۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت

طراحی و شبیه‌سازی الگوریتمی بر پایه حداقل مربعات بازگشتی برای جبرانسازی هارمونیکها و نامتعادلی بار در شرایط ولتاژ غیر ایده‌ال

توسط:

مهدی فلاح

استاد راهنما:

دکتر محمد توکلی بینا

تابستان 1392

بسم الله الرحمن الرحيم

تـأیـیـدیّـه هیـات داوران

(برای پایان نامه)

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه آقای: مهدی فلاح

را با عنوان:

طراحی و شبیه‌سازی الگوریتمی بر پایه حداقل مربعات بازگشتی برای جبرانسازی هارمونیکها و نامتعادلی بار در شرایط ولتاژ غیر ایده‌ال

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد تأیید می‌کند.

اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱ - استاد راهنما			
۲ - استاد مشاور			
۳ - استاد مشاور			
٤ - استاد ممتحن			
٥ - استاد ممتحن			
٦ - نماینده تحصیلات تکمیلی			

اظهار نامه دانشجو

بسمه تعالی

موضوع پایان‌نامه:

طراحی و شبیه‌سازی الگوریتمی بر پایه حداقل مربعات بازگشتی برای جبرانسازی هارمونیکها و نامتعادلی بار در شرایط ولتاژ غیر ایده‌ال

استاد راهنما: دکتر محمد توکلی بینا

نام دانشجو: مهدی فلاح

شماره دانشجوئی: 9006554

اینجانب **مهدی فلاح** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق – قدرت گرایش ماشین‌های الکتریکی و الکترونیک قدرت دانشکده‌ی برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان‌نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تأیید می‌باشد، و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو

تاریخ

تقدیم به

پدر سخت کوش و مادر مهربانم

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از آقای دکتر توکلی بینا کمال تشکر و سپاسگذاری را دارم

چکیده

ظهور و گسترش بارهای غیرخطی در سیستم‌های قدرت موجب بوجود آمدن اغتشاشات و هارمونیک‌ها در شبکه‌های برق شده است. مهمترین اثر این پدیده، کاهش ظرفیت انتقال خطوط برق می‌باشد. برای حل این مشکل راهکار ارائه شده استفاده از فیلترهای اکتیو است که این فیلترها دارای الگوریتم‌های کنترلی مختلفی هستند. از جمله‌ی این الگوریتم‌ها، الگوریتم جبران‌سازی pq و dq است که به دلیل اینکه در ساختار این الگوریتم‌ها از فیلترهای پایین گذر برای جداسازی مؤلفه‌ی DC توان اکتیو و جریان محور d استفاده می‌کنند، در صورت وجود هارمونیک‌های مرتبه‌ی پایین دارای پاسخ زمانی کُند می‌باشند. علاوه بر این، در صورتی که ولتاژ نقطه‌ی اتصال فیلتر اکتیو به شبکه غیر سینوسی شود، این روش‌ها کارایی خودشان را از دست می‌دهند. در این پایان نامه برای غلبه بر این مشکلات، از روش حداقل مربعات بازگشتی با ضریب فراموشی متغیر استفاده شده است و این روش توانسته است پاسخ زمانی را بهبود داده و به روش‌های pq و dq این توانایی را بدهد که جریان بار را در شرایط هارمونیکی شدن ولتاژ جبران‌سازی کند. علاوه بر این در این پایان نامه روشی جدید بر مبنای حداقل مربعات بازگشتی با ضریب فراموشی متغیر پیشنهاد شده است که می‌تواند هارمونیک‌ها و توان راکتیو بار را جبران و بر عدم تعادل بار تأثیر گذارد. با توجه به نتایج شبیه‌سازی، از ویژگی‌های روش پیشنهادی می‌توان به پاسخ زمانی زیر نیم سیکل و توانایی جبران‌سازی در شرایط ولتاژ غیر سینوسی اشاره کرد.

کلید واژه : جبران‌سازی هارمونیک، پاسخ زمانی، ماتریس کوواریانس، VFFRLS.

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

فهرست مطالب ..... أ

فهرست جداول ..... ث

فهرست شکل‌ها ..... ج

فصل 1 - مقدمه 1

1-1- پیشگفتار 1

1-2- تحقیق انجام شده در این پایان نامه 4

1-3- خلاصه‌ی فصول پایان نامه 5

فصل 2 - فیلترهای اکتیو موازی 7

2-1- مقدمه 7

2-2- روش pq (تئوری توان لحظه‌ای) 7

2-3- روش dq 9

2-4- روش UPF 10

2-5- روش PHC 11

2-6- جمع بندی 15

فصل 3 - شناسایی سیستم 17

3-1- مقدمه 17

3-2- روش حداقل مربعات 17

3-3- تخمین بهینه 21

3-3-1- تخمین بدون بایاس 22

3-3-2- تخمین استوار 23

3-3-3- تخمین حداکثر احتمال 23
3-3-4- تخمین حداکثر استقرائی 23
3-3-5- حداقل میانگین مربعات خطا 24
3-3-6- مقایسه روش‌های تخمین بهینه 24
3-3-7- روش حداقل مربعات بازگشتی 25
3-3-8- ارتباط بین روش RLS و فیلتر کالمن 28
3-4- کاربرد روش RLS در سیستم‌های قدرت 28
3-5- جمع بندی 30
فصل 4 - بهبود روشهای pq و dq با استفاده از روش حداقل مربعات بازگشتی 31
4-1- مقدمه 31
4-2- بهبود روش pq 31
4-2-1- نتایج شبیه‌سازی 36
4-3- بهبود روش dq 46
4-4- جمع بندی 48
فصل 5 - طراحی روشی جدید بر اساس حداقل مربعات بازگشتی با ضریب فراموشی متغیر 49
5-1- مقدمه 49
5-2- روش پیشنهادی 49
5-3- نتایج شبیه‌سازی 51
5-3-1- جبران‌سازی عدم تعادل و هارمونیک‌ها در شرایط ولتاژ غیر ایده‌آل 52
5-3-2- تغییر بار 55
5-3-3- بررسی تغییرات ولتاژ لینک DC 57
5-3-4- بررسی توان‌های مبادله شده بین بار و فیلتر اکتیو 58
5-4- جمع بندی 59
فصل 6 - نتیجه‌گیری و پیشنهادات 60

6-1- نتیجه‌گیری 60
6-2- پیشنهادات 60
مراجع 62
واژه نامه 65

فهرست جداول

عنوان

صفحه

جدول 2-1 جریان مرجع منبع در روش‌های کنترلی مختلف 12
جدول 2-2 خلاصه‌ی نتایج شبیه‌سازی 13
جدول 2-3 خلاصه‌ی نتایج شبیه‌سازی 14
جدول 3-1 مسائل مرتبط با تخمین 22
جدول 4-1 مشخصات بار مجازی 36
جدول 4-2 مشخصات شبکه 37
جدول 4-3 پارامترهای SOGI و VFFRLS 38
جدول 4-4 عملکرد روش pq، روش pq اصلاح شده با RLS و VFFRLS 46
جدول 5-1 سیستم قدرت شبیه‌سازی شده 51
جدول 5-2 عملکرد روش پیشنهادی با ضریب فراموشی متغیر و ثابت 59

فهرست شکل‌ها

عنوان

صفحه

شکل 2-1 ساختار فیلترهای اکتیو 8
شکل 2-2 بلوک دیاگرام روش PHC 12
شکل 2-3 نتیجه شبیه‌سازی 14
شکل 2-4 نتیجه شبیه‌سازی 15
شکل 3-1 روش پیشنهادی برای فیلتر اکتیو موازی 19
شکل 3-2 روش پیشنهادی برای فیلتر اکتیو سری 20
شکل 3-3 روش پیشنهادی برای تخمین دامنه و فاز مؤلفه‌ی اصلی سیگنال ولتاژ و جریان 20
شکل 3-4 دامنه‌ی تشخیصی توسط روش پیشنهادی 21
شکل 3-5 دامنه‌ی تشخیصی در شرایط تغییر فرکانس 21
شکل 3-6 روش پیشنهادی برای روش RLS با ضریب فراموشی متغیر در 29
شکل 3-7 ضریب فراموشی متغیر پیشنهاد شده در 30
شکل 4-1 بلوک دیاگرام روش pq 32
شکل 4-2 روش پیشنهادی برای بهبود روش pq 33
شکل 4-3 تولید فاز مرجع مؤلفه‌ی اصلی ولتاژ هارمونیکی 34
شکل 4-4 سیستم قدرت شبیه‌سازی شده 36
شکل 4-5 شکل موج ولتاژ PCC 37
شکل 4-6 آنالیز فوریه‌ی ولتاژ PCC 37
شکل 4-7 مقایسه‌ی فاز استخراج شده توسط SOGI با فاز ایده‌آل 38
شکل 4-8 تخمین دامنه‌ی اصلی ولتاژ PCC توسط تخمینگر VFFRLS 39
شکل 4-9 تغییرات ضریب فراموشی 39
شکل 4-10 تغییرات ماتریس کوواریانس 40
شکل 4-11 مؤلفه‌های اصلی ولتاژ PCC 41

شکل 4-12 شکل موج جریان بار 41
شکل 4-13 آنالیز فوریه‌ی جریان بار 42
شکل 4-14 توان اکتیو بار 42
شکل 4-15 مؤلفه‌ی DC توان بار 43
شکل 4-16 تغییرات ماتریس کوواریانس و ضریب فراموشی فیلتر VFFRLS به هنگام وقوع تغییر بار ... 43
شکل 4-17 مؤلفه‌ی DC توان اکتیو بار استخراج شده توسط فیلتر VFFRLS و فیلترهای پایین گذر با مرتبه و فرکانسهای قطع مختلف 44
شکل 4-18 جریان جبران‌سازی شده با روش پیشنهادی 45
شکل 4-19 جریان جبران‌سازی شده با روش pq متداول 45
شکل 4-20 جریان جبران‌سازی شده‌ی فاز a با استفاده از روش پیشنهادی و روش pq 46
شکل 4-21 روش جبران‌سازی dq..... 47
شکل 4-22 روش پیشنهادی برای بهبود روش dq..... 47
شکل 5-1 بلوک دیاگرام روش پیشنهادی 49
شکل 5-2 سیستم قدرت شبیه‌سازی شده 51
شکل 5-3 ولتاژ پایانه‌ی بار 52
شکل 5-4 جریان نامتعادل و هارمونیکی بار 52
شکل 5-5 مؤلفه‌ی اصلی جریان بار 53
شکل 5-6 توالی مثبت اکتیو مؤلفه‌ی اصلی جریان بار 53
شکل 5-7 جریان جبران‌سازی شده 54
شکل 5-8 جریان سیم چهارم بار 54
شکل 5-9 جریان سیم چهارم منبع 54
شکل 5- 10 جریان بار در شرایط تغییر بار و ولتاژ غیر سینوسی PCC..... 55
شکل 5-11 تغییرات ماتریس کوواریانس و ضریب فراموشی تخمینگر VFFRLS در تخمین مؤلفه‌ی اصلی جریان بار 55
شکل 5-12 تغییرات ماتریس کوواریانس و ضریب فراموشی تخمینگر VFFRLS در تخمین توالی مثبت اکتیو مؤلفه‌ی اصلی جریان بار 56
شکل 5-13 دامنه‌ی توالی مثبت اکتیو و راکتیو 56
شکل 5-14 جریان جبران‌سازی شده در شرایط تغییر بار 57
شکل 5-15 تغییرات ولتاژ لینک DC 57

شکل 5-16 توان اکتیو بار 58
شکل 5-17 توان راکتیو بار 58
شکل 5-18 توان اکتیو فیلتر اکتیو 58
شکل 5-19 توان راکتیو فیلتر اکتیو 59

فصل 1 - مقدمه

1 - 1 - پیشگفتار

حضور بارهای غیرخطی و افزایش تعداد سیستم‌های تولید پراکنده موجب تغییر در مشخصه‌های ولتاژ و شکل موج‌های جریان شبکه‌های قدرت می‌شود. بطوریکه تأثیر بارهای غیرخطی بر روی سیستم‌های قدرت طی دهه‌ی گذشته افزایش یافته است. بعنوان مثال یکسوسازهای درایو موتورها، بالاست الکترونیکی برای دشارژ لامپ‌ها، کامپیوترهای شخصی و ادوات الکتریکی که الگوی مصرف جریان غیرسینوسی دارند موجب تزریق اغتشاش به شبکه‌ی قدرت می‌شوند. در صورتی که این اغتشاش‌ها جبران‌سازی نگردند، اثرات جبران ناپذیری بر روی کل سیستم قدرت می‌گذارند. از جمله راه حل‌های ارائه شده توسط محققان برای مقابله با اثرات این اغتشاش‌ها، فیلترهای اکتیو می‌باشد. روش‌های کنترلی مختلفی برای فیلترهای اکتیو پیشنهاد شده است که با گذشت زمان این روش‌ها بهبود یافته‌اند و یا روش‌های جدیدی ارائه شده‌اند. تحقیق حاضر نیز تلاشی برای بهبود و ارائه‌ی روشی جدید برای کنترل این ادوات می‌باشد.

برای تخمین و اندازه‌گیری دقیق کمیت‌ها، تکنیک‌های پردازش سیگنال پیشرفته‌ای مورد نیاز است. تکنیک‌های مختلفی برای تخمین و محاسبه‌ی بلادرنگ سیگنال‌ها از جمله تبدیل فوریه‌ی بازگشتی یا پنجره‌ای، تبدیل موجک و شبکه‌های عصبی مصنوعی توسط متخصصان کنترل و مخابرات ارائه شده است [1]. فیلتر کالمن (KF) نیز می‌تواند برای تخمین کمیت‌های سیگنال الکتریکی سیستم قدرت مثل مؤلفه‌ی اصلی ولتاژ، جریان و یا فرکانس بکار گرفته شود. اگر چه فیلتر کالمن تخمین بهینه حداقل مربعات[1] را ارائه می‌دهد، ولی این روش حجم محاسبات زیاد و پیچیده‌ای دارد که در کاربردهای روی‌خط[2] نیاز به پردازنده‌هایی با سرعت بالا و ظرفیت حافظه‌ی زیاد را می‌طلبد [2]. برای غلبه بر این مشکل از روش حداقل مربعات بازگشتی[3] می‌توان استفاده کرد. روش‌های RLS و KF ارتباط بسیار نزدیکی با هم دارند که در فصل سوم این ارتباط بیان می‌شود. در [3] نیز نشان داده شده است که روش RLS نوعی از روش فیلتر کالمن می‌باشد. از جمله حوزه‌های مهم قدرت که در آن KF کاربرد دارد می‌توان به کیفیت توان، الکترونیک قدرت، ماشین‌های الکتریکی، پیش‌بینی بار و ... اشاره کرد. در این تحقیق با ایجاد تغییر در ساختار RLS تخمین[4] دقیق و سریع دامنه‌ی سیگنال مؤلفه‌ی اصلی توان اکتیو، ولتاژ و جریان در شرایط سینوسی و غیر سینوسی ولتاژ بدست می‌آید.

---

[1] Least Squares
[2] Online
[3] Recursive Least Squares
[4] Estimation

افزایش استفاده از تجهیزات الکتریکی و کاربرد مبدل‌های الکترونیک قدرت مهمترین عامل ایجاد اعوجاجات کیفیت توان می‌باشد. بر اساس [1] اعوجاجات کیفیت توان به دو صورت اعوجاجات حالت پایدار[1] و اعوجاجات حالت گذرا[2] طبقه‌بندی می‌شود. برای جبران‌سازی اعوجاجات حالت پایدار (هارمونیک‌ها و میان هارمونیک‌ها) نیاز به اندازه‌گیری مستمر کمیت‌های الکتریکی است. با توجه به روش‌های کنترلی ارائه شده برای ساختار فیلترهای اکتیو، تخمین و اندازه‌گیری دقیق سیگنال‌های الکتریکی موجب بهبود و ارائه‌ی روش‌های کنترلی جدید می‌شود. در میان تکنیک‌های تخمین سیگنال، روش فیلتر کالمن از مدت‌ها قبل پیشنهاد شده است. این روش در مقایسه با روش‌های دیگر دارای کاربرد محدودتری بوده و عموما بصورت خارج‌خط[3] مورد استفاده قرار می‌گیرد. دلیل این امر محاسبات پیچیده‌ی فیلتر کالمن برای کاربردهای روی‌خط می‌باشد. روش RLS یک روش خاص از فیلتر کالمن است که دارای محاسبات کمتری می‌باشد. در [4] با استفاده از فیلتر کالمن فرکانس پایه‌ی سیستم قدرت الکتریکی بطور دقیق تخمین زده شده است. برای کاهش پاسخ زمانی، در [5] روشی با استفاده از هیسترزیس جهت بازنشانی[4] ماتریس کوواریانس پیشنهاد گردیده است. طبق این روش در شرایط گذرای سیگنال، ماتریس کوواریانس بازنشانی می‌شود تا قابلیت ردیابی پارامتر تخمینی را دارا باشد. هارمونیک‌های سیگنال ولتاژ و جریان با در نظر گرفتن قاب مرجع ثابت و چرخان در [6] ردیابی شده‌اند. در [7] بعد از بررسی پاسخ زمانی فیلتر کالمن، برای بهبود عملکرد تخمین، فیلتر کالمن وفقی[5] پیشنهاد شده است. برای تشخیص اعوجاجات کیفیت توان کوتاه مدت، در [8] از تبدیل موجک و فیلتر کالمن استفاده شده است. سنکرون‌سازی[6] سیستم‌های تولید پراکنده[7] مبتنی بر اینورترها با استفاده از فیلتر کالمن در [9] مورد بحث قرار گرفته است. جبران‌سازی هارمونیک‌های جریان با استفاده از فیلترهای اکتیو موازی مبتنی بر محاسبات فیلتر کالمن و قاب مرجع ساکن در [10] پیشنهاد می‌شود. یکی از مهمترین مقالات در این زمینه، مقاله‌ی [2] می‌باشد که در آن با ذکر معایب فیلتر کالمن، روش کنترلی جدیدی مبتنی بر RLS برای رابط‌های[8] تولید پراکنده پیشنهاد گردیده است. هر چند نکات مبهم فراوانی از جمله استفاده از ضریب فراموشی[9] ثابت برای تخمین پارامترها در این مقاله وجود دارد دارد که در این صورت پاسخ زمانی رابط DG در شرایط گذرای سیگنال، غیر قابل قبول می‌شود. در واقع نویسندگان این مقاله کمترین توجهی به مباحث مربوط به ماتریس کوواریانس نداشته‌اند. در [11] با ترکیب روش حداقل مربعات با تبدیل موجک، سرعت روش پیشنهادی افزایش یافته است. مهمترین ابهام در این

[1] Steady State
[2] Transient State
[3] Off line
[4] Resetting
[5] Adaptive
[6] Synchronization
[7] Distributed Generation
[8] Interfaces
[9] Forgetting Factor

مقاله استفاده از روش LS بصورت روی‌خط در ساختار کنترلی فیلترهای اکتیو می‌باشد. چنانچه در فصل سوم به تفصیل توضیح داده خواهد شد، روش LS حالت خارج‌خط روش RLS بوده و توانایی عملکرد بصورت روی‌خط را دارا نمی‌باشد.

یکی از اولین کاربردهای فیلتر کالمن در زمینه‌ی سیستم قدرت، پیش‌بینی تقاضای کل بار سیستم قدرت بود [12]. برای پیش‌بینی بار، کل اطلاعات بار جمع آوری شده و در اختیار روشی که با استفاده از فیلتر کالمن طراحی می‌شود، قرار می‌گیرد. عموما اطلاعات بصورت ساعتی جمع آوری شده و در نتیجه روش پیش‌بینی منجر به نتایج کوتاه مدت می‌گردد که در برنامه‌ریزی سیستم‌های واقعی به منظور تأمین بار روزانه مفید است. از دیگر کاربردهای فیلتر کالمن در سیستم‌های قدرت آشکارسازی خطا، کنترل ادوات حفاظتی مثل رله‌های دیجیتالی است. بر اساس اطلاعاتی که از جریان‌ها و ولتاژهای اندازه‌گیری شده بدست می‌آید، تصمیم لازم به منظور آشکارسازی و حفاظت سیستم قدرت در مقابل خطاهای شدید گرفته می‌شود [13]. بنابراین برای تشخیص خطا لازم است که مؤلفه‌ی اصلی سیگنال‌های اعوجاج‌دار که ولتاژها و جریان‌های اصلی ورودی به روش کنترلی است، توسط فیلتر کالمن شناسایی گردند [14].

لزوم سنکرون‌سازی چندین وسیله‌ی الکتریکی (مثل یکسوسازهای اکتیو، فیلترهای اکتیو، منابع انرژی غیر قابل قطع[1]، بازیابنده‌ی دینامیکی ولتاژ[2]، تولید پراکنده و ...) انگیزه‌ی طراحی روش‌های مختلف جهت آشکارسازی دامنه، فرکانس و زاویه‌ی فاز ولتاژ اصلی شبکه‌ی قدرت را بوجود می‌آورد [16-15]. اطلاعات مورد نیاز برای این کار می‌تواند توسط فیلتر کالمن فراهم شود.

در بحث یکپارچه‌سازی توان، چندین روش کنترلی حلقه بسته به منظور کنترل شکل موج‌های ولتاژ و جریان، فرکانس و بار الکتریکی در نقطه اتصال مشترک[3] بکار گرفته شده است [17]. بعنوان مثال یکسوساز اکتیو باید جریان سینوسی هم‌فاز با مؤلفه‌ی اصلی ولتاژ شبکه از سیستم تغذیه کند که این امر باعث افزایش ضریب توان یکسوساز می‌شود. در مورد فیلترهای اکتیو قدرت، باید ولتاژ و یا جریان (وابسته به ساختار) سینوسی، متعادل، متقارن و با دامنه‌ی ثابت ایجاد گردد. بنابراین فیلتر کالمن باید سیگنال‌های لازم مطابق با روش کنترلی را از سیگنال‌های معوج شناسایی کند.

کنترل منابع توان مختلف (AC , DC) تولید پراکنده توسط مبدل‌های الکترونیک قدرت انجام می‌شود. این کار که مبتنی است بر سیگنال‌های سنکرون‌ساز بدست آمده از فیلتر کالمن، به منظور کسب اطمینان از اینکه ولتاژهای تولید شده دارای فرکانس و زاویه‌ی یکسان با شبکه‌ی قدرت هستند، انجام می‌گیرد [16].

[1] Uninterruptable Power Supply
[2] Dynamic Voltage Restore
[3] Point of Common Coupling

1 - 2 - تحقیق انجام شده در این پایان نامه

در این پایان نامه سعی بر این است که با استفاده از روش حداقل مربعات بازگشتی با ضریب فراموشی متغیر روش‌های کنترلی متداول pq و dq بهبود داده شده و روشی جدید برای کنترل فیلترهای اکتیو طراحی شود. روش حداقل مربعات بازگشتی، روشی داده-پایه برای تخمین پارامترهای سیگنال بوده و شبیه روش فیلتر کالمن می‌باشد ولی نسبت به آن دارای حجم محاسبات کم بوده و مناسب کاربردهای روی‌خط است. این روش در شرایط حالت پایدار سیگنال دارای تخمین قابل قبولی است ولی در شرایط گذرای سیگنال، تخمین آن دارای تأخیر زیاد می‌باشد. در این پایان نامه برای برطرف کردن این مشکل از ضریب فراموشی متغیر در ساختار RLS استفاده می‌شود. بنابراین تخمینگر حاصل، VFFRLS[1] نامگذاری شده و برای تخمین پارامتر در شرایط پایدار و گذرای سیگنال مناسب است.

از تخمینگر VFFRLS برای طراحی فیلتر پایین گذر استفاده شده است. در ساختار روش‌های pq و dq از فیلترهای پایین گذر معمولی برای جداسازی مؤلفه‌ی DC توان اکتیو و جریان محور d استفاده می‌شود. فیلترهای پایین گذر معمولی از مرتبه‌ی دو بوده و دارای ویژگی‌هایی همچون پاسخ زمانی سریع در حضور هارمونیک‌های مرتبه‌ی بالا (بالاتر از هارمونیک پنجم) و پاسخ زمانی کُند در صورت وجود هارمونیک‌های مرتبه‌ی پایین می‌باشد. همچنین نوسانات خروجی این فیلترها با افزایش دامنه‌ی هارمونیک‌ها افزایش می‌یابد. بنابراین فیلتر پایین گذر طراحی شده بر مبنای روش VFFRLS با فیلتر پایین گذر معمولی روش‌های کنترلی pq و dq جایگزین شده و باعث بهبود عملکرد آنها در شرایط مختلف می‌شود.

یکی دیگر از مشکلات روش pq، عدم کارایی این روش در صورت وجود هارمونیک در نقطه‌ی اتصال فیلتر اکتیو به شبکه است. برای رفع این مشکل از ترکیب تبدیل موجک، SOGI[2] و تخمینگر VFFRLS برای بدست آوردن مؤلفه‌ی اصلی ولتاژ استفاده شده است. در این روش تخمینگر VFFRLS با استفاده از فاز بدست آمده توسط تبدیل موجک و SOGI، دامنه‌ی مؤلفه‌ی اصلی ولتاژ را تخمین می‌زند. برای بررسی درستی روش پیشنهادی، نتایج شبیه‌سازی با نرم افزار MATLAB ارائه شد. این نتایج نشان داد که روش پیشنهادی برای بهبود عملکرد روش pq دارای پاسخ زمانی کمتر از نیم سیکل بوده و در صورت هارمونیکی شدن ولتاژ نقطه‌ی اتصال فیلتر به شبکه، می‌تواند هارمونیک‌ها و توان راکتیو بار را جبران کند.

همچنین الگوریتم کنترلی جدیدی بر مبنای روش VFFRLS ارائه شده است. در این روش از جریان بار نمونه‌گیری کرده و با استفاده از دو تخمینگر VFFRLS سیگنال‌های جبران‌سازی تولید می‌شود. تخمینگر اول، مؤلفه‌های اصلی جریان بار را تخمین می‌زند. سپس برای کاهش حجم محاسبات، توالی صفر جریان بار

[1] Variable Forgetting Factor of Recursive Least Square(VFFRLS)
[2] Second Order Generalized Integrator (SOGI)

از مؤلفه‌های اصلی جریان بار کم می‌شود. در نهایت تخمینگر ثانویه، توالی مثبت اکتیو و راکتیو مؤلفه‌ی اصلی جریان بار را تخمین می‌زند.

در صورتی که از توالی مثبت اکتیو مؤلفه‌ی اصلی جریان بار برای استخراج سیگنال‌های جبران‌سازی استفاده شود، الگوریتم پیشنهادی می‌تواند علاوه بر جبران‌سازی هارمونیک‌های بار و حذف عدم تعادل بار، توان راکتیو بار را نیز تأمین کند. در این صورت منبع فقط توان اکتیو ثابت تأمین می‌کند و بار نامتعادل از دیده منبع بصورت مقاومتی می‌باشد. ولی اگر از مجموع توالی مثبت اکتیو و راکتیو مؤلفه‌ی اصلی جریان بار برای بدست آوردن سیگنال‌های جبران‌سازی بهره گرفته شود، روش پیشنهادی می‌تواند هارمونیک‌های بار را جبران‌سازی کرده و نامتعادلی بار را حذف کند. در این حالت توان راکتیو بار توسط منبع تأمین می‌شود ولی امکان تنظیم ولتاژ وجود دارد.

روش پیشنهادی قابلیت جبران‌سازی در شرایط ولتاژ غیر سینوسی را نیز دارد. در این فصل نتایج شبیه‌سازی روش پیشنهادی در شرایط مختلف بار و ولتاژ با استفاده از نرم افزار MATLAB ارائه شده است. این نتایج نشان دهنده‌ی صحت روش پیشنهادی بوده و دارای ویژگی‌هایی همچون پاسخ زمانی زیر نیم سیکل در شرایط تغییر بار و همچنین دقت بالای جبران‌سازی می‌باشد.

استفاده از روش ضریب فراموشی متغیر بصورتی که خطای تخمین روش RLS را تشخیص داده و بصورت لحظه‌ای مقدار این ضریب را کاهش دهد تا ماتریس کوواریانس تخمین بازنشانی شود، عامل اصلی در افزایش سرعت روش RLS می‌باشد. روش پیشنهادی برای ضریب فراموشی متغیر در این تحقیق، این ضریب را به مدت چند دهم میلی‌ثانیه کاهش می‌دهد که نسبت به دیگر روش‌های ارائه شده برای این هدف، به مراتب بهتر است.

1 - 3 - خلاصه‌ی فصول پایان نامه

مطالب این پایان نامه در شش فصل جمع‌آوری و تنظیم شده است.

فصل اول (فصل حاضر) شامل مقدمه‌ای بر استفاده از روش‌های تخمین بازگشتی است. در این فصل مشکلات و کاربردهای روش مذکور ذکر شده است. همچنین این فصل شامل نوآوری و تحقیق انجام شده در این پایان نامه و خلاصه‌ی فصول می‌باشد.

در فصل دوم مروری بر روش‌های کنترلی فیلترهای اکتیو موازی شده است. مقالات ارائه شده در این زمینه مورد بررسی قرار گرفته و عملکرد هر یک از روش‌های کنترلی در شرایط مختلف جریان و ولتاژ مورد ارزیابی قرار گرفته است.

در فصل سوم مباحث شناسایی سیستم‌ها مطرح شده است. در این فصل روش حداقل مربعات بازگشتی بعنوان یکی از پرکاربردترین روش تخمین پارامترهای سیگنال معرفی و به تفصیل توضیح داده شده است. در

ادامه‌ی این فصل مشکلات روش حداقل مربعات بازگشتی مورد مطالعه قرار گرفته و در نهایت با ارائه‌ی متغیر و روشی جدید، معادلات مربوط به روش حداقل مربعات بازگشتی اصلاح شده و روش VFFRLS معرفی می‌شود.

در فصل چهارم با استفاده از روش VFFRLS، فیلتر و تخمینگر VFFRLS طراحی می‌شود. با استفاده از این فیلتر و تخمینگر، روش pq و dq طوری اصلاح می‌شوند که توانایی جبران‌سازی در حضور هارمونیک‌های جریان مرتبه‌ی پایین و ولتاژ غیر سینوسی را داشته باشند. برای این منظور فیلتر VFFRLS جایگزین فیلتر پایین گذر معمولی شده و تخمینگر VFFRLS نیز برای تخمین دامنه‌ی مؤلفه‌ی اصلی ولتاژ بکار گرفته می‌شود. برای بررسی درستی روش پیشنهادی، نتایج شبیه‌سازی توسط نرم افزار MATLAB ارائه شده است.

در فصل پنجم الگوریتم جدیدی برای جبران‌سازی هارمونیک‌های بار، حذف عدم تعادل و جبران توان راکتیو بار پیشنهاد شده است. الگوریتم پیشنهادی توانایی تنظیم ولتاژ بار را نیز دارد. در این الگوریتم از دو تخمینگر VFFRLS برای تخمین مؤلفه‌ی اصلی جریان بار و توالی مثبت اکتیو و راکتیو مؤلفه‌ی اصلی جریان بار بهره گرفته می‌شود. از ویژگی‌های روش پیشنهادی می‌توان به پاسخ زمانی زیر نیم سیکل و توانایی جبران‌سازی بار در شرایط ولتاژ غیر سینوسی اشاره کرد. نتایج شبیه‌سازی روش پیشنهادی با استفاده از نرم افزار MATLAB ارائه شده است.

در فصل ششم موارد انجام شده در این پایان نامه بصورت خلاصه جمع‌بندی شده و پیشنهاداتی نیز برای ادامه‌ی کار ارائه شده است.