بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی برق

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق گرایش قدرت

دسته‌بندی اغتشاشات کیفیت توان با استفاده از تبدیل S و سیستم فازی مبتنی بر الگوریتم PSO

استاد راهنما:

دکتر سعید اسماعیلی

استاد مشاور :

دکتر محسن محمدیان

ارائه‌دهنده:

امیر عربی پاریزی

آذر ماه ۱۳۹۰

تقدیم به

صاحب العصر و الزمان(عج) {بقیه ا... فی ارضه}

پدرم که هر چه دارم از اوست و **مادرم** که پشتوانه صبراست و **همسر** مهربانم که در طول اجرای کار صبورانه همراهم بود.

استاد گرانقدر **جناب آقای دکتر سعید اسماعیلی** که جوانی خود را در راه تدریس به دانشجویان صرف می‌نمایند.

و مرحوم **مهندس افضلی‌پور** و مرحومه **بانو فاخره صبا** که دانشگاه باهنر همیشه مدیون این دو عزیز می‌باشد.

تشکر و قدردانی

خواستن چه زیباست وقتی به توانستن می‌انجامد، توانستن چه پرشکوه است آنگاه که انسان را بر قله خواستن می‌نشاند. آنچه که بر زیبایی و شکوه این هر دو می‌افزاید قدردانی از زحمات بی دریغ راهنمایان این طریقت است که بدون ایشان البته که پیمودن این راه بسیار مشکل و غیر ممکن می‌نمود. پایان نامه حاضر مرهون راهنمایی‌های سخاوتمندانه جناب آقای دکتر سعید اسماعیلی می‌باشد. با کمال افتخار بسیار خشنودم که توانستم از محضر ایشان استفاده نموده و از زحمات بی دریغ این استاد ارجمند از ابتدا تا انجام این پژوهش نهایت سپاس را دارم.

مراتب قدردانی صمیمانه خود را تقدیم می‌دارم به دکتر محسن محمدیان که راهنمایی‌ها و مساعدت‌های بی دریغ ایشان در قسمت‌هایی از این پایان نامه راهگشای اینجانب در مراحل بعدی بوده است.

همچنین مایلم قدردانی عمیق خود را از پدر بزرگوارم بخاطر تأثیرات مثبت، اعتماد و حمایت همه جانبه ای که از من داشته اند، از مادر عزیزم که همواره یار و همراه من بودند، همسر عزیزم و سایر اعضاء خانواده ام داشته باشم که بدون آنها رسیدن به هرگونه موفقیتی ناممکن است.

به گرمی می‌فشارم دست اساتید محترمی را که در مدت تحصیل همواره از محضر ایشان آموخته ام.

در پایان نیز از آقایان دکتر مسعود رشیدی نژاد و دکتر علی اکبر قره‌ویسی که زحمت داوری این پایان نامه را پذیرفتند، نهایت تشکر و قدر دانی را دارم.

با تشکر

امیر عربی پاریزی

آذر ماه ۹۰

چکیده: در این پایان نامه با استفاده از ترکیب تبدیل S و منطق فازی همراه با الگوریتم PSO یک روش جدید و کارآمد برای دسته‌بندی انواع مختلف اغتشاشات تکی و ترکیبی کیفیت توان ارائه شده است. با استفاده از تبدیل S خصوصیات مناسب شکل موج استخراج شده و یک سری پارامتر از این خصوصیات حاصل می‌شود. سپس سیستم فازی پیشنهاد شده بر اساس این پارامترها نوع سیگنال اغتشاش را تعیین می‌کند. الگوریتم PSO برای تعیین مقادیر صحیح پارامترهای توابع عضویت سیستم فازی مورد استفاده قرار گرفته است. کمبود ولتاژ، بیشبود ولتاژ، قطعی ولتاژ، گذرای نوسانی، پرش ولتاژ، شکاف ولتاژ، هارمونیک، نویز، فلیکر، آفست DC، به عنوان اغتشاشات تکی و کمبود ولتاژ با هارمونیک، بیشبود ولتاژ با هارمونیک با گذرا، بیشبود ولتاژ با گذرا، کمبود ولتاژ با گذرا، هارمونیک با گذرا و کمبود ولتاژ با هارمونیک با گذرا به‌عنوان اغتشاشات ترکیبی در نظر گرفته شده است. در این پایان نامه برای اولین بار است که اغتشاشات با ترکیب سه‌تایی شناسایی می‌شوند. برای بررسی توانایی روش پیشنهادی در دسته‌بندی اغتشاشات کیفیت توان، این اغتشاشات با نویز گاوسی سفید و با مقادیر مختلف سیگنال به نویز ترکیب شده‌اند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد روش پیشنهادی دقت بسیار خوبی برای شناسایی انواع مختلف اغتشاشات کیفیت توان دارد.

علاوه براینکه دسته‌بندی اغتشاشات کمک زیادی به بهبود کیفیت توان می‌کند، با شناسایی علل رخداد هر اغتشاش می‌توان اغتشاش را رفع کرد که این کار به بهبود کیفیت توان می‌انجامد. پس در این پایان نامه علاوه بر شناسایی اغتشاشات کیفیت توان، علل رخداد کمبود ولتاژ نیز شناسایی می‌شوند، خطاهای تک‌فاز به زمین (LG)، فاز به فاز (LL)، دو فاز به زمین (LLG)، سه فاز به هم (LLL) و سه فاز به زمین (LLLG) و در مدار آمدن بارهای تک‌فاز، دوفاز و سه‌فاز نیز به‌عنوان علل وقوع کمبود ولتاژ در نظر گرفته شده‌اند که توسط یک سیستم فازی شناسایی می‌شوند. دقت شناسایی علل رخداد نیز در حضور مقادیر مختلف سیگنال به نویز بالا است.

کلید واژه- اغتشاشات، تبدیل S، دسته‌بندی، سیستم فازی ، کیفیت توان، کمبود ولتاژ و الگوریتم PSO.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

۱-۱ مقدمه 2

۱-۲ دسته‌بندی اغتشاشات کیفیت توان 3

۱-۲-۱ استخراج مشخصات سیگنال‌ها 3

۱-۲-۱-۱ تبدیل فوریه سریع 3

۱-۲-۱-۲ تبدیل موجک 4

۱-۲-۱-۳ تبدیل S 5

۱-۲-۲ دسته‌بندی اغتشاشات 6

۱-۳ طرح کلی این پایان نامه 7

۱-۳-۱ آشکارسازی و دسته‌بندی سیگنال‌های اغتشاش 8

۱-۳-۲ تعیین علل وقوع کمبود ولتاژ 8

۱-۳-۳ ساختار پایان نامه 9

فصل دوم: تعاریف و استانداردهای کیفیت توان

۲-۱مقدمه 11

۲-۲کیفیت توان چیست؟ 12

۲-۳ اغتشاشات کیفیت توان، علل و اثرات آنها 12

۲-۳-۱ هارمونیک و میان هارمونیک 14

۲-۳-۲ نوسان ولتاژ 14

۲-۳-۳ عدم تعادل ولتاژ 14

۲-۳-۴ شکاف و پرش ولتاژ 15

۲-۳-۵ نویز 15

۲-۳-۶ تغییرات فرکانس 16

۲-۳-۷ پدیده های گذرا 16
۲-۳-۷-۱ گذرای ضربه ای 16
۲-۳-۷-۲ گذرای نوسانی 16
۲-۳-۸-۱ تغییرات بلند مدت ولتاژ 17
۲-۳-۸-۲ تغییرات کوتاه مدت ولتاژ 17
۲-۳-۹ وجود مقدار dc در شبکه متناوب 18
۲-۴ اغتشاشات همراه با علل ایجاد و اثرات آنها در شبکه 18
۲-۵ نظارت بر کیفیت توان 21
۲-۶ راهکارهای بهبود کیفیت توان 21
۲-۶-۱ راهکارهای مربوط به شرکت های برق و توزیع 22
۲-۶-۲ راه حل های مربوط به مصرف کنندگان 22
۲-۷ استانداردهای کیفیت توان 23
۲-۸ نتیجه گیری 25

فصل سوم: تبدیلات زمان-فرکانسی

۳-۱ مقدمه 27
۳-۲ تبدیل فوریه 27
۳-۳ تبدیل فوریه زمان کوتاه 30
۳-۴ آنالیز با دقت چندگانه 32
۳-۵ تبدیل موجک 33
۳-۵-۱ تبدیل موجک پیوسته 33
۳-۵-۲ وضوح در صفحه زمان-فرکانس 35
۳-۵-۳ روابط ریاضی تبدیل موجک 35
۳-۵-۴ تبدیل موجک گسسته 37

۳-۶ تبدیل S 39
۳-۶-۱ کلیات تبدیل S 39
۳-۶-۲ محاسبه ریاضی تبدیل S 40
۳-۶-۳ خاصیت خطی بودن تبدیل S و اثر نویز بر آن 42
۳-۶-۴ اجرای الگوریتم تبدیل S 42
۳-۶-۵ تبدیل S و سیگنال تحلیلی 43
۳-۷ مقایسه تبدیل S و تبدیل موجک پیوسته 44
۳-۷-۱ نمونه‌برداری فرکانسی 44
۳-۷-۲ استخراج سیگنال اصلی 45
۳-۷-۳ فاز و دامنه تبدیل S در مقابل فاز و دامنه تبدیل موجک 45
۳-۸ نتیجه گیری 46
فصل چهارم: دسته‌بندی اغتشاشات کیفیت توان با استفاده از سیستم فازی و الگوریتم PSO
۴-۱ مقدمه 48
۴-۲ دسته‌بندی اغتشاشات کیفیت توان 48
۴-۳ تحلیل کیفیت توان با تبدیل S 49
۴-۳-۱ تحلیل تک فازه 49
۴-۳-۲ تحلیل سه‌فازه 60
۴-۳-۳ تعریف شاخص‌ها 64
۴-۴ دسته بندی اغتشاشات کیفیت توان با استفاده از سیستم فازی و الگوریتم PSO 66
۴-۴-۱ سیستم فازی 66
۴-۴-۲ کاربرد الگوریتم PSO در سیستم فازی 67
۴-۵ شناسایی علل رخداد کمبود ولتاژ با استفاده از سیستم فازی 70
۴-۶ نتیجه گیری 71

فصل پنجم: نتایج شبیه‌سازی

۵-۱ مقدمه 73

۵-۲ تولید سیگنال های اغتشاش 73

۵-۲-۱ تولید سیگنال های اغتشاش توسط مدل ریاضی 73

۵-۲-۲ تولید سیگنال های اغتشاش توسط شبیه سازی 75

۵-۲-۳ سیگنال های اغتشاش عملی موجود 76

۵-۲-۳-۱ سیگنال هارمونیک ولتاژ و جریان و نتایج حاصله 77

۵-۳ ارائه نتایج 78

۵-۳-۱ دسته بندی اغتشاشات 78

۵-۳-۱-۱ دسته بندی اغتشاشات با استفاده از سیستم فازی 79

۵-۳-۱-۲ دسته بندی اغتشاشات با استفاده از سیستم فازی به همراه الگوریتم PSO 82

۵-۳-۲ شناسایی علل رخداد کمبود ولتاژ با استفاده از سیستم فازی 84

۵-۴ نتیجه گیری 86

فصل ششم: نتیجه گیری و ارئه پیشنهادات

۶-۱ نتیجه گیری 88

۶-۲ پیشنهادات 89

منابع 91

پیوست 95

فهرست جداول

جدول(۲-۱):انواع اغتشاشات به همراه مشخصات ۱۲

جدول (۲-۲): اثرات و علل ایجاد انواع اغتشاشات ۱۹

جدول(۲-۳): حدود مجاز اعوجاج ولتاژ ۲۳

جدول(۲-۴): حدودمجاز اعوجاج ولتاژ هارمونیکی مشترکین ۲۴

جدول(۲-۵): حدود هارمونیکی ۲۴

جدول(۲-۶): حدود مجاز فلیکر در شبکه ۲۵

جدول(۲-۷): حدود مجاز درصد عدم تعادل ولتاژ ۲۵

جدول (۵-۱) : مدل‌های ریاضی شکل موج‌های اغتشاش ۷۴

جدول(۵-۲): توابع عضویت ورودی‌های سیستم دسته‌بندی انواع اغتشاشات همراه با پارامترهای انتخاب شده ۸۰

جدول(۵-۳): قوانین فازی مورد استفاده برای دسته‌بندی اغتشاشات ۸۰

جدول (۵-۴): نتایج حاصل از عملکرد سیستم برای دسته‌بندی انواع مختلف اغتشاشات کیفیت توان با استفاده از سیستم فازی ۸۱

جدول(۵-۵): توابع عضویت ورودی‌های سیستم دسته‌بندی انواع اغتشاشات همراه با پارامترهای بدست آمده توسط الگوریتم PSO ۸۲

جدول (۵-۶): نتایج حاصل از عملکرد سیستم برای دسته‌بندی انواع مختلف اغتشاشات کیفیت توان با استفاده از سیستم فازی به همراه الگوریتم PSO ۸۳

جدول(۵-۷): توابع عضویت ورودی‌های سیستم شناسایی علل وقوع کمبود ولتاژ همراه با پارامترهای انتخاب شده ۸۵

جدول(۵-۸): قوانین فازی مورد استفاده برای شناسایی علل وقوع کمبود ولتاژ ۸۶

جدول(۵-۹): نتایج حاصل از شناسایی علل وقوع کمبود ولتاژ با تبدیل S ۸۶

فهرست شکل‌ها

شکل (۱-۱): دورنمای پایان نامه ۷

شکل(۲-۱): شکل موج نوسان ولتاژ (فلیکر) ۱۴

شکل(۲-۲): شکل موج نوسان شکاف و پرش ولتاژ ۱۵

شکل(۲-۳): شکل موج نویز ۱۵

شکل(۲-۴): شکل موج گذرای ضربه‌ای ۱۶

شکل(۲-۵): شکل موج گذرای نوسانی ۱۷

شکل(۲-۶): شکل موج بیشبود، کمبود و نرمال ۱۸

شکل (۳-۱): دو نمونه سیگنال شامل مخلوطی از فرکانس‌های ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ هرتز و تبدیل فوریه آن‌ها ۲۹

شکل(۳-۲) نمایش گرافیکی نحوهٔ پنجره کردن سیگنال غیرایستا به منظور محاسبه تبدیل فوریل زمان-کوتاه ۳۱

شکل (۳-۳): نمایش وضوح در صفحات مختلف ۳۵

شکل (۳-۴): نمایش نحوهٔ محاسبه تبدیل موجک گسسته ۳ مرحله‌ای با استفاده از ایدهٔ بانک فیلتر ۳۸

شکل(۴-۱): سیگنال نرمال و منحنی‌های استخراج شده از تبدیل S ۵۰

شکل(۴-۲): سیگنال کمبود ولتاژ و منحنی‌های مربوط به آن ۵۰

شکل(۴-۳): سیگنال قطعی ولتاژ و منحنی‌های مربوط به آن ۵۱

شکل(۴-۴): سیگنال بیشبود ولتاژ و منحنی‌های مربوط به آن ۵۱

شکل(۴-۵): سیگنال هارمونیک ولتاژ و منحنی‌های مربوط به آن ۵۲

شکل(۴-۶): سیگنال پرش ولتاژ و منحنی‌های مربوط به آن ۵۲

شکل(۴-۷): سیگنال شکاف ولتاژ و منحنی‌های مربوط به آن ۵۳

شکل(۴-۸): سیگنال نویز و منحنی‌های مربوط به آن ۵۳

شکل(۴-۹): سیگنال گذرای نوسانی و منحنی‌های مربوط به آن ۵۴

شکل(۴-۱۰): سیگنال فلیکر ولتاژ و منحنی‌های مربوط به آن ۵۴
شکل(۴-۱۱): سیگنال حاوی مقدار DC و منحنی‌های مربوط به آن ۵۵
شکل(۴-۱۲): سیگنال هارمونیک همراه با گذرای نوسانی و منحنی‌های مربوط به آن ۵۵
شکل(۴-۱۳): سیگنال کمبود ولتاژ همراه باگذرای نوسانی و منحنی‌های مربوط به آن ۵۶
شکل(۴-۱۴): سیگنال هارمونیک همراه با کمبود ولتاژ و منحنی‌های مربوط به آن ۵۶
شکل (۴-۱۵): سیگنال هارمونیک همراه با بیشبود ولتاژ و منحنی‌های مربوط به آن ۵۷
شکل (۴-۱۶): منحنی بیشبود ولتاژ همراه با هارمونیک و گذرای نوسانی و منحنی‌های مربوط به آن ۵۷
شکل (۴-۱۷): منحنی کمبود ولتاژ همراه با هارمونیک و گذرای نوسانی و منحنی‌های مربوط به آن ۵۸
شکل(۴-۱۸): منحنی‌های مربوط به سه فاز در خطای تکفاز به زمین ۶۱
شکل(۴-۱۹): منحنی‌های مربوط به سه فاز در خطای دو فاز به هم ۶۲
شکل(۴-۲۰): منحنی‌های مربوط به سه فاز در خطای دو فاز به زمین ۶۲
شکل(۴-۲۱): منحنی‌های مربوط به سه فاز در خطای سه فاز به هم ۶۲
شکل(۴-۲۲): منحنی‌های مربوط به سه فاز در خطای سه فاز به زمین ۶۳
شکل(۴-۲۳): منحنی‌های مربوط به سه فاز در کلیدزنی بار تکفاز ۶۳
شکل(۴-۲۴): منحنی‌های مربوط به سه فاز در کلیدزنی بار دوفاز ۶۳
شکل(۴-۲۵): منحنی‌های مربوط به سه فاز در کلیدزنی بار سه‌فاز ۶۴
شکل(۴-۲۶): بلوک دیاگرام روش پیشنهادی برای شناسایی اغتشاشات کیفیت توان ۶۷
شکل(۴-۲۷): فلوچارت پیاده سازی الگوریتم PSO برای تخمین پارامترهای توابع عضویت سیستم فازی ۶۸
شکل (۴-۲۸): فلوچارت الگوریتم تصمیم گیری برای شناسایی اغتشاشات بر اساس سیستم فازی ۶۹
شکل(۴-۲۹): بلوک دیاگرام روش پیشنهادی برای شناسایی علل رخداد کمبود ولتاژ ۷۰
شکل (۴-۳۰): فلوچارت الگوریتم تصمیم گیری برای شناسایی علل رخداد کمبود ولتاژ بر

اساس سیستم فازی ۷۱
شکل(۵-۱): بلوک دیاگرام سیستم شبیه سازی شده برای تولید انواع اغتشاشات کیفیت توان ۷۶
شکل(۵-۲): منحنی‌های مربوط به ولتاژ و جریان هارمونیک ۷۷
شکل(۵-۳): نتایج بدست آمده از دستگاه پاور آنالایزر بر روی سیگنال هارمونیک جریان و ولتاژ ۷۷
شکل(۵-۴): منحنی‌های بدست آمده از تبدیلS بر روی سیگنال‌های هارمونیک جریان و ولتاژ ۷۸
شکل(۵-۵): شماتیک سیستم فازی برای دسته‌بندی اغتشاشات کیفیت توان ۷۹
شکل(۵-۶): شماتیک سیستم فازی برای شناسایی علل رخداد کمبود ولتاژ ۸۵

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

مسائل کیفیت توان[۱](PQ) و نتایج حاصل از آن، نتیجه خطاها در شبکه و استفاده از بارهای غیرخطی، بارهای الکترونیک قدرت، سیستم قدرت نامتعادل، یکسوکننده‌های صنعتی و اینورترها هستند. این مسائل منجر به وجود اغتشاشات کیفیت توان[۲] مثل کمبود ولتاژ[۳]، بیشبود ولتاژ[۴]، هارمونیک[۵]، فلیکر[۶]، گذرای نوسانی[۷]، شکاف ولتاژ[۸]، گذرای ضربه‌ای[۹]، قطعی ولتاژ[۱۰] لحظه‌ای، میان-هارمونیک[۱۱]، زیر-هارمونیک[۱۲]، حضور مؤلفه DC[۱۳] و نویز[۱۴] می‌شوند. ترکیبی از این اغتشاشات هم می‌تواند در سیگنال قدرت وجود داشته باشد. از این جمله می‌توان وجود همزمان کمبود ولتاژ و هارمونیک، بیشبود ولتاژ و هارمونیک، کمبود ولتاژ و گذرای ولتاژ، بیشبود ولتاژ و گذرای ولتاژ، هارمونیک و گذرای ولتاژ و فلیکر و گذرای ولتاژ را نام برد.

لازم به ذکر است که کیفیت برق در واقع همان کیفیت ولتاژ است، در نتیجه پارامتر ولتاژ در بررسی‌های کیفیت توان نقش کلیدی دارد. استفاده از وسایل الکترونیکی حساس که برای عملکرد با سیگنال ولتاژ عاری از اغتشاش طراحی شده‌اند، شرکت‌های برق را مجبور می‌سازد تا اغتشاشات کیفیت توان را شناسایی کرده و اقدامات لازم را جهت حذف یا کاهش آن‌ها انجام دهند. بنابراین استخراج مشخصات اغتشاشات و چگونگی شناسایی اتوماتیک آن‌ها برای بهبود کیفیت توان الکتریکی از اهمیت اساسی برخوردار است.

---

[1] Power Quality
[2] Power Quality Disturbances
[3] Voltage Sag
[4] Voltage Swell
[5] Harmonic
[6] Flicker
[7] Oscillatory Transient
[8] Voltage notch
[9] Impulsive Transient
[10] Voltage interruption
[11] Interharmonic
[12] Sub Harmonic
[13] DC offset
[14] Noise

۱-۲ دسته‌بندی اغتشاشات[1] کیفیت توان

دسته‌بندی اغتشاشات دارای دو مرحله عمده می‌باشد:

۱) استخراج مشخصات سیگنال‌ها

۲) دسته‌بندی سیگنال‌های اغتشاش بر اساس مشخصات استخراج شده

۱-۲-۱ استخراج مشخصات سیگنال‌ها

برای استخراج ویژگی‌های زمانی و فرکانسی از روش‌های مختلفی استفاده شده است. از جمله این روش‌ها می‌توان به تبدیل فوریه سریع[2] (FFT) [۱]، تبدیل موجک[3] (WT) [۲-۴]، و تبدیل S[4] (ST) [۵-۱۰] اشاره کرد که به ترتیب یک سیر تکاملی را برای استخراج مشخصات زمانی و فرکانسی سیگنال اغتشاش طی کرده‌اند.

۱-۲-۱-۱ تبدیل فوریه سریع

یک روش قدرتمند برای استخراج مشخصات فرکانسی سیگنال اغتشاش تبدیل فوریه است. با استفاده از این روش تمامی مؤلفه‌های فرکانسی و دامنه آن‌ها قابل استخراج است. بنابراین مشخصات استخراج شده از این تبدیل به خوبی برای شناسایی سیگنال‌هایی مثل هارمونیک، کمبود و بیشبود ولتاژ می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. به طور کلی می‌توان اینگونه بیان کرد که تبدیل فوریه سریع برای شناسایی سیگنال‌های ساکن که مشخصات آن‌ها با زمان تغییر نمی‌کند به خوبی قابل استفاده است. اما برای سیگنال‌های غیر ساکن مثل سیگنال حاوی مؤلفه گذرای نوسانی که مشخصات سیگنال با زمان تغییر می‌کند نمی‌توان از این تبدیل استفاده کرد [۶]. برای غلبه بر این مشکل تبدیل فوریه زمان کوتاه[5] (STFT) مطرح شد. در این روش از سیگنال اغتشاش در هر نیم سیکل تبدیل فوریه گرفته می‌شود. بدینوسیله می‌توان مشخصات سیگنال را در نیم سیکل‌های مختلف بدست آورد که نتیجه آن استحصال مشخصات زمانی سیگنال است. در این روش پنجرهٔ

---

[1] Disturbance Classification
[2] Fast Fourier Transform
[3] Wavelet Transform
[4] S-Transform
[5] Short-Time Fourier Transform

زمانی همان نیم سیکل سیگنال است که برای فرکانس‌های مختلف قابل تغییر نیست. ایراد STFT همان ثابت بودن پهنای پنجره در فرکانس‌های مختلف است. در صورتیکه برای بدست آوردن مشخصات دقیق سیگنال پهنای پنجره باید در فرکانس‌های بالا کم و در فرکانس‌های پایین زیاد باشد. بنابراین STFT هم نمی‌تواند روش مناسبی برای سیگنال‌های ناایستا باشد.

۱-۲-۱-۲ تبدیل موجک

برای رفع اشکال روش STFT تبدیل موجک پیشنهاد شد تا بتوان هر دو مشخصات زمانی و فرکانسی سیگنال اغتشاش را بدست آورد. در مقایسه با تبدیل فوریه، در تبدیل موجک پهنای پنجرهٔ در نظر گرفته شده به فرکانس سیگنال اغتشاش وابسته است به این شکل که برای فرکانس های کم پنجره‌ای با پهنای زیاد و برای فرکانس‌های بالا پنجره‌ای با پهنای کم استفاده می‌شود. دلیل اینکار هم این است که دوره تناوب موج سینوسی با افزایش فرکانس کاهش می‌یابد. تبدیل موجک اطلاعات زمانی بسیار خوبی را از سیگنال اغتشاش به دست می‌دهد. بنابراین از این تبدیل می‌توان به خوبی برای سیگنال‌هایی مثل گذرای نوسانی که در آن مشخصات سیگنال با زمان تغییر می‌کند، استفاده کرد. با وجود این امتیازات خروجی‌های تبدیل موجک پارامترهای قابل درکی نیستند و برای استفاده از آن‌ها لزوماً باید از روش‌های کمکی استفاده کرد که منجر به پیچیدگی بیش از حد محاسبات می‌شود. به علاوه هر چند که تبدیل موجک اطلاعات زمانی سیگنال را به خوبی استخراج می‌کند، اما در مقایسه با تبدیل فوریه اطلاعات فرکانسی حاصل از آن خیلی دقیق نیستند. به این صورت که با افزایش فرکانس دامنه مؤلفه‌های فرکانسی نسبت به مقدار واقعی خود افت می‌کنند. عیب دیگر تبدیل موجک این است که هیچگونه اطلاعاتی را از فاز سیگنال اغتشاش استخراج نمی‌کند. بنابراین بوسیله آن نمی‌توان پارامترهای فازی مثل فاز اولیه سیگنال اغتشاش را استخراج کرد.

۱-۲-۱-۳ تبدیل S

ایدهٔ اولیه تبدیل S برای استخراج مشخصات فازی از سیگنال‌های الکتریکی مطرح شد. از آنجا که تبدیل موجک هیچ اطلاعاتی را از فاز اولیه سیگنال به دست نمی‌داد، استاکول[1] [۱۱] با اضافه کردن یک فاکتور تصحیح کنندهٔ فاز[2] به فرمول تبدیل موجک، تبدیل موجک اصلاح شده یا همان تبدیل S را استخراج کرد. با استفاده از تبدیل S می‌توان همانند تبدیل موجک مشخصات زمانی سیگنال را با دقت زیادی بدست آورد. بنابراین، برای استخراج مشخصات گذرای سیگنال بخوبی قابل استفاده است. از طرفی از آنجا که تبدیل S رابطه مستقیمی با طیف فوریه سیگنال دارد، همانند تبدیل فوریه مشخصات فرکانسی بسیار دقیقی از سیگنال‌های الکتریکی را بدست می دهد، که این یکی از مزیت‌های تبدیل S در مقابل تبدیل موجک است. از طرفی استخراج اطلاعات فازی سیگنال هم یکی دیگر از مزایای دیگر تبدیل S نسبت به تبدیل موجک است. مشخصات خروجی حاصل از تبدیل S را می‌توان به صورت شکل موج‌های دامنه تبدیل S بر حسب فرکانس یا زمان به دست آورد. این چنین مشخصاتی بسیار ساده و قابل درک هستند و با یک مشاهدهٔ دیداری ساده هم می‌توانند تشریح شوند. بنابراین تبدیل S به هیچ وجه پیچیدگی تبدیل موجک را ندارد. اشکال دیگر تبدیل موجک تأثیرپذیری آن از نویز بوده است [۱۲]. وجود نویز در سیگنال‌های اغتشاش بر ویژگی‌های خروجی تبدیل S تأثیر بسیار ناچیزی دارد، بنابراین ایراد تأثیرپذیری از نویز هم در تبدیل موجک به خوبی برطرف شده است.

علاوه بر دسته‌بندی اغتشاشات کیفیت توان، از تبدیلات زمان-فرکانسی ذکر شده می‌توان برای استخراج مشخصات اغتشاشات شناسایی شده استفاده کرد. در مقالات مختلف مشخصات متفاوتی برای شناسایی انتخاب شده است. به عنوان مثال در مرجع [۱۳] استخراج دامنه ماکزیمم، مقدار مؤثر شکل موج و فرکانس شکل موج در نظر گرفته شده است. در مرجع [۱۴] روش استخراج مشخصاتی مثل مقدار و مدت وقوع سیگنال‌های کمبود ولتاژ و بیشبود ولتاژ عنوان شده است. همچنین یک روش شناسایی علل وقوع کمبود ولتاژ در مرجع [۱۵] بیان شده است.

---

[1] Stockwell
[2] Phase correction factor

۱-۲-۲ دسته‌بندی اغتشاشات

پس از استخراج مشخصات اغتشاشات کیفیت توان معمولاً یک ابزار دسته‌بندی کارامد نیاز است تا سیگنال‌های اغتشاش پس از شناسایی مورد دسته‌بندی قرار گیرند. برای دسته‌بندی اغتشاشات کیفیت توان روش‌های متعددی از جمله شبکه‌های عصبی مصنوعی[۱] (ANN) [۱۶-۱۹]، و بردار پشتیبان ماشین[۲] (SVM) [۲۰-۲۳] و شبکه موجک[۳] (WN) [۲۴]، استفاده شده است. یکی دیگر از روش‌هایی که در پردازش سیگنال‌های قدرت از آن استفاده شده است مدل مارکوف مخفی[۴] (HMM) نام دارد. از روش HMM در دسته‌بندی اغتشاشات کیفیت توان [۲۵-۲۸] و همچنین در بحث حفاظت ترانسفورماتور [۲۹] استفاده شده است. چنین روش‌هایی معمولاً پیچیده هستند و احتیاج به آموزش دارند که این موضوع هم خود به وجود سیگنال‌های آموزشی زیادی نیاز دارد و هم اینکه وقت‌گیر است. در [۳۰-۳۱] از روش قاعده مبنا برای دسته‌بندی اغتشاشات استفاده شده است. روش‌های قاعده مبنا معمولاً قطعی[۵] هستند و انعطاف لازم را برای تطابق با شرایط مختلف ندارند. برای دستیابی به یک روش دسته‌بندی انعطاف‌پذیر و نسبتاً ساده می‌توان از روش منطق فازی[۶] (FL) استفاده کرد [۷] و [۳۲-۳۳]، منطق فازی برای دسته‌بندی نیازی به آموزش ندارد و همچنین انعطاف‌پذیری بالایی برای شناسایی اغتشاشات ترکیبی[۷] دارد و با انتخاب توابع عضویت و قانون‌های مناسب دقت بسیار قابل قبولی را نیز می‌تواند داشته باشند. در بعضی از مقالات از ترکیبی از روش‌های ذکر شده نیز استفاده شده است که از این جمله می‌توان به ترکیب منطق فازی و الگوریتم اجتماع ذرات[۸] (PSO) [۳۴] برای دسته‌بندی استفاده شده است، این مرجع یکی از معدود مراجعی است که اغتشاشات ترکیبی را به صورت وسیعی مورد بررسی قرار داده است. همچنین دلیل استفاده از روش ترکیبی فازی و PSO در این مرجع بدین صورت مورد بررسی قرار می‌گیرد که، تخمین پارامترهای تابع عضویت سیستم فازی بر پایه دلایل بشری بدست می‌آید و میزان شناسایی صحیح از طریق اصلاح مبتنی بر سعی و خطای این پارامترها افزایش یابد. بنابراین در این

[1] Artificial Neural Network
[2] Support Vector Machine
[3] Wavelet Network
[4] Hidden Markov Model
[5] Deterministic
[6] Fuzzy Logic
[7] Combined disturbance
[8] Particle Swarm Optimization