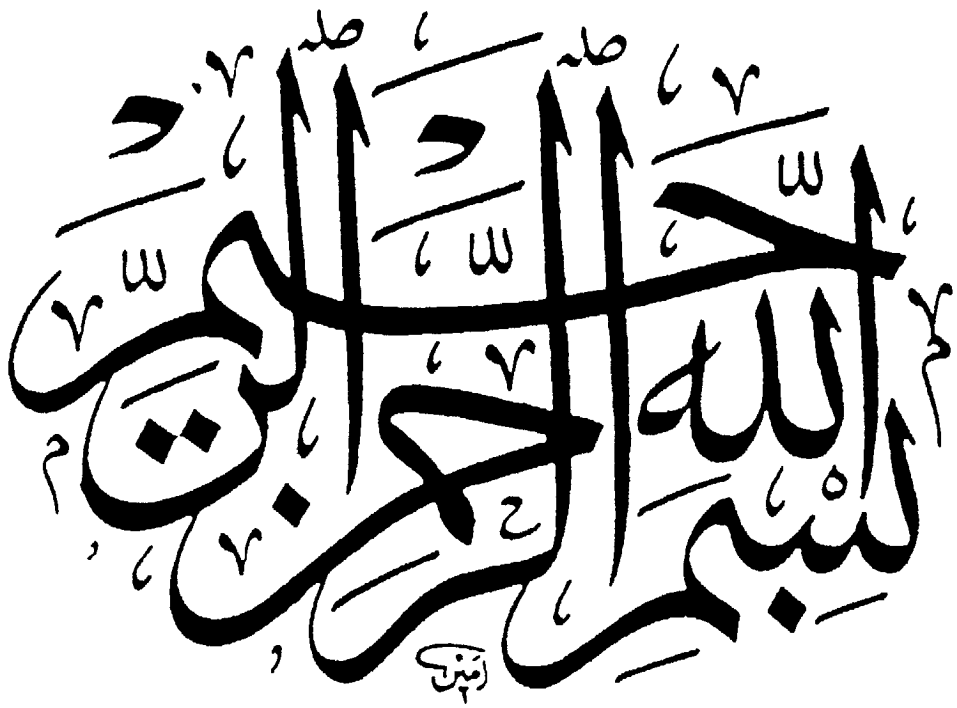
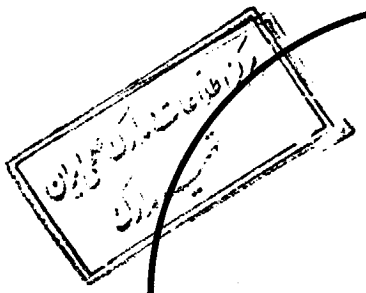


٣٢١/د٣

۱۰ /۱۲/ ۱۳۷۹



به نام خدا

دانشکده برق

عنوان :

مدل هارمونیکی کنتورهای فعال القایی و تجزیه و تحلیل خطای آنها در حضور هارمونیکهای ولتاژ و جریان

9651

توسط: علی بدری

پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق - قدرت

استاد راهنما : دکتر محمد علی شرکت معصوم

آبان ۱۳۷۹

۳۲۱۵۳

تقدیم به پدر بزرگوارم

مظهر تلاش و محبت، که راهنمائیهای ارزشمند
او همواره روشنگر راه من

و

تقدیم به مادر مهربانم

گنجینه بی‌پایان گذشت و صداقت، که دعای
خیر او همواره بدرقه راهْ من

در کلیه مراحل زندگی بوده است.

و

تقدیم به دو برادر عزیزم

« بسمه تعالی »

چکیده

کنتورهای القایی یکی از مهمترین و پرکاربردترین وسایل اندازه‌گیری انرژی در شبکه‌های توزیع می‌باشند که تحت شرایط سینوسی اندازه‌گیری را با دقت بسیار خوبی انجام می‌دهند. این کنتورها در محیطهای هارمونیکی رفتارهای متفاوتی را از خود نشان می‌دهند که بعضاً قابل پیش‌بینی نبوده و برحسب مشخصات و ثابتهای هر کنتور متفاوت می‌باشند.

در این پروژه به تفصیل دربارهٔ چگونگی تغییرات خطای کنتورهای فعال القایی در محیطهای هارمونیکی و سایر شرایط اثرگذار در آنها می‌پردازیم و در این راستا عوامل اصلی بوجود آورنده خطا در محیطهای هارمونیکی شناسایی و اثرات هرکدام بررسی خواهد شد و به منظور محاسبه میزان خطای کنتورهای القائی در شرایط هارمونیکی، مدلهای حوزه زمان و حوزه فرکانسها آنها بررسی و ارائه می‌شوند. در پایان یک مدل پیشنهادی که ترکیبی از روشهای حوزه زمان و روشهای حوزه فرکانس می‌باشد ارائه می‌گردد.

تقدیر و تشکر:

در اینجا وظیفه خود می‌دانم که از زحمات و راهنماییهای به جا و دلسوزانه استاد راهنمای اینجانب جناب آقای **دکتر شرکت معصوم** که راهگشای من در انجام این پایان‌نامه بود تشکر و قدردانی نمایم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه ۱

فصل اوّل- بررسی ساختمان، نحوه عملکرد و تنظیم‌های مختلف کنتورهای فعال القایی ۳

۱-۱ مروری بر ساختمان و چگونگی عملکرد دستگاههای اندازه‌گیری القایی (اندوکسیونی) ۴

۱-۱-۱ ساختمان دستگاه ۴

۱-۱-۲ گشتاور گردش ۵

۱-۱-۳ اثر حرارت و فرکانس ۶

۱-۱-۴ وسیله میرایی ۷

۱-۲ کنتورهای جریان متناوب تکفاز ۹

۱-۲-۱ طرز کار ۱۰

۱-۲-۲ مدار مغناطیسی ولتاژ الکتریکی ۱۱

۱-۲-۳ مدار مغناطیسی جریان الکتریکی ۱۳

۱-۲-۴ گشتاور گردش ۱۳

۱-۳ تنظیم کنتورها ۱۵

۱-۳-۱ دستگاه تنظیم $\alpha = ۹۰^{\circ}$ ۱۵

۱-۳-۲ بررسی خطاهای بار کم و روشهای برطرف کردن اصطکاک و خطا در این بارها ۱۹

الف) خطای کنتور در بارها کم ۲۰

ب) خطای بار کم- نفوذپذیری مغناطیسی هسته جریان ۲۱

ج) کاهش خطای ضریب نفوذپذیری مغناطیسی ۲۲

۱-۳-۳ تنظیم سرعت صفحه الومینیمی ۲۷

۱-۳-۴ دستگاه ایست ۲۷

عنوان	صفحه

۱-۳-۵ بررسی بار زیاد و اثرات آن در کنتورها و یافتن روشهایی برای کاهش خطـای کنتورهـا در اینگونه بارها..... ۲۸

الف) استفاده از هسته موازی جریان..... ۲۹

ب) استفاده از انحنای منحنی هسته B-H..... ۳۰

۱-۴ کنتورهای جریان متناوب سه فاز..... ۳۱

۱-۵ کنتورهای با تعرفه..... ۳۲

۱-۵-۱ طرز کار کنتورهای چند تعرفه..... ۳۳

۱-۶ کنتورهای برای تغذیه از دو طرف..... ۳۵

۱-۷ کنتورهای با نشان‌دهنده بار حداکثر..... ۳۶

۱-۸ کنتورهای جریان دائم..... ۳۸

۱-۸-۱ محاسبه گشتاور گردش..... ۳۹

فصل دوّم - روابط ریاضی نیرو و گشتاور در کنتورهای فعال القایی..... ۴۱

۲-۱ مدارهای الکتریکی و مغناطیسی کنتورهای القایی..... ۴۳

۲-۲ فرضیات در نظر گرفته شده..... ۴۴

۲-۳ بدست آوردن معادلات گشتاور..... ۴۵

۲-۴ بررسی یک نمونه عملی..... ۵۰

فصل سوّم - اندازه‌گیری توان در حضور هارمونیک‌ها..... ۵۴

۳-۱ ماهیت هارمونیک‌ها در شبکه چیست؟..... ۵۵

۳-۲ مقایسه مقادیر توان در شبکه در شرایط سینوسی و در حضور هارمونیک‌ها..... ۵۷

۳-۳ توان و انرژی هارمونیکی در نقاط مختلف شبکه..... ۶۰

۳-۴ ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان..... ۶۳

عنوان | صفحه

فصل چهارم - مدل هارمونیکی کنتورهای فعال القایی در حوزه زمان ۶۵

۴-۱ گشتاور ترمزی در کنتورهای فعال القایی ۶۷

۴-۲ تعیین سرعت چرخش دیسک در کنتورهای فعال القایی ۶۸

۴-۳ تعیین مدل ریاضی جبرانسازی اضافه بار در کنتورهای فعال القایی ۶۹

۴-۴ بررسی خطای کنتورهای فعال القایی در حضور سه نوع بار غیرخطی متداول ۷۰

۴-۴-۱ تجزیه و تحلیل خطای کنتورهای فعال القایی در حضور بارهای مقاومتی با کنترل تمام موج ۷۳

۴-۴-۲ تجزیه و تحلیل خطای کنتورهای فعال القایی در حضور بارهای بزرگ سلفی با کنترل تمام موج ۷۶

۴-۴-۳ تجزیه و تحلیل خطای کنتورهای فعال القایی در حضور باتری شارژهای با کنترل تمام موج ۷۸

۴-۵ بررسی نتایج ۸۱

۴-۶ بررسی خطای کنتورهای فعال القایی در حضور هارمونیکهای ولتاژ و جریان ۸۴

۴-۶-۱ تئوری موضوع ۸۴

۴-۶-۲ بررسی و مقایسه اثرات هارمونیکهای ولتاژ و جریان بر مقدار خطای کنتورهای فعال القایی ۸۵

۴-۶-۳ بررسی نقش ضریب اضافه‌بار در مقدار خطای کنتورهای فعال القایی ۸۹

۴-۶-۴ بررسی نقش زاویه ضریب توان و زوایای هارمونیکی در مقدار خطای کنتورهای فعال القایی ۸۹

۴-۶-۵ بررسی نقش دامنه‌های مختلف هارمونیکی ولتاژ و جریان در مقدار خطای کنتورهای فعال القایی ۹۱

۴-۶-۶ بررسی یک نمونه عملی ۹۱

عنوان | صفحه

فصل پنجم - مدل هارمونیکی کنتورهای فعال القایی در حوزه فرکانس ۹۵

۵-۱ تئوری موضوع ۹۷

۵-۲ اندازه‌گیری امپدانس سیم‌پیچ ولتاژ ۱۰۰

۵-۳ محاسبه ثابت‌های اشباع ۱۰۱

۵-۴ پارامترهای دیسک کنتور ۱۰۲

۵-۵ نتایج شبیه‌سازی ۱۰۴

۵-۶ بررسی اثر پوستی مقاومت دیسک کنتور بر روی مقدار خطای آن ۱۰۸

۵-۷ بررسی اثر سیم‌پیچ پس‌فاز بر روی میزان خطای کنتورهای فعال القایی ۱۰۸

۵-۸ پاسخ فرکانسی کنتورهای فعال القایی ۱۱۱

۵-۹ بررسی خطای قرائت کنتورهای فعال القایی از دیدگاهی دیگر ۱۱۲

۵-۹-۱ دیدگاه اول ۱۱۳

۵-۹-۲ دیدگاه دوم ۱۱۴

فصل ششم - مدل ترکیبی پیشنهادی برای کنتورهای فعال القایی ۱۲۰

۶-۱ تئوری ۱۲۱

۶-۲ بررسی و مقایسه اثرات هارمونیک‌های ولتاژ و جریان بر مقدار خطای کنتورهای فعال القایی ۱۲۲

۶-۳ بررسی اثر هارمونیک‌های مختلف بر میزان خطای کنتورهای فعال القایی ۱۲۳

۶-۴ بررسی نقش زاویه ضریب توان و زوایای هارمونیکی در مقدار خطای کنتورهای فعال القایی ۱۲۴

۶-۵ بررسی نقش دامنه‌های مختلف هارمونیکی ولتاژ و جریان در مقدار خطای کنتورهای فعال القایی ۱۲۶

۶-۶ بررسی یک نمونه عملی ۱۲۹

۶-۷ کاهش ظرفیت (دی‌ریتینگ) کنتورها ۱۳۰

عنوان	صفحه

فصل هفتم - نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۳۲

۷-۱ مقدمه ۱۳۳

۷-۲ نتایج اصلی ۱۳۳

۷-۳ پیشنهاد پروژه‌های بعدی ۱۳۵

ضمیمه ۱ محاسبه نیروهای وارد بر دیسک در کنتورهای القائی ۱۳۶

ضمیمه ۲ تعیین روابط درصد خطا و اعوجاج هارمونیکی جریان برای سه بار صنعتی متداول ۱۳۸

ضمیمه ۳ محاسبه ضرایب Kp و Kc و گشتاور محرک برای یک کنتور واقعی ۱۴۲

مراجع ۱۴۴

فهرست شکل‌ها

صفحه

عنوان

۱-۱ ساختمان دستگاههای اندازه‌گیری القایی ۴

۱-۲ دیاگرام برداری شار و جریان در کنتور ۵

۱-۳ طرز کار ترمز فوکو ۸

۱-۴ ساختمان کنتور القایی تکفاز ۱۰

۱-۵ جریانهای گردابی ناشی از شار ولتاژ ۱۱

۱-۶ جریانهای گردابی ناشی از شار جریان ۱۱

۱-۷ دیاگرام برداری مولفه‌های مختلف کنتورهای القایی ۱۲

۱-۸ مقایسه عملکرد دستگاه تنظیم $\alpha = ۹۰$ ۱۷

۱-۹ مولفه‌های شار مفید و پراکندگی ۱۸

۱-۱۰ مدار مغناطیسی تغییر δ_i ۱۹

۱-۱۱ تغییرات گشتاور ترمزی و اصطکاک در سرعتهای مختلف ۲۰

۱-۱۲ خطای ناشی از گشتاور اصطکاک در سرعتهای مختلف ۲۱

۱-۱۳ مشخصه B-H کنتور القایی در بارهای کم ۲۲

۱-۱۴ مشخصه B-H کنتور القایی ۲۲

۱-۱۵ تغییرات ضریب نفوذپذیری هسته و خطای کنتور ۲۲

۱-۱۶ مدار مغناطیسی بوبین جریان در کنتور ۲۳

۱-۱۷ مشخصه تغییرات شار و جریان در کنتور القایی ۲۴

۱-۱۸ سیم پیچ اتصال کوتاه برای جبران مقاومت اصطکاک ۲۵

۱-۱۹ غیرمتقارن کردن هسته برای جبران مقاومت اصطکاک ۲۶

۱-۲۰ تاثیر بار زیاد در میزان خطای کنتور ۲۸

۱-۲۱ چگونگی استفاده از هسته موازی جریان برای جبران‌سازی بار زیاد ۲۹

عنوان	صفحه

۱-۲۲ تاثیر جبران سازی بار زیاد در کاهش میزان خطای کنتور ۳۰

۱-۲۳ کنتور سه فاز برای سیستم سه فاز بدون سیم صفر ۳۲

۱-۲۴ کنتور سه فاز برای سیستم سه فاز چهار سیمه ۳۲

۱-۲۵ طرز اتصال یک کنتور دو تعرفه‌ای با ساعت ۳۴

۱-۲۶ طرز کار دو شماره‌انداز ۳۴

۱-۲۷ طرز کار شماره‌اندازهای کنتور سه تعرفه ۳۵

۱-۲۸ فواصل زمانی اندازه‌گیری ۳۸

۱-۲۹ ساختمان حداکثرسنج ۳۸

۱-۳۰ ساختمان کنتور جریان دائم ۳۹

۱-۳۱ شمای مغناطیسی جریانها و شارها در کنتور جریان دائم ۴۰

۲-۱ ساختمان یک کنتور القایی ۴۳

۲-۲ جریانهای گردابی روی دیسک کنتور در اثر شارهای فاصله هوایی φ_A و φ_B ۴۵

۲-۳ شمای دیسک کنتور از بالا و پهلو ۴۸

۲-۴ شدت میدانهای مغناطیسی ناشی از سیم‌پیچهای ولتاژ و جریان ۵۱

۲-۵ مدار معادل الکتریکی یک کنتور القایی ۵۱

۲-۶ سطح مقطع عبور جریانهای گردابی ناشی از شار فاصله هوایی ۵۳

۳-۱ شکل موج جریانهای هارمونیکی ۵۶

۳-۲ شکل موجهای جریان و ولتاژ و توان در حالت سینوسی ۵۷

۳-۳ مدار الکتریکی ساده یک شبکه قدرت ۶۰

۳-۴ شکل موج ولتاژ هارمونیکی ۶۲

۳-۵ مولفه‌های اصلی و هارمونیکی ولتاژ بار ۶۲

۳-۶ شکل موج توان هارمونیکی بار ۶۲

عنوان	صفحه

۳-۷ مولفه‌های هارمونیکی توان بار دارای اعوجاج ۶۲

۴-۱ شکل موج ولتاژ و جریان در حالت اول ۷۱

۴-۲ شکل موج ولتاژ و جریان در حالت دوم ۷۱

۴-۳ شکل موج ولتاژ و جریان در حالت سوم ۷۱

۴-۴ خطای کنتور برحسب جریان موثر در زوایای آتش متفاوت برای بار نوع اول ۷۵

۴-۵ خطای کنتور برحسب جریان موثر در دامنه‌های مختلف جریان (I) ۷۵

۴-۶ مشخصه خطای کنتور برحسب جریان موثر در شرایط سینوسی کامل ۷۵

۴-۷ مشخصه درصد اعوجاج هارمونیکی‌جریان برحسب جریان موثرکنتور در خطاهای مختلف ۷۵

۴-۸ خطای کنتور برحسب جریان موثر در زوایای آتش متفاوت برای بار نوع دوم ۷۷

۴-۹ خطای کنتور برحسب جریان موثر در دامنه‌های مختلف جریان (I) ۷۸

۴-۱۰ مشخصه درصد اعوجاج هارمونیکی جریان برحسب جریان موثرکنتور در خطاهای مختلف ۷۸

۴-۱۱ خطای کنتور برحسب جریان موثر در زوایای آتش متفاوت برای بار نوع سوم ۸۰

۴-۱۲ خطای کنتور برحسب جریان موثر در دامنه‌های مختلف جریان (I) ۸۰

۴-۱۳ مشخصه درصد اعوجاج هارمونیکی برحسب جریان موثر کنتور در خطاهای مختلف ۸۱

۴-۱۴ مشخصه خطای کنتور برحسب جریان موثر در دامنه‌های مختلف هارمونیک ولتاژ و بدون‌هارمونیک جریان ۸۸

۴-۱۵ مشخصه خطای کنتور برحسب جریان موثر در دامنه‌های مختلف هارمونیک جریان و بدون‌هارمونیک ولتاژ ۸۸

۴-۱۶ مشخصه خطای کنتور برحسب جریان موثر در حالت بدون و جبرانسازی ($a = 0$) ۹۰

۴-۱۷ مشخصه خطای کنتور برحسب جریان موثر در صورت جبرانسازی ۹۰

۴-۱۸ مشخصه خطای کنتور برحسب جریان موثر در زوایای ضریب توان مختلف ۹۰

عنوان | صفحه

۴-۱۹ مشخصه خطای کنتور برحسب جریان موثر در زوایای هارمونیکی مختلف جریان (p.f. =۰/۸۶۶) ۹۰

۴-۲۰ خطای کنتور برحسب جریان موثردر دامنه‌های هارمونیکی مختلف(p.f.=۰/۸۶۶ پس‌فاز)..... ۹۲

۴-۲۱ خطای کنتور برحسب جریان موثر در دامنه‌های هارمونیکی مختلف (p.f. =۰/۵ پیش‌فاز) ۹۲

۵-۱ تغییرات مقاومت سیم‌پیچ ولتاژ با فرکانس..... ۱۰۱

۵-۲ تغییرات اندوکتانس سیم‌پیچ ولتاژ با فرکانس..... ۱۰۱

۵-۳ تغییرات ولتاژ برحسب جریان در سیم‌پیچی ولتاژ..... ۱۰۲

۵-۴ تغییرات ولتاژ برحسب جریان در سیم‌پیچی جریان ۱۰۲

۵-۵ تغییرات مقاومت دیسک کنتور با فرکانس..... ۱۰۳

۵-۶ مشخصه خطای ناشی از اشباع ولتاژ و جریان در هارمونیک سوم و p.f. =۰/۸۶۶ پس‌فاز.... ۱۰۴

۵-۷ مشخصه خطای ناشی از اندوکتانس دیسک کنتور در هارمونیک پنجم و p.f. =۰/۸۶۶ پس‌فاز ۱۰۵

۵-۸ مشخصه خطای ناشی از مقاومت سیم‌پیچ ولتاژ در هارمونیک هفتم و p.f. =۰/۸۶۶ پس‌فاز ۱۰۵

۵-۹ مشخصه خطای کنتور نسبت به کنتور ایده‌آل در هارمونیک سوم و p.f. =۰/۸۶۶ پس‌فاز... ۱۰۶

۵-۱۰ مشخصه خطای کنتور نسبت به کنتور ایده‌آل در هارمونیک‌پنجم و p.f.=۰/۸۶۶ پس‌فاز.... ۱۰۶

۵-۱۱ مشخصه خطای کنتور نسبت به کنتور ایده‌آل در هارمونیک‌هفتم و p.f.=۰/۸۶۶ پس‌فاز.... ۱۰۷

۵-۱۲ بررسی اثر پوستی بر روی خطای کنتور در هارمونیک سوم و p.f. =۰/۸۶۶ پس‌فاز ۱۰۸

۵-۱۳ مشخصه خطای کنتور نسبت به کنتور ایده‌آل در هارمونیک پنجم و p.f.=۱ و وجود سیم‌پیچ پس‌فاز ۱۱۰

۵-۱۴ مشخصه خطای کنتور نسبت به کنتور ایده‌آل در هارمونیک پنجم و p.f.=۰/۸۶۶ و وجود سیم‌پیچ پس‌فاز ۱۱۰

عنوان **صفحه**

۵-۱۵ مشخصه خطای کنتور نسبت به کنتور ایده‌آل در هارمونیک پنجم و p.f.=۰/۵ و وجود سیم‌پیچ پس‌فاز ۱۱۱

۵-۱۶ پاسخ فرکانسی کنتور فعال القایی در ضریب توانهای مختلف ۱۱۲

۵-۱۷ مشخصه خطای کنتور نسبت به مراتب هارمونیکی در ضرایب توان مختلف θ_i=۰ (دیدگاه اول) ۱۱۵

۵-۱۸ مشخصه خطای کنتور نسبت به مراتب هارمونیکی در زوایای هارمونیکی مختلف جریان cosθ=۰/۸۶۶ پس‌فاز (دیدگاه اول) ۱۱۶

۵-۱۹ مشخصه خطای کنتور نسبت به مراتب هارمونیکی، در دامنه‌های مختلف هارمونیکی ولتاژ و جریان ۰ = θ_i و cosθ =۰/۸۶۶ پس‌فاز (دیدگاه اول) ۱۱۶

۵-۲۰ مشخصه‌خطای کنتور نسبت به مراتب هارمونیکی در ضرایب توان مختلف و θ_i=۰ (دیدگاه دوم) ۱۱۷

۵-۲۱ مشخصه خطای کنتور نسبت به مراتب هارمونیکی در زوایای هارمونیکی مختلف جریان cosθ=۰/۸۶۶ پس‌فاز (دیدگاه دوم) ۱۱۷

۵-۲۲- مشخصه خطای کنتور نسبت به مراتب هارمونیکی در دامنه‌های مختلف هارمونیکی ولتاژ و جریان و θi = ۰ و cosθ =۰/۸۶۶ پس‌فاز (دیدگاه دوم) ۱۱۸

۶-۱ مشخصه خطای کنتور برحسب جریان موثر در دامنه‌های مختلف هارمونیک ولتاژ و بدون هارمونیک جریان ۱۲۲

۶-۲ مشخصه خطای کنتور برحسب جریان موثر در دامنه‌های مختلف هارمونیک جریان و بدون هارمونیک ولتاژ ۱۲۳

۶-۳ مشخصه خطای کنتور برحسب جریان موثر در ضرایب توان مختلف در حالت عدم وجود سیم‌پیچ پس‌فاز و θ_i=۰ ..... ۱۲۵