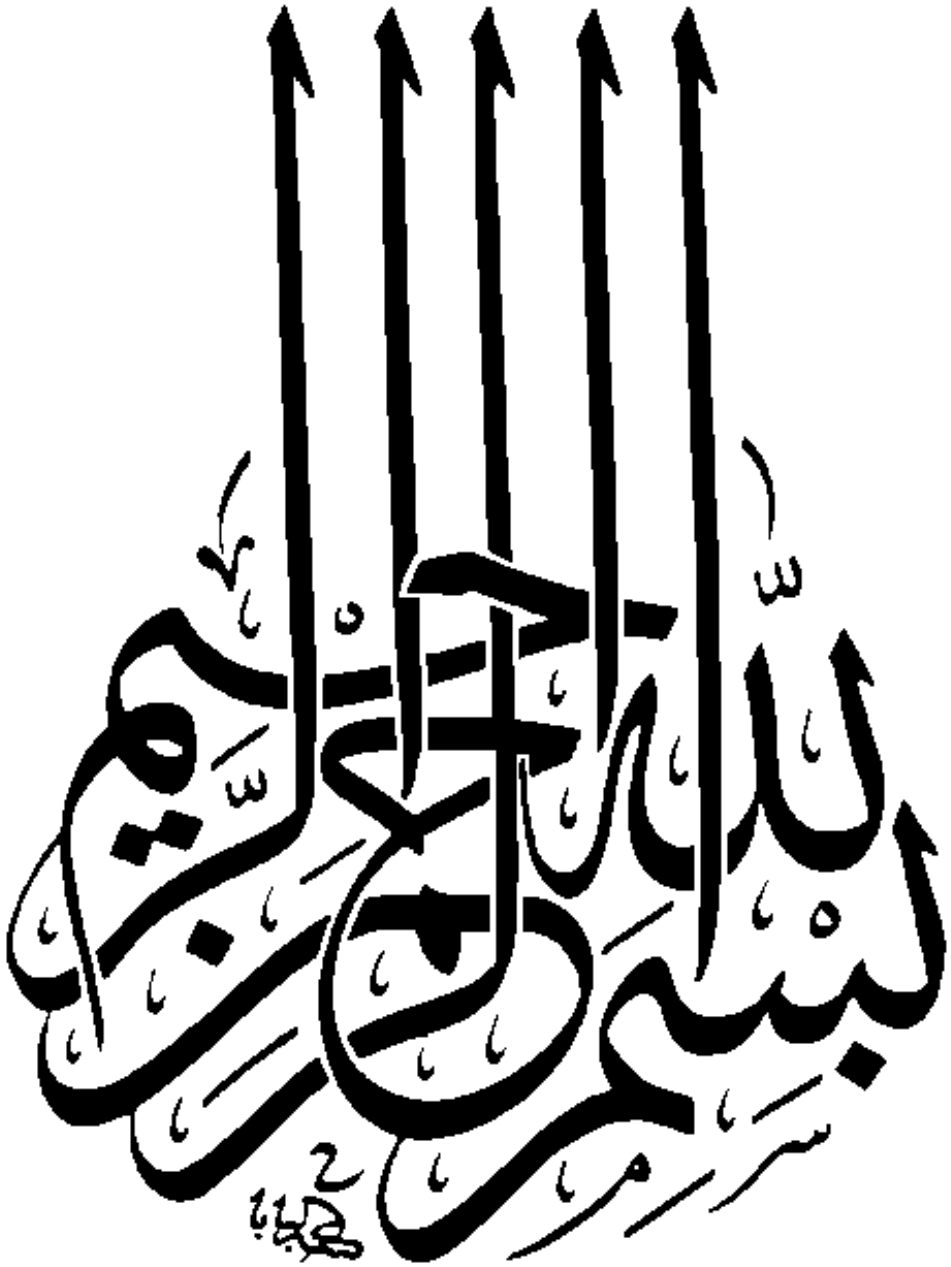

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی برق، گرایش قدرت

آشکارسازی و طبقه بندی حالت‌های گذرای ترانسفورماتور قدرت با استفاده از تبدیل موجک

استاد راهنما : دکتر مهرداد رستمی

استاد مشاور: دکتر گئورگ قره‌پتیان

نگارش : عبدالعزیز اشرفیان

زمستان۸۹

کلیه حقوق این پایان نامه متعلق به دانشگاه شاهد می‌باشد.

تشکر و قدردانی:

سپاس از زحمات استادان بزرگوارم جناب آقای دکتر رستمی و جناب آقای دکتر قره‌پتیان که در

مراحل مختلف تحصیل تلاش ایشان در جهت راهنمایی‌های علمی و تحصیلی شایستهٔ تقدیر است.

با سپاس از خانواده‌ام که در تمام لحظه‌های زندگی پشتیبان من بوده‌اند.

چکیده:

حفاظت دیفرانسیل یکی از بهترین روش‌های حفاظت برای ترانسفورماتور قدرت است که ترانسفورماتور را در برابر خطاهای داخلی محافظت می‌کند. حفاظت دیفرانسیل بر این اصل بنا شده که در شرایط عادی جریان دیفرانسیل دارای دامنه کوچکی است ولی در هنگام بروز خطا دامنه این جریان افزایش می‌یابد. در هنگام وصل ترانسفورماتور در اثر وجود شار پسماند و اشباع هسته یک جریان هجومی در ترانسفورماتور برقرار می‌شود. از آنجا که این جریان فقط از سیم‌پیچ اولیه عبور می‌کند موجب ایجاد جریان دیفرانسیل می‌شود. دامنه این جریان می‌تواند حتی به چند پریونیت برسد و سبب عملکرد بی‌دلیل رله دیفرانسیل در لحظه وصل ترانسفورماتور گردد. همچنین در هنگام بروز خطای خارجی اگر CTها اشباع گردد یا دارای خطای نسبت تبدیل باشد نیز ممکن است جریان دیفرانسیل ایجاد گردد. بنابراین تلاش‌های زیادی جهت رفع مشکل عملکرد بی‌مورد رله دیفرانسیل انجام شده است. روش‌های مبتنی بر تبدیلات موجک و S از جمله روش‌های ارائه شده است. روش‌های متفاوتی توسط مراجع مختلف ارائه شده است که از این تبدیلات استفاده می‌کنند. اکثر این روش‌ها در شرایط نویزی و همچنین در هنگام اشباع CTها نمی‌تواند عملکرد مناسبی داشته باشد. در این پایان‌نامه عملکرد روش‌های مبتنی بر تبدیلات موجک و S مورد بررسی قرار گرفته و مقایسه شده است و روش‌هایی جهت تشخیص و طبقه‌بندی جریان‌های هجومی و خطای داخلی و همچنین خطای خارجی با استفاده از تبدیلات ویولت و S ارائه شده است. دیده می‌شود می‌توان با تحلیل جریان دیفرانسیل توسط تبدیل موجک و استخراج انرژی و انحراف معیار ضرایب فرکانس بالای موجک، بین جریان هجومی و خطای داخلی تمایز قائل شد و از عملکرد رله در هنگام وصل ترانسفورماتور جلوگیری کرد. این روش به دلیل استفاده از مشخصه‌های انرژی و انحراف معیار در مقایسه با روش‌هایی که از شکل پیک‌های ایجاد شده در جزییات فرکانس بالای موجک استفاده می‌کنند در شرایط نویزی مقاوم‌تر است. ولی به هر حال تبدیل موجک گسسته به دلیل استفاده از فیلترهای بالا و پایین گذر که در عمل غیر ایده‌آل هستند تحت تاثیر پدیده نشتی قرار می‌گیرد. این قضیه زمانی که فرکانس‌های سیگنال مورد تحلیل به فرکانس انتهای باند فیلتر نزدیک باشد حادتر می‌شود. تبدیل S در واقع می‌تواند بعنوان یک تبدیل موجک اصلاح شده در نظر گرفته شود. برخلاف تبدیل موجک که سیگنال را به باندهای فرکانسی تقسیم می‌کند تبدیل S یک ماتریس با درایه‌های مختلط را برمی‌گرداند که دامنه و فاز سیگنال را در هر لحظه مشخص می‌کند. بعلاوه تبدیل S نسبت به تبدیل ویولت در برابر نویز مقاوم‌تر است. دیده می‌شود که با استفاده از الگوریتم ارائه شده در این پایان‌نامه می‌توان با استفاده از تبدیل S و همچنین مفهوم انحراف مطلق جریان هجومی را از خطای داخلی متمایز کرد. از طرف دیگر درصد قابل توجهی از خطاهای داخلی در ترانسفورماتورهای قدرت ناشی از خطا بین حلقه‌های سیم‌پیچ است. این خطاها معمولا در اثر پیرشدگی و آسیب عایق سیم‌پیچی رخ می‌دهد. معمولا قبل وقوع خطای داخلی، خطاهای جزئی رخ می‌دهد.

شناسایی به موقع خطاهای جزئی می‌تواند از بروز خطای داخلی و آسیب جدی ترانسفورماتور جلوگیری کند. در این پایان‌نامه یک روش مبتنی بر تبدیل S جهت شناسایی خطاهای جزئی ارائه شده است و عملکرد این روش با روش‌هایی که از تبدیل ویولت استفاده می‌کند مقایسه شده است.

کلمات کلیدی:ترانسفورماتور، حفاظت دیفرانسیل، خطای داخلی، خطای جزئی، جریان هجومی، تبدیل موجک، تبدیلS.

فصل اول:مقدمه ۱
۱-۱-مقدمه : ۲
۱-۲- مروری بر کارهای گذشته: ۳
فصل دوم: بررسی تبدیلات مهم مورد استفاده درتحلیل سیستمهای قدرت ۵
۲-۱-مقدمه: ٦
۲-۲- تبدیل فوریه : ۷
۲-۳- تبدیل فوریه زمان کوتاه (STFT): ۱۰
۲-۴- تبدیل موجك: ۱۱
۲-٤-۱-تبدیل موجك پیوسته (CWT): ۱۱
۲-۴-۱-۱- محاسبه CWT: ۱۳
۲-٤-۱-۲- تفکیك‌پذیري زمان و فرکانس: ۱٤
۲-٤-۲-تبدیل ویولت گسسته (DWT): ۱۵
۲-٤-۲-۱- تجزیه تك مرحله‌اي: ۱٦
۲-٤-۲-۲- تجزیه چند سطحي: ۱۷
۲-٤-۲-۳- بازسازي سیگنال: ۱۷
۲-٤-۳- معرفی چند موجک نمونه: ۱۸
۲-۵- تبدیل S: ۲۰
۲-۵-۱- پیاده سازی تبدیل S با استفاده از Wavelet: ۲۱
۲-۵-۲- تبدیل S هایپربولیک: ۲۱
۲-۵-۳- تبدیل S گسسته: ۲۲
۲-۵-۴- پیاده سازی تبدیل S گسسته: ۲٤
۲-۵-۵- مشخصه‌ها و مزایای تبدیل S : ۲۵
جمع بندی: ۲۷
فصل سوم: تشخیص و طبقه‌بندی پدیده‌های گذرا در ترانسفورماتور قدرت با استفاده از تبدیل موجک ۲۸

۳-۱- مقدمه: ۲۹
۳-۲- روش پیشنهادی: ۳۰
۳-۲-۱- تشخیص خطا: ۳۲
۳-۲-۲- طبقه بندی خطا: ۳۲
۳-۳- شبیه سازی و بررسی روش پیشنهادی: ۳٤
۳-۳-۱- مدل ترانسفورماتور قدرت: ۳۵
۳-۳-۲- مدل CTها: ۳۷
۳-۳-۳- نتایج شبیه سازی: ۳۸
جمع‌بندی: ٤۲
فصل چهارم:تشخیص و طبقه‌بندی پدیده‌های گذرا درترانسفورماتور قدرت با استفاده از تبدیل S ٤۳
۴-۱- مقدمه : ٤٤
۴-۲- تشخیص خطا در ترانسفورماتور با استفاده از تبدیل S: ٤٤
۴-۲-۱- تشخیص خطا: ٤۵
۴-۲-۲- طبقه بندی خطا با استفاده ازتبدیل S هایپربولیک: ٤۵
۴-۳- شبیه سازی روش ارائه شده: ٤٦
۴-۴- تشخیص خطا در ترانسفورماتور با استفاده از انحراف مطلق ماتریسs : ۵۲
۴-۵- شبیه سازی روش پیشنهادی: ۵۳
۴-۶- مقایسه عملکرد تبدیل S هایپربولیک و تبدیل موجک در شرایط نویزی: ٦۱
جمع‌بندی: ٦۳
فصل پنجم:تشخیص خطای جزئی در ترانسفورماتور با استفاده از تبدیل S هایپربولیک ٦٤
۵-۱- مقدمه: ٦۵
۵-۲- شناسایی خطای جزئی با استفاده از تبدیل s هایپربولیک: ٦٦
۵-۳- مدل خطای جزئی: ٦۷
۵-۳-۱- مدل پیرشدگی عایق: ٦۷
۵-۳-۲ -مدل آرک: ٦۸
۵-۴- مدل ترانسفورماتور : ٦۹
۵-۵- نتایج شبیه سازی: ۷۰
۵-۶- مقایسه عملکرد تبدیل ویولت و تبدیل s در تشخیص خطای جزئی: ۷۸

جمع‌بندی: ۷۹
فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۸۰
نتیجه‌گیری: ۸۱
پیشنهادات: ۸۲
پیوست: ۸۳
مراجع: ۸٤

فصل اول:مقدمه

۱-۱-مقدمه :

ترانسفورماتور قدرت یکی از مهمترین و گرانترین بخش‌های سیستم قدرت است که خروج برنامه ریزی نشده آن از سیستم قدرت می‌تواند موجب خاموشی بخش بزرگی از سیستم قدرت شود و قابلیت اطمینان سیستم قدرت را تحت تاثیر قرار دهد. تحقیقات نشان می‌دهد که ۷۰ تا ۸۰ درصد خرابی‌های سالانه ترانسفورماتورها در اثر بروز اتصال کوتاه در سیم پیچ‌های ترانسفورماتور است [۱]. بنابراین حفاظت ترانسفورماتور یکی از مهمترین دغدغه‌های مهندسین قدرت در سال‌های گذشته بوده است. یکی از بهترین حفاظت‌ها برای ترانسفورماتور قدرت حفاظت دیفرانسیل است [۲]. حفاظت دیفرانسیل ترانسفورماتور بر این اصل بنا شده که در شرایط کار عادی و همچنین در هنگام بروز خطای خارجی جریان دیفرانسیل دامنه کوچکی دارد در حالیکه حین خطای داخلی دامنه جریان دیفرانسیل افزایش پیدا خواهد کرد. به هر حال در برخی شرایط کار عادی و همچنین حین برخی خطاهای خارجی، ممکن است جریان‌های دیفرانسیل بزرگ ایجاد گردد و این امر باعث مختل شدن عملکرد صحیح رله دیفرسیل خواهد شد. هنگام وصل ترانسفورماتور در اثر اشباع هسته و وجود شار پشماند یک جریان هجومی با دامنه بالا (حتی تا چند برابر جریان نامی ترانسفورماتور) می‌تواند در سیم پیچ‌های آن جاری شود. این جریان فقط از سیم پیچ‌های اولیه عبور می‌کند و این باعث ایجاد جریان دیفرانسیل با دامنه بالا و عملکرد نادرست رله دیفرانسیل می‌گردد. در هنگام بروز خطای خارجی با دامنه بالا نیز اگر ترانسفورماتورهای جریان (CTها) اشباع شوند یا دقت آنها برابر نباشد و یا اینکه نسبت تبدیل آن‌ها دارای خطای عدم تطبیق باشد ممکن است جریان دیفرانسیل با دامنه بالا ایجاد گردد. [۳].

در این پایان نامه ابتدا در فصل دوم تبدیل‌های پرکاربرد در تحلیل سیگنال‌های گذرا در سیستم قدرت مورد بررسی قرار می-گیرد و مزایا و معایب آن‌ها بیان می‌شود و مقایسه می‌گردد. در فصل سوم روش‌های مبتنی بر تبدیل موجک که جهت بهبود حفاظت دیفرانسیل ترانسفورماتور در مراجع مختلف ارائه شده است بررسی می‌گردد و سپس یک روش مبتنی بر تبدیل موجک جهت تشخیص و طبقه‌بندی پدیده‌های گذرا در ترانسفورماتور قدرت پیشنهاد می‌شود. این روش قادر به تشخیص و طبقه‌بندی خطاهای داخلی و جریان هجومی و خطاهای خارجی حتی با اشباع CTها است. در فصل چهارم ابتدا روش‌های مبتنی بر تبدیل S برای حفاظت ترانسفورماتور مورد بررسی قرار می‌گیرد سپس یک روش نوین مبتنی بر تبدیل S و مفهوم

انحراف مطلق جهت تشخیص و طبقه‌بندی جریان‌های گذرا در ترانسفورماتور ارائه می‌گردد و عملکرد روش پیشنهادی و روش‌های مبتنی بر تبدیل ویولت در شرایط نویزی و بدون نویز مقایسه می‌گردد. در فصل پنجم یک روش نوین جهت شناسایی خطاهای جزئی در ترانسفورماتور با استفاده از تبدیل S پیشنهاد شده است. به منظور شبیه‌سازی خطای جزئی یک مدل برای آن در نظر گرفته شده و به سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور متصل شده است. عملکرد روش پیشنهادی با روش‌های مبتنی بر تبدیل ویولت که در مراجع دیگر پیشنهاد شده است، در شرایط نویزی و بدون نویز مقایسه شده است. به منظور مطالعه کارایی روش‌های ارائه شده یک مدل ماتریسی برای ترانسفورماتور در نظر گرفته شده است و شبیه‌سازی‌های مربوطه انجام شده است. این مدل در واقع امکان دسترسی به سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور را فراهم می‌کند و سرهایی را از وسط سیم-پیچ ترانسفورماتور در اختیار قرار می‌دهد و امکان شبیه‌سازی خطاهای سیم‌پیچ به سیم‌پیچ و سیم‌پیچ به زمین را فراهم می-کند.

۱-۲- مروری بر کارهای گذشته:

همانگونه که در مقدمه بیان شد حل مشکل عملکرد نادرست رله دیفرانسیل همواره مورد توجه بوده است. به هر حال دامنه هارمونیک دوم در جریان هجومی بیشتر از خطای داخلی است بنابراین رله‌های دیفرانسیل معمولی از این مشخصه جهت تشخیص جریان هجومی از خطای داخلی استفاده می کردند [۶-۴]. ولی امروزه با توجه به پیشرفت تکنولوژی ساخت هسته ترانسفورماتور دامنه هارمونیک دوم در جریان هجومی کاهش یافته است [۷]. بعلاوه در برخی شرایط دامنه هارمونیک دوم در جریان خطا می‌تواند حتی از جریان هجومی نیز بیشتر شود. مانند اشباع CTها حین خطا، و خطا در ترانسفورماتور با وجود خازن موازی در خط انتقال یا وجود خاصیت خازنی در خطوط انتقال بلند با ولتاژ بالا که ترانسفورماتور به آنها متصل است [۸]. بنابراین تشخیص هارمونیک دوم نمی‌تواند روش مناسبی باشد. در برخی مراجع از روش‌های مبتنی بر تحلیل مدال جهت تشخیص جریان هجومی از خطای داخلی استفاده شده است [۹]. در این روش‌ها علاوه بر جریان، ولتاژ نیز باید تحلیل شود و این موجب افزایش حجم محاسبات می‌گردد. روش‌های دیگری مبتنی بر Wavelet packet نیز در [۱۱-۱۰] ارائه شده است. در سال‌های اخیر روش‌های مختلفی مبتنی بر تبدیل موجک گسسته (Discrete Wavelet Transform) جهت تشخیص جریان‌های گذاری ترانسفورماتور قدرت ارائه شده است [۱۳-۱۲]. در مراجع دیگر روش‌هایی از ترکیب تبدیل موجک با منطق فازی [۱۴و ۸]، شبکه‌های عصبی [۱۵و ۳]، Gaussian mixture models [۱۶]، ضریب همبستگی [۱۷] و Support vector machine [۱۸] ارائه شده است. از آنجا که تبدیل موجک به آسانی تحت تاثیر نویز قرار می-گیرید اخیرا روش‌هایی مبتنی بر تبدیل اس (S- Transform) برای حل این مشکل ارائه شده است [۲۴-۱۹].

در این پایان‌نامه روش‌های مبتنی بر تبدیل موجک که در مراجع مختلف جهت طبقه‌بندی پدیده‌های گذرا در ترانسفورماتور ارائه شده است بررسی می‌گردد و سپس یک روش مبتنی بر ویولت جهت تشخیص و طبقه‌بندی پدیده‌های گذرا در ترانسفورماتور قدرت ارائه می‌شود. سپس روش‌های مبتنی بر تبدیل S مورد بررسی قرار می‌گیرد و یک روش نوین مبتنی بر تبدیل S و مفهوم انحراف مطلق جهت تشخیص و طبقه‌بندی جریان‌های گذرا در ترانسفورماتور ارائه می‌گردد. به منظور مطالعه خطای جزئی در ترانسفورماتور، خطای جزئی نیز مدل می‌شود و یک روش نوین نیز جهت شناسایی خطاهای جزئی در ترانسفورماتور با استفاده از تبدیل S پیشنهاد شده است. سپس عملکرد روش‌های مبتنی بر تبدیل S با روش‌های مبتنی بر تبدیل ویولت در شرایط نویزی و بدون نویز مقایسه شده است. به منظور مطالعه کارایی روش‌های ارائه شده یک مدل ماتریسی برای ترانسفورماتور محاسبه شده و شبیه‌سازی‌های مربوطه انجام شده است. این مدل در واقع امکان دسترسی به سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور را فراهم می‌کند و سرهایی را از وسط سیم‌پیچ ترانسفورماتور در اختیار قرار می‌دهد در نتیجه امکان شبیه‌سازی خطاهای سیم‌پیچ به سیم‌پیچ و سیم‌پیچ به زمین را فراهم می‌کند.

فصل دوم: بررسی تبدیلات

مهم مورد استفاده درتحلیل

سیستم‌های قدرت

۲-۱-مقدمه:

در سیستم‌های قدرت پدیده‌های گذرای فراوانی رخ می‌دهند. گذراهای ناشی از صاعقه، جریان هجومی ترانسفورماتور، کلیدزنی خازنی و وصل خطوط انتقال چند نمونه از این پدیده‌های گذرا هستند. معمولا تحلیل سیگنال‌های ناشی از این پدیده‌ها در حوزه زمان انجام نمی‌شود. تبدیلات ریاضی به سیگنال‌ها اعمال می‌شود تا اطلاعاتی از این سینگال‌ها بدست آید که به راحتی از سیگنال اصلی حوزه زمان قابل دستیابی نیست. بهرحال استفاده از این تبدیلات بدون محدودیت نیست. بعنوان مثال در سری فوریه باید تابع مورد نظر متناوب باشد و یا اینکه آنالیز فوریه معمولی برای تحلیل سینگال‌های غیرایستا چندان مفید نیست. همچنین در تبدیل فوریه[۱] پیوسته اگر طیف فرکانسی یک تابع بریده شود تابع متناظر آن در حوزه زمان تحت تأثیر پدیده خطای گیبس قرار می‌گیرد و در تبدیل فوریه گسسته وقتی یک تابع فرکانسی نمونه‌برداری می‌شود شکل موج متناظر آن در حوزه زمان تحت تأثیر خطای aliasing قرار می‌گیرد. محققان برای کاهش خطای aliasing استفاده از یک میرایی نمایی مصنوعی را پیشنهاد کردند که همان تبدیل لاپلاس عددی است ولی این روش حجم محاسبات بالایی دارد[25]. در پدیده‌های گذرا ما معمولا با سیگنال‌های غیرایستا مواجه هستیم. یکی از تکنیک‌های پیشنهادی که برای تحلیل سیگنال‌های غیرایستا بکار می‌رود استفاده از تبدیل فوریه زمان کوتاه STFT[۲] است. ولی این روش هم دارای محدودیت ثابت بودن عرض پنجره تحلیل است. در واقع یک پنجره عریض تفکیک فرکانسی بالا و تفکیک زمانی پایین دارد و یک پنجره باریک دارای تفکیک زمانی بالا و تفکیک فرکانسی ضعیف است. بسته به پدیده مورد مطالعه یک عرض پنجره مناسب باید انتخاب شود. این در حالی است که تبدیل موجک[۳] یک پنجره دارد که بطور اتوماتیک عرض آن تنظیم می‌شود و تفکیک مناسب برای تحلیل را ایجاد می‌کند. در واقع بگونه‌ای عمل می‌کند که تفکیک زمانی بهتر برای مؤلفه‌های فرکانس

---

۱ Fourier transform

۲ Short time fourier transform

۳ Wavelet transform

بالا و تفکیک فرکانسی مناسب برای مؤلفه‌های فرکانس پایین ایجاد می‌کند. ولی موجک نیز در تعیین دامنه و فرکانس هارمونیک‌ها عملکرد مناسبی ندارد و در واقع تبدیل موجک دامنه سیگنال در یک رنج فرکانسی را تعیین می‌کند و هیچ اطلاعاتی از فاز سیگنال را مشخص نمی‌کند. تبدیل S (ST[۴]) نیز یک ابزار قدرتمند برای تحلیل سینگال‌های غیرایستاست که اطلاعات را در دو حوزه زمان و فرکانس ارائه می‌کند و یک قابلیت مناسب در حذف نویز دارد[26]. تبدیل S در واقع نوع خاصی از تبدیل موجک با یک اصلاح فاز است. در این فصل تبدیلات پرکاربرد در تحلیل پدیده‌های گذرا در سیستم‌های قدرت مورد بررسی قرار گرفته و مزایا و مشکلات این تبدیلات بیان می‌شود.

۲-۲- تبدیل فوریه :

هنگامی که یک سیگنال حوزه زمان را بررسی می‌کنیم یک نمایش از زمان- دامنه سیگنال را داریم ولی در بیشتر موارد اطلاعات برجسته سیگنال در محتوای فرکانسی آن است که نشان می‌دهد که در آن سیگنال چه فرکانس‌هایی وجود دارد. یکی از روش‌هایی که بطور موفقیت‌آمیز و بصورت گسترده برای تحلیل سیگنال‌های حالت گذرا مورد استفاده قرار گرفته است، تبدیل فوریه (Fourier Transform) است. در تبدیل فوریه، سیگنال مورد تحلیل به سیگنال‌های سینوسی با فرکانس‌های مختلف تجزیه می‌شود. به عبارتی تحلیل فوریه روشی ریاضی است که سیگنال را از حوزه زمان به حوزه فرکانس انتقال می‌دهد و نمایش دامنه- فرکانس آن سیگنال است. تبدیل فوریه یک بعدی تابع پیوست f(t) بصورت زیر بیان می‌شود:

$$F(\omega)=\int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-j\omega t}dt \qquad (۱-۲)$$

رابطه فوق در واقع مجموع زمانی حاصل ضرب سیگنال $f(t)$ در تابع نمایی مختلط از منهای بی نهایت تا مثبت بی نهایت است. نتیجه این تبدیل، ضرایب فوریه $F(\omega)$ است که اگر در شکل‌موج‌های سینوسی با فرکانس ω ضرب شود مولفه‌های سینوسی سازنده شکل‌موج اصلی را نمایش می‌دهد.

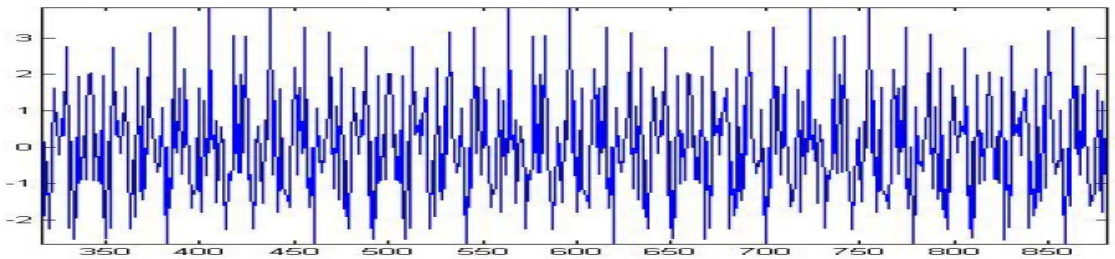
درحالت گسسته یک بعدی تبدیل فوریه تابع f(n) (که در آن $n = 1, 2, 3, ..., N-1$ است) بصورت زیر تعریف می‌شود:

[۴] S-Transform

$$F(u) = \sum_{n=0}^{N-1} f(n)\, exp^{[\frac{-j2\pi un}{N}]} \qquad (۲-۲)$$

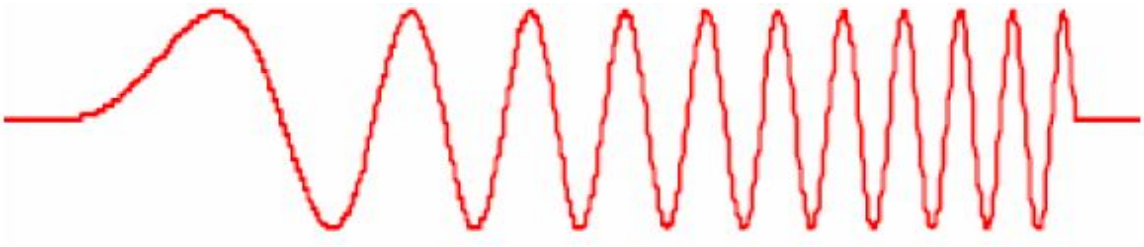
$$u = 0,1,\ldots,N-1$$

در این رابطه، $f(n)$، نمونه‌های متوالی سیگنال پیوسته $f(t)$ با زمان نمونه‌برداری T_s ثانیه برای N نمونه می‌باشد. این رابطه، مجموعه‌ای از مقادیر موهومی $f(u)$ را که دامنه‌های آن متناظر با مولفه‌های فرکانسی گسسته در $f(n)$ می‌باشد، تولید می‌کند. در واقع FT اطلاعات حوزه فرکانس سیگنال را در اختیار ما قرار می‌دهد و تعیین می‌کند که هر فرکانسی با چه دامنه‌ای در سیگنال موجود می‌باشد امّا نمی‌تواند تعیین کند که این مؤلفه‌های فرکانسی در چه زمان‌هایی وجود دارد و هنگام مشاهده تبدیل فوریه یک سیگنال نمی‌توان تشخیص داد که یک رخداد در چه زمانی اتفاق افتاده است. در سیگنالی که محتوای فرکانسی آن با زمان تغییر نکند (سیگنال ایستا) این نقص زیاد مهم نیست زیرا تمام مؤلفه‌های فرکانسی در تمام زمان‌ها وجود دارد ولی سیگنال‌های مورد تحلیل در بحث پدیده‌های گذرای سیستم قدرت غیرایستا هستند. پس تبدیل فوریه برای تحلیل این سیگنال‌ها خیلی مناسب نیست. شکل(۲-۱) یک سیگنال ایستا که دارای فرکانس‌های 100 و 50 و 25 و 10 هرتز در کل طول زمان است را نشان می‌دهد.



شکل(۲-۱)- نمایش یک سیگنال ایستا

اما شکل(۲-۲) یک سیگنال غیرایستا که محتوای فرکانسی آن بطور ثابت با زمان تغییر می‌کند را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که علی‌رغم شکل متفاوت حوزه زمان نمایش حوزه فرکانس آنها می‌تواند کاملا مشابه باشد.



شکل(۲-۲)- نمایش یک سیگنال غیر ایستا

برای بدست آوردن تبدیل فوریه گسسته (DFT) لازم است که سیگنال ورودی $f(n)$ متناوب باشد. یعنی سیگنال در هر N نمونه باید تکرار شود. برای جلوگیری از خطای aliasing، نرخ نمونه‌برداری از سیگنال زمانی $f(t)$ باید حداقل دو برابر بالاترین فرکانس سیگنال باشد (معیار نایکوئیست). بطور کلی تحلیل فوریه دارای چند اشکال اساسی است:

الف- تمام توابع زمانی مورد تحلیل باید متناوب باشند. بدین معنا که موج‌های سینوسی و کسینوسی که در آنالیز فوریه استفاده می‌شود، دقیقا در حوزه فرکانسی مکان‌یابی می‌شوند ولی خود توابع اصلی در حوزه زمان می‌باشند.

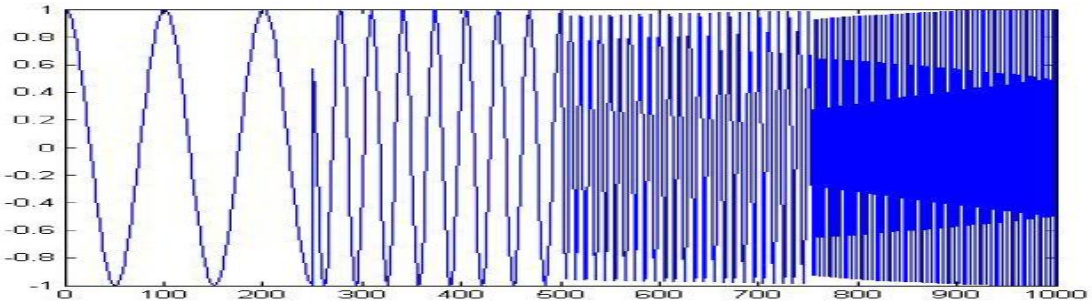
ب- اطلاعات فرکانسی سیگنال که بوسیله تبدیل فوریه محاسبه می‌شوند، متوسطی از تمام دوره زمانی سیگنال است. بنابراین اگر یک حالت گذرای محلی در محدوده زمانی کوچک از کل دوره زمانی سیگنال وجود داشته باشد، این حالت گذرا در متوسط‌گیری یاد شده سهم خواهد داشت، هرچند که تاثیر آن بسیار ناچیز خواهد بود. بهرحال مکان وقوع آن در طول زمان از دست خواهد رفت.

ج- بطور کلی خطاهای Gibbs و Aliasing که در تبدیل فوریه گسسته وجود دارند و باید در نظر گرفته شوند[۲۷].

د- در طی تبدیل به حوزه فرکانس توسط تبدیل فوریه، اطلاعات زمانی سیگنال از دست می‌رود. بنابراین با مشاهده سیگنال در حوزه فرکانس غیر ممکن است که بتوانیم زمان وقوع پیشامد خاص در آن را تشخیص دهیم. اگر مشخصات سیگنال در طول زمان تغییر نکند، به صورتی که بتوان آن را یک سیگنال ایستا نامید، این نقص چندان مهم نیست. اما بیشتر سیگنال‌ها در بحث پدیده‌های گذرای سیستم قدرت، غیر ایستا و گذرا می‌باشند و تحلیل فوریه برای شناسایی و تحلیل این گونه سیگنال‌ها مناسب نمی‌باشد.[28].

۲-۳- تبدیل فوریه زمان کوتاه (STFT):

در سال 1946 آقایDennis Gabor تبدیل فوریه را برای قسمت کوچکی از سیگنال در حوزه زمان پیشنهاد کرد. مشکل اصلی FT این بود که برای سیگنال‌های غیرایستا عملکرد مناسبی نداشت. شکل(۲-۳) یک سیگنال غیر استا را نشان می‌دهد.



شکل۲-۳- نمایش یك سیگنال غیرایستا

هرچند این سیگنال یک سیگنال غیرایستا است ولی در بازه‌های زمانی 250ms می‌توان هر قسمت از سیگنال را یک سیگنال ایستا فرض کرد اگر ناحیه‌ای که سیگنال در آن ایستا فرض می‌شود خیلی کوچک باشد پنجره STFT را آنقدر کوچک درنظر می‌گیریم تا بخشی از سیگنال که از میان آن دیده می‌شود کاملا ایستا باشد. این در واقع نظریه STFT است و تنها تفاوت آن با FT این است که سیگنال به قطعات به اندازه کافی کوچک تقسیم می‌شود تا بتوان آن‌ها را ایستا فرض کرد. رابطه STFT به صورت زیر است:

$$G_f(\omega,\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\,g(t-\tau)\,e^{-j\omega t}\,dt \qquad (۳-۲)$$

که g(t) تابع پنجره است و f(t) سیگنال تحلیل شده و t پارامتر گذر زمان است. رابطه (۲-۳) نشان می‌دهد که تحلیل جواب STFT به تابع پنجره آن بستگی دارد و دقت تحلیل STFT با تابع پنجره تعیین می‌گردد. در سیگنال گذرا به دلیل اینکه مؤلفه‌های فرکانس اصلی و رنج فرکانسی و زمان خطا و طول آن قابل تعیین نیست، تعیین تابع پنجره بی‌معنی است. برای داشتن پنجره در نقطه خطا، پنجره باید در کل مقیاس زمان سیگنال حرکت داده شود و برای پیدا کردن یک پهنای پنجره مناسب که منجر به نتایج قابل قبول گردد، تلاش‌های زیادی باید صورت گیرد و این موضوع موجب انجام محاسبات