

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده‌ی مهندسی برق

پایان‌نامه کارشناسی ارشد
مهندسی برق-گرایش کنترل

عنوان

تخمین بهینه هارمونیک سیستم قدرت با استفاده از روش ترکیبی الگوریتم بهینه
سازی و روش تطبیقی

نام دانشجو

احمد محمدزاده

استاد راهنما:

دکتر ساداتی

استاد مشاور:

دکتر رضایی

۱۳۹۴

تقدیم به:

آفریدگارم، اولین معلم هستم، دلیل زندگانیم و مقصد نهاییم

پدر و مادرم:

بزرگانی که سرمایه وجودشان را در طبق اخلاص نهادند تا فرزندانشان به جایگاه رفیع دین و دانش برسند.

و تقدیم به :

همسرم کوهی استوار، با وفایی مقتدر و مهربانی بی انتها

تشکر و قدردانی:

با حمد و سپاس از خداوند متعال که به کرمش این پایان نامه به اتمام رسیده، بر خود واجب می دانم از استاد راهنمای محترم، جناب آقای دکتر سید جلیل ساداتی که چراغ راه این تحقیق بوده اند و جناب آقای دکتر بهروز رضایی استاد مشاور این پژوهش، صمیمانه سپاس گذاری نمایم. از جناب آقای دکتر رنجبر و جناب آقای دکتر خسروی که زحمت داوری و ارزیابی این رساله را تقبل نموده اند و نظرات سازنده ایشان سبب ارتقاء کیفیت رساله گشته است، کمال تشکر را دارم.

احمد محمدزاده

شهریور ۱۳۹۴

چکیده:

در این پایان نامه روشی جدید برای تخمین همزمان مؤلفه های دامنه و فاز هارمونیک سیگنال سیستم های قدرت در حضور نویز ارائه شده است. از بحث های مهم در کیفیت توان ، بحث هارمونیک ها می باشد. جهت اطمینان از وجود سیگنال سینوسی خالص یا به عبارتی کیفیت توان بهتر، مسئله ای که مد نظر می باشد این است که سیستم توان بدون اتلاف قابل توجه در عملکرد خود فعالیت نماید، در حالیکه ولتاژ در خطوط انتقال عملاً دارای درصدی اغتشاش است، اما هرچه به بار نزدیکتر می شویم ، اغتشاش افزایش می یابد. امروزه با افزایش روز افزون استفاده از بارهای غیر خطی نظیر ، رایانه ها ، لامپ های کم مصرف ، مبدل های الکترونیک قدرت و کوره های القایی و . . . باعث شده شکل موج از حالت سینوسی خالص خارج شده و به شکل موج هایی همراه با نویز تبدیل شود. تعداد این اغتشاشهای تصادفی، خیلی کم است و اکثر اغتشاشات به صورت تناوبی بوده که اصطلاحاً به آن هارمونیک گفته می شود. از اثرات منفی هارمونیک ، تداخل سیگنال ها ، اضافه ولتاژ های لحظه ای ، اثر اشباع ترانسفورماتورها و افزایش دمای آنها و همچنین خطای عملکرد بریکر می باشد. در ضمن بحث تشخیص هارمونیک جهت طراحی فیلتر یا به روز رسانی فیلتر های موجود یا برای تعیین منابع هارمونیک زا، باید مؤلفه های هارمونیکی سیگنال اندازه گیری شده مشخص شود. بنابراین روشی مورد نیاز است که دارای اندازه گیری سریع و تخمین سیگنال های هارمونیک را داشته باشد. در این پایان نامه ابتدا با استفاده از تعداد داده های اندک، توسط روش Off line یعنی به کمک الگوریتم بهینه سازی مقدار پارامترهای اولیه را برای الگوریتم های تطبیقی بدست آورده و پس از آن الگوریتم های تطبیقی بصورت on line به کار گرفته می شود. در روش ترکیبی به کار رفته در این پایان نامه دامنه و فاز به صورت همزمان تخمین زده می شود. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که روش پیشنهادی دارای سرعت همگرایی سریع تر نسبت به مقدار واقعی و عملکرد بهتر و دقت بالاتر در سیستم آغشته به نویز نسبت به روش مورد مقایسه می باشد که کارایی این روش را نشان می دهد.

واژه های کلیدی: الگوریتم BFO ، تخمین هارمونیک ، الگوریتم های تطبیقی ، مؤلفه های هارمونیک.

فهرست مطالب

فصل ۱	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۱-۲ پژوهش های انجام شده	۴
۱-۳ انگیزه واهداف پایان نامه	۸
فصل ۲ عوامل ایجاد هارمونیک وتأثیر آن بر ادوات	۹
۲-۱ تاریخچه تخمین هارمونیک	۱۰
۲-۲ اثرات هارمونیک بر تجهیزات	۱۳
۲-۲-۱ اثر هارمونیک بر ترانسفورماتورها	۱۳
۲-۲-۲ اثر هارمونیک بر کابلهای قدرت	۱۳
۲-۲-۳ اثر هارمونیک بر خازن	۱۳
۲-۲-۴ اثر هارمونیک بر روی ابزار الکترونیکی	۱۴
۲-۲-۵ اثر هارمونیک بر روی کنتور	۱۵
۲-۲-۶ اثر هارمونیک بر ضریب قدرت	۱۵
فصل ۳ الگوریتم جستجوی باکتریایی (BFO)	۱۷
۳-۱ مفهوم اصلی جنبش باکتریایی	۱۸
۳-۲ بهینه سازی بر اساس الگوریتم جستجوگری باکتریایی	۲۱
۳-۳ مراحل الگوریتم BFO	۲۲

۲۶	.....	۴-۳ توصیف الگوریتم SGFF
۲۷	.....	۵-۳ توصیف الگوریتم MISGFF
۲۹	.....	۵-۳-۱ خواص الگوریتم MISGFF
۳۰	.....	۵-۳ توصیف الگوریتم MILS
۳۱	.....	۶-۳-۱ تشریح الگوریتم MILS
۳۲	.....	۵-۳ مراحل الگوریتم MILS
۳۴	.....	۷-۳ الگوریتم حداقل مربعات بازگشتی با ضریب فراموشی RLSFF
۳۴	.....	۱-۷-۳ تشریح الگوریتم RLSFF
۳۶	.....	۸-۳ بیان مسئله تخمین هارمونیک
۳۸	.....	۹-۳ مزایای ترکیب روشهای الگوریتم های بازگشتی و bfo برای تخمین هارمونیک
۳۸	.....	۱۰-۳ بیان مسئله تخمین هارمونیک سیستم قدرت
۴۰	.....	۱۱-۳ ساختار الگوریتم ترکیبی پیشنهادی جهت تخمین هارمونیک
۴۱	.....	فصل چهارم: نتایج و شبیه سازی
۴۳	.....	۱-۴ شبیه سازی
۴۶	.....	۱-۴-۱ نتایج و شبیه سازی روش BFO-SGFF
۵۵	.....	۱-۴-۲ نتایج و شبیه سازی روش BFO-MISGFF
۶۳	.....	۱-۴-۳ نتایج و شبیه سازی روش BFO-MILS
۶۷	.....	۱-۴-۴ تست بر روی سیگنال صنعتی

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۷۱

۱-۵ نتیجه گیری ۷۲

۲-۵ پیشنهاد ۷۳

مراجع ۷۴

فهرست شکل ها

- شکل ۱-۲ سیگنال اصلی همراه با هارمونیک های مرتبه بالا ۱۱
- شکل ۱-۳ ساختار باکتریایی ۱۸
- شکل ۲-۳ حرکت رو به جلو باکتری ۱۹
- شکل ۳-۳ حرکت باکتری به صورت جنبش وشنا ۲۰
- شکل ۴-۳ فلوجارت الگوریتم BFO ۲۵
- شکل ۵-۳ فلوجارت الگوریتم MILS ۳۳
- شکل ۶-۳ فلوجارت الگوریتم RLSFF ۳۵
- شکل ۷-۳ تخمین سیستم قدرت به عنوان مسئله بهینه سازی ۳۷
- شکل ۸-۳ مسئله تخمین الگوریتم BFO به همراه الگوریتم های بازگشتی ۳۷
- شکل ۹-۳ فلوجارت الگوریتم BFO به همراه الگوریتم های بازگشتی ۴۱
- شکل ۱-۴: تخمین سیگنال مرجع ۴۶
- شکل ۲-۴: تخمین دامنه هارمونیک اول ۴۷
- شکل ۳-۴: تخمین دامنه هارمونیک سوم ۴۷
- شکل ۴-۴: تخمین دامنه هارمونیک پنجم ۴۸
- شکل ۵-۴: تخمین فاز هارمونیک اول ۴۸
- شکل ۶-۴: تخمین فاز هارمونیک سوم ۴۹
- شکل ۷-۴: تخمین فاز هارمونیک پنجم ۴۹

- شکل ۴-۸: MSE دامنه هارمونیک ۵۲
- شکل ۴-۹: MSE فاز هارمونیک ۵۲
- شکل ۴-۱۰: MAE دامنه هارمونیک ۵۳
- شکل ۴-۱۱: MAE فاز هارمونیک ۵۳
- شکل ۴-۱۲: %error دامنه هارمونیک ۵۴
- شکل ۴-۱۳: %error فاز هارمونیک ۵۴
- شکل ۴-۱۴: تخمین سیگنال مرجع ۵۵
- شکل ۴-۱۵: تخمین دامنه هارمونیک اول ۵۵
- شکل ۴-۱۶: تخمین دامنه هارمونیک سوم ۵۶
- شکل ۴-۱۷: تخمین دامنه هارمونیک پنجم ۵۶
- شکل ۴-۱۸: تخمین فاز هارمونیک اول ۵۷
- شکل ۴-۱۹: تخمین فاز هارمونیک سوم ۵۷
- شکل ۴-۲۰: تخمین فاز هارمونیک پنجم ۵۸
- شکل ۴-۲۱: MSE دامنه هارمونیک ۶۰
- شکل ۴-۲۲: MSE فاز هارمونیک ۶۰
- شکل ۴-۲۳: MAE دامنه هارمونیک ۶۱
- شکل ۴-۲۴: MAE فاز هارمونیک ۶۱
- شکل ۴-۲۵: %error دامنه هارمونیک ۶۲

- شکل ۴-۲۶: فاز هارمونیک ۶۲
- شکل ۴-۲۷: تخمین سیگنال مرجع ۶۳
- شکل ۴-۲۸: تخمین دامنه هارمونیک اول ۶۳
- شکل ۴-۲۹: تخمین دامنه هارمونیک سوم ۶۴
- شکل ۴-۳۰: تخمین دامنه هارمونیک پنجم ۶۴
- شکل ۴-۳۱: تخمین فاز هارمونیک اول ۶۵
- شکل ۴-۳۲: تخمین فاز هارمونیک سوم ۶۵
- شکل ۴-۳۳: تخمین فاز هارمونیک پنجم ۶۶
- شکل ۴-۳۴: عکس از تجزیه و تحلیل PQ در پست 0.4KV / 20 کیلو ولت از شرکت شرکت مسکران سمنان ۶۸
- شکل ۴-۳۵: سیگنال واقعی شبکه قدرت ۶۸
- شکل ۴-۳۶: فاز انتخابی سیگنال شبکه قدرت ۶۹

فهرست جداول

- جدول ۱-۳: مقایسه الگوریتم های SG, MISG ۳۰
- جدول ۲-۳: مقایسه الگوریتم های RLSFF, MILS ۳۶
- جدول ۱-۴: مقایسه MSE الگوریتم های BFO-SGFF با RLSFF ۵۱
- جدول ۲-۴: مقایسه MAE الگوریتم های BFO-SGFF با RLSFF ۵۱
- جدول ۳-۴: مقایسه %error الگوریتم های BFO-SGFF با RLSFF ۵۱
- جدول ۴-۴: مقایسه MSE الگوریتم های BFO-MISGFF با RLSFF ۵۸
- جدول ۵-۴: مقایسه MAE الگوریتم های BFO-MISGFF با RLSFF ۵۹
- جدول ۶-۴: مقایسه %Error الگوریتم های BFO-MISGFF با RLSFF ۵۹
- جدول ۷-۴: مقایسه MSE الگوریتم های BFO-MILS با RLSFF ۶۶
- جدول ۸-۴: مقایسه MAE الگوریتم های BFO-MILS با RLSFF ۶۷
- جدول ۹-۴: مقایسه %Error الگوریتم های BFO-MILS با RLSFF ۶۷
- جدول ۱۰-۴: مقایسه mse برای روشهای پیشنهادی ۷۰
- جدول ۱۱-۴: مقایسه mae برای روشهای پیشنهادی ۷۰
- جدول ۱۲-۴: مقایسه درصدخطا برای روشهای پیشنهادی ۷۰
- جدول ۱۳-۴: مقایسه انحراف معیار برای روشهای پیشنهادی ۷۰

فصل اول

مقدمه ای بر هارمونیک سیستم های قدرت

۱-۱ مقدمه

برای دستیابی به کیفیت توان توان در سیستم قدرت شکل موج ولتاژ ویا جریان باید بصورت سینوسی خالص باشد در این صورت شبکه با تلفات کم خواهد بود. اما نوسانات شدید ولتاژ ویا افت ولتاژ شبکه تغییرات فرکانس و تغییرات شکل موج به نام هارمونیک رخ خواهد داد. از این رو جهت بهبود کیفیت توان نیاز به تخمین سریع و دقیق سیگنال قدرت که آغشته به نویز و هارمونیک های مرتبه بالاست ضروری به نظر می رسد. با توجه به عدم تعادل بین انرژی تولیدی و تقاضای مصرف اندازه فرکانس اصلی سیستم قدرت دچار تغییر می شود. بنابراین برای کنترل و حفاظت سیستم قدرت، رله های سیستم قدرت، دستگاههای مانیتورینگ کیفیت توان^۱، کنترل و بهره برداری صحیح از تجهیزات بکه برای کنترل فرکانس بسیار حائز اهمیت می باشد. علاوه بر این، بسیاری از تجهیزات الکترونیک قدرت و کوره های القایی و کامپیوترها، لامپ های کم مصرف و غیره سبب تولید هارمونیک و اغتشاش در سیستم قدرت می شوند. پس استفاده از یک روش مفید جهت اندازه گیری فرکانس در حضور نویز و هارمونیک های مرتبه بالا^۲ ضروری به نظر می رسد. روش های مختلفی جهت این اندازه گیری در گذشته مورد استفاده قرار گرفته است که از آن جمله می توان به روش تبدیل فوریه گسسته DFT^۳ و حداقل مربعات LS^۴ ویا فیلتر کالمن^۵ جهت دستیابی به تخمین دقیق هارمونیک ها در سیستم قدرت اشاره کرد. استفاده گسترده از دستگاههای الکترونیکی قدرت مانند دیودها، یکسوسازها، تجهیزات روشنایی و برق اضطراری UPS^۶ و غیره، هارمونیک های مرتبه بالا را به شبکه تحمیل می کند. اما تجهیزاتی مانند کامپیوترها و UPS ها به هارمونیک ها بسیار حساس می باشند. جریان و ولتاژ هارمونیک سبب افزایش تلفات طبق فرمول RI^2 ، افزایش ولتاژهای گذرا، اشباع ترانسفورماتور ها، کاهش طول عمر تجهیزات حساس الکترونیکی می شود. اثرات سوء جانبی هارمونیک در شبکه ضرورت

1 Power quality monitoring

2 High order harmonics

3 Discrete fourier transform

4 Least squares

5 Kalman filter

6 Uninterruptible power supply

مطالعات هارمونیک شامل بخشهای مدلسازی، اندازه گیری، تخمین مؤلفه های دامنه و فاز هارمونیک می باشد.

در این پایان نامه استراتژی جدیدی برای تخمین همزمان مؤلفه های فاز و دامنه با استفاده از روش الگوریتم های هوشمند^۱ و سپس بکارگیری الگوریتم های بازگشتی^۲ گزینه مناسبی جهت تخمین مؤلفه های هارمونیک سیگنال سیستم قدرت می باشد.

سازمان دهی پایان نامه:

فصل اول: در این بخش تاریخچه ای از کارهای انجام شده در زمینه تخمین هارمونیک ارائه شده است و همچنین درباره انگیزه و اهداف این پایان نامه می پردازد.

فصل دوم: در مورد علت بوجود آمدن هارمونیک در شبکه قدرت و تأثیر هارمونیک بر ادوات سیستم قدرت بحث خواهد شد.

فصل سوم: در مورد الگوریتم جستجوی باکتریایی BFO^۳ و الگوریتم های بازگشتی و بیان مسئله هارمونیک بحث می شود.

فصل چهارم: درباره نتایج و شبیه سازی و آزمایش بر روی یک سیگنال صنعتی توضیح داده شده است.

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات .

¹ Intelligent Algorithms

² Recursive Algorithms

³ Bacterial Search Algorithm

۱-۲ پژوهش های انجام شده

تخمین زاویه فاز و اندازه گیری ولتاژ باس و همچنین هارمونیک های مرتبه بالا در سیستم آغشته به نویز توسط روش فیلتر کالمن در مرجع [۱] توضیح داده شده است. این نتایج در مطالعات اعوجاج هارمونیک مفید می باشد. کندی و همکاران در مرجع [۲] روش فیلتر کالمن را برای تجزیه و تحلیل هارمونیک در سیستم قدرت بکار گرفتند. در این روش از سه سیگنال آزمایشی برای تجزیه و تحلیل سیستم قدرت دارای هارمونیک های مرتبه ۵ و ۷ و ۱۱ و ۱۳ و SNR^۱ و ۴۰۰ با نویز گوسی ۰,۰۱ در شرایط عادی و تغییر ناگهانی فرکانس استفاده شده است. مندل و همکاران [۳] فیلتر کالمن ENKF^۲ را برای تخمین هارمونیک سیستم های قدرت با تعداد متغیرهای زیاد مورد بررسی قرار داده اند. در مراجع [۴-۸] از روش فیلتر کالمن برای تخمین هارمونیک استفاده کرده اند. در این روش فیلتر کالمن برای تخمین مولفه های فاز و دامنه هارمونیک های سیگنال ثابت می باشد. از نقاط ضعف این روش خطای ردیابی، در تغییرات فرکانس می باشد. برای مثال این روش استفاده با استفاده از لایه های شبکه عصبی توانایی تخمین مولفه های هارمونیک سیگنال ثابت را دارد اما با تغییرات فرکانس فرمان ردیابی بسیار زیاد شده و خطای تخمین بزرگی در پی دارد. در [۹] روش حداقل مربعات LS را برای محاسبه تخمین هارمونیک ارائه داده است و سپس این روش با روش های FFT^۳ و فیلتر کالمن مقایسه نموده اند. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که روش تخمین مولفه های هارمونیک با استفاده از روش LS دارای مزایای زیادی نسبت به روش های دیگر به دلیل محاسبات کمتری باشد.

فیالت و همکاران در [۱۰] از سه روش مانند تبدیل فوریه گسسته DFT و حداقل مقادیر مطلق LAV^۴ و روش حداقل مربعات LS برای تخمین هارمونیک استفاده نموده است که این سه روش، روش LAV نتایج بهتری برای تخمین هارمونیک در پی دارد. لیو و همکاران در [۱۱] یک روش برای ردیابی آنلاین

¹ Signal To Noise Ratio

² Ensemble Kalman Filter

³ Fast fourier transform

List Absolute Value⁴

هارمونیک سیستم قدرت با روش تبدیل موجک WT^۱ با استفاده از فیلتر کالمن ارائه کرده اند. آنها برای تخمین دامنه و فاز هارمونیک، از روش حل توابع مقیاس و تبدیل ضریب موجک استفاده کرده اند که نتایج بهتری در پی داشت. پاردهان و همکاران در [۱۲] از روش LMS^۲ برای تخمین هارمونیک سیستم قدرت ارائه کرده اند. از نقاط ضعف این الگوریتم ضعف در سرعت همگرایی آن می باشد. در مرجع [۱۳] الگوریتم LMS با ضریب گاما برای سیگنال متغیر با زمان ارائه شده است که کارایی این روش بهتر از الگوریتم LMS معمولی بوده و سرعت همگرایی آن بالاتر می باشد. در مرجع [۱۹-۱۴] از روش های LMS جهت پردازش سیگنال و تخمین استفاده شده است. تجزیه و تحلیل ها نشان دهنده این است که روش MSE دارای نتایج ضعیف تر نسبت به روش LMS برای SNR بزرگ می باشد. روش پیش بینی خطی در مرجع [۲۰] برای تخمین دقیق هارمونیک سیگنال سینوسی قدرت ارائه شده است. در این روش فرکانس اصلی ابتدا توسط الگوریتم LS تخمین زده می شود و تخمین نهایی با بهینه سازی ماتریس وزن الگوریتم LS بدست می آید.

در مرجع [۲۱] الگوریتم با مشتق گیری از فوریه و تکنیک گذر از صفر مولفه های اصلی سیگنال سینوسی یا کسینوسی که توسط هارمونیک مرتبه بالا مخدوش شده است ارائه گردید. الگوریتم فوریه و گذر از صفر حاکی از دقت اندازه گیری این روش می باشد. در مرجع [۲۲] کریمی-ایروانی با پیاده سازی روش حلقه فاز قفل شده برای تخمین فرکانس سیستم قدرت استفاده کرده اند. از ویژگی های این روش ساختار ساده استحکام و خطای ماندگار کم می توان نام برد. روش [۲۳] براساس فیلتر دیجیتال متعامد می باشد. این روش تخمین دقیق به اندازه ۰,۰۱-۰,۰۲ نزدیک فرکانس نامی و حدود 20ms برای فاز جا را فرکانس نامی دارد. این تکنیک برای سیستم با سیگنال متغیر با زمان بوده و نیاز به محاسبات کمتری داشته و همچنین برای رله های میکروپروسسوری مناسب می باشد.

¹ Wavelet

² List Mean Square

روش مبتنی بر فازی LMS- در [۲۴] برای تخمین هارمونیک سیستم قدرت مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش، تنظیم اندازه گام، توانایی ردیابی وهمگرایی مرجع این روش بیشتر کرده است. در [۲۵] مسئله تخمین هارمونیک به دو قسمت تقسیم شده است ابتدا با استفاده از روش LS دامنه تخمین زده می شود و سپس توسط روش ADALINE^۱ مولفه فاز هارمونیک تخمین زده می شود از مزایای این روش همگرایی سریع وهمچنین زمان کم پردازش و محاسبات است. در روش [۲۶] با استفاده از روش ترکیبی LS و شبکه عصبی^۲ به تخمین هارمونیک سیستم قدرت در شرایط مختلف پرداخته می شود در صورتی که انحراف فرکانس در سیگنال سیستم وجود داشته باشد، روش FFT متداول مبتنی بر پنجره های اندازه گیری ثابت توانایی نظارت و کارایی لازم را ندارد. با این حال این روش به صورت همزمان قدرت تخمین مولفه های فاز و دامنه را دارا می باشد. در مرجع [۲۷] یک روش جدید برای تخمین هارمونیک های مرتبه بالا سیستم قدرت ارائه شده است این روش شامل سه مرحله می باشد، در مرحله اول ورود سیگنال ورودی به فیلتر تطبیقی می باشد دوم تخمین فرکانس و سوم تخمین دامنه هارمونیک می باشد. با استفاده از تنظیمات تجربی شبیه سازی ها و داده ها بدست آمده است. این تخمین دقیق بوده و محدوده خطا ۰,۰۰۲ هرتز و خطای تخمین دامنه ۰,۰۳٪ برای SNR=60/8 در حدود (25ms) است. در مرجع [۲۸] روش مبتنی بر انتشار خطای بازگشتی برای شبکه های عصبی برای تخمین هارمونیک ارائه شده است اثر بخشی روش ارائه شده به مشاهده از طریق یک سیستم اندازه گیری به کمک کامپیوتر و عملکرد صحیح آن نسبت به روش های متداول مثل مدل اتورگرسیو^۳ AR، فیلتر کالمن و RLS^۴ می باشد. در مرجع [۲۹] به منظور تخمین همزمان دامنه و فاز هارمونیک های مرتبه بالا (هارمونیک) از روش تعیین دترمینال پارامترهای مدل در حضور نویز استفاده شده است. کارایی این روش با روش DFT مقایسه شده است که دارای پاسخ سریع تر و دقت بالاتر در مقایسه با روش DFT

¹ Adaptive Linear Neuron

² Artificial Neural Network

³ Auto Regressive

⁴ Recursive Least Squares

است. تعدادی از الگوریتم های ترکیبی مانند الگوریتم ژنتیک GA¹ و GA-LS و PSO-LS² و ANN در مرجع [۳۰] برای تخمین هارمونیک آورده شده است. تخمین دامنه و فاز انجام شده با روش های ذکر شده نشان می دهد که تخمین با استفاده از روش ANN دارای دقت بیشتری می باشد. سریف و همکاران در مرجع [۳۱] از روش شبکه عصبی تطبیقی بر اساس الگوریتم ژنتیک GA برای تخمین مولفه های هارمونیک سیستم قدرت استفاده کرده است. در این روش در هر تکرار از Adaline با استفاده از الگوریتم GA برای انتخاب مقادیر بهینه سازی شده استفاده می کند. نتایج با روش های استفاده از GA, KF, DFT, Adaline مقایسه شده است. نتایج حاکی از آن است که روش GAP دارای سرعت بیشتر والگوریتم GA دارای دقت بیشتر است. در مرجع [۳۲] برای تخمین هارمونیک ابتدا از روش الگوریتم BFO به همراه روش فازی استفاده می کند. درمراجع [۳۳] در مورد تخمین هارمونیک سیستم قدرت با روش شبکه عصبی و مزایای آن توضیح می دهد. در مراجع [۳۴] از روش ترکیبی BFO-ADLINE برای تخمین همزمان دامنه و فاز سیگنال نامتغیر با زمان استفاده شده است. در مرجع [۳۵] برای تخمین هارمونیک سیستم قدرت از روش الگوریتم غذایی باکتریایی BFO به همراه الگوریتم RLS برای تخمین همزمان فاز و دامنه استفاده کرده است از مزایای این روش سرعت همگرایی و دقت بالای این روش می باشد. در مراجع [۳۶-۳۹] در مورد روش تخمین به روش مقاوم بحث شده است. در مرجع [۴۰] در باره الگوریتم BFO به صورت کامل بحث شده است. در مرجع [۴۱-۴۲] در مورد روش اجتماع ذرات توضیح داده و در مرجع [۴۳] از تکنیک اجتماع ذرات برای تخمین هارمونیک استفاده کرده است.

در مرجع [۴۴] در باره اثرات هارمونیک بحث شده است.

¹ Genetic Algorithm

² Particle Swarm Optimization

۱-۳ انگیزه و اهداف پایان نامه

سیستم های قدرت با نویز، بارهای غیرخطی و دستگاه های الکترونیکی قدرتی همراه می باشد که سبب انحراف فرکانس از مقادیر استاندارد و افزایش مرتبه هارمونیک در شبکه سیستم قدرت می شود که نتایج نامطلوبی را به همراه دارد. کار تخمین دامنه و فاز هارمونیک ها در حضور نویز کار دشواری می باشد. با استفاده از چند روش الگوریتم های بازگشتی با ضریب فراموشی برای تخمین دامنه و فاز سیگنال های متغیر با زمان که در این پایان نامه مورد استفاده قرار گرفته است دارای سرعت همگرایی بالا می باشد. برای دستیابی به جواب بهتر روش های کلاسیک (الگوریتم های بازگشتی) با تکنیک محاسباتی نرم (الگوریتم BFO) ترکیب شده است.

جهت تخمین هارمونیک های مرتبه بالا در سیگنال های متغیر با زمان استفاده از روش های بازگشتی RLSFF¹ هر چند حجم محاسبات کمی دارد اما دارای تخمین اولیه با خطا بالا می باشد.

- جهت آنالیز بهتر از چند روش مختلف الگوریتم های بازگشتی استفاده شده است.
- برای تخمین اولیه مناسب از تکنیک های محاسبات نرم (الگوریتم BFO) استفاده شده است.
- این الگوریتم دارای تخمین مناسب جهت سیگنال های متغیر با زمان می باشد.

¹ Recursive Least Squares Forgetting Factor

فصل دوم

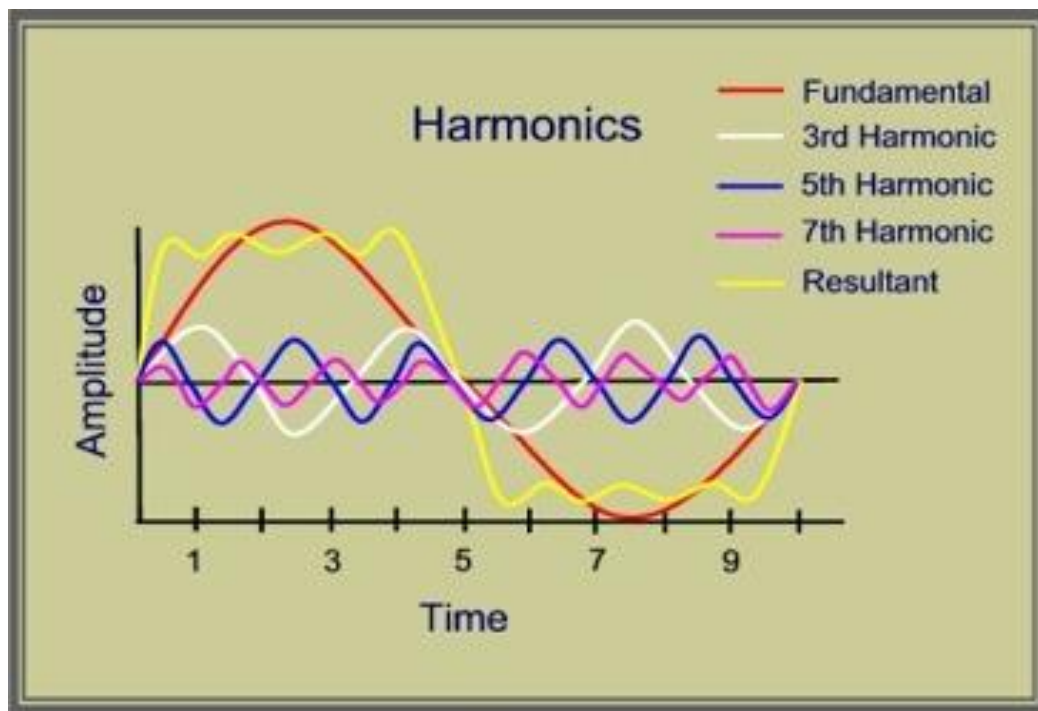
عوامل ایجاد هارمونیک و تأثیر آن بر ادوات

۲-۱ تاریخچه تخمین هارمونیک

زمانی که استفاده از مبدل های الکترونیک قدرت در اواخر دهه ۱۹۷۰ معمول گردید، توجه بسیاری از مهندسين در مورد توانایی پذیرش اعوجاج هارمونيکی توسط شبکه های قدرت را برانگیخت. پیش بینی های مایوس کننده ای از سرنوشت سیستمهای قدرت در صورت اجازه استفاده از این تجهیزات انجام گرفت. در حالی که بعضی از این نگرانی ها احتمالاً بیش از آنچه اهمیت داشت مورد توجه قرار گرفت، لیکن بررسی مفهوم کیفیت برق مدیون این افراد به دلیل پیگیری آنها روی این مسأله جدید می باشد . بررسی مسائل هارمونیک ها منجر به تحقیقاتی گردید که نتایج آن نقطه نظرات بسیاری را در خصوص کیفیت برق ایجاد نمود . به نظر برخی از محققین، اعوجاج هارمونيکی هنوز هم مهمترین مسأله کیفیت برق می باشد . مسائل هارمونيکی با بسیاری از قوانین معمولی طراحی سیستم های قدرت و عملکرد آن تحت فرکانس اصلی، مغایر است. بنابراین در این خصوص با پدیده های ناآشنایی روبه رو می شویم که نیاز به ابزارهای پیچیده و تجهیزات پیشرفته برای حل مشکلات و تحلیل آنها دارد . در اینجا باید تمایزی بین مسأله هارمونیک ها و حالت های گذرا^۱ قائل شد . در واقع به جای بسیاری از اعوجاج ها که گذرا هستند هارمونیک ها مورد مؤاخذة قرار می گیرند. اندازه گیری هر پدیده ممکن است شکل موج اعوجاجی به فرکانس های بسیار بالا را نشان دهد . گر چه اعوجاج ها گذرا نیز شامل مؤلفه های فرکانس بالا می باشد، اما حالت های گذرا و هارمونیک ها پدیده های متمایزی بوده و به صورت متفاوتی بررسی و تحلیل می گردند. حالت های گذرا، دارای فرکانس های بالایی می باشند و تنها لحظه ای پس از یک تغییر ناگهانی در سیستم قدرت به وجود می آیند . این فرکانسها لزوماً فرکانس هارمونيکی نیستند و به عنوان مثال می توانند فرکانس طبیعی سیستم در لحظه کلید زنی باشند که ارتباطی با فرکانس مؤلفه اصلی سیستم ندارد. طبق تعریف، هارمونیک ها در حالت ماندگار اتفاق می افتند و مضر ب صحیحی از فرکانس مؤلفه اصلی می باشند. موج های اعوجاج یافته که دارای هارمونیک هستند، به طور پیوسته وجود داشته و یا حداقل برای چندین ثانیه باقی می مانند . گذرا ها معمولاً در طی چندین سیکل از بین می روند . حالت گذرا در

¹ Transient State

ارتباط با یک تغییر در سیستم مانند کلیدزنی خازن ها رخ می دهد، در حالی که هارمونیک ها همراه با عملکرد پیوسته بار به وجود می آیند . حالتی که این تمایز را از بین می برد برق دار کردن ترانسفورماتور است . این پدیده گذرا به شمار می آید ولی موج اعوجاجی قابل ملاحظه ای را به مدت چند ثانیه تولید می کند که می تواند موجب ایجاد تشدید در سیستم شود، اعوجاج هارمونیکی یک پدیده جدید در سیستم های قدرت به شمار نمی رود . نگرانی ناشی از اعوجاج در بسیاری از ادوار در شبکه های جریان متناوب وجود داشته و دنبال شده است . اولین منابع هارمونی که شناخته شده، ترانسفورماتور ها بودند و اولین مشکل در سیستم های تلفن به وجود آمد . استفاده گروهی و به تعداد زیاد از لامپهای قوس الکتریک نیز به دلیل مؤلفه های هارمونیکی، خود توجهات بسیاری را برانگیخت ولی اهمیت هیچکدام از موارد فوق به اندازه اهمیت مسأله مبدل های الکترونیک قدرت در سالهای اخیر نبوده است . اعوجاج های هارمونیکی تولید شده در شبکه های قدرت منشأ داخلی دارند . برای مثال ژنراتورها، ترانسفورماتورها و تجهیزات تریستوری کنترل شده مانند پست های استفاده می شوند می توانند باعث ایجاد اعوجاج های هارمونیکی گردند .



شکل ۱-۲: سیگنال اصلی همراه با هارمونیک های مرتبه بالا

درجه ای که هارمونیکها می توانند قابل تحمل باشند، بوسیله حساسیت بار (یا منبع) نسبت به آنها تعیین می شود. کمترین حساسیت از آن وسیله ای است که به طور عمده تابع گرماست، در این مورد انرژی هارمونیک عموماً مورد استفاده است و از اینرو به طور کامل قابل تحمل است. حساس ترین وسایل آنهایی است که در طراحی و ساخت آن، ورودی اصلی کاملاً (نزدیک به) سینوسی فرض می شود. این ابزار غالباً در دسته وسایل ارتباطی یا ابزار پردازش اطلاعات قرار می گیرد. یک نوع بار که به طور نرمال بین این دو ابزار قرار می گیرد، بار موتوری است. اکثر بارهای موتوری در برابر هارمونیکها، نسبتاً پرتحمل هستند. حتی در مورد ابزار با کمترین حساسیت، هارمونیکهایی می تواند مضر باشد.

اثر هارمونیک بر روی موتورها و ژنراتورها یک اثر عمده هارمونیکهای ولتاژ و جریان در ماشینهای القایی و سنکرون گردان افزایش گرمای وابسته به تلفات اهمی و تلفات مس در فرکانسهای هارمونیکی است. به این ترتیب اجزاء هارمونیکی بر بازده ماشین تاثیر دارند و می توانند بر گشتاور ایجاد شده نیز موثر باشند. این تلفات به دلیل اثر پوستی¹ و جریانهای عادی بزرگ است. نشت میدان در استاتور و روتور سیم بندی شده بوسیله هارمونیکهای جریان بوجود می آید که باعث افزایش تلفات می شود. هارمونیکهای جریان در یک موتور باعث نشر نویز بیشتری نسبت به القا سینوسی می شود. همچنین هارمونیکها یک شار برآیند توزیع شده در فاصله هوایی را تولید می کنند که می توانند باعث ایجاد یا افزایش پدیده ای شود که اتصال دندانهای یا خزش در موتورهای القایی نامیده می شود جفت هارمونیکها نظیر هارمونیکهای پنجم و هفتم یک پتانسیلی برای خلق ارتعاشات مکانیکی در توربین ژنراتور یا در یک سیستم بار موتوری دارند، از اینرو دمای ماشین را افزایش خواهد داد. بحث دیگر جاری شدن هارمونیکهای جریان در رتور است. دو نگرانی عمده در رابطه با این هارمونیکهای روتور وجود دارد که عبارتند از:

- گرمای ناشی از رتور.
- افزایش یا کاهش تلفات

¹ Skine Effect

۲-۲ اثرات هارمونیک بر تجهیزات

۲-۲-۱ اثر هارمونیک بر ترانسفورماتورها

به جز حالتی که هارمونیکها در ترانسفورماتور ممکن است به افزایش سروصدا منجر شود، اثرات روی این اجزا در اثر بالا بردن پارازیت گرمایی آنهاست. اثر هارمونیکها روی ترانسفورماتورها دو چندان است هارمونیکهای جریان باعث افزایش تلفات مس و شار سرگردان می شود و هارمونیکهای ولتاژ باعث افزایش تلفات اهمی، تلفات هیستریزس تلفات جریانهای گردابی و فشار عایقی می شود. این اثرات به دلیل اینکه در ترانسفورماتورها معمولاً فیلتر استفاده نمی شود مهمتر است. اثر بزرگتر افزایش گرمای غیرقابل قبول ترانسفورماتور است به همین دلیل بدنه ترانسفورماتور را پره پره می کنند. یک اثر مهم مخصوصاً مربوط به توان ترانسفورماتورها گردشی جریانی سه برابر جریان ترتیبی صفر در سیم پیچ با اتصال مثلث است این جریانهای گردشی باعث می شود که مقدار جریانی که در طراحی سیم پیچ باید در نظر گرفته شود کمتر از میزان واقعی در نظر گرفته شود مساله دیگری که برای ترانسفورماتور وجود دارد تغذیه بار نامتقارن است.

۲-۲-۲ اثر هارمونیک بر کابلهای قدرت

جاری شدن جریان غیر سینوسی در یک هادی باعث افزایش گرما می شود که ناشی از میزان rms ^۱ است که وابسته به عامل شناخته شده اثر پوستی است که تابعی از فرکانس هستند. در فرکانسهای بالاتر هارمونیک های جریان جاری در کابل تلفات بزرگتری ایجاد می کنند و همچنین هارمونیک جریان ایجاد هارمونیک ولتاژ می کند که بر روی امپدانس های مختلف مدار ظاهر می شود که این به معنای ضعیف شدن سیستم است (با امپدانس بزرگ میزان خطا کاهش می یابد) که منجر به پارازیت های بزرگتر ولتاژ از یک سیستم سخت می شود و در نتیجه سیستمی با خطای زیاد و امپدانس کم ایجاد می کند.

۲-۲-۳ اثر هارمونیک بر خازن

نگرانی اصلی ناشی از استفاده خازنها در یک سیستم قدرت امکان رزونانس سیستم است. این اثر ولتاژها و جریانها به طور قابل ملاحظه ای بالاتر از حالت بدون رزونانس هستند تحمیل می کند. راکتانس یک بانک

¹ Root Mean Square

خازنی با افزایش فرکانس کاهش می یابد و بنابراین به عنوان یک چاهی برای هارمونیک های بالاتر جریان عمل می کند. این اثر استرس های گرمایی و دی الکتریک را افزایش می دهد و زیاد سوئیچ کردن ترکیبات مغناطیسی غیرخطی (دارای هسته آهنی) نظیر ترانسفورماتور و راکتورها، هارمونیک های جریانی را تولید می کنند که با بار خازنها جمع خواهد شد. افزایش گرما و استرس ولتاژ که به وسیله هارمونیک ها ایجاد شده باعث کاهش عمر خازن می شود. مساله دیگر این که اثر تشدید منجر به معیوب شدن اجزایی می شود که با کاربرد سیگنال خطوط برای کنترل بار ارتباط دارد در چنین سیستم هایی فیلترهای متناسبی برای محافظت از فرکانس سیگنال از جذب شدن در عناصر امیدانس کوچکی مثل خازنهای اصلاح ضریب قدرت استفاده می شود.

۲-۲-۴ اثر هارمونیک بر روی ابزار الکترونیکی

ابزار الکترونیکی قدرت به عمل اشتباه که با اعوجاج هارمونیک پدید می آید حساس است. این ابزار اغلب وابسته به تعیین دقیق سطح صفر ولتاژ یا جنبه های دیگر شکل موج ولتاژ است. اعوجاج هارمونیک می تواند به جابجایی سطح صفر ولتاژ یا نقطه ای که یک ولتاژ فاز به فاز بزرگتر از ولتاژ فاز به فاز دیگر است منجر شود. این دو نقاط بحرانی برای هر نوع مدار الکترونیکی هستند و عمل اشتباه می تواند از این تغییرات نتیجه شود. ابزار الکترونیکی دیگر می تواند بوسیله انتقال هارمونیک های ناشی از منبع ac به ابزار قدرت یا کوپل مغناطیسی هارمونیک ها با ترکیبات ابزار تاثیر پذیرد. کامپیوترها و ابزار وابسته به آنها نظیر کنترل کننده های فرکانس قابل برنامه ریزی به منابع ac نیاز دارند که ضریب اعوجاج هارمونیک ولتاژ آن بیش از ۵٪ نباشد و بزرگترین هارمونیک نباید بیش از ۳٪ ولتاژ اصلی باشد. در این موارد گرفتن اطلاعات غلط یا اجرای نادرست برنامه ها در کامپیوتر غیر قابل پیش بینی است. هارمونیک ها همچنین در ابزار پزشکی حساس نیز تاثیر دارند.

در حالیکه بیشتر ابزار الکترونیکی در سطح ولتاژ پایین تر با سیستم توزیع قدرت مجتمع بوجود آمده اند اما اغلب در معرض اثرات برش ولتاژ قرار دارد.

۵-۲-۲ اثر هارمونیک بر روی کنتور

کنتورها از اجزاء هارمونیک تاثیر می پذیرند مخصوصاً اگر شرایط تشدید وجود داشته باشد که به هارمونیکهای ولتاژ و جریان بزرگ منجر می شود. وسایل اندازه گیری گردان نظیر وات - ساعت مترها معمولاً فقط جریان اصلی را می بینند اما فاز نامتعادل که به وسیله اعوجاج هارمونیکها پدید می آید می تواند باعث عمل غلط این وسایل شود. ابزار اندازه گیری ابتدا بر روی جریان متناوب خالص سینوس کالیبره می شود و سپس روی یک منبع الکتریسیته دارای اعوجاج استفاده می شود که این اندازه گیری می تواند دارای اشتباهاتی باشد. دامنه و راستای هارمونیک توان برای ملاحظه بازده مهم هستند زیرا اثر خطای سنجش بوسیله راستا معین می شود. مطالعات نشان می دهند که خطاهای مربوط به هارمونیک، تغییرات زیادی دارند که این تغییرات با نوع کنتور و میزان خطاهای مثبت و منفی میسر است .

۶-۲-۲ اثر هارمونیک بر ضریب قدرت

این ضریب فرم صحیح مصرف توان را نشان می دهد و کم بودن مقدار آن بر میزان بهره برداری از منبع توان دلالت می کند. عموماً وسایل با تلفات کمتر برای جبران ضریب توان استفاده می شود. همچنین مینیمم کردن توان ظاهری باید مستقیماً به مطلوب ترین ضریب توان منجر شود.

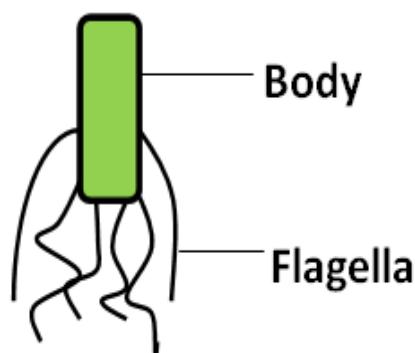
فصل سوم

الگوریتم‌های بهینه‌سازی

بازگشتی و شبیه‌سازی

۳-۱ مفهوم اصلی جنبش باکتریایی

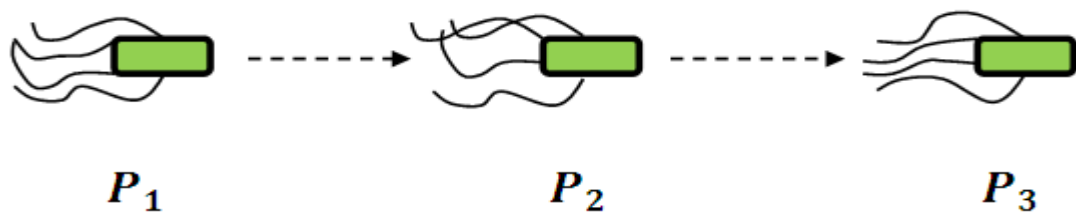
الگوریتم جستجوی باکتریایی (BFO) [۴۰] یک روش بهینه‌سازی مبتنی بر هوش دسته‌جمعی بر اساس استراتژی باکتری E-COLI می‌باشد که برای اولین بار در سال ۲۰۰۰ توسط پاسینو برای حل مسائل بهینه‌سازی پیوسته ابداع و در سال ۲۰۰۲ به جامعه علمی معرفی شده است. E-COLI نوعی باکتری است که در روده انسان زندگی می‌کند. حیوانات برای یافتن غذا دارای استراتژی‌های مختلف جهت جابجایی و انتخاب محل هستند. ساختار این نوع باکتری که در روده انسان زندگی می‌کند از یک غشای پلاسمایی، دیواره سلولی و یک کپسول نگهدارنده تشکیل شده است و دارای یک تاژک برای انتقال و حرکت است. اگر حرکت تاژک در جهت عقربه‌های ساعت باشد باکتری به سمت جلو حرکت کرده و یک جابجایی بزرگ دارد (به اصطلاح شنا می‌کند). واگر حرکت تاژک خلاف عقربه‌های ساعت باشد باکتری جابجایی در جهت نامشخص و بسیار کوچک به نام جنبش خواهد داشت. اندازه باکتری E-COLI بسیار کوچک بوده و دارای قطری حدود یک میکرومتر و طول دو میکرومتر می‌باشد. وزن سلول هم در حدود یک پیکو گرم بوده و هفتاد درصد آن را آب تشکیل می‌دهد.



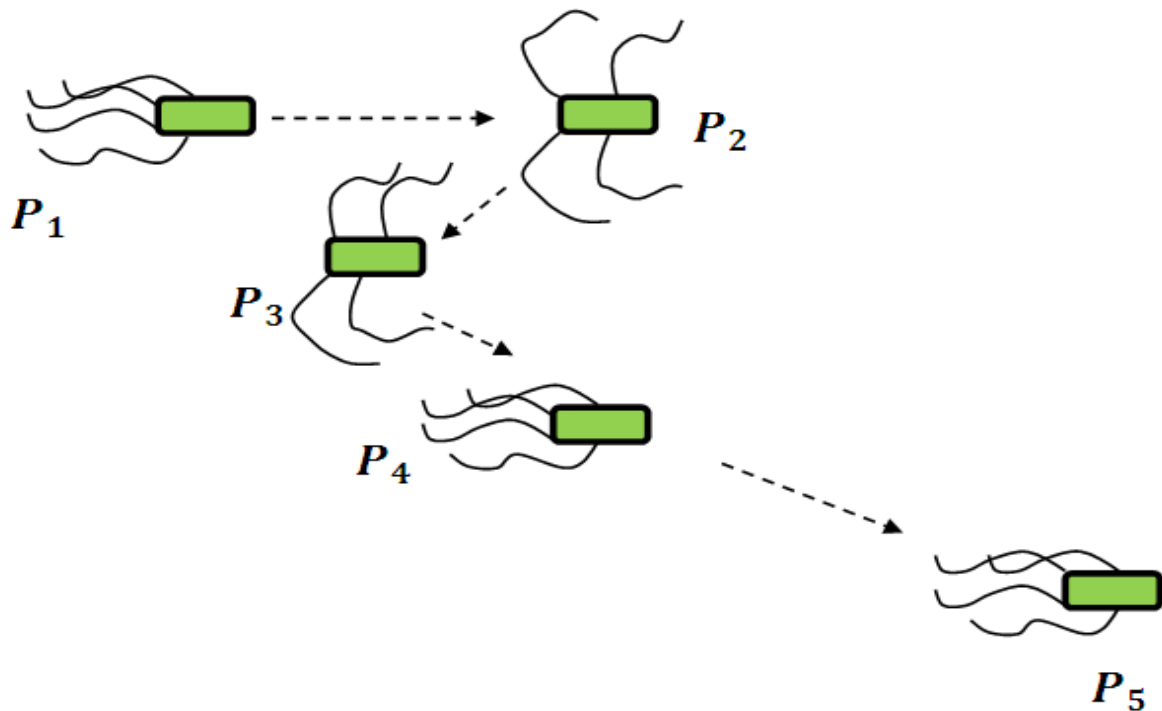
شکل ۳-۱ ساختار باکتری E-COLI

باکتری E-COLI در تمام طول عمر خود همیشه در حال تلاش برای یافتن مکانی با مواد غذایی بیشتر و اجتناب از رفتن سمت مکان‌های حاوی مواد مضر، با استفاده از یک الگوی حرکتی خاص به نام

(comotactic) می باشد. باکتری ها وقتی به سمت مواد غذایی حرکت می کنند ، اگر به مواد مغزی با ارزش غذایی بالاتری رسیدند به حرکت خود در همان سمت ادامه می دهند (swimming) و اگر باکتری در مسیر خود به مواد غذایی با ارزش غذایی کم برخورد کنند در همان مکان شروع به جست و خیز می کنند (Tumble) تصاویری از حرکت باکتری E-COLI در حالت شنا و جست و خیز کردن در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. در شکل ۲-۳ حرکت باکتری از موقعیت اولیه P_1 به موقعیت جدید P_2 و سپس ارزش مواد غذایی P_1, P_2 مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجا که سطح مواد غذایی P_2 به P_1 بیشتر می باشد باکتری رو به جلو حرکت می کند (با شنا کردن به موقعیت جدید P_2 می رود) و در ادامه با شنا کردن به موقعیت جدید P_3 می رسد. این روند حرکتی باکتری تا پایان عمر باکتری ادامه دارد. حرکت باکتری به صورت جنبش در شکل ۱-۲ نشان داده شده است . ابتدا حرکت باکتری از موقعیت اولیه P_1 به موقعیت جدید P_2 می باشد. اما از آنجا که سطح مواد مغزی موجود در P_2 کمتر از P_1 است باکتری با گام حرکتی بسیار کوچک در جهت نامشخصی شروع به جنبش (tumble) کرده و به موقعیت p_3 می رود. و زمانی که در موقعیت p_3 به مواد غذایی کمتری برسد به موقعیت p_4 می رود با توجه به اینکه در موقعیت p_4 مواد مغزی بیشتری وجود دارد باکتری با حالت شنا کردن به موقعیت p_5 می رود . بطور کلی در مکانی که مواد مغزی بیشتری وجود داشته باشد باکتری بیشتر زمان خود را صرف شنا کردن نموده و در مکانی که مواد غذایی کمتری وجود داشته باشد باکتری بیشتر در حالت جنبش کردن می باشد.



شکل ۲-۳ حرکت روبه جلو باکتری (swim)



شکل ۳-۳ حرکت باکتری به صورت جنبش-شنا (tumbling-swim)

بنابراین حرکت باکتری به سه صورت زیر می باشد.

الف-در مکان هایی با مواد مضر: ترکیبی از جست وخیز (جنبش) و شنا، برای دور شدن از محل حاوی مواد

مضر و یافتن مکانی با مواد مغذی مناسب.

ب-در مکان های خنثی (مکانی که مواد غذایی زیادی موجود نباشد و از طرفی مواد مضر هم وجود نداشته

باشد): جست وخیز بیشتر جهت یافتن مواد مغزی می باشد(جستجو)

ج-در مکان با مواد مغذی مناسب: شنا کردن، تا زمانی که در مسیر مواد مغذی مناسب می باشد، ادامه دارد.

۳-۲ بهینه سازی بر اساس الگوریتم جستجوگری باکتریایی

از مکانیزم جستجوی E-COLI جهت یافتن مکانهایی با مواد مغذی بیشتر و اجتناب از مکان های مضر در روش بهینه سازی الگوریتم BFO توسط پاسینو [۴۰] الگوبرداری شده است.

بررسی مختصری در مورد الگوریتم BFO در اینجا آورده شده است [۳۵]

ایده الگوریتم غذایی باکتری بر این واقعیت استوار است که در طبیعت جانداران با روش غذایی ضعیف احتمال انقراضی بیشتری به جاندارانی با استراتژی غذایی موفق دارند. پس از نسل های زیاد، جانداران با روش غذایی ضعیف نابود شده و یا به حالت های بهتر تغییر شکل می دهند، باکتری E-coli که در روده انسان زندگی می کند، روش غذایی بر چهار مرحله استوار است. این چهار مرحله عبارتند از (حرکت، عملکرد گروهی، تولید مثل و حذف و پراکندگی).

۳-۲-۱ حرکت

در این مرحله باکتری ها شروع به جنبش و شنا می کنند. در واقع بسته به چرخش دم باکتری ، باکتری جست و خیز کرده و شروع به حرکت می کند(جنبش). اگر در مسیر جدید مقدار غذا بهتر بود ، باکتری شروع به حرکت در همان مکان قبلی باکتری قرار می گیرند این عمل تعداد جمعیت باکتری ها را ثابت نگه می دارد.

۳-۲-۲ عملکرد گروهی

وقتی یک باکتری مسیر بهتری برای غذا پیدا می کند ، باکتری های دیگر را به سمت خود جذب کرده و باکتری ها سریعتر به محل غذای اصلی می رسند. عملکرد دسته جمعی سبب حرکت گروهی باکتری ها می شود.

۳-۲-۳ تولید مثل

نصف باکتری‌ها که غذای خوبی پیدا نکرده اند نابود شده و نصف دیگر شامل باکتری‌های سالم هریک به دو باکتری تقسیم شده که در همان مکان قبلی باکتری قرار می‌گیرند. این عمل تعداد جمعیت باکتری‌ها را ثابت نگه می‌دارد.

۳-۲-۴ حذف و پراکندگی

زندگی جمعیت باکتری‌ها به مرور با مصرف غذا یا ناگهان در اثر موارد دیگر دچار تغییر می‌شود. حوادث می‌توانند موجب کشته شده و یا پراکنده شدن باکتری‌ها شوند. این عمل اگر چه در ابتدا ممکن است منجر به برهم خوردن مرحله حرکت به سمت غذا باشد، اما می‌تواند تاثیر مثبتی هم بر آن داشته باشد زیرا پراکندگی باکتری‌ها ممکن است آنها را در مکان‌هایی نزدیک به منابع غذایی خوب قرار دهد. مرحله حذف و پراکندگی از به دام افتادن باکتری‌ها در نقطه بهینه محلی جلوگیری می‌کند.

۳-۳ مراحل الگوریتم BFO

۳-۳-۱ شروع

ابتدا متغیرهای زیر باید انتخاب شوند :

مرحله (۱) S : تعداد باکتری‌های مورد استفاده برای جستجو

مرحله (۲) P : تعداد پارامترهایی که باید بهینه شوند

مرحله (۳) N_s : تعداد مراحل شنا

مرحله (۴) N_c : تعداد مراحل حرکت

مرحله (۵) N_{re} : تعداد مراحل تولید مثل

مرحله (۶) N_{ed} : تعداد مراحل حذف و پراکندگی

مرحله (۷) P_{ed} : احتمال حذف و پراکندگی

مرحله (۸) $c(i)g_i=1,2,\dots,S$: اندازه گام حرکت هر باکتری

مرحله ۹) مقادیر $W_{repellant}$, $h_{repellant}$, $W_{attract}$, $d_{attract}$

مرحله ۱۰) مقادیر اولیه برای θ^i به ازای $i = 1, 2, \dots, s$

۲-۳-۳ الگوریتم تکرار شونده برای بهینه سازی

مرحله ۱) حلقه حذف و پراکندگی : $L = L + 1$

مرحله ۲) حلقه تولید مثل : $m = m + 1$

مرحله ۳) حلقه حرکت : $n = n + 1$

۱-۳) به ازای $i = 1, 2, \dots, s$ ، باکتری i به صورت زیر حرکت می کند .

۲-۳) $j(i, n, m, L)$ را محاسبه کرده و سپس اثر *swarming* را به آن بیافزایید .

$$j_{sw}(i, n, m, L) = j(i, n, m, l) + jcc (x^i(n, m, L), p(n, m, L)).$$

۳-۳) برای مقایسه مقادیر بدست آمده در مراحل بعد ، مقدار فعلی ذخیره می شود .

$$j_{Last} = j_{sw}(i, n, m, L)$$

۴-۳) جنبش (tumble) : یک بردار رندوم به صورت $\Delta(i) \in R^p$

$\Delta m(i), m = 1, 2, \dots, p$ هر یک در بازه $[-1, 1]$ تولید می کند.

۵-۳) حرکت : مقادیر $\mu_i = \frac{\Delta(i)}{\sqrt{\Delta^T \Delta(i)}}$ و $x^i(n+1, m, L) = x^i(n, m, L) + u \times c(i) \mu(i)$

را بدست آورید . به این ترتیب باکتری به اندازه $c(i)$ در جهت $\mu(i)$ حرکت می کند .

۶-۳) $j(I, n, m, L)$ را محاسبه کرده و سپس اثر *swarming* را به آن بیافزایید .

$$j_{sw}(i, n+1, m, L) = j(i, n+1, m, L) + j_{sw}(x^i(i+1, m, L), p(i+1, m, L))$$

۳-۳) مقدار تابع هزینه برای $j(I, n, m, L)$

$$j = \sum_{t=1}^{N_S} \varepsilon^2(t) = \sum_{t=1}^{N_S} [y(t) - \hat{y}(t)]^2$$

$$J_{sw}(i, n, m, l) = J(i, n, m, l) + J_{cc}(x^i(n, m, l), P(n, m, l))$$

$$j = (x, (i, k, L)) = \sum_{t=1}^s j_{cc}^i(x, x^i(j, k, L)) = \sum_{i=1}^s \left[-d_{attract} \exp \left(-w_{attract} \sum_{m=1}^p (x_m - x_m^i)^2 \right) \right] + \sum_{i=1}^s \left[h_{repelant} \exp \left(-w_{repelant} \sum_{m=1}^p (x_m - x_m^i)^2 \right) \right]$$

Swarming (۱-۷-۳) مرحله شنا

(۱-۳-۷-۳) $m = 0$ (شمارنده تعداد مراحل شنا)

(۲-۷-۳) تا زمانی که $m < Ns$ مراحل زیر تکرار می شود .

$$m = m + 1 \quad (۳-۷-۳)$$

اگر $j_{sw}(i, n, m, L) < j_{last}$ آنگاه $j_{sw}(i, n + 1, m, L) = j_{last}$

از برای محاسبه $x^i(n + 1, m, L)$ و $x^i(n + 1, m, L)x^i(n, m, L) + u \times c(i)\mu(i)$

مقدار جدید $j(n + 1, m, L)$ استفاده کنید .

در غیر اینصورت $m = NS$ ، انترهای حلقه می باشد .

(۸-۳) اگر $i \neq s$ ، آنگاه برای باکتری بعدی مراحل را تکرار کنید

مرحله (۴) اگر $j < Nc$ ، آنگاه به مرحله ۳ رفته و برای همه باکتری ها مرحله حرکت را تکرار کنید

مرحله (۵) تولید مثل

(۱-۵) به ازای مقادیر معلوم برای L, m ، برای هر باکتری

$j_{health} = \min(j_{sw}(i, n, m, L))$ ، $i = (1, \dots, s)$ ، را محاسبه

کرده و باکتری ها را به ترتیب مقدار افزایشی j_{health} مرتب کنید .

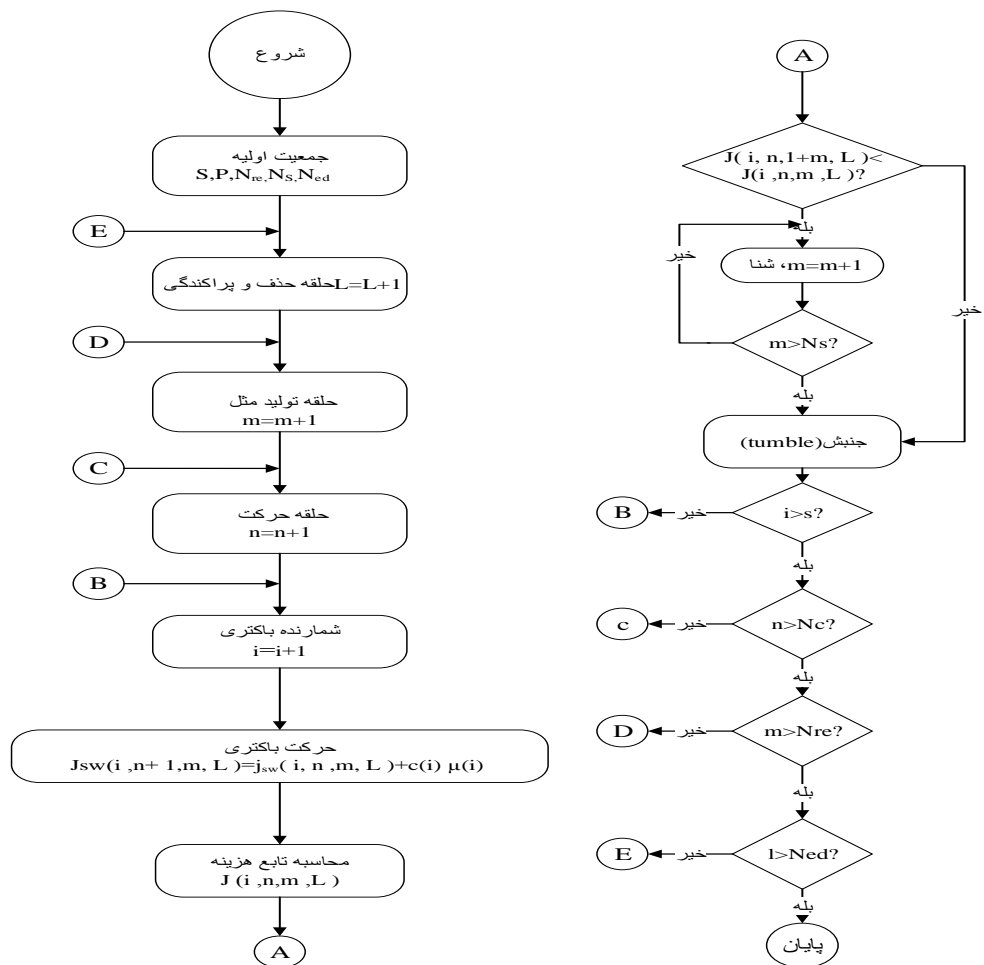
۲-۵) نصف باکتری‌ها که مقدار J_{health}^i آنها بیشترین است حذف شده و نصف بقیه ابتدا به مکانی که در آن مقدار $j(i, n, m, L)$ برابر J_{health}^i است منتقل شده و سپس از هر باکتری دیگری متولد شده و در همان مکان قرار می‌گیرد.

مرحله ۶) اگر $m < Nre$ ، آنگاه به مرحله ۲ می‌رود

مرحله ۷) حذف و پراکندگی

برای $s, 1, 2, \dots, j$ با احتمال μ_{red} ، هر باکتری را مورد حذف و پراکندگی قرار می‌گیرد. چنانچه یک باکتری حذف شود، یک باکتری به صورت رندم در فضای جستجو ایجاد می‌شود.

مرحله ۸) اگر $Ned > 1$ باشد، آنگاه به مرحله ۱ باز می‌گردد.



شکل ۳-۴ فلوجارت الگوریتم BFO

۳-۴ توصیف الگوریتم 'SGFF'

الگوریتم شیب تصادفی SGFF کاربرد گسترده‌ای در بحث پردازش سیگنال و تخمین پارامترها در کنترل تطبیقی دارد. از مزیت‌های این الگوریتم می‌توان به محاسبات کم آن اشاره کرد.

مدل رگرسیون خطی زیر را در نظر بگیرید:

$$y(k) = x^T(k)\theta + v(k) \quad (1-3)$$

که در آن $y(k) \in \mathbb{R}^1$ خروجی سیستم و $x^T(k) \in \mathbb{R}^n$ بردار اطلاعات (ورودی خروجی) داده‌های سیستم و $v(k) \in \mathbb{R}^1$ نویز سفید با میانگین صفر و $\hat{\theta}$ تخمین θ در زمان k می‌باشد.

فرض کنید $y(k)=0$ و $x(k)=0$ و $v(k)=0$ برای $k \leq 0$ باشد. $\{y(k), x(k)\}$ اطلاعات اندازه‌گیری شده در دسترس یا اطلاعات موجود باشد. برای راحتی کار فرض می‌کنیم K زمان فعلی باشد، پس $y(k), x(k)$ اطلاعات فعلی ما هستند.

با استفاده از اصل جستجوی گرادیان تصادفی SG، الگوریتم شناسایی SG بازگشتی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$e(k) = y(k) - x^T(k)\hat{\theta}(k) \in \mathbb{R}^1 \quad (2-3)$$

ماتریس $X(k)$ و بردار خروجی $y(k)$ به صورت زیر می‌باشد:

$$X(k) = [x(k), x(k-1), \dots, x(k-p+1)] \in \mathbb{R}^n \quad (3-3)$$

$$Y(k) = [y(k), y(k-1), \dots, y(k-p+1)]^T \in \mathbb{R}^1 \quad (4-3)$$

الگوریتم گرادیان تصادفی به صورت زیر می‌باشد:

¹ Stochastic Gradient Forgetting Factor

$$\hat{\theta}(k) = \hat{\theta}(k-1) + \frac{X(k)}{r(k)} e(k) \quad (5-3)$$

$$e(k) = y(k) - x^T(k) \hat{\theta}(k-1) \quad (6-3)$$

$$r(k) = \lambda r(k-1) + \|x(k)\|^T, \quad r(0) > 0, \quad 0 < \lambda < 1 \quad (7-3)$$

که در آن λ ضریب فراموشی نامیده می‌شود.

$$x(k) = [x(k), x(k-1), \dots, x(k+1)] \in R^n \quad (8-3)$$

$$y(k) = [y(k), y(k-1), \dots, y(k+1)]^T \in R^1 \quad (9-3)$$

۳-۵ توصیف الگوریتم MISGFF¹

در این بخش به تشریح الگوریتم MISGFF پرداخته می‌شود. ایده اصلی این الگوریتم بر گسترش بردار نوآوری عددی $e(t)$ می‌باشد. برای بهبود کارایی الگوریتم جهت ردیابی پارامترهای متغیر با زمان یک عامل فراموشی هم به آن اضافه می‌شود.

در این روش بردار innovation به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$E(p, k) = \begin{bmatrix} e(k) \\ e(k-1) \\ \vdots \\ e(k-p+1) \end{bmatrix} \in R^p \quad (10-3)$$

که در آن p عدد صحیح مثبت بوده که طول بردار innovation نامیده می‌شود. خطای تخمین به صورت زیر است:

¹ Multi innovation Stochastic Gradient Forgetting Factor

$$e(k-i) = y(k-i) - x^T(k-i)\hat{\theta}(k-i-1) \in \mathbb{R}^1 \quad (11-3)$$

به طور کلی $\hat{\theta}(k-i)$ در زمان‌های $k-i (i=2,3,\dots,p-i)$ می‌باشد. بنابراین بردار innovation بصورت زیر در نظر گرفته می‌شود.

$$E(p,k) = \begin{bmatrix} y(k) - x^T(k)\hat{\theta}(k-1) \\ y(k-1) - x^T(k-1)\hat{\theta}(k-1) \\ \vdots \\ y(k-p+1) - x^T(k-p+1)\hat{\theta}(k-1) \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^p \quad (12-3)$$

با اطلاعات به دست آمده، ماتریس $X(p,k)$ و بردار خروجی $y(p,k)$ به صورت زیر می‌باشد:

$$X(p,k) = [x(k), x(k-1), \dots, x(k-p+1)] \in \mathbb{R}^{n \times p} \quad (13-3)$$

$$Y(p,k) = [y(k), y(k-1), \dots, y(k-p+1)]^T \in \mathbb{R}^p \quad (14-3)$$

بردار نوآوری $E(p,k)$ به صورت زیر بیان می‌شود:

$$E(p,k) = Y(p,k) - X^T(p,k)\hat{\theta}(k-1) \quad (15-3)$$

از طرفی $E(1,k) = e(k)$ و $X(1,k) = x(k)$ و $Y(1,k) = y(k)$ می‌باشد.

الگوریتم گرادیان تصادفی با بردار innovation به صورت زیر می‌باشد:

$$\hat{\theta}(k) = \hat{\theta}(k-1) + \frac{X(k)}{r(k)} E(p,k) \quad (16-3)$$

$$E(p,k) = Y(p,k) - X^T(p,k)\hat{\theta}(k-1) \quad (17-3)$$

$$r(k) = \lambda r(k-1) + \|x(k)\|^T, \quad r(0) > 0, \quad 0 < \lambda < 1 \quad (18-3)$$

که در آن λ ضریب فراموشی نامیده می‌شود.

$$X(p,k) = [x(k), x(k-1), \dots, x(k-p+1)] \in \mathbb{R}^{n \times p} \quad (19-3)$$

$$Y(p, k) = [y(k), y(k-1), \dots, y(k-p+1)]^T \in \mathbb{R}^p \quad (20-3)$$

در حالت $p = 1$ الگوریتم MISGFF به الگوریتم SGFF تبدیل می‌شود.

۳-۵-۱-۵-۳ خواص الگوریتم MISGFF

- الگوریتم MISGFF هم از داده‌های فعلی $\{y(k), x(k)\}$ استفاده می‌کند و هم از داده‌های قبلی

$y(k-1), x(k-1), i = 0, 1, \dots, p-1$ که نتیجه بهتری جهت تخمین پارامترها به وجود

می‌آورد. الگوریتم MISGFF به صورت بازگشتی از داده‌های موجود استفاده می‌کند (برگشت پذیری). در

واقع در لحظه K ، داده‌هایی که الگوریتم MISGFF استفاده می‌کند به صورت زیر می‌باشد :

$$\{y(k-1), x(k-1)\}, \quad i = 0, 1, \dots, p-1 \quad (21-3)$$

اما در لحظه $k+1$ ، الگوریتم از داده‌های زیر استفاده می‌کند:

$$\{y(k+1-i), x(k+1-i)\}, i = 0, 1, \dots, p-1 \quad (22-3)$$

پس در دو تکرار الگوریتم از فرمول زیر استفاده می‌کند که از مزیت‌های الگوریتم MISGFF می‌باشد.

$$\{y(k-i), x(k-i)\}, \quad i = 0, 1, \dots, p-2 \quad (23-3)$$

افزایش طول بردار نوآوری p سبب کوچکتر شدن خطای تخمین می‌شود. شایان ذکر است که با افزایش

اندازه بردار p بر حجم محاسبات افزوده می‌شود که با توجه به دست‌یابی به نتایج بهتر، این حجم

محاسبات قابل چشم‌پوشی است.

جدول ۳-۱: مقایسه الگوریتم‌های SG, MISG

سیستم	سیستم SISO
مقادیر اولیه	$y(k) = x^T(k)\theta + v(k)$ $y(k) \in \mathbb{R}^1 \text{ و } x^T(k) \in \mathbb{R}^n$ $v(k) \in \mathbb{R}^1 \text{ و } \theta \in \mathbb{R}^n$
الگوریتم SG	<p>مراحل الگوریتم از معادله ۳-۳ الی ۳-۷</p> <p>بردار بهره : $L(k) = \frac{x(k)}{r(k)} \in \mathbb{R}^n$</p> <p>بردار نوآوری : $e(k) = y(k) - x^T(k)\hat{\theta}(k) \in \mathbb{R}^1$</p>
الگوریتم MISG	<p>مراحل الگوریتم از معادله ۳-۲۱ الی ۳-۲۳</p> <p>بردار پارامترهای تخمین : $\hat{\theta}(k) \in \mathbb{R}^n$</p> <p>بردار بهره : $L(p, k) = \frac{x(p, k)}{r(p, k)} \in \mathbb{R}^{n \times p}$</p> <p>بردار چند نوآوری : $E(p, k) \in \mathbb{R}^{p \times 1}$</p>

۳-۶ توصیف الگوریتم MILS¹

الگوریتم شناسایی حداقل مربعات چند نوآوری برای مدل‌های رگرسیون خطی ارائه شده است و از طریق گسترش طول بردار نوآوری در بردار پارامتر مجهول الگوریتم کلاسیک RLS به دست آمده است. الگوریتم MILS با استفاده از نوآوری‌های P (نوآوری‌های فعلی و قبلی) در هر تکرار (با طول نوآوری $P > 1$)

¹ Multi innovation Least-Squares

دارای دقت بیشتری نسبت به الگوریتم RLS می باشد. همچنین در الگوریتم MILS بازه های متغیر ارائه شده است که به منظور جلوگیری از حذف شدن بعضی از داده ها در سیستم دینامیک می باشد.

۳-۶-۱ تشریح الگوریتم:

مدل رگرسیون خطی زیر را در نظر بگیرید:

$$y(k) = x^T(k)\theta + v(k) \quad (24-3)$$

که در آن $y(k) \in R^1$ خروجی سیستم و $x^T(k) \in R^n$ بردار اطلاعات (ورودی خروجی) داده های سیستم و $v(k) \in R^1$ نویز سفید^۱ با میانگین صفر و $\hat{\theta}$ تخمین θ در زمان k می باشد.

فرض کنید $y(k)=0$ و $x(k)=0$ و $v(k) = 0$ برای $k \leq 0$ باشد. $\{y(k), x(k)\}$ اطلاعات اندازه گیری شده در دسترس یا اطلاعات موجود باشد. برای راحتی کار فرض می کنیم K زمان نمونه برداری فعلی باشد، پس $y(k), x(k)$ اطلاعات فعلی ما هستند. و $k-i$ زمان نمونه برداری قبلی $\{k-i, (i=1, 2, \dots)\}$ و همچنین $\{y(k), x(k)\}$ مقادیر اندازه گیری شده فعلی و $\{y(k-i), x(k-i), (i=1, 2, \dots)\}$ مقادیر اندازه گیری قبلی می باشد.

در این الگوریتم $e(k)$ یک بردار نوآوری گسترش یافته در نظر گرفته می شود:

$$E(p, k) = \begin{bmatrix} y(k) - x^T(k)\hat{\theta}(k-1) \\ y(k-1) - x^T(k-1)\hat{\theta}(k-1) \\ \vdots \\ y(k-p+1) - x^T(k-p+1)\hat{\theta}(k-1) \end{bmatrix} \in R^p \quad (25-3)$$

با اطلاعات به دست آمده ، ماتریس $X(p, k)$ و بردار خروجی $y(p, k)$ به صورت زیر می باشد:

¹ White Noise

$$X(p, k) = [x(k), x(k-1), \dots, x(k-p+1)] \in \mathbb{R}^{n \times p} \quad (25-3)$$

$$Y(p, k) = [y(k), y(k-1), \dots, y(k-p+1)]^T \in \mathbb{R}^p \quad (26-3)$$

بردار نوآوری $E(p, k)$ به صورت زیر بیان می‌شود:

$$E(p, k) = Y(p, k) - X^T(p, k)\hat{\theta}(k-1) \quad (27-3)$$

از طرفی $E(1, k) = e(k)$ و $X(1, k) = x(k)$ و $Y(1, k) = y(k)$ می‌باشد.

الگوریتم به صورت زیر می‌باشد:

$$\hat{\theta}(k) = \hat{\theta}(k-1) + L(k)[Y(p, k) - X^T(p, k)\hat{\theta}(k-1)] \quad (28-3)$$

$$L(k) = P(k-1)X(k-1)[I_p + X^T(p, k)P(k-1)X(k-1)] \quad (29-3)$$

$$P(k) = P(k-1) - L(k)X^T(p, k)P(k-1) \quad (30-3)$$

$$X(p, k) = [x(k), x(k-1), \dots, x(k-p+1)] \in \mathbb{R}^{n \times p} \quad (31-3)$$

$$Y(p, k) = [y(k), y(k-1), \dots, y(k-p+1)]^T \in \mathbb{R}^p \quad (32-3)$$

در حالت $p = 1$ الگوریتم MILS به الگوریتم RLS تبدیل می‌شود.

۳-۶-۲ مراحل الگوریتم MILS

۳-۶-۱ جمع آوری داده‌های ورودی-خروجی $\{y(k), x(k)\}$ و انتخاب طول داده‌ها.

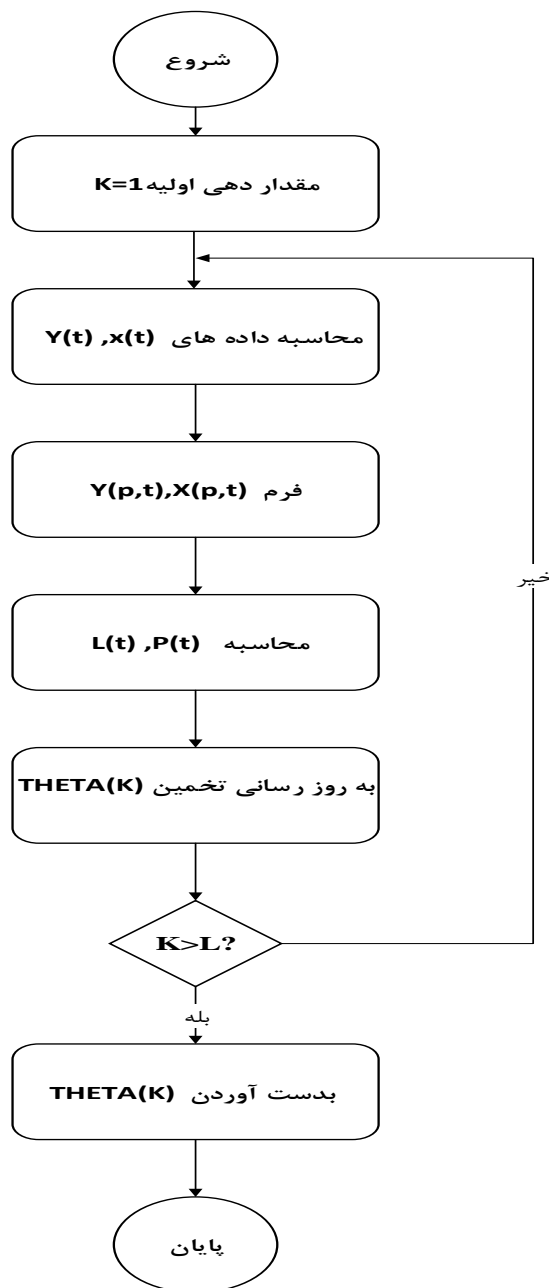
۳-۶-۲ مقدار دهی اولیه برای الگوریتم، که $P(0) = P_0 I_n$ و $K=1$ ، $\hat{\theta}(0) = 1/P_0$ که $P_0 = 10^{-6}$

می‌باشد.

۳-۴-۳ فرم $y(k), x(k)$ از معادله های (۴-۳۱) و (۴-۳۲)

۳-محاسبه $P(k)$ و $L(k)$ از معادله های (۴-۲۹) و (۴-۳۰) و همچنین به روز رسانی $\hat{\theta}(k)$ توسط معادله (۴-۳۰).

۵-اگر $K=L$ باشد الگوریتم پایان می یابد در غیر این صورت به K یک عدد اضافه شده و سپس به مرحله ۳-۴-۳ باز می گردیم.



شکل ۳-۵ فلوجارت الگوریتم MILS

۳-۷ الگوریتم حداقل مربعات بازگشتی با ضریب فراموشی RLSFF¹

تخمین هارمونیک سیستم‌های قدرت توسط روش RLSFF بسیار مورد توجه می‌باشد. روش‌های مختلفی از RLS جهت تخمین هم‌زمان دامنه و فاز سیگنال هارمونیک بصورت بازگشتی، این روش حتی در سیستم‌های قدرت آغشته به نویز به صورت ON-LINE هم کارایی مناسبی دارد..

۳-۷-۱ تشریح الگوریتم RLSFF

۱- مقدار دهی اولیه برای دامنه فاز فرکانس و ماتریس‌های پارامترهای ناشناخته

۲- ساخت سیگنال سیستم قدرت

۳- تخمین سیگنال مجهول با استفاده از مقادیر اولیه پارامترهای مجهول

۴- محاسبه معادله: مقادیر تخمین زده شده-مقادیر واقعی=تخمین خطا

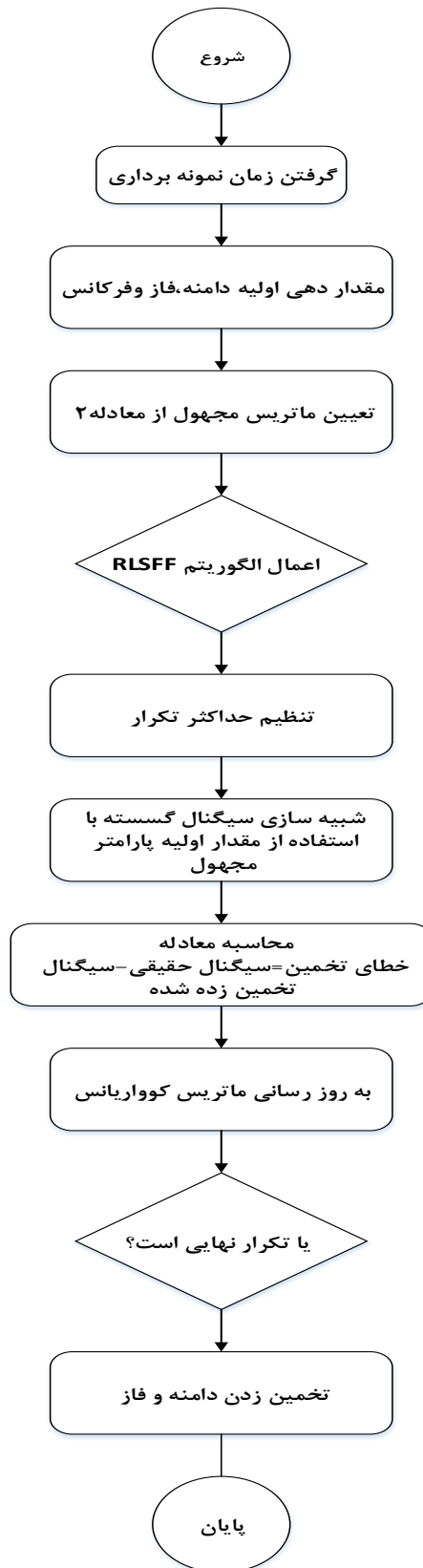
۵- بروز رسانی ماتریس کوواریانس و بهره (gain)

۶- بروز رسانی پارامترهای مجهول

۷- اگر تکرار نهایی پیدا نشد به مرحله ۴ برو

۸- تخمین مولفه‌های دامنه و فاز هارمونیک

¹ Recursive Least Squares Forgetting Factor



شکل ۳-۶ فلوجارت الگوریتم RLSFF

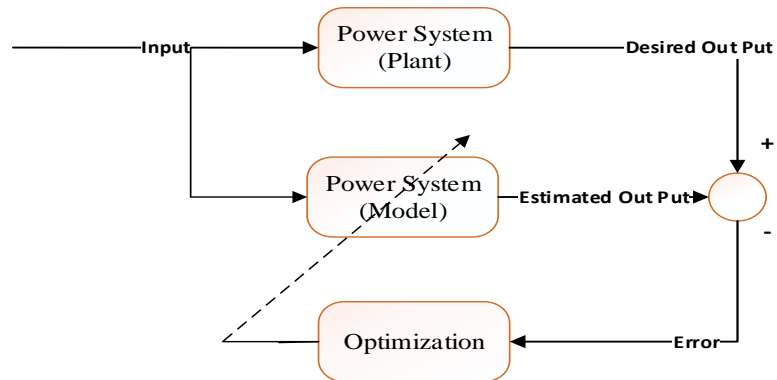
جدول ۳-۲: مقایسه الگوریتم‌های RLSFF, MILS

سیستم	سیستم SISO
مقادیر اولیه	$y(k) = x^T(k)\theta + v(k)$ $y(k) \in \mathbb{R}^1$ و $x^T(k) \in \mathbb{R}^n$ $v(k) \in \mathbb{R}^1$ و $\theta \in \mathbb{R}^n$
الگوریتم RLSFF	بردار پارامترهای تخمین $\hat{\theta}(k) \in \mathbb{R}^n$ بردار بهره $L(k) = P(k)x(k) \in \mathbb{R}^n$ بردار نوآوری $e(k) = y(k) - x^T(k-1)\hat{\theta}(k) \in \mathbb{R}^1$ ماتریس کوواریانس $P(k) \in \mathbb{R}^{n \times n}$
الگوریتم MILS	بردار پارامترهای تخمین $\hat{\theta}(k) \in \mathbb{R}^n$ بردار بهره $L(p, k) = P(p, k)X(p, k) \in \mathbb{R}^{n \times p}$ بردار نوآوری $E(p, k) \in \mathbb{R}^p$ ماتریس داده‌ها $X(p, k) \in \mathbb{R}^{n \times p}$ بردار خروجی‌ها $Y(p, k) \in \mathbb{R}^{n \times p}$

۳-۸ بیان مسئله تخمین هارمونیک

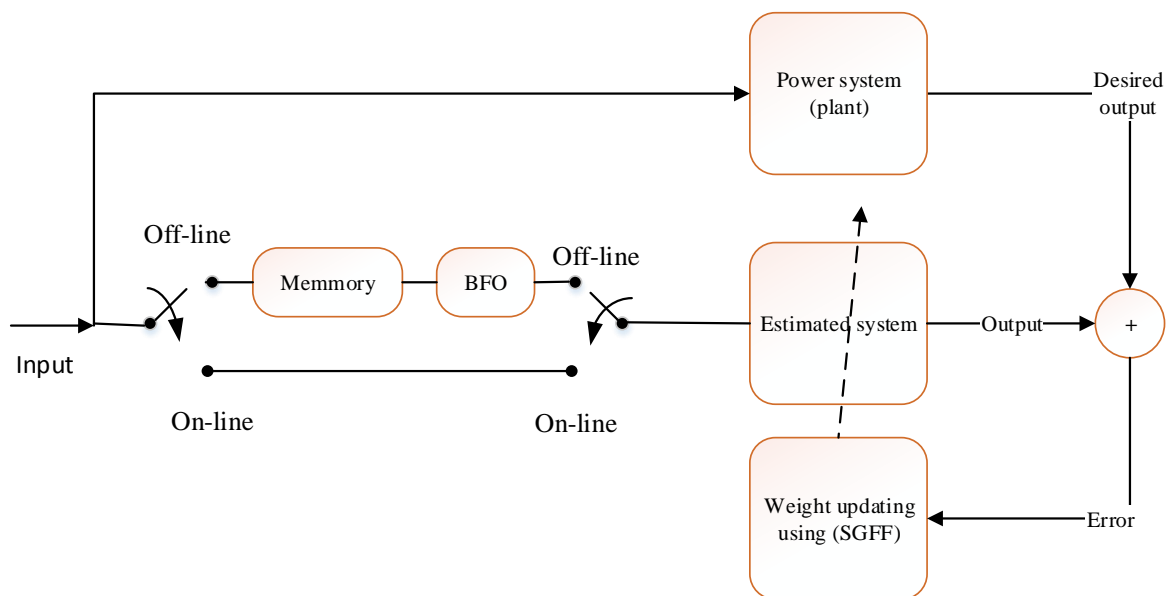
مسئله اصلی در تخمین هامورنیک بر این اصل استوار است که بارهای هارمونیک را به طور طبیعی در سیستم قدرت وجود دارد و دامنه هارمونیک‌ها نیز متفاوتند. بنابراین روشی مورد نیاز است که دارای اندازه گیری سریع و تخمین دقیق سیگنال‌های هارمونیک باشند. در روش پیشنهادی دامنه و فاز سیگنال سیستم قدرت دارای هارمونیک ابتدا برای داده‌های محدود به صورت off-line توسط الگوریتم BFO تخمین زده شده و سپس تخمین بدست آمده به عنوان نقطه شروع برای الگوریتم‌های بازگشتی برای باقی داده به صورت on-line مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش باعث بهبود عملکرد در حضور هارمونیک‌های اصلی می‌شود.

در شکل (۳-۳) دیاگرام تخمین سیستم قدرت به عنوان یک مساله بهینه‌سازی نشان داده شده است.



شکل ۳-۷: تخمین سیستم قدرت به عنوان یک مساله بهینه سازی

در شکل (۳-۸) سیستم قدرت به عنوان یک پلنت در نظر گرفته شده است که با اعمال ورودی به آن، خروجی مورد نظر پس از تخمین مدل سیگنال بدست می آید .



شکل ۳-۸ : تخمین الگوریتم BFO به همراه الگوریتم های بازگشتی

۳-۹ مزایای ترکیب روشهای الگوریتم‌های بازگشتی و BFO برای تخمین هارمونیک

۳-۶-۱ تخمین هارمونیک، یک مسئله غیر خطی می باشد که استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی خطی برای حل مسئله، باعث کند شدن سرعت همگرایی می شود، به همین علت برای تخمین اولیه از الگوریتم BFO استفاده شده است.

۳-۹-۲ روش الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی باکتریای برای تخمین پارامترهای مجهول بر اساس به حداقل رساندن تابع هزینه که از مجموع مربعات خطای سیگنال استفاده می شود.

۳-۹-۳ ابتدا با استفاده از تعداد داده‌های اندک، توسط روش Off line یعنی به کمک الگوریتم BFO مقدار پارامترهای اولیه را برای الگوریتم‌های بازگشتی بدست آورده و پس از آن الگوریتم‌های بازگشتی بصورت On-line به کار گرفته می شود و مقادیر به دست آمده با استفاده از الگوریتم‌های بازگشتی به روز می شود. این روش باعث بهبود عملکرد در حضور هارمونیک‌های اصلی می شود.

۳-۹-۴ در روش ترکیبی به کار رفته در این مقاله دامنه و فاز مولفه اساسی هارمونیک از خروجی به روز شده الگوریتم‌های بازگشتی به صورت همزمان تخمین زده می شود.

۳-۱۰ مسئله تخمین هارمونیک سیستم قدرت

ابتدا فرض می کنیم شکل موج ولتاژ یا جریان سیستم قدرت، با فرکانس زاویه ای ω به عنوان هارمونیک اصلی و معلوم، به صورت مجموع هارمونیک‌ها با مقادیر مجهول اندازه و فاز در نظر گرفت.

مدل سیگنال قدرت آغشته به اغتشاش:

$$y(t) = \sum_{n=1}^N a_n \sin(n\omega t + \varphi_n) + v(t) \quad (3-32)$$

که در آن N تعداد هارمونیکها و $\omega_0 = 2\pi f_0$ بوده که f_0 فرکانس اصلی می باشد و $v(t)$ نویز سفید گوسی جمع شونده است.

اگر رابطه (۳-۳۲) را به صورت زمان گسسته بنویسیم:

$$y_k = \sum_{n=1}^N a_n \sin(\omega_n k T_s + \varphi_n) + v_k \quad (33-3)$$

ω_1 = فرکانس زاویه ای اصلی

φ_n = زاویه فاز هارمونیک n-ام

a_n = دامنه سیگنال هارمونیک n-ام

T_s = زمان نمونه برداری

v_k = نویز سفید گوسی $\text{rand}(t)$ ، ۰،۰۰۱

رابطه (۳۳-۳) را می توان به صورت یک مساله رگرسیون خطی به فرم زیر نوشت:

$$y(k) = \mathbf{x}^T(k) \boldsymbol{\theta}(k) \quad (33-3)$$

که:

$$\mathbf{x}(k) = [\sin(\omega T_s), \cos(\omega T_s), \dots, \sin(N\omega T_s), \cos(N\omega T_s)]^T \quad (34-3)$$

$$\boldsymbol{\theta}(k) = [a_1 \cos(\varphi_1), a_1 \sin(\varphi_1), \dots, a_N \cos(\varphi_N), a_N \sin(\varphi_N)]^T \quad (35-3)$$

که در آن $\mathbf{x}(k)$ بردار رگرسیون متشکل از داده های معلوم بوده و $\boldsymbol{\theta}(k)$ بردار پارامترهای مجهول می باشد. پارامتر $\boldsymbol{\theta}(k)$ با حل مساله بهینه سازی بدست می آید (با فرض $\boldsymbol{\theta} = \boldsymbol{\theta}(k)$) و سپس \hat{a}_n پارامتر دامنه و $\hat{\varphi}_n$ پارامتر فاز هارمونیک مرتبه n-ام به صورت زیر محاسبه شود:

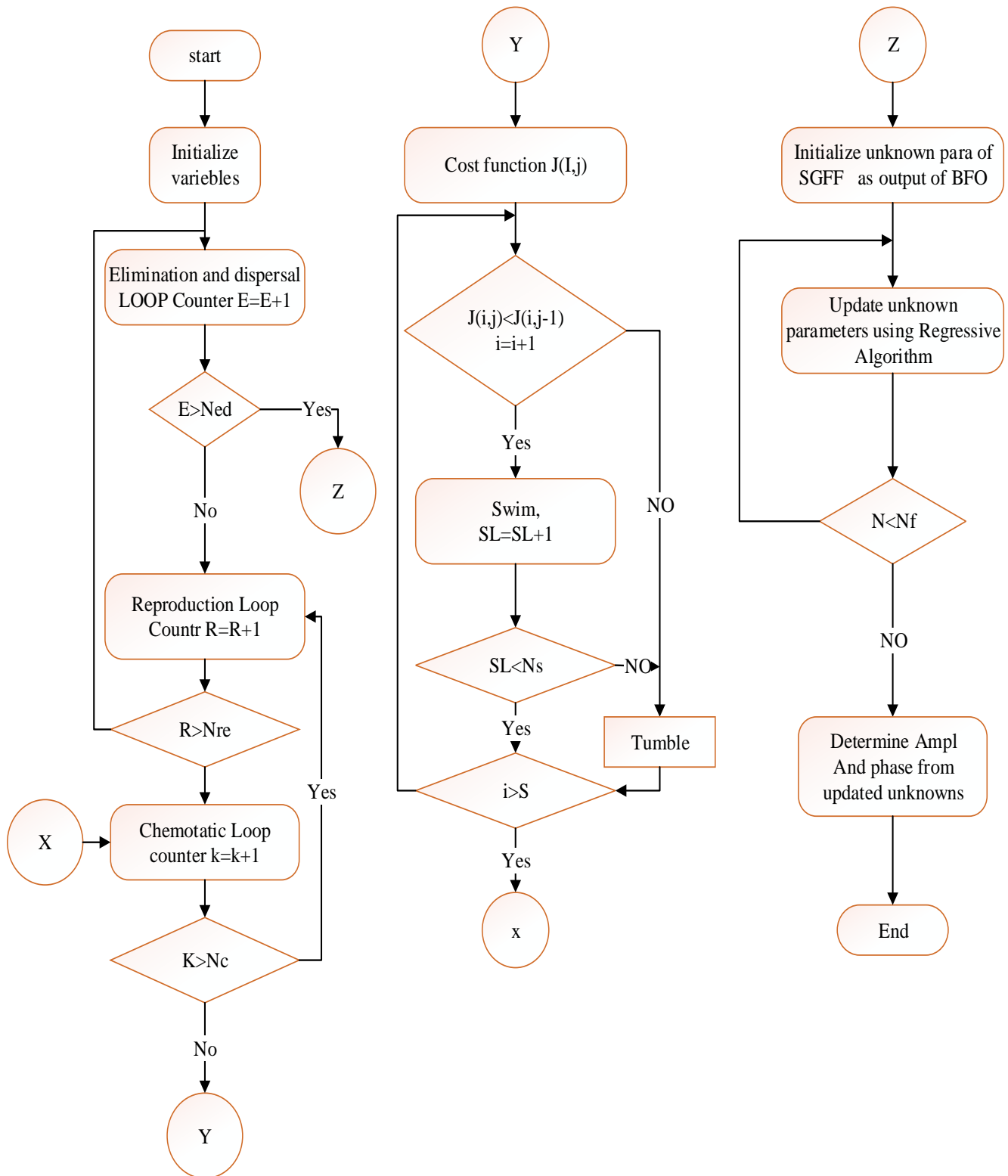
$$\hat{a}_n = \sqrt{\theta_{2n}^2 + \theta_{2n-1}^2} \quad (36-3)$$

$$\hat{\varphi}_n = \tan^{-1}\left(\frac{\theta_{2n}}{\theta_{2n-1}}\right) \quad (37-3)$$

که در آن n مرتبه هارمونیک می‌باشد.

۳-۱۱ ساختار الگوریتم ترکیبی پیشنهادی جهت تخمین هارمونیک

فلوچارت روش تخمین هارمونیک پیشنهادی در شکل (۳-۴) بطور مختصر و در شکل (۳-۵) بطور جزئی تر نشان داده شده است در این روش ابتدا سیگنال اولیه با داده های اندک وارد الگوریتم BFO می شود و پارامترهای مجهول یعنی $\hat{\theta}$ توسط الگوریتم BFO بهینه سازی می شود. خروجی بهینه از الگوریتم BFO بعنوان مقادیر اولیه پارامترهای مجهول یعنی $\hat{\theta}(0)$ برای الگوریتم SGFF در نظر گرفته می شود. سپس $\hat{\theta}(k)$ به روز شده در مراحل الگوریتم های بازگشتی مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین تخمین مولفه های هارمونیک یعنی اندازه \hat{a} از روی $\hat{\theta}(k)$ به روز شده از خروجی الگوریتم های بازگشتی طبق روابط بدست می آید. علت استفاده از روش ترکیبی ذکر شده به این خاطر است که در تخمین به روش الگوریتم های بازگشتی روند همگرایی به نقطه شروع و حدس اولیه بسیار حساس می باشد و به همین علت ابتدا با تعداد داده های اندک و محدود با روش Off-line به کمک الگوریتم هوشمند BFO مقدار پارامترهای اولیه را برای الگوریتم های بازگشتی بدست می آوریم پس از محاسبه این تخمین اولیه ، الگوریتم های بازگشتی به صورت on-line به کار گرفته می شود.



شکل ۳-۹ فلوجارت روش ترکیبی الگوریتم BFO و الگوریتم های بازگشتی

فصل چهارم

نتایج و شبیه‌سازی

۴-۱ شبیه سازی

در این بخش یک سیگنال با دامنه متغیر با زمان سیستم قدرت برای تخمین هارمونیک های مرتبه اول، سوم و پنجم در نظر گرفته شده است [36].

$$y(k) = (1.5 + b_1(k)) \sin\left(k\omega T_s + \frac{\pi}{6}\right) + (0.5 + b_3(k)) \sin\left(3k\omega T_s + \frac{\pi}{3}\right) + (0.2 + b_5(k)) \sin\left(5k\omega T_s + \frac{\pi}{4}\right) + 0.001 \text{rand}(t) \quad (1-4)$$

که در آن داریم :

$$b_1(k) = 0.15 \sin 2\pi f_1 k T_s + 0.05 \sin 2\pi f_5 k T_s$$

$$b_3(k) = 0.05 \sin 2\pi f_3 k T_s + 0.02 \sin 2\pi f_5 k T_s \quad (2-4)$$

$$b_5(k) = 0.025 \sin 2\pi f_1 k T_s + 0.005 \sin 2\pi f_5 k T_s$$

برای تخمین دامنه و فاز معادله (۴-۳۸) باز نویسی می شود:

$$y(k) = x^T(k) \theta(k) \quad (3-4)$$

سپس سیگنال به شکل پارامتری تبدیل می شود :

$$x(k) = [\sin(k\omega T_s) \cos(k\omega T_s) \sin(3k\omega T_s) \cos(3k\omega T_s) \sin(5k\omega T_s) \cos(5k\omega T_s)]^T \quad (4-4)$$

همچنین :

$$\theta(k) = [a_1 \cos(\varphi_1) \ a_1 \sin(\varphi_1) \ a_3 \cos(\varphi_3) \ a_3 \sin(\varphi_3) \ a_5 \cos(\varphi_5) \ a_5 \sin(\varphi_5)]^T \quad (5-4)$$

که بردار پارامترهای سیگنال به صورت زیر بدست می آید:

$$\theta(k) = [(1.5 + b_1(k)) \cos\varphi_1 \ (1.5 + b_1(k)) \sin\varphi_1 \ (0.5 + b_3(k)) \cos\varphi_3 \ (0.5 + b_3(k)) \sin\varphi_3 \ (0.2 + b_5(k)) \cos\varphi_5 \ (0.2 + b_5(k)) \sin\varphi_5]^T \quad (6-4)$$

با در نظر گرفتن $\theta = \theta(k) \in R^6$ پس از به روز رسانی بردار پارامترهای مجهول، دامنه و فاز اصلی و

هارمونیک سوم و پنجم، به صورت زیر بدست می آید:

که در آن $\hat{a}_1, \hat{a}_3, \hat{a}_5$ پارامترهای تخمین دامنه و $\hat{\varphi}_1, \hat{\varphi}_3, \hat{\varphi}_5$ پارامترهای تخمین فاز می باشند.

$$\hat{a}_1 = \sqrt{\theta_1^2 + \theta_2^2} \quad (7-4)$$

$$\hat{a}_3 = \sqrt{\theta_3^2 + \theta_4^2} \quad (8-4)$$

$$\hat{a}_5 = \sqrt{\theta_5^2 + \theta_6^2} \quad (9-4)$$

$$\hat{\varphi}_1 = \tan^{-1}\left(\frac{\theta_2}{\theta_1}\right) \quad (10-4)$$

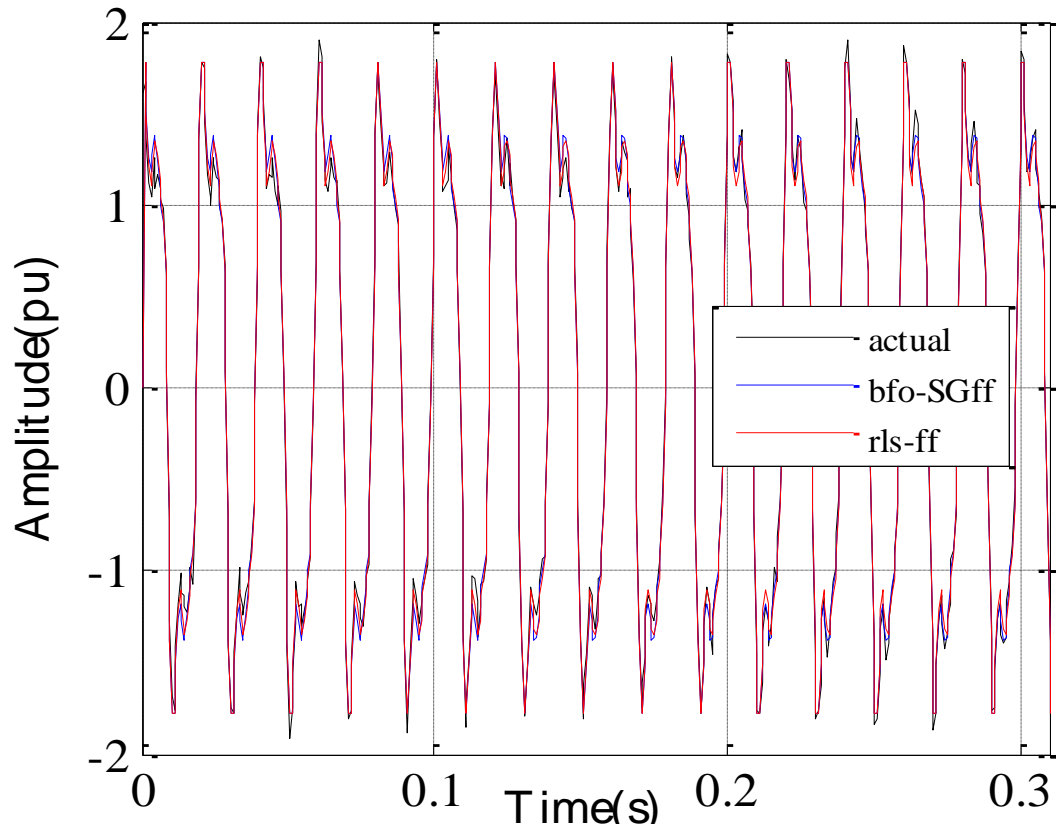
$$\hat{\varphi}_3 = \tan^{-1}\left(\frac{\theta_4}{\theta_3}\right) \quad (11-4)$$

$$\hat{\varphi}_5 = \tan^{-1}\left(\frac{\theta_6}{\theta_5}\right) \quad (12-4)$$

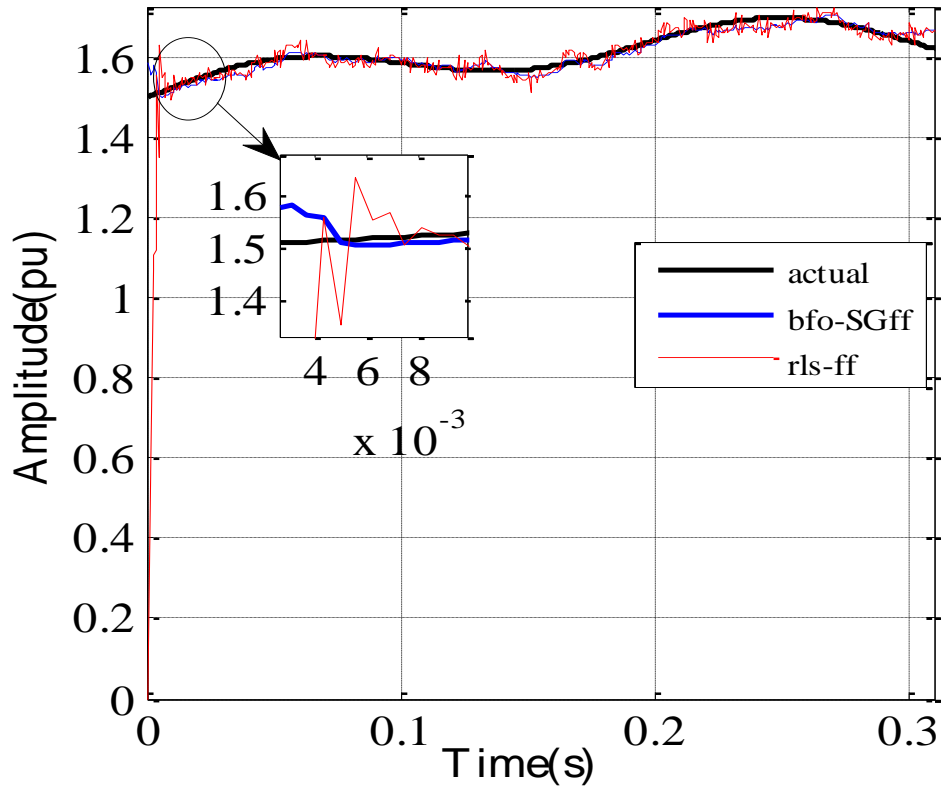
همانطور که توضیح داده شد ابتدا الگوریتم BFO با گرفتن تعداد داده های اندک (در اینجا تنها ۲۰ نمونه اول از سیگنال) تخمین اولیه از پارامتر مجهول را بدست می آورد سپس الگوریتم های بازگشتی با و ضرب فراموشی مورد استفاده قرار گرفته است. شکل (۱-۴) تخمین و بازسازی سیگنال قدرت با استفاده از روش پیشنهادی و روش RLSFF به همراه سیگنال اصلی نشان داده شده است. در شکل (۲-۴) و (۳-۴) و (۴-۴) تخمین پارامترهای a_1, a_3, a_5 به ترتیب پارامترهای دامنه هارمونیک اول، سوم و پنجم نشان داده شده است و تخمین پارامترهای $\varphi_1, \varphi_3, \varphi_5$ به ترتیب پارامترهای فاز هارمونیک اول، سوم و پنجم در شکل

(۵-۴) و (۶-۴) و (۷-۴) نشان داده شده است. همانطور که در این شکلها مشاهده می‌شود در روش پیشنهادی با تخمین اولیه بسیار مناسب و در ادامه با همگرایی سریع نسبت به روش RLS-FF کارایی بهتری را از خود نشان می‌دهد.

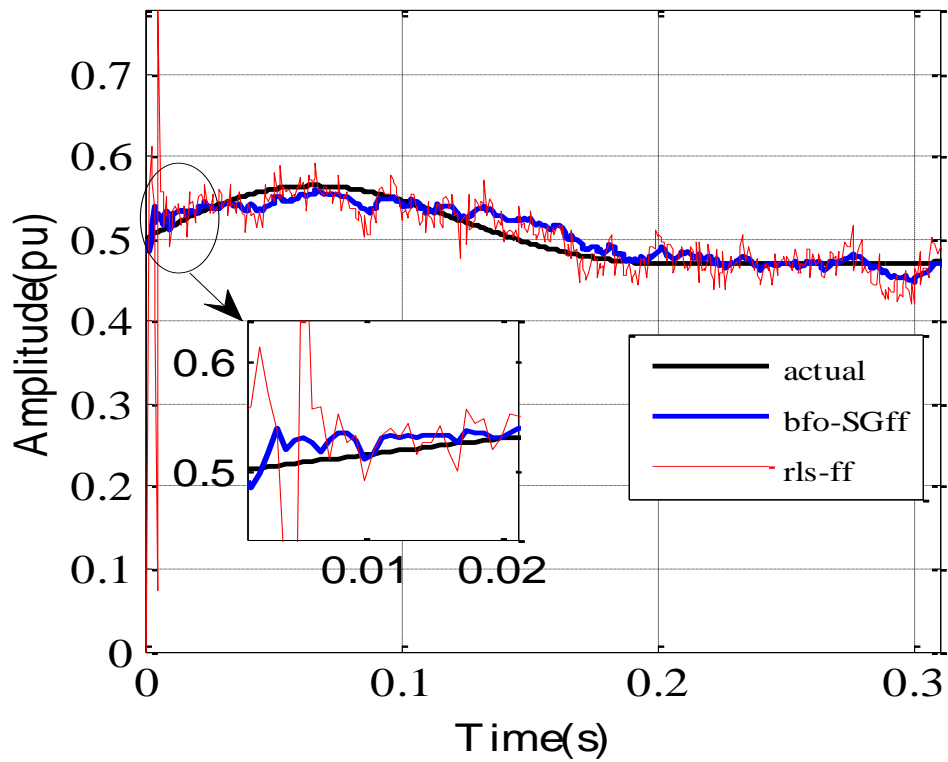
۴-۱-۱ نتایج شبیه سازی روش BFO-SGFF



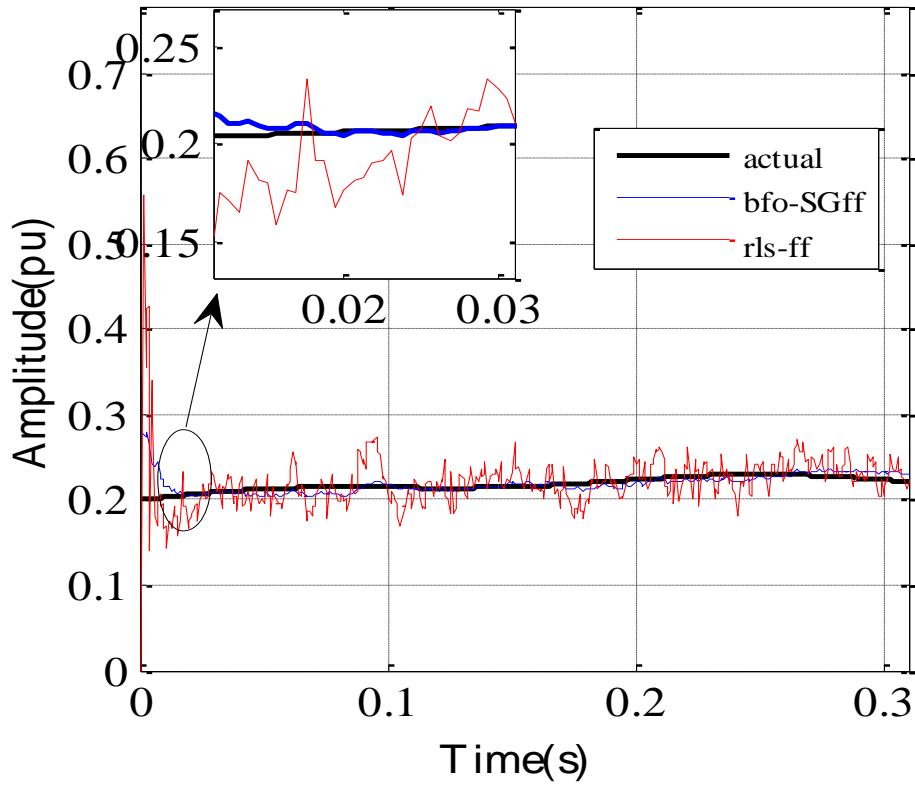
شکل ۴-۱: تخمین سیگنال مرجع



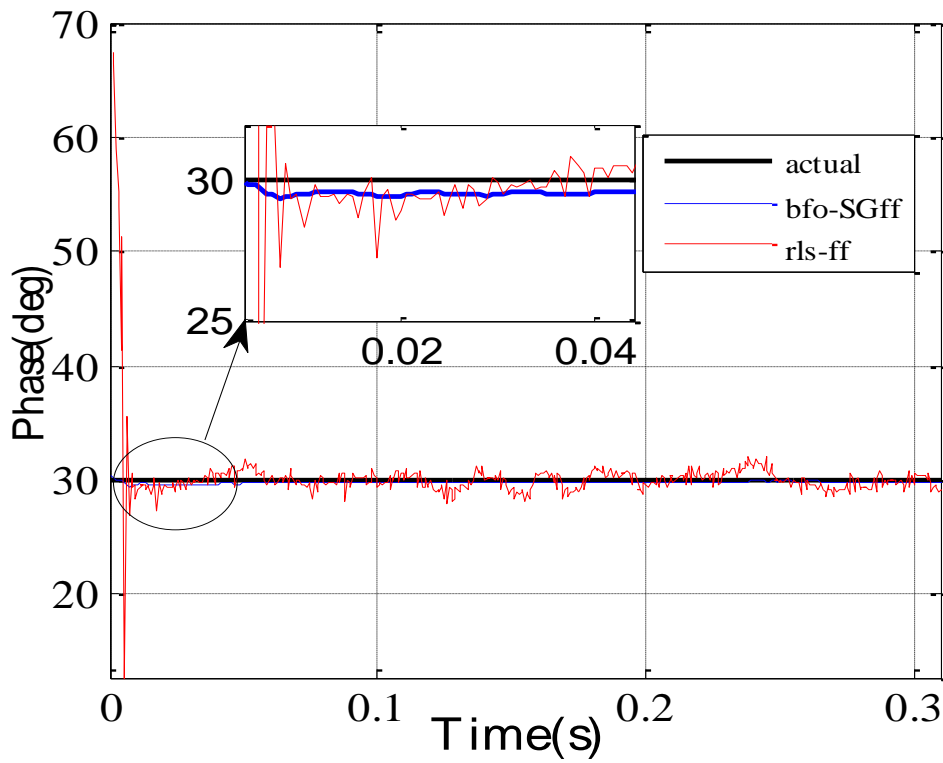
شکل ۴-۲: تخمین دامنه هارمونیک اول



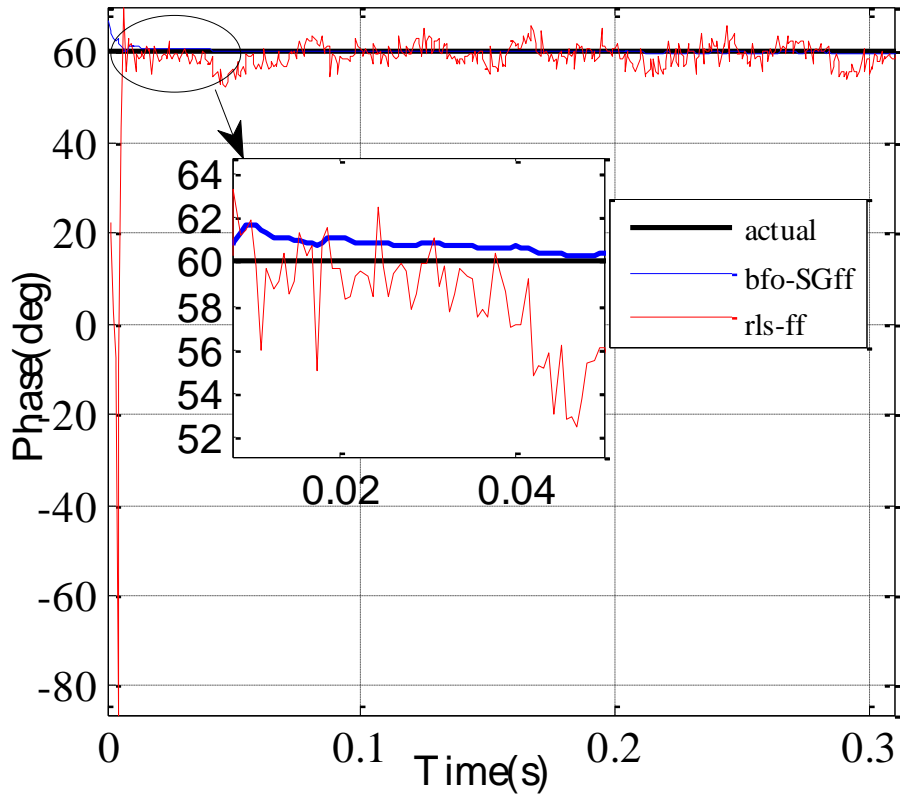
شکل ۴-۳: تخمین دامنه هارمونیک سوم



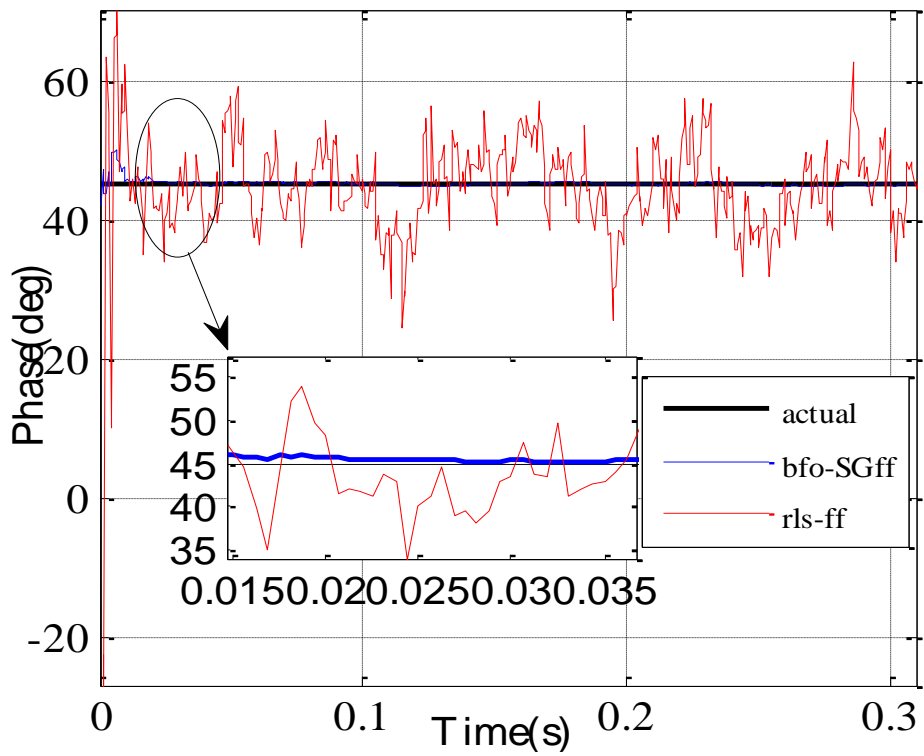
شکل ۴-۴: تخمین دامنه هارمونیک پنجم



شکل ۴-۵: تخمین فاز هارمونیک اول



شکل ۴-۶: تخمین فاز هارمونیک سوم



شکل ۴-۷: تخمین فاز هارمونیک پنجم

برای اثبات کارایی روش های پیشنهادی و RLSFF از روش های مقدار میانگین مربعات خطا (MSE) و مقدار متوسط قدر مطلق خطا (MAE) و درصد خطا (%error) استفاده شده است نتایج بدست آمده از روش های فوق در جدولهای ۱-۴ و ۲-۴ و ۳-۴ ذکر شده است. جدول شماره ۱-۴ نتایج حاصله برای معیار MSE، جدول شماره ۲-۴ مربوط معیار MAE و جدول ۳-۴ مربوط به معیار درصد خطاست.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [y(k) - \hat{y}(k)]^2 \quad (13-4)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^n |y(k) - \hat{y}(k)| \quad (14-4)$$

$$\%error = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^n \left(\frac{[y(k) - \hat{y}(k)]^2}{(y(k))^2} \right) \times 100 \quad (15-4)$$

جدول ۴-۱: مقایسه مقدار میانگین مربعات خطا الگوریتم های BFO-SGFF با RLSFF

روش	دامنه			فاز		
	هارمونیک اول	هارمونیک سوم	هارمونیک پنجم	هارمونیک اول	هارمونیک سوم	هارمونیک پنجم
BFO-SGFF	0.0003	0.0002	0.0001	0.0273	0.156	7.414
RLSFF	0.0094	0.0014	0.0012	12.155	90.645	59.404

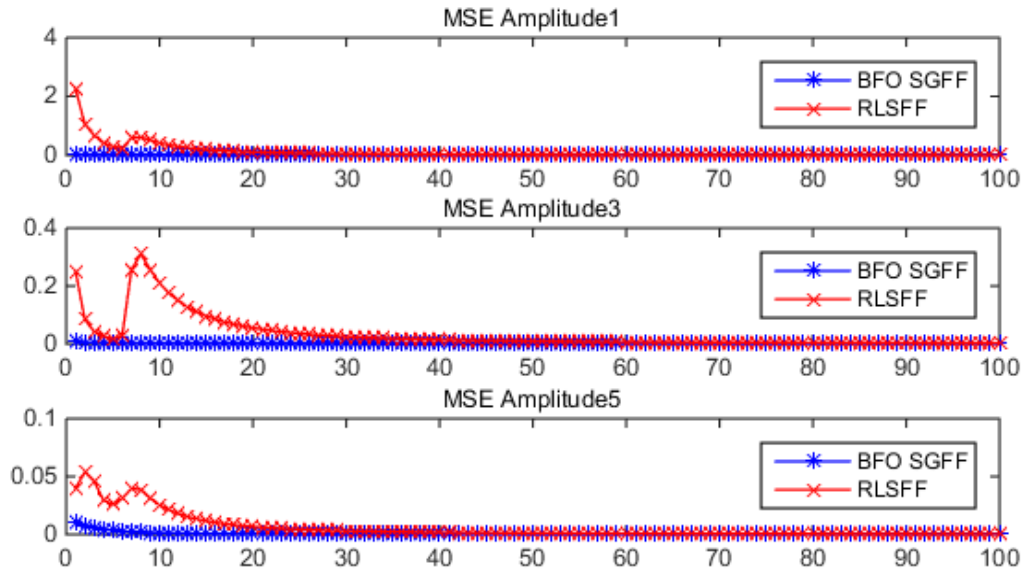
جدول ۴-۲: مقایسه مقدار متوسط قدر مطلق خطا الگوریتم های BFO-SGFF با RLSFF

روش	دامنه			فاز		
	هارمونیک اول	هارمونیک سوم	هارمونیک پنجم	هارمونیک اول	هارمونیک سوم	هارمونیک پنجم
BFO-SGFF	0.0275	0.0223	0.117	0.2037	0.5608	1.0446
RLSFF	0.428	0.355	0.323	1.514	4.808	8.194

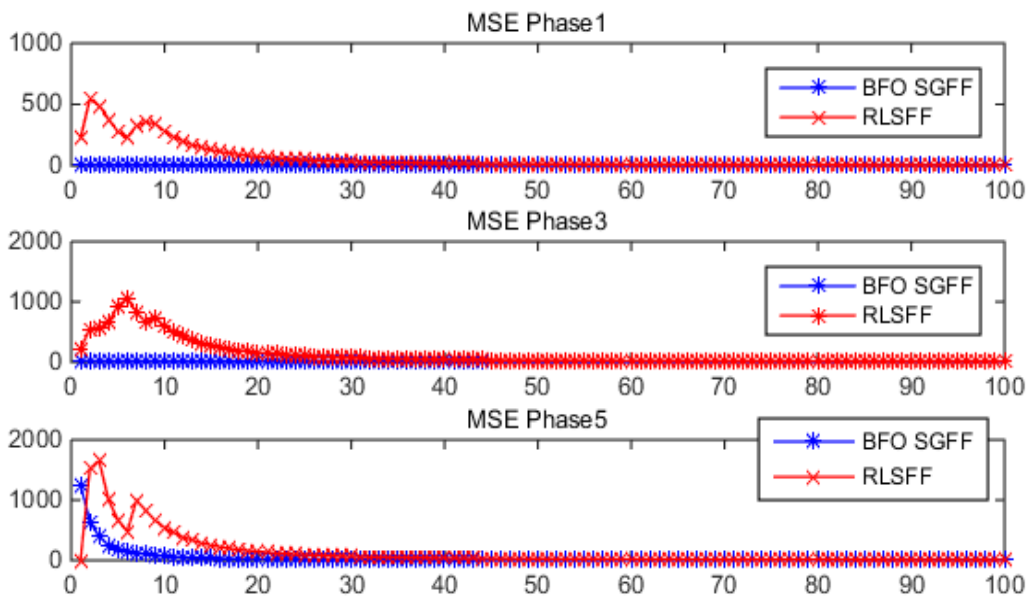
جدول ۴-۳: مقایسه درصد خطا الگوریتم های BFO-SGFF با RLSFF

روش	دامنه			فاز		
	هارمونیک اول	هارمونیک سوم	هارمونیک پنجم	هارمونیک اول	هارمونیک سوم	هارمونیک پنجم
BFO-SGFF	1.963×10^{-4}	1.133×10^{-4}	7.4417×10^{-5}	9.27×10^{-4}	1.53×10^{-2}	4.46×10^{-3}
RLSFF	1.43×10^{-2}	5.36×10^{-3}	5.63×10^{-4}	2.73	15.67	27.68

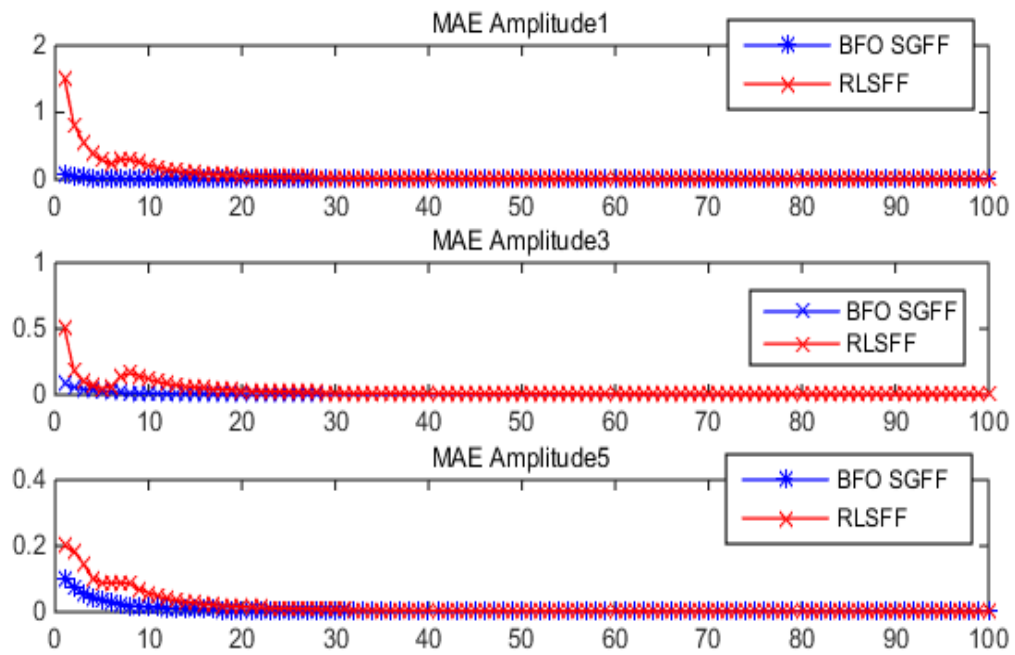
شکل ۴-۸ و ۴-۹ به ترتیب مربوط به مقایسه روش پیشنهادی و روش RLSFF برای دامنه و فازهای هارمونیک می باشد، شکل های ۴-۱۰ و ۴-۱۱ مقایسه مربوط به معیار MAE دامنه و فازها بوده و شکل های ۴-۱۲ و ۴-۱۳ مقایسه معیار %error دامنه و فازهای هارمونیک سیستم قدرت می باشد. مقادیر بدست آمده نشان دهنده این نکته است که روش پیشنهادی به مقادیر سیگنال مرجع نزدیکتر بوده و دارای کارایی بیشتری نسبت به روش RLSFF می باشد.



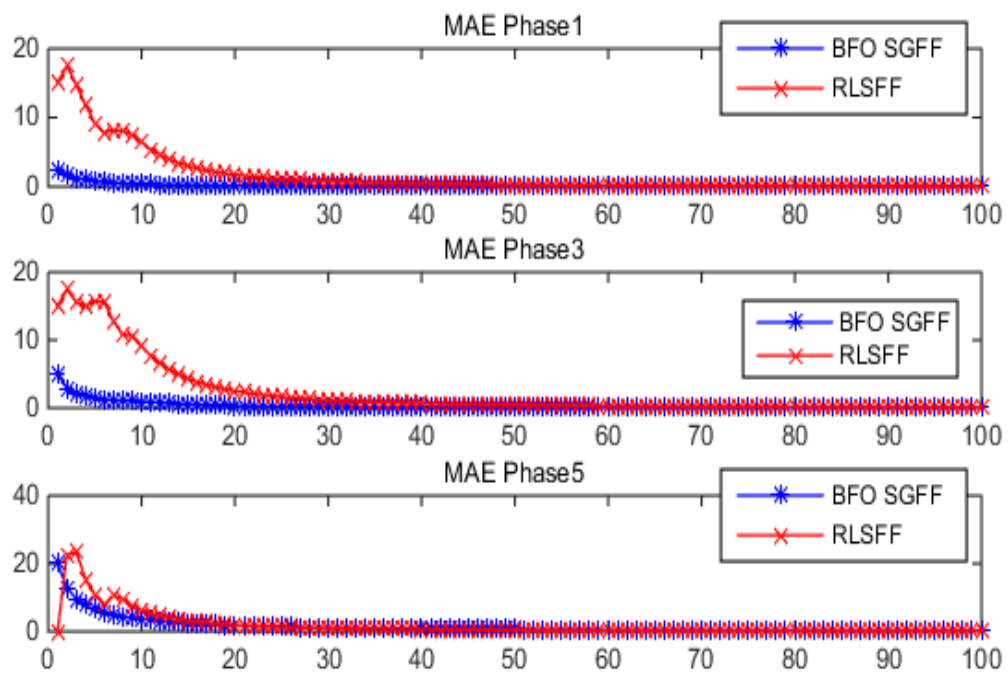
شکل ۴-۸ : مقدار میانگین مربعات خطا دامنه هارمونیک



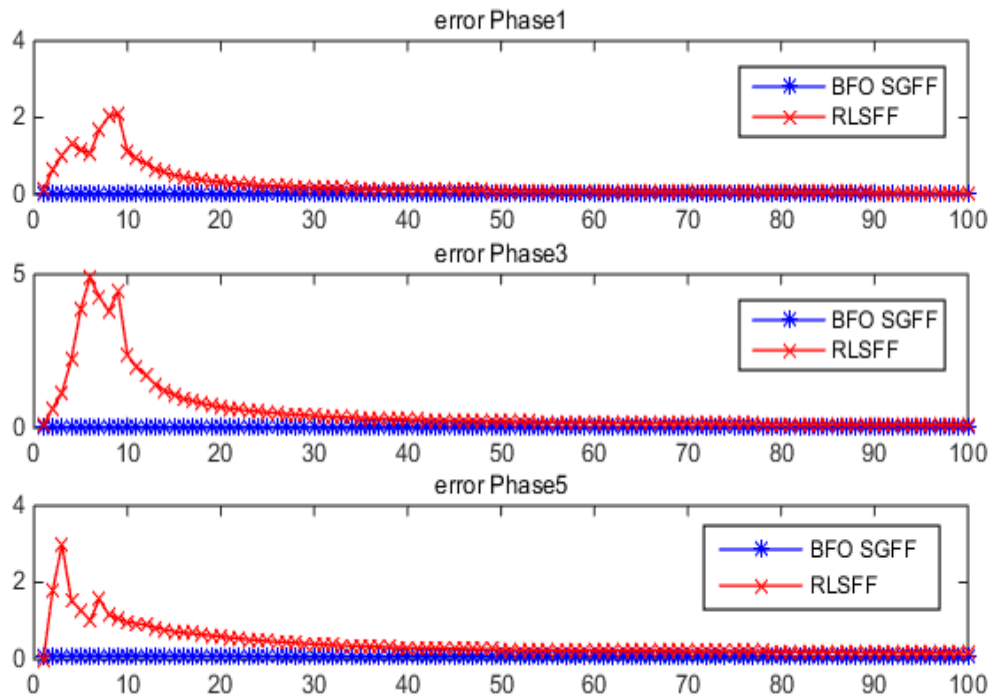
شکل ۴-۹ : مقدار میانگین مربعات خطا فاز هارمونیک



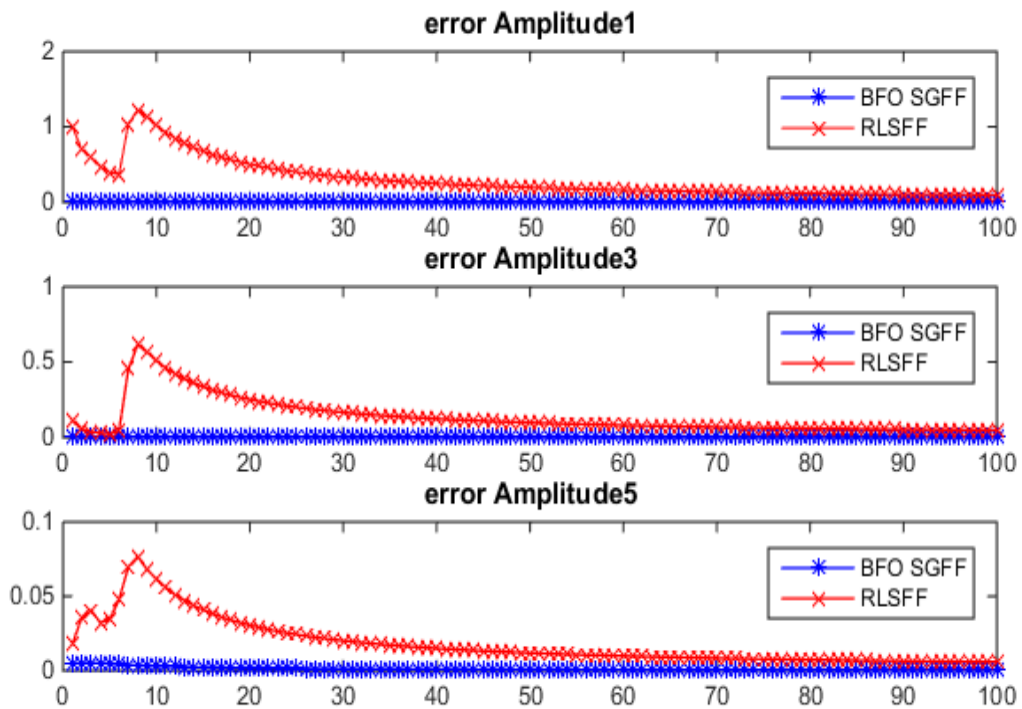
شکل ۴-۱۰ : مقدار متوسط قدر مطلق خطا دامنه هارمونیک



شکل ۴-۱۱ : مقدار متوسط قدر مطلق خطا فاز هارمونیک



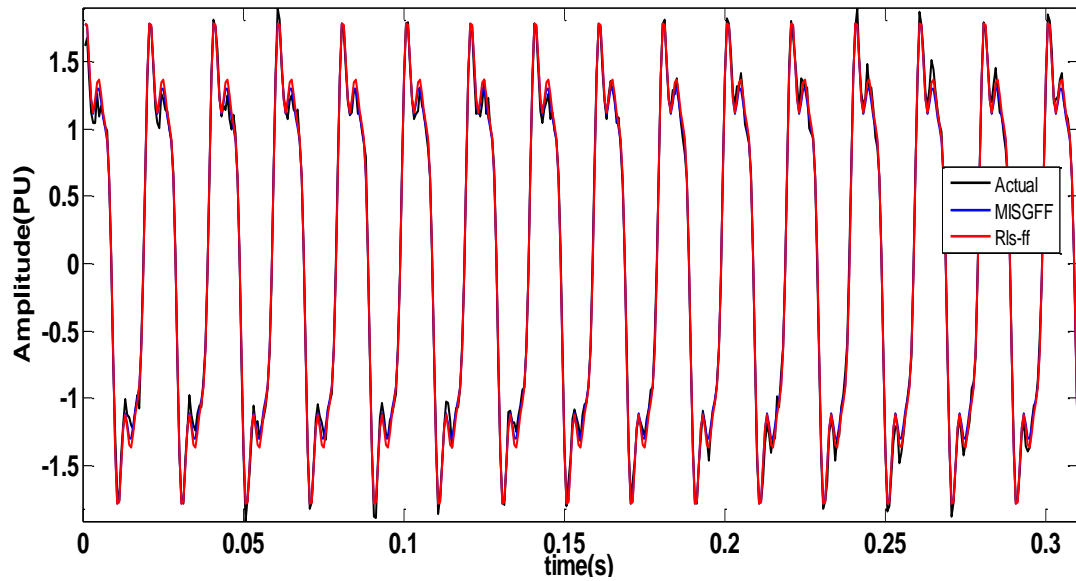
شکل ۴-۱۲ : درصد خطا دامنه هارمونیک



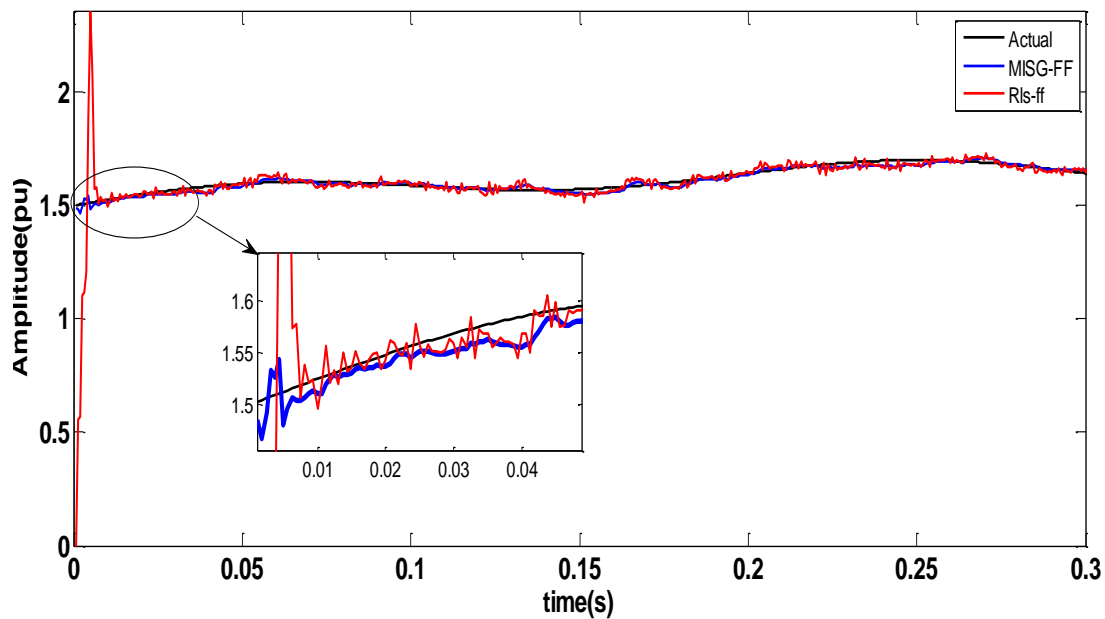
شکل ۴-۱۳ : درصد خطا فاز هارمونیک

شکل (۴-۱۴) تخمین و بازسازی سیگنال قدرت با استفاده از روش پیشنهادی و روش RLSFF به همراه سیگنال اصلی نشان داده شده است. در شکل (۴-۱۵) و (۴-۱۶) و (۴-۱۷) تخمین پارامترهای a_1 ، a_3 و a_5 به ترتیب پارامترهای دامنه هارمونیک اول، سوم و پنجم نشان داده شده است.

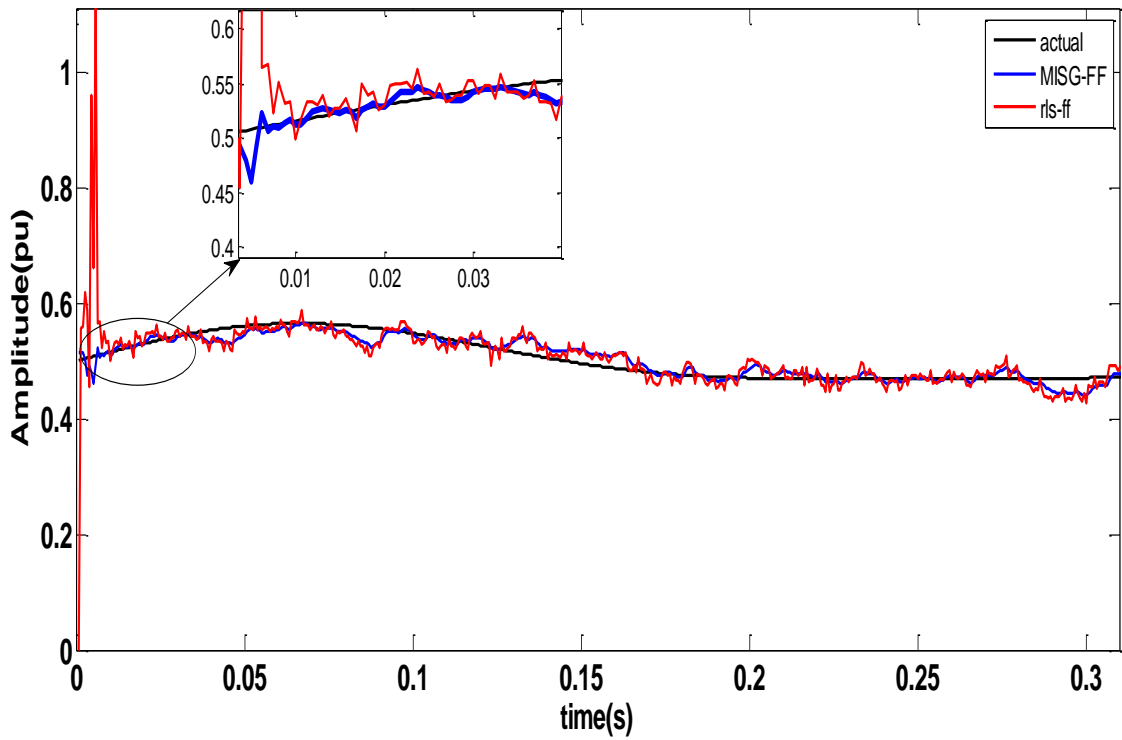
۴-۱-۲ نتایج شبیه سازی روش BFO-MISGFF



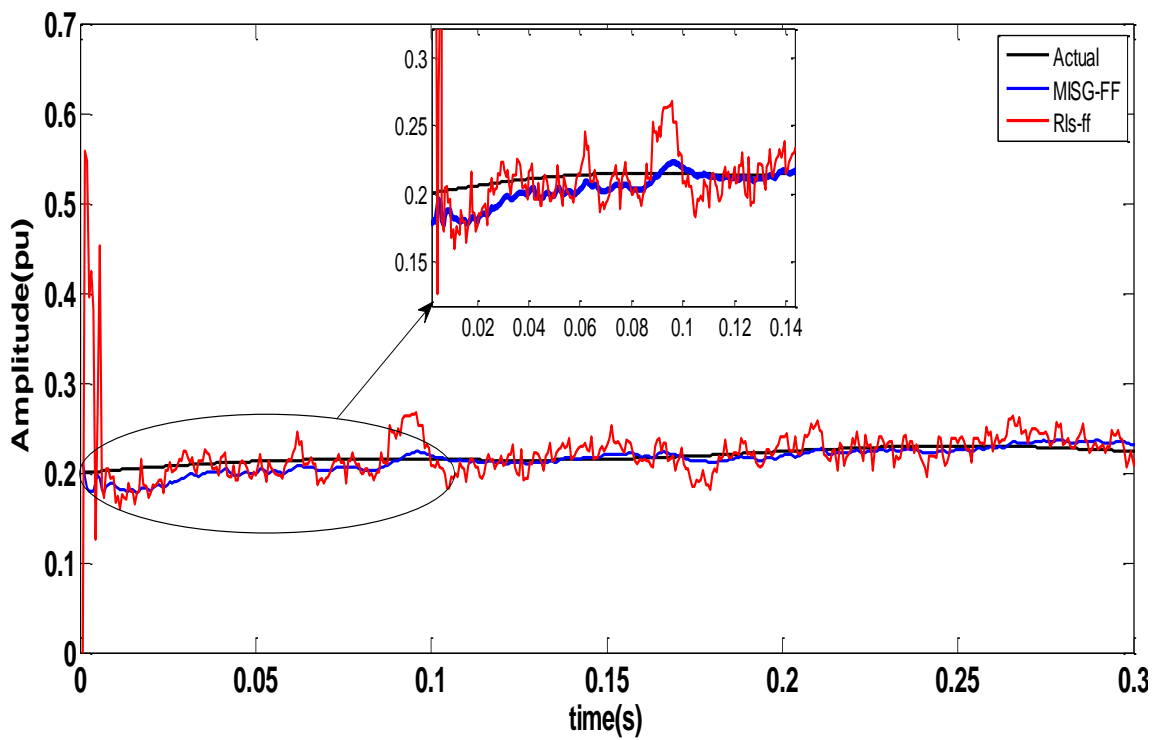
شکل ۴-۱۴: تخمین سیگنال مرجع



شکل ۴-۱۵: تخمین دامنه هارمونیک اول

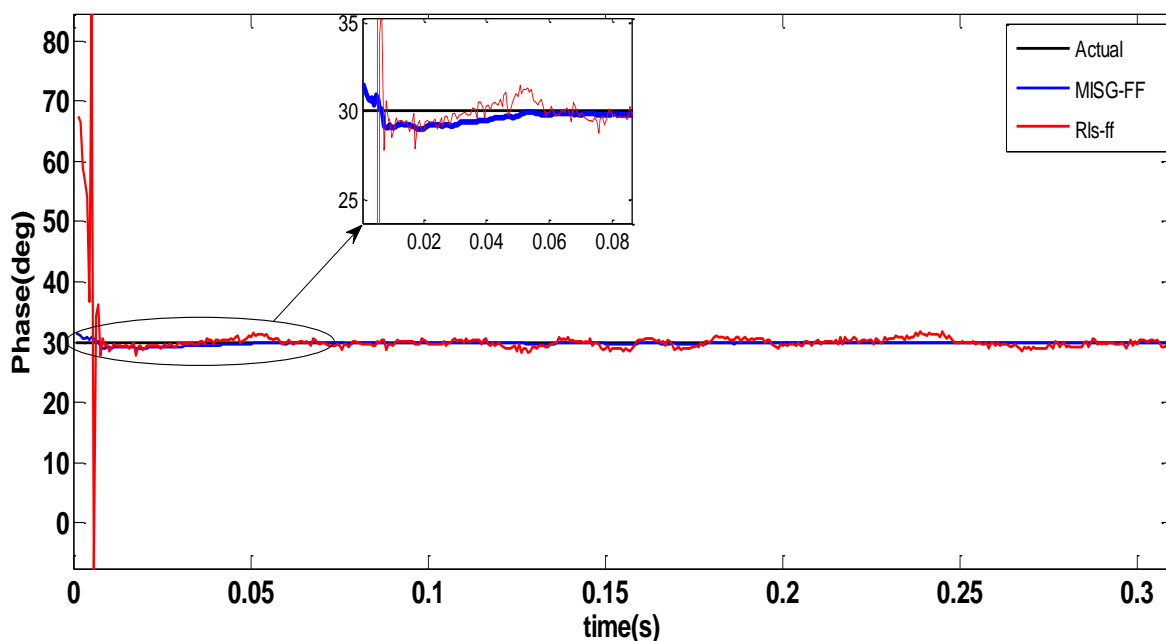


شکل ۴-۱۶: تخمین دامنه هارمونیک سوم

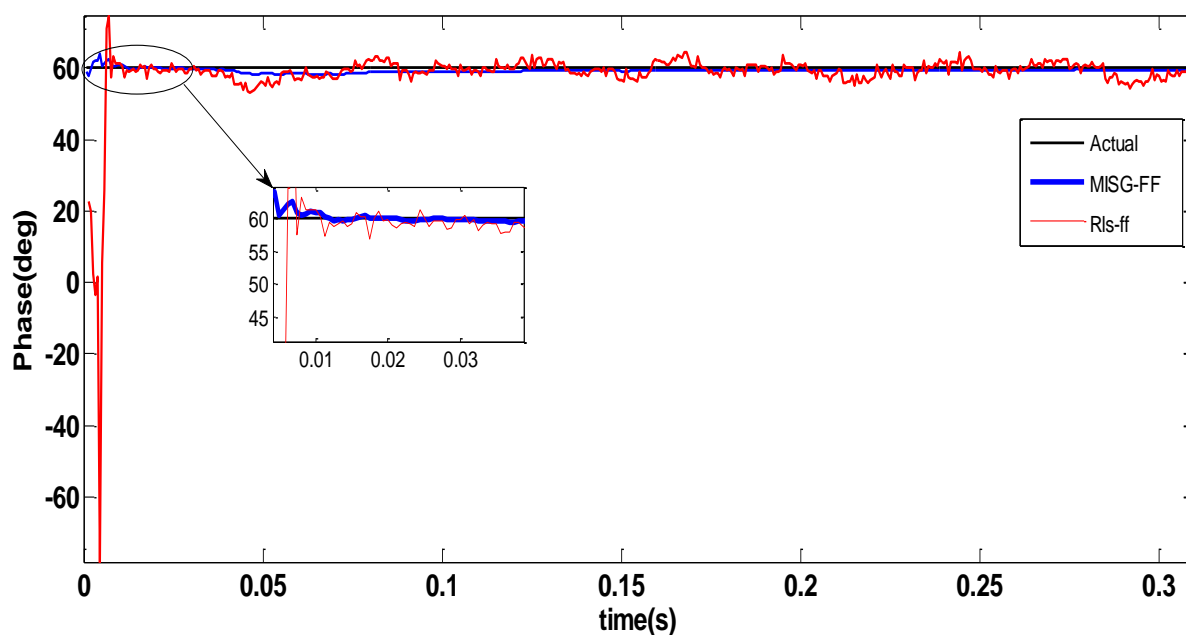


شکل ۴-۱۷: تخمین دامنه هارمونیک پنجم

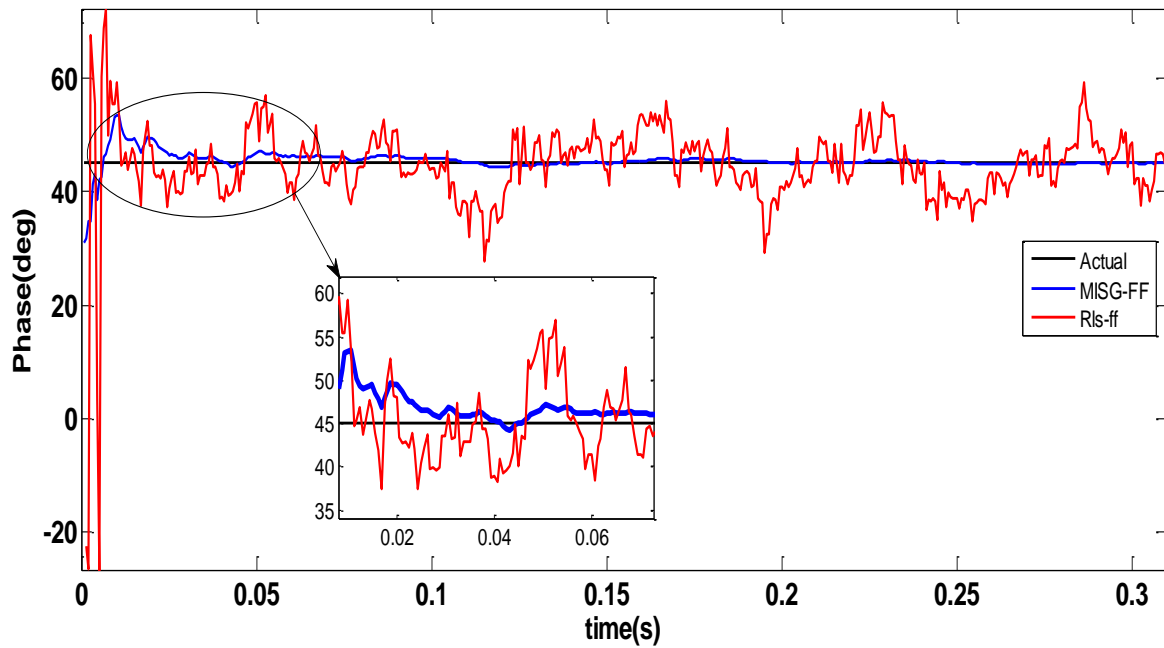
و تخمین پارامترهای φ_1 ، φ_3 و φ_5 به ترتیب پارامترهای فاز هارمونیک اول ، سوم و پنجم در شکل ۴-۱۸ و (۴-۱۹) و (۴-۲۰) نشان داده شده است. همانطور که در این شکلها مشاهده می‌شود در روش پیشنهادی با تخمین اولیه بسیار مناسب و در ادامه با همگرایی سریع نسبت به روش RLS-FF کارایی بهتری را از خود نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۸: تخمین فاز هارمونیک اول



شکل ۴-۱۹: تخمین فاز هارمونیک سوم



شکل ۴-۲۰: تخمین فاز هارمونیک پنجم

جدول ۴-۴: مقایسه مقدار میانگین مربعات خطا الگوریتم های BFO-MISGFF با RLSFF

روش	دامنه			فاز		
	هارمونیک اول	هارمونیک سوم	هارمونیک پنجم	هارمونیک اول	هارمونیک سوم	هارمونیک پنجم
BFO- MISGFF	0.0054	0.0004	0.0067	0.0038	0.456	8.784
RLSVFF	0.0087	0.0056	0.0076	11.565	80.85	59.404

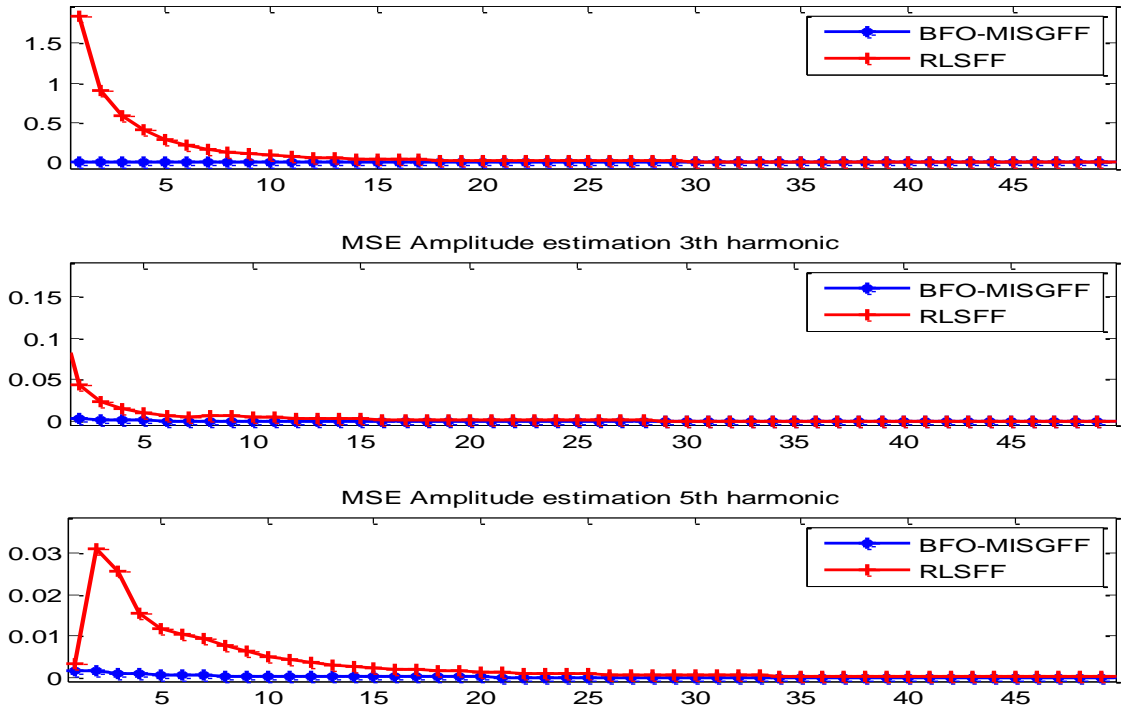
جدول ۴-۵: مقایسه مقدار متوسط قدر مطلق خطا الگوریتم های BFO-MISGFF با RLSFF

روش	دامنه			فاز		
	هارمونیک اول	هارمونیک سوم	هارمونیک پنجم	هارمونیک اول	هارمونیک سوم	هارمونیک پنجم
BFO MISGFF	0.0075	0.034	0.114	0.4067	0.4608	1.0046
RLSVFF	0.58	0.378	0.355	1.694	3.664	7.987

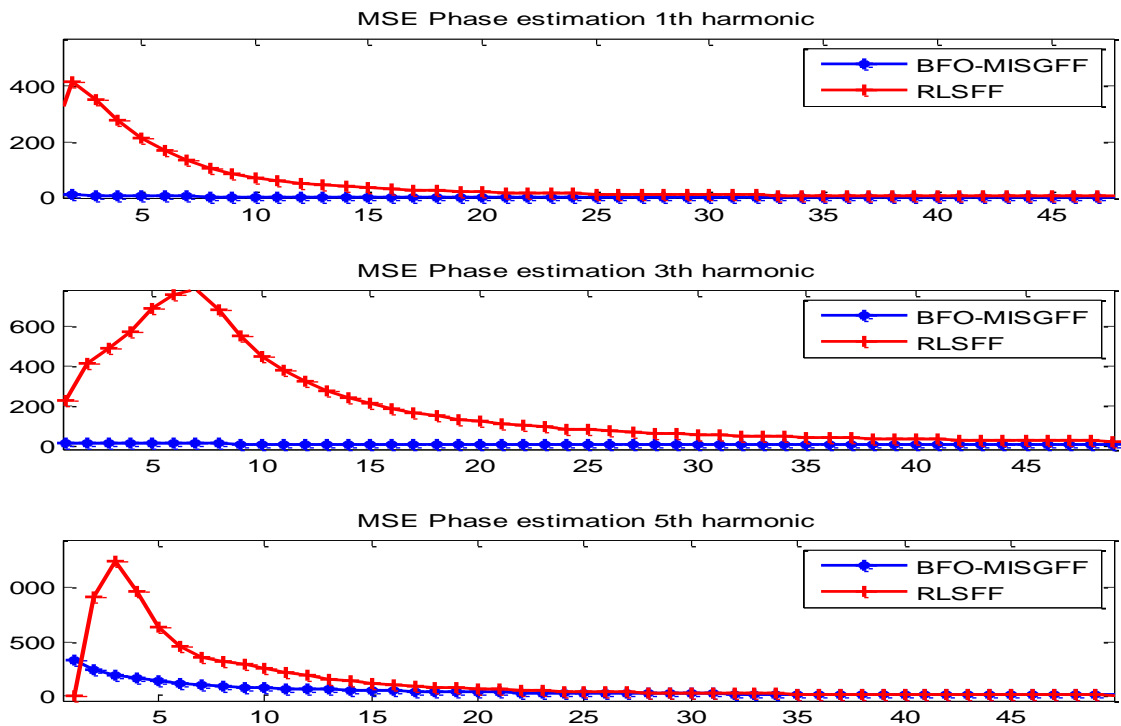
جدول ۴-۶: مقایسه درصد خطا الگوریتم های BFO-MISGFF با RLSFF

روش	دامنه			فاز		
	هارمونیک اول	هارمونیک سوم	هارمونیک پنجم	هارمونیک اول	هارمونیک سوم	هارمونیک پنجم
BFO- MISGFF	1.563×10^{-4}	1.003×10^{-4}	6.47×10^{-5}	8.77×10^{-4}	1.67×10^{-2}	34.67×10^{-3}
RLSVFF	1.56×10^{-2}	4.87×10^{-3}	4.77×10^{-4}	3.456	14.65	29.88

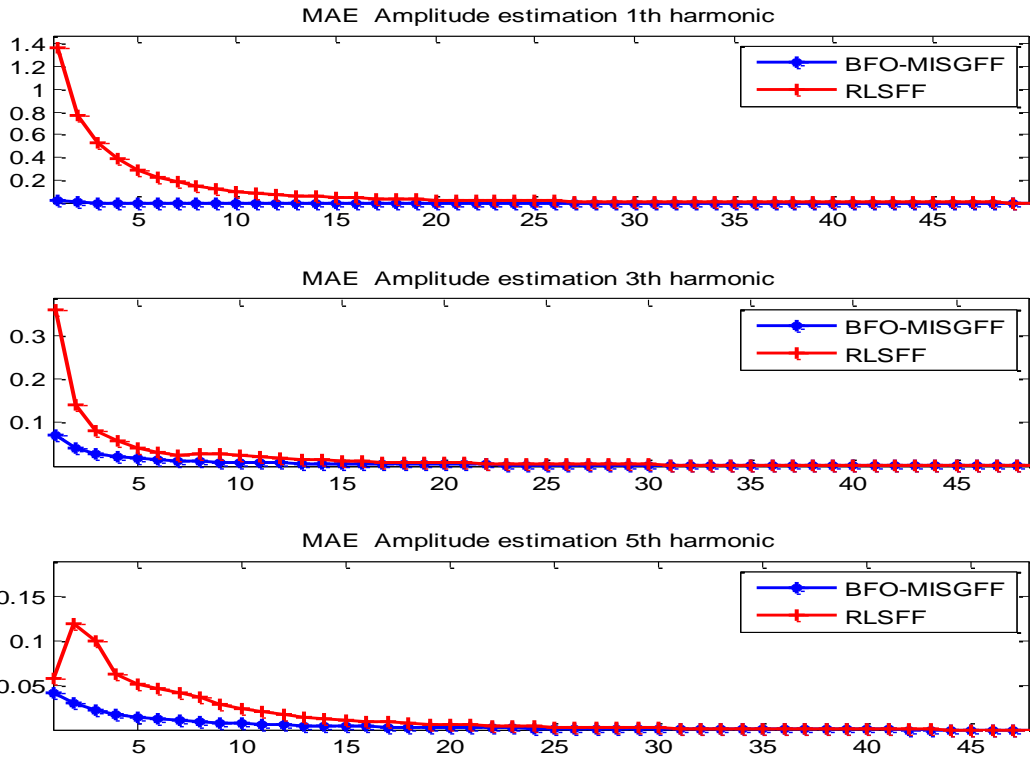
شکل ۴-۲۱ و ۴-۲۲ به ترتیب مربوط به مقایسه روش پیشنهادی و روش RLSFF برای دامنه و فازهای هارمونیک می باشد، شکل های ۴-۲۳ و ۴-۲۴ مقایسه مربوط به معیار MAE دامنه و فازها بوده و شکل های ۴-۲۵ و ۴-۲۶ مقایسه معیار %error دامنه و فازهای هارمونیک سیستم قدرت می باشد. مقادیر بدست آمده نشان دهنده این نکته است که روش پیشنهادی به مقادیر سیگنال مرجع نزدیکتر بوده و دارای کارایی بیشتری نسبت به روش RLSFF می باشد.



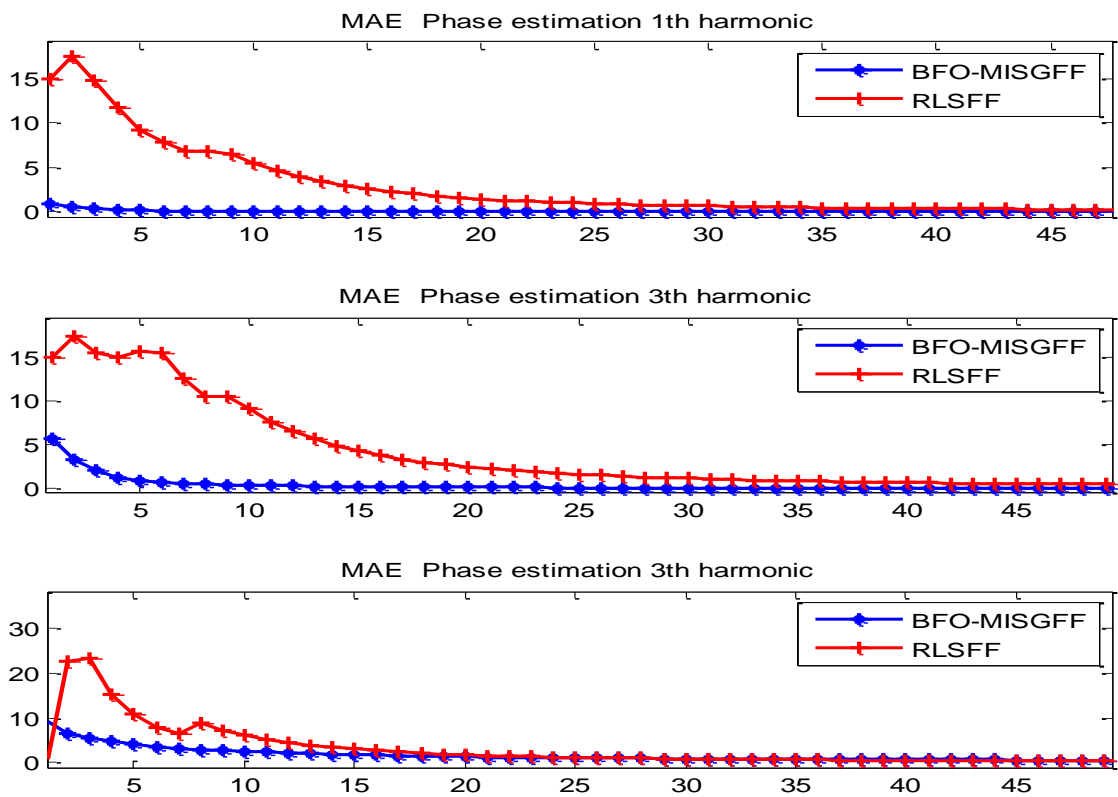
شکل ۴-۲۱: مقدار میانگین مربعات خطا دامنه هارمونیک



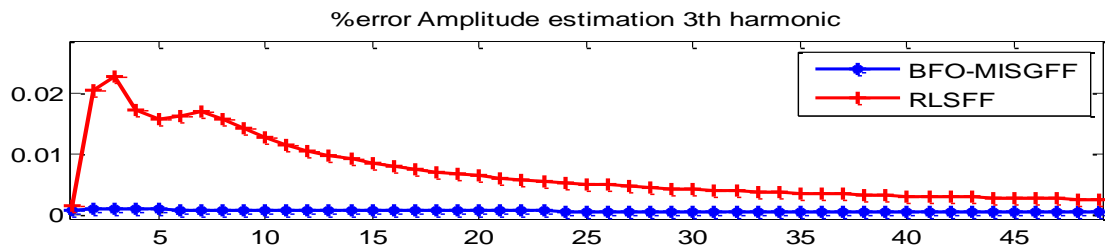
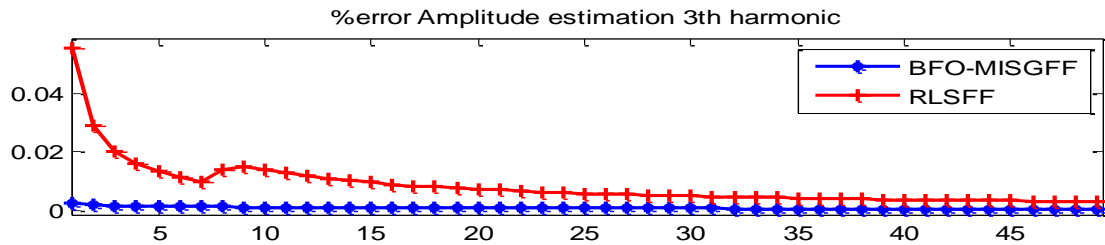
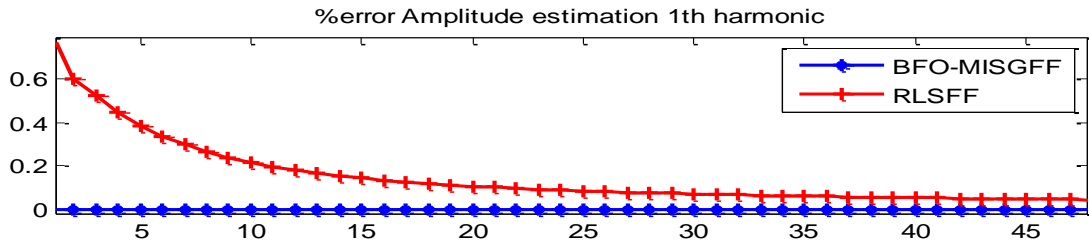
شکل ۴-۲۲: مقدار میانگین مربعات خطا فاز هارمونیک



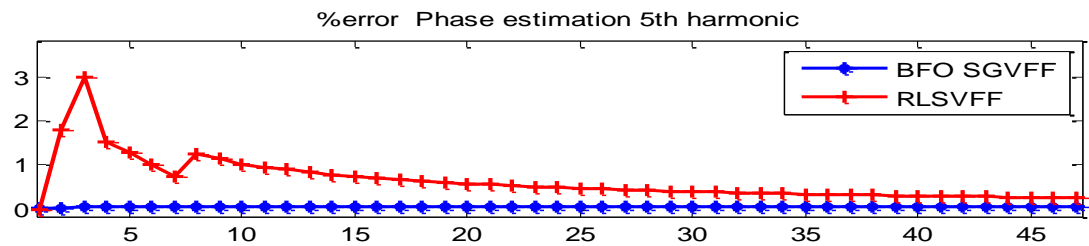
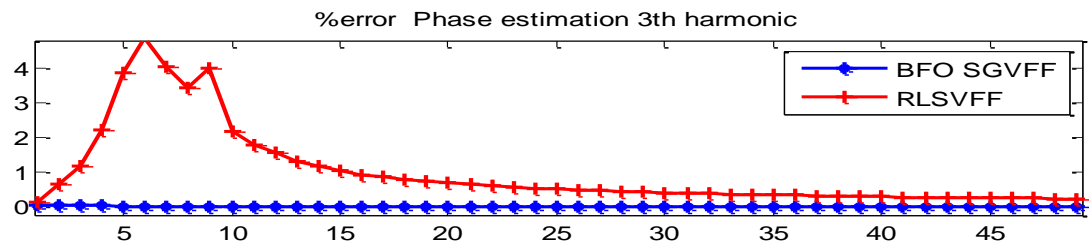
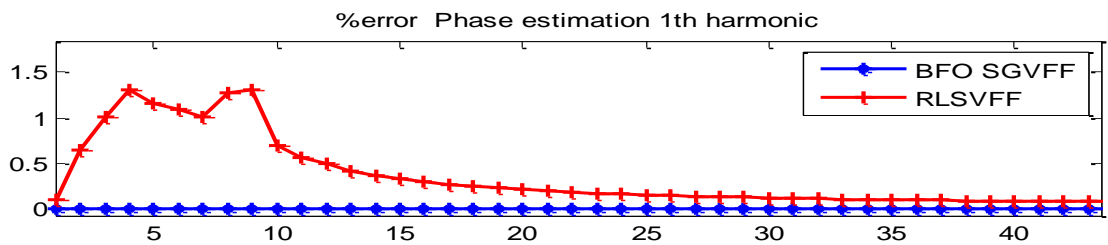
شکل ۴-۲۳: مقدار میانگین مربعات خطا دامنه هارمونیک



شکل ۴-۲۴: مقدار میانگین مربعات خطا فاز هارمونیک



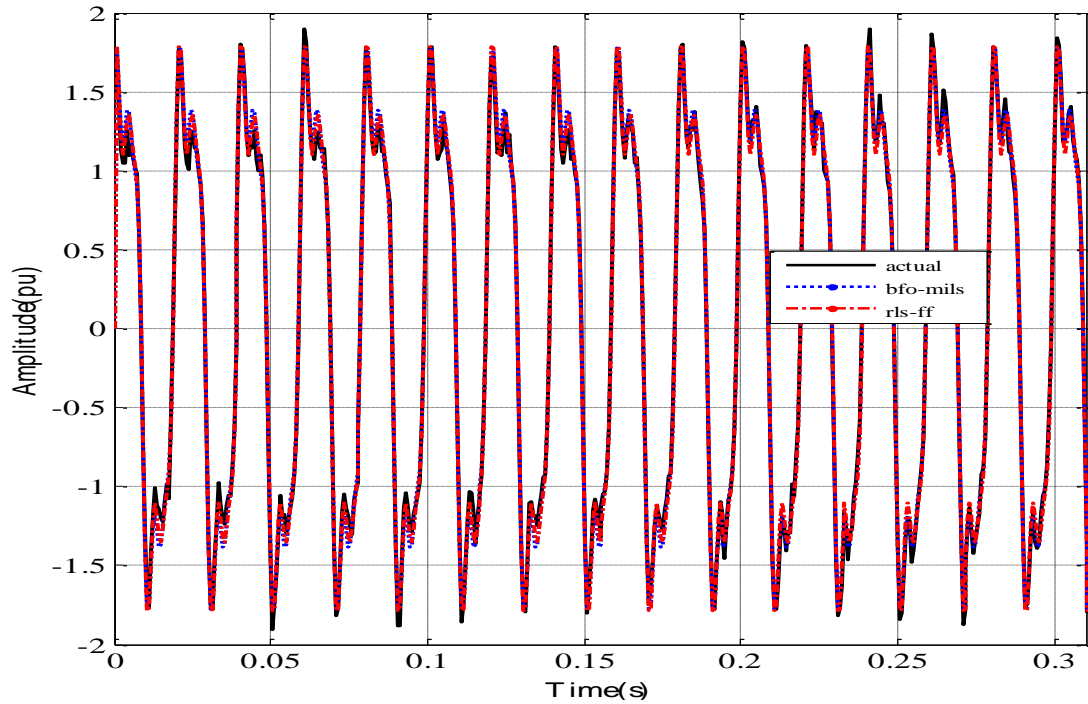
شکل ۴-۲۵: درصد خطا دامنه هارمونیک



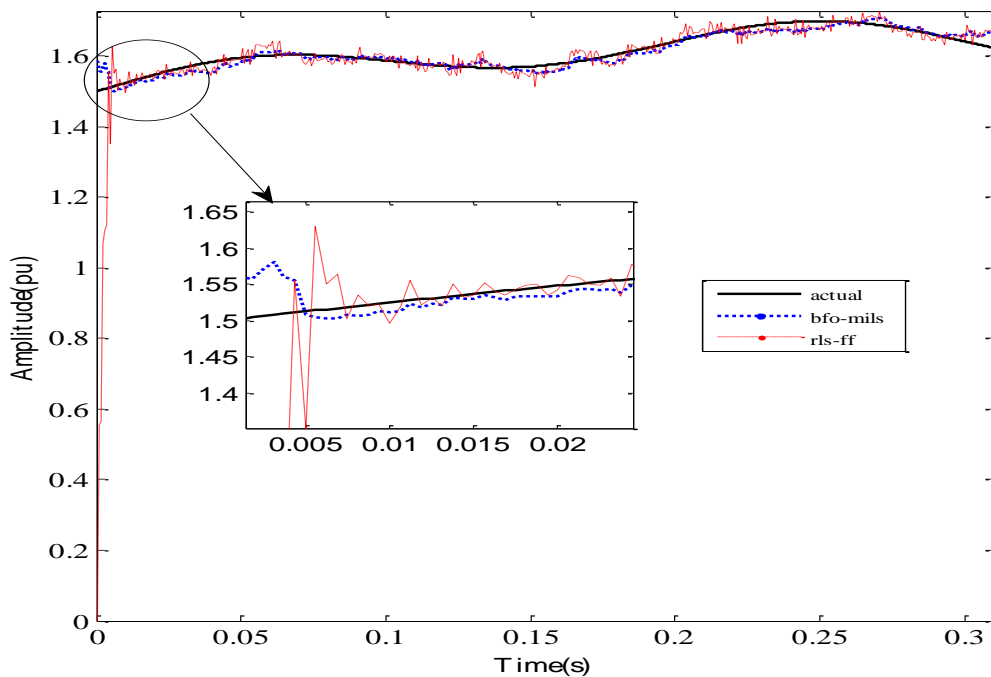
شکل ۴-۲۶: درصد خطا فاز هارمونیک

شکل (۴-۲۷) تخمین و بازسازی سیگنال قدرت با استفاده از روش پیشنهادی و روش RLSFF به همراه سیگنال اصلی نشان داده شده است. در شکل (۴-۲۸) و (۴-۲۹) و (۴-۳۰) تخمین پارامترهای a_1 ، a_3 و a_5 به ترتیب پارامترهای دامنه هارمونیک اول، سوم و پنجم نشان داده شده است

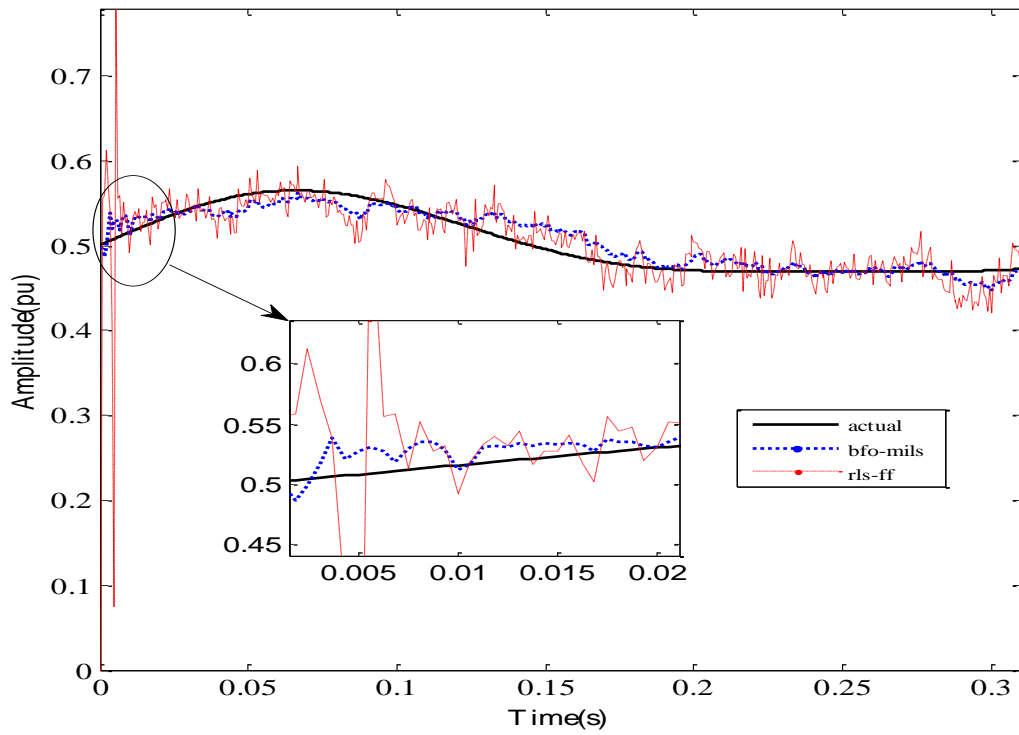
۴-۱-۳ نتایج شبیه سازی روش BFO-MILS



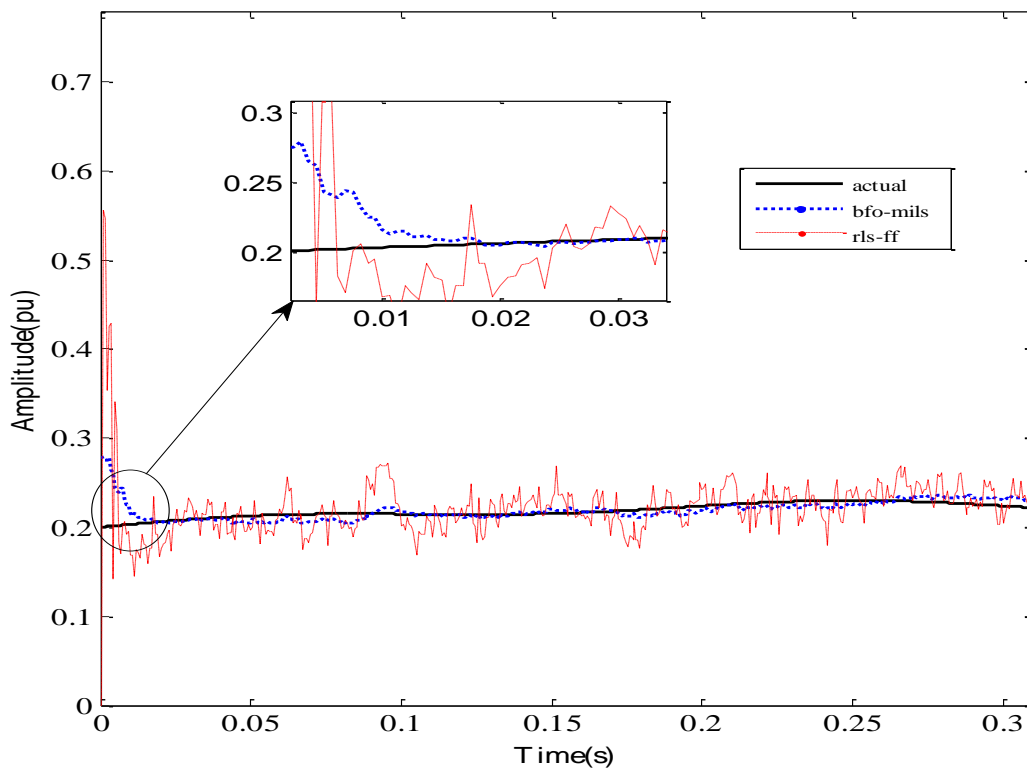
شکل ۴-۲۷: تخمین سیگنال مرجع



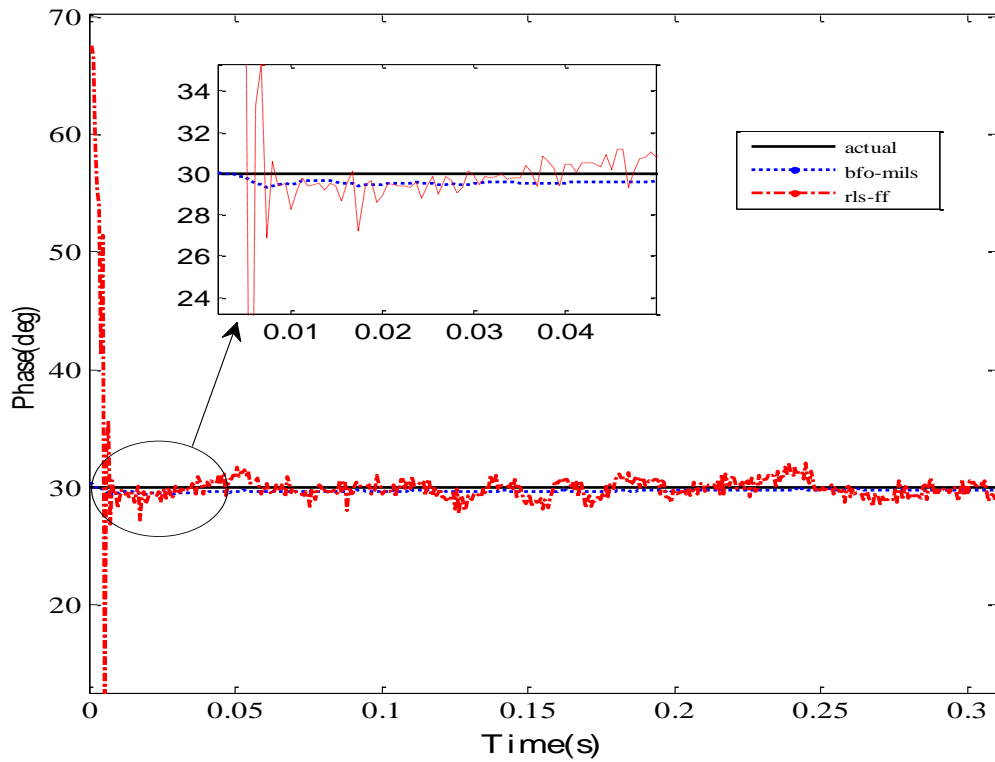
شکل ۴-۲۸: تخمین دامنه هارمونیک اول



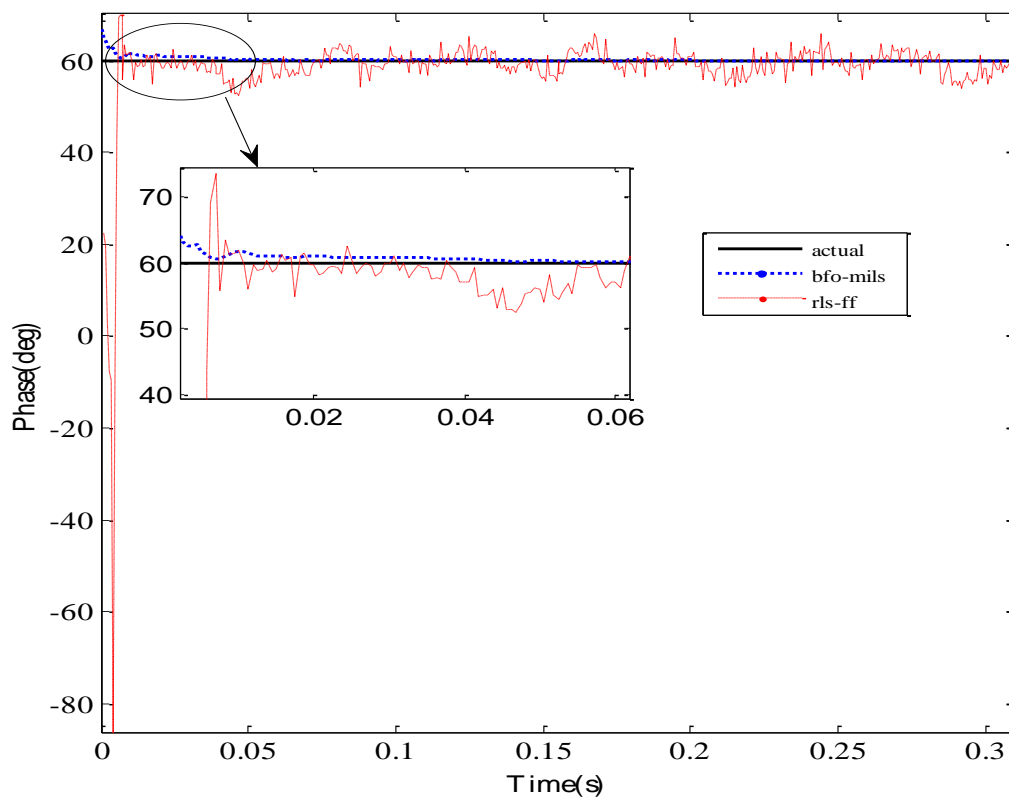
شکل ۴-۲۹: تخمین دامنه هارمونیک سوم



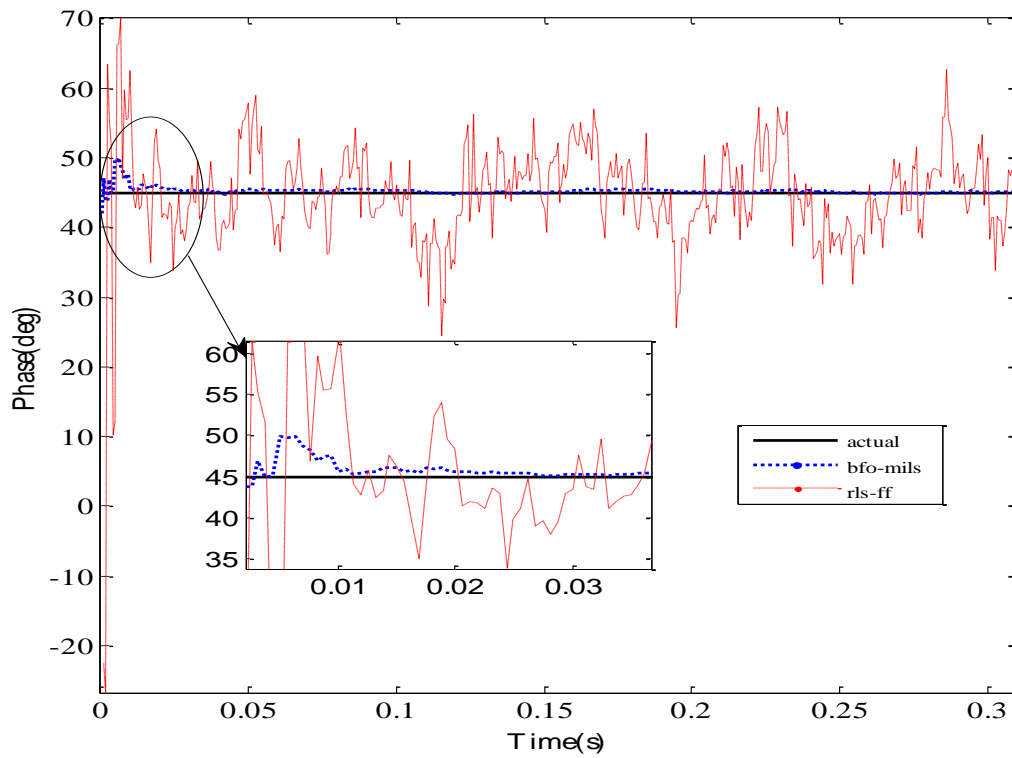
شکل ۴-۳۰: تخمین دامنه هارمونیک پنجم



شکل ۴-۳۱: تخمین فاز هارمونیک اول



شکل ۴-۳۲: تخمین فاز هارمونیک سوم



شکل ۴-۳: تخمین فاز هارمونیک پنجم

جدول ۴-۷: مقایسه مقدار میانگین مربعات خطا الگوریتم های BFO-MILS با RLSFF

روش	دامنه			فاز		
	هارمونیک اول	هارمونیک سوم	هارمونیک پنجم	هارمونیک اول	هارمونیک سوم	هارمونیک پنجم
BFO- MILS	0.087	0.0007	0.0069	0.0043	0.578	8.668
RLSFF	0.0097	0.0069	0.078	13.56	85.89	89.7

جدول ۴-۸: مقایسه مقدار متوسط قدر مطلق خطا الگوریتم های BFO-MILS با RLSFF

روش	دامنه			فاز		
	هارمونیک اول	هارمونیک سوم	هارمونیک پنجم	هارمونیک اول	هارمونیک سوم	هارمونیک پنجم
BFO MILS	0.0066	0.078	0.214	0.578	0.709	1.661
RLSFF	0.56	0.387	0.765	1.888	5.56	9.08

جدول ۴-۹: مقایسه درصد خطا الگوریتم های BFO-MILS با RLSFF

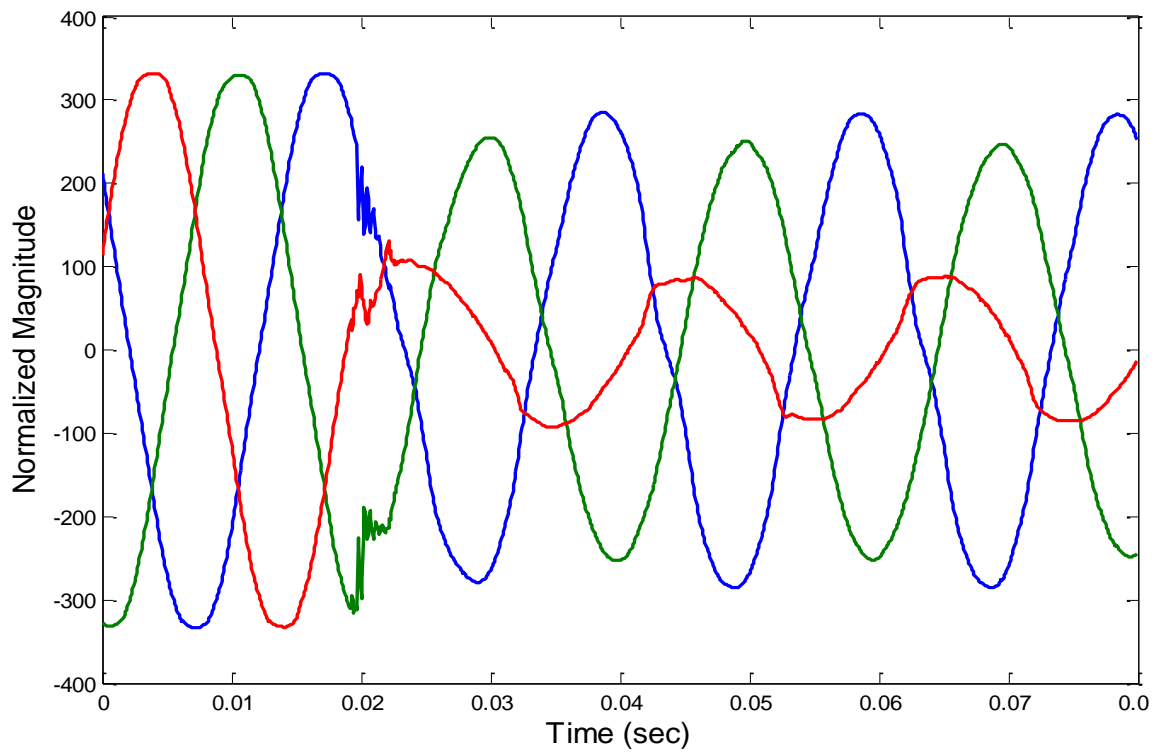
روش	دامنه			فاز		
	هارمونیک اول	هارمونیک سوم	هارمونیک پنجم	هارمونیک اول	هارمونیک سوم	هارمونیک پنجم
BFO- MILS	2.43×10^{-3}	1.56×10^{-4}	7.67×10^{-6}	7.707×10^{-4}	1.88×10^{-2}	46.67×10^{-3}
RLSFF	1.78×10^{-2}	5.97×10^{-3}	4.877×10^{-2}	4.87	16.88	27.98

۴-۳-۴ تست بر روی سیگنال صنعتی

برای اثبات کارایی و اطمینان بخشی روش ارائه شده در این پایان نامه، از تست بر روی داده های یک فیدر شبکه توزیع برق استان سمنان استفاده شده است [45]. آزمایش کیفیت توان با استفاده از یک لپ تاپ با پردازنده (2core-t9600) و با یک حافظه 4GB، ویندوز ۷، بررسی شده است. شکل ۴-۳۴ عکس از محل انجام آزمایش کیفیت توان در پست (4 KV, ۲۰/۰) است و شکل ۴-۳۵ سیگنال واقعی را نشان می دهد. در هر سیکل ۶۴ نقطه نمونه برداری شده است و از آنجایی که فرکانس سیستم ۵۰HZ می باشد، فرکانس نمونه برداری ۳,۵KHZ می باشد.

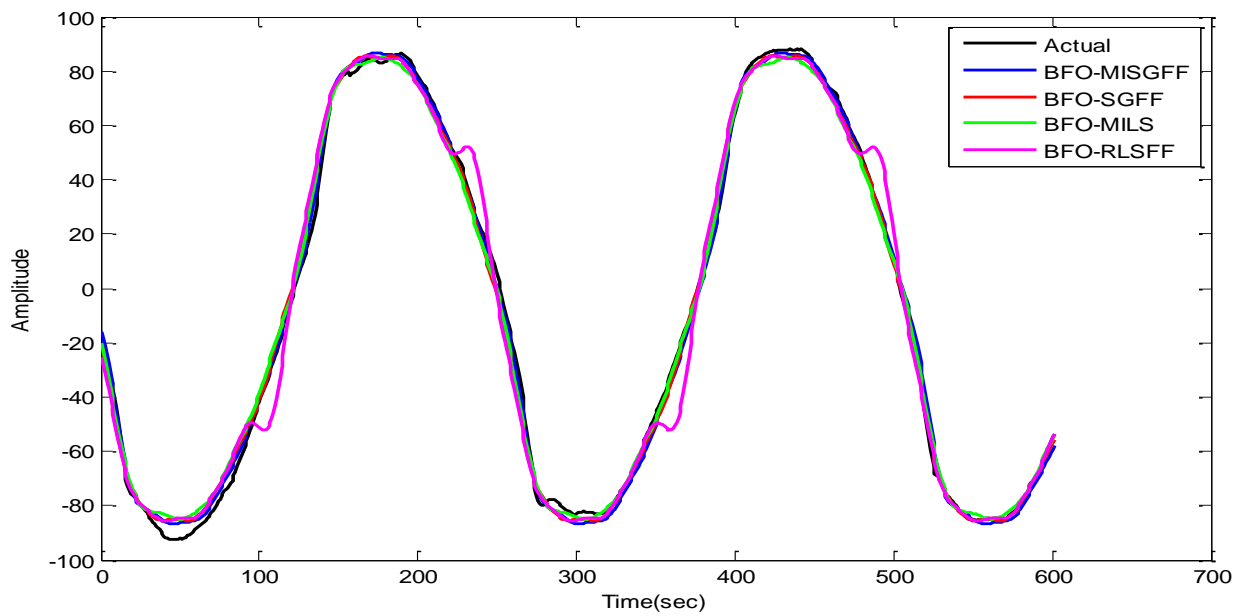


شکل ۴-۳۴ عکس از تجزیه و تحلیل PQ در پست 20 / 0.4KV کیلو ولت از شرکت مسکران سمنان.



شکل ۴-۳۵ سیگنال واقعی شبکه قدرت.

و از بین فازها یک فاز را برای تست با روشهای پیشنهادی در این پایان نامه، انتخاب شده است. که در شکل ۳-۳۶ نشان داده شده است.



شکل ۴-۳۶ فاز انتخابی سیگنال شبکه قدرت

نتایج بدست آمده از شبیه سازی نشان دهنده کارایی روش های پیشنهادی در این پایان نامه می باشد که برای اثبات از آزمونهای مختلفی استفاده شده است که در جداول ۱۰-۴الی ۱۳-۴ ذکر شده است. در جدول ۴-۱۰ مقایسه mse برای روشهای ارائه شده می باشد.

جدول ۴-۱۰ مقایسه mse برای روشهای پیشنهادی			
BFO-RLSFF	BFO-MILS	BFO-SGFF	BFO-MISGFF
۵۳	۱۶	۱۵,۶۱۴	۹,۱۲۳

جدول ۴-۱۱ مقایسه mae روشها است.

جدول ۴-۱۱ مقایسه mae برای روشهای پیشنهادی			
BFO-RLSFF	BFO-MILS	BFO-SGFF	BFO-MISGFF
۵,۰۴	۳,۱۴۳	۲,۹۳۴	۲,۴۷۵

جدول ۴-۱۳ مقایسه درصدخطا برای روشهای پیشنهادی			
BFO-RLSFF	BFO-MILS	BFO-SGFF	BFO-MISGFF
۹,۵۸۵	۲,۶۹۸	۲,۵۶۸	۱,۵۶

جدول ۴-۱۲ مقایسه انحراف معیار برای روشهای پیشنهادی			
BFO-RLSFF	BFO-MILS	BFO-SGFF	BFO-MISGFF
۰,۵۶۸	۰,۱۶۲	۰,۱۶۳	۰,۱۲۳

جدول ۴-۱۲ و ۴-۱۳ به ترتیب مقایسه انحراف معیار و درصد خطا می باشد که نتایج حاصله از این جداول نشان دهنده این نکته است که روش پیشنهادی به مقادیر سیگنال مرجع نزدیکتر بوده و دارای کارایی بیشتری نسبت به روش RLSFF می باشد.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱ نتیجه‌گیری

در این پایان نامه عمدتاً در مورد تخمین همزمان مؤلفه‌های دامنه و فاز هارمونیک سیستم قدرت بحث شده است. نوآوری این پایان نامه ترکیب الگوریتم‌های BFO و الگوریتم‌های بازگشتی مانند MILS، MISGFF، SGFF می‌باشد. علت استفاده از روش ترکیبی ذکر شده به این خاطر است که در تخمین به روش SGFF روند همگرایی به نقطه شروع و حدس اولیه بسیار حساس می‌باشد و به همین علت ابتدا با تعداد داده‌های اندک و محدود با روش Off-line به کمک الگوریتم هوشمند BFO مقدار پارامترهای اولیه را برای الگوریتم‌های بازگشتی بدست می‌آوریم پس از محاسبه این تخمین اولیه، الگوریتم‌های بازگشتی به صورت on-line به کار گرفته می‌شود. نتایج شبیه‌سازی و همچنین مقایسه $\%error$ ، MAE، MSE نشان می‌دهد که روش پیشنهادی BFO-SGFF دارای سرعت همگرایی و تخمین مناسب‌تری نسبت به روش‌های دیگر دارد. همچنین در روش‌های MILS و MISGFF در تخمین فاز هارمونیک پنجم دارای ضعف در تخمین اولیه و ردیابی سیگنال می‌باشد.

۲-۵ پیشنهادات

- (۱) استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی دیگر به جای الگوریتم BFO.
- (۲) استفاده از الگوریتم‌های بازگشتی جدید تر
- (۳) با توجه به اینکه مؤلفه دامنه بصورت خطی و فاز به صورت غیر خطی می باشد ، تخمین مؤلفه‌های دامنه و فاز به صورت مجزا انجام گیرد.
- (۴) شبیه سازی برای سیگنال قدرت نامتغیر با زمان.

- [1] Husam M.Beides, G. T.Heydt “Dynamic State Estimation of Power System Harmonics Using Kalman Filter Methodology” *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol.6, no.4, pp.1663-1670, October 1991
- [2] Karen Kennedy, Gordon Lightbody, Robert Yacamini, “Power System Harmonic Analysis Using the Kalman Filter” *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, Vol.2, pp.752-757, 13-17th July 2003.
- [3] Jan Mandel “A Brief Tutorial on the Ensemble Kalman Filter” *Center for Computational Mathematics report, University of Colorado at Denver and Health Sciences Center*, Denver, pp.1-5, 2007.
- [4] P. K. Dash, A. K. Pradhan, G. Panda, R. K. Jena, S. K. Panda “On line tracking of time varying harmonics using an integrated complex Kalman Filter and Fourier Linear Combiner” *Proc. IEEE Conference on Power Engineering Society*, Singapore, vol.3, pp.1575-1580, 23-27 January, 2000.
- [5] A. Routray, A. K. Pradhan and K. P. Rao “A Novel Kalman Filter for Frequency Estimation of Distorted Signals in Power Systems” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol.51, No.3, pp.469-479, 2002.
- [6] P.K.Dash, R.K.Jena, G.Panda and A. Routray “An Extended Complex Kalman Filter for Frequency Measurement of Distorted Signals” *IEEE Transactions on Instrumentations and Measurement*, Vol.49, No.4, pp.746-753, 2000.
- [7] A.K.Pradhan, A.Routray, D.Sethi “Voltage Phasor Estimation Using Complex Linear Kalman Filter” *8th IEE International Conference on Developments in Power System Protection, IIT, Kharagpur*, vol.1, pp.24-27, 5-8 April, 2004.
- [8] M. J. Grimble “Adaptive Kalman Filter for Control of Systems with unknown disturbances” *IEE Proc.*, vol.128, no.6, pp.263-267, 1981.
- [9] Xiaohua Jiang, Ji King and Ali Emadi “A Power Harmonics Detection Approach Based on Least Squares Energy Minimization Principle” *The 30th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Busan, Korea*, pp.2934-2938, November 2-6, 2004.
- [10] E. A. Abu Al-Feilat, I. El Amin, and M. Bettayeb, “Power system harmonic estimation and comparative study,” *Elect. Power Syst. Res.*, vol.29, pp. 91– 97, 1994.
- [11] Y.Z. Liu, S. Chen “A Wavelet Based Model for On-line Tracking of Power System Harmonics using Kalman Filtering” in *Proc. IEEE Power Engineering Society Summer Meet.*, vol. 2, pp. 1237–1242, Jul. 2001
- [12] A. K. Pradhan, A. Routray and Abir Basak “Power System Frequency Estimation Using Least Mean Square Technique.” *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 20, no. 3, pp.1812-1816, 2005
- [13] Max Kamenetsky and Bernard Widrow “A Variable Leaky LMS Adaptive Algorithm” *38th IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems & Computers*, vol.1, pp.125-128, 7-10 November, 2004
- [14] Scott C. Douglas “Performance Comparison of Two Implementations of the Leaky LMS Adaptive Filter” *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol.45, no.8, 1997.
- [15] Max Kamenetsky and Bernard Widrow “A Variable Leaky LMS Adaptive Algorithm” *38th IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems & Computers*, vol.1, pp.125-128, 7-10 November, 2004
- [16] Vitor H. Nascimento and Ali H. Sayed “An Unbiased and Cost-Effective Leaky-LMS Filter” *30th IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems & Computers*, vol.2, pp.1078-1082, 3-6 November, 1996
- [17] K. Mayyas and Tyseer Aboulnasr “Leaky LMS Algorithm: MSE Analysis for Gaussian Data” *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol.45, no.4, 1997.
- [18] Brian D. Rigling and Philip Schniter “Subspace Leaky LMS” *IEEE Signal*

Processing Letter, vol.11, no.2, pp136-139, 2004.

- [19] Orlando J. Tobias and Rui Seara “On the LMS Algorithm with Constant and Variable Leakage Factor in a Nonlinear Environment” *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 54,no.9, pp.3448-3458, Sept.2006
- [20] K. W. Chan and H. C. So “Accurate Frequency Estimation for Real Harmonic Sinusoids” *IEEE Signal Processing Letters*, vol.11, no.7, pp.609-612, 2004.
- [21] Milenko B. Djuric, Zeljko R. Djuricic “ Frequency measurement of distorted signals using Fourier and Zero crossing Techniques” *Electric Power System Research*, vol.78, pp. 1407-1415, 2008
- [22] Mohsen Mojiri, Masoud Karimi-Ghartemani and Alireza Bakhshai “Estimation of Power System Frequency Using an Adaptive Notch Filter” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol.56, no.6, pp.2470-2477, 2007.
- [23] T. S. Sidhu and M. S. Sachdev “An Iterative Technique for Fast and Accurate Measurement of Power System Frequency” *IEEE Transactions on Power Delivery*,vol.13, no.1, pp.109-115, 1998
- [24] P K Dash, A C Liew, D P Swain and B Mishra “Fast tracking of transient power system signals using fuzzy LMS algorithm” *Electrical Power & Energy Systems*,vol. 20, no. 8, pp. 555–561, 1998
- [25] M. Joorabian, S.S. Mortazavi, A.A. Khayyami “ Harmonics estimation in a power system using a novel-hybrid Least Square –Adaline algorithm” *Electric Power System Research*, vol.79, issue.1, pp. 107-116, 2009
- [26] L. L. Lai, W. L. Chan, C. T. Tse, A. T. P. So “Real-Time Frequency and Harmonic Evaluation using Artificial Neural Networks” *IEEE Transactions on PowerDelivery*, vol.14, no.1, pp.52-59, 1999.
- [27] Josif J. Tomic, Miodrag D. Kusljevic and Vladimir V. Vujicic “A new Power System Digital Harmonic analyzer” *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol.22,no.2, pp.772-780, 2007
- [28]Hiroyuul Mori, Kenji Itou, Hiroshi Uematsu and Senji Tsuzuki “ An artificial neural-net based method for predicting power system voltage Harmonics” *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol.7, no.1,1992
- [29] Hsiung cheng Lin “Intelligent neural network based fast power system Harmonics Estimation” *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 54, no.1, 2007.
- [30] V. Sureshkumar, P.S. Kannan, K. Kalaiselvi and D. Kavitha “ Optimal Estimation of Harmonics in power system using Intelligent Computing Techniques” *Proceedings of International Joint conference on Neural Networks*, Orlando, Florida, USA, 12-17August, 2007
- [31] Maamar Bettayeb and Uvais Qidwai “A Hybrid Least Squares-GA-Based Algorithm for Harmonic Estimation” *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol.18, no.2, pp.377-382, 2003
- [32] S.Mishra “A Hybrid Least Square-Fuzzy Bacterial Foraging Strategy For Harmonic Estimation” *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol.9, no.1, pp.61-73,2005.
- [33]Neuro-evolutionary approaches to power system harmonics estimation.Pravat Kumar Ray, Bidyadhar Subudhi. 2014 Elsevier Ltd. All rights reserved. Received in revised form 7 June 2014.
- [34]Joorabian M, Mortazavi SS, Khayyami AA. Harmonics estimation in a power system using a novel-hybrid Least Square–Adaline algorithm. *Electric PowerSyst Res* 2009;79(1):107–16.
- [35] Pravat Kumar Ray, Bidyadhar Subudhi. BFO optimized RLS algorithm for power system harmonics estimation. *Applied Soft Computing* 12 (2012) 1965–1977
- [36]H.K.Sahoo, Pooja Sharma'ROBUST HARMONIC ESTIMATION USING FORGETTING FACTOR RLS'enyg,Automation and signal,(2011)DE page1-5

- [37] Ashwani Kumar, Biswarup Das, Jaydev Sharma “Robust dynamic state estimation of power system harmonics” *Electrical Power & Energy Systems*, vol.28, pp.65-74, 2006.
- [38] Tadeus Lobos, Andrzej Cichocki, Pawel Kostyla, Zbigniew Waclawek “Adaptive On-Line Learning Algorithm for Robust Estimation of Parameters of Noisy Sinusoidal Signals” *Artificial Neural Networks-ICANN, 97*, Springer Berlin/Heidelberg, vol.1327/1997, pp.1193-1198, April 10, 2006
- [39] Cai Tao, Duan Shanxu, Ren Ting and Liu Fangrui “ A robust parametric method for power harmonics estimation based on M-estimators” *Measurement*, vol.43, issue.1, pp. 67-77, January 2010
- [40] K.M. Passino, Biomimicry of bacterial Foraging for distributed optimization and control, *IEEE Contr. Syst. Mag.* 22 (June (3)) (2002) 52–67.
- [41] M. Clerc, J. Kennedy, The particle swarm – explosion, stability and convergence in a multi dimensional complex space, *IEEE Trans. Evolut. Computat.* 6 (1) (2002) 58–73.
- [42] P.J. Anjeline, Evolutionary optimization versus particle swarm optimization: philosophy and performance differences, in: *Proc. of the 7th Annual Conf. on Evolutionary Programming*, San Diego, USA, 1998, pp. 601–610.
- [43] Z. Lu, T.Y. Ji, W.H. Tang, Q.H. Wu, Optimal harmonic estimation using a particle swarm optimizer, *IEEE Trans. Power Delivery* 23 (2) (2008) 1166–1174
- [44] ماهنامه صنعت برق : چهارشنبه، ۱۳۸۹-۰۶-۰۳، شماره چاپ ۳۶ : ۱۶۴-۱۷۰ : چاپ شده در صفحه های
- [45] Mehdi Hajian, Asghar Akbari Foroud, A new hybrid pattern recognition scheme for automatic discrimination of power quality disturbances, Elsevier Ltd, *Measurement* 51 (2014) 265–280.

Abstract

In this thesis, a new method has been presented to simultaneously estimate the amplitude and harmonic phase of signals in power systems in the presence of noise. Harmonics are the important discussion in the field of the power quality. To be ensured about the existence of pure sinusoidal signals or, in other words, a better power quality, a concern is that the power system works without a considerable loss in its performance while the voltage of transmission lines have a few percent of disturbance; however, the more it gets close to the load the more the disturbances increase. Today, the increase in using the nonlinear load such as computers, energy-saving lamps, power electronic converters and induction furnaces and so on has resulted in deforming the sinusoidal form of power supply and increasing the noise of signals. The number of these random disturbances is very low and most of them are periodic which are so called harmonic. The undesirable effects of harmonics are signal interference, sudden over-voltages, saturation of transformers and their temperature increase as well as error in the functionality of breaker. In addition to harmonic identification for designing filters or upgrading the current filters or determining the source of harmonics, the harmonic components of measured signals need to be specified. Therefore, a method is required to be able to rapidly measure and estimate the harmonics of signal. In this thesis, first, a few data are used to obtain the value of primary parameters of adaptive algorithms using an offline mechanism i.e. an optimization algorithm and then the adaptive algorithms are utilized online. In this synthetic procedure, the amplitude and phase are estimated simultaneously. The simulation result shows that the proposed method has a higher speed of convergence to the real value, a better performance and higher accuracy in a noisy system in compare with the...

Key words: BFO algorithm, harmonic estimation, adaptive algorithms, harmonic components



Shahrood University of Technology
Department of Electrical and Robotic Engineering

Master's Thesis Title:

**Estimation of Optimal Harmonic Power Systems Using Hybrid
Optimization Algorithm and Adaptive Methods**

By:

Ahmad Mohammadzadeh

Supervisor:

Jalil Sadati (Ph.D)

Consultant:

Behrouz Rezai

2015