهای تحریک مستقل بین سیم پیچ آرمیچر و سیم پیچ تحریک هیچ ارتباط الکتریکی وجود ندارد.

- در مولدهای خود تحریک بین این دو سیم پیچ ارتباط الکتریکی وجود دارد و انرژی سیم پیچ تحریک از انرژی تولیدی خود مولد تامین می شود نحوه این ارتباط الکتریکی مولدهای خود تحریک را به دو دسته تقسیم بندی می کند.

- مولدهای تحریک شنت یا موازی

- مولدهای تحریک سری

- مولدهای تحریک مختلط یا کمپوند

با توجه به اهمیت مولدهای DC به بررسی کامل این مولدها و مشخصات آنها می پردازیم.

1-3-1) مولد تحریک مستقل:

همانطور که گفته شد در این مولد بین سیم پیچ تحریک و آرمیچر هیچ ارتباط الکتریکی وجود ندارد و مدار تحریک توسط یک منبع تغذیه جریان مستقیم خارجی تغذیه میشود به این منبع اکسایتر گفته می شود. در مدار تحریک از یک مقاومت متغییر استفاده می شود تا جریان تحریک را کنترل و فوران مولد مغناطیسی قطبها را تغییر دهد.

در بررسی بیشتر این مشخصه به نکات زیر توجه بیشتری داریم:

1 - مشخصه مغناطیسی به سه قسمت تقسیم بندی می شود قسمت اول منحنی تقریباً خط مستقیم است

زیرا به ازاء جریان تحریک کم، تمام نیرو محرکه مغناطیسی برای ایجاد فوران در فاصله هوایی که قابلیت

نفوذ مغناطیسی آن ثابت است به مصرف می رسد اما در قسمت دوم اشباع ماشین شروع شده و مشخصه به شکل منحنی در می آید و در قسمت سوم که هسته به اشباع می زود مشخصه با محور افقی تقریباً موازی می شود.

دانشگاه زنجان و انستیتو مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق و انستیتو مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق و انستیتو مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق و انستیتو مهندسی گروه برق

دانشگاه زنجان و انستیتو مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق و انستیتو مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق و انستیتو مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق و انستیتو مهندسی گروه برق

دانشگاه زنجان و انستیتو مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق و انستیتو مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق و انستیتو مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق و انستیتو مهندسی گروه برق

نقطه کار: ماشین باید در قسمت منحنی یعنی شروع حالت اشباع باشد زیرا اگر ولتاژ نامی ماشین روی قسمت خطی قرار گیرد به ازاء تغییر جزئی در جریان تحریک ولتاژ به شدت تغییر می کند و کار ماشین

ناپایدار است و چنانچه روی قسمت اشباع شده واقع شود امکان تنظیم ولتاژ ماشین محدود میشود.

2- در صورتیکه این مشخصه را برای سرعت ثابت دیگری بدست آوریم شکل کلی مشخصه تغییر نخواهد کرد در صورتیکه سرعت بالاتر انتخاب کنیم مشخصه در بالاتر و به ازاء سرعت پایین تر مشخصه در پایینتر تشکیل می شود.

نکته: اگر مشخصه را برای دور نامی داشته باشیم می توان مشخصه را برای دورهای دیگر نیز بدست آوریم.

مشخصه خارجی یا بار داری مولد تحریک مستقل: این مشخصه عبارت است از تغییرات ولتاژ خروجی

به ازاء تغییرات جریان بار در شرایط جریان تحریک و سرعت ثابت

$$VT = f.(IL) \quad RF = \text{const} \quad n = \text{const}$$

این مشخصه در حقیقت نشان میدهد که با عبور جریان از آرمیچر افت ولتاژ اهمی $IA.RA$ و افت ولتاژ ناشی از عکس العمل مغناطیسی چگونه باعث کاهش ولتاژ ترمینال میشوند.

1-3-2) مولد تحریک شنت

در این مولد مدار تحریک با آرمیچر به صورت موازی وصل می شود. جریان تحریک تابع ولتاژ خروجی و مقاومت مدار تحریک است و قسمتی (حدود 2 تا 3 درصد) از جریان آرمیچر را تشکیل میدهد. برای

اینکه با جریان تحریک کم بتوان آمپر دور زیاد برای مولد تامین نمود باید تعداد دور سیم پیچ تحریک زیاد باشد و در نتیجه سطح مقطع آن باید کاهش یابد. ولتاژ خروجی مولد توسط یک مقاومت متغیر که با سیم پیچ تحریک سری می شود تنظیم می گردد.

راه اندازی مولد شنت و تعیین نقطه کار: شروع کار مولد شنت بر اثر وجود پسماند مغناطیسی قطبها می

باشد. یعنی ژنراتور بوسیله محرک با دور نامی به گردش در می آوریم به علت قطع خطوط قوای پس ماند توسط هادیهای آرمیچر، ولتاژی در آن القاء می شود. این ولتاژ به دو سر مدار تحریک اعمال می

گردد. جریان کمی از سیم پیچ قطبها عبور می کند و در نتیجه فوران قطبها زیاد شده (در صورتیکه فوران

هم جهت پسماند باشد) و نیرو محرکه الکتریکی بیشتری در آرمیچر القاء میشود و ولتاژ دو سر مدار

تحریک بالا می رود و مجدداً جریان تحریک افزایش یافته و ولتاژ القائی بزرگتر میشود. افزایش ولتاژ

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

نتیجه گیری:

نتیجه ای که می توان گرفت این است که در بین موتورهای AC موتور PMSM بدلیل ذکر شده همچون

بجای موتورهای DC در صنعت مورد استفاده قرار گیرد. این موتورها دارای مواد مغناطیسی هستند که

به دو صورت داخلی و سطحی روی روتور قرار گرفته اند. این نوع قرار گرفتن به ترتیب باعث

اندوکتانسهای محوری قائم و مستقیم (q , d) با هم برابر شوند و موتور دارای ساختار مکانیکی قوی

استفاده قرار می گیرد. این نوع موتورها بدلیل نداشتن کموتاتور و جاروبک که مهمترین مزیت آنهاست

بیشترین کاربرد را در خودروهای برقی دارند.



آزمایشگاه موتور برق

مراجع:

[1] صادق واعظ زاده و علیرضا پیمان، "عملکرد بهینه ماشین سنکرون آهنربای دائم درونی توسط کنترل برداری

ولتاژ" سیزدهمین کنفرانس ملی برق ایران اردیبهشت ۱۳۸۴ - صفحه ۱۷۱ - ۱۷۷

[۲] مرتضی سقائیان نژاد و نیک خواجهی " تحلیل ماشین های الکتریکی " چاپ اول ، دانشگاه اصفهان، دی ماه ۱۳۷۶

[3] P.Vas, Sensorless vector and direct Torque control, Oxford university Press, Inc, New York, 1998

[4] Chen Junfeng, Permanent Magnet Motor[M]. Beijing, China, Press. 2002