

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی برق

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

دسته‌بندی رویدادها و تعیین منابع اغتشاشات کیفیت توان با استفاده از
تبدیل هیلبرت-هوانگ

مؤلف :

احمد عامری اختیارآبادی

استاد راهنما :

دکتر سعید اسماعیلی

استاد مشاور :

دکتر محسن محمدیان

شهریور ماه ۱۳۹۲

تقدیم به

پدر و مادرم که از نگاهشان صلابت

از رفتارشان محبت

و از صبرشان ایستادگی را آموختم،

خواهرم به پاس محبت‌های بی‌دریغش که هرگز فروکش نمی‌کند و

مژده که نشانه لطف الهی در زندگی من است.

تشر و قدردانی :

از استاد راهنمای گرانقدر جناب آقای دکتر سعید اسماعیلی که در طول دوره تحصیل بنده را از هیچ کمکی دریغ نمودند. همچنین استاد مشاورم جناب آقای دکتر محسن محمدیان که بدون مساعدت ایشان، این پروژه به نتیجه مطلوب نمی رسید.

چکیده:

امروزه به دلیل گسترش تجهیزات الکترونیک قدرت، بانک‌های خازنی، موتورهای بزرگ، کوره‌های قوس الکتریکی و غیره سیگنال‌های ولتاژ و جریان موجود در شبکه در معرض اغتشاشات گوناگونی قرار دارند. تشخیص و طبقه‌بندی اغتشاشات ولتاژ از مهمترین اجزای حفاظت و مانیتورینگ سیستم قدرت می‌باشد. اولین قدم برای دسته‌بندی و شناسایی منبع یک اغتشاش، استخراج مشخصات آن و آنالیز این مشخصات می‌باشد. در این پایان‌نامه، از تبدیل هیلبرت-هوانگ که از دو فرآیند تجزیه حالت تجربی و تبدیل هیلبرت تشکیل شده است برای استخراج مشخصات از شکل موج اختلال استفاده شده است. برای این منظور ابتدا سیگنال با استفاده از تجزیه حالت تجربی به مؤلفه‌های تک فرکانسی خود به نام تابع حالت ذاتی تجزیه و سپس ویژگی‌های آن با استفاده از تبدیل هیلبرت از توابع حالت ذاتی استخراج می‌شود. از مزایای این روش نسبت به روش‌های قبلی مانند تبدیل موجک و تبدیل S، دقت بالا در استخراج مشخصات زمان فرکانسی سیگنال‌های غیر خطی و نایستا، ممتاز بودن مشخصات استخراج شده توسط تبدیل هیلبرت، مقاوم بودن در برابر نویز، عدم نیاز به توابع از پیش تعیین شده و نمایش سیگنال توسط سیگنال‌های تک مؤلفه (توابع حال ذاتی) در مختصات زمان-فرکانسی می‌باشد. در این مرحله برای دسته‌بندی اختلالات نیز از ماشین بردار پشتیبان بهره گرفته شده است.

در ادامه و در گامی دیگر، این پایان‌نامه به تعیین منابع کمبود ولتاژ می‌پردازد. در روش پیشنهادی ابتدا پوش، فاز و فرکانس لحظه‌ای شکل موج کمبود ولتاژ، توسط تبدیل هیلبرت استخراج شده و از طریق مدل مخفی مارکوف منبع این کمبود ولتاژ شناسایی می‌گردد. خطای اتصال کوتاه، راه-اندازی موتورهای القایی بزرگ، ورود بارهای بزرگ به شبکه، انرژی‌دار کردن ترانسفورماتور و شتاب‌گیری موتور القایی بعد از برداشته شدن خطا از جمله مهمترین عواملی می‌باشند که سبب ایجاد کمبود ولتاژ می‌گردند. در این روش دسته‌بندی بر اساس ظاهر شکل موج صورت می‌گیرد و در نتیجه با توجه به خروجی تبدیل هیلبرت و تفاوت مشهود خروجی آن، برای منابع مختلف کمبود ولتاژ، روش پیشنهادی منجر به نتایج قابل توجهی شده است.

کلید واژه: کیفیت توان، دسته‌بندی اختلالات، تبدیل هیلبرت، تجزیه حالت تجربی، ماشین بردار پشتیبان، منابع کمبود ولتاژ، مدل مخفی مارکوف.

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱ مقدمه
۲	۲-۱ اغتشاشات کیفیت توان، علل و اثرات آنها
۵	۳-۱ دسته‌بندی اغتشاشات کیفیت توان
۵	۱-۳-۱ استخراج مشخصات سیگنال‌ها
۵	۱-۱-۳-۱ تبدیل فوریه سریع
۶	۲-۱-۳-۱ تبدیل موجک
۶	۳-۱-۳-۱ تبدیل S
۹	۴-۱-۳-۱ تبدیل هیلبرت-هوانگ
۱۰	۲-۳-۱ دسته‌بندی اغتشاشات
۱۱	۱-۳-۳ تعیین منابع اغتشاشات
۱۱	۴-۱ اهداف این پایان نامه
۱۲	۱-۴-۱ استخراج مشخصات
۱۳	۲-۴-۱ آشکارسازی و دسته‌بندی سیگنال‌های اغتشاش
۱۳	۳-۴-۱ تعیین علل وقوع کمبود ولتاژ
۱۳	۴-۱ جمع‌بندی
۱۵	فصل دوم: تبدیل‌های زمان-فرکانسی
۱۶	۱-۲ مقدمه
۱۶	۲-۲ تبدیل فوریه
۱۸	۳-۲ تبدیل فوریه زمان کوتاه
۲۱	۴-۲ آنالیز با دقت چندگانه
۲۲	۵-۲ تبدیل موجک
۲۲	۱-۵-۲ تاریخچه
۲۴	۲-۵-۲ تبدیل موجک پیوسته
۲۵	۳-۵-۲ روابط ریاضی تبدیل موجک
۲۷	۴-۵-۲ عکس تبدیل موجک
۲۷	۵-۵-۲ تبدیل موجک گسسته
۲۹	۶-۲ تبدیل S
۲۹	۱-۶-۲ کلیات تبدیل S
۲۹	۲-۶-۲ محاسبه ریاضی تبدیل S
۳۱	۳-۶-۲ خاصیت خطی بودن تبدیل S و اثر نویز بر آن
۳۲	۴-۶-۲ تبدیل S و سیگنال تحلیلی

۳۲	۷-۲ تبدیل هیلبرت-هوانگ
۳۴	۸-۲ جمع بندی
	فصل سوم: دسته بندی اغتشاشات کیفیت توان با استفاده از تبدیل هیلبرت-هوانگ و
۳۵	ماشین بردار پشتیبان
۳۶	۱-۱-۳ مقدمه
۳۶	۲-۳ دسته بندی اغتشاشات کیفیت توان
۳۶	۳-۳ کلیات تبدیل هیلبرت-هوانگ
۳۷	۱-۳-۳ تجزیه حالت تجربی
۴۱	۲-۳-۳ تبدیل هیلبرت
۴۳	۴-۳ دسته بندی اغتشاشات کیفیت توان با استفاده از ماشین بردار پشتیبان
۴۳	۵-۳ پیشینه ای از روش ماشین های بردار پشتیبان
۴۴	۶-۳ ماشین های بردار پشتیبان
۴۴	۱-۶-۳ مفاهیم اصلی
۴۴	۲-۶-۳ عملکرد ماشین بردار پشتیبان
۴۷	۷-۳ تحلیل کیفیت توان با تجزیه حالت تجربی
۵۳	۸-۳ استخراج ویژگی های مطلوب از تبدیل هیلبرت
۵۶	۹-۳ جمع بندی
	فصل چهارم: تعیین منابع کمبود ولتاژ با استفاده از تبدیل هیلبرت و مدل مخفی
۵۷	مارکوف
۵۸	۱-۴ مقدمه
۵۸	۲-۴ علل کمبود ولتاژ و مشخصات آن
۵۸	۱-۲-۴ کمبود ولتاژ در اثر اتصال کوتاه
۵۹	۲-۲-۴ کمبود ولتاژ در اثر راه-اندازی موتور القایی
۶۰	۳-۲-۴ کمبود ولتاژ در اثر انرژی دار کردن ترانسفورماتور
۶۱	۴-۲-۴ کمبود ولتاژ ناشی از شتاب گیری موتور بعد از برداشته شدن خطا
۶۲	۳-۴ دلایل استفاده از روش پیشنهادی
۶۳	۴-۴ مدل مخفی مارکوف (HMM)
۶۴	۱-۴-۴ معرفی و مقدمات مدل مخفی مارکوف
۶۷	۲-۴-۴ چگونگی تولید مشاهدات در مدل مخفی مارکوف
۶۸	۳-۴-۴ آموزش مدل
۶۹	۱-۳-۴-۴ احتمال پیشرو
۶۹	۲-۳-۴-۴ احتمال پسرو
۷۰	۳-۳-۴-۴ محاسبه پارامترهای مدل

۷۰	.....۴-۴-۴ آزمایش (شناسایی خطا)
۷۲	.....۴-۵ آماده سازی اطلاعات برای مدل مخفی مارکوف
۷۳	.....۴-۶ عملکرد کلی روش
۷۴	.....۴-۷ جمع بندی
۷۶	..... فصل پنجم: شبیه سازی و نتایج
۷۷	.....۵-۱ مقدمه
۷۷	.....۵-۲ تولید سیگنال اغتشاش
۷۷	.....۵-۲-۱ تولید سیگنال اختلال توسط مدل ریاضی
۷۹	.....۵-۲-۲ تولید سیگنال کمبود ولتاژ توسط شبیه سازی
۸۰	.....۵-۳ نتایج شبیه سازی
۸۱	.....۵-۳-۱ دسته بندی اغتشاشات با استفاده از تبدیل هیلبرت-هوانگ و ماشین بردار پشتیبان
۸۹	.....۵-۴ تعیین منابع کمبود ولتاژ
۹۲	.....۵-۵ جمع بندی
۹۳	..... فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادها
۹۴	.....۶-۱ نتیجه گیری
۹۵	.....۶-۲ پیشنهادها
۹۶	..... منابع

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل (۱-۱) الف) شکل موج ولتاژ کمبود ولتاژ (ب) شناسایی کمبود ولتاژ با تبدیل S ج) شناسایی کمبود ولتاژ با استفاده از تبدیل هیلبرت-هوانگ	۷
شکل (۲-۱) الف) شکل موج ولتاژ دارای ضربه (ب) شناسایی ضربه با تبدیل S ج) شناسایی ضربه با استفاده از تبدیل هیلبرت-هوانگ	۸
شکل (۳-۱) الف) شکل موج ولتاژ دارای شکاف (ب) شناسایی شکاف ولتاژ با تبدیل S ج) شناسایی شکاف ولتاژ با استفاده از تبدیل هیلبرت-هوانگ	۸
شکل (۴-۱): نمایش بلوکی دورنمای پایان نامه	۱۱
شکل (۵-۱) نمودار بلوکی روش پیشنهادی برای دسته‌بندی اغتشاشات کیفیت توان	۱۲
شکل (۵-۱) نمودار بلوکی روش پیشنهادی برای تعیین منابع کمبود ولتاژ	۱۳
شکل (۱-۲) دو نمونه سیگنال شامل مخلوطی از فرکانس‌های ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ هرتز و تبدیل فوریه آن‌ها	۱۸
شکل (۲-۲): نمایش گرافیکی نحوه پنجره کردن سیگنال غیرایستا به منظور محاسبه تبدیل فوریل زمان-کوتاه	۱۹
شکل (۳-۲): تابع پایه مستطیلی (هار)	۲۲
شکل (۴-۲): موجک پایه مورلت	۲۳
شکل (۵-۲): موجک پایه دابیچز	۲۳
شکل (۱-۳) سیگنال آزمایشی	۳۸
شکل (۲-۳) سیگنال ساده، پوش ماکزیمم، پوش مینیمم و میانگین سیگنال (M_1)	۳۸
شکل (۳-۳) سیگنال H_1	۳۹
شکل (۴-۳) تکرار فرآیند غربال برای H_1 و M_{11} (بالا) تکرار فرآیند غربال H_{11} و M_{12} (پایین)	۴۰
شکل (۵-۳) اولین IMF	۴۱
شکل (۴-۳) فلوچارت الگوریتم EMD	۴۱
شکل (۵-۳) شکاف ولتاژ و مشخصات لحظه‌ای آن	۴۲
شکل (۶-۳) عملکرد ماشین بردار پشتیبان	۴۵
شکل (۷-۳) ماشین بردار پشتیبان غیرخطی، انتقال از فضای اصلی به فضای جدید با تابع کرنل $K(\cdot)$	۴۶
شکل (۸-۳) سیگنال کمبود ولتاژ و نمایش تجزیه حالت تجربی آن	۴۷
شکل (۹-۳) سیگنال شکاف ولتاژ و نمایش تجزیه حالت تجربی آن	۴۸
شکل (۱۰-۳) سیگنال گذرا نوسانی و نمایش تجزیه حالت تجربی آن	۴۸
شکل (۱۱-۳) سیگنال هارمونیک و نمایش تجزیه حالت تجربی آن	۴۹
شکل (۱۲-۳) سیگنال هارمونیک همراه با کمبود ولتاژ و نمایش تجزیه حالت تجربی آن	۴۹
شکل (۱۳-۳) سیگنال ضربه و نمایش تجزیه حالت تجربی آن	۵۰
شکل (۱۴-۳) سیگنال فلیکر ولتاژ و نمایش تجزیه حالت تجربی آن	۵۰
شکل (۱۵-۳) سیگنال بیشبود ولتاژ و نمایش تجزیه حالت تجربی آن	۵۱

- شکل (۳-۱۶) سیگنال فلیکر و بیشبود ولتاژ و نمایش تجزیه حالت تجربی آن ۵۱
- شکل (۳-۱۷) سیگنال هارمونیک و بیشبود ولتاژ و نمایش تجزیه حالت تجربی آن ۵۲
- شکل (۳-۱۸) سیگنال قطعی و نمایش تجزیه حالت تجربی آن ۵۲
- شکل (۳-۱۹) سیگنال فلیکر و بیشبود ولتاژ و نمایش تجزیه حالت تجربی آن ۵۳
- شکل (۳-۲۰) سیگنال شکاف و فلیکر ولتاژ و نمایش تجزیه حالت تجربی آن ۵۳
- شکل (۳-۲۱) سیگنال ضربه و فلیکر ولتاژ و نمایش تجزیه حالت تجربی آن ۵۴
- شکل (۳-۲۲) سیگنال هارمونیک و فلیکر ولتاژ و نمایش تجزیه حالت تجربی آن ۵۴
- شکل (۳-۱۳) فلوچارت روش دسته‌بندی اغتشاشات ۵۵
- شکل (۴-۱) کمبود ولتاژ ناشی از خطا و مشخصات لحظه‌ای آن ۵۹
- شکل (۴-۲) کمبود ولتاژ ناشی از راه-اندازی موتور و مشخصات لحظه‌ای آن ۶۰
- شکل (۴-۳) کمبود ولتاژ ناشی از انرژی‌دار کردن ترانسفورماتور و مشخصات لحظه‌ای آن ۶۱
- شکل (۴-۴) کمبود ولتاژ ناشی از شتاب‌گیری موتور بعد از برداشته شدن خطا و مشخصات لحظه‌ای آن ۶۲
- شکل (۴-۵) تفاوت ویژگی انحراف معیار فاز در انواع کمبود ولتاژ و اختلالات کیفیت توان ۶۳
- شکل (۴-۶) تفاوت ویژگی انرژی سیگنال در انواع کمبود ولتاژ و اختلالات کیفیت توان ۶۳
- شکل (۴-۷) یک مدل مارکوف نمونه ۶۵
- شکل (۴-۸) احتمال هر یک از مشاهدات در هر حالت از HMM ۶۵
- شکل (۴-۹) مدل ارگودیک HMM ۷۲
- شکل (۴-۱۰) مدل بکیس HMM ۷۲
- شکل (۴-۱۱) فلوچارت روش پیشنهادی ۷۴
- شکل (۵-۱) مدل طراحی شده برای شبیه‌سازی کمبود ولتاژ ایجاد شده در اثر خطا ۷۹
- شکل (۵-۲) مدل طراحی شده برای شبیه‌سازی کمبود ولتاژ ایجاد شده در اثر راه-اندازی موتور ۷۹
- شکل (۵-۳) مدل طراحی شده برای شبیه‌سازی کمبود ولتاژ ایجاد شده در اثر انرژی‌دار کردن ترانسفورماتور ۸۰
- شکل (۵-۴) مدل طراحی شده برای شبیه‌سازی کمبود ولتاژ ایجاد شده در اثر شتاب‌گیری موتور القایی بعد از برداشته شدن خطا ۸۰
- شکل (۵-۵) نمودار مقایسه نتایج دسته‌بندی انواع توابع کرنل ۸۳
- شکل (۵-۶) نمودار مقایسه نتایج دسته‌بندی اغتشاشات در حالت عادی و با اضافه کردن نویز (کرنل RBF) ۸۷
- شکل (۵-۷) نمودار مقایسه نتایج دسته‌بندی منابع کمبود ولتاژ، در حالت عادی و با اضافه کردن نویز ۹۱

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول (۱-۱): اثرات و علل ایجاد انواع اغتشاشات	۳
جدول (۱-۲): تاریخچه تکمیل تبدیل موجک	۲۴
جدول (۲-۲): مقایسه تبدیل هیلبرت-هانگ با دیگر تبدیل‌های زمان-فرکانسی	۳۴
جدول (۱-۵) معادلات ریاضی اغتشاشات کیفیت توان	۷۸
جدول (۲-۵) نتایج حاصل از دسته بندی اغتشاشات، بدون نویز با تابع کرنل متفاوت	۸۲
جدول (۳-۵) نتایج حاصل از دسته بندی اغتشاشات، بدون اعمال نویز با تابع کرنل RBF	۸۳
جدول (۴-۵) نتایج حاصل از دسته بندی اغتشاشات با تابع کرنل RBF و نسبت سیگنال به نویز ۴۰	۸۴
جدول (۵-۵) نتایج حاصل از دسته بندی اغتشاشات با تابع کرنل RBF و نسبت سیگنال به نویز ۳۰	۸۴
جدول (۶-۵) نتایج حاصل از دسته بندی اغتشاشات با تابع کرنل RBF و نسبت سیگنال به نویز ۲۰	۸۵
جدول (۷-۵) نتایج حاصل از دسته بندی اغتشاشات در برابر نویز	۸۶
جدول (۸-۵) مقایسه دو روش مختلف دسته بندی اغتشاشات با روش پیشنهادی	۸۷
جدول (۹-۵) مقایسه کلی بین روش‌های مختلف	۸۸
جدول (۱۰-۵) نتایج تعیین علل وقوع کمبود ولتاژ با استفاده از روش پیشنهادی	۹۰
جدول (۱۱-۵) مقایسه نتایج روش‌های دیگر مورد استفاده با روش پیشنهادی	۹۰
جدول (۱۲-۵) نتایج روش پیشنهادی برای تعیین علل وقوع کمبود ولتاژ در حضور محیط نویزی	۹۱

فصل اول:

مقدمه

۱-۱ مقدمه

در سال‌های اخیر با گسترش استفاده از ادوات الکترونیک قدرت و تجهیزات حساس به ولتاژ، کیفیت توان الکتریکی به عنوان مسئله مهمی برای مصرف‌کنندگان و صنایع مطرح شده است و در نتیجه آن تحقیقات روی مسئله کیفیت توان اهمیت فراوانی پیدا کرده است. استفاده از بارهای غیرخطی، بارهای الکترونیک قدرت، یکسوکننده‌های صنعتی و اینورترها منجر به ایجاد اغتشاشات کیفیت توان مثل کمبود ولتاژ^۱، بیشبود ولتاژ^۲، هارمونیک^۳، فلیکر^۴، گذرای نوسانی^۵، شکاف ولتاژ^۶، گذرای ضربه‌ای^۷، میان-هارمونیک^۸، حضور مؤلفه DC و نویز^۹ می‌شوند. استفاده از وسایل الکترونیکی حساس که برای عملکرد با ولتاژ عاری از اغتشاشات طراحی شده‌اند، شرکت‌های برق را مجبور ساخته تا اغتشاشات کیفیت توان را شناسایی و اقدامات لازم را جهت حذف یا کاهش آنها انجام دهند. بنابراین استخراج مشخصات اغتشاشات و چگونگی شناسایی خودکار آنها برای بهبود کیفیت توان الکتریکی از اهمیت اساسی برخوردار است.

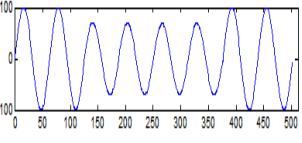
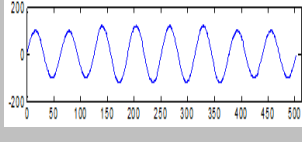
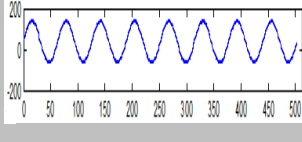
۱-۲ اغتشاشات کیفیت توان، علل و اثرات آنها

اصولا اغتشاشات کیفیت توان دلایل متعدد و متنوعی می‌توانند داشته باشند. از طرف دیگر مکانیزم اثر گذاری و ایجاد اختلال در شبکه نیز بسته به ماهیت اغتشاش می‌تواند متفاوت باشد. به همین دلیل، در مطالعات کیفیت توان و تدوین استانداردهای مربوطه سعی می‌گردد اغتشاشات فوق الذکر بر اساس ماهیت آنها دسته بندی گردد. در این بخش این دسته بندی بر اساس استانداردهای معتبر موجود ارائه می‌گردد [۱]. جدول (۱-۱) اثرات و علل ایجاد انواع اغتشاشات کیفیت توان را نمایش می‌دهد.

¹ Voltage sag
² Voltage swell
³ Harmonic
⁴ Flicker
⁵ Voltage transient
⁶ Notch
⁷ Impulse
⁸ Inter Harmonic
⁹ Noise

جدول (۱-۱): اثرات و علل ایجاد انواع اغتشاشات [۱]

اثرات	علل ایجاد	اغتشاش
<p>۱- عملکرد نادرست دستگاه‌های الکتریکی، لامپ‌های تخلیه گازی و کلیه ادوات یکسوکننده‌ها</p> <p>۲- عملکرد ناصحیح دستگاه‌های اندازه‌گیری</p> <p>۳- ترکیدن خازن‌ها یا سوختن فیوز آن</p> <p>۴- عملکرد اشتباه سیستم‌های حفاظتی</p> <p>۵- تداخل با خطوط مخابراتی</p> <p>۶- تلفات و استهلاک تجهیزات</p>	<p>۱- بارهای غیرخطی نظیر کوره‌های قوس الکتریکی، لامپ‌های تخلیه گازی و کلیه ادوات یکسوکننده‌ها</p> <p>۲- اشباع ترانسفورمرهای قدرت</p> <p>۳- سیگنال‌های مخابراتی که از طریق خطوط انتقال نیرو انتقال می‌یابند (PLC) نیز می‌توانند به عنوان نوعی هارمونیک میانی در نظر گرفته شوند.</p> <p>۴- موتورهای القایی و کوره‌های القایی</p>	<p>۱- هارمونیک و میان‌هارمونیک</p> 
<p>۱- چشمک زدن آزاددهنده نور لامپ</p> <p>۲- عملکرد نادرست رله‌های حفاظتی در شرایطی که دامنه نوسانات زیاد باشد.</p> <p>۳- تغییر عملکرد کلیه وسایلی که به ولتاژ حساسند.</p>	<p>۱- کوره‌های قوس الکتریکی</p> <p>۲- کارخانه‌های نورد آهن</p> <p>۳- دستگاه‌های جوشکاری</p> <p>۴- راه اندازی پی در پی موتورها</p> <p>۵- درایوهای الکتریکی با ماهیت بار متناوب</p>	<p>۲- نوسانات ولتاژ</p> 
<p>۱- تلفات بیشتر بخصوص در کارکرد موتورهای سه فاز</p> <p>۲- صدمه دیدگی تجهیزاتی مانند موتورها و ترانسفورماتورها</p>	<p>۱- بارهای نامتعادل تکفاز</p> <p>۲- خطاها در شبکه</p> <p>۳- سوختن فیوز یکی از فازهای سیستم تغذیه</p>	<p>۳- عدم تعادل ولتاژ</p>
<p>عملکرد نادرست سیستم‌های حساس</p>	<p>یکسوکننده‌های قدرت</p>	<p>۴- شکاف و پرش ولتاژ</p> 
<p>عملکرد نادرست بعضی از لوازم الکتریکی و مخابراتی حساس</p>	<p>۱- منابع تغذیه سوئیچینگ</p> <p>۲- بارهای قوسی</p> <p>۳- زمین نامناسب در سیستم</p> <p>۴- بارهای با یکسوکننده‌های حالت جامد</p>	<p>۵- نویز</p> 
<p>۱- کاهش توان موتورهای بزرگ و اختلال در کار آنها</p> <p>۲- عملکرد ناصحیح سیستم‌های حساس به فرکانس</p>	<p>۱- وصل مجموعه ای از بارهای بزرگ</p> <p>۲- خروج مجموعه ای بزرگ از نیروگاه‌ها</p>	<p>۶- تغییرات فرکانس</p>
<p>خرابی تجهیزات و دستگاه‌های برقی در اثر شکست عایقی</p>	<p>صاعقه</p>	<p>۷- پدیده‌های گذرا</p> <p>۷-۱ گذرای ضربه ای</p>

اثرات	علل ایجاد	اغتاش
خرابی و عملکرد نادرست تجهیزات	۱- کلیدزنی خازن‌ها و ترانسفورمرهای قدرت ۲- پدیده فرورزونانس ۳- برق‌دار کردن یک بانک خازنی به صورت پشت به پشت ۴- کلید زنی کابل	۷- پدیده‌های گذرا ۲-۷ گذرای نوسانی 
۱- خاموش شدن لامپ‌های تخلیه‌ای ۲- صدمه دیدن بارهای توان ثابت ۳- فرمان قطع و وصل اشتباه به کنتاکتورها ۴- خطا در محاسبات کامپیوتری و یا وسایل اندازه‌گیری ۵- خطا در کموتاسیون پل تریستوری در حالت اینورتری	۱- خطاهای روی شبکه ۲- راه اندازی موتورها ۳- قطع بانک‌های خازنی ۴- وصل بارهای بزرگ	۸- کمبود ولتاژ 
۱- افزایش ولتاژ لحظه ای روی دستگاه‌ها ۲- خرابی برقی‌های متال اکسید روی اگر به مرحله عمل برسند ۳- تاثیر روی عملکرد رله‌های حفاظتی	۱- خطاهای تکفاز به زمین ۲- قطع بارهای بزرگ ۳- وصل بانک‌های خازنی	۹- بیشبود ولتاژ 
۱- مختل شدن کار صنایع ۲- خسارت سنگین در صنایع ذوب	۱- اتصال کوتاه ۲- خرابی تجهیزات و یا کارکرد نادرست کنترل کننده‌ها	۱۰- قطعی ولتاژ 
۱- به اشباع بردن هسته ترانسفورماتور، کاهش طول عمر و یا حتی سوختن آن ۲- فرسایش الکترولیتی الکترودهای زمین و دیگر اتصالات مربوط به آن	یکسوسازها	۱۱- وجود مقدار dc در شبکه متناوب 

۳-۱ دسته‌بندی اغتشاشات کیفیت توان

دسته‌بندی اغتشاشات دارای دو مرحله عمده می‌باشد:

(۱) استخراج مشخصات سیگنال‌ها

(۲) دسته‌بندی سیگنال‌های اغتشاش بر اساس مشخصات استخراج شده

۱-۳-۱ استخراج مشخصات سیگنال‌ها

برای استخراج ویژگی‌های زمانی و فرکانسی از روش‌های مختلفی استفاده شده است. از جمله این روش‌ها می‌توان به تبدیل فوریه سریع^۱ (FFT) [۲]، تبدیل موجک^۲ (WT) [۳-۵]، تبدیل S^۳ (ST) [۶-۱۰] و تبدیل هیلبرت-هوانگ [۱۱-۱۳] اشاره کرد که تقریباً یک سیر تکاملی را برای استخراج مشخصات زمانی و فرکانسی سیگنال اغتشاش طی کرده‌اند.

۱-۱-۳-۱ 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 و فلیکر می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. به طور کلی می‌توان اینگونه بیان کرد که تبدیل فوریه سریع برای شناسایی سیگنال‌های ایستا که مشخصات آن‌ها با زمان تغییر نمی‌کند به خوبی قابل استفاده است. اما برای سیگنال‌های نایستا مثل سیگنال حاوی مؤلفه گذرای نوسانی که مشخصات سیگنال با زمان تغییر می‌کند نمی‌توان از این تبدیل استفاده کرد [۱۴]. برای غلبه بر این مشکل تبدیل فوریه زمان کوتاه^۴ (STFT) مطرح شد [۱۵]. 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 پنجره 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 نایستا باشد [۱۲].

¹ Fast Fourier Transform

² Wavelet Transform

³ S-Transform

⁴ Short Time Fourier transform

۱-۳-۲ 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 پنجره در نظر گرفته شده به فرکانس سیگنال اغتشاش وابسته است به این شکل که برای فرکانس های کم پنجره ای با پهنای زیاد و برای فرکانس های بالا پنجره ای با پهنای کم استفاده می شود. دلیل این کار هم این است که دوره تناوب موج سینوسی با افزایش فرکانس کاهش می یابد. تبدیل موجک اطلاعات زمانی بسیار خوبی را از سیگنال اغتشاش به دست می دهد. بنابراین از این تبدیل می توان به خوبی برای سیگنال هایی مثل گذرای نوسانی که در آن مشخصات سیگنال با زمان تغییر می کند استفاده کرد. با وجود این امتیازات خروجی های تبدیل موجک پارامترهای قابل درکی نمی باشند و برای استفاده از آن ها لزوماً باید از روش های کمکی استفاده کرد که منجر به پیچیدگی بیش از حد محاسبات می شود. به علاوه، هر چند که تبدیل موجک اطلاعات زمانی سیگنال را به خوبی استخراج می کند، اما در مقایسه با تبدیل فوریه اطلاعات فرکانسی حاصل از آن خیلی دقیق نیستند. به این صورت که با افزایش فرکانس دامنه مؤلفه های فرکانسی نسبت به مقدار واقعی خود افت می کنند. عیب دیگر تبدیل موجک این است که هیچگونه اطلاعاتی را از فاز سیگنال اغتشاش استخراج نمی کند. بنابراین بوسیله آن نمی توان پارامترهای فازی مثل فاز لحظه ای سیگنال اغتشاش را استخراج کرد. همچنین این تبدیل در محیط های دارای نویز توانایی خود را از دست می دهد [۱۰].

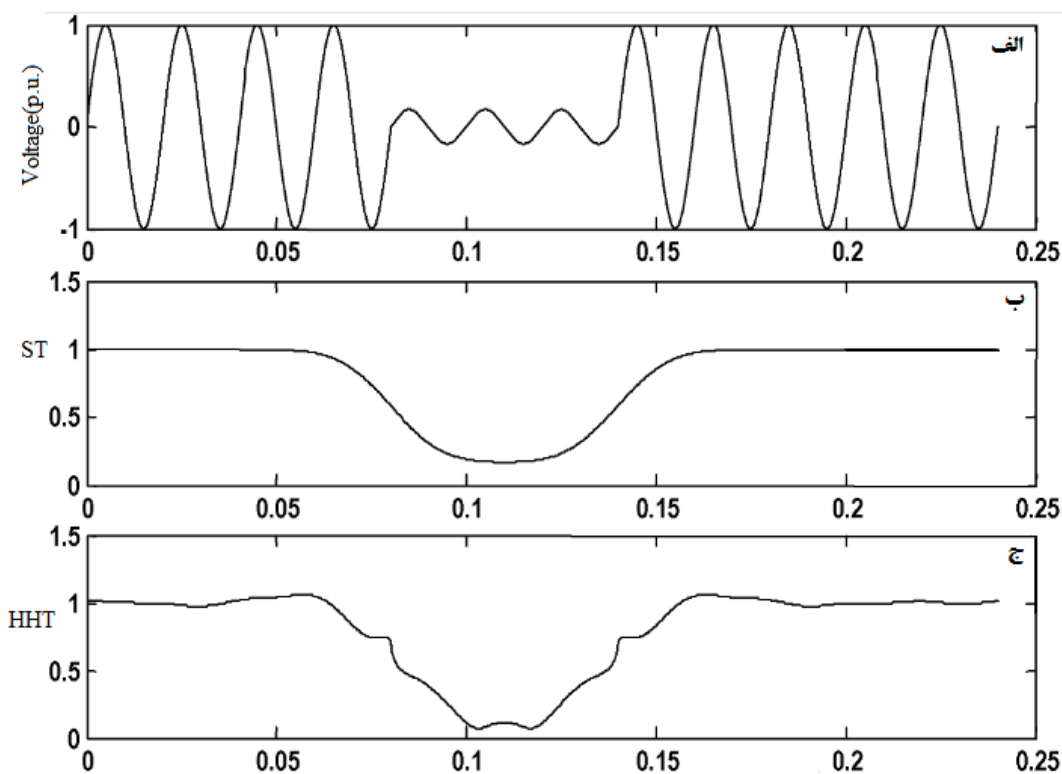
۱-۳-۳ تبدیل S

ایده اولیه تبدیل S برای استخراج مشخصات فازی از سیگنال های الکتریکی مطرح شد. از آنجا که تبدیل موجک هیچ اطلاعاتی را از فاز اولیه سیگنال به دست نمی داد، استاکول با اضافه کردن یک فاکتور تصحیح کننده فاز^۱ به فرمول تبدیل موجک، تبدیل موجک اصلاح شده یا همان تبدیل S را استخراج کرد [۱۶]. با استفاده از تبدیل S می توان 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 سیگنال های الکتریکی را بدست می دهد، که این یکی از مزیت های تبدیل S در مقابل تبدیل موجک است. همچنین استخراج اطلاعات فازی سیگنال هم یکی دیگر از مزایای دیگر تبدیل S نسبت به تبدیل موجک است.

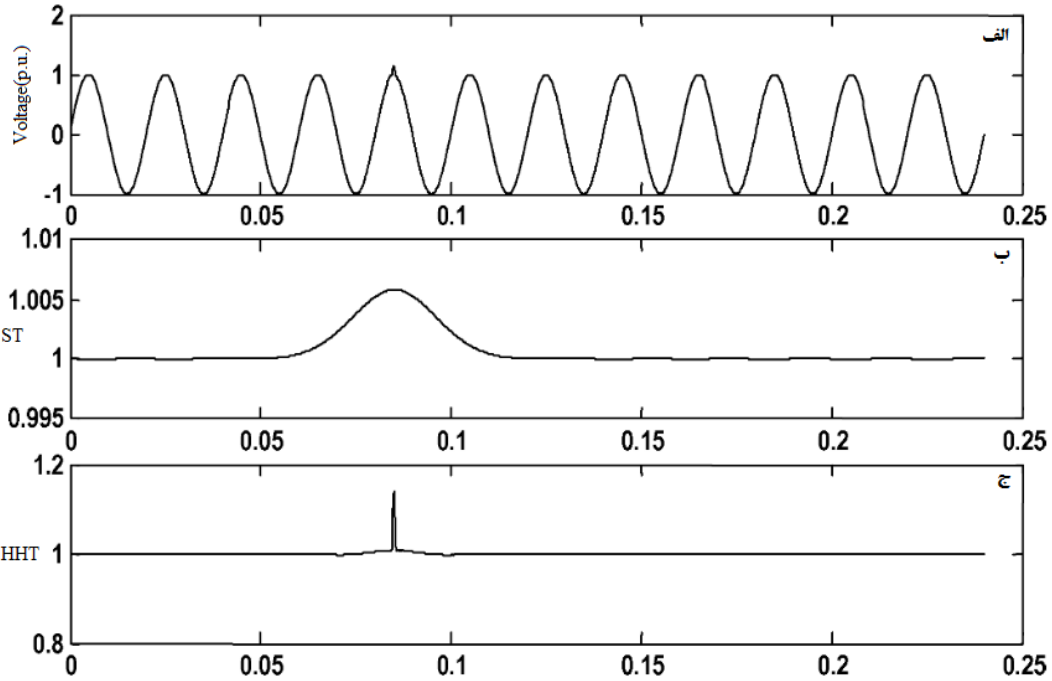
¹ Phase correction factor

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 مشاهده 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 می‌باشد [۱۷]. وجود نویز در سیگنال‌های اغتشاش بر ویژگی‌های خروجی تبدیل S تأثیر بسیار ناچیزی دارد، بنابراین ایراد تأثیرپذیری از نویز هم در تبدیل S به خوبی برطرف شده است. اما این تبدیل در برابر شکل موج‌های سریع مثل ضربه یا شکاف به خوبی عمل نمی‌کند [۱۱].

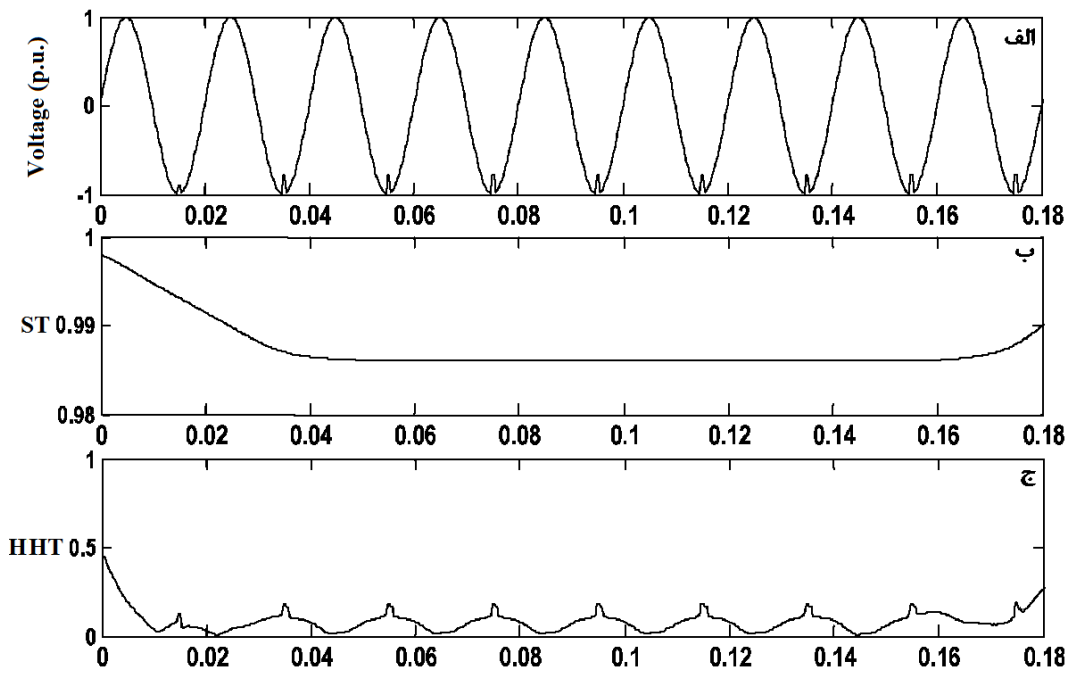
شکل (۱-۱) تا (۳-۱) نحوه آشکار سازی کمبود ولتاژ، ضربه و شکاف ولتاژ را توسط تبدیل S و تبدیل هیلبرت-هوانگ نشان می‌دهد. همان گونه که مشخص است. تبدیل S، اختلالات کند مثل کمبود ولتاژ را به درستی شناسایی می‌کند اما در برابر اغتشاشات سریع عملکرد ضعیفی دارد.



شکل (۱-۱) (الف) شکل موج ولتاژ کمبود ولتاژ (ب) شناسایی کمبود ولتاژ با تبدیل S (ج) شناسایی کمبود ولتاژ با استفاده از تبدیل هیلبرت-هوانگ



شکل (۲-۱) الف) شکل موج ولتاژ دارای شکاف ب) شناسایی شکاف ولتاژ با تبدیل S ج) شناسایی شکاف ولتاژ با استفاده از تبدیل هیلبرت-هوانگ



شکل (۳-۱) الف) شکل موج ولتاژ دارای شکاف ب) شناسایی شکاف ولتاژ با تبدیل S ج) شناسایی شکاف ولتاژ با استفاده از تبدیل هیلبرت-هوانگ

۱-۳-۴ تبدیل هیلبرت-هوانگ

تبدیل هیلبرت-هوانگ روشی جدید برای آنالیز سیگنال‌های ناپایستا و غیر خطی می‌باشد که توسط هوانگ و همکارانش معرفی شده است [۱۸-۲۰]. همانطور که مشخص است تمامی فرآیندهای طبیعی دارای ماهیتی غیر خطی و ناپایستا می‌باشند. اما متأسفانه روش‌های آنالیز سیگنال معرفی شده توانایی استنتاج مناسب اطلاعات از این گونه فرآیندها را ندارند. بنابراین نیاز به روشی است که بتواند در برابر فرایندهای طبیعی پاسگو باشد. زیرا در روش‌های قدیمی یک ساختار خطی بر یک سیستم غیر خطی تحمیل می‌گردد که مناسب نمی‌باشد. در گام بعد نیاز به روشی است که بتواند جزئیات دینامیکی یک فرایند را به طور کامل از اطلاعات استخراج نماید، زیرا مشخصه عمومی فرآیندهای غیرخطی، تلفیق فرکانس‌های داخلی می‌باشد، به این معنی که فرکانس لحظه‌ای با هر سیکل نوسان تغییر می‌کند. در سیستم‌های قدیمی که آنالیز اطلاعات بر اساس فوریه صورت می‌گرفت، نمایش تغییرات فرکانس‌های داخلی تنها به وسیله کمک از هارمونیک‌های ساختگی صورت می‌گرفت. به همین سبب هر شکل موج غیرخطی به عنوان اعوجاج هارمونیک منسوب گشته است. این درحالی است که اعوجاج هارمونیک حاصل تحمیل یک ساختار خطی بر یک سیستم غیر خطی است [۲۱].

تبدیل هیلبرت هوانگ از دو روش تجزیه حالت تجربی^۱ (EMD) و تبدیل هیلبرت^۲ (HT) تشکیل شده است. این روش ابتدا با استفاده از تجزیه حالت تجربی سیگنال مورد نظر را به توابع حالت ذاتی^۳ (IMF) تجزیه می‌کند سپس از طریق تبدیل هیلبرت دامنه، فاز و فرکانس لحظه‌ای توابع حالت ذاتی استخراج می‌گردد [۱۹].

۱-۳-۴-۱ تجزیه حالت تجربی

برای ارزیابی دقیق یک سیگنال ناپایستا که اکثر رویدادهای کیفیت توان از این نوع می‌باشند نمایش آن به صورت ترکیبی از مؤلفه‌های سینوسی امری مهم و ضروری تلقی می‌شود. این نیاز سبب شده، روشی برای جداسازی مؤلفه‌های یک سیگنال پیشنهاد گردد که در آن هر مؤلفه دارای فرکانس لحظه‌ای مشخصی باشد، تجزیه حالت تجربی روشی برای جداسازی مؤلفه‌های تک فرکانس یا دارای پهنای باند باریک از شکل موج اصلی است و به مؤلفه‌های بدست آمده از این روش تابع حالت ذاتی (IMF) گفته می‌شود [۱۱].

¹ Empirical Mode Decomposition

² Hilbert Transform

³ Intrinsic Mode Function