

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی برق و رباتیک

پایان نامه کارشناسی ارشد برق گرایش قدرت

آشکارسازی خطای تکفاز به زمین در سیستم قدرت تجهیزات دریایی

علی سنجولی

استاد راهنما

دکتر مهدی بانژاد

اساتید مشاور

دکتر احمد دارابی

دکتر علیرضا احمدی فرد

شهریور ۱۳۹۰

با تشکر فراوان از

استاد محترم راهنما جناب آقای دکتر مهدی بانژاد

اساتید محترم مشاور آقایان دکتر احمد دارابی و دکتر علیرضا احمدی فرد

مهندس حسن مرادی

مهندس حسین آذرین فر

مهندس مرتضی حیدری

مهندس مجید حسینا

مهندس جلال خداپرست

مهندس مصطفی نور الهی

و تمامی عزیزانی که در این پروژه ما را یاری کردند

فهرست مطالب

چکیده

۱- مقدمه	۱
۱-۱- معرفی موضوع	۲
۱-۲- ضرورت انجام پروژه	۲
۱-۳- هدف پروژه	۳
۱-۴- مشخصات کلی پروژه	۳
۲- آشنایی با سیستم برق کشتی	۴
۲-۱- سیستم برق کشتی	۵
۲-۲- ولتاژ و فرکانس	۵
۲-۳- توزیع برق در کشتی	۵
۲-۴- انواع بار های الکتریکی کشتی	۷
۲-۵- انواع مولد های موجود در کشتی	۸
۲-۵-۱- ژنراتور اصلی	۸
۲-۵-۱-۱- روش های تحریک	۹
۲-۵-۱-۲- تنظیم خودکار ولتاژ	۱۰
۲-۵-۲- برق اضطراری	۱۱

- ۱۲ ۲-۵-۳- باتری
- ۱۳ ۲-۶- موازی کردن مولد ها
- ۱۵ ۲-۷- کابل های برق
- ۱۶ ۲-۸- تجهیزات حفاظتی
- ۱۷ ۲-۹- ترانسفورماتور تجهیزات دریایی
- ۱۸ ۲-۱۰- برق ساحلی
- ۱۹ ۲-۱۱- شبکه توزیع زمین شده و زمین نشده
- ۲۳ ۳- انواع روش های تشخیص خطا
- ۲۴ ۳-۱- مقدمه
- ۲۴ ۳-۲- انواع روش های تشخیص خطای تکفاز به زمین
- ۲۵ ۳-۳- روش های ساده و کاربردی
- ۲۵ ۳-۳-۱- روش لامپ هشدار
- ۲۶ ۳-۳-۲- روش اهم متری
- ۲۶ ۳-۳-۴- روش های علمی و تئوریک
- ۲۷ ۳-۴-۱- ابزار های تقسیم بندی خطا
- ۲۷ ۳-۴-۱-۱- روش نرمالیزه کردن جریان خطا
- ۲۸ ۳-۴-۱-۲- روش استفاده از دستگاه های دیجیتال مخصوص

۲۸	..... ۳-۱-۴-۳- روش استفاده از تبدیل موجک
۲۸	..... ۲-۴-۳- ابزار تشخیص خطا
۳۰	..... ۴- تبدیل موجک
۳۱	..... ۱-۴- آشنایی با تبدیل موجک
۳۱	..... ۲-۴- آنالیز چند رزولوشنه
۳۲	..... ۳-۴- تبدیل موجک یک بعدی
۳۲	..... ۱-۳-۴- تبدیل موجک پیوسته
۳۶	..... ۲-۳-۴- رزولوشن در صفحه زمان فرکانس
۳۷	..... ۳-۳-۴- روابط ریاضی تبدیل موجک
۴۰	..... ۴-۳-۴- عکس تبدیل ویولت
۴۱	..... ۵-۳-۴- گسسته سازی تبدیل موجک پیوسته
۴۴	..... ۶-۳-۴- تبدیل موجک گسسته
۴۶	..... ۵- الگوریتم پیشنهادی و شبیه سازی
۴۹	..... ۱-۵- مقدمه
۵۰	..... ۲-۵- الگوریتم تشخیص خطای تکفاز به زمین در سیستم قدرت تجهیزات دریایی
۵۱	..... ۱-۲-۵- مدل گسترده سیستم قدرت تجهیزات دریایی
۵۳	..... ۱-۱-۲-۵- مدل گسترده ترانسفورماتور

۵۵	..... ۵-۲-۱-۲-مدل گسترده زنراتور
۵۷	..... ۵-۲-۱-۳-مدل گسترده خط انتقال
۵۸	..... ۵-۲-۲-تقسیم بندی انواع مشخصه ها با استفاده از تبدیل موجک
۶۰	..... ۵-۲-۳-تشخیص خطا ..
۶۲	..... ۵-۳-شبيه سازى
۶۲	..... ۵-۳-۱-مرحله نخست : مدلسازی سیستم قدرت نمونه
۶۵	..... ۵-۳-۲-مرحله دوم : تبدیل موجک گسسته
۷۲	..... ۵-۳-۳-مرحله سوم : تشخیص الگوها
۷۳	..... ۵-۳-۳-۱-رخداد تنها یک خطا در شبکه
۷۳	..... ۵-۳-۳-۲-رخداد دو خطا به صورت همزمان
۷۹	..... ۵-۳-۳-۳-تشخیص فاز خطا دار توسط الگوریتم جدول درستی
۸۰	..... نتیجه گیری و پیشنهادات
۸۴	..... پیوست ها
۱۱۸	..... منابع و مراجع

فهرست شکل ها

- شکل (۱-۲) - نمونه‌ای از سستم توزیع برق کشتی ۶
- شکل (۲-۲) - نمودار شعاعی سیستم برق کشتی ۷
- شکل (۳-۲) - مدار سیستم تحریک گردان ۹
- شکل (۴-۲) - مدار سیستم تحریک ثابت ۱۰
- شکل (۵-۲) - مدار عملکرد AVR ۱۱
- شکل (۶-۲) - سیستم برق اضطراری ۱۲
- شکل (۷-۲) - نمونه‌ای از اتصال موازی مولد ها ۱۳
- شکل (۸-۲) - مدار سنکرونیزم ۱۴
- شکل (۹-۲) - نمونه‌ای از تجهیزات حفاظتی کشتی ۱۶
- شکل (۱۰-۲) - مدار ترانسفورماتور با نحوه اتصال ۱۸
- شکل (۱۱-۲) - تابلو اتصال برق ساحلی ۱۹
- شکل (۱۲-۲) - شبکه های توزیع ارت دار و بدون ارت ۲۰
- شکل (۱۳-۲) - دیاگرام فازوری برخورد یک فاز به زمین ۲۱
- شکل (۱۴-۲) - اتصال یک فاز به بدنه زمین نشده ۲۱
- شکل (۱-۳) - مدار روش لامپ هشدار ۲۶
- شکل (۱-۴) - نمایش ۳ بعدی تبدیل ویولت پیوسته سیگنال های ایستا و نایستا ۳۵

- شکل (۲-۴) - نمایش رزولوشن در صفحات مختلف ۳۶
- شکل (۳-۴) - محل موجک ها به هنگام گسسته کردن بر روی درجه بندی دودویی ۴۳
- شکل (۴-۴) - نمایش نحوه محاسبه تبدیل موجک گسسته ۴۶
- شکل (۲-۵) - مدل گسترده‌ی جزء دیفرانسیلی ترانسفورماتور ۵۳
- شکل (۳-۵) - مدل گسترده‌ی ترانسفورماتور ۵۵
- شکل (۴-۵) - مدل گسترده‌ی ژنراتور ۵۶
- شکل (۵-۵) - مدل π و T خط انتقال ۵۷
- شکل (۶-۵) - مراحل تقسیم بندی خطا با استفاده از تبدیل موجک ۶۰
- شکل (۷-۵) - الگوریتم ابزار هوشمند جهت تشخیص خطای تکفاز به زمین ۶۱
- شکل (۸-۵) - مدل نمونه ۶۲
- شکل (۹-۵) - دیاگرام مداری استفاده شده در شبیه سازی ۶۳
- شکل (۱۰-۵) - ولتاژ های سه فاز قبل از وقوع خطا ۶۴
- شکل (۱۱-۵) - ولتاژ های سه فاز در هنگام وقوع خطا ۶۴
- شکل (۱۲-۵) - تقریب و جزییات سطوح مختلف در شرایط خطای تکفاز به زمین برای ولتاژ خط AB ... ۶۵
- شکل (۱۳-۵) - تقریب و جزییات سطوح مختلف در شرایط خطای تکفاز به زمین برای ولتاژ خط BC ... ۶۶
- شکل (۱۴-۵) - تقریب و جزییات سطوح مختلف در شرایط خطای تکفاز به زمین برای ولتاژ خط CA ... ۶۷
- شکل (۱۵-۵) - کلید زنی بار نامتعادل در زمان $t = 0.25$ s و همچنین خطای تکفاز به زمین در زمان $t = 0.33$ s ۶۸

- شکل (۵-۱۶) - کلید زنی بار نامتعادل ۶۹
- شکل (۵-۱۷) - کلید زنی بانک خازنی ۷۰
- شکل (۵-۱۸) - وقوع HIF ۷۱
- شکل (۵-۱۹) - وقوع خطای دو فاز به هم ۷۲
- شکل (۵-۲۰) - رخداد خطای دو فاز به هم در زمان $t = 0.25^s$ و همچنین خطای تکفاز به زمین در زمان $t = 0.33^s$ ۷۴
- شکل (۵-۲۱) - کلید زنی بار نامتعادل در زمان $t = 0.25^s$ و همچنین خطای تکفاز به زمین در زمان $t = 0.33^s$ ۷۵
- شکل (۵-۲۲) - وقوع HIF در زمان $t = 0.25^s$ و همچنین خطای تکفاز به زمین در زمان $t = 0.33^s$ ۷۶
- شکل (۵-۲۳) - کلید زنی بانک خازنی در زمان $t = 0.25^s$ و همچنین خطای تکفاز به زمین در زمان $t = 0.33^s$ ۷۷
- شکل (۵-۲۴) - شمای بلوک دیاگرام مورد استفاده برای آشکار سازی ماندگاری سیگنال ۷۸
- شکل (الف-۱) - اثر کلید زنی بار نامتعادل بر روی ولتاژ خط AB ۸۶
- شکل (الف-۲) - اثر کلید زنی بار نامتعادل بر روی ولتاژ خط CA ۸۷
- شکل (الف-۳) - اثر کلید زنی بانک خازنی بر روی ولتاژ خط AB ۸۸
- شکل (الف-۴) - اثر کلید زنی بانک خازنی بر روی ولتاژ خط CA ۸۹
- شکل (الف-۵) - اثر HIF فاز C بر روی ولتاژ خط AB ۹۰
- شکل (الف-۶) - اثر HIF فاز C بر روی ولتاژ خط CA ۹۱

- شکل (الف-۷) - اثر بر خورد فاز های B و C بر روی خط AB ۹۲
- شکل (الف-۸) - اثر بر خورد فاز های B و C بر روی خط CA ۹۳
- شکل (الف-۹) - اثر رخداد متداخل خطای تکفاز به زمین و کلید زنی بار نامتعادل بر روی خط AB ۹۴
- شکل (الف-۱۰) - اثر رخداد متداخل خطای تکفاز به زمین و کلید زنی بار نامتعادل بر روی خط CA ۹۵
- شکل (الف-۱۱) - اثر رخداد متداخل خطای تکفاز به زمین و کلید زنی بانک خازنی بر روی خط AB ۹۶
- شکل (الف-۱۲) - اثر رخداد متداخل خطای تکفاز به زمین و کلید زنی بانک خازنی بر روی خط CA ۹۷
- شکل (الف-۱۳) - اثر رخداد متداخل خطای تکفاز به زمین و وقوع HIF بر روی خط AB ۹۸
- شکل (الف-۱۴) - اثر رخداد متداخل خطای تکفاز به زمین و وقوع HIF بر روی خط CA ۹۹
- شکل (الف-۱۵) - اثر رخداد متداخل خطای تکفاز به زمین و وقوع اتصال کوتاه دوفاز به هم بر روی خط AB .. ۱۰۰
- شکل (الف-۱۶) - اثر رخداد متداخل خطای تکفاز به زمین و وقوع اتصال کوتاه دوفاز به هم بر روی خط CA .. ۱۰۱
- شکل (ب-۱) - دو نمونه سیگنال شامل مخلوطی از فرکانس های ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ هرتز و تبدیل فوریه آنها ... ۱۰۷
- شکل (ب-۲) - نمایش گرافیکی نحوه ی پنجره کردن سیگنال غیرایستا ۱۱۰
- شکل (ب-۳) - نمایش ۳ بعدی و کانتور برای تبدیل فوریه زمان - کوتاه سیگنال ایستا ۱۱۲
- شکل (ب-۴) - نمایش ۳ بعدی و کانتور برای تبدیل فوریه زمان - کوتاه سیگنال نا ایستا ۱۱۴
- شکل (ج-۱) - دیاگرام بلوکی شبیه سازی ۱۱۷

چکیده

تجهیزات دریایی تمام الکتریک به تازگی وارد صنعت و تجارت شده اند و تا قبل از آن سیستم برق آنها تنها بار های کوچکی را تأمین می نمود. با روی کار آمدن این تجهیزات ، وجود سیستم قدرت مجهز و با قابلیت اطمینان بالا ، امری اجتناب ناپذیر گشته است. مطالعاتی در مورد این سیستم قدرت جدید انجام شده ولی تعداد آن ها بسیار اندک است و هنوز این سیستم نیاز به تحلیل و بررسی های بیشتر و گاهاً نوآوری و تغییرات اساسی دارد. یکی از ویژگی های سیستم قدرت تجهیزات دریایی عدم وجود سیستم Earthing است که این امر باعث ناتوانی رله ها در تشخیص خطای تکفاز به زمین می گردد. که اگر خطای تکفاز به زمین دیگری رخ دهد موجب رخداد خطای دوفاز به هم شده در این صورت رله ها تریپ داده و بار های حیاتی قطع می گردند (همانطور که می دانید قطع بار های ضروری موجب به خطر افتادن جان پرسنل می شود). در این مقاله قصد بر این است تا با استفاده از تبدیل موجک و ابزار های هوشمند (شبکه های عصبی و . . .) ، وقوع خطای تکفاز به زمین در سیستم قدرت تجهیزات دریایی تشخیص داده شود.

واژگان کلیدی: تبدیل موجک، خطای تکفاز به زمین، سیستم زمین نشده، تجهیزات دریایی، کشتی

فصل اول

مقدمه

۱-۱- معرفی موضوع

با پیشرفت صنعت دریایی و گرایش به تمام الکتریک شدن تجهیزات، قابلیت اطمینان سیستم قدرت کشتی (به عنوان یک تجهیز دریایی) امریست که به تازگی مورد توجه برخی مقالات گشته است. زمانی که بحث در مورد کشتی نظامی باشد، این موضوع از اهمیت بالایی برخوردار می شود.

سیستم برق کشتی ها سیستم زمین نشده است. رله ها در سیستم های زمین نشده قادر به تشخیص خطای تکفاز به زمین نمی باشند چرا که جریان در هنگام رخداد این خطا از جریان حالت تریپ رله ها کمتر است.

به دو دلیل سیستم برق کشتی را به صورت زمین نشده انتخاب می کنند: دلیل اول بر این اساس است که، کشتی ها متحرکند و نمی توان از زمین معمولی برای آنها استفاده کرد. بدنه کشتی نیز زمین مناسبی برای این سیستم نخواهد بود. و دلیل دوم اینکه، در کشتی ها بارهایی وجود دارد که به آنها بارهای حیاتی می گویند از قبیل دستگاه های کمک ناوبری، سیستم رادار و سکان و . . . که بحث قابلیت اطمینان در سیستم برق کشتی به دلیل وجود همین بار ها اهمیت یافته است. سیستم زمین نشده برای تغذیه این بار ها مناسب تر است چرا که با وقوع خطای تکفاز به زمین، سیستم یکپارچه باقی خواهد ماند و بار های حیاتی قطع نخواهند شد.

سیستم زمین نشده در کنار این مزیتش، عیوبی نیز دارد از جمله اینکه با رخداد خطای تکفاز به زمین دوم، خطای دوفاز به هم رخ می دهد و باعث جاری شدن جریان خطای بالا و از آنجا قطع بار های حیاتی می شود. بنابراین ضروری است که خطای تکفاز به زمین در سیستم قدرت کشتی ها شناسایی شود.

۱-۲- ضرورت انجام پروژه

کشتی های تمام الکتریک به تازگی وارد صنعت و تجارت شده اند و تا قبل از آن سیستم برق کشتی تنها بار های کوچکی را تأمین می نمود. با روی کار آمدن این کشتی ها وجود سیستم قدرت مجهز و با قابلیت اطمینان

بالا، امری اجتناب ناپذیر گشته است. مطالعاتی در مورد این سیستم قدرت جدید انجام شده است ولی تعداد آنها بسیار اندک است و هنوز این سیستم نیاز به تحلیل و بررسی های بیشتری و گاهاً نوآوری و تغییرات اساسی دارد.

اگرچه مطالعات انجام شده تا حدی موفق بوده اند، ولی تا کنون روش جامعی برای تشخیص این نوع خطا ارائه نشده است. در اکثر روش های ذکر شده، خطای تکفاز به زمین را به صورت خطای با امپدانس بالا در نظر گرفته اند که این از معایب این روش ها بوده و نتایج دقیقی بدست نخواهد داد. همچنین باید بین مشخصه های خطای تکفاز به زمین با سایر اغتشاشات مصالحه ای انجام پذیرد.

۱-۳- هدف پروژه

مقصود از انجام این پایان نامه بدست آوردن مشخصه های ویژه ای خطا با استفاده از تبدیل موجک گسسته^۲ (DWT) و به کارگیری ابزارهای هوشمند برای شناسایی الگوها می باشد. تا با استفاده از جدول درستی و سایر ابزار تشخیص خطا، به مقصد مشخص کردن فازی که دچار خطا شده است، بتوان نائل شد.

۱-۴- مشخصات کلی پروژه

فصل دوم این پروژه به معرفی سیستم برق کشتی (به عنوان یک تجهیز دریایی) می پردازد. در فصل سوم انواع روش های تشخیص خطا و همچنین توضیحاتی برای آشنایی با تئوری تبدیل موجک گسسته ارائه شده است. فصل چهارم به بیان الگوریتم کلی شبیه سازی پرداخته و نتایج حاصل از شبیه سازی ارائه می گردد.

¹ Fuzzy Inference system

² Discrete Wavelet Transform

فصل دوم

آشنایی با سیستم برق کشتی

۲-۱- سیستم برق کشتی

دستگاه های جانبی موجود در کشتی بسیار متعدد و بسته به نوع کشتی متنوع هستند. پمپ ها، هواکش های ماشین خانه، دوار های روی عرشه، ماشین آلات تهویه و تبرید، دستگاه های مخابراتی و رادار های مستقر در واحد های شناور از جمله دستگاه های فرعی موجود در کشتی هستند که از توان الکتریکی برای راه اندازی آنها استفاده می شود.

سیستم برق کشتی به نحوی طراحی شده است که می تواند علاوه بر تغذیه کلیه بار های الکتریکی، ایمنی لازم را برای دستگاه ها و کارکنان کشتی فراهم سازد.

۲-۲- ولتاژ و فرکانس

در کشتی های نظامی و تجاری دنیا برق سه فاز ۴۴۰ ولت، ۵۰ هرتز و ۲۲۰ ولت و یا ۱۱۵ ولت برای تأمین انرژی الکتریکی مصرف کننده های مستقر در واحد شناور مورد استفاده قرار می گیرد.

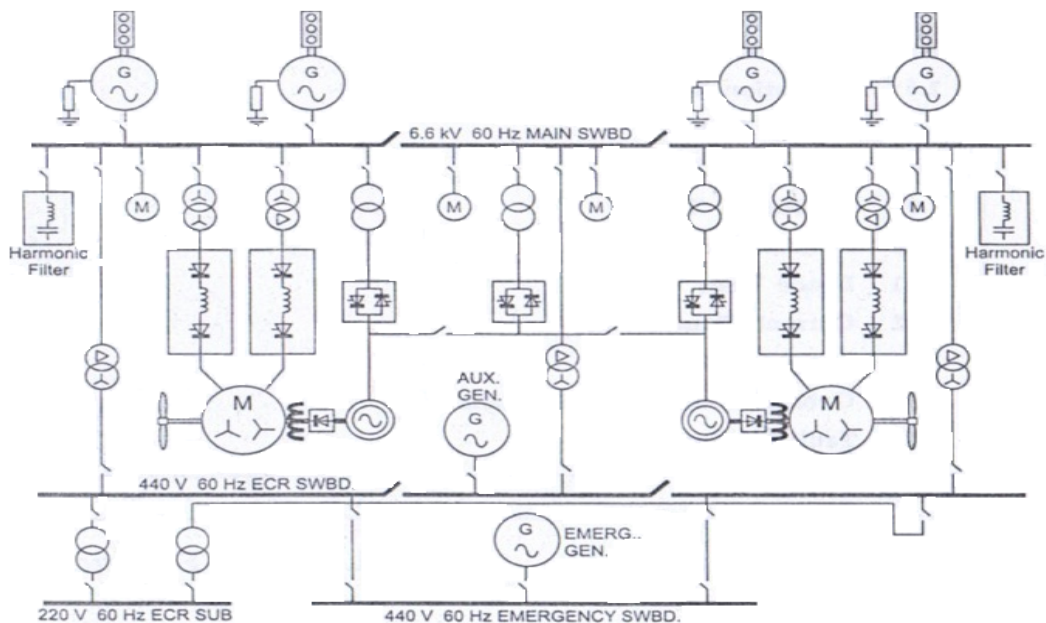
برابر استاندارد های موجود اصطلاح ولتاژ پایین به ولتاژ بین ۵۰ الی ۱۰۰۰ ولت اطلاق می شود. بنابراین اکثر قریب به اتفاق کشتی های ساخته شده از ولتاژ پایین استفاده می کنند. برای اماکن زیست و روشنایی از برق ۱۱۵ ولت، ۶۰ هرتز یا ۲۲۰ ولت، ۵۰ هرتز استفاده می شود. در شرایطی که وسایل سیار در اماکن خطرناک، مرطوب و گرم مورد استفاده قرار می گیرند، کاهش مجدد ولتاژ به سطح ۵۵ ولت و حتی ۲۴ ولت توسط ترانسفورماتور های کاهنده توصیه می شود. از باطری های ۱۲ یا ۲۴ ولت برای ارائه خدمات مختلف در کشتی استفاده می شود، اما گاهی اوقات ولتاژ های بالاتر هم کاربرد دارند.

۲-۳- توزیع برق در کشتی

کار اصلی شبکه توزیع برق، رساندن انرژی الکتریکی تولید شده به کلیه مصرف کننده های برقی موجود در کشتی است. بدون تردید مرکز کنترل سیستم توزیع برق شاخص ترین و مهمترین بخش آن به شمار می رود که شامل تابلو کلید های اصلی برق می باشد. تابلو کلید های اصلی، مجموعه تابلو های راه انداز موتور های الکتریکی، همچنین تابلو های توزیع و تابلو های مصرف کننده های پر قدرت را تغذیه می کنند. تجهیزات حفاظتی از قبیل مدارشکن ها و فیوز ها در سرتاسر شبکه برق کشتی تعبیه شده اند و در صورت بروز اشکال به طور خودکار بخش معیوب را از مدار خارج می کنند.

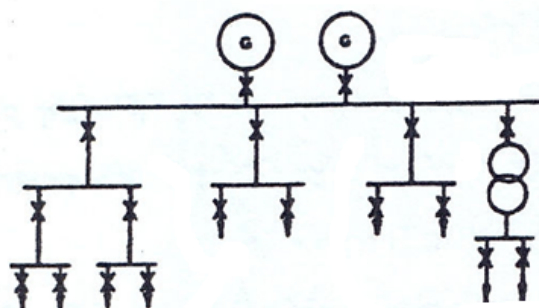
در هر مرکز کنترل برق، از ولت متر، آمپر متر و نشان دهنده های اتصال زمین برای مشاهده و آگاهی از میزان سلامتی سیستم توزیع استفاده می شود.

در شکل های (۱-۲) و (۲-۲) به ترتیب یک شبکه نمونه توزیع برق و نمودار شعاعی آن نشان داده شده است.



شکل (۱-۲) - نمونه‌ای از سیستم توزیع برق کشتی [12]

شبکه توزیع برق وظیفه‌ی انتقال برق تولیدی مولد ها به انواع موتور های برق، شبکه روشنایی، وسائل کمک ناوبری، سیستم های سلاح و سایر مصرف کننده های موجود در واحد شناور را بر عهده دارد. در نمودار ساده شبکه توزیع شکل (۲-۲) که به نمودار شعاعی معروف است، انتقال انرژی از مولد ها به تابلو کلید اصلی و سپس از طریق بخش های مختلف این تابلو مانند بخش راه انداز ها، فیدر ها و تابلو های توزیع به مصرف کننده ها دیده می شود.



شکل (۲-۲)- نمودار شعاعی سیستم برق کشتی [12]

این سیستم توزیع ساختار بسیار ساده و منطقی دارد و هر بار الکتریکی با ولتاژ نامی خود از طریق کابل با ضخامت مناسب تغذیه می شود و توسط وسائل حفاظتی با ویژگی های لازم محافظت می شود.

۲-۴- انواع بار های الکتریکی کشتی

بار ها به دو نوع کلی تقسیم می شوند :

الف) بارهای غیر ضروری^۱

همان بار های تزئینی و خدماتی از قبیل سیستم ها روشنایی ، حفاظت کاتدی ، سیستم های تهویه و . . . می باشند که قطعی این بارها مشکلات جدی به همراه نخواهد داشت.

¹ Indispensable

ب) بارهای ضروری^۱

قطعی بارهای ضروری باعث به خطر افتادن زندگی پرسنل کشتی خواهد شد و تمامی تدابیر بر این اساس است که سیستم برای تغذیه این بارها همواره یکپارچه بماند. این بارها به سه دسته تقسیم می شوند:

- دسته اول بارهای دریانوردی بی خطر (سیستم سکان، دستگاه های کمک ناوبری و ...)
- دسته دوم بارهای تأمین کننده تحرک کشتی (موتورها و ...)
- دسته سوم بارهای تأمین کننده ایمنی افراد (سیستم های اعلام خطر، هشدار دهنده و ...)

۲-۵- انواع مولد های موجود در کشتی

۲-۵-۱- ژنراتور اصلی

ژنراتور اصلی از نوع سنکرون و در مقادیر نامی ۱۰۰ کیلو وات تا ۲ مگاوات (در کشتی های بزرگ مسافربری به ۱۰ مگاوات نیز می رسد) ۶۰ هرتز، ۴۴۰ ولت و یا ۵۰ هرتز، ۳۸۰ ولت طراحی می شود. برحسب نیاز ژنراتور هایی با ولتاژ خروجی ۳/۳ کیلوولت تا ۱۱ کیلوولت نیز ساخته می شوند.

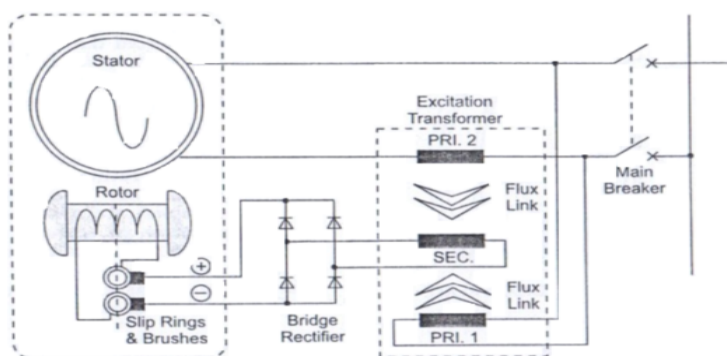
نیروی محرکه توسط موتور دیزل، توربین بخار و یا گاز، با سرعت ثابت ۱۵۰۰ دور در دقیقه تا ۳۰۰۰ دور در دقیقه تأمین می شود که بسته به نوع کشتی انتخاب می گردد.

اتصال ژنراتور های اصلی اغلب به صورت ستاره است و این انتخاب به این دلیل است که بتوان از نقطه خنثی ستاره، به عنوان زمین سیستم استفاده کرد. به این ترتیب که نقطه خنثی ستاره را از طریق یک امپدانس بزرگ به بدنه کشتی (به عنوان زمین) متصل می کنند. لازم به ذکر است که علت استفاده از امپدانس بزرگ، کاهش جریان خطا می باشد و مقدار این امپدانس را طوری انتخاب می کنند که ماکزیمم جریان خطا، از جریان نامی ژنراتور بیشتر نشود.

¹ Dispensable

۲-۵-۱-۱- روش های تحریک

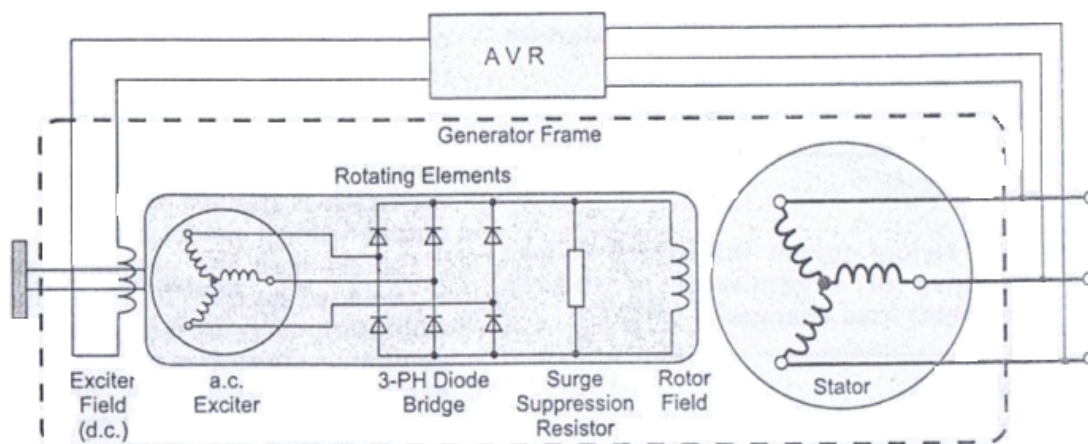
تحریک مولد ها در کشتی عمدتاً به روش تحریک گردان و یا ثابت انجام می شود. شکل (۲-۳) روش تحریک گردان رایج در کشتی ها را که به روش تحریک گردان بدون جاروبک^۱ معروف است نشان می دهد. در این روش از یک تحریک کننده کوچک که به تحریک کننده راهنما معروف است برای تأمین میدان مغناطیسی تحریک کننده اصلی استفاده می شود.



شکل (۲-۳) - مدار سیستم تحریک گردان [12]

تحریک کننده راهنما مولد مغناطیس دائم کوچکی است که روی محور مولد نصب شده است. ولتاژ آن معمولاً فرکانس بالایی دارد ولی قبل از انتقال به میدان تحریک کننده اصلی یکسو می شود. تحریک کننده اصلی، یک مولد متناوب است و از دیود های سیلیکونی که روی محور مولد نصب شده اند برای یکسوسازی جریان تحریک میدان مولد استفاده می شود. در شکل (۲-۴) روش تحریک ثابت نشان داده شده است. در این روش جریان تحریک مولد از طریق یک یکسوساز ترانسفورماتوری که از خروجی مولد تغذیه می شود تأمین می گردد. تجهیزات تحریک ثابت را می توان در درون مولد و یا در تابلو کلید آن نصب کرد. در این روش از دو عدد حلقه لغزان و یک جفت جاروبک برای برقراری اتصال بین تحریک کننده ثابت و سیم پیچی میدان روتور استفاده می شود. باید توجه داشت که پاسخ ولتاژ در روش سیستم تحریک ثابت به مراتب سریعتر از پاسخ ولتاژ در روش تحریک گردان است.

¹ Brush



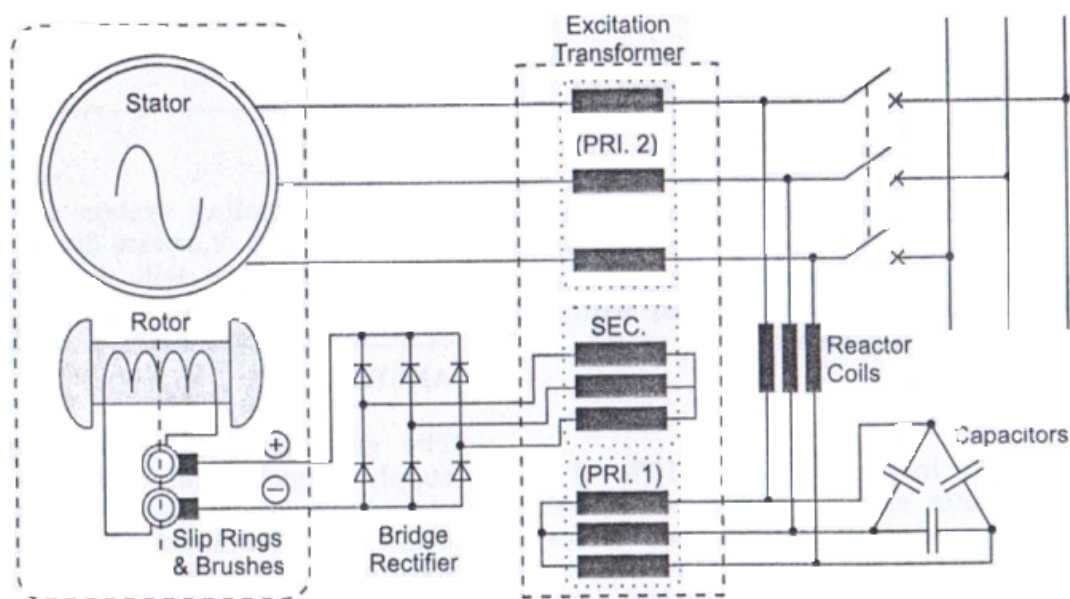
شکل (۲-۴) - مدار سیستم تحریک ثابت [12]

۲-۱-۵-۲- تنظیم خودکار ولتاژ

تغییرات ناگهانی جریان مولد به علت قطع یا وصل کردن مصرف کننده های پر قدرت باعث تغییر ولتاژ پایانه مولد می شود که تأثیر منفی در کار سایر مصرف کننده های متصل به شبکه خواهد داشت. بنابراین استفاده از سیستم های تنظیم کننده (AVR) در مدار تحریک که به سرعت هرگونه تغییر ولتاژ را اصلاح نماید، ضروری است.

AVR ولتاژ مولد را تا حدود ۲/۵ درصد بالاتر یا پایین تر از ولتاژ نامی آن (وحتی بهتر از ۲/۵٪) نگه می دارد. البته این نحوه تنظیم ولتاژ در حالت مانا است و تغییرات ولتاژ گذرا و لحظه ای که در تغییر ناگهانی بار اتفاق می افتد، معمولاً به ۱۵٪ ولتاژ نامی با زمان تصحیح ۱/۵ ثانیه محدود می شود.

همانطور که در شکل (۲-۵) مشاهده می شود، AVR ولتاژ خروجی مولد را حس می کند و با تغییر دادن جریان تحریک ولتاژ مولد را در حد معین که همان ولتاژ نامی است نگه می دارد.



شکل (۲-۵) - مدار عملکرد AVR [12]

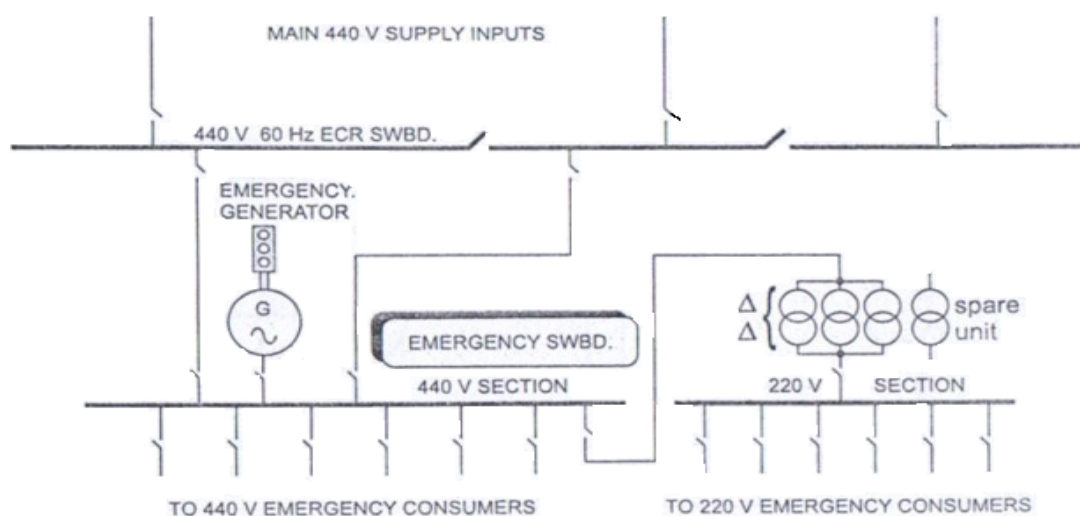
مقدار ولتاژ مولد که باید توسط AVR کنترل شود توسط رئوستای تنظیم تحریک تعیین می گردد. واحد حسگر، ولتاژ خروجی مولد را بعد از کاهش دادن توسط ترانسفورماتور یکسو می کند. سپس ولتاژ یکسو شده برای حذف مؤلفه متناوب ایجاد شده در فرآیند یکسوسازی از فیلتر عبور داده می شود. در بخش مقایسه کننده این ولتاژ یکسو شده با ولتاژ تعیین شده در یک مدار مرجع مرکب از چند مقاومت و دیود زبر مقایسه می شود. در صورت وجود اختلاف، یک سیگنال خطا در خروجی مقایسه کننده ظاهر می شود. این سیگنال پس از تقویت، ترستورهای مدار کنترل تنظیم کننده را فعال می کند.

۲-۵-۲ - برق اضطراری

در شرایطی که به علت بروز اشکال برق کشتی قطع شده است، سیستم برق اضطراری در دسترس است و می تواند روشنایی اضطراری، سیستم های اعلام خطر، مخابرات، درب های نفوذ ناپذیر و سایر خدمات لازم برای حفظ ایمنی را تأمین نماید.

ژنراتور اضطراری ۲۰ کیلووات تا ۲۰۰ کیلووات در مواقع ضروری، وظیفه تغذیه بارهای حیاتی کشتی را بر عهده دارد که معمولاً در ولتاژهای ۴۴۰ ولت و ۲۲۰ ولت به کار می‌رود.

در شکل (۲-۶) سیستم برق اضطراری نشان داده شده است. برق اضطراری توسط مولد های اضطراری و یا باتری تأمین می‌شود. مولد اضطراری باید کاملاً مستقل و خودکفا باشد و اتکا به منابع دیگر موجود در ماشین خانه مجاز نیست. اگر از باتری برای تأمین برق اضطراری استفاده شود باید اطمینان حاصل شود که دائماً شارژ شده و آماده به کار هستند.



شکل (۲-۶) - سیستم برق اضطراری [12]

راه انداز موتور و تابلوی توزیع برق مولد اضطراری باید در نزدیکی مولد نصب شوند. مولد اضطراری باید به صورت خودکار هنگام قطع برق کشتی راه اندازی شود و وارد مدار گردد. بعلاوه باید امکانات راه اندازی دستی هم پیش بینی شده باشد. برای راه اندازی مولد اضطراری از هوای فشرده و یا برق مستقیم باتری استفاده می‌شود.

۲-۵-۳- باتری

همانطور که ذکر شد در کشتی ها گاهی ولتاژهای ۲۴ و ۱۲ ولت نیز مورد نیاز است. معمولاً برای تأمین این سطح ولتاژ از باتری ها استفاده می‌کنند.

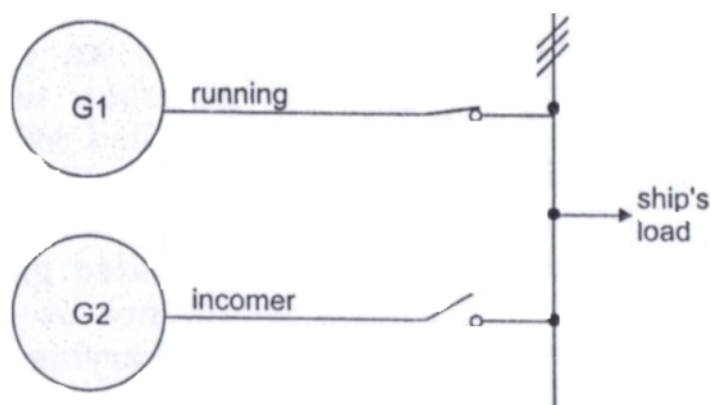
باتری های ۲۴ ولتی مورد استفاده در کشتی ها معمولاً Lead-acid و یا Alkaline cells می باشند.

۲-۶- موازی کردن مولد ها

مولد های موجود در کشتی به صورت موازی با یکدیگر در مدار قرار می گیرند. به این ترتیب که بار الکتریکی کشتی بین مولد ها تقسیم می شود. معمولاً به دلایل ایمنی و حفظ سادگی شبکه برق کشتی، امکان موازی کردن مولد های کشتی با مولد اضطراری و برق ساحل وجود ندارد.

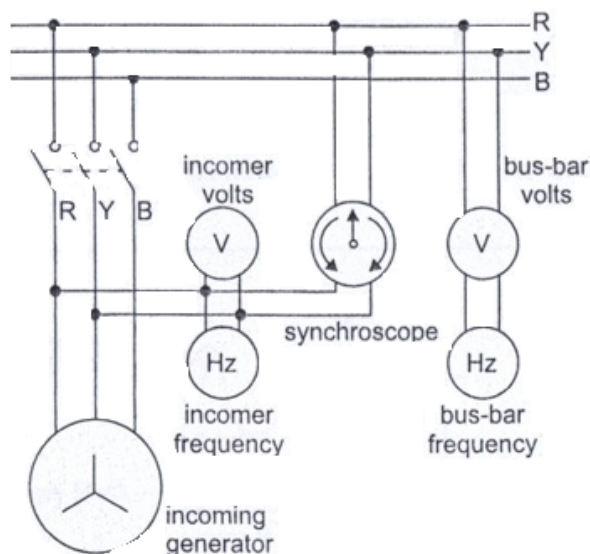
اساساً موازی کردن مولد ها شامل دو مرحله سنکرون سازی و تقسیم بار می شود. انجام هر دو مرحله به صورت خودکار امکان پذیر است ولی روش دستی سنکرون سازی و تقسیم بار هنوز در کشتی ها رایج است. برای دستیابی به یک سنکرونیزم آرام باید سرعت دوران روتور مولد وارد شونده به مدار به اندازه ای برسد که فرکانس برق مولد با فرکانس برق میلچه جریان یکسان باشد. سپس ولتاژ مولد باید با ولتاژ میلچه جریان مساوی شود.

شکل (۲-۷) مدار تک خطی نمونه ای از اتصال موازی مولد ها نشان می دهد. در این شکل مولد یک با مولد دو به وسیله دو کلید، به یک باس متصل هستند و به طور همزمان بار متصل به باس را تغذیه می کنند. این امر همانطور که قبلاً نیز ذکر شد، قابلیت اعتماد سیستم را بالا می برد.



شکل (۲-۷) - نمونه ای از اتصال موازی مولد ها [12]

با استفاده از دستگاهی بنام سنکروسکوپ و یا لامپ های همگام سازی می توان از تنظیم دقیق سرعت و در نتیجه فرکانس برق مولد وارد شونده به مدار مطمئن شد.



شکل (۲-۸) - مدار سنکرونیزم [12]

در حالتی که مولد ها به صورت موازی با یکدیگر کار می کنند، گاورنر توربین یا دیزل گرداننده ی مولد توان اکتیو آن را کنترل می کند و توان راکتیو توسط رنوستای دستگاه تنظیم خودکار ولتاژ کنترل می شود. تقسیم بار به صورت دستی بین مولد ها با چرخاندن کلید گردان گاورنر مولد وارد شونده در جهت افزایش سرعت و چرخاندن کلید گاورنر مولد موجود در مدار در جهت کاهش سرعت انجام می گیرد و موازنه ی بار بین مولد ها توسط افت^۱ گاورنر مولد ها تعیین می شود. تقسیم جریان بین مولد ها توسط افت تنظیم کننده ی خودکار ولتاژ مولد ها عملی می شود. لازمه تقسیم مساوی توان اکتیو و راکتیو بین مولد ها برابر بودن افت آنها است. مقدار معمولی افت بین ۲ الی ۴ درصد است.

۲-۷- کابل های برق

کابل هایی که در سیم کشی کشتی کاربرد دارند باید قادر به تحمل شرایط گوناگون از جمله درجه حرارت بالا، رطوبت و نمک موجود در محیط باشند.

ولتاژ معمول در کشتی ها ۴۴۰ ولت است و کابل های کشتی با مشخصات ۶۰۰/۱۰۰۰ ولت (۴۰۰ ولت با زمین و ۱۰۰۰ ولت بین هادی ها) طراحی شده اند. ولتاژ های بالاتر کابل هایی با مشخصات ۱۹۰۰/۳۳۰۰ ولت بر روی شبکه سه فاز ارت دار و ۳۳۰۰/۳۳۰۰ برای شبکه سه فاز بدون ارت نیاز دارند. عایق بندی کابل از ضخامت متناسب با ولتاژ آن برخوردار است و معمولاً از مواد پلاستیکی و گیاهی ساخته شده است.

امروزه لاستیک بوتیل به عنوان عایق کننده الکتریکی جایگزین لاستیک طبیعی شده است زیرا دارای مقاومت چشمگیری در مقابل گرما، رطوبت و اوزون است. همچنین از ماده لاستیکی اتیلن پروپیلن در عایق بندی کابل های برقی استفاده می شود. از ماده PVC در عایق بندی کابل های کشتی استفاده نمی شود اگرچه در تأسیسات ساحلی کاربرد فراوانی دارد. این ماده در درجه حرارت بالا نرم و سیال می شود و در هوای سرد شکننده می گردد.

علاوه بر عایق بندی، یک لایه پوشاننده روی کابل وجود دارد که عایق بندی را در مقابل صدمات محافظت می کند. از پلی کلروپرن^۲ یا هیپالن یا CSP به عنوان لایه پوشاننده عایق بندی کابل استفاده می شود.

لایه پوشاننده در مقابل گرما، روغن و مواد شیمیایی مقاوم است و در مقابل نفوذ شعله به کابل و عایق بندی وقفه ایجاد می کند. لایه CSP بهترین پوشش محافظ کابل های کشتی هاست.

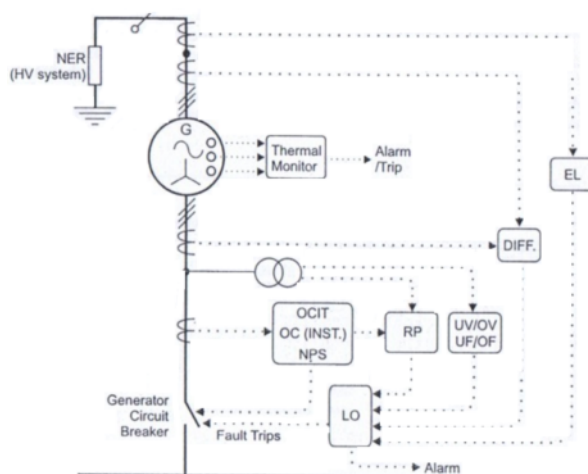
علاوه بر لایه پوشاننده کابل ها، برای افزایش حفاظت مکانیکی از پوشش زرهی در کابل استفاده می شود. زره فلزی از فولاد گالوانیزه یا آلیاژ فسفر- برنز با پوشش قلع ساخته شده است.

^۱ Droop

^۲ Poly Chloro Pren

۲-۸- تجهیزات حفاظتی

روش های حفاظتی و تجهیزات مرتبط با آنها برای مقابله با اشکالات در شرایط غیر عادی در شبکه برق کشتی پیش بینی شده است. معمولاً در طرح حفاظت از تجهیزات و مدار های برقی از مدار شکن، کنتاکتور، رله تشخیص بار اضافی، رله تشخیص ولتاژ پایین، رله توان معکوس و غیره استفاده می شود. در شکل (۲-۹) کاربرد بعضی از این قطعات نشان داده شده است.



شکل (۲-۹)- نمونه‌ای از تجهیزات حفاظتی کشتی [12]

مهمترین خصوصیت الکتریکی مدار شکن یا فیوز ظرفیت قطع کنندگی^۱ است.

ظرفیت قطع کنندگی بیانگر حداکثر جریان غیرعادی است که بدون ایجاد خطر باعث سوختن فیوز و یا باز شدن مدار شکن می گردد. یکی از موارد مهم در تعیین نوع مدار شکن و فیوز با ظرفیت قطع کنندگی مناسب برای یک مدار برقی مقدار جریان اتصال کوتاه است که توسط مقاومت ظاهری کل مولد ها، کابل ها و ترانسفورماتور هایی که در مدار اتصال کوتاه شده قرار گرفته‌اند تعیین می گردد. معمولاً این مقاومت خیلی کوچک است و در نتیجه جریان اتصال کوتاه بسیار زیاد خواهد بود.

^۱ Breaking Capacity

۲-۹- ترانسفورماتورهای تجهیزات دریایی

شبکه روشنایی کشتی و بارهای کم مصرف در کشتی ها از برق ۲۲۰ ولت ۵۰ هرتز و یا ۱۱۰ ولت ۶۰ هرتز استفاده می کنند. واحدهای ترانسفورماتور عهده دار تأمین برق ۲۲۰ ولت یا ۱۱۰ ولت هستند. این ترانسفورماتورها معمولاً با هوا خنک می شوند. پوشش فولادی دارند و در فضای پشت تابلو اصلی برق نصب می شوند. که در این صورت احتیاج به پوشش فولادی نخواهند داشت.

ترانسفورماتورهای سه فاز معمولاً از سه واحد ترانسفورماتور تک فاز که به صورت سه فاز به یکدیگر متصلند، تشکیل گردیده اند. مزیت استفاده از ترانسفورماتورهای تک فاز در این است که در صورت بروز اشکال در هر کدام می توان ترانسفورماتور معیوب را با یک واحد سالم تعویض نمود و در مدت تعویض می توان با اتصال مثلث باز شبکه را پیوسته نگه داشت.

سیستم برق کشتی را می توان به دو قسمت فشار ضعیف ($V < 1000$) و فشار قوی ($11 < V < 1000$) تقسیم نمود که بخش فشار ضعیف یک سیستم زمین نشده و بخش فشار قوی یک سیستم زمین شده با امپدانس بالا است. ترانسفورماتورها نقش تأمین سطح ولتاژهای مختلف را بر عهده دارند.

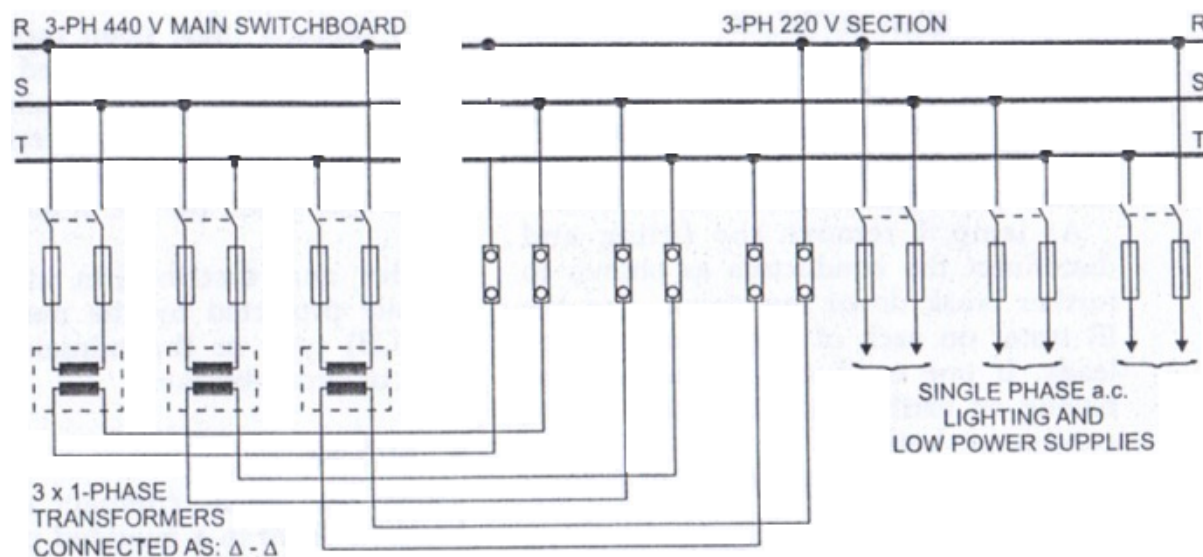
ترانسفورماتورهای بخش زمین نشده اغلب دارای اتصال دلتا - دلتا می باشند. یکی از مزایای انتخاب این نوع اتصال این است که در مواقعی که یک سیم پیچ دچار خطا می شود می توان به صورت اتصال مثلث باز از ترانسفورماتور استفاده کرد که به این ترتیب سیستم یکپارچه باقی خواهد ماند. ترانسفورماتورها در بخش زمین شده، معمولاً با اتصال ستاره - دلتا مورد استفاده قرار می گیرند که هیچگونه اتصالی با زمین (بدنه کشتی) ندارند. کلیه ترانسفورماتورهای مورد استفاده در کشتی معمولاً با مشخصات زیر هستند:

- سه فاز

- ۴۴۰/۴۴۰ & ۴۴۰/۲۲۰

- راندمان $> 90\%$

در شکل (۱۰-۲) نمونه‌ای از مدار ترانسفورماتور با نحوه اتصال آن به شبکه کشتی آورده شده است.



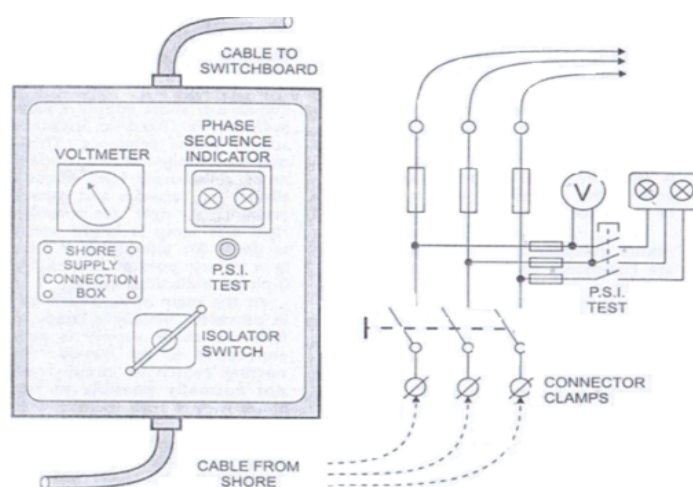
شکل (۱۰-۲) - مدار ترانسفورماتور با نحوه اتصال [12]

۱۰-۲- برق ساحلی

هنگامی که ناو در اسکله مستقر است، یا در زمان تعمیرات اساسی مولد ها و یا قرار داشتن در حوض خشک، از منابع برق ساحلی برای تأمین انرژی الکتریکی دستگاه های برقی استفاده می شود. وجود یک تابلوی مستقل برای اتصال برق ساحل در کشتی الزامی است. معمولاً تابلوی برق ساحلی در مدخل اماکن زیست کارکنان و یا در محل مولد اضطراری تعبیه می شود. تابلوی برق ساحل باید از پایانه های مناسب برای اتصال کابل برق ساحلی و همچنین متصل کردن بدنه کشتی به سیم زمین ساحل برخوردار باشد. برق ساحل از طریق یک مدار شکن خودکار و یا واحد کلید فیوز به تابلوی اصلی برق کشتی منتقل می گردد.

در صفحه‌ی مشخصات تابلوی برق ساحل خصوصیات برق کشتی (ولتاژ، فرکانس و . . .) و روش اتصال کابل برق ساحل نوشته شده است. در این تابلو یک دستگاه نشان دهنده‌ی ترتیب فاز های سه گانه برق متناوب نصب

شده است و در تابلوی اصلی برق کشتی از یک لامپ نشان دهنده برای اطلاع از دسترس بودن برق ساحل استفاده می شود. برای اتصال برق ساحل به باس بار های تابلو کلید اصلی ناو از یک مدار شکن خودکار استفاده می شود. معمولاً امکان موازی کردن برق ساحل با مولد های کشتی وجود ندارد و باید قبل از اتصال برق ساحل به تابلو کلید اصلی مولد ها از مدار خارج شوند. در تابلو کلید یک قفل ایمنی در مدار شکن های مولد های ناو و برق ساحل برقرار شده است که مانع از بسته شدن همزمان آنها می شود.

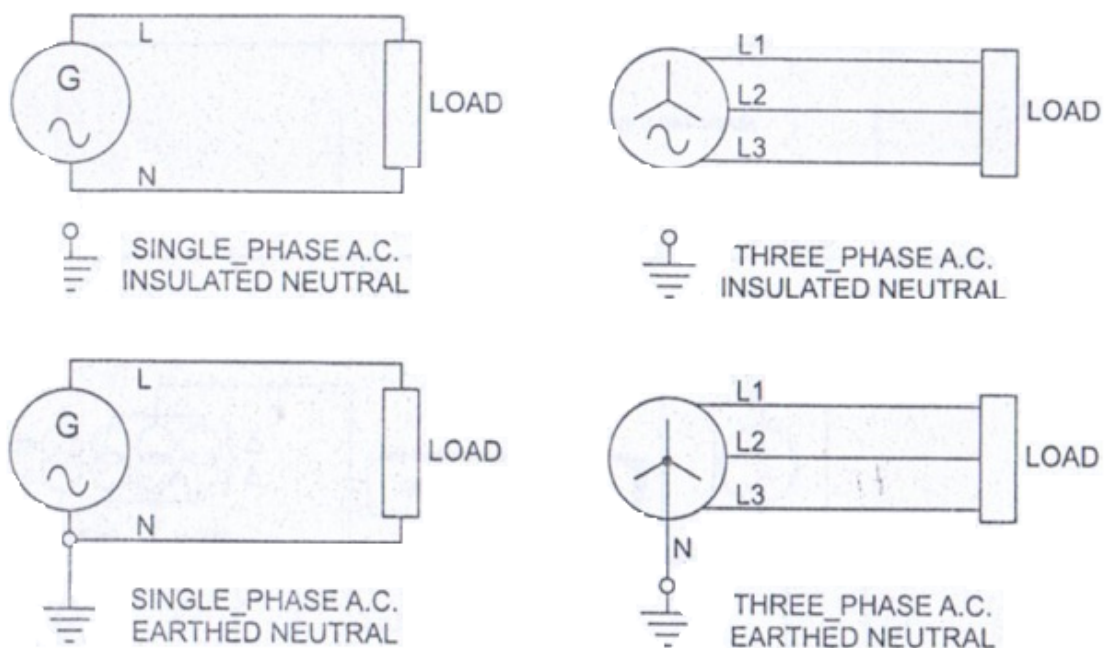


شکل (۱۱-۲) - تابلو اتصال برق ساحلی [12]

اگر بعد از اتصال برق ساحل دستگاه نمایشگر ترتیب فاز، اتصال نادرست فاز ها را نشان دهد می توان با جابجا کردن محل اتصال دو فاز مشکل را رفع نمود. عدم رعایت ترتیب فاز ها باعث چرخش موتور های سه فاز در جهت عکس می شود که می تواند عواقب خطرناکی را بدنبال داشته باشد.

۱۱-۲- شبکه توزیع زمین شده و زمین نشده

در شکل (۱۲-۲) شبکه های توزیع ارت دار و بدون ارت نشان داده شده اند. در شبکه توزیع زمین نشده هیچگونه ارتباط الکتریکی با زمین (در اینجا بدنه ی کشتی) وجود ندارد. در شبکه ارت دار نقطه خنثی اتصال ستاره ی مولد به بدنه ی کشتی متصل می شود. در حال حاضر در کشتی ها از شبکه توزیع زمین نشده استفاده می شود.

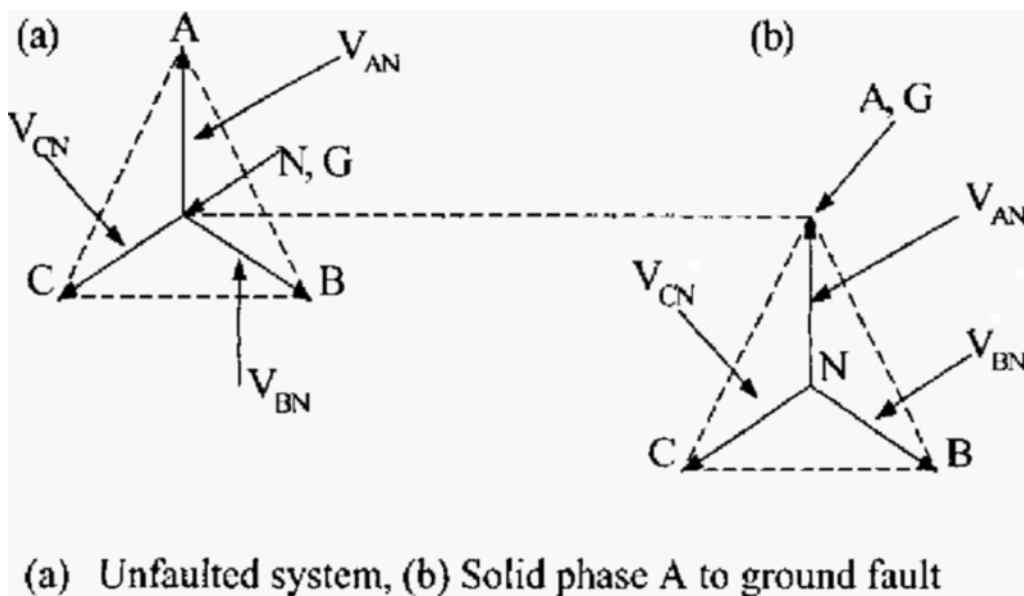


شکل (۲-۱۲) - شبکه های توزیع ارت دار و بدون ارت [12]

مهمترین نکته در رابطه با توزیع برق کشتی که از ارجحیت بالایی برخوردار است، تداوم تغذیه وسایل الکتریکی در زمان بروز اشکال اتصال بدنه برای یک یا چند دستگاه برقی است. در تأسیسات برق ساحل مسئله کاملاً برعکس است و جدا کردن دستگاه هایی که به زمین متصل شده اند الویت دارند که شبکه توزیع زمین شده این کار را انجام می دهد.

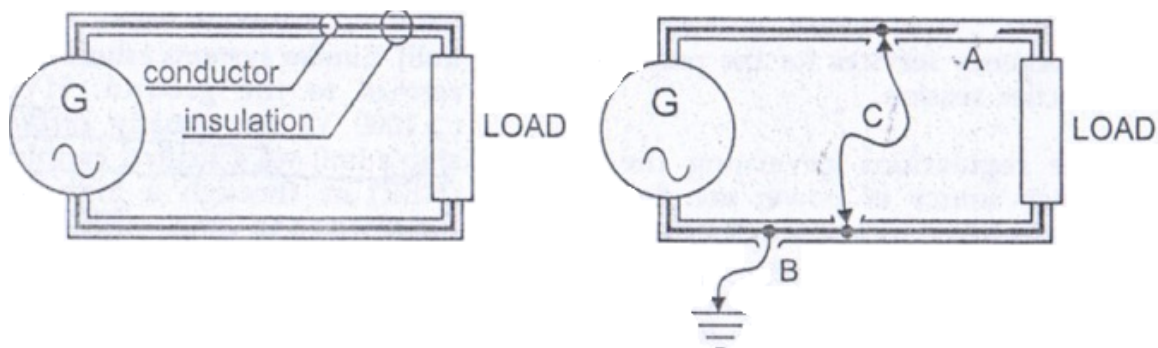
در سیستم توزیع زمین شده بروز نقص اتصال زمین باعث ایجاد مدار اتصال کوتاه از طریق زمین (یا بدنه ی کشتی) می شود. در این حالت جریان زیاد ناشی از اتصال کوتاه باعث سوختن فیور ها می شود و بار الکتریکی از مدار خارج می گردد. اگر بار از مدار خارج شده از بار های حیاتی کشتی باشد ممکن است شرایط خطرناکی پیش آید که ایمنی کارکنان کشتی را تهدید می کند. به این دلیل در شبکه توزیع برق کشتی از سیستم زمین نشده استفاده می کنند. سیستم زمین نشده این مزیت را دارد که هنگام رخداد خطای تکفاز به زمین (بدنه ی

کشتی)، به علت تغییر نکردن ولتاژهای خط به خط و همچنین پایین بودن جریان خطا، رله‌ها و مفیوزها عمل نکرده و سیستم یکپارچه باقی بماند. شکل (۲-۱۳) گواه مطلب فوق می‌باشد.



شکل (۲-۱۳) - دیاگرام فازوری برخورد یک فاز به زمین [21]

با توجه به شکل (۲-۱۳) و (۲-۱۴) می‌توان دریافت که سیستم زمین نشده در صورت وجود فقط یک اتصال بین یکی از هادی‌ها و زمین (نقطه A در شکل (۲-۱۴)) هیچکدام از وسائل حفاظتی عمل نمی‌کند و مدار به کار عادی خود ادامه می‌دهد و نکته مهم در همین جاست.



شکل (۲-۱۴) - اتصال یک فاز به بدنه زمین نشده [12]

اگر اتصال زمین دیگری در نقطه B اتفاق افتد، این دو نقطه مدار خود را از طریق زمین (بدنه کشتی) تکمیل می کنند و حالت اتصال کوتاه رخ می دهد و باعث تریپ دادن رله ها و فیوز ها شده و به موجب آن بار های حیاطی قطع می شوند که این موضوع از معایب سیستم زمین نشده بشمار می آید.

مطالب ذکر شده در بالا ضرورت آشکارسازی خطای تکفاز به زمین در سیستم برق زمین نشده ی کشتی را اثبات می کند. در ادامه قصد براین است که روشی برای تشخیص این خطا یافت.

خلاصه

با توجه به مطالبی که بیان شد، می توان این طور نتیجه گرفت که سیستم قدرت تجهیزات دریایی، یک سیستم قدرت معمولی و کوچک است با این تفاوت که برخی فاکتور ها در آن از اهمیت بالاتری برخوردار است. در یک سیستم قدرت ساحلی (ثابت) در صورت رخداد هر نوع خطایی در شبکه، بایستی هرچه سریع تر خطا بر طرف شود اما در سیستم قدرت تجهیزات دریایی، پیوسته ماندن سیستم در اولویت اول است و حفاظت به گونه ای انجام می شود که حتی المقدور سیستم ماندگار بماند.

فصل سوم

انواع روش های آشکارسازی خطا

۳-۱- مقدمه

روش های متعددی برای آشکارسازی خطای تکفاز به زمین در سیستم های زمین نشده وجود دارد. از جمله این روش ها می توان به روش الگوریتم درخت تقسیم انرژی هارمونیک^۱، الگوریتم فازی خوشه سازی^۲، روش کلارک^۳ و ... اشاره نمود.

هریک از روش های ذکر شده در بالا به نوبه ی خود دارای نقاط ضعف و قوتی می باشد اما ایراد قابل توجهی که به بسیاری از این روش ها می توان وارد کرد این است که در اکثر آنها برای آشکارسازی خطای تکفاز در سیستم زمین نشده، ابتدا این نوع خطا را به صورت خطای باامپدانس بالا^۴ در نظر گرفته و سپس عملیات آشکارسازی اجرا می شود که در بسیاری از موارد این فرض باعث بروز خطای غیر قابل چشم پوشی می شود. لذا نیاز است تا روشی جدید و دقیق برای آشکارسازی خطای تکفاز به زمین در سیستم زمین نشده ارائه شود. در این فصل ابتدا مطالبی جهت آشنایی مختصر با روش های موجود برای آشکارسازی خطای تکفاز در سیستم برق کشتی ارائه شده است و سپس به معرفی روشی جدید بر اساس تبدیل موجک^۵ پرداخته می شود.

۳-۲- انواع روش های آشکارسازی خطای تکفاز به زمین

در تمامی این روش ها علاوه بر اینکه بایستی خطای آشکارسازی شود، همچنین از بین سایر مانور ها از قبیل کلید زنی، وصل بانک خازنی و ... نیز بایستی تمایز داده شود.

این روش ها را می توان به دو دسته کلی تقسیم کرد [12]:

- روش های ساده و کاربردی

- روش های علمی و تئوریک

این دو نوع روش، هر کدام از الگوریتم هایی استفاده می کنند که در ادامه به بررسی آنها پرداخته می شود.

¹ Harmonic Energy

⁴ High Impedance Fault

² Fuzzy Logic

⁵ Wavelet Transform

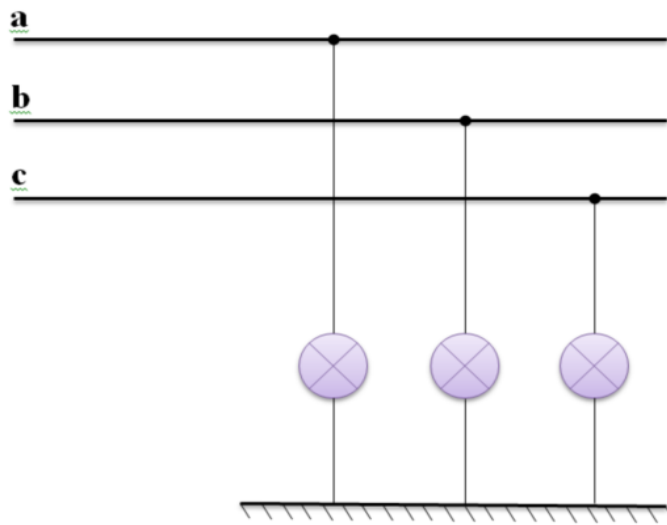
³ Clark

۳-۳- روش های ساده و کاربردی

منظور از روش های ساده و کاربردی همان روش هایی است که با استفاده از تجهیزات معمولی و بر اساس پشتوانه‌ی علمی اندک استوارند اما بسیار کاربردی و قابل استفاده در سیستم برق کشتی می باشند. استفاده از لامپ هشدار و روش اهمتری، دو نوع از این روش ها می باشند که دارای الگوریتم ساده ولی بسیار کاربردی هستند. این روش ها هم اکنون نیز در بسیاری از کشتی ها و تجهیزات دریایی مورد استفاده قرار می گیرند. در کنار مزیت سادگی و کاربردی این روش ها عیوبی نیز وجود دارد. یک از این عیوب این است که هر دو این روش ها دارای دقت بسیار پایینی بوده و در خطاهای با فرکانس بالا کاربرد ندارند. در زیر این دو روش به تفصیل بررسی شده‌اند.

۳-۳-۱- روش لامپ هشدار

در این روش از سه لامپ با مقاومت بالا که هر کدام به به یک فاز جداگانه متصل شده‌اند، استفاده می شود . شکل (۳-۱) چگونگی اتصال این لامپ ها را نشان می دهد. در این روش در صورت رخداد خطای تکفاز به زمین، برخورد فاز خطا دار با زمین با عث بسته شدن مدار دو لامپ دیگر شده و آنها روشن خواهند شد که در این صورت اپراتور اتاق هشدار، فازی که لامپ هشدار آن خاموش است را به عنوان فاز خطا دار می شناسد. به این ترتیب خطای تکفاز به زمین شناسایی می شود. همانطور که قبلاً هم گفته شد این روش از دقت بالایی برخوردار نمی باشد. در صورتی که مقاومت مسیر بسیار بالا باشد از آنجایی که مقاومت خود لامپ ها نیز زیاد است، بنابراین ممکن است که لامپ هشدار روشن نشود. همچنین در صورت اتصال فاز به زمین و جدا شدن مجدد آن از زمین این سیستم ناکارآمد است.



شکل (۳-۱) - مدار روش لامپ هشدار

۳-۳-۲- روش اهم متری

در این روش الگوریتم کار تقریباً مشابه روش لامپ هشدار می باشد با این تفاوت که بجای لامپ از اهم متر هایی در رنج کیلو اهم استفاده می کنند. این اهم متر ها در تابلو اتاق هشدار قرار دارند و به طور پیوسته مقاومت بین هر فاز با زمین را نشان می دهند. در صورت رخداد خطا و برخورد یک فاز با زمین، مقاومت بین آن فاز با زمین بسیار کم شده و این نشان دهنده وقوع خطا است. که فازی که اهم متر مربوط به آن عدد پایین را نشان می دهد، فاز خطا دار محسوب می شود. این روش نیز همانند روش لامپ هشدار دارای خطا های مشابه بوده و نمی تواند قابلیت اطمینان لازم را برآورده کند. در ادامه به بررسی روش های علمی و تئوری پرداخته می شود.

۳-۴- روش های علمی و تئوریک

همانطور که پیش از نیز اشاره شد، اکثر این روش ها از دو ابزار اساسی استفاده می کنند. این دو ابزار به قرار زیر می باشد :

- ابزار تقسیم بندی خطاها

- ابزار تشخیص خطا

اصول عملکرد این ابزارها تقریباً در تمام روش‌های علمی آشکار سازی خطا یکسان است. در ادامه به توضیح هر کدام از این ابزارها پرداخته می‌شود.

۳-۴-۱- ابزارهای تقسیم بندی خطا

منظور از تقسیم بندی خطا، بدست آوردن یک ویژگی منحصر به فرد برای فرآیندهای مختلف می‌باشد که بر اساس همان ویژگی، هر فرآیند از دیگری متمایز می‌شود و می‌توان برای آنها چیزی شبیه شناسنامه ترتیب داد که در صورت رخدادشان، شناسایی شوند.

ابزارهای مختلفی برای تقسیم بندی خطا وجود دارد. اصول عملکردی این ابزارها بر این اساس است که مشخصه‌ی جریان، ولتاژ و... انواع خطاها را بدست می‌آورند. مشخصه‌ی حاصل بایستی این ویژگی را داشته باشد که از سایر مشخصه‌ها متمایز باشد. سپس مشخصه‌ی بدست آمده به نام آن خطا ثبت خواهد شد. با این عمل هر خطا مشخصه‌ای منحصر به خود دارد. برخی از انواع ابزارهای تقسیم بندی خطا در زیر آمده است.

- نرمالیزه کردن جریان خطا
- استفاده از دستگاه‌های دیجیتال مخصوص
- استفاده از تبدیل موجک (Wavelet Transform)
- ... و ...

۳-۴-۱-۱- روش نرمالیزه کردن جریان خطا

در روش نرمالیزه کردن جریان خطا، تقسیم بندی بر اساس جریان خطا می‌باشد. بدین ترتیب که ابتدا در شبکه مورد آزمایش تمامی پدیده‌های ممکن را انجام داده و داده‌های حاصل را جمع‌آوری می‌کنند. سپس جریان‌های بدست آمده از رخداد هر پدیده را نرمالیزه می‌کنند. نرمالیزه کردن جریان خطا به این معنی می‌باشد که

هر جریانی در شبکه را نسبت به جریان نامی شبکه می‌سنجند و سرانجام براساس مقدار بدست آمده، آنها را دسته بندی می‌کنند.

۳-۴-۱-۲- روش استفاده از دستگاه های دیجیتال مخصوص

دستگاه های دیجیتال مخصوص الگوریتمی شبیه آنچه در قسمت نرمالیزه کردن اشاره شد، دارند با این تفاوت که می‌توان معیار تقسیم بندی را تغییر داد برای مثال از پارامتر ولتاژ و یا تغییر سرعت چرخش شفت موتور یا ژنراتوری خاص در شبکه به عنوان معیار استفاده کرد.

۳-۴-۱-۳- روش استفاده از تبدیل موجک

تبدیل موجک، تبدیلی است که سیگنال ورودی را به دو قسمت، شامل جزئیات و تقریب تقسیم می‌کند. این دو قسمت هر کدام دارای سطوحی می‌باشند که هرچه سطوح بالاتر باشد، مرتبط با فرکانس های بالاتر است. این تبدیل با استفاده از سیگنال های خروجی از این سطوح، مشخصه‌ای برای سیگنال ها بوجود آورده که با سایر سیگنال ها بسیار متفاوت است. در این پایان نامه، روش تبدیل موجک اساس کار قرار گرفته است که در فصل بعد بیشتر با این تبدیل آشنا خواهید شد.

۳-۴-۲- ابزار تشخیص خطا

الگوریتم کلی ابزار های تشخیص خطا این است که بایستی با توجه مشخصه های برنامه ریزی شده‌ی خود، تشخیص دهند که مشخصه‌ی ورودی شبیه کدام نوع است.

ابزار های تقسیم بندی خطا برای هر پدیده‌ای، یک مشخصه‌ی منحصر به فرد تشکیل می‌دهند. سپس ابزار های تشخیص خطا را براساس این مشخصه ها برنامه ریزی می‌کنند بدین ترتیب که همه‌ی ابزار های تشخیص خطا دارای لیستی از انواع مشخصه ها می‌باشند. اگر پدیده‌ای در شبکه رخ دهد، ابزار های تشخیص خطا آن را با

مشخصه های موجود در لیست خود مقایسه کرده و در صورت تشابه با یکی از آنها، آلام مربوط به آن را فعال خواهند کرد. بدین ترتیب پدیده‌ی مورد نظر آشکار می شود.

برخی از انواع مختلف ابزار های تشخیصی خطا در زیر آمده است :

- سیستم شبکه های عصبی

- سیستم استنتاج فازی

- دستگاه های دیجیتال برنامه ریزی شده

- جدول درستی

- ...

با توجه به مطالب ذکر شده در بالا، به منظور تشخیص خطای تکفاز به زمین از تبدیل موجک به عنوان ابزار تقسیم بندی خطا و از برنامه کامپیوتری دستگاه های دیجیتالی به عنوان ابزار تشخیص خطا استفاده خواهیم کرد.

خلاصه

با توجه به مطالب ارائه شده در این فصل، این طور بر می آید که روش های کاربردی آشکارسازی خطا (روش روشنایی سه لامپی و روش اهم متری) به دلیل دقت پایین و عدم عملکرد در فرکانس های بالا، از قابلیت اطمینان بالایی برخوردار نیستند و نیاز است تا روش های علمی و دقیقتری بکار گرفته شود. تمامی روش های علمی از دو ابزار اصلی تشکیل یافته اند که یکی ابزار تقسیم بندی خطا (مانند نرمالیزه کردن جریان خطا، تبدیل موجک و ...) و دیگری ابزار تشخیص خطا (شبکه‌ی عصبی، منطق فازی، برنامه‌ی کامپیوتری و ...) می باشد.

فصل چہارم

تبدیل موجک

۴-۱- آشنایی با تبدیل موجک

برای آشنایی با تبدیل موجک نیاز است که ابتدا با تبدیل فوریه، مزایا و معایب آن آشنایی پیدا کرد. در پیوست ب مطالبی جهت آشنایی با تبدیل فوریه آورده شده است. تبدیل موجک یکی از پرکاربردترین تبدیلات ریاضی در حوزه پردازشی و به ویژه پردازش سیگنال و تصویر است. با توجه به ماهیت آنالیز چند رزولوشنی، این تبدیل جای خود را در بسیاری از کاربردهای پردازشی باز کرده و بعضاً به عنوان توانمندترین ابزار شناخته شده است. با گسترش کاربردهای این تبدیل، نیاز به فراگیری آن و آشنایی با توانایی ها و قابلیت های آن افزایش یافته است. در این راستا، تألیفات و مقالات زیادی وجود دارد که می توان به آن ها استناد نمود اما در اکثر قریب به اتفاق این نوشتارها، یا آن که تبدیل موجک با تفصیل و جزئیات بسیار بیان شده است و مسلماً به عنوان قدم اول برای آشنایی با این زبان برنامه نویسی، حجیم و وقت گیر به نظر می رسد، و یا آنکه ماهیت این تبدیل در لفافه روابط ریاضی آن به فراموشی سپرده می شود. قبل از پرداختن به اصل تبدیل موجک لازم است تا با آنالیز چند رزولوشنه آشنایی پیدا کرد.

۴-۲- آنالیز چند رزولوشنه

مشکل رزولوشن ثابت در تبدیل فوریه زمان-کوتاه ریشه در اصل عدم قطعیت هایزنبرگ دارد. طبق این اصل نمی توان توصیف زمان-فرکانس یک سیگنال را به طور دقیق داشت، یعنی نمی توان فهمید که در یک سیگنال به طور دقیق چه مؤلفه های فرکانسی در چه زمان هایی وجود دارد، بلکه تنها می توان فهمید که در کدام بازه های زمانی، چه باند فرکانسی موجود است. این اصل به طور مستقیم به مفهوم رزولوشن بر می گردد. اگرچه مشکلات رزولوشن زمان و فرکانس در نتیجه یک پدیده فیزیکی (اصل عدم قطعیت هایزنبرگ) بوده و ربطی به نوع تبدیل مورد استفاده ندارد، می توان از یک رویکرد جایگزین برای تحلیل سیگنال ها استفاده نمود که اصطلاحاً آنالیز چند رزولوشنه^۱ نامیده می شود.

^۱ Multi-resolution analysis

در ادامه با این مفهوم بیشتر آشنا شده و نهایتاً از آن به عنوان سنگ بنای تبدیل موجک بهره خواهیم برد. منظور از آنالیز چند رزولوشنه، تحلیل سیگنال در فرکانس های مختلف با رزولوشن های متفاوت است. بدین ترتیب، بر خلاف تبدیل فوریه زمان-کوتاه، در آنالیز چند رزولوشنه، با هر یک از مؤلفه های فرکانسی به طور یکسان رفتار نمی شود. در حقیقت هدف آنالیز چند رزولوشنه، ارائه رزولوشن زمانی مناسب و رزولوشن فرکانسی نادقیق در فرکانس های بالا و در مقابل، رزولوشن فرکانسی خوب و رزولوشن زمانی ضعیف در فرکانس های پائین است. این رویکرد به ویژه در کاربردهایی که سیگنال مورد تحلیل دارای مؤلفه های فرکانس بالا در مدت زمان کوتاه بوده و مؤلفه های فرکانس پائین آنها برای بازه های بلند زمانی باقی می ماند، مفید می باشد. به ویژه این که اکثر قریب به اتفاق سیگنال هایی که در عمل با آن ها مواجه هستیم از این نوع هستند. به عنوان مثال، سیگنال الکتروکاردیوگرام (نوار قلب) را در نظر بگیرید. این سیگنال دارای یک مؤلفه با فرکانس نسبتاً پائین است که در سرتاسر سیگنال وجود دارد (خط پایه و قطعات بین موج های مختلف نوار قلب). همچنین این سیگنال دارای مؤلفه های فرکانس بالایی است که تنها برای یک دوره زمانی کوتاه و در اواسط هر سیکل از سیگنال ظاهر می شوند. در ادامه، تبدیل موجک به عنوان ابزاری برای آنالیز چند رزولوشنه معرفی خواهد شد.

۴-۳- تبدیل موجک یک بعدی

۴-۳-۱- تبدیل موجک پیوسته

تبدیل موجک پیوسته^۱ به عنوان روشی جایگزین بر تبدیل فوریه زمان-کوتاه ارائه گردید و هدف آن، فائق آمدن بر مشکلات مربوط به رزولوشن در تبدیل فوریه زمان-کوتاه است. در آنالیز موجک، مشابه با تبدیل فوریه زمان-کوتاه، سیگنال موردنظر در یک تابع (موجک) ضرب می شود که در حقیقت نقش همان تابع پنجره را دارد. همچنین به طور مشابه با قبل، تبدیل موجک نیز به طور جداگانه بر روی قطعه های زمانی مختلف سیگنال انجام می شود. اما ماهیتاً دو اختلاف عمده با تبدیل فوریه زمان-کوتاه دارد که عبارتند از:

^۱ Continuous Wavelet Transform

۱- در تبدیل موجک، از سیگنال پنجره شده، تبدیل فوریه گرفته نمی شود و بنابراین پیک های منفرد متناظر با یک سینوسی، یا به عبارت دیگر فرکانس های منفی محاسبه نمی شود.

۲- در تبدیل موجک، عرض پنجره به موازات تغییر مؤلف ههای فرکانسی تغییر می کند که به طور حتم مهمترین ویژگی تبدیل موجک است.

بر این اساس، تبدیل موجک پیوسته به صورت زیر تعریف می گردد :

$$CWT_x^\psi(\tau, s) = \Psi_x^\psi(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi^*\left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt \quad (1-4)$$

که در آن τ و s به ترتیب پارامترهای انتقال^۱ و مقیاس^۲ می باشند.

مفهوم انتقال دقیقاً مشابه با مفهوم انتقال زمانی در تبدیل فوریه زمان-کوتاه است که میزان جابجایی پنجره را معلوم می کند و به وضوح، اطلاعات زمانی تبدیل را دربردارد. بر خلاف تبدیل فوریه زمان-کوتاه، در تبدیل موجک به طور مستقیم پارامتر فرکانس وجود ندارد. در عوض، پارامتر مقیاس که به طور معکوس با فرکانس ارتباط دارد، منظور می شود. به عبارت دیگر $s = 1/f$.

با مفهوم مقیاس جلوتر آشنا خواهیم شد. در رابطه (۱-۴)، ψ تابع پنجره است که اصطلاحاً موجک مادر نامیده می شود. واژه ی موجک به معنای موج کوچک است که در برخی ترجمه ها، تعبیر موجک برای آن آورده شده است. دلیل استفاده از واژه ی کوچک، محدود بودن و کوتاه بودن تابع پنجره می باشد.

علت استفاده از واژه موج نیز به دلیل ماهیت نوسانی این تابع است. واژه مادر نیز به این منظور به کار برده می شود که تمامی نسخه های انتقال یافته و مقیاس شده، از روی یک تابع اولیه بدست می آیند که اصطلاحاً موجک مادر نامیده می شود.

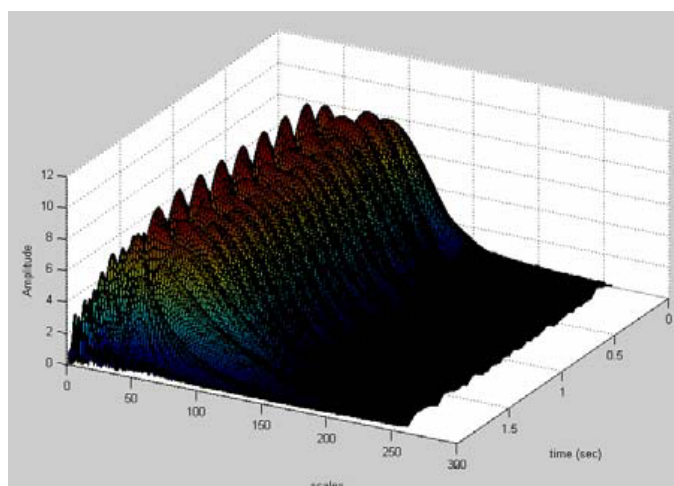
¹ Translation

² Scaling

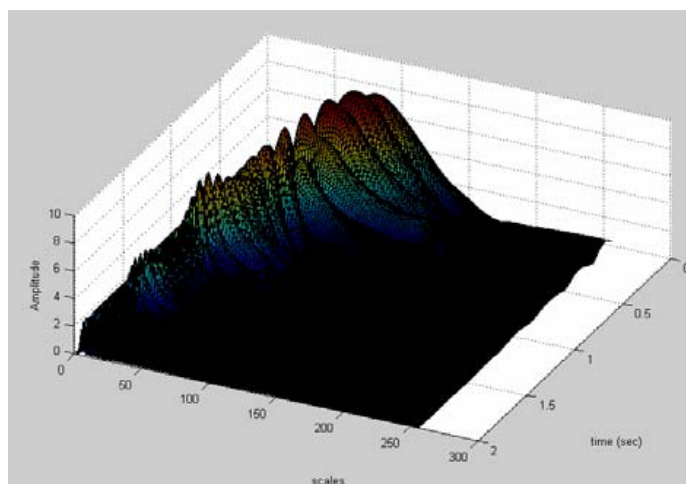
به بیان علمی، موجک مادر، یک تابع الگو^۱ جهت تولید سایر پنجره ها می باشد. آنچنانکه پیش از این عنوان شد، در تبدیل موجک به جای فرکانس، پارامتر مقیاس وجود دارد. همانگونه که از معنی این پارامتر برمی آید، نوعی مفهوم مقیاس درون آن نهفته است. درست به مانند مفهوم مقیاس در نقشه، در تبدیل موجک نیز مقیاس های بزرگ، متناظر با یک دید کلی و فارغ از جزئیات به سیگنال است (متناظر با فرکانس های پائین) و مقیاس های کوچک، متناظر با نگاه به جزئیات سیگنال است و لذا در تناظر با فرکانس های بالا خواهد بود. مقیاس کردن، به عنوان یک اپراتور ریاضی، سیگنال را منقبض یا منبسط می کند. بدینسان، در مقیاس های بالا که سیگنال منبسط می شود، جزئیات را خواهیم داشت و در مقیاس های پائین که سیگنال منقبض می شود، کلیات را خواهیم داشت. توجه داریم که متغیر مقیاس در تعریف تبدیل موجک، در مخرج ظاهر شده است. بنابراین به ازای مقادیر $S > 1$ سیگنال منبسط شده و به ازای $S < 1$ سیگنال فشرده می گردد. شکل (۴-۱) تبدیل موجک پیوسته سیگنال های ایستا و نایستای نشان داده شده در پیوست ب را نشان می دهد که با استفاده از موجک مادر db8 محاسبه گردیده اند.

برای توضیحات بیشتر به پیوست ب می توان مراجعه کرد که از لحاظ رزولوشنی، در قیاس با شکل های (ب-۳) و (ب-۴)، نتایج بهتر شده اند. همچنین با مقایسه شکل (۴-۱)-(ب) با شکل (ب-۳) پیوست ب دیده می شود که جای لوب های زمان-فرکانس در نمایش تبدیل موجک تغییر کرده است. دلیل این موضوع نیز به سادگی مشخص است. از آنجا که در شکل (ب-۴) پیوست ب، محور افقی فرکانس می باشد، ابتدا مؤلفه های فرکانس پائین و سپس مؤلفه های فرکانس بالا ظاهر شده اند، حال آنکه در تبدیل موجک، محور افقی مقیاس است. بنابراین ابتدا مؤلفه های مقیاس بالا (متناظر با فرکانس پائین) ظاهر شده اند و پس از آن مؤلفه های مقیاس پائین (متناظر با فرکانس بالا) پدیدار شده اند که بدینسان کاملاً توجیه پذیر است. از سوی دیگر، خاصیت آنالیز چند رزولوشنی این تبدیل موجک در شکل بالا به وضوح مشخص است، چراکه در مقیاس های پایین (فرکانس های بالا) رزولوشن بهتری داریم.

¹ Prototype



(الف)



(ب)

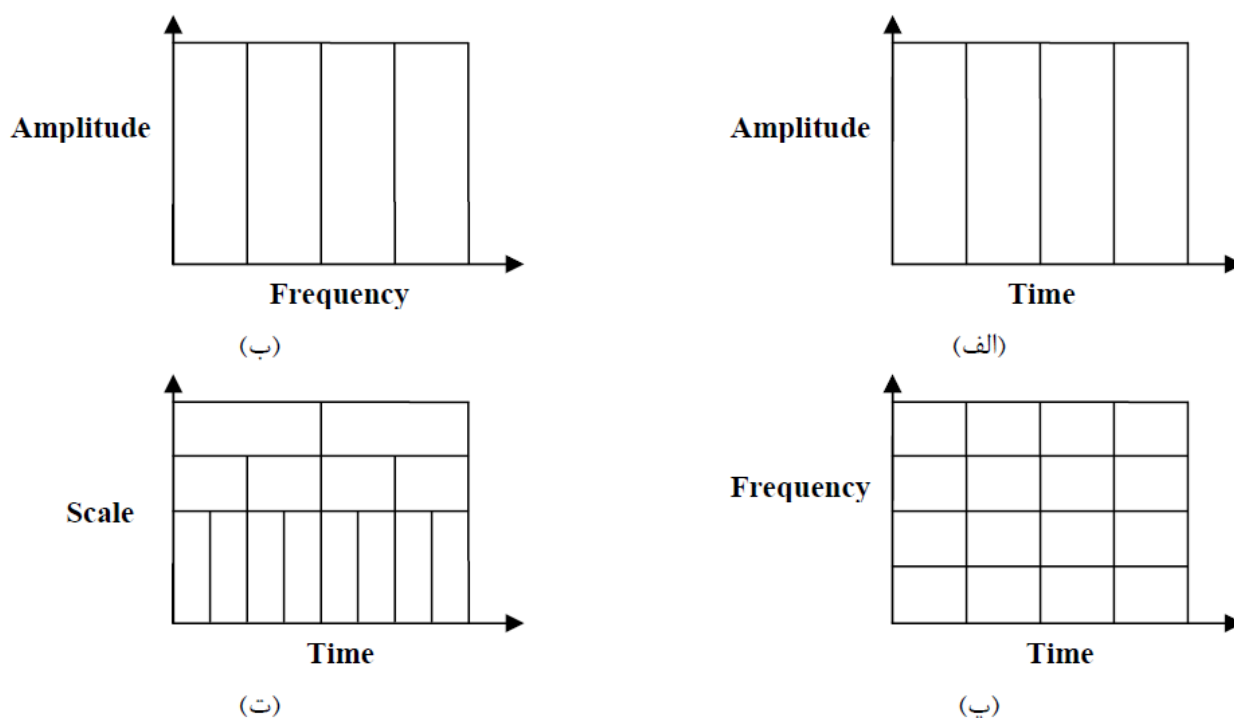
شکل (۴-۱) - نمایش ۳ بعدی تبدیل موجک پیوسته سیگنال های ایستا و نایستای نشان داده شده در پیوست ب با استفاده از موجک مادر

db8. الف) تبدیل موجک پیوسته سیگنال های ایستا. ب) تبدیل موجک پیوسته سیگنال های نایستا [10]

به عبارت دیگر در مقیاس های پایین تر، نمودار باریک تر است که نشان دهنده این است که با دقت بسیار بهتری می توان مقدار دقیق مقیاس متناظر را بیان نمود که خود متناظر با رزولوشن فرکانسی ضعیف است. به طور مشابه، مقیاس های بالاتر دارای رزولوشن فرکانسی خوب می باشند چرا که در طول محور مقیاس، پهن تر هستند.

۴-۳-۲- رزولوشن در صفحه زمان فرکانس

در این بخش، نگاهی دقیقتر به خواص مرتبط با رزولوشن در تبدیل موجک خواهیم انداخت. به خاطر داریم که رزولوشن عامل اصلی روی آوردن از تبدیل فوریه زمان- کوتاه به تبدیل موجک بود. شکل (۲-۴) توصیف‌های مختلف رزولوشن در صفحات زمان، فرکانس و زمان- فرکانس را برای تبدیل‌های مختلف نشان می‌دهد.



شکل (۲-۴)- نمایش رزولوشن در صفحات مختلف (الف) صفحه زمان، (ب) صفحه فرکانس، (پ) صفحه زمان- فرکانس در تبدیل فوریه زمان-

کوتاه، (ت) صفحه زمان-فرکانس در تبدیل موجک [10]

هر خانه‌ی مستطیلی متناظر با یک مقدار در صفحه مربوطه می‌باشد. توجه داریم که در صفحات زمان- فرکانس، هر خانه یک مساحت غیرصفر دارد که بیان‌کننده این است که مقدار دقیق یک نقطه در صفحه زمان-فرکانس قابل دانستن نیست. به عبارت دیگر، تمام نقاطی که در صفحه زمان- فرکانس در یک خانه قرار می‌گیرند، توسط یک مقدار تبدیل متناظر (موجک یا فوریه زمان-کوتاه) توصیف می‌گردند.

شکل (۲-۴) نشان می دهد که به واسطه‌ی ثابت بودن پنجره در تبدیل فوریه زمان-کوتاه، رزولوشن ایجاد شده در همه جای صفحه زمان-فرکانس ثابت است. حال آن که در تبدیل موجک، طول و عرض خانه های مستطیلی که در حقیقت المان های رزولوشن می باشند، تغییر می کند اما همچنان مساحت آنها ثابت می ماند. به بیان دیگر، هر خانه نشان دهنده یک بخش یکسان از صفحه زمان-فرکانس است که البته در جاهای مختلف، به زمان و فرکانس سهم متفاوتی اختصاص یافته است. دقت داریم که در مقیاس های بالا (فرکانس های پائین)، ارتفاع خانه ها کوتاه تر است که متناظر با رزولوشن فرکانسی بهتر است و عرض خانه ها بزرگ تر است که بیان کننده رزولوشن زمانی ضعیف می باشد. در نقطه مقابل، در مقیاس های پائین (فرکانس های بالا)، عرض خانه ها کاهش یافته تا رزولوشن زمانی بهبود یابد و در عوض ارتفاع آنها افزایش می یابد تا در جایی که نیازی به رزولوشن خوب نداریم، رزولوشن بدتر شود. شایان ذکر است که مساحت خانه ها به نامساوی هایزبرگ مربوط می شود و بستگی به نوع موجک مادر به کار رفته دارد. می توان نشان داد که فارغ از این که موجک مادر به کار رفته، چه باشد، کران پائین مساحت خانه ها به عدد $\pi/4$ محدود می شود چرا که بر اساس اصل عدم قطعیت هایزبرگ، نمی توان عرض خانه ها را تا جای ممکن کم کرد.

۴-۳-۳- روابط ریاضی تبدیل موجک

در این بخش، ایده اصلی تبدیل موجک در قالب روابط ریاضی پایه‌ای بیان می شود. در فضای V مجموعه‌ای از بردارهای مستقل خطی است به نحوی که بتوان هر بردار V یک پایه از فضای برداری را برحسب یک ترکیب خطی از این بردارهای پایه نوشت. در حالت کلی برای هر فضای برداری می توان بیش از یک پایه یافت، اما همگی آنها دارای تعداد یکسانی بردار پایه خواهند بود که این تعداد را بعد آن فضای برداری می نامند. بدین سان، توصیف هر بردار دلخواه فضا چنین نشان داده می شود :

$$v = \sum_{k=1}^N \alpha_k b_k \quad (۲-۴)$$

که در آن، b_k بردارهای پایه فضا هستند، α_k ضرایب ترکیب خطی بوده و N بعد فضاست.

این مفهوم که در فضای برداری بیان شد را می توان به سادگی به توابع تعمیم داد با این تغییر که بردارهای پایه جای خود را به توابع پایه (φ_k) می دهند. بدین سان، هر تابع دلخواه $f(t)$ را می توان به صورت زیر توصیف نمود :

$$f(t) = \sum_{k=1}^N \alpha_k \phi_k(t) \quad (3-4)$$

همانگونه که پیش از این دیدیم، توابع نمایی مختلط، توابع پایه برای محاسبه تبدیل فوریه یک سیگنال هستند. به علاوه، این توابع متعامد بوده و لذا این قابلیت را به تبدیل فوریه می دهند که بتوان سیگنال اولیه را از روی تبدیل یافته بازسازی نمود.

فرض که $f(t)$ و $g(t)$ دو تابع در فضای دوبعدی باشند. ضرب داخلی این دو تابع به صورت زیر نشان داده می شود :

$$\langle f(t), g(t) \rangle = \int f(t) g^*(t) dt \quad (4-4)$$

بر این اساس، رابطه تبدیل موجک پیوسته را می توان به صورت ضرب داخلی سیگنال و یک تابع پایه به فرم زیر نوشت :

$$\begin{aligned} CWT_x^\psi(\tau, s) &= \Psi_x^\psi(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi^*\left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt \\ &= \langle x(t), \psi_{\tau, s}(t) \rangle \end{aligned} \quad (5-4)$$

که در آن :

$$\psi_{\tau,s}(t) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) \quad (6-4)$$

با تعریف ارائه شده در رابطه (4-5) که به صورت ضرب داخلی بیان شده است، می توان این گونه برداشت کرد که تبدیل موجک در حقیقت اندازه گیری شباهت بین سیگنال و توابع پایه (موجک ها) است. منظور از شباهت در این بحث، شباهت سنجی بین محتوای فرکانسی است. به بیان دیگر، ضرایب تبدیل موجک بیانگر میزان نزدیکی سیگنال به موجک در مقیاس موردنظر است. بدین ترتیب، اگر سیگنال موردنظر یک مؤلفه برجسته در فرکانس متناظر با مقیاس مورد تحلیل داشته باشد، در این صورت موجک مقیاس شده، شبیه سیگنال مورد نظر خواهد بود. بنابراین ضریبی از تبدیل موجک پیوسته که در این مقیاس محاسبه می شود مقداری نسبتاً بزرگ خواهد داشت.

همانگونه که پیش از این بیان شد، در هر فضا بیش از یک مجموعه از توابع پایه وجود دارد که از بین آنها، توابع پایه متعامد از اهمیت ویژه ای برخوردارند چرا که خواص بسیار خوب و تسهیل کننده ای به ویژه در یافتن ضرایب تبدیل خواهند داشت. بدینسان، با استفاده از خاصیت تعامد توابع پایه، ضرایب تبدیل در رابطه (4-3) به صورت زیر محاسبه می شوند :

$$\alpha_k = \langle f(t), \phi_k(t) \rangle = \int f(t) \phi_k^*(t) dt \quad (7-4)$$

با داشتن این ضرایب، می توان تابع را به صورت زیر بازسازی نمود :

$$f(t) = \sum_{k=1}^N \alpha_k \phi_k(t) = \sum_{k=1}^N \langle f(t), \phi_k(t) \rangle \phi_k(t) \quad (8-4)$$

در کنار این خواص تسهیل کننده، ممکن است بسته به کاربرد، توابع پایه متعامد در دسترس نباشد. در این مواقع می توان از پایه های دو متعامد^۱ استفاده نمود. واژه دو متعامد به دو پایه مختلف که عمود بر یکدیگر هستند اما هر کدام به تنهایی یک پایه متعامد تشکیل نمی دهند برمی گردد. در حالت کلی اگر پایه های دو متعامد نیز موجود نباشد، می توان از حالت کلی تری تحت عنوان فریم استفاده کرد.

پیش از پایان این بخش، به معرفی دو موجک مادر مشهور که دارای روابط ریاضی صریح می باشند، می پردازیم:

۱- موجک کلاه مکزیک^۲ که مشتق دوم تابع گوسی است :

$$\psi(t) = \frac{d^2}{dt^2} \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} \right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^3} \left(e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} \left(\frac{t^2}{\sigma^2} - 1 \right) \right) \quad (9-4)$$

۲- موجک مورلت^۳ که شامل یک جمله گوسی و یک جمله مدولاسیون است :

$$\psi(t) = e^{\frac{jt}{a}} \cdot e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} \quad (10-4)$$

۴-۳-۴- عکس تبدیل موجک

در این بخش، به طور خلاصه، رابطه معکوس تبدیل موجک و شرط لازم معکوس پذیر بودن این تبدیل را از دیدگاه روابط ریاضی بررسی می کنیم. گویا تبدیل موجک معرفی شده در رابطه (۴-۱) معکوس پذیر است هرگاه:

$$\int \psi(t) dt = 0 \quad (11-4)$$

¹ Biorthogonal

² Mexican Hat

³ Morlet

برای برقرار بودن این شرط باید موجک مادر، تابعی نوسانی باشد. ارضا شدن این شرط در بسیاری توابع به سهولت امکان پذیر است، مستقل از این که توابع پایه متعامد باشند یا خیر. در این صورت، عکس تبدیل موجک از رابطه زیر محاسبه می گردد :

$$x(t) = \frac{1}{c_{\psi}^2} \int_s \int_{\tau} \Psi_x^{\psi}(\tau, s) \frac{1}{s^2} \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) d\tau ds \quad (12-4)$$

که در آن، c_{ψ} یک مقدار ثابت است و به موجک مورد استفاده بستگی دارد. برگشت پذیر بودن تبدیل و توانایی بازسازی کامل به این ثابت بستگی دارد. عموماً این ثابت را ثابت پذیرش^۱ می نامند. بر این اساس، شرط پذیرش^۲ به صورت زیر بیان می شود :

$$c_{\psi} = \left(2\pi \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|\hat{\psi}(\xi)|^2}{|\xi|} d\xi \right)^{\frac{1}{2}} < \infty \quad (13-4)$$

که در این رابطه، $\hat{\psi}$ تبدیل فوری تابع موجک مادر است.

۴-۳-۵- گسسته سازی تبدیل موجک پیوسته

با توجه به نقش کامپیوترها در انجام محاسبات امروزی، بایستی در کنار مطرح کردن ایده های پردازشی، به نوعی آنها را درخور محاسبه توسط کامپیوتر نیز درآورد. تبدیلاتی که تا اینجا بیان شد، از فوریه گرفته تا تبدیل موجک، همگی پیوسته هستند و امکان کاربرد عملی در کامپیوتر را ندارند. لذا ضروری است که از نسخه گسسته شده آن ها استفاده کنیم. به مانند تبدیلات فوریه گسسته شده، در گسسته کردن تبدیل موجک نیز ساده ترین روش، نمونه برداری از صفحه زمان- فرکانس در نقاط مختلف آن است. به طور مشابه، نمونه برداری یکنواخت، ساده

ترین روش انجام این کار خواهد بود. البته در مورد تبدیل موجک، با تغییر مقیاس می توان نرخ نمونه برداری را کاهش داد. بدین ترتیب در مقیاس های بالاتر (فرکانس های پائین تر) می توان نرخ نمونه برداری را با توجه به نرخ نایکوئیست کاهش داد. بنابراین با فرض این که نرخ نمونه برداری در مقیاس s_1 برابر با N_1 باشد، نمونه برداری در مقیاس $s_2 > s_1$ با نرخ $N_2 < N_1$ صورت خواهد پذیرفت. رابطه دقیق بین این دو نرخ را می توان چنین بیان نمود :

$$N_2 = \frac{s_1}{s_2} N_1 = \frac{f_2}{f_1} N_1 \quad (۱۴-۴)$$

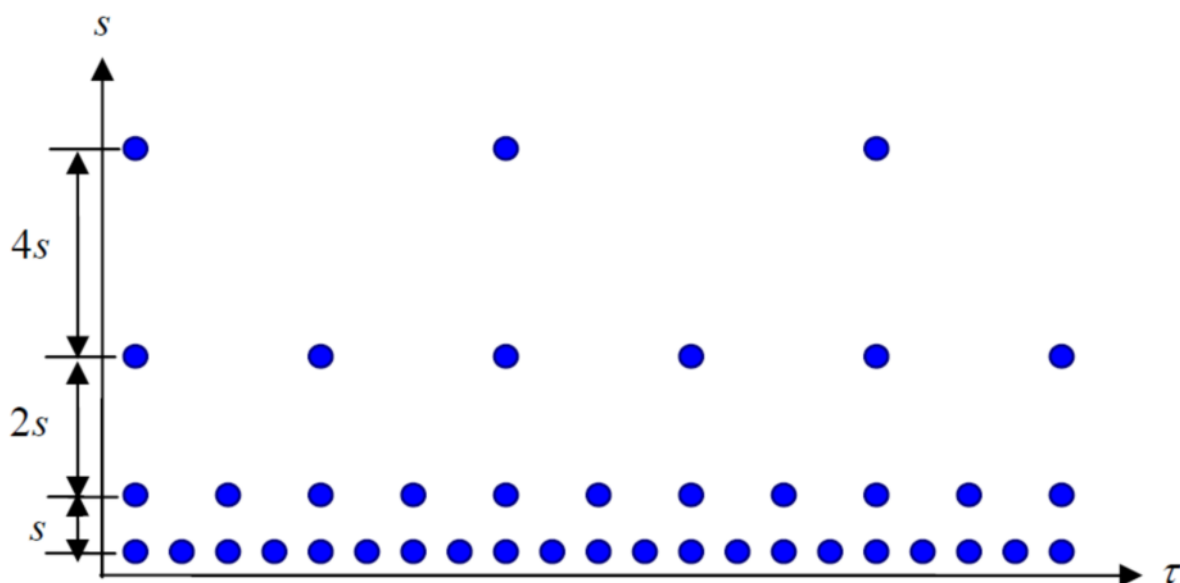
بنابراین می توان در فرکانس های پائین، نرخ نمونه برداری را کاهش داد تا بتوان در زمان محاسبات به میزان قابل توجهی صرفه جویی نمود. همچنین اگر بازسازی سیگنال از روی تبدیل آن مد نظر نباشد، می توان الزاماً نرخ نایکوئیست را رعایت نکرد. همان گونه که پیش از این نیز بیان شد، تابع موجک مادر که در شرط پذیرش (۱۳-۴) صدق کند، قادر به بازسازی سیگنال با استفاده از رابطه (۱۲-۴) خواهد بود. البته این خاصیت فقط در تبدیل موجک پیوسته صادق است. اکنون این سؤال پیش می آید که آیا نسخه گسسته شده نیز قادر به بازسازی سیگنال می باشد یا خیر. پاسخ این سؤال مثبت است، به عبارت بهتر، نسخه گسسته شده تبدیل موجک نیز تحت شرایطی قادر به بازسازی سیگنال خواهد بود.

به منظور گسسته کردن تبدیل موجک، ابتدا پارامتر مقیاس S بر حسب یک درجه بندی لگاریتمی، گسسته می شود. پس از آن، متغیر زمان با توجه به پارامتر مقیاس گسسته می شود به نحوی که برای هر مقیاس، یک نرخ نمونه برداری جدا گانه استفاده شود. اصطلاحاً گفته می شود که نمونه برداری بر روی یک درجه بندی دودویی^۳ انجام پذیرفته است. شکل (۳-۴) نحوه گسسته کردن تبدیل موجک پیوسته را با استفاده از روش بالا نشان می دهد.

¹ Admissibility Constant

² Admissibility Condition

³ Dyadic



شکل (۴-۳) - محل موجک ها به هنگام گسسته کردن بر روی درجه بندی دودویی [10]

گسسته سازی موجک مادر رابطه (۴-۶) چنین است :

$$\psi_{j,k}(t) = s_0^{-j/2} \psi(s_0^{-j} t - k\tau_0) \quad (15-4)$$

با استفاده از نمایش بالا، نسخه گسسته شده تبدیل موجک به صورت زیر بیان می گردد :

$$\Psi_x^{\psi_{j,k}} = \int x(t) \psi_{j,k}^*(t) dt \quad (16-4)$$

به طور مشابه، برای بازسازی سیگنال از روی نسخه گسسته شده می توان نوشت :

$$x(t) = c_{\psi} \sum_j \sum_k \Psi_x^{\psi_{j,k}} \psi_{j,k}(t) \quad (17-4)$$

۴-۳-۶- تبدیل موجک گسسته

اگرچه نسخه گسسته شده تبدیل موجک که در بخش قبل با آن آشنا شدیم، قابلیت محاسبه توسط سیستم های کامپیوتری را دارد اما در حقیقت یک تبدیل گسسته نیست. در حقیقت نسخه گسسته شده تبدیل موجک، یک سری موجک است که از تبدیل موجک پیوسته نمونه گرفته است. لذا اطلاعات موجود در آن بسیار زائد و اضافی^۱ است که منجر به افزایش بی دلیل بار محاسباتی می شود. لذا از تبدیل موجک گسسته استفاده می شود که از لحاظ پیاده سازی بسیار ساده تر و بهینه تر است.

اصول تبدیل موجک گسسته به روشی تحت عنوان کدینگ زیرباند^۲ برمی گردد که در سال ۱۹۷۶ سنگ بنای اولیه آن گذارده شد. ایده اصلی این روش نیز مشابه تبدیل موجک پیوسته است که در آن نوعی توصیف زمان-مقیاس از سیگنال گسسته با استفاده از فیلترهای دیجیتال ارائه می گردد.

به خاطر داریم که تبدیل موجک، حاصل شباهت سنجی (کورولیشن) بین محتوای فرکانسی (مقیاسی) سیگنال و تابع موجک در مقیاس های مختلف است. برای محاسبه تبدیل موجک پیوسته نیز پنجره موردنظر منقبض، منبسط شده و شیفیت می یابد و در هر موقعیت، از حاصلضرب آن در سیگنال، انتگرال زمانی گرفته می شود.

در حالت گسسته، فیلترهایی با فرکانس قطع های مختلف برای تحلیل سیگنال در مقیاس های متفاوت به کار برده می شود. با عبور سیگنال از فیلترهای بالا گذر و پائین گذر، فرکانس های مختلف آن تحلیل می شود.

در حالت گسسته، رزولوشن سیگنال توسط عملکرد های فیلتر ها (بالا گذر و پائین گذر) کنترل می شود و مقیاس از طریق Down sampling یا Up sampling تغییر می کند. به طور معمول، این روند تغییر نرخ نمونه ها بر روی یک شبکه Dyadic با $s_0 = 2$ و $\tau_0 = 1$ انجام می پذیرد. بنابراین مقیاس ها و شیفیت های زمانی متناظر به ترتیب عبارتند از $s = 2^j$ و $\tau = k2^j$.

روند پردازش با تبدیل موجک گسسته چنین آغاز می شود؛ در ابتدا سیگنال از یک فیلتر دیجیتال پائین گذر

¹ Redundant

² Subband Coding

نیم باند $h[n]$ عبور می کند، و لذا خروجی فیلتر برابر است با کانولوشن ورودی و پاسخ ضربه فیلتر. در نتیجه این عمل فیلترینگ، تمام مؤلفه های فرکانسی که بیشتر از نصف بزرگترین فرکانس موجود در سیگنال باشند حذف می شوند. از آنجا که بیشترین فرکانس موجود در سیگنال خروجی فیلتر برابر است با $\pi/2$ رادیان، نیمی از نمونه ها قابل حذف اند. لذا با حذف یکی در میان نمونه ها، طول سیگنال نصف خواهد شد بدون اینکه اطلاعاتی را از دست داده باشیم. روند مشابهی نیز با استفاده از یک فیلتر دیجیتال بالاگذر نیم باند با پاسخ ضربه $g[n]$ انجام می پذیرد. در نتیجه در خروجی اولین مرحله از اعمال تبدیل موجک، دو نسخه، یکی بالاگذر و دیگری پائین گذر، با طول کاهش یافته (نصف شده) از سیگنال اولیه به فرم زیر بدست می آیند :

$$y_{high}[k] = \sum_n x[n].g[2k - n] \quad (18-4)$$

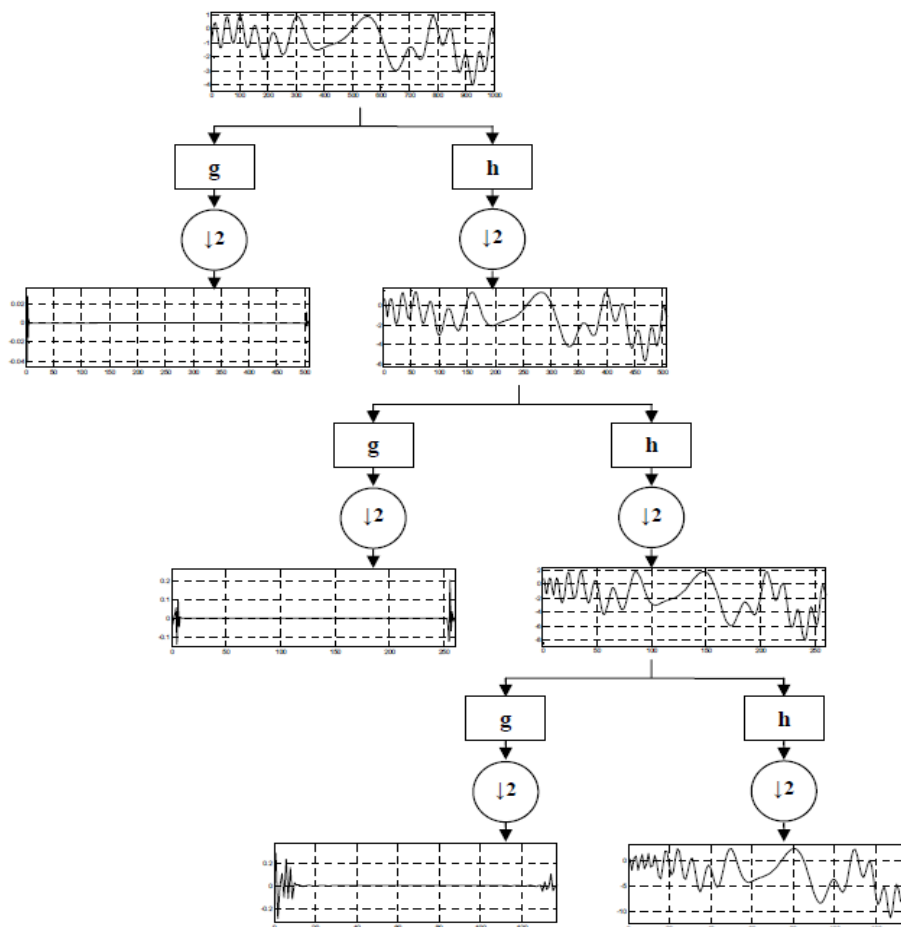
$$y_{low}[k] = \sum_n x[n].h[2k - n]$$

با این عمل، رزولوشن زمانی نصف شده و در مقابل رزولوشن فرکانسی دو برابر می شود. این روند را می توان مجدداً بر روی نسخه پائین گذر شده اعمال نمود و در هر مرحله، با کاهش رزولوشن زمانی به میزان نصف مرحله قبل، رزولوشن فرکانسی را دو برابر نمود. این ایده برای محاسبه تبدیل موجک گسسته، به روش بانک فیلتر مشهور است که در شکل (۴-۴) برای یک سیگنال دلخواه و برای ۳ مرحله نشان داده شده است. می توان دید که ضرایب خروجی فیلتر پائین گذر، شکل اولیه سیگنال را دنبال می کنند، به همین دلیل به این ضرایب تقریب^۱ گفته می شود. همچنین ضرایب خروجی فیلتر بالا گذر، جزئیات فرکانس بالای سیگنال را دربر دارند، به همین دلیل به این ضرایب، جزئیات^۲ گفته می شود. با افزایش تعداد مراحل تبدیل، میزان جزئیات نیز کاهش می یابد. باید دقت داشت که تعداد مراحل مورد نیاز برای تبدیل موجک گسسته، به خصوصیات فرکانسی سیگنال مورد تحلیل بستگی دارد.

¹ Approximation

² Details

نهایتاً تبدیل موجک گسسته سیگنال از کنار یکدیگر قرار دادن خروجی های فیلترها، از مرحله‌ی اول اعمال فیلترینگ بدست می آید. بدینسان، تعداد ضرایب تبدیل موجک با تعداد نمونه های سیگنال گسسته ورودی برابر خواهد بود.



شکل (۴-۴) - نمایش نحوه محاسبه تبدیل موجک گسسته ۳ مرحله‌ای

با استفاده از ایده‌ی بانک فیلتر برای یک سیگنال دلخواه [10]

خلاصه

از مطالب ارائه شده در این فصل این طور بر می آید که، تبدیل موجک بسیار توانمند در تولید مشخصه‌ی منحصر به فرد برای هر سیگنال دلخواه است. این تبدیل با استفاده از فیلترهای بالا گذر و پایین گذر، هر

سیگنال را به دو بخش تجزیه می کند و این امر را می تواند تکرار کند تا سطوح مختلفی از جزئیات را ایجاد کند. با بالا رفتن سطح جزئیات، مشخصه‌ی حاصل کاملاً منحصر به خود سیگنال می شود و از سایر سیگنال ها متمایز می شود. به عبارت دیگر می توان با استفاده از این تبدیل شناسنامه‌ای برای هر پدیده موجود در شبکه به دست آورد.

فصل پنجم

الگوریتم پیشنهادی و شبیه سازی جهت آشکار سازی خطای تکفاز به زمین در سیستم قدرت تجهیزات دریایی

روش های ساده و متعددی برای تشخیص خطای تکفاز به زمین بیان شده است از جمله استفاده از سیستم اهم متری و همچنین روش روشنایی سه لامپی که هر دو این روش ها دارای دقت بسیار پایینی بوده و در خطاهای با فرکانس بالا کاربرد ندارند. همچنین، برای شناسایی خطای تکفاز به زمین الگوریتم های فراوانی نیز ارائه شده است. تمام این الگوریتم ها از دو مرحله تشکیل یافته اند : (۱) بدست آوردن مشخصه ویژه^۱ رخداد و (۲) شناسایی الگوها^۲.

در مقالات پیشین برای اجرای مرحله نخست از الگوریتم هایی همچون بردار های هارمونیکی غالب [2] ، تکنیک های جزئی^۳ [3] و تبدیل موجک در الگوی نویز های فرکانس بالا [4]، استفاده شده است. از سوی دیگر برای شناسایی الگوها نیز تکنیک هایی همچون سیستم های خبره [5]، فیلتر کالمن [6] و منطق فازی^۴ پیشنهاد گردیده است.

اگرچه مطالعات انجام شده تا حدی موفق بوده اند ، ولی تا کنون روش جامعی برای تشخیص این نوع خطا ارائه نشده است. در اکثر روش های ذکر شده ، خطای تکفاز به زمین را به صورت خطای با امپدانس بالا [22-29] در نظر گرفته اند که این از معایب این روش ها بوده و نتایج دقیقی بدست نخواهد داد. همچنین باید بین مشخصه ی خطای تکفاز به زمین با سایر اغتشاشات تمایزی قائل شد.

¹ Feature Extraction

⁴ Fuzzy Logic

² Pattern Recognition

³ Fractal Techniques

۵-۲- الگوریتم تشخیص خطای تکفاز به زمین در سیستم قدرت تجهیزات دریایی

همانطور که اشاره شد، برای تشخیص خطای تکفاز به زمین در سیستم های زمین نشده (تجهیزات دریایی)، نیاز به روشی داریم که بتواند با دقت و قابلیت اعتماد بالا این خطا را تشخیص دهد. همچنین این روش نبایستی هنگام وقوع سایر پدیده های مشابه، عکس العملی نشان دهد.

روشی که در این پایان نامه به بررسی آن می پردازیم، براساس استفاده از تبدیل موجک (به عنوان ابزار تقسیم بندی خطا) و یکی از ابزار های هوشمند (به عنوان ابزار تشخیص خطا که بر مبنای مقایسه عمل می کند)، می باشد.

در ابتدای کار نیاز به یک مدل نمونه برای اجرای روش خواهیم داشت. مدل مورد نیاز سیستم قدرت با سایر مدل ها تفاوت هایی دارد. این مغایرت از آنجا ناشی می شود که برای در نظر گرفتن جریان های ناشی ناشی از برخورد فاز به بدنه نیاز به مدل گسترده ای هر المان قدرت می باشد. بنابراین مدل سیستم براساس مدل های گسترده ای عناصر سیستم شکل می گیرد.

پس از بدست آوردن مدل گسترده ای مناسب، انواع پدیده های رایج شبکه به این مدل اعمال می شود. سیگنال های ولتاژ و جریان خروجی حاصل، به عنوان داده های ورودی تبدیل موجک محسوب می شوند. در خروجی تبدیل موجک پنج سطح از جزئیات این سیگنال ها را خواهیم داشت. علت اینکه تا سطح پنجم جزئیات سیگنال پیش رفته ایم این است که، جزئیات بسیاری از پدیده ها تا سطح دوم و سوم بسیار مشابه است و نمی توان تمایزی بین آنها یافت. ولی در سطوح چهارم و پنجم مشخصه ای آنها کاملاً از هم متفاوت هستند و براساس این سطوح می توان با قابلیت اعتماد بالا، مشخصه ای منحصر به فرد برای هر پدیده در نظر گرفت و در هنگام رخداد مشخصه ای مشابه، پی به رخداد آن پدیده برد.

بنابراین در خروجی تبدیل موجک لیستی از انواع مشخصه های مختلف که هر کدام مربوط به یک پدیده ای خاص می باشد، بدست خواهد آمد. این لیست مشخصه ها به عنوان ورودی مرجع ابزار هوشمند خواهد بود. این ابزار تنها عمل مقایسه را بر عهده دارد. در صورت رخداد پدیده ای در شبکه، تبدیل موجک مشخصه ای آن پدیده را به

ورودی برنامه هوشمند اعمال می کند. ابزار هوشمند این مشخصه را با لیست خود مطابقت می دهد در صورت مشابه بودن با هر یک از آنها، در خروجی خود پیغام رخداد آن پدیده را می دهد.

بنابراین روش پیشنهادی را می توان در مراحل زیر سازمان دهی کرد:

(I) مدلسازی سیستم قدرت کشتی

(II) اعمال خطای تکفاز به زمین و سایر عملیات معمول در شبکه بر روی سیستم، جهت بدست آوردن مشخصه ولتاژ سه فاز شبکه؛

(III) استفاده از تبدیل موجک گسسته جهت بدست آوردن مشخصات ویژه سیگنال های ولتاژ سه فاز حاصله؛

(IV) تشکیل معیارهای تصمیم گیری برای ابزار های هوشمند؛

(V) استفاده از روش هوشمند و جدول درستی جهت آشکارسازی خطای تکفاز به زمین.

فلوچارت روش پیشنهادی در شکل (۵-۱) قابل مشاهده است. در ادامه به بررسی جزئیات مراحل مختلف الگوریتم پرداخته شده است.

۵-۲-۱- مدل گسترده سیستم قدرت تجهیزات دریایی

همانطور که قبلاً ذکر شد، سیستم قدرت تجهیزات دریایی بدلیل متحرک بودنشان، نمی توانند از سیستم زمین استفاده کنند. البته در بخش فشار قوی بدنه ی کشتی را به عنوان زمین استفاده می کنند ولی بدلیل محدودیت هایی که قبلاً بررسی شد، بخش فشار ضعیف زمین نمی شود. بنابراین چنانچه از مدل معمولی سیستم قدرت برای سیستم زمین نشده کشتی ها استفاده کنیم، در برخورد فاز به بدنه در بخش فشار ضعیف، هیچ سیگنال خطایی به وجود نخواهد آمد. در برخی از مقالات برای رفع این مشکل، مدل سیستم قدرت را تغییر نداده اند بلکه خطای تکفاز به زمین را به صورت خطای با امپدانس بالا در نظر گرفته اند. در این صورت می توان از سیستم قدرت معمولی زمین شده استفاده کرد و در صورت رخداد خطا، سیگنال خطا خواهیم داشت و می توان براساس آن به یافتن راهی برای آشکارسازی خطا اندیشید. این روش مشکل عدم وجود سیگنال را برطرف ساخته است

شروع

۵۱

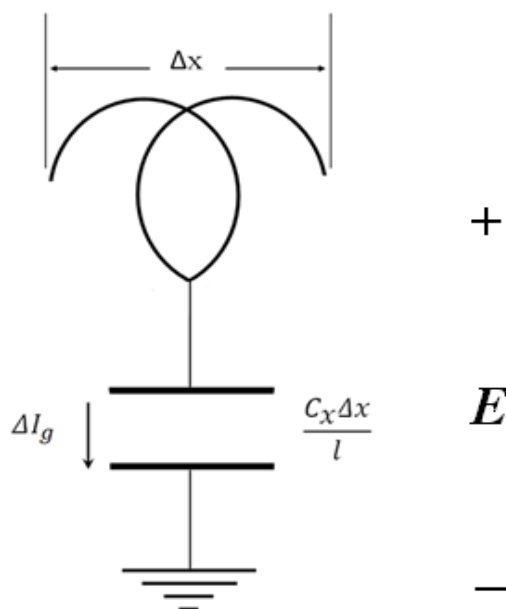
مدلسازی سیستم قدرت

شکل (۵-۱) - فلوچارت روش پیشنهادی

اما دقت نتایج را بسیار پایین می آورد. چراکه در یک سیستم قدرت زمین نشده‌ی واقعی، مشخصه‌ی خطای تکفاز به زمین تفاوت‌های اساسی با مشخصه‌ی خطای با امپدانس بالا در سیستم قدرت زمین شده، دارد. در این پایان‌نامه از مدل گسترده‌ی سیستم قدرت استفاده کرده‌ایم. با این کار خطای تکفاز به زمین به صورت ودقیق‌تر و واقعی‌تر مدل می‌شود. روابط حاکم بر مدل‌های گسترده‌ی المان‌های سیستم قدرت (ترانسفورماتور، ژنراتور، خط انتقال و...) به شرح زیر است. جزئیات بیشتر این مدل‌ها در [11] آمده است.

۵-۲-۱-۱- مدل گسترده ترانسفورماتور

ترانسفورماتور یکی از المان‌های مؤثر در بررسی پدیده‌های سریع و با فرکانس بالا می‌باشد. بنابراین دقت مدل گسترده‌ی آن بسیار حائز اهمیت است. برای ترانسفورماتور با دو سیم پیچی، دو خازن در نظر می‌گیرند. یک خازن بین سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه و دیگری بین سیم پیچ‌ها و زمین می‌باشد. در شکل (۵-۲) جزئی دیفرانسیلی از سیم پیچ‌های خازن آورده شده است. Δx جزء دیفرانسیلی طولی سیم پیچ می‌باشد. C_x و ΔI_g به ترتیب ظرفیت خازنی و جریان دیفرانسیلی بین سیم پیچ و زمین می‌باشند.



شکل (۵-۲) - مدل گسترده‌ی جزء دیفرانسیلی ترانسفورماتور

$$\frac{\text{ground capacitance}}{\text{unit length}} = \frac{C_Z}{l} \quad (1-5)$$

$$\frac{\text{series capacitance}}{\text{unit length}} = C_S l \quad (2-5)$$

E = مقدار ولتاژ نسبت به زمین در هر نقطه از سیم پیچی

I_g = جریان عبوری از خازن زمین

I_S = جریان عبوری از خازن سری

l = طول سیم پیچی

C_Z = ظرفیت خازنی بین سیم پیچی و زمین

C_S = ظرفیت خازن سری سیم پیچی

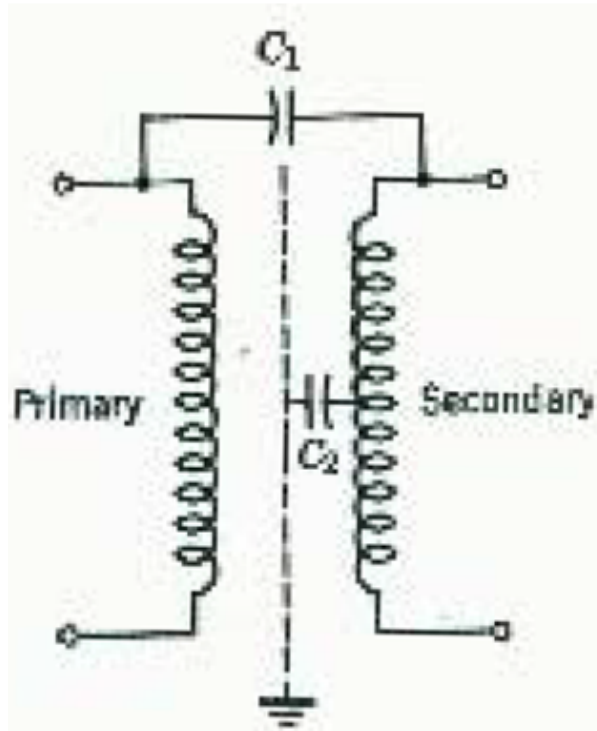
$$\Delta I_g = \frac{C_x \Delta x \omega E}{l} \quad (3-5)$$

$$\Delta I_g = \frac{dI_S}{dx} \Delta x \quad (4-5)$$

$$\frac{dI_S}{dx} = \frac{C_x \omega E}{l} \quad (5-5)$$

جائیکه ω فرکانس ولتاژ است.

با حل معادله‌ی دیفرانسیلی (۵-۵) و اعمال شرایط اولیه در نهایت به مدل گسترده ترانسفورماتور خواهیم رسید. این مدل در شکل (۳-۵) نشان داده شده است.



شکل (۳-۵) - مدل گسترده‌ی ترانسفورماتور

۵-۲-۱-۲-۵- مدل گسترده ژنراتور

برای ژنراتور سنکرون مدل‌های فراوانی با دقت‌های متفاوت ارائه شده است. در این پروژه مدلی از ژنراتور مورد نیاز است که فاکتورهای فرکانس بالا را بیشتر در نظر داشته باشد. در این مدل خازن‌های بین سیم پیچی‌ها و همچنین خازن‌های بین سیم پیچی‌های درون شیار با بدنه، به صورت ترکیبی و یکجا لحاظ شده است. روابط حاکم بر این مدل گسترده از آنجا ناشی می‌شود که ابتدا امپدانس پدیده گذرا Z_0 را بدست آورده و سپس با

ترکیب این امپدانس با مدل ژنراتور سنکرون، به یک مدل گسترده‌ی نهایی دست خواهند یافت. امپدانس وقوع پدیده‌ی گذرا به صورت زیر است.

$$Z_0 = \left(\frac{k_S L_d^n}{C_d N_p} \right) \quad (۴-۵)$$

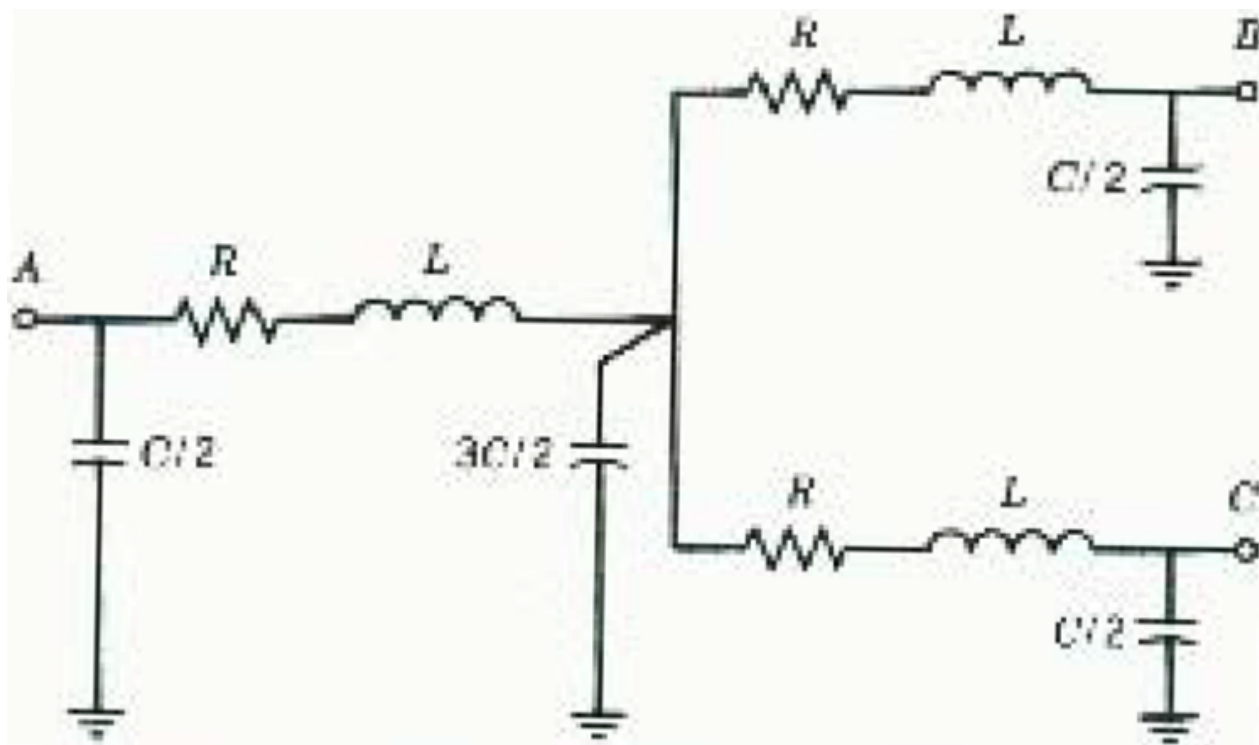
L_d^n = اندوکتانس هر فاز در حالت گذرا

C_d = ظرفیت خازنی هر فاز

N_p = تعداد قطب‌ها

K_S = ضریب هندسی

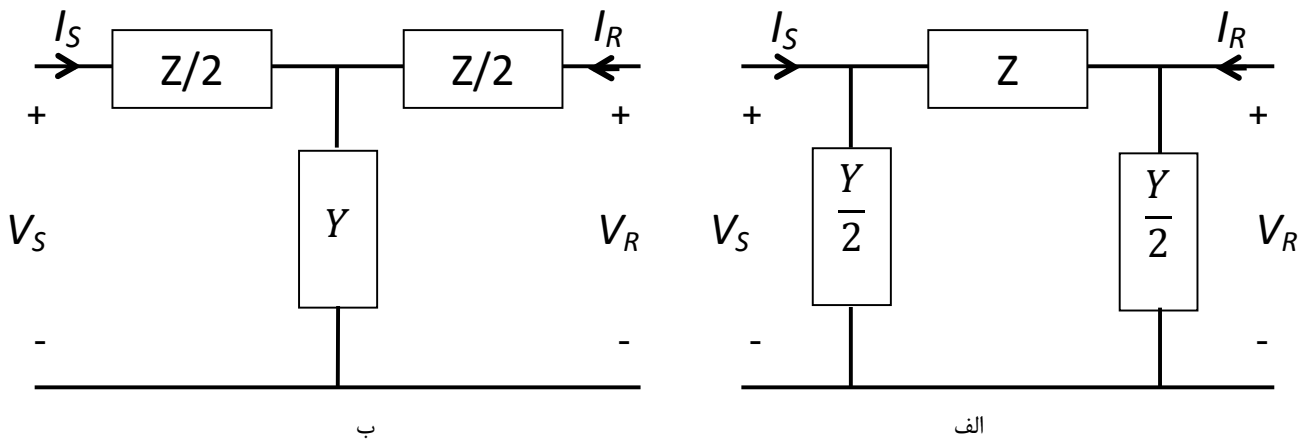
مدل نهایی ژنراتور سنکرون در شکل (۴-۵) نشان داده شده است.



۵-۲-۱-۳- مدل گسترده خط انتقال

خطوط انتقال در سیستم قدرت تجهیزات دریایی از نوع خطوط کوتاه محسوب می‌شوند. برای بدست آوردن مدل گسترده‌ی آنها، کافیهست همان مدل خط کوتاه را با اضافه کردن خازن و مقاوت هایی بین خطوط به مدل گسترده تبدیل کرد.

مدل π و T خط انتقال در شکل (۵-۵) نشان داده شده است. روابط (۷-۵) و (۸-۵) معادلات حاکم بر این خطوط را بیان می‌کنند. در مدلسازی گسترده، از تأمیهم همین مدل‌ها به حالت گسترده بهره خواهیم برد.



شکل (۵-۵) - مدل خط انتقال الف) مدل π ، ب) مدل T

$$V_S = V_R \cosh j\omega(LC)^{1/2} + Z I_R \sinh j\omega(LC)^{1/2} \quad (۷-۵)$$

$$I_S = I_R \cosh j\omega(LC)^{1/2} + \frac{V_R}{Z} \sinh j\omega(LC)^{1/2} \quad (۸-۵)$$

جائیکه ω فرکانس ولتاژ و L و C به ترتیب اندوکتانس و ظرفیت خازنی خط می‌باشند.

۵-۲-۲- تقسیم بندی انواع مشخصه ها با استفاده از تبدیل موجک

همانطور که قبلاً اشاره شد تبدیل موجک وظیفه تولید مشخصه‌ی منحصر به فرد برای هر سیگنال ورودی خود دارد. این تبدیل با استفاده از دو فیلتر (بالا گذر و پایین گذر)، سیگنال ورودی را به دو بخش تبدیل می‌کند. بخش اول داده‌های فرکانس پایین سیگنال هستند که اصطلاحاً به آنها تقریب می‌گویند و اطلاعات کلی سیگنال را در بر دارند. بخش دوم داده‌های فرکانس بالای سیگنال بوده و مرتبط با حالت‌های گذرا و سریع سیگنال هستند که به آنها جزئیات سیگنال گویند.

عمل فیلترینگ توسط کانولوشن سیگنال ورودی با موجک مادر انجام می‌شود. انواع مختلفی از موجک مادر موجود است که هر کدام برای سیگنال‌های خاصی مورد استفاده قرار می‌گیرند. جزئیاتی که در اولین مرحله فیلترینگ بدست آمده‌اند و یا به عبارتی در اولین سطح تبدیل هستند، دارای فرکانس پایین بوده و اگر چنانچه سیگنال مورد نظر دارای حالت‌های خیلی سریع باشد، نیاز است تا به سطح دوم تبدیل موجک پیش روی کنیم. این کار با عبور داده‌های تقریب سطح اول از همان دو فیلتر امکان پذیر است. بسته به سیگنال مورد نظر انتخاب سطح انجام می‌پذیرد.

در این پروژه به دلیل ویژگی خطای تکفاز به زمین که در فرکانس‌های بالا ظاهر می‌شود، از سطح چهارم و پنجم تبدیل موجک بهره برده‌ایم چراکه در سطوح پایین تر خروجی تبدیل موجک، جزئیات فرکانس پایین سیگنال ظاهر می‌شوند. سیگنال ولتاژ و جریان ناشی وقوع خطا $V(t)$ و $I(t)$ را به ورودی تبدیل موجک اعمال می‌کنیم. این کار در رابطه‌ی (۹-۵) و (۱۰-۵) انجام شده است.

$$CWT_V(\tau, s) = v(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{s}} \int_{-\infty}^{+\infty} V(t) * \left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt \quad (۹-۵)$$

$$CWT_I(\tau, s) = i(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{s}} \int_{-\infty}^{+\infty} I(t) * \left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt \quad (۱۰-۵)$$

که در آن S و τ به ترتیب پارامترهای انتقال و مقیاس می باشند.

با گسسته سازی تبدیل موجک روابط بالا به صورت نشان داده شده در رابطه های (۵-۱۱) و (۵-۱۲) خواهد شد. این رابطه ها هرکدام شامل دو بخش، یکی حاصل از خروجی فیلتر پایین گذر (تقریب) و دیگری حاصل از خروجی فیلتر بالا گذر (جزئیات) می باشد.

$$V_{\text{low}}[k] = \sum_n V[n].h[2k - n] \quad (۵-۱۱)$$

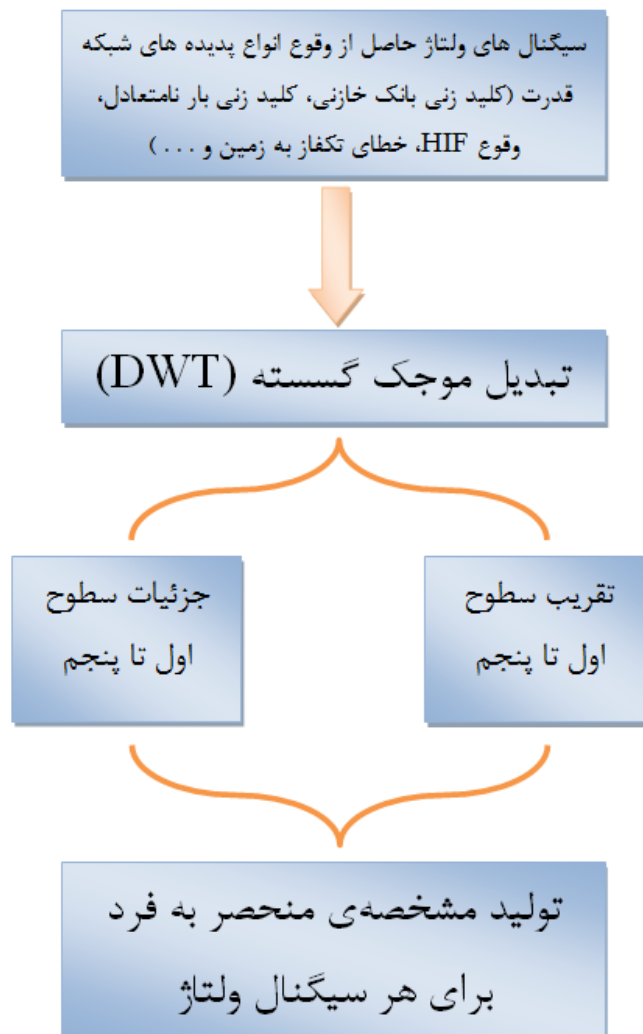
$$V_{\text{high}}[k] = \sum_n V[n].g[2k - n]$$

$$I_{\text{low}}[k] = \sum_n I[n].h[2k - n] \quad (۵-۱۲)$$

$$I_{\text{high}}[k] = \sum_n I[n].g[2k - n]$$

که در آن $h[n]$ فیلتر دیجیتال پایین گذر نیم باند و $g[n]$ فیلتر دیجیتال بالا گذر نیم باند می باشد. به این ترتیب از هر پدیده سطوحی از جزئیات و تقریب بدست می آید که می تواند برای آن پدیده مشخصه‌ای منحصر به فرد فراهم سازد. هرچه از سطوح جزئیات بالاتری استفاده کنیم، مشخصی تمامی سیگنال ها از یکدیگر کاملاً متمایز می گردد. در این پروژه با توجه به ویژگی های پدیده های رایج در شبکه، پیش روی تا سطوح چهارم و پنجم کفایت می کند.

بنابراین می توان برای هر پدیده شناسنامه‌ای ترتیب داد و آنها را لیست کرد. این لیست از انواع مشخصه ها به عنوان داده های ورودی مرجع ابزار های هوشمند به جهت مقایسه با سایر مشخصه ها محسوب می شوند. مراحل کلی تقسیم بندی خطا با استفاده از تبدیل موجک در شکل (۵-۶) آمده است.

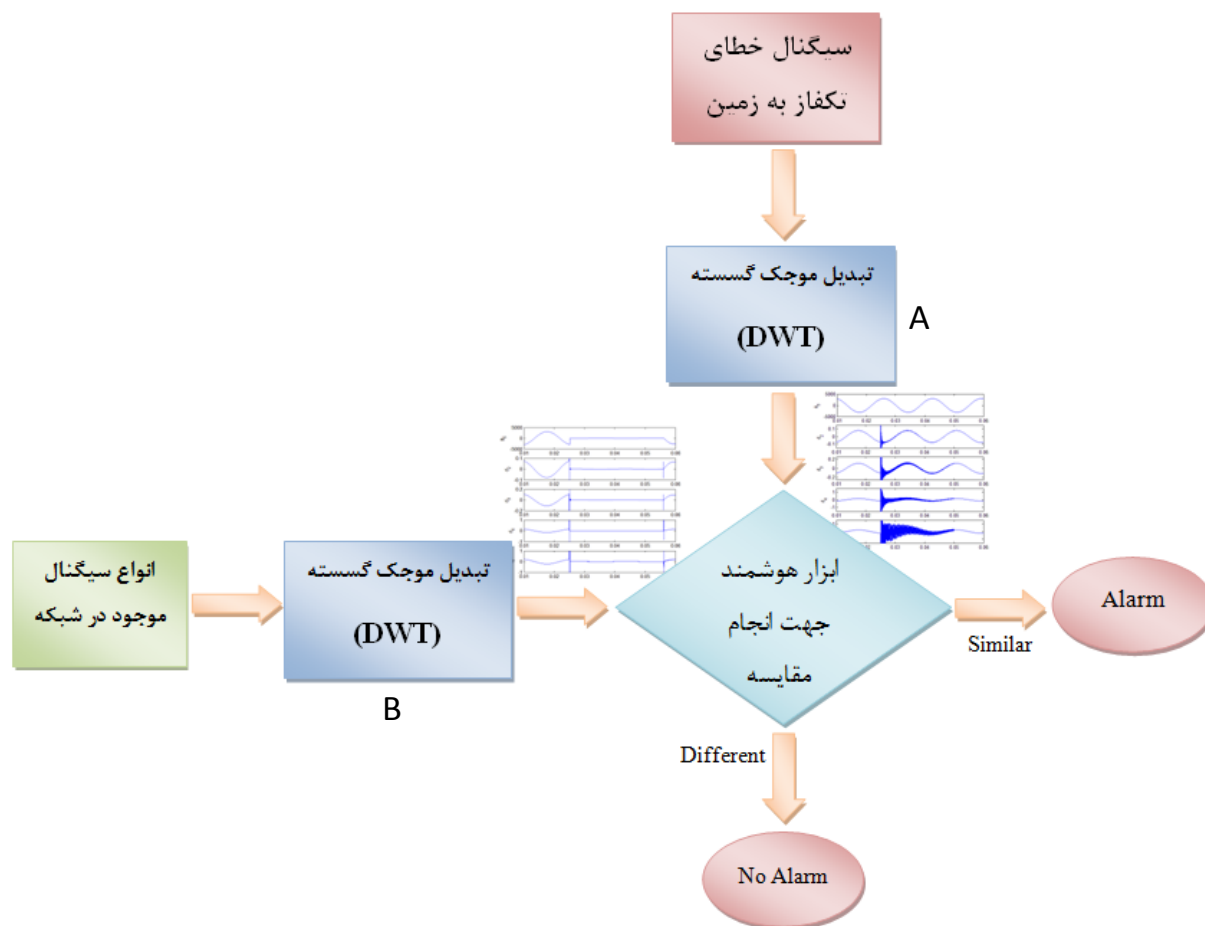


شکل (۵-۶) - مراحل تقسیم بندی خطا با استفاده از تبدیل موجک

۵-۲-۳- تشخیص خطا

در مرحله تشخیص خطا از ابزار های هوشمند متفاوتی از قبیل شبکه های عصبی، سیستم منطق فازی و ... می توان بهره برد که همه ی آنها وظیفه ی مقایسه ی سیگنال ورودی با لیست مرجع را دارند. ابزار هوشمندی که ما برای تشخیص خطای تکفاز به زمین استفاده کرده ایم، یک برنامه ی کامپیوتری می باشد که مشخصه ی خطای تکفاز به زمین را به عنوان ورودی مرجع می گیرد و با سایر مشخصه های خروجی تبدیل

موجک که بر اساس رخداد انواع پدیده ها بدست می آیند مقایسه می کند و در صورت تشابه، آلام مربوط به رخداد خطای تکفاز به زمین را فعال می کند. این برنامه از الگوریتمی همانند شکل (۷-۵) بهره می گیرد. در این الگوریتم ساختار بلوک های A و B در شکل (۶-۵) آورده شده است.



شکل (۷-۵) - الگوریتم ابزار هوشمند جهت تشخیص خطای تکفاز به زمین

این برنامه تنها زمان رخداد خطای تکفاز به زمین را مشخص می سازد. برای مشخص کردن اینکه خطا روی کدام فاز رخ داده است از جدول درستی استفاده خواهیم کرد که این موضوع در بخش بعد توضیح داده خواهد شد. در ادامه قصد بر این است که الگوریتم پیشنهادی بر روی سیستم قدرت نمونه اجرا شود و نتایج آن مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد.

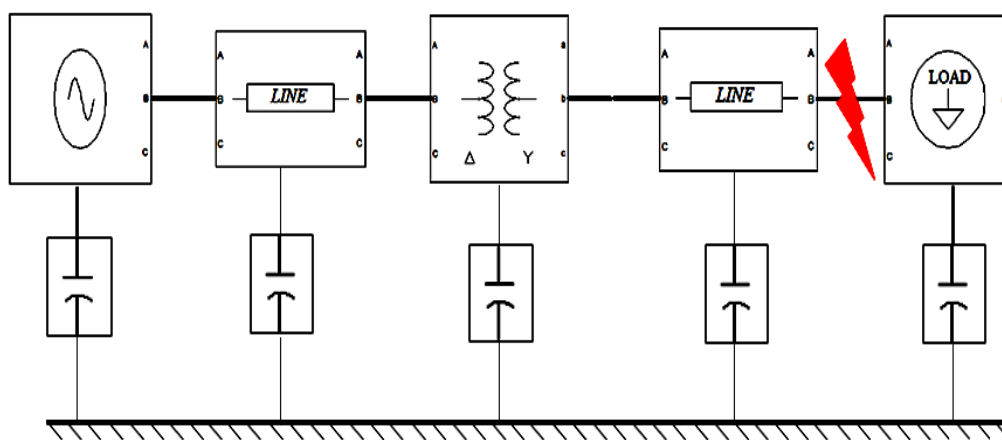
۵-۳- شبيه سازي

بر طبق مراحل ذکر شده در بخش ۵-۱ شبيه سازي سيستم انجام مي پذيرد. در تمامي مراحل ذکر شده از نرم افزار MATLAB جهت بدست آوردن نتايج استفاده شده است.

۵-۳-۱- مرحله نخست: مدلسازي سيستم قدرت نمونه

اکثر المان هاي مورد استفاده در شبيه سازي از قبيل ژنراتور، ترانسفورماتور و بار هاي ترکيبي (RLC) در نرم افزار MATLAB موجود مي باشد.

همان طور که قبلاً اشاره شد، براي حل مشکل عدم وجود سيگنال خطا نياز به استفاده از مدل گسترده امري ضروري است. با توجه به مطلبي که در بخش ۵-۱-۱ ارائه شد، مدل گسترده ي مورد نياز به صورت شکل (۵-۸) مي باشد.



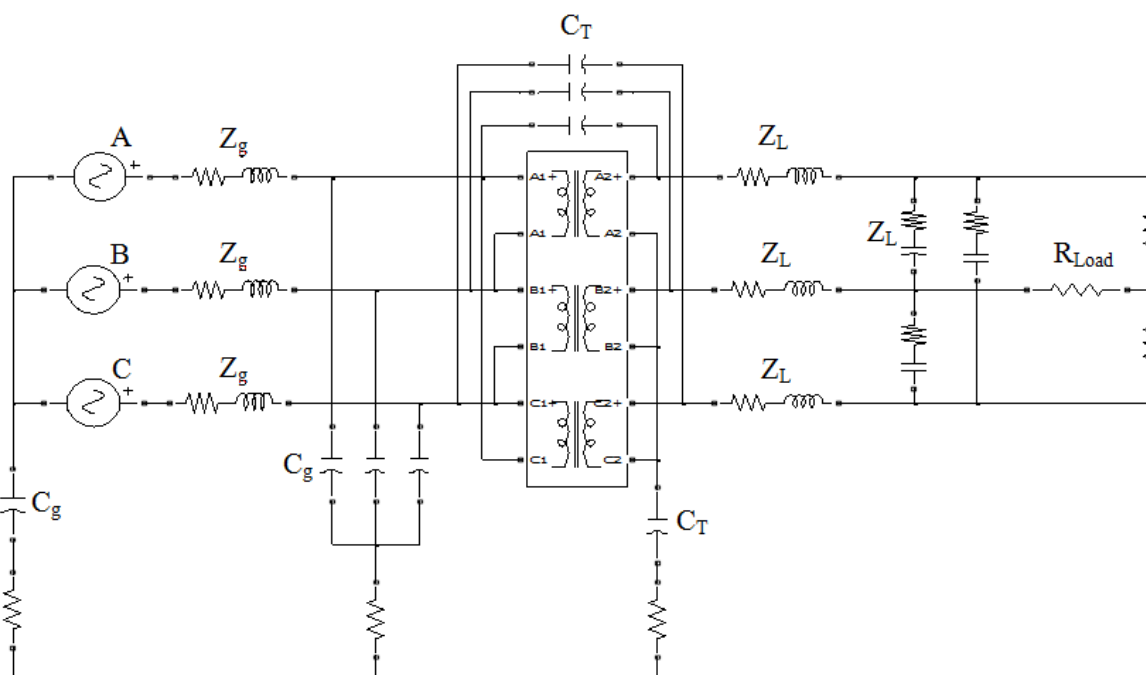
شکل (۵-۸) - مدل نمونه

به دليل عدم وجود سيستم زمين در کشتي نمي توان در شبيه سازي از مدل هاي موجود در نرم افزار استفاده نمود چراکه بايستي از مدل گسترده ي هريک از المان ها استفاده کرد که اين نرم افزار اين امکان را فراهم نمي

کند. لذا بایستی مدل هر یک از المان ها را با توجه به معادلاتشان به صورت بلوکی شبیه سازی نمود که کاری بسیار پیچیده و دشوار خواهد بود و یا اینکه با اضافه کردن شاخه هایی به همین المان های موجود ، مدل تقریبی گسترده را تهیه کرد که این روش اخیر ساده تر و مناسب تر می باشد.

برای تعیین مدل گسترده از مدل های [11] استفاده می کنیم. بدنه کشتی (زمین سیستم) را توسط یک خازن سری با مقاومت به المان ها مرتبط ساخته ایم. با بدست آوردن مقادیر لازم برای پارامتر های موجود در مدل گسترده ، مدل آماده شبیه سازی خواهد شد. این مدل در شکل (۵-۹) آمده است.

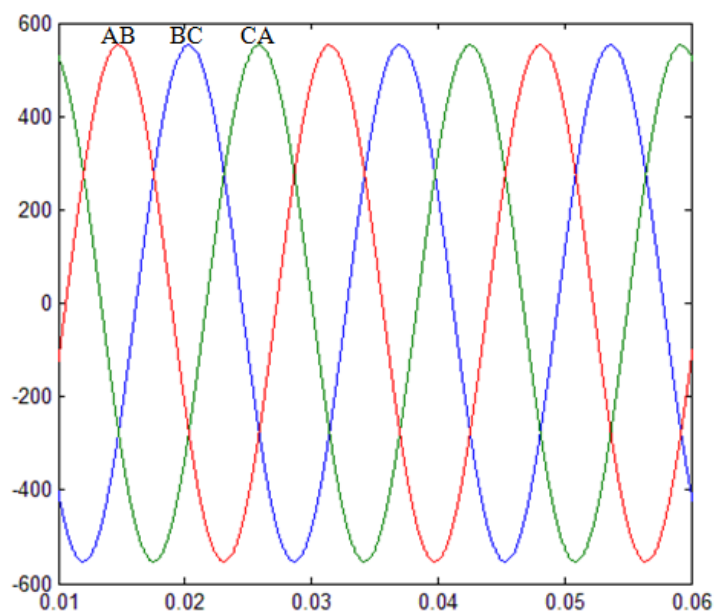
لازم به ذکر است که در این شبیه سازی خطا روی فاز C و در قسمت نشان داده شده در شکل (۵-۸) اعمال می شود.



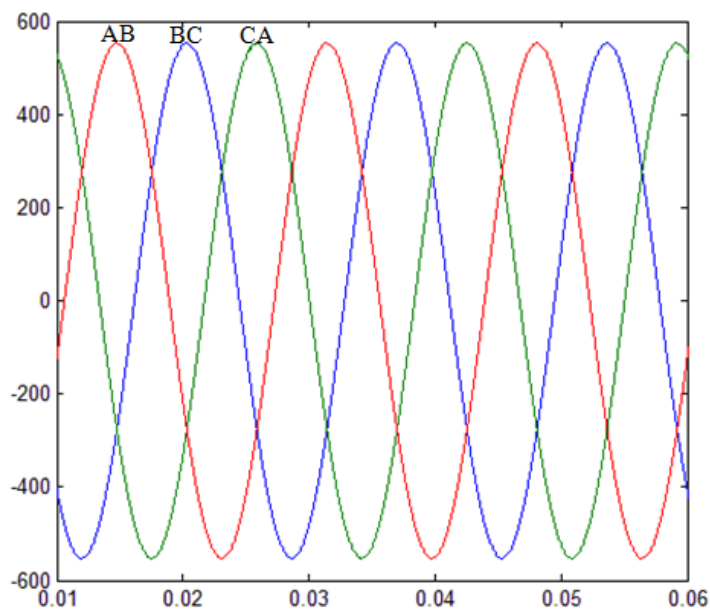
شکل (۵-۹)- دیاگرام مداری استفاده شده در شبیه سازی

در زمان 0.025 s تا 0.05 s روی فاز C و در نزدیکی بار ، خطای تکفاز به زمین اعمال گردیده و ولتاژ های خط قبل و بعد از وقوع خطا اندازه گیری می شود. شکل موج این ولتاژ ها در شکل های (۵-۱۰) و (۵-۱۱) نشان داده شده است.

مشاهده می کنید که ولتاژهای خط تغییری چندانی نکرده‌اند و تشخیص خط از روی این شکل‌ها عملاً غیر ممکن خواهد بود. در ادامه برای تشخیص خط از تبدیل موجک استفاده می‌کنیم.



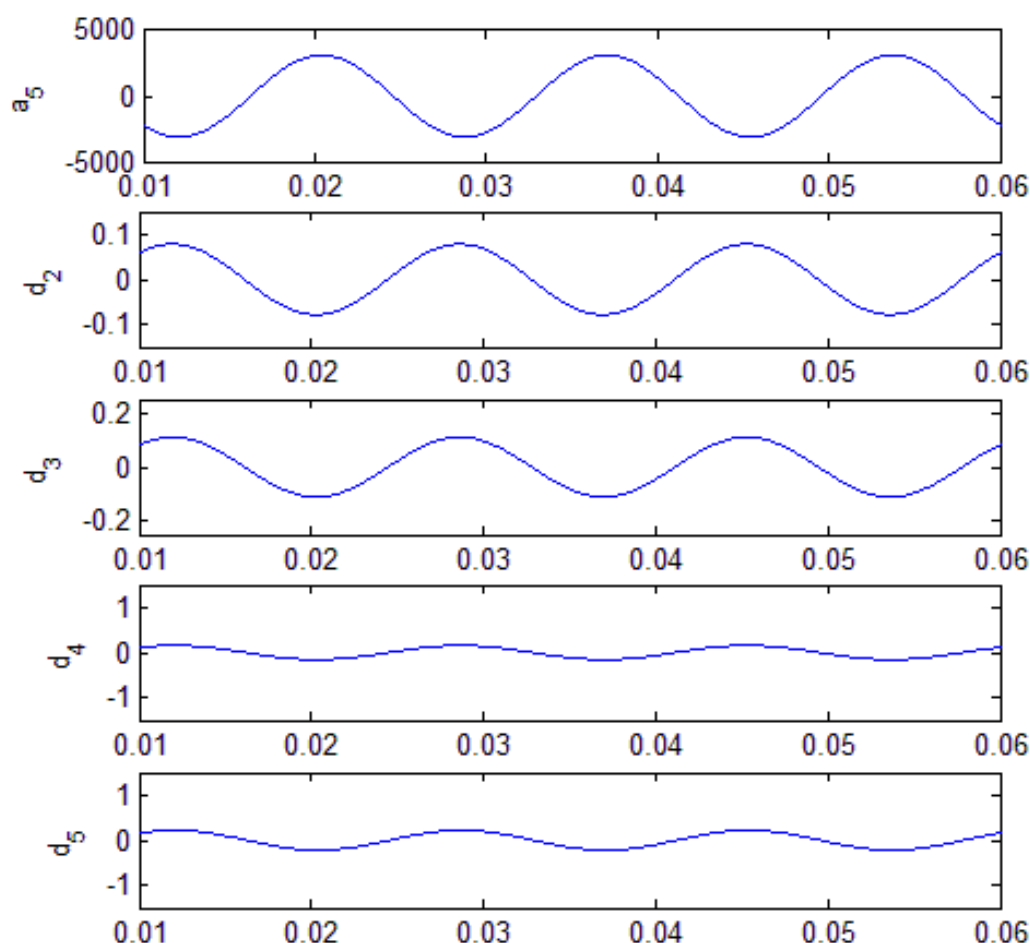
شکل (۵-۱۰) - ولتاژهای سه فاز قبل از وقوع خطا



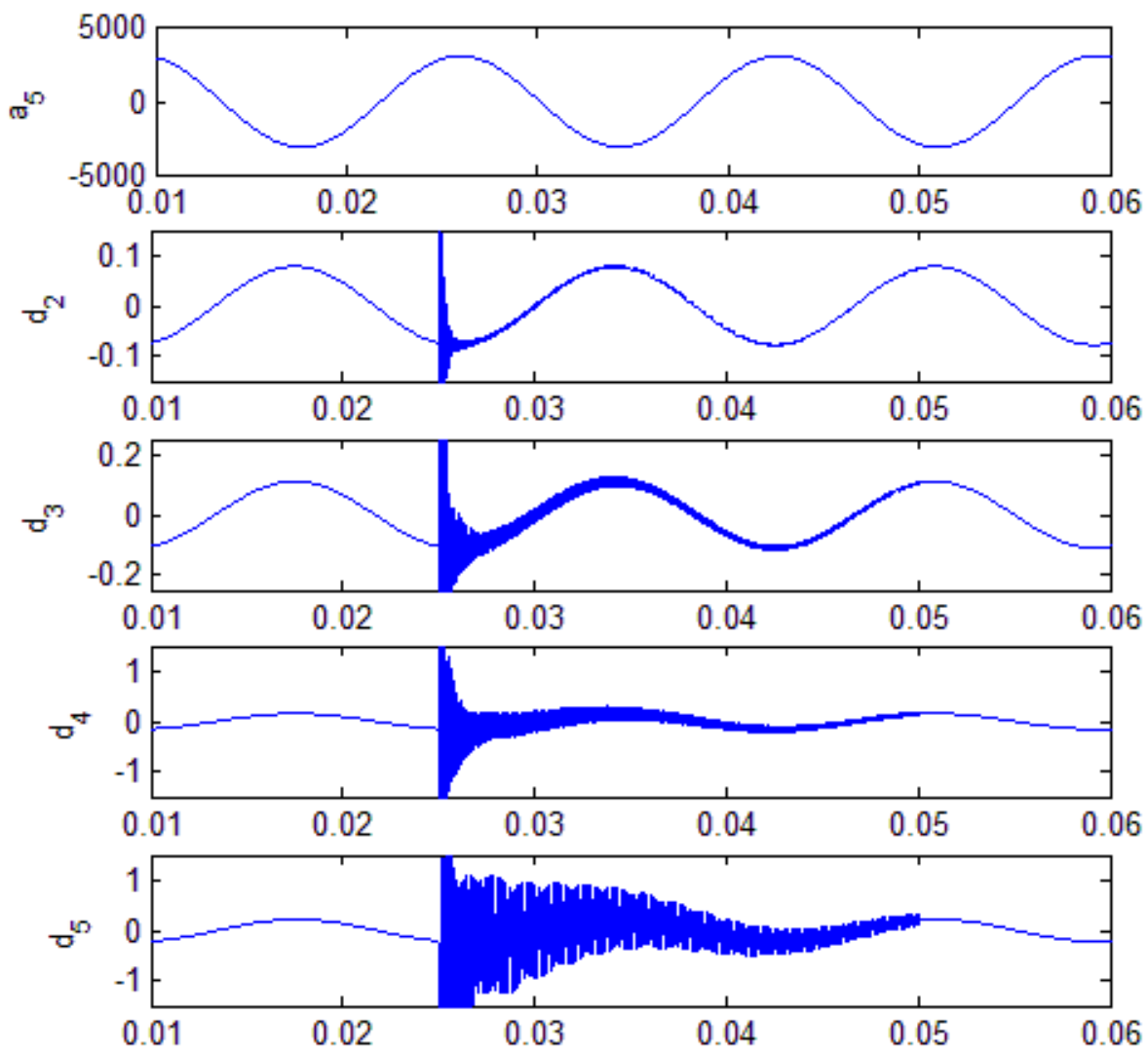
شکل (۵-۱۱) - ولتاژهای سه فاز در هنگام وقوع خطا

۵-۳-۲- مرحله دوم: تبدیل موجک گسسته

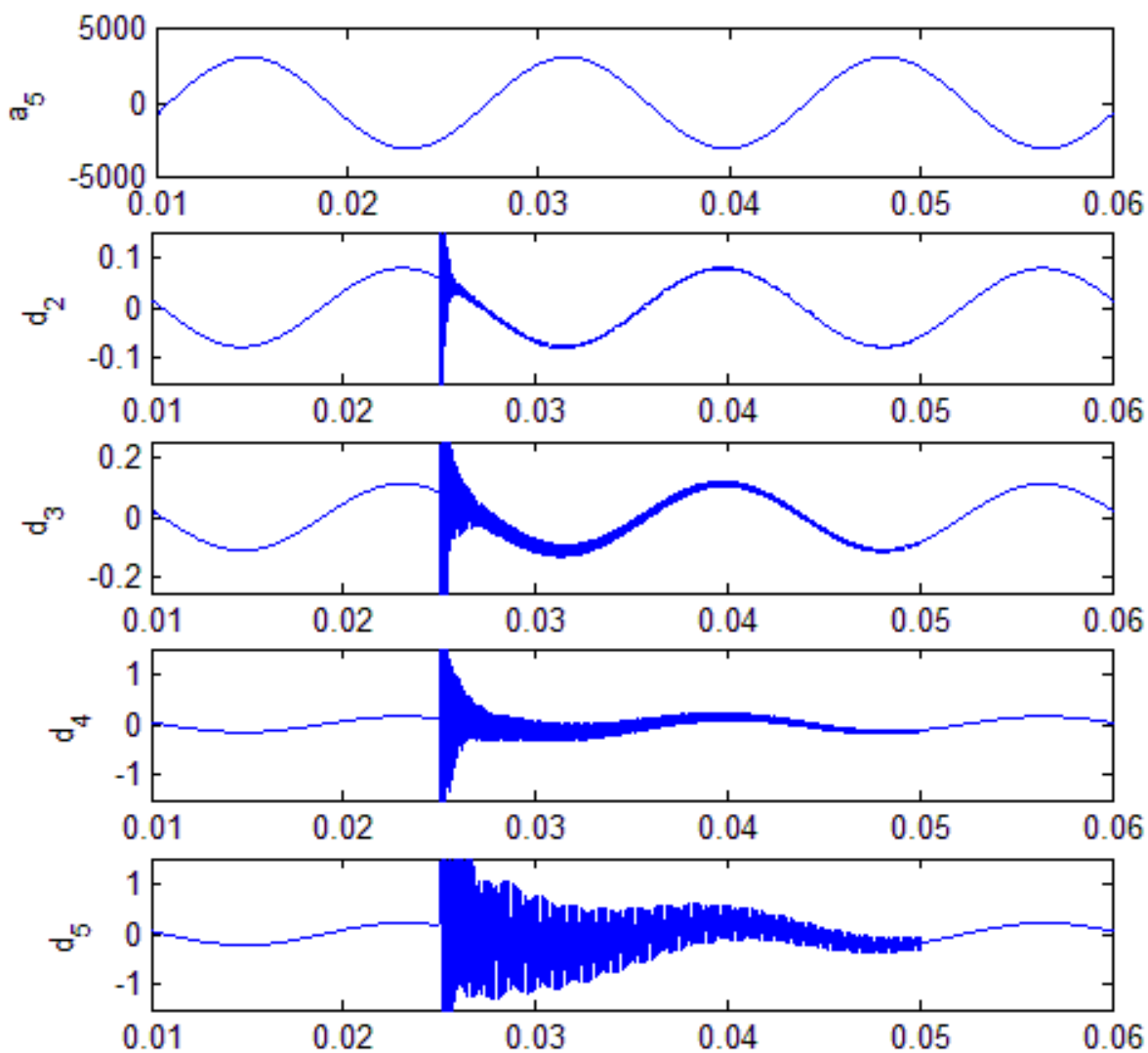
در هنگام بکارگیری تبدیل موجک گسسته انتخاب موجک مادر و سطح مناسب به فرکانس نمونه برداری، پدیده گذرا مورد بررسی و کاربرد مورد نظر، بستگی خواهد داشت. با بررسی نتایج حاصل از شبیه سازی های مختلف، استفاده از موجک db4 در سطح چهارم و پنجم مناسبترین انتخاب جهت تشخیص خطای تکفاز به زمین می باشد. تقریب و جزئیات سطوح مختلف حاصل از تبدیل موجک گسسته برای ولتاژهای خط در شرایط خطای تکفاز به زمین در شکل های (۵-۱۲)، (۵-۱۳) و (۵-۱۴) آمده است. a_5 شکل موج تقریب سطح پنجم ولتاژ خط، D_2 تا D_5 نیز ولتاژ سطوح دوم تا پنجم تبدیل موجک را مشخص می سازد. در تمامی شکل های زیر خطا ها در زمان 0.025 s تا 0.05 s روی فاز C اعمال می گردند.



شکل (۵-۱۲)- تقریب و جزئیات سطوح مختلف در شرایط خطای تکفاز به زمین برای ولتاژ خط AB



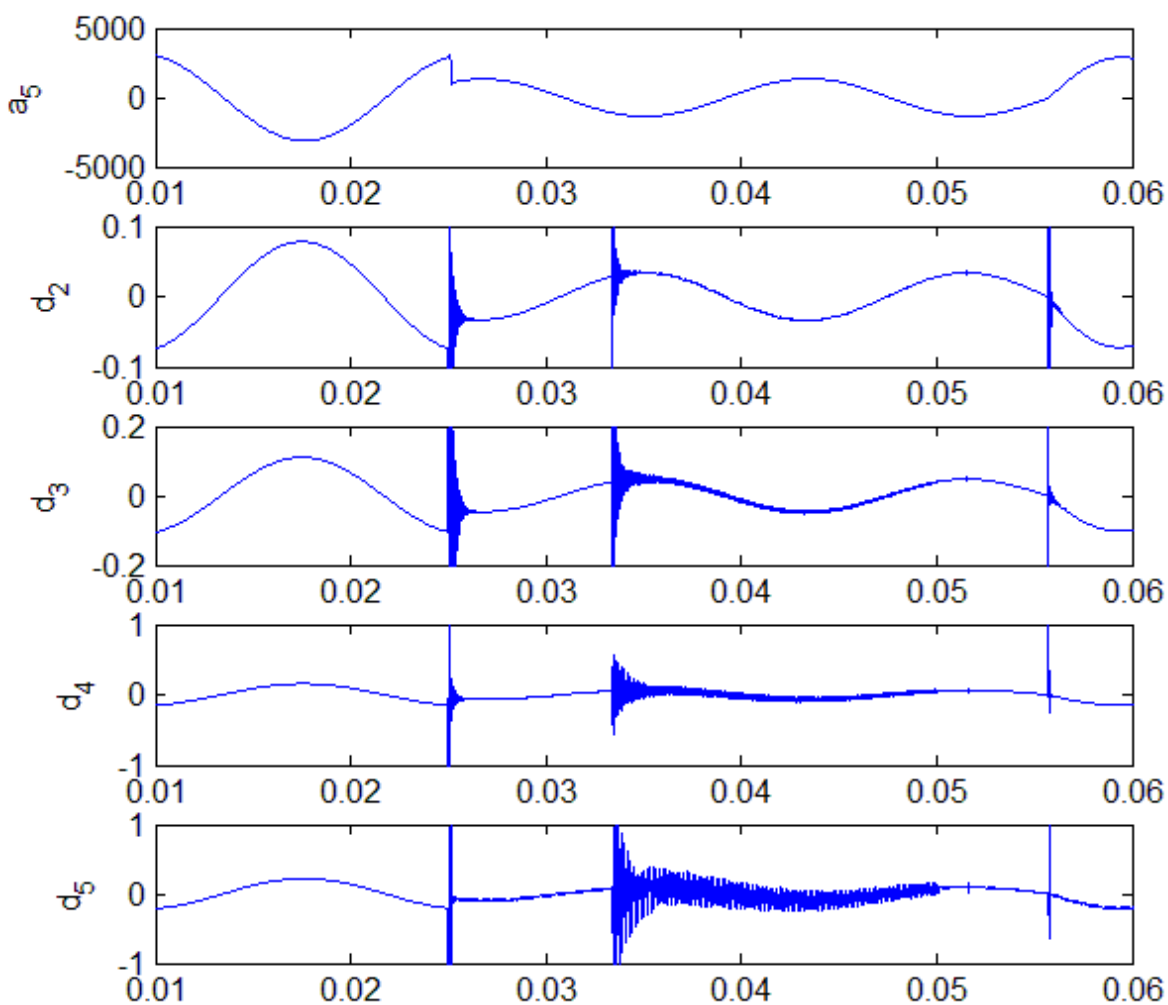
شکل (۵-۱۳) - تقریب و جزییات سطوح مختلف در شرایط خطای تکفاز به زمین برای ولتاژ خط BC



شکل (۵-۱۴) - تقریب و جزئیات سطوح مختلف در شرایط خطای تکفاز به زمین برای ولتاژ خط CA

همانگونه که در شکل ها مشخص می باشد، وقوع خطای تکفاز به زمین باعث ایجاد یک موج نوسانی با دامنه کوچک در یک دوره زمانی نسبتا بلند مدت در D_2 تا D_5 می گردد. اگرچه اندازه دقیق پیک و مدت زمان بقای این سیگنال به شرایط وقوع خطا بستگی دارد ولی در هر صورت انرژی این جزئیات در بازه زمانی وقوع خطا در مقایسه با انرژی آن در بازه زمانی وقوع سایر عملیات عادی سیستم قدرت بسیار متفاوت می باشد. از همین معیار میتوان جهت تشخیص وقوع خطای تکفاز به زمین در سیستم قدرت کشتی استفاده نمود.

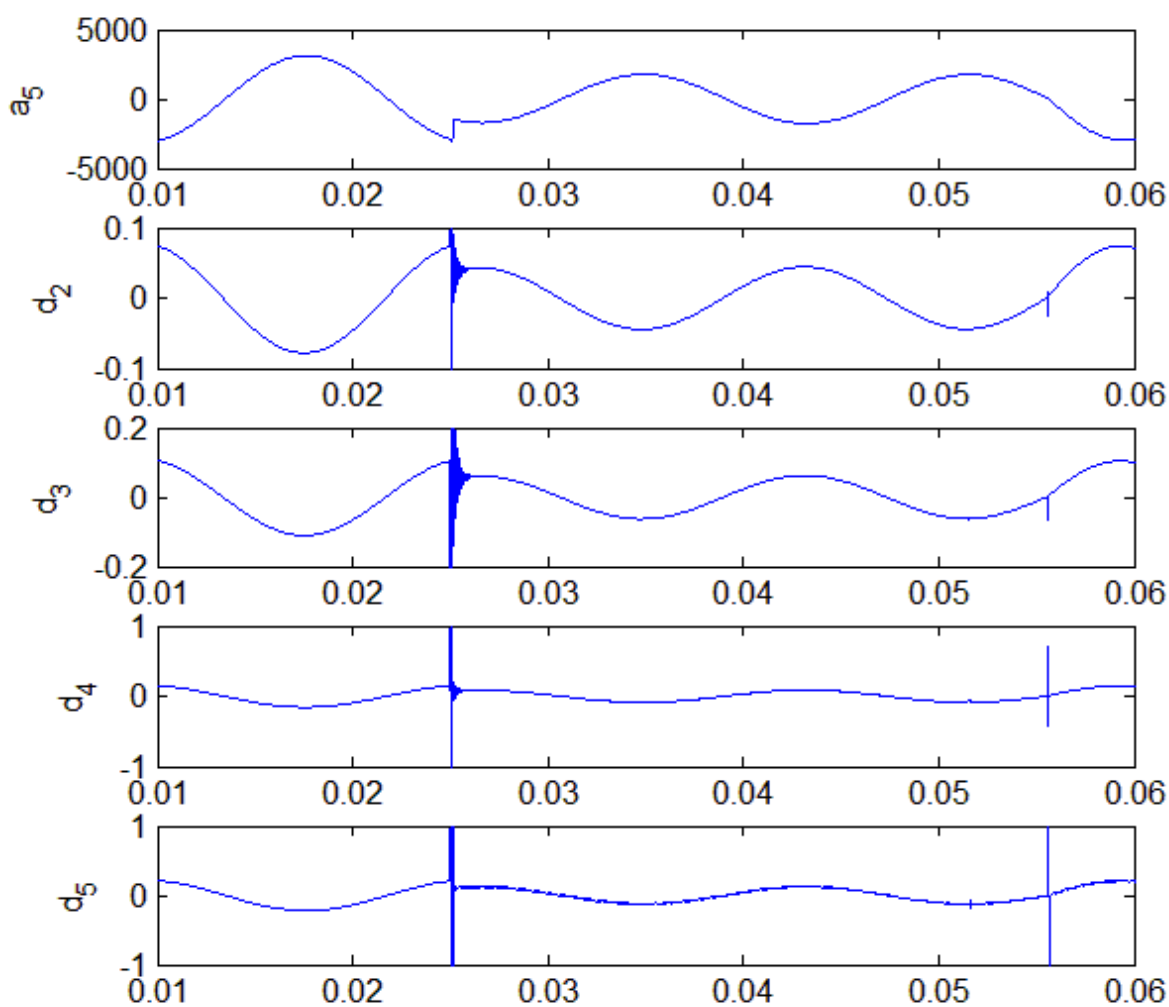
نکته‌ای که لازم است متذکر شد این است که بایستی ابزارهای تشخیص خطا بتوانند مشخصه‌ای منحصر به فرد برای هر یک از اتفاقات شبکه تولید کنند چراکه تنها در این صورت است که می‌توان از صحت عملکرد آنها در شبکه اطمینان حاصل کرد. در شکل (۵-۱۴) نمونه‌ای از دو سیگنال مشابه آورده شده است. در این شکل، خطای تکفاز به زمین (بدنه) در زمان $t = 0.33^s$ رخ داده است و همچنین کلید زنی بار نامتعادل در زمان $t = 0.25^s$ انجام شده است.



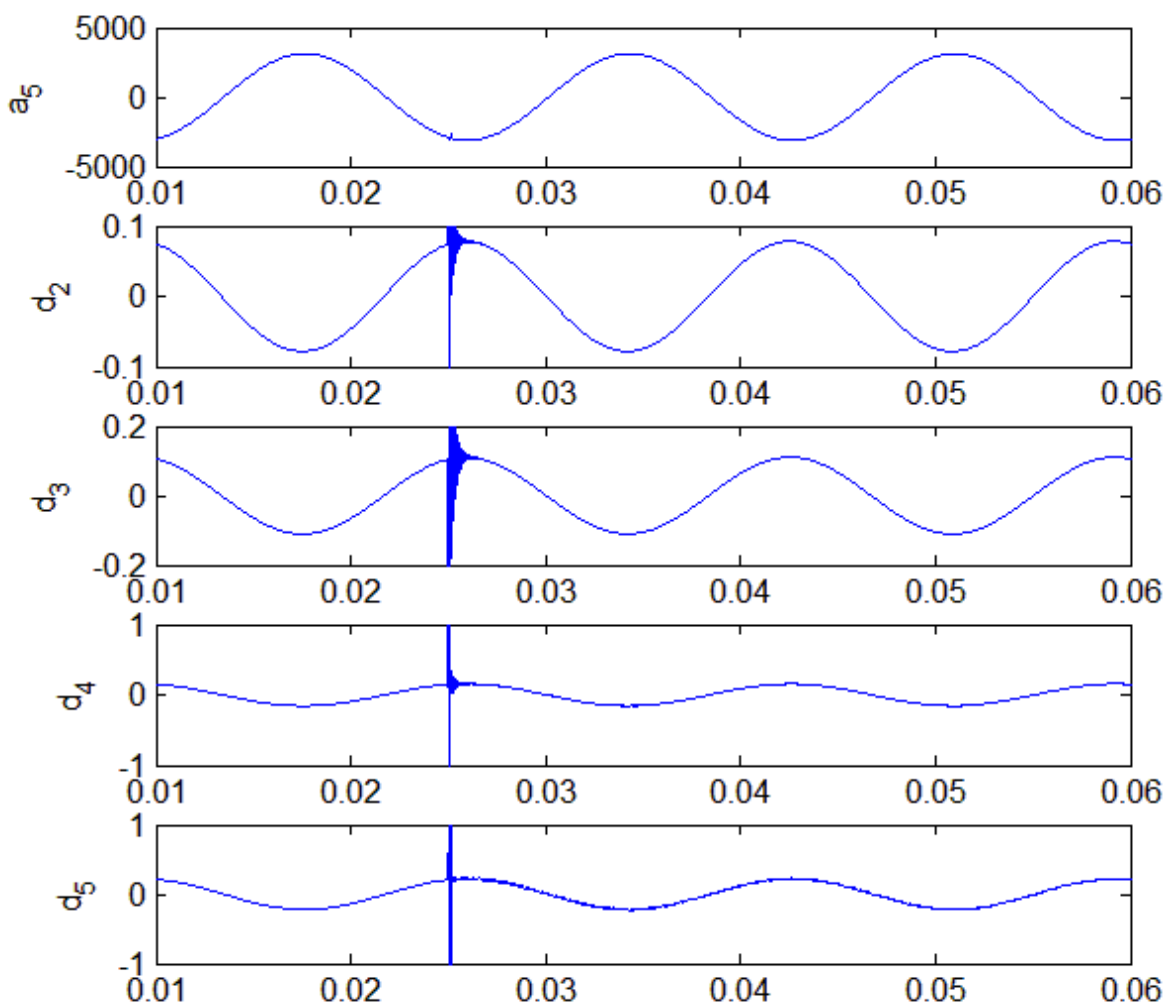
شکل(۵-۱۵) - کلید زنی بار نامتعادل در زمان $t = 0.25^s$ و همچنین خطای تکفاز به زمین در زمان $t = 0.33^s$

همان طور که مشاهده می کنید، تا سطوح دوم و سوم این دو سیگنال بسیار مشابه می باشند در سطح چهارم متفاوت شده و در سطح پنجم کاملاً متمایز گشته‌اند. بر این اساس، در این پایان نامه از تا سطوح پنجم تبدیل موجک بکار گرفته شده تا نتایج از قابلیت اعتماد بالاتری برخوردار باشد.

در ادامه، چند پدیده‌ی رایج دیگری را در شبیه سازی و در محل نشان داده شده در شکل های (۵-۸) و شکل (ج-۱)، مدل کرده‌ایم و جزئیات سطوح مختلف آنها را با هم مقایسه خواهیم کرد. در تمامی شکل های زیر اثر پدیده ها بر روی ولتاژ خط BC نمایش داده شده است و شکل موج ولتاژ خطوط دیگر در پیوست ب آمده است.

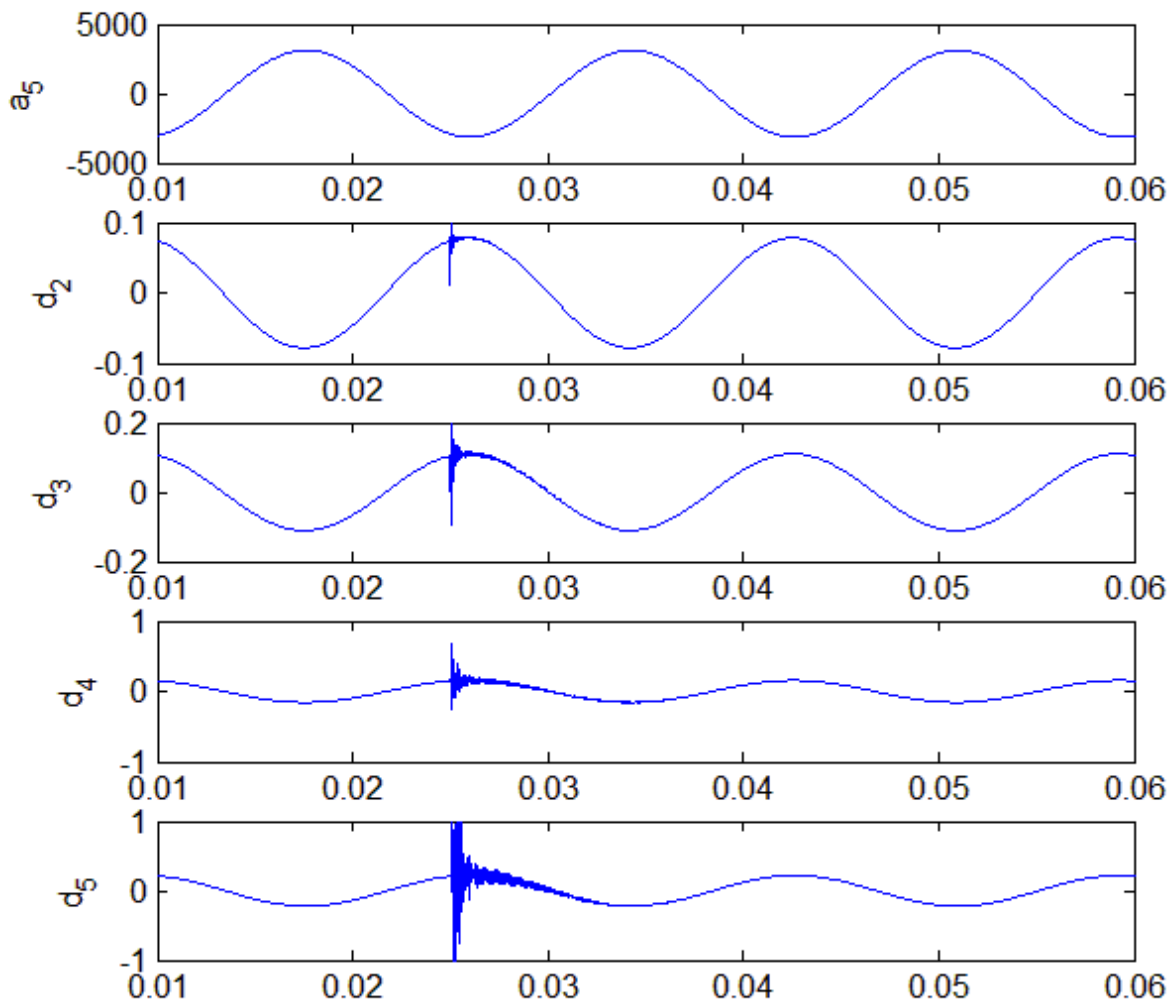


شکل (۵-۱۶) - کلید زنی بار نامتعادل



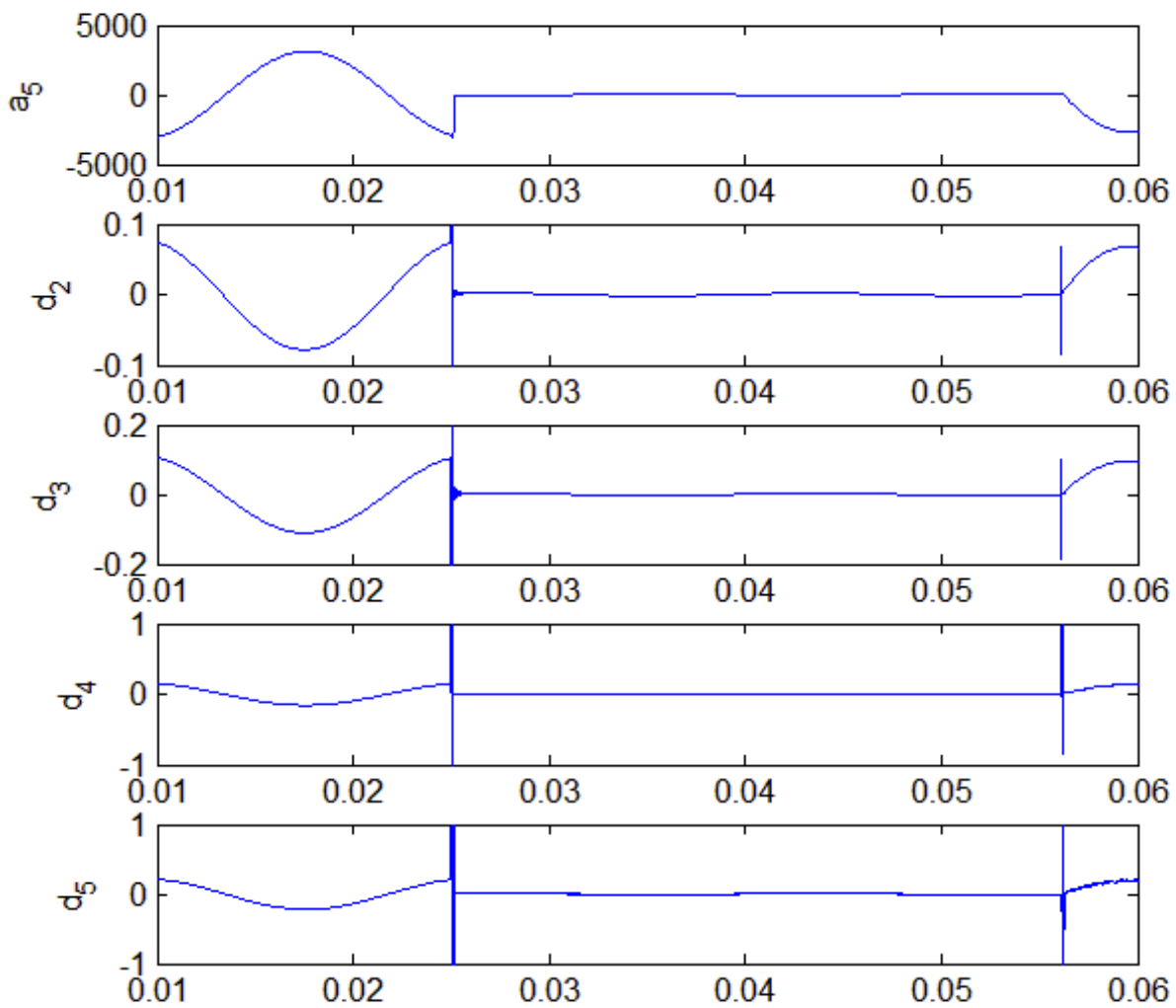
شکل (۵-۱۷) - کلید زنی بانک خازنی

قابل مشاهده است جزئیات هیچ کدام از این پدیده ها یکسان نیست ولی ممکن است تقریب آنها بسیار مشابه باشد. در برخی پدیده هایی که دارای شباهت بسیاری از نظر وقوع هستند امکان دارد حتی سطوح ابتدایی جزئیات آنها شبیه هم باشد ولی با بالا رفتن سطح جزئیات، این دو پدیده به طور کامل از هم متمایز خواهند شد.



شکل (۵-۱۸) - وقوع HIF

از دیگر مزایای روش پیشنهادی را می توان به وضوح در شکل (۵-۱۷) مشاهده کرد. در این شکل مشاهده می کنید که شکل موج ولتاژ در اثر وقوع HIF بسیار متفاوت از شکل موج ولتاژ در وقوع خطای تکفاز به زمین می باشد. بنابراین تقریب خطای تکفاز به زمین در سیستم برق کشتی با HIF از دقت کار به شدت می کاهشد.



شکل (۵-۱۹) - وقوع خطای دو فاز به هم

۵-۳-۳- مرحله سوم : تشخیص الگوها

در مرحله تشخیص الگوها کفایت ابتدا ابزار هوشمند تشخیص خطای مورد استفاده طوری آموزش داده شود که الگوهای بدست آمده را شناسایی و تقسیم بندی بکند. به این ترتیب به هنگام رخداد آن براحتی قابل تشخیص خواهد بود.

در این پروژه از برنامه کامپیوتری و سپس جدول درستی به عنوان ابزار های هوشمند تشخیص خطا، بهره خواهیم برد. الگوریتم برنامه‌ی کامپیوتری در بخش ۵-۱-۳ توضیح داده شد. در این برنامه مشخصه‌ی خطای تکفاز به زمین به عنوان مشخصه‌ی مرجع می باشد. مشخصه‌های سیگنال های مختلف که به عنوان ورودی به برنامه اعمال می شوند به طور پیوسته با مشخصه‌ی مرجع مقایسه می شوند و در صورت تشابه، برنامه سیگنال آلام را فعال می کند. به این ترتیب زمان وقوع خطا بدست می آید. همانطور که ذکر شد، سیستم قدرت تجهیزات دریایی، سیستمی زمین نشده است. بنابراین تمام مصرف کننده ها یا سه فاز و یا به صورت فاز به فاز تغذیه خواهند شد بنابراین ما تنها دسترسی به سیگنال ولتاژ خط خواهیم داشت و تشخیص زمان وقوع خطا براساس ولتاژ خط صورت می گیرد. لذا نیاز است تا در تشخیص خطا فاز خطا دار نیز مشخص شود که با استفاده از الگوریتم جدول درستی به راحتی فاز خطا دار مشخص خواهد شد. مرحله تشخیص خطا در دو شرایط مختلف بررسی خواهد شد. ابتدا تشخیص خطا در شرایطی بررسی خواهد شد که تنها یکی از پدیده های ذکر شده در قسمت ۵-۲-۲ رخ دهد و سپس تشخیص خطا را در شرایطی که دو پدیده به صورت همزمان رخ دهند، بررسی خواهیم کرد. شکل (ج-۱) واقع در پیوست ج مدار تبدیل موجک و همچنین بلوک برنامه ریزی شده‌ی دستگاه دیجیتالی که به Alarm Box نام گذاری شده است را نشان می دهد.

۵-۳-۳-۱- رخداد تنها یک خطا در شبکه

در برنامه‌ی مورد استفاده در Alarm Box برای انجام مقایسه‌ای دقیق سطوح، چهارم و پنجم لحاظ شده است. و در رخداد تمامی پدیده ها، این برنامه موفق ظاهر شده است. یعنی تنها در زمان رخداد خطای تکفاز به زمین آلام داده و در زمان رخداد سایر پدیده ها هشدار نمی دهد.

۵-۳-۳-۲- رخداد دو خطا به صورت همزمان

نکته‌ای که در اینجا بایستی متذکر شد این است که، در بخش ۵-۲-۳-۱ در هر مرحله از شبیه سازی تنها یک پدیده مورد بررسی قرار گرفته است و در هیچ کدام از آنها دو پدیده به صورت متداخل رخ نداده است.

بایستی دید که الگوریتم پیشنهادی در هنگام رخداد دو خطای متداخل، یعنی رخداد خطای تکفاز به زمین بعد

از رخداد پدیده‌ای دیگر، نیز توانمند در تشخیص خطای تکفاز به زمین می باشد یا خیر؟

ما تمامی پدیده‌های دیگر را به همراه خطای تکفاز به زمین، به سیستم اعمال کردیم. جعبه‌ی Alarm Box

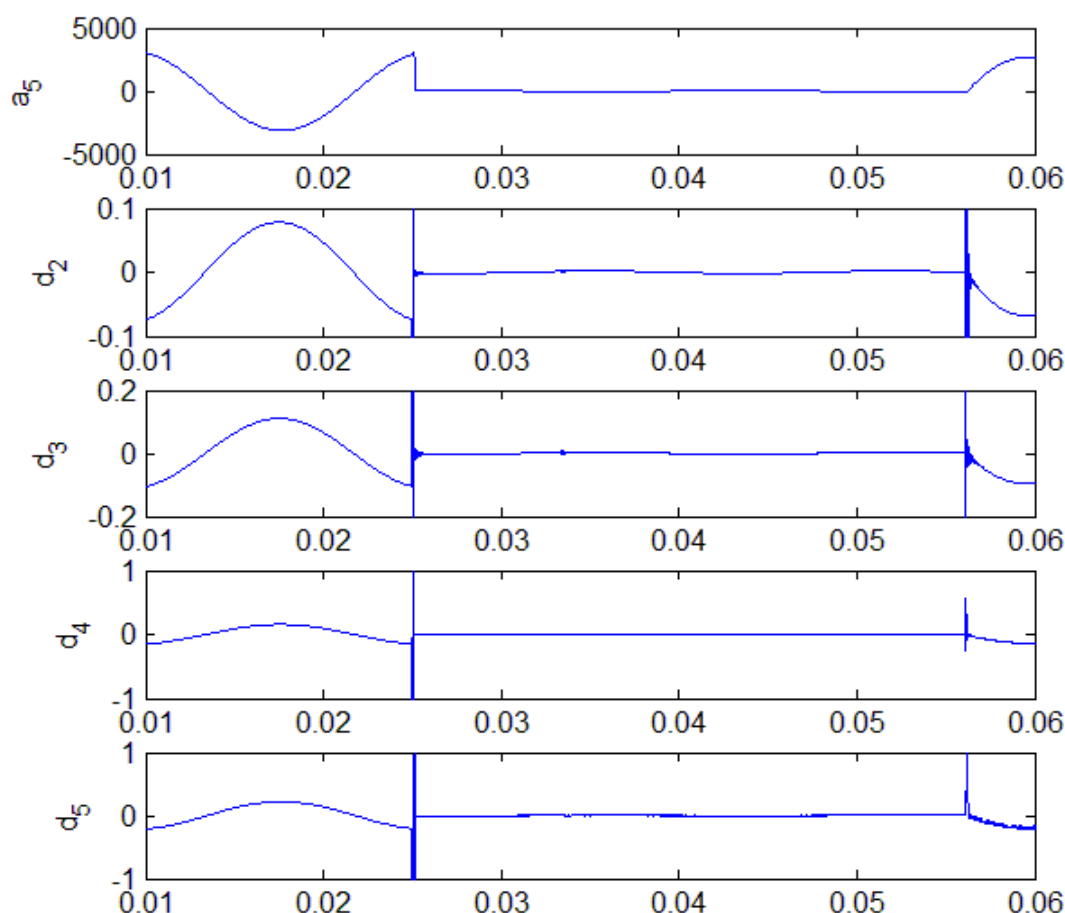
قادر به تشخیص خطای تکفاز به زمین نشد. علت این امر از ضعف تبدیل موجک نیست چراکه وظیفه‌ی این

تبدیل ایجاد مشخصه‌ی منحصر به فرد برای انواع رخداد هاست و از آنجا که خطای تکفاز به زمین در عدم وجود

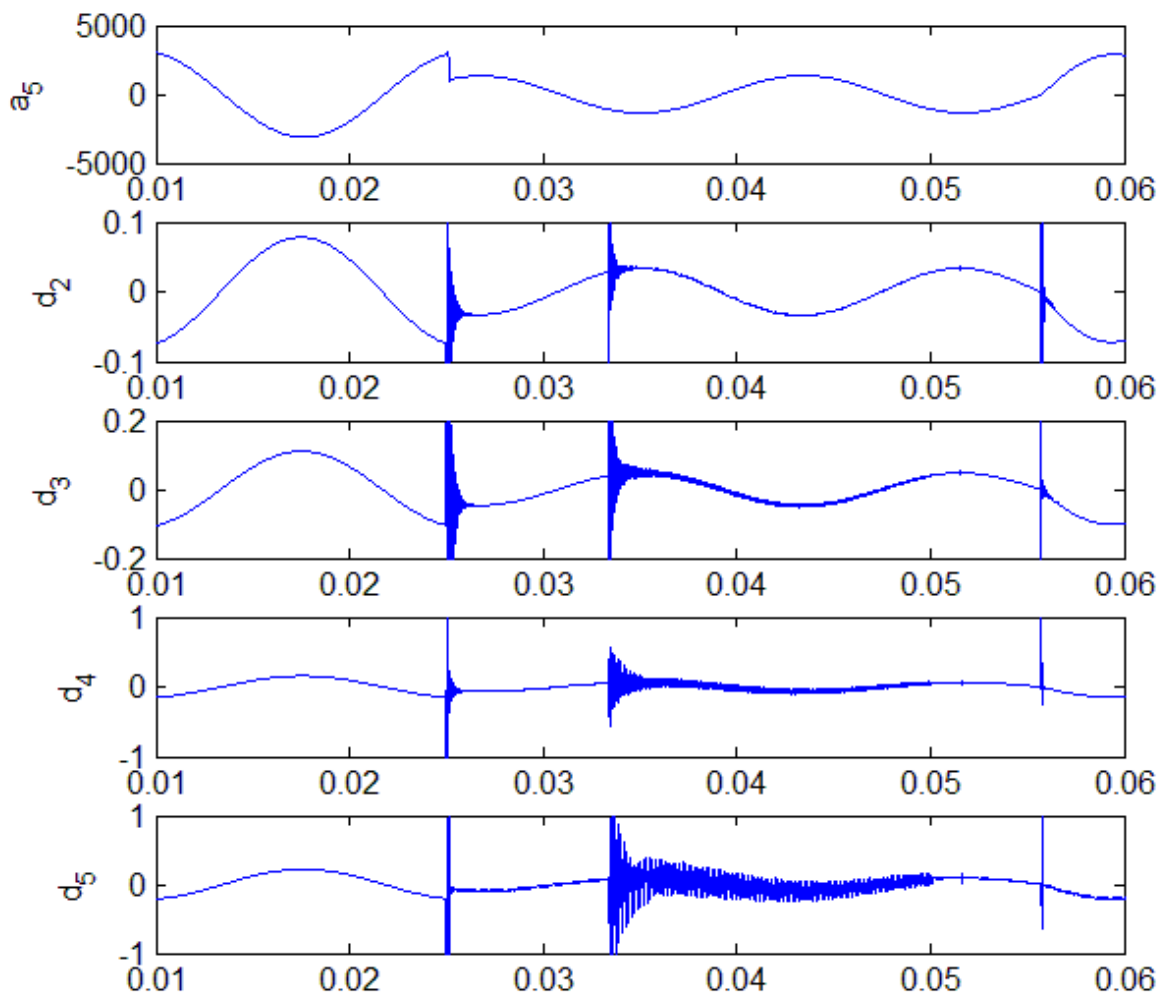
پدیده‌ای دیگر و خطای تکفاز به زمین با وجود پدیده‌ای دیگر، دو رخداد جداگانه هستند لذا مشخصه‌های آنها

نیز بایستی منحصر به خودشان باشد و از یکدیگر متمایز خواهند بود. برای حل این مشکل ابتدا مشخصه‌های

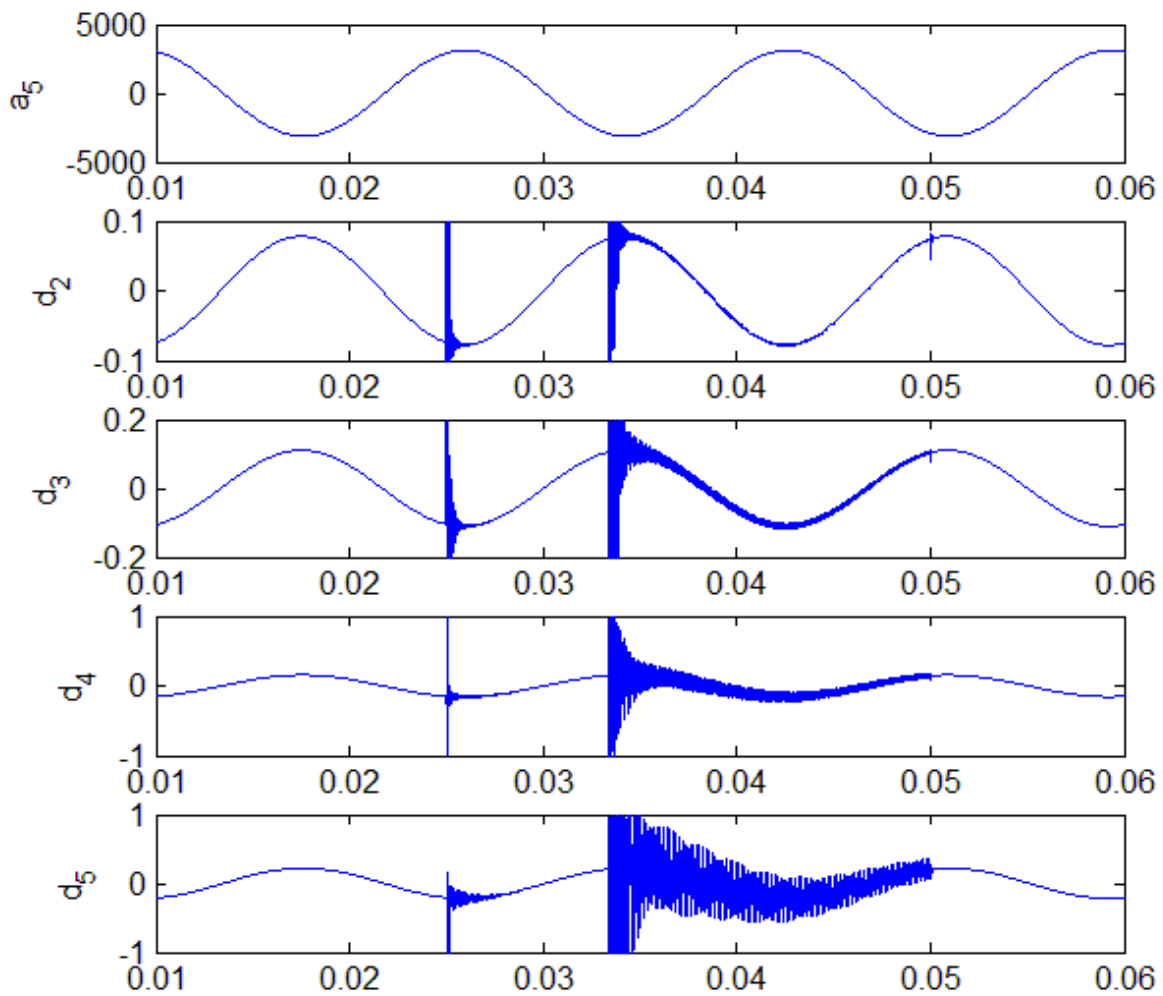
رخداد همزمان دو خطا را بررسی می کنیم.



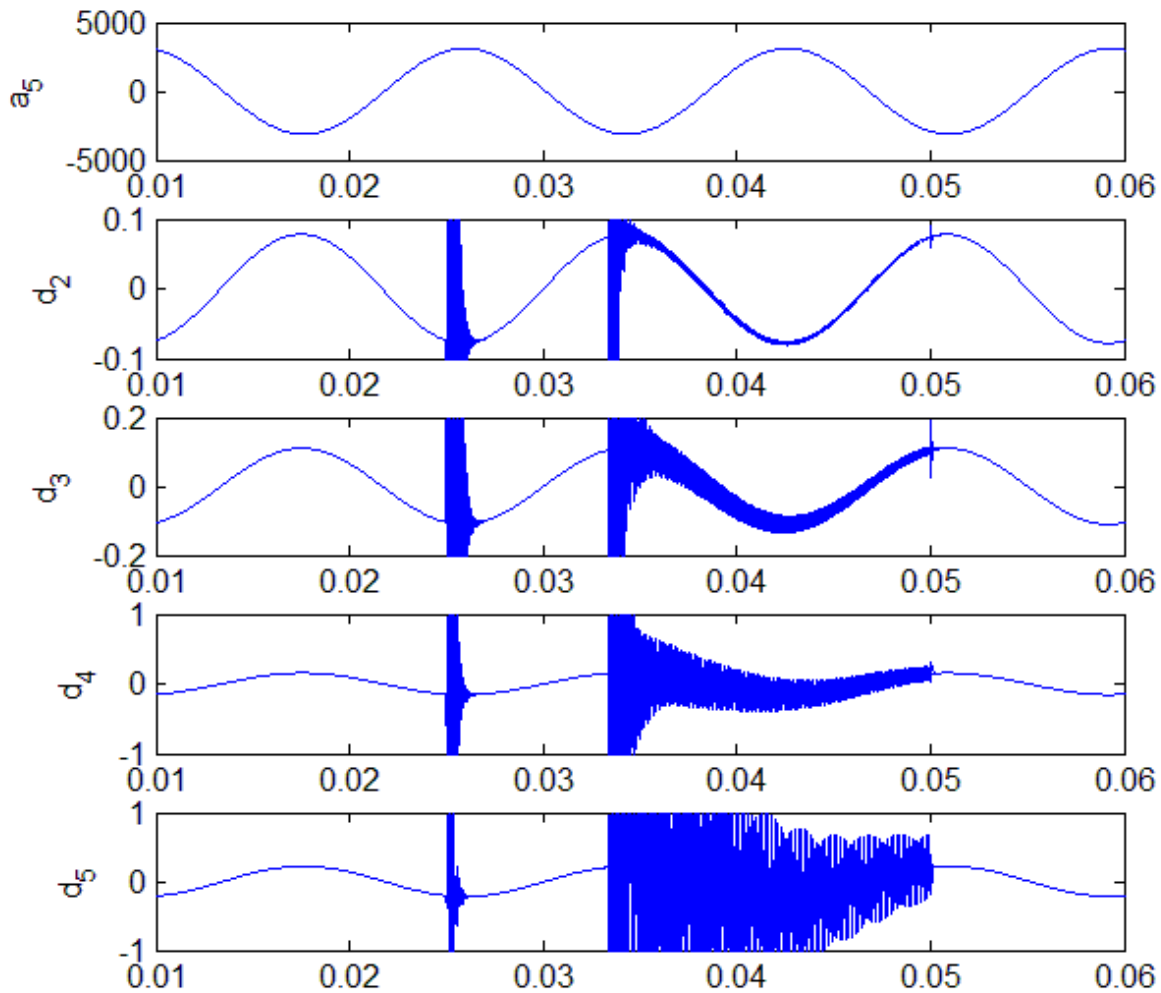
شکل (۵-۲۰) - رخداد خطای دو فاز به هم در زمان $t = 0.25^s$ و همچنین خطای تکفاز به زمین در زمان $t = 0.33^s$



شکل (۵-۲۱) - کلید زنی بار نامتعادل در زمان $t = 0.25^s$ و همچنین خطای تکفاز به زمین در زمان $t = 0.33^s$



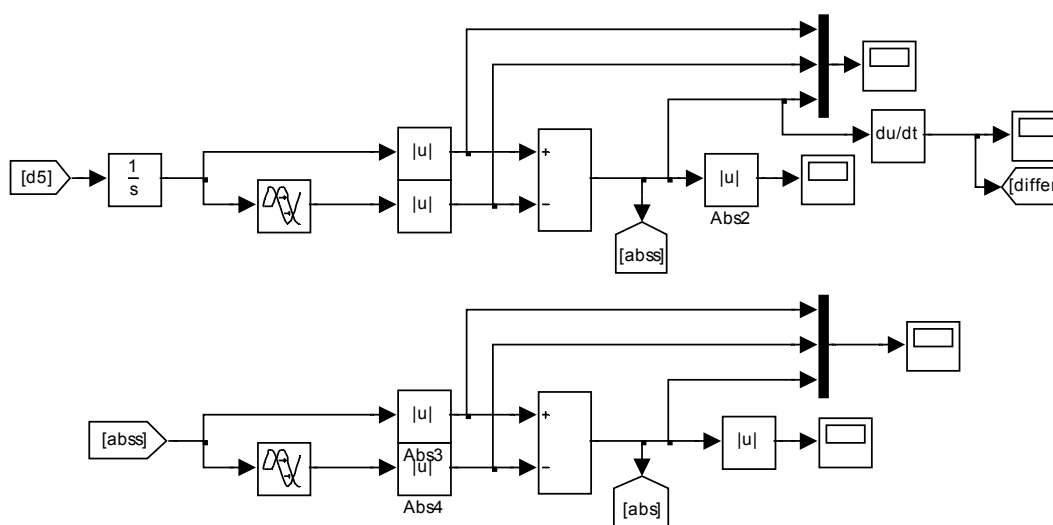
شکل (۵-۲۲) - وقوع HIF در زمان $t = 0.25^s$ و همچنین خطای تکفاز به زمین در زمان $t = 0.33^s$



شکل (۵-۲۳) - کلید زنی بانک خازنی در زمان $t = 0.25^s$ و همچنین خطای تکفاز به زمین در زمان $t = 0.33^s$

همان طور که گفته شد و در شکل ها مشخص است، در هر یک از خطا های متداخل، مشخصه ی خطای تکفاز به زمین در هر چهار حالت کلید زنی بانک خازنی، اتصال کوتاه دوفاز به هم، وقوع HIF و کلید زنی بار نامتعادل کاملاً متفاوت می باشد.

از بررسی شکل های بالا به این نتیجه خواهیم رسید که دو ویژگی از خطای تکفاز به زمین هست که در تمامی آنها تکرار می شود و آن هم اینکه، اولاً تداوم و یا ماندگاری این خطا در سیگنال از سایر پدیده ها بیشتر است. ثانیاً مساحت زیر نمودار سیگنال ولتاژ و همچنین تقریب سطح پنجم با رخداد این خطا تغییر محسوسی نمی کند. همین دو ویژگی می تواند در تشخیص این نوع خطا به هنگام رخداد همزمان آن با سایر پدیده ها، به ما کمک کند. با استفاده از بلوک دیاگرام های زیر تأثیر ویژگی دوم را به مرحله اجرا گذاشته ایم.



شکل (۵-۲۴) - شمای بلوک دیاگرام مورد استفاده برای آشکار سازی ماندگاری سیگنال

لازم است بدانید که این روند نیازمند ارضای یک شرط است که بایستی فاصله ی بین دو خطا بیش از یک سیکل کامل باشد. که این از محدودیت های این الگوریتم می باشد. این محدودیت از آنجا ناشی می شود که هنگام رخداد خطایی بجز خطای تکفاز، ولتاژ خط دچار کمی تغییر فاز می شود که نیاز به حداقل یک سیکل کامل دارد تا این تغییر فاز جبران شود.

این ویژگی که شکل موج ولتاژ و سطح زیر منحنی آن هنگام رخداد خطای تکفاز به زمین تغییر نمی کنند، در فصل دوم بررسی شده است.

با اجرای این شرط (فاصله یک سیکل بین دوخطا)، الگوریتم پیشنهادی از قابلیت اعتماد بسیار بالایی برخوردار است. حال که زمان وقوع خطا، چه در زمان رخداد آن به تنهایی و چه در رخداد متداخل آن با پدیده‌ای دیگر، مشخص شد، نیاز است تا فاز خطا دار مشخص شود.

۵-۳-۳-۳- تشخیص فاز خطا دار توسط الگوریتم جدول درستی

همانطور که در شکل (۵-۱۱)، (۵-۱۲) و (۵-۱۳) مشخص است جزئیات ولتاژ خط AB تغییری نکرده و هیچ اغتشاشی را در بر ندارد و این بدان علت است که خطای اعمالی روی فاز C بوده است و تنها ولتاژهای خط شامل فاز C دستخوش تغییر خواهند شد. با استفاده از این خاصیت می توان جدول درستی نظیر جدول (۵-۱) ترتیب داد و از روی آن فازی که دچار خطا شده است را مشخص نمود.

جدول (۵-۱) - جدول درستی برای تشخیص فاز خطا دار [1]

Phase AB	Phase BC	Phase CA		Fault on A	Fault on B	Fault on C
0	0	0		U	U	U
0	0	1		U	U	U
0	1	0		U	U	U
0	1	1		U	U	1
1	0	0		U	U	U
1	0	1		1	U	U
1	1	0		U	1	U
1	1	1		U	U	U

در این جدول علامت U بیانگر عدم خطا و عدد ۱ بیانگر خطا می باشد.

فصل ششم

نتیجه گیری و پیشنهادات

نتیجه گیری

هدف از انجام این پایان نامه آشکار سازی خطای تک فاز به زمین در شبکه قدرت کشتی می باشد. برای این کار دسترسی به مدلی مناسب از سیستم قدرت کشتی ضروری است چراکه ویژگی خطای تکفاز به گونه ایست که در مدل معمولی شبکه، با رخداد این نوع خطا هیچ سیگنالی تولید نخواهد شد. در مطالعاتی که تاکنون انجام شده است برای رفع این مشکل، خطای تکفاز به زمین را به صورت خطای با امپدانس بالا در نظر گرفته اند. مدلسازی خطای تکفاز به زمین به صورت خطای با امپدانس بالا از دقت نتایج می کاهد و حتی در مواردی به هیچ وجه نمی توان نتایج را در سیستم واقعی به کار بست. ولی این امکان را می دهد تا با پیچیدگی کمتری تحلیل و بررسی ها را انجام دهیم. در این پروژه، برای برطرف سازی این مشکل، مدلسازی سیستم قدرت تجهیزات دریایی به صورت گسترده انجام شده است که این امر باعث می شود تا مشخصه ای ایجاد شده توسط خطای تکفاز به زمین، از دقت بالایی در مقایسه با مشخصه واقعی آن داشته باشد. اما این مزیت عیوبی را نیز به همراه خود دارد و آن اینکه باعث می شود تا شبکه پیچیده شود که با ساده سازی مدل های گسترده المان های مختلف سیستم قدرت می توان تا حدودی از این پیچیدگی کاست. این موضوع در بخش مدلسازی این پایان نامه لحاظ شده است. با این حال با توجه به دقت بالایی که از مدل گسترده حاصل می شود می توان پیچیدگی آن را در مقابل دقت بسیار بالای آن، پذیرفت.

پس از بدست آوردن مدل مناسب سیستم، لازم است تا روشی برای تشخیص خطای تکفاز به زمین یافت. روش ها متعددی برای تشخیص وجود دارد که در فصل سوم به آن پرداخته شد. روش انتخابی این پروژه، استفاده از تبدیل موجک می باشد. علت این انتخاب دقت بالا و سادگی این تبدیل است. در مدل بدست آمده تمامی رخداد های معمول شبکه و همچنین خطای تکفاز به زمین آزمایش می شود. سپس سیگنال های بدست آمده از رخداد انواع پدیده ها، به تبدیل موجک اعمال می شوند. این تبدیل برای هر پدیده مشخصه ای منحصر به فرد تولید می کند. بررسی خروجی های تبدیل موجک بدست آمده در این پروژه نشان می دهد که این تبدیل بسیار

توانمند در تولید مشخصه‌ی منحصر به فرد برای هر سیگنال دلخواه است. این تبدیل با استفاده از فیلترهای بالا گذر و پایین گذر، هر سیگنال را به دو بخش تجزیه می‌کند و این امر را می‌تواند تکرار کند تا سطوح مختلفی از جزئیات را ایجاد کند. با بالا رفتن سطح جزئیات، مشخصه‌ی حاصل کاملاً منحصر به خود سیگنال می‌شود و از سایر سیگنال‌ها متمایز می‌شود. به عبارت دیگر می‌توان با استفاده از این تبدیل شناسنامه‌ای برای هر پدیده موجود در شبکه به دست آورد.

با استفاده از یک الگوریتم مقایسه‌ای که در فصل پنجم توضیح داده شد، براحتی می‌توان با داشتن شناسنامه‌ی خطای تکفاز به زمین، رخداد آن را تشخیص داد. شبیه‌سازیهای انجام شده در اتفاقات مختلف، دقت بالای الگوریتم پیشنهادی را در آشکار سازی خطای تک فاز به زمین مشخص می‌سازد. از سوی دیگر، این الگوریتم در شرایط وقوع اتفاقات عادی در شبکه قدرت مانند کلید زنی بار، کلید زنی بانک‌های خازنی، خطای دو فاز به هم و... به درستی، هیچگونه خطایی را نشان نمی‌دهد و آن هم بدلیل متفاوت بودن مشخصه‌ی هر یک از اتفاق‌های ذکر شده است. این موضوع قابلیت اعتماد بالای الگوریتم پیشنهاد شده را مشخص می‌کند.

پیشنهادات

۱- الگوریتم تشخیص خطا در این پایان نامه براساس دامنه و مساحت زیر منحنی ولتاژ و جزئیات سطح پنجم آن پایه گذاری شده است. این الگوریتم در تمامی پدیده‌های رایج در شبکه کارآمد بوده است اما ممکن است عوامل دیگری از قبیل صاعقه، باعث ایجاد مشخصه‌ای گردد که این الگوریتم قادر به تشخیص صحیح آن نباشد. چرا که برای اینگونه پدیده‌ها برنامه ریزی نشده است. لذا پیشنهاد می‌گردد مشخصه‌های این نوع از پدیده‌ها را با استفاده از شبیه سازی بدست آورد و به لیست سایر پدیده‌ها اضافه کرد تا دامنه‌ی عملکردی الگوریتم بالا رود.

۲- شبکه‌های عصبی و منطق فازی نیز از جمله ابزارهای هوشمند و دقیق در تشخیص خطا هستند. در این پایان نامه از این روش‌ها استفاده نشده است به این دلیل که مشخصه‌ی خطای تکفاز به زمین در هنگام تداخل

با پدیده های دیگر، کاملاً متفاوت با مشخصه ی قبلی خود می باشد. ولی می توان با ترکیب الگوریتم این پایان نامه با این ابزار ها روشی ارائه کرد تا از هر لحاظ دقیق و جامع باشد.

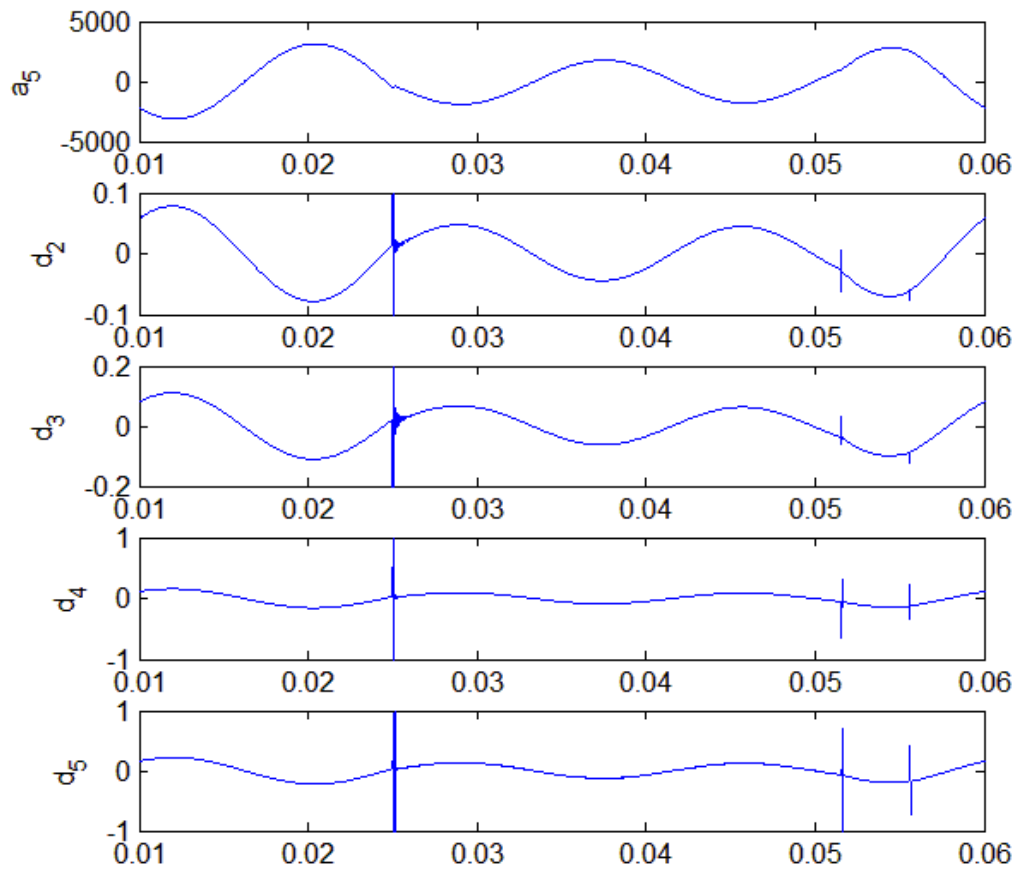
۳- تبدیل فوریه سریع نیز ابزاری توانمند در تولید مشخصه های منحصر به فرد برای انواع پدیده ها می باشد که با استفاده از این تبدیل حجم داده ها بسیار کمتر از تبدیل موجک خواهد شد. ولی در دقت نتایج تبدیل موجک بی رقیب است. بنابراین بهتر است تا درجایی که نیاز به دقت بالا ندارد از این تبدیل استفاده شود.

پیوست ها

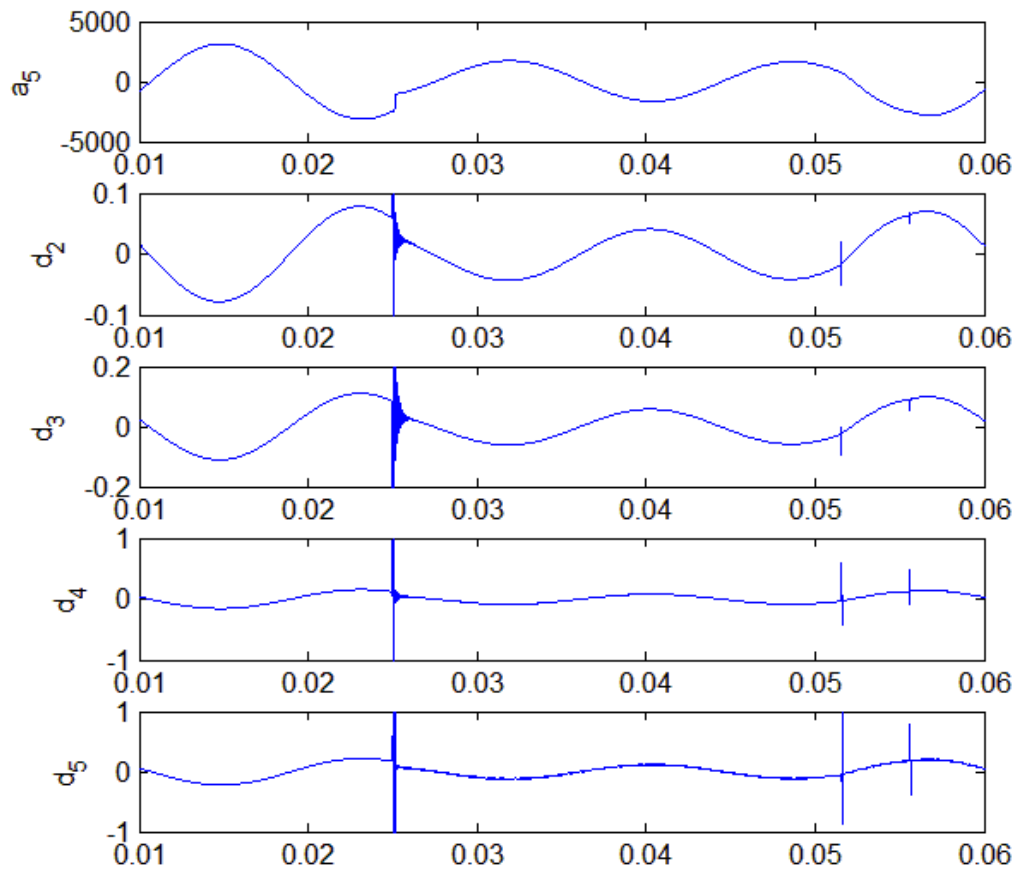
پیوست الف

شکل موج ولتاژ های خطوط AB و CA

کلید زنی بار نامتعادل

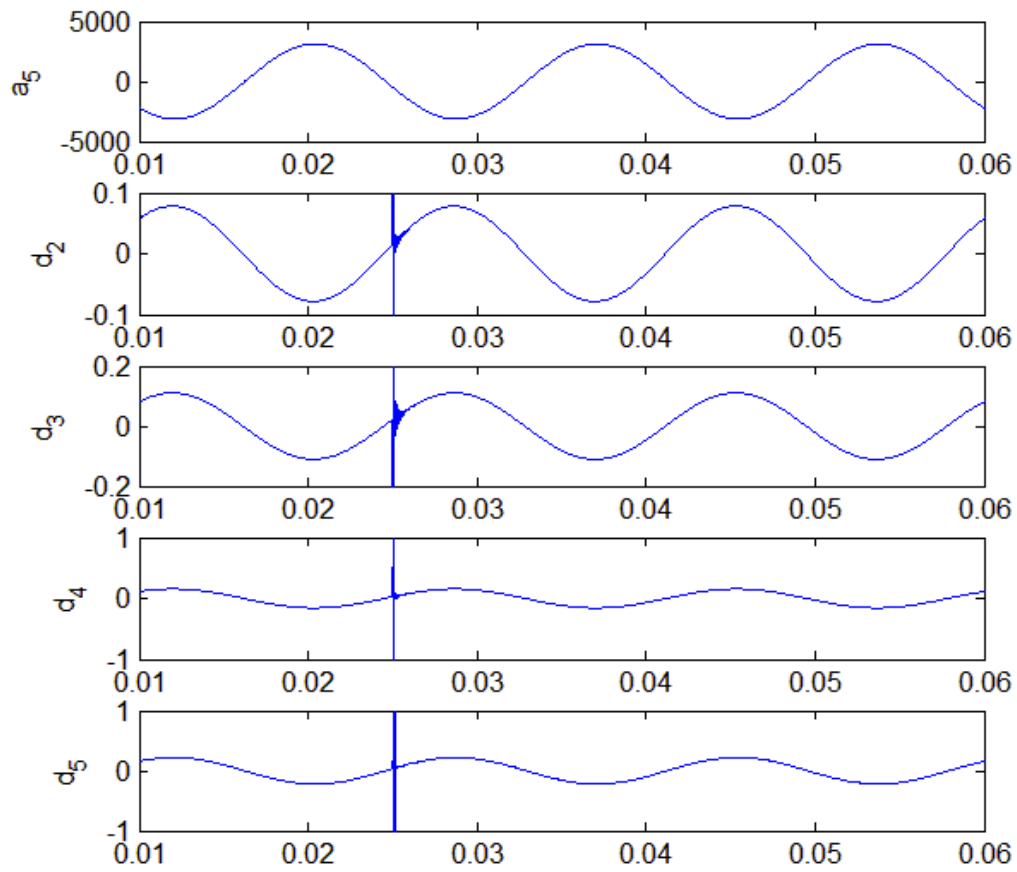


شکل (الف-۱)- اثر کلید زنی بار نامتعادل بر روی ولتاژ خط AB

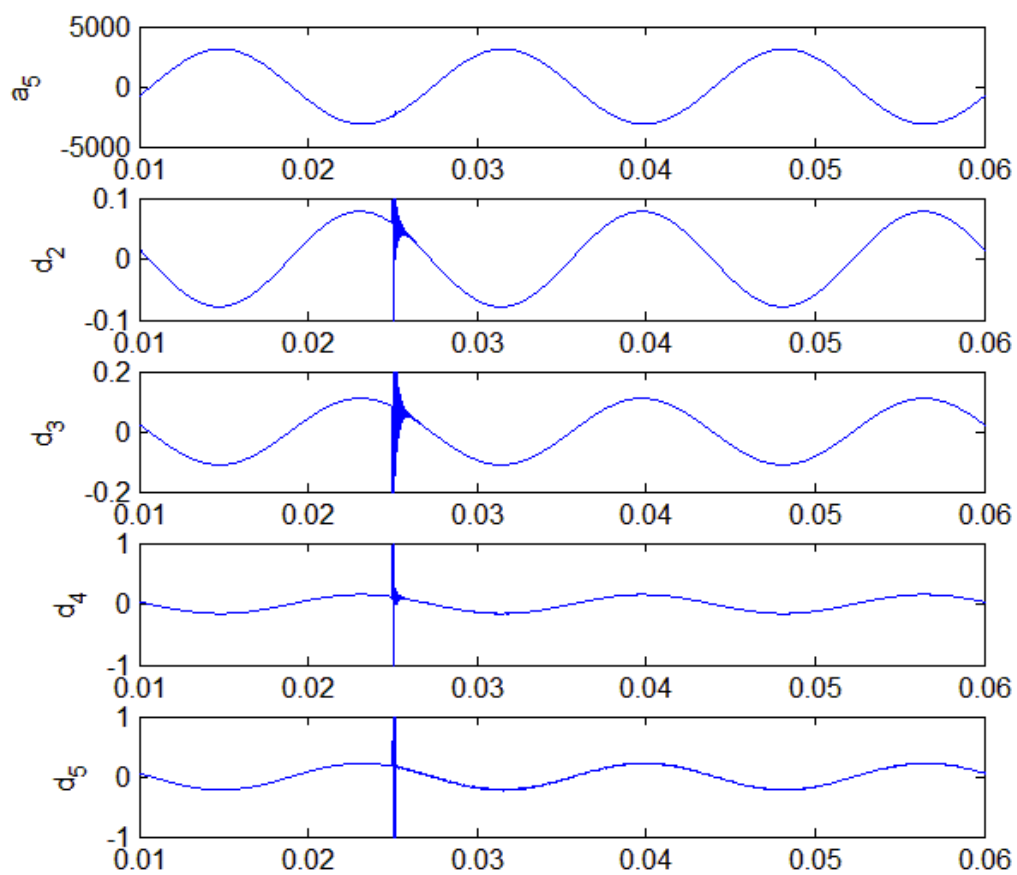


شکل (الف-۲)- اثر کلید زنی بار نامتعادل بر روی ولتاژ خط CA

کلید زنی بانک خازنی

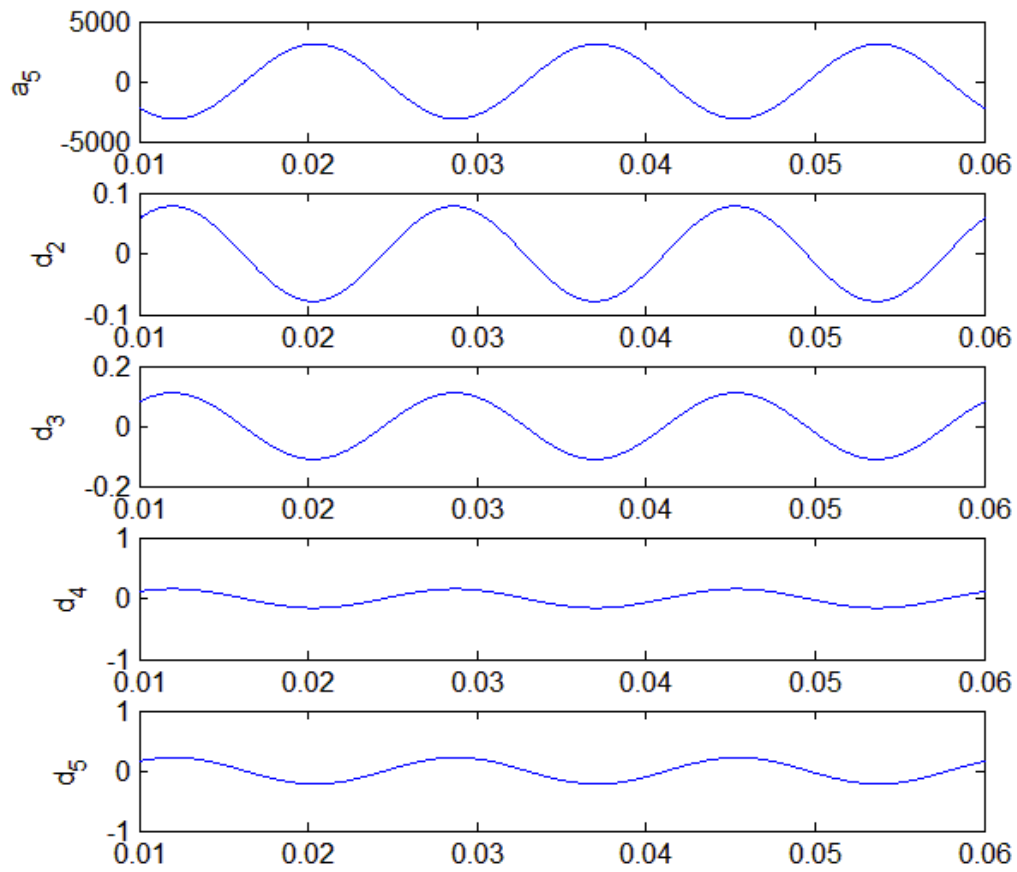


شکل (الف-۳)- اثر کلید زنی بانک خازنی بر روی ولتاژ خط AB

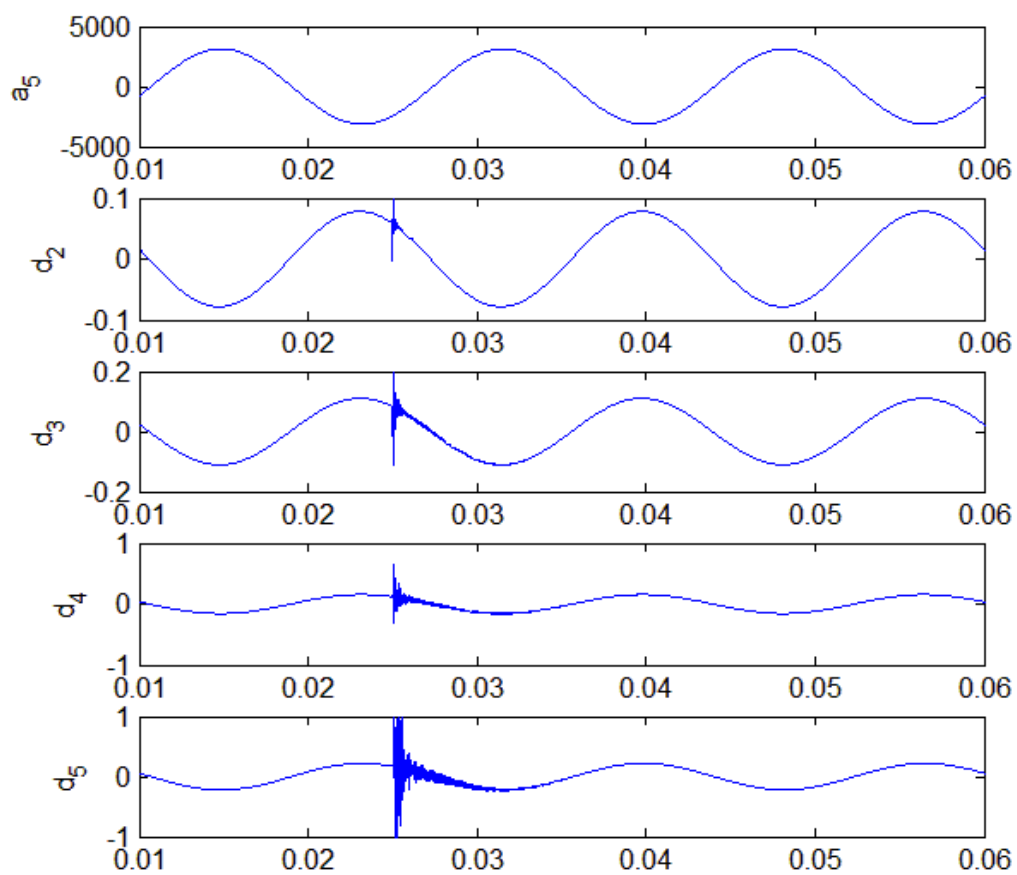


شکل (الف-۴) - اثر کلید زنی بانک خازنی بر روی ولتاژ خط CA

وقوع HIF بر روی فاز C

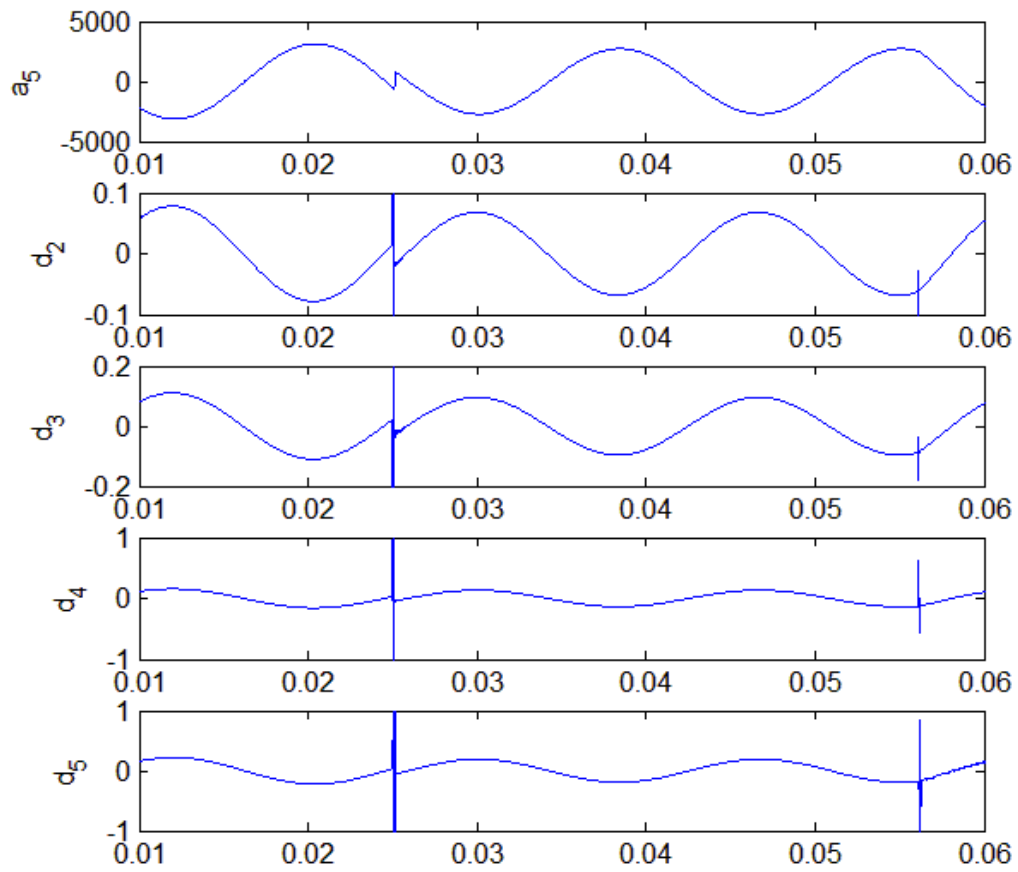


شکل (الف-۵)- اثر HIF فاز C بر روی ولتاژ خط AB

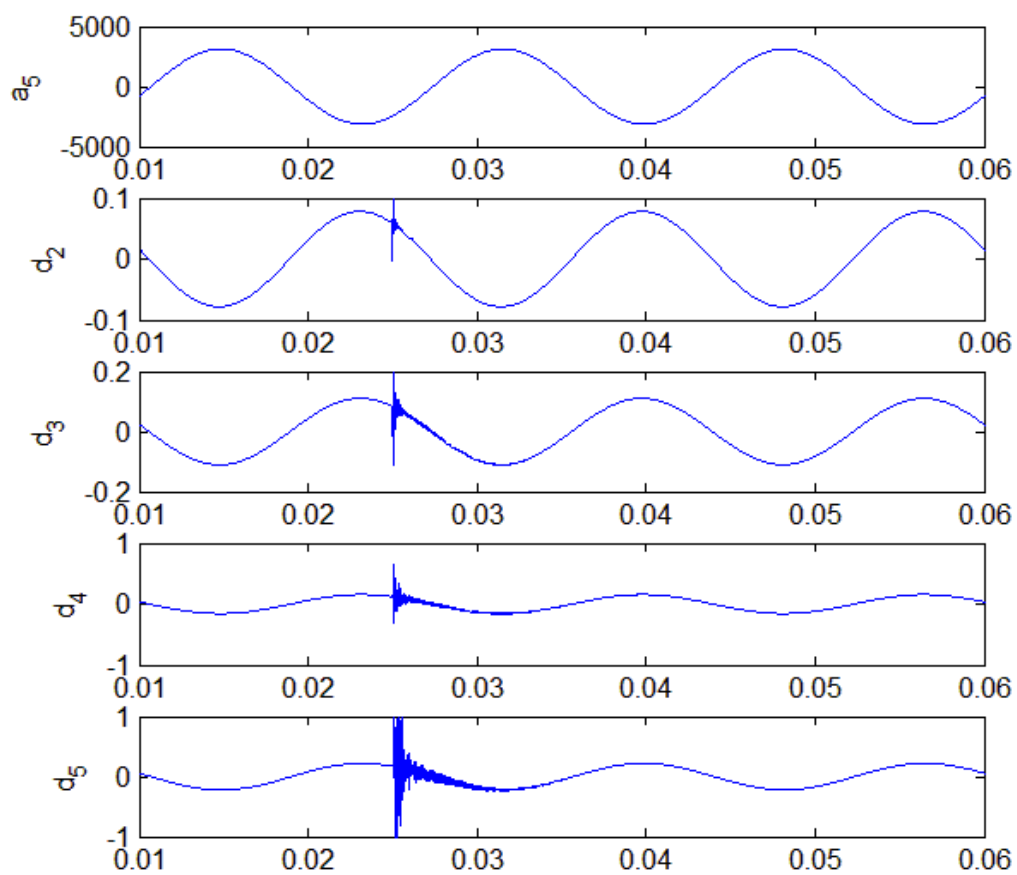


شکل (الف-۶) - اثر HIF فاز C بر روی ولتاژ خط CA

اتصال کوتاه دو فاز B و C به هم

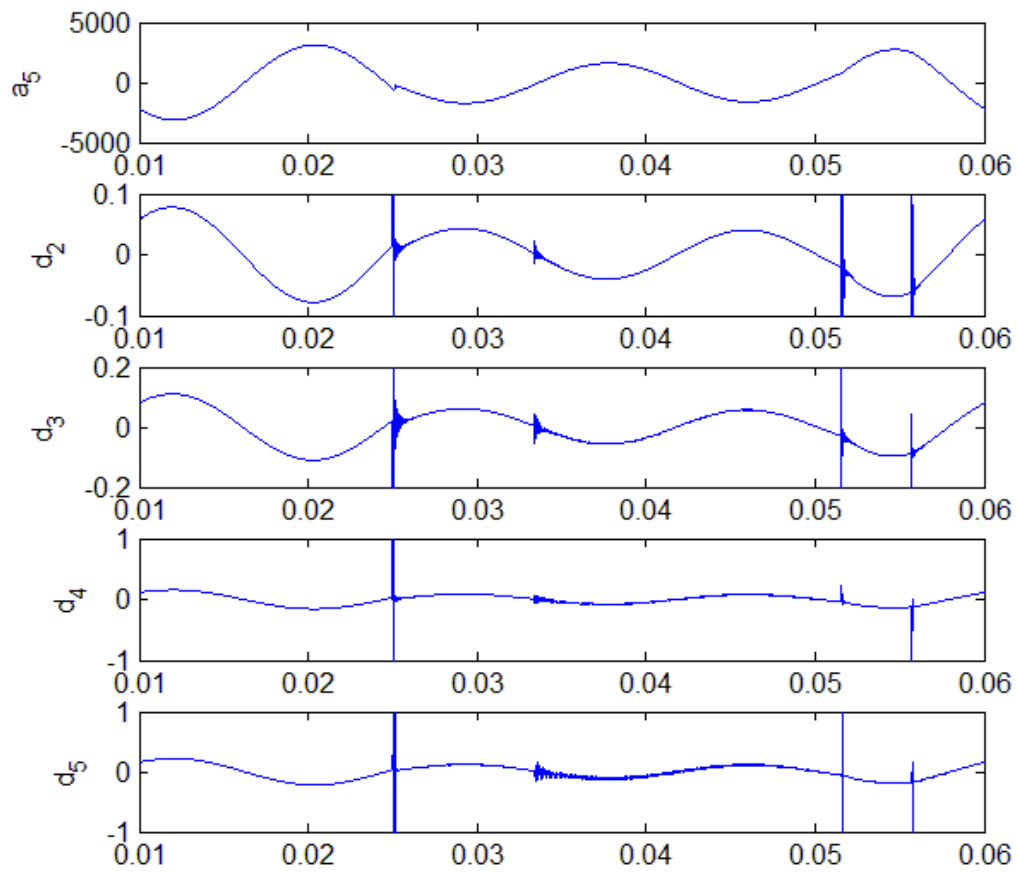


شکل (الف-۷)- اثر بر خورد فاز های B و C بر روی خط AB

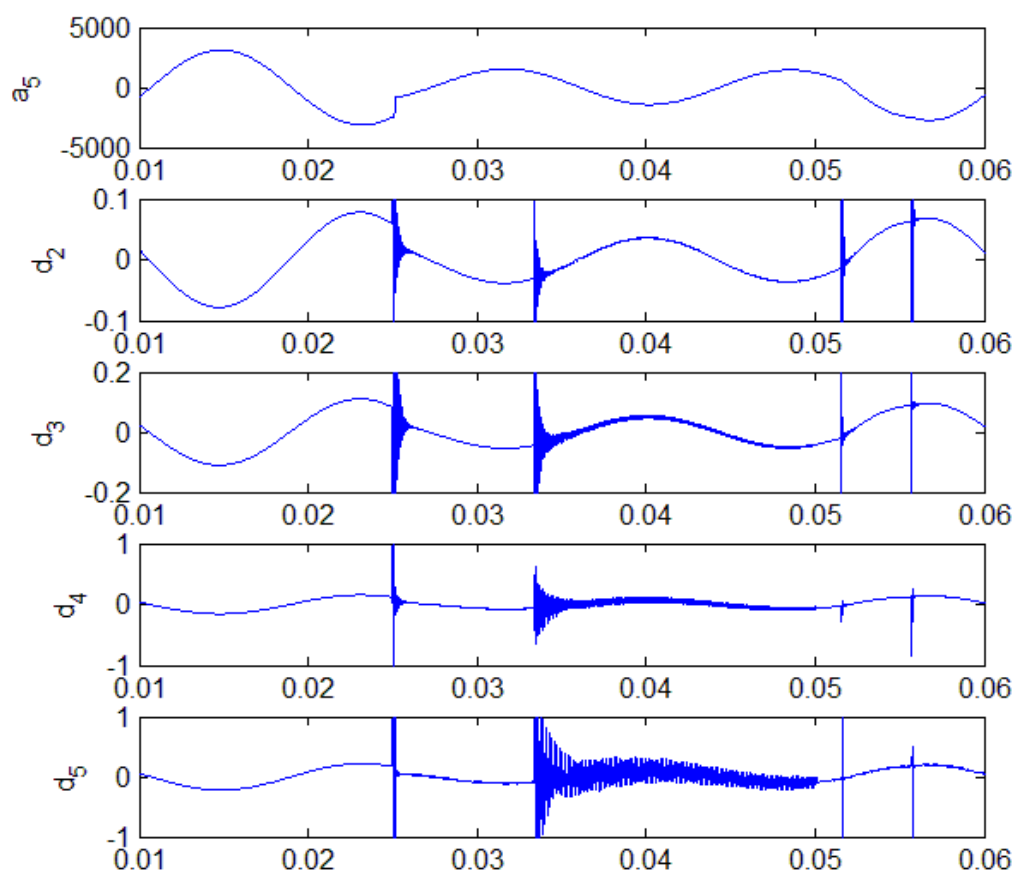


شکل (الف-۸)- اثر بر خورد فاز های B و C بر روی خط CA

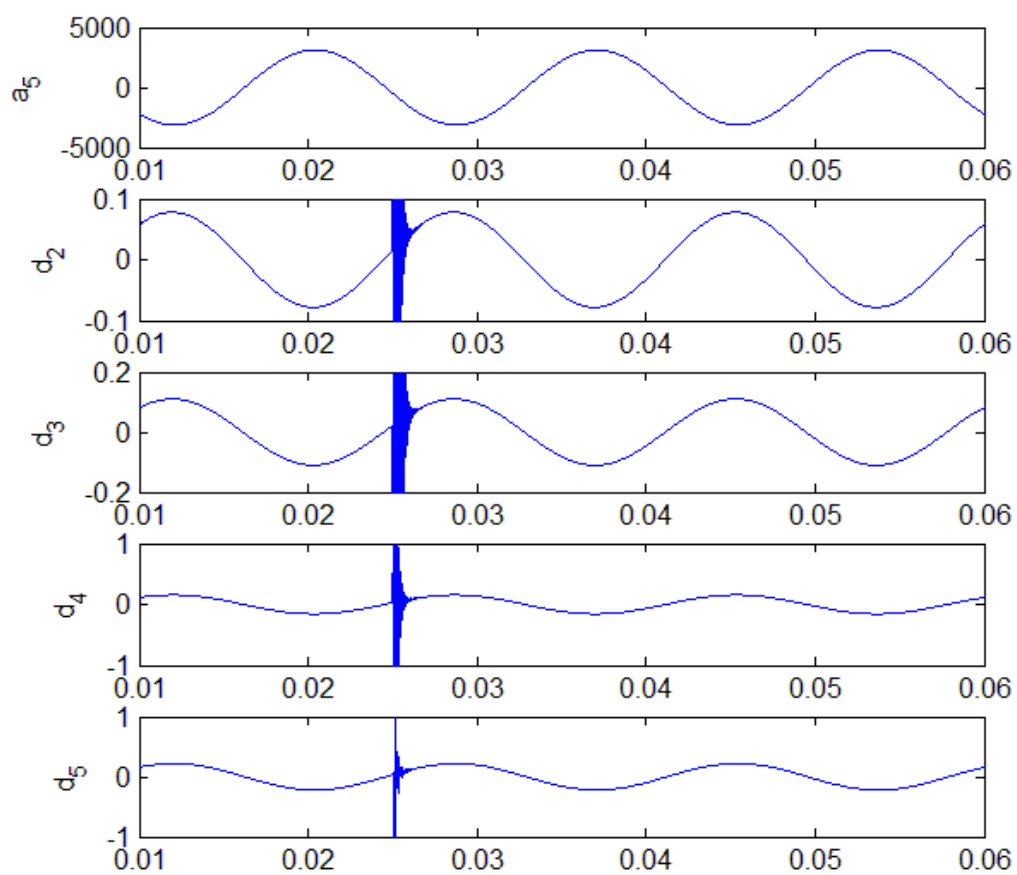
خط های متداخل



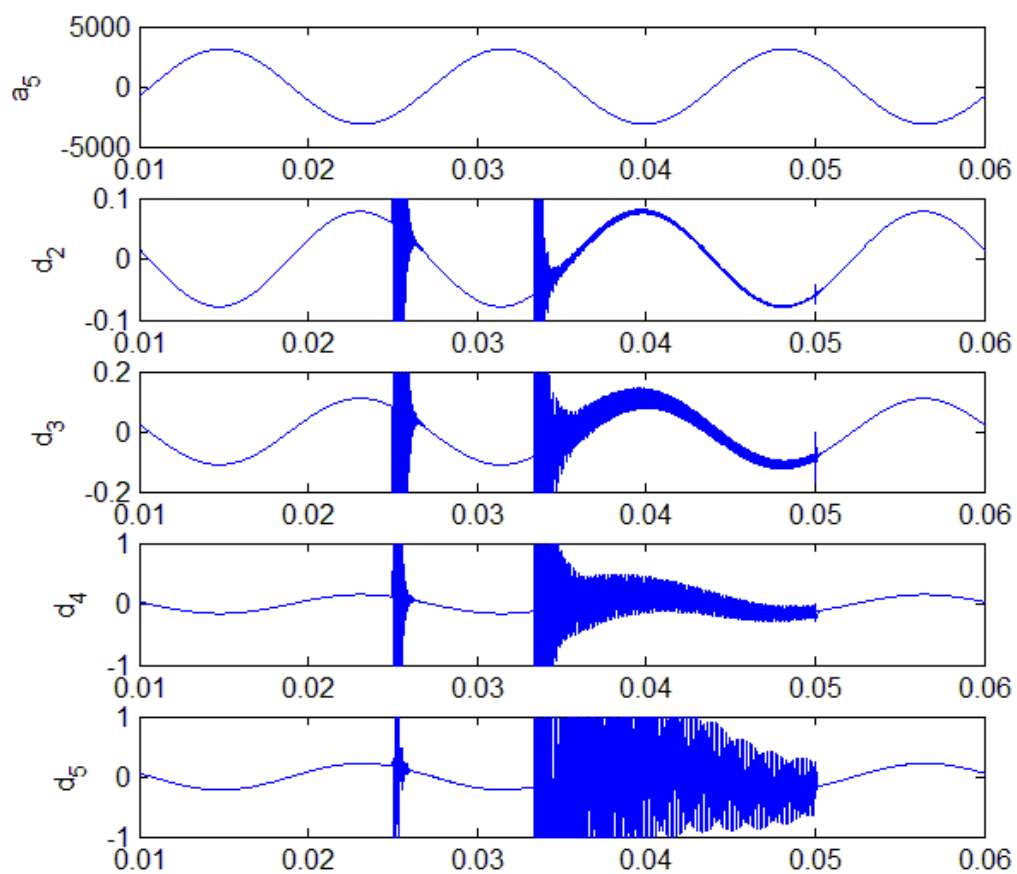
شکل(الف-۹)- اثر رخداد متداخل خطای تکفاز به زمین و کلید زنی بار نامتعادل بر روی خط AB



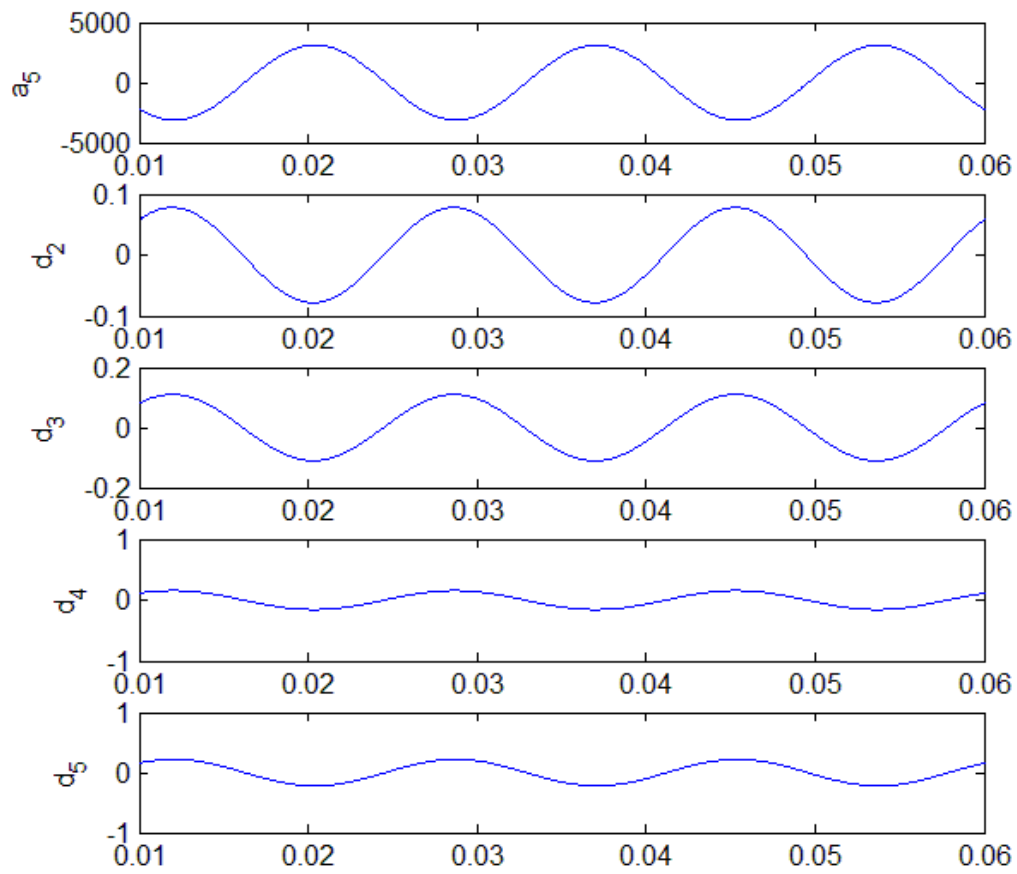
شکل(الف-۱۰)- اثر رخداد متداخل خطای تکفاز به زمین و کلید زنی بار نامتعادل بر روی خط CA



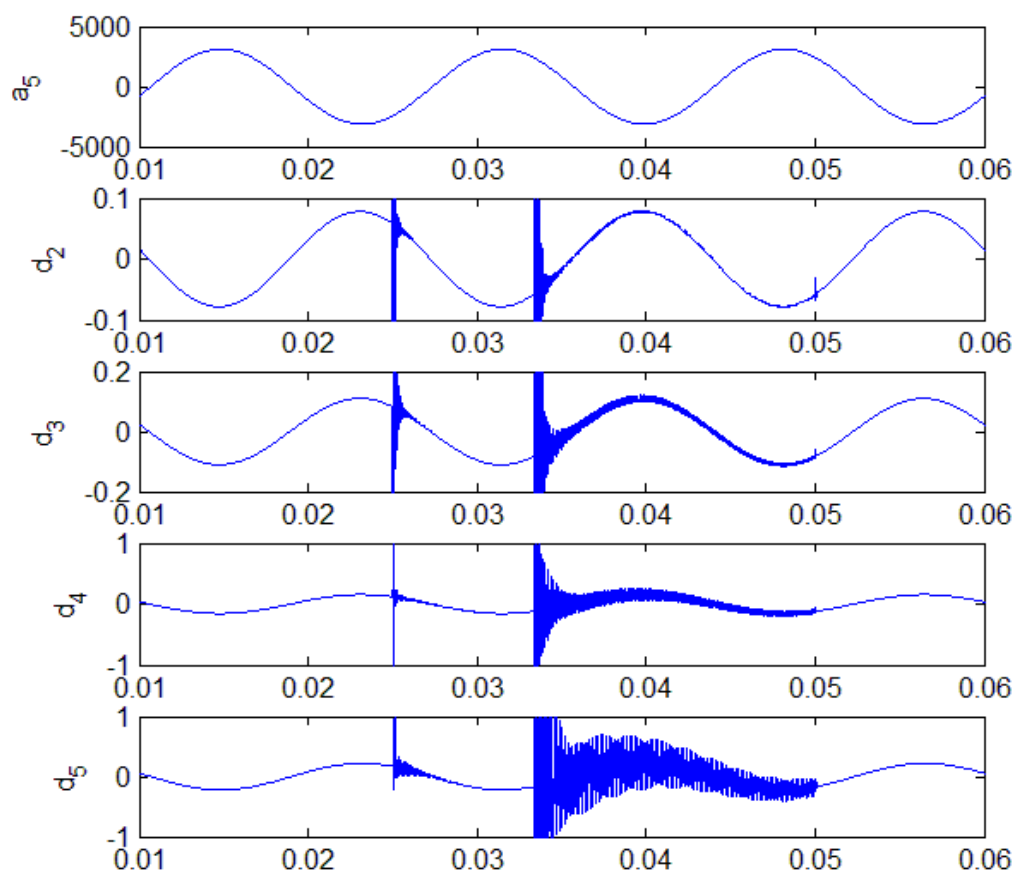
شکل(الف-۱۱)- اثر رخداد متداخل خطای تکفاز به زمین و کلید زنی بانک خازنی بر روی خط AB



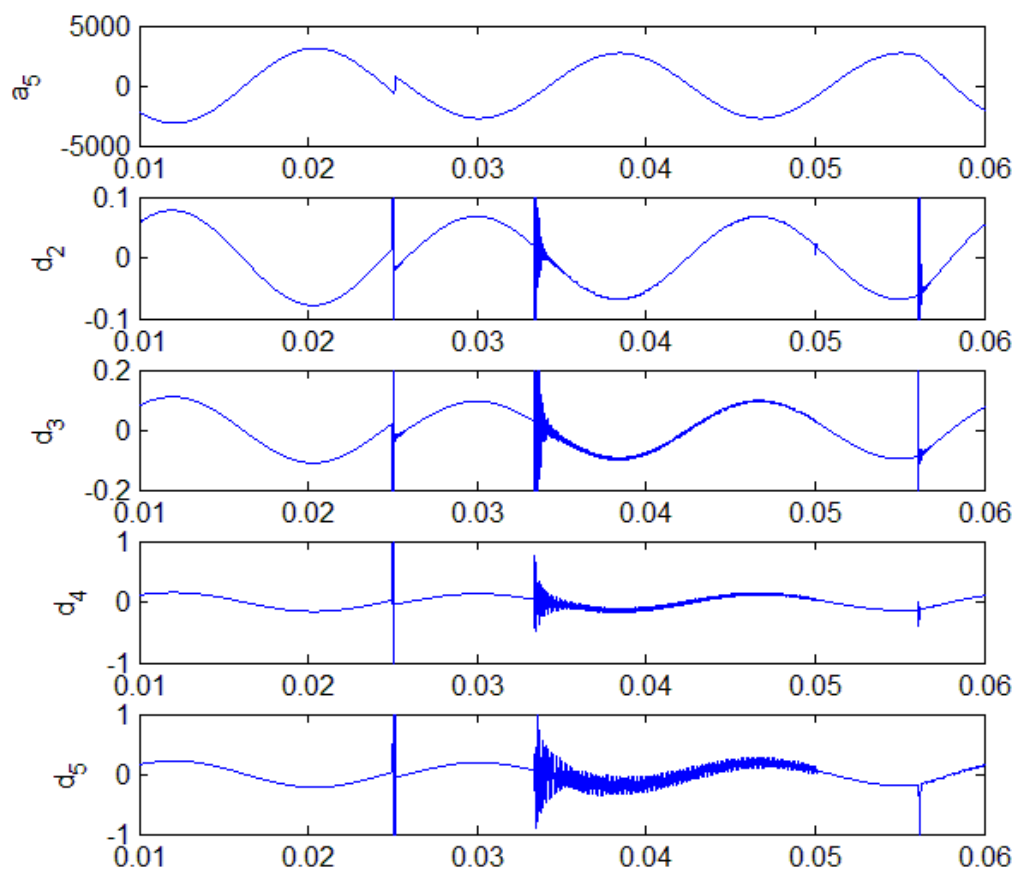
شکل(الف-۱۲)- اثر رخداد متداخل خطای تکفاز به زمین و کلید زنی بانک خازنی بر روی خط CA



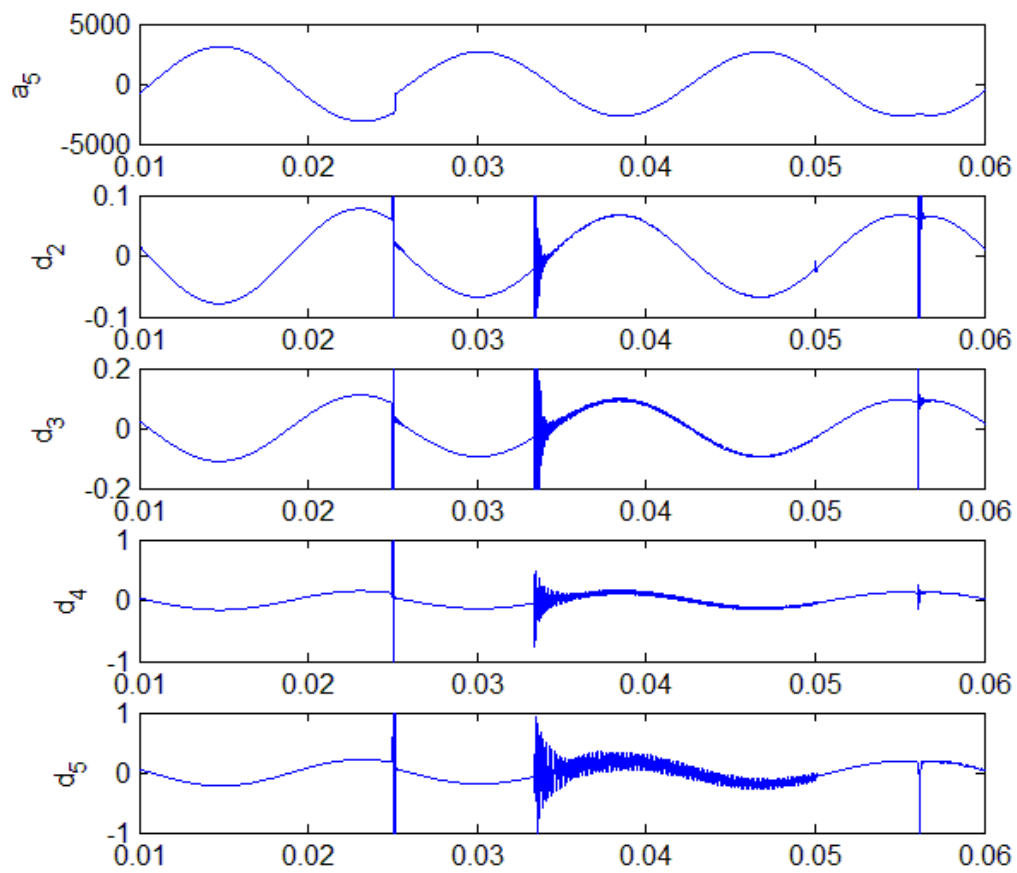
شکل(الف-۱۳)- اثر رخداد متداخل خطای تکفاز به زمین و وقوع HIF بر روی خط AB



شکل(الف-۱۴)- اثر رخداد متداخل خطای تکفاز به زمین و وقوع HIF بر روی خط CA



شکل(الف-۱۵)- اثر رخداد متداخل خطای تکفاز به زمین و وقوع اتصال کوتاه دوفاز به هم بر روی خط AB



شکل(الف-۱۶)- اثر رخداد متداخل خطای تکفاز به زمین و وقوع اتصال کوتاه دوفاز به هم بر روی خط CA

پیوست ب

مبانی تبدیل فوریه

تبدیل فوریه

در یک نگاه کلی، هدف از اعمال یک تبدیل ریاضی بر یک سیگنال، بدست آوردن اطلاعات اضافه‌ای است که در سیگنال خام اولیه قابل دسترس نمی باشند. در اغلب رویکرد های پردازشی در مهندسی پزشکی، منظور از سیگنال خام اولیه، سیگنال مورد نظر در حوزه زمان است. شایان ذکر است که واژه سیگنال به مفهوم عام آن بیان شده است. به عبارت دیگر، از این به بعد، تصویر به منزله یک سیگنال دوبعدی خواهد بود.

همانگونه که عنوان شد، اکثر قریب به اتفاق سیگنال های مورد استفاده در عمل، در حوزه زمان هستند. به عبارت دیگر، درایه های سیگنال، جدای از آنچه سیگنال مورد بحث اندازه گیری می کند، تابعیت زمانی خواهد داشت. بدینسان به هنگام رسم سیگنال، دامنه مقادیر مختلف سیگنال بر حسب زمان رسم می گردند. طبیعتاً این نحوه نمایش، بهترین شکل برای توصیف یک سیگنال نخواهد بود. در بسیاری موارد، اطلاعات سودمند سیگنال در محتوای فرکانسی آن نهفته‌اند که اصطلاحاً به آن، طیف سیگنال گفته می شود. به بیان ساده، طیف یک سیگنال نشان دهنده فرکانس های موجود در آن سیگنال است.

از دیدگاه علمی، اگر یک متغیر ریاضی یا فیزیکی دارای تغییراتی سریع باشد، به آن پرفرکانس (یا فرکانس بالا) گفته می شود و در مقابل اگر تغییرات سیگنال ناچیز باشد، اصطلاحاً سیگنال را فرکانس پائین می نامند. به بیان صریح تر می توان گفت که مفهوم فرکانس در حقیقت نشان دهنده نرخ تغییرات متغیر متناظر با آن است. فرکانس را با معیار سیکل بر ثانیه (هرتز) اندازه می گیرند. به عنوان مثال، فرکانس برق شهر، ۵۰ هرتز می باشد که نشان دهنده این است که جریان الکتریسیته در هر ثانیه، ۵۰ بار سیکل سینوسی را طی می کند. با توجه به مفهوم فرکانس می بایست ابزاری برای سنجش محتوای فرکانسی یک سیگنال داشت. این ابزار همان تبدیل فوریه است که در ادامه به شرح آن می پردازیم.

آنالیز در حوزه فرکانس

در قرن ۱۹ میلادی، یک ریاضیدان فرانسوی به نام جوزف فوریه نشان داد که هر تابع متناوب را می توان بر حسب مجموع نامتناهی از توابع پایه سینوسی و کسینوسی (و یا تابع نمایی متناوب مختلط) نوشت. سال ها بعد از کشف این خاصیت شگفت انگیز توابع متناوب، این ایده تحت عنوان تبدیل فوریه (Fourier Transform) به سایر توابع نیز تعمیم داده شد. پس از این تعمیم بود که تبدیل فوریه به عنوان ابزاری کارآمد در محاسبات کامپیوتری وارد گردید.

در سال ۱۹۶۵، یعنی نزدیک به ۱۵۰ سال بعد از آنکه جوزف فوریه ایده ی خود را مطرح نمود، یک الگوریتم جدید با نام تبدیل فوریه سریع (FFT) جای خود را در محاسبات کامپیوتری باز کرد. تبدیل فوریه، یک سیگنال را به مجموعی از نامتناهی تابع نمایی مختلط افراز می کند که هر کدام از آنها دارای فرکانس های مختلفی می باشند.

طبق تعریف، تبدیل فوریه سیگنال پیوسته در زمان $x(t)$ به صورت زیر بدست می آید:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (1)$$

که در آن t زمان و f فرکانس است.

رابطه ی (۱) تبدیل فوریه سیگنال $x(t)$ را نشان می دهد. با استفاده از تبدیل فوریه، می توان سیگنال زمانی را به صورت یکتا به نحو زیر تعیین نمود که در اصطلاح، عکس تبدیل فوریه سیگنال نامیده می شود:

$$x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(f) e^{+j2\pi ft} dt \quad (2)$$

با دقت در رابطه (۱) می توان دید که سیگنال $x(t)$ در یک جمله نمایی با فرکانس معین f ضرب شده است و سپس بر تمام زمان ها انتگرال گرفته شده است. باید دقت نمود که جمله نمایی را می توان به صورت زیر نوشت:

$$e^{j2\pi ft} = \cos(j2\pi ft) + j \sin(j2\pi ft) \quad (۳)$$

عبارت بالا شامل یک جمله حقیقی کسینوسی با فرکانس f و یک جمله موهومی سینوسی با فرکانس f می باشد. بنابراین آنچه در تبدیل فوریه صورت می پذیرد در حقیقت ضرب نمودن سیگنال زمانی در یک تابع نمایی مختلط است که در واقع ترکیبی از دو تابع تناوبی با فرکانس f می باشد. در گام بعد، از این حاصل ضرب انتگرال گیری زمانی می شود. به بیان بهتر، تمام نقاط این حاصلضرب با یکدیگر جمع می شوند. در نهایت اگر حاصل این انتگرال گیری (که چیزی جز نوعی جمع نامتناهی نیست) عددی بزرگ باشد، آنگاه می گوئیم سیگنال $x(t)$ یک مؤلفه فرکانسی برجسته در فرکانس f دارد. اگر حاصل مقداری کوچک باشد، گوئیم مؤلفه فرکانسی f در این سیگنال غالب نیست. صفر بودن حاصل انتگرال نیز به معنای عدم وجود چنین فرکانسی در سیگنال است.

برای آن که بررسی دقیقتری نسبت به عملکرد این انتگرال گیری داشته باشیم، فرض کنید سیگنال دارای مؤلفه فرکانسی غالب در فرکانس مشخص f باشد. با ضرب این سیگنال در جمله سینوسی با همان فرکانس f مؤلفه فرکانسی غالب و جمله سینوسی بر یکدیگر انطباق یافته و لذا مقدار عددی حاصلضرب نسبتاً بزرگ خواهد بود که نشان می دهد سیگنال در فرکانس f یک مؤلفه برجسته دارد.

شایان ذکر است، انتگرال تبدیل فوریه بر روی متغیر زمان گرفته می شود حال آن که سمت چپ این معادله برحسب فرکانس است. بنابراین، رابطه (۱) باید به ازای کلیه مقادیر f محاسبه گردد. دقت به این نکته که حدود

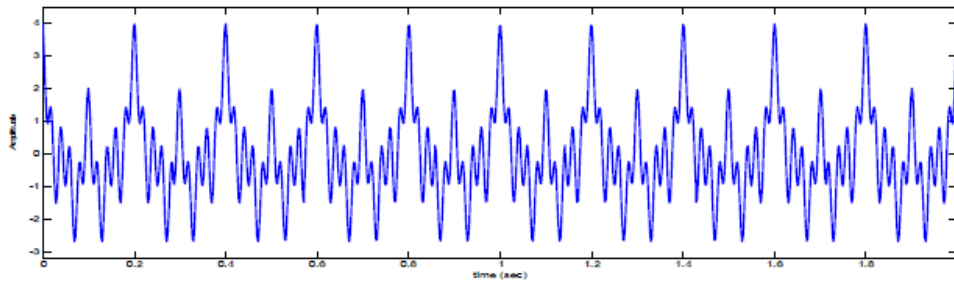
انتگرال رابطه (۱) از $-\infty$ تا $+\infty$ می باشد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. چرا که با این تعبیر، هیچ تفاوتی ندارد که فرکانس f در کجای زمان حضور داشته باشد.

به بیان دیگر، یک فرکانس غالب، صرف نظر از این که در چه زمان‌هایی در سیگنال ظاهر شود، حاصل انتگرال را به یک میزان تحت تأثیر قرار می دهد. این نکته، ناکارآمدی تبدیل فوریه را در آنالیز سیگنال‌هایی که فرکانس متغیر دارند نشان می دهد. این گونه سیگنال‌ها در اصطلاح نایستا (non-stationary) نامیده می شوند.

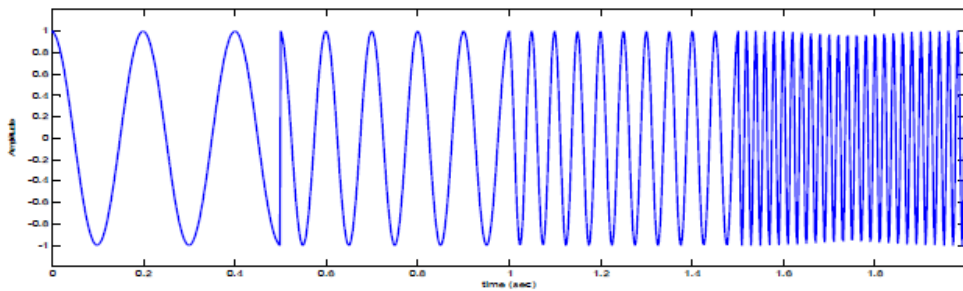
از بحث بالا می توان چنین نتیجه گیری نمود که تبدیل فوریه تنها بیان کننده‌ی این است که فرکانس f در سیگنال مورد نظر وجود دارد یا خیر، اما هیچ نوع اطلاعاتی در مورد بازه زمانی متناظر با پدیداری آن فرکانس در اختیار نمی گذارد. لذا توجه به ایستا بودن یا نبودن سیگنال، پیش از انجام آنالیز فوریه الزامی است.

برای آشنایی بیشتر با کارکرد تبدیل فوریه و ضعف آن در مشخص سازی موقعیت زمانی فرکانس‌های موجود در سیگنال، مثال زیر را در نظر بگیرید. فرض کنید سیگنال $x_1(t)$ مخلوطی از ۴ تابع کسینوسی با فرکانس‌های ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ هرتز باشد که در تمام زمان‌ها حضور دارند. همچنین فرض کنید سیگنال $x_2(t)$ مخلوطی از همان ۴ فرکانس باشد با این تفاوت که هر کدام از فرکانس‌ها فقط در یک بازه‌ی زمانی خاص حضور دارند.

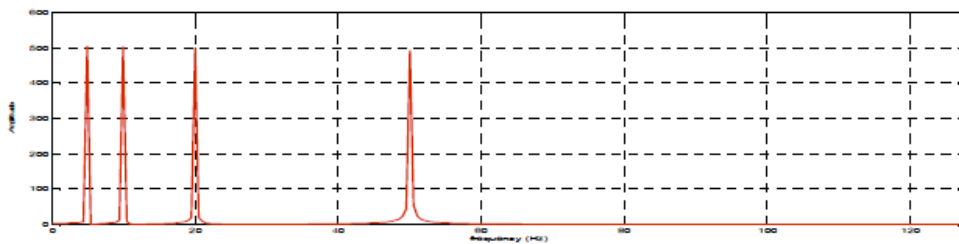
شکل (ب-۱) این دو سیگنال را به همراه تبدیل فوریه آنها نشان می دهد.



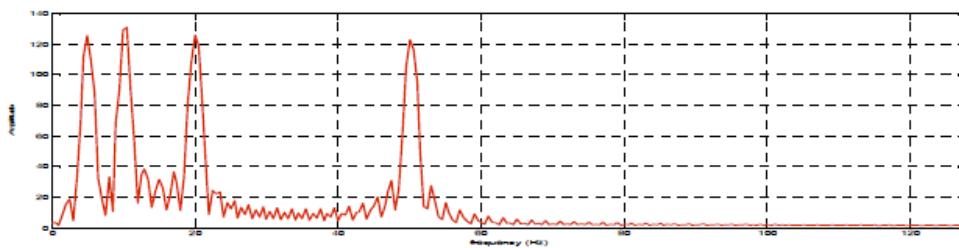
(الف)



(ب)



(پ)



(ت)

شکل (ب-۱) - دو نمونه سیگنال شامل مخلوطی از فرکانس های ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ هرتز و تبدیل فوریه آنها (الف) مخلوط کسینوسی شامل تمام فرکانس ها در تمام زمان ها، (ب) مخلوط کسینوسی به نحوی که هر فرکانس فقط در یک بازه زمانی به خصوص حضور دارد، (پ) تبدیل

فوریه سیگنال الف، (ت) تبدیل فوریه سیگنال [10]

آنچنانکه دیده می شود در هر دو طیف، ۴ قله برجسته متناظر با فرکانس های ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ هرتز وجود دارد. البته با یک مقایسه بصری می توان دید که طیف متناظر با سیگنال الف، فقط دارای ۴ قله برجسته به شکل پیک حول فرکانس متناظر با خود می باشد، در حالی که طیف سیگنال ب، علاوه بر ۴ قله برجسته، دارای نوسانات و قله های کوچکتر دیگری در سایر فرکانس ها نیز می باشد.

دلیل کم دامنه بودن این نوسانات این است که آنها، فرکانس غالب سیگنال نیستند، بلکه در نتیجه تغییرات ناگهانی بین فرکانس های مختلف ظاهر شده اند.

در یک نگاه کلی، هر دو طیف نشان دهنده وجود ۴ فرکانس غالب در سیگنال می باشد اما هیچگونه اطلاعات زمانی (مکانی) در اختیار قرار نمی دهد، لذا تبدیل فوریه ابزار مناسبی برای تمایز بین این دو سیگنال نیست. اکنون به دنبال این هستیم که به نوعی اطلاعات زمانی را در کنار مشخصات فرکانسی سیگنال وارد کنیم. اولین تلاش در این زمینه به تبدیل فوریه زمان کوتاه برمی گردد.

تبدیل فوریه زمان-کوتاه

در بخش پیش دیدیم که تبدیل فوریه در آنالیز سیگنال های نایبستا ضعف دارد. ساده ترین ایده ای که به ذهن می رسد این است که می توان بخش کوتاهی از یک سیگنال نایبستا را ایستا فرض نمود. این نکته در شکل (ب-۱) ب نیز به وضوح دیده می شود، چرا که به وضوح، این سیگنال نایبستا در هر بازه 0.5 ثانیه ای ایستا است. بنابراین می توان با پنجره کردن سیگنال، بخشی از سیگنال که قرار است ایستا فرض شود را استخراج نمود. البته باید دقت داشت که اندازه پنجره به نحوی انتخاب شود که فرض ایستا بودن برای تمام بخش های جدا شده توسط آن، برقرار باشد.

با توجه به نکات بالا می توان دید که بین تبدیل فوریه و نسخه زمان-کوتاه آن تفاوت چندانی وجود ندارد. تنها تفاوت این است که در تبدیل فوریه زمان-کوتاه (Short Time Fourier Transform)، سیگنال به بخش های به حد کافی کوچکی تقسیم می شود به نحوی که بتوان این قسمت ها را ایستا فرض نمود. بدین منظور از

یک تابع پنجره w استفاده می شود که طول آن برابر است با حداقل طول مورد نیاز برای آن که فرض ایستا بودن قطعات جداشده سیگنال معتبر باشد.

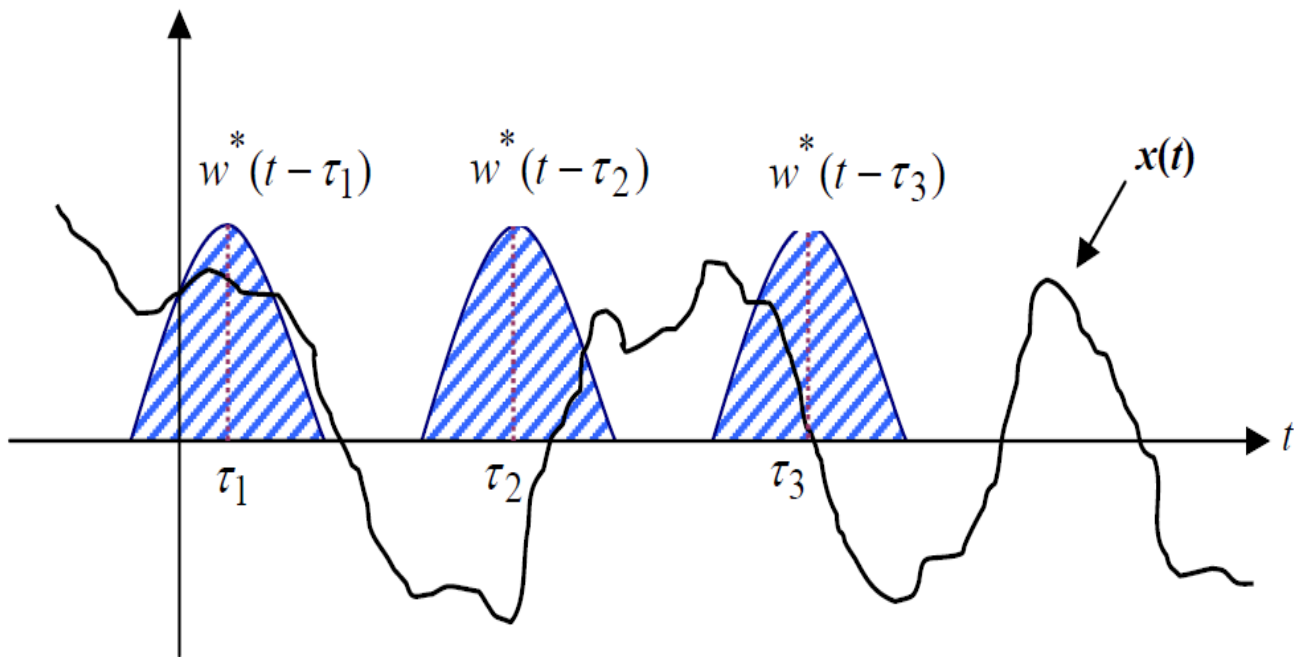
بدین ترتیب، تبدیل فوریه زمان- کوتاه سیگنال $x(t)$ با استفاده از پنجره زمانی $w(t)$ به صورت زیر تعریف می شود :

$$STFT_x^w(\tau, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) w^*(t - \tau) e^{-j2\pi ft} dt \quad (4)$$

که در آن f متغیر فرکانسی و τ متغیر زمانی است.

در حقیقت تبدیل فوریه زمان-کوتاه، همان تبدیل فوریه سیگنال پنجره شده است. با شروع از ابتدای سیگنال، تابع پنجره در سیگنال ضرب شده و سپس تبدیل فوریه این سیگنال پنجره شده محاسبه می گردد. در گام بعد، پنجره به میزان τ شیفت می یابد و روند قبل مجدداً تکرار می شود. بنابراین برای هر مقدار τ و f ، تبدیل فوریه زمان- کوتاه محاسبه می گردد. نحوه محاسبه تبدیل فوریه زمان- کوتاه و نقش تابع پنجره در شکل (ب-۲) به صورت گرافیکی نشان داده شده است.

با دقت در رابطه (۴) درمی یابیم که تبدیل فوریه زمان-کوتاه نوعی تبدیل زمان- فرکانس است چرا که خروجی آن دارای دو بعد فرکانس f و جابجایی زمانی τ است. لذا با احتساب دامنه ضرایب تبدیل، می توان شکل تبدیل فوریه زمان-کوتاه را به صورت یک نمودار سه بعدی ارائه نمود.



شکل (ب-۲) - نمایش گرافیکی نحوه پنجره کردن سیگنال غیرایستا به منظور محاسبه تبدیل فوریه زمان-کوتاه [10]

به خاطر داریم که در تبدیل فوریه، در حوزه فرکانس هیچ گونه مشکل رزولوشن فرکانسی نداشتیم، چرا که دقیقاً می دانستیم چه فرکانس هایی در سیگنال موجود می باشد (اما از محل زمانی آن ها اطلاعی در دست نبود). به طور مشابه، در حوزه ی زمان، مقدار سیگنال را در هر نمونه زمانی می دانستیم و لذا هیچ مشکلی با رزولوشن زمانی نداشتیم. بالعکس، رزولوشن زمانی در حوزه فرکانس و رزولوشن فرکانسی در حوزه زمان در تبدیل فوریه صفر است، چرا که حوزه ی مورد نظر، هیچ گونه اطلاعاتی از آن ها در اختیار ما قرار نمی دهد. از طرف دیگر باید دقت داشت آنچه که سبب می شود در حوزه فرکانس بهترین رزولوشن فرکانسی را دارا باشیم، در حقیقت همان هسته نمایی $exp(-j2\pi ft)$ است که در تمام زمان ها، از $-\infty$ تا $+\infty$ حضور دارد. حال آنکه در تبدیل فوریه زمان-کوتاه، طول پنجره مورد استفاده متناهی است که سبب کاهش رزولوشن فرکانسی می گردد. بدینسان در تبدیل فوریه زمان-کوتاه، دقیقاً نمی دانیم چه مؤلفه ی فرکانسی در سیگنال موجود است

بلکه تنها یک محدوده (یک باند فرکانسی) خواهیم داشت. لذا به دلیل محدود بودن طول پنجره، رزولوشن فرکانسی تبدیل فوریه زمان- کوتاه بهترین خواهد بود.

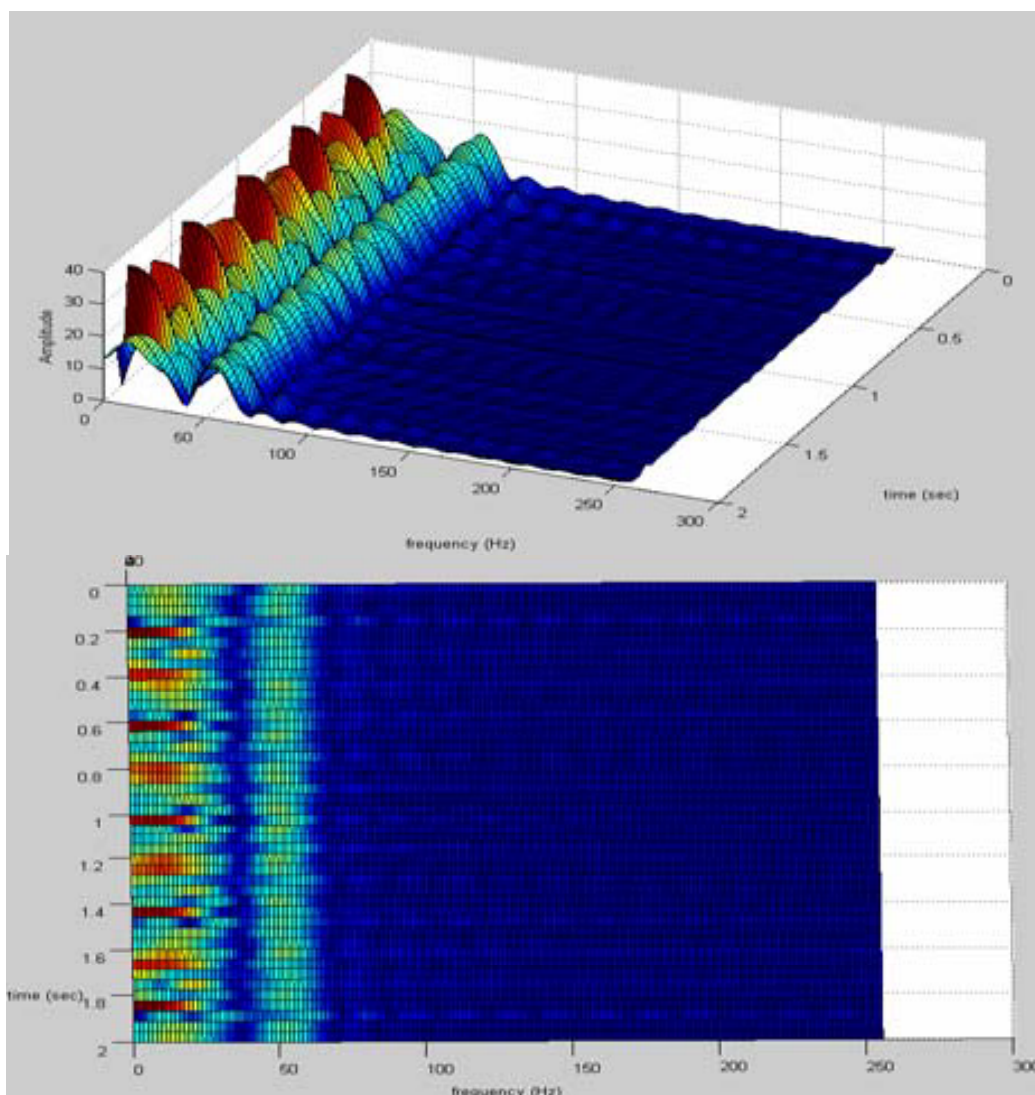
دقت داریم که هرچه طول پنجره مورد استفاده بزرگتر باشد، به سمت تبدیل فوریه پیش می‌رویم. بنابراین با انتخاب پنجره زمانی بزرگ، رزولوشن فرکانسی افزایش می‌یابد. حال آن که رزولوشن زمانی یک پنجره بزرگ کم است. در نقطه مقابل، با انتخاب پنجره زمانی کوچک، رزولوشن زمانی خوبی خواهیم داشت اما رزولوشن فرکانسی نامناسب خواهد بود. از آنجا که پنجره به کار رفته در محاسبه تبدیل فوریه زمان- کوتاه ثابت است، لذا بر حسب سیگنال مورد تحلیل، بایستی نوعی مصالحه بین رزولوشن زمانی و فرکانسی قائل شویم، چرا که نمی‌توان همزمان هر دو را خوب کرد.

برای آشنایی بیشتر با نحوه عملکرد تبدیل فوریه زمان- کوتاه، نتایج حاصل از اعمال این تبدیل بر سیگنال‌های الف و ب شکل (ب-۱) با استفاده از دو پنجره با طولهای کم و زیاد به ترتیب در شکل‌های (ب-۳) و (ب-۴) آورده شده‌اند.

آنچنانکه دیده می‌شود در هر دو شکل با افزایش طول پنجره، رزولوشن فرکانسی بهتر می‌شود (باند باریکتر در حوزه فرکانس) و رزولوشن زمانی کاهش می‌یابد. این امر به ویژه در شکل (ب-۴) مشخص و بارزتر می‌باشد. باید دقت داشت که نتیجه‌ی حاصل از اعمال تبدیل فوریه زمان-کوتاه بر سیگنال غیر ایستا، جدای از اطلاعات فرکانسی، اطلاعات زمانی را نیز به خوبی دربردارد. به عبارت دیگر، با یک نگاه به شکل (ب-۴) می‌توان به سادگی دریافت که هر مؤلفه‌ی فرکانسی در چه بازه‌ی زمانی حضور دارد. بنابراین با افزودن تابع پنجره به فرمول تبدیل فوریه، به نسخه جدیدی رسیدیم که اطلاعات توأم زمانی و فرکانسی را دربردارد.

تنها مسأله‌ای که باقی می‌ماند، انتخاب اندازه پنجره است. باید دقت داشت که انتخاب پنجره با طول بزرگتر هرچند به افزایش رزولوشن فرکانسی کمک می‌کند، اما فرض ایستا بودن قطعه‌های پنجره شده سیگنال را تحت الشعاع قرار می‌دهد. پاسخ این مسأله به کاربرد مورد نظر بستگی دارد و غالباً با توجه به سیگنال مورد تحلیل می‌توان طولی از پنجره را انتخاب نمود که در عین حفظ اعتبار فرض ایستایی، رزولوشن زمانی و فرکانسی قابل

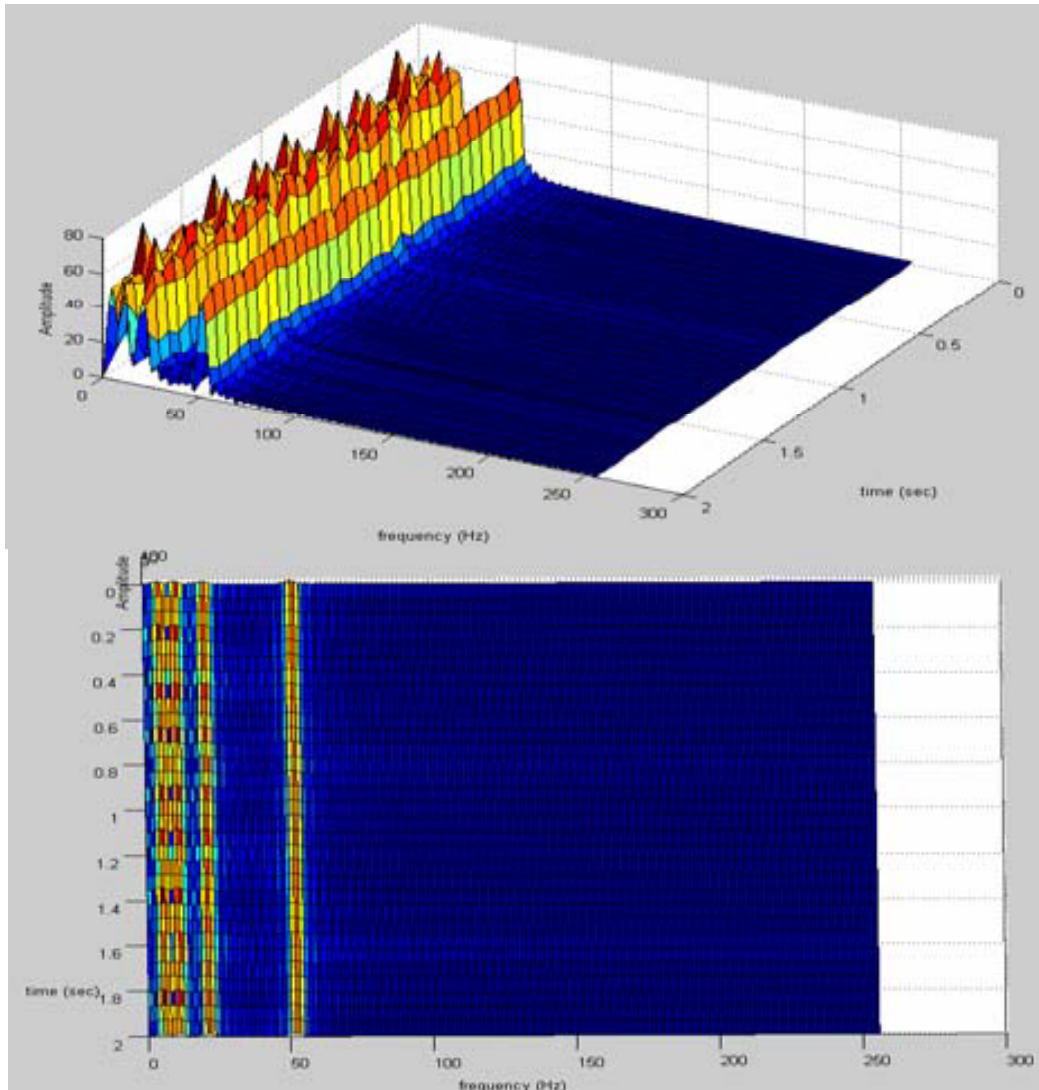
قبولی داشته باشد. اما با توجه به دشواری این رویکرد و وابستگی آن به سیگنال، ایده استفاده از نوعی تبدیل با رزولوشن قابل تغییر به ذهن رسید که منجر به پیدایش تبدیل ویولت گردید.



(الف)

شکل (ب-۳) - نمایش ۳ بعدی و کانتور برای تبدیل فوریه زمان-کوتاه سیگنال ایستای نشان داده شده در شکل (ب-۱) الف با استفاده از

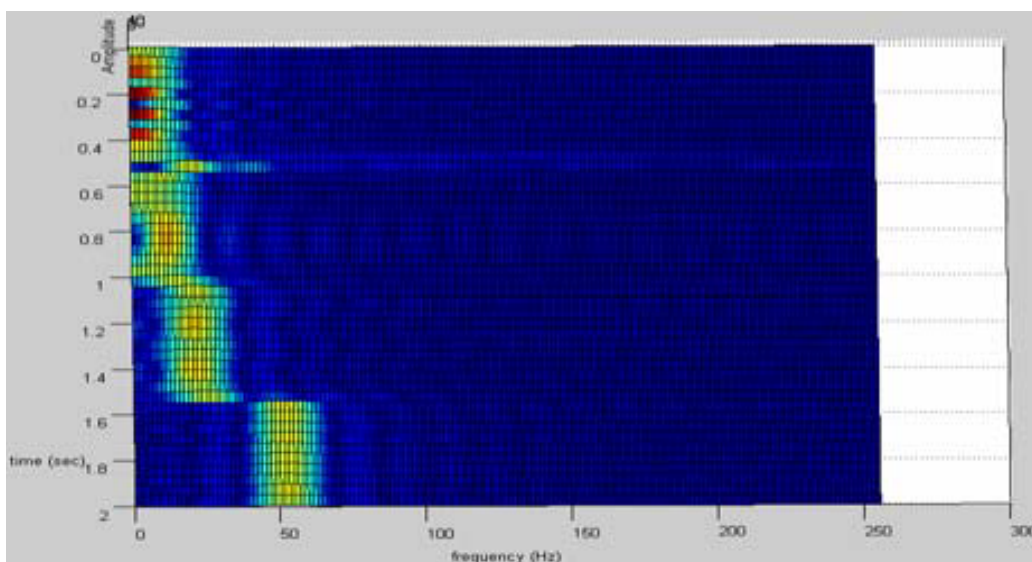
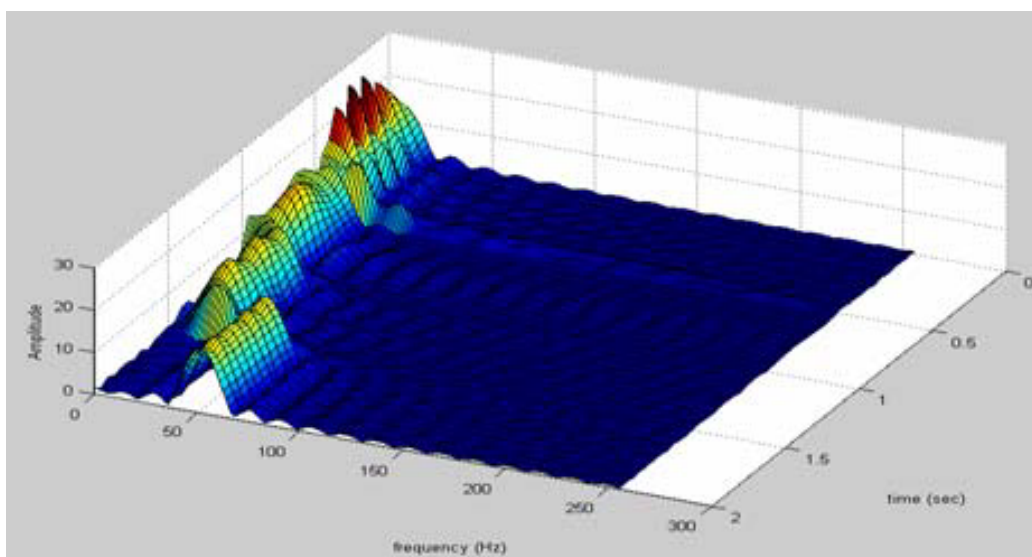
(الف) پنجره ۳۲ نقطه‌ای، [10]



(ب)

شکل (ب-۳) - نمایش ۳ بعدی و کانتور برای تبدیل فوریه زمان- کوتاه سیگنال ایستای نشان داده شده در شکل (ب-۱) الف با استفاده از

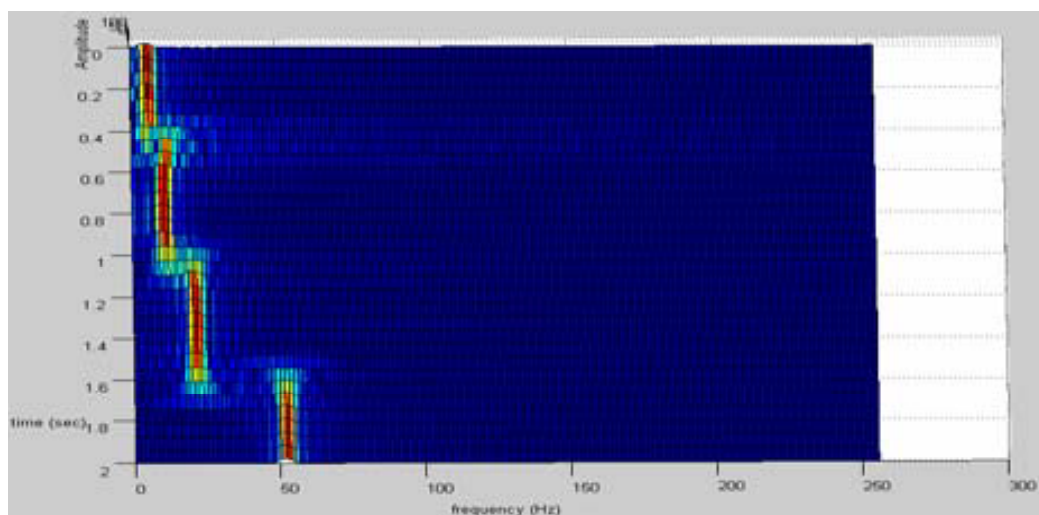
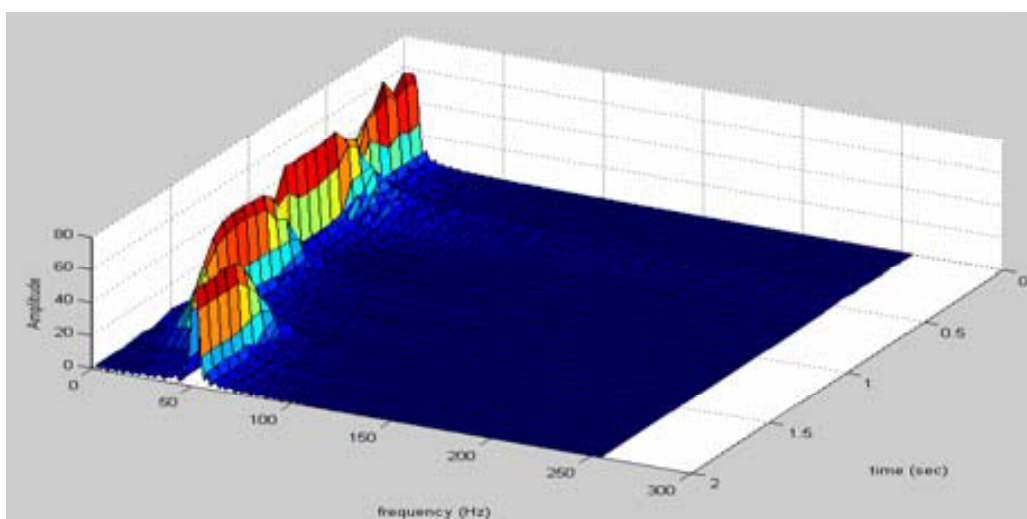
(ب) با استفاده از پنجره ۱۲۸ نقطه‌ای [10]



(الف)

شکل (ب-۴) - نمایش ۳ بعدی و کانتور برای تبدیل فوریه زمان- کوتاه سیگنال نا ایستای نشان داده شده در شکل (ب-۱) الف با استفاده از

(الف) پنجره ۳۲ نقطه‌ای، [10]



(ب)

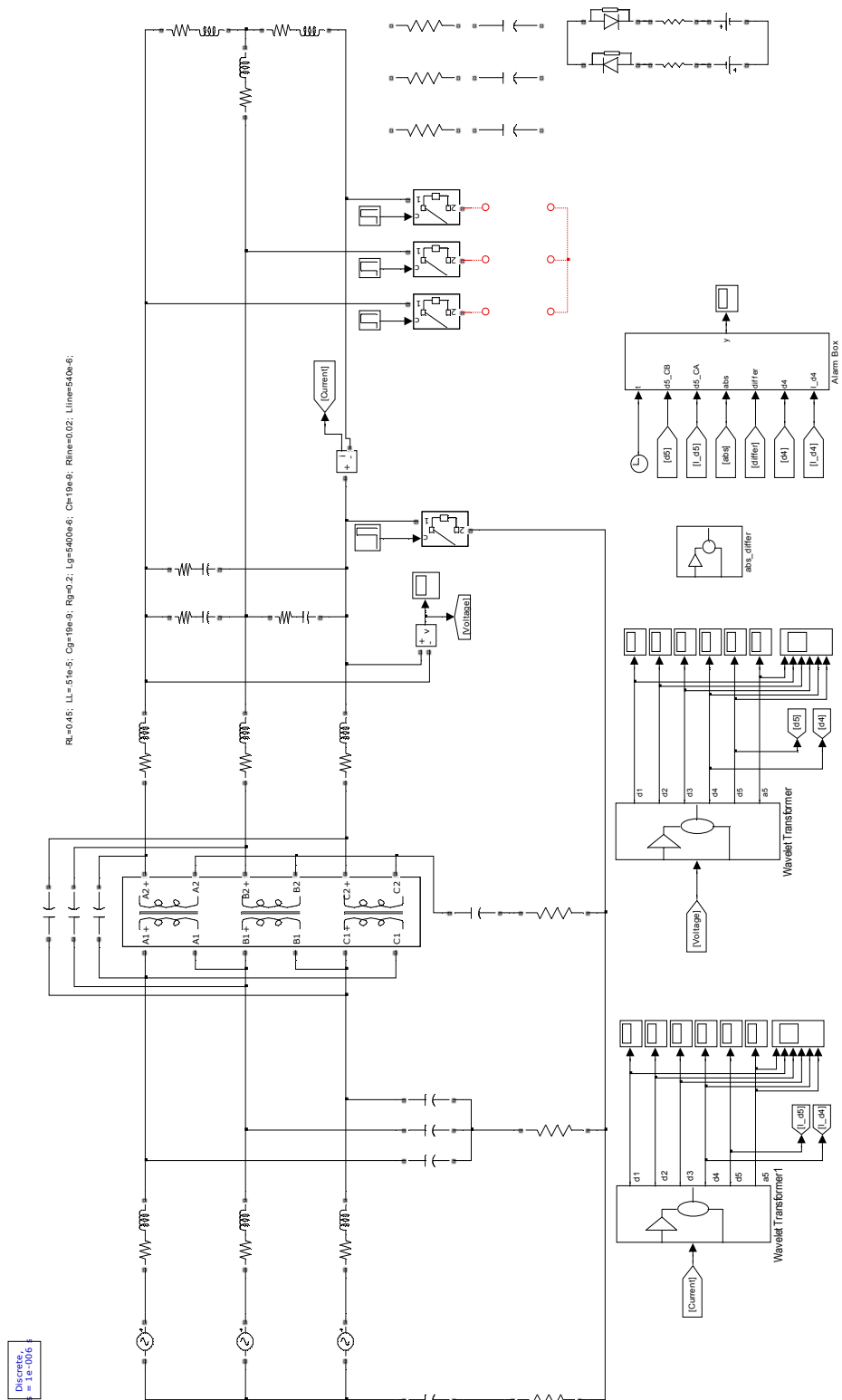
شکل (ب-۴) - نمایش ۳ بعدی و کانتور برای تبدیل فوریه زمان- کوتاه سیگنال نا ایستای نشان داده شده در شکل (ب-۱) الف با استفاده از

(ب) با استفاده از پنجره ۱۲۸ نقطه‌ای [10]

پیوست ج

مدار شبیه سازی انواع پدیده ها به همراه بلوک های

آلارم و تبدیل موجک



شکل (ج-۱) - دیاگرام بلوکی شبیه سازی

منابع و مراجع

- [1] H. Douglas , P. Pillay and T. H. Ortmeier, "The application of wavelets to shipboard power system protection," *7-th Int. Conf. Developments in Power System IEEE 2005*.
- [2] B. M. Aucoin and B. D. Russell, "Detection of distribution high impedance faults using burst noise signals near 60 Hz," *IEEE Trans. Power Del.*, vol.PWRD-2, no. 2, pp. 342–348, Apr. 1987.
- [3] B. D. Russell and C. L. Benner, "Analysis of high impedance faults using fractal techniques," *IEEE Trans. Ind. Applicat.* vol. 33, no. 3, pp. 635–640, May/Jun. 1997.
- [4] D. T. W. Chan and X. Yibin, "A novel technique for high impedance fault identification," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 13, no. 3, pp. 738–744, Jul. 1998.
- [5] B. D. Russell and C. L. Benner, "Arcing fault detection for distribution feeders: Security assessment in long term field trials," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 10, no. 2, pp. 676–683, Apr. 1995.
- [6] A. A. Girgis, W. Chang, and E. B. Makram, "Analysis of high-impedance fault generated signals using a Kalman filtering approach," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 5, pp. 1714–1722, Oct. 1990.
- [7] E. A. Mohamed and N. D. Rao, "Artificial neural network based fault diagnostic system for electric power distribution feeders," *Elect. Power Syst. Res.*, vol. 35, no.1, pp. 1–10, 1995.
- [8] S. Ebron, D. L. Lubkeman, and M. White, "A neural network approach to the detection of incipient faults on power distribution feeders," *IEEE Trans. Power Del.*, vol.5, no. 2, pp. 905–914, Apr. 1990.
- [9] O. Sayyadi, "Wavelet_Basic_Tutorial" , Sharif university of technology, osayadi@ee.sharif.edu osayadi@ee.sharif.edu
- [10] منصور محسنی ، ایمان سعدی نژاد ، سعید مرتضوی ، " آشکارسازی خطاهای امپدانس بالا با استفاده از تبدیل موجک گسسته و سیستم استنتاج فازی " کنفرانس ۲۱ بین المللی برق ، 98-F-CAP-638
- [11] A.Greenwood, "Electrical transient in power system," *Books, 2nd. Ed*, ISBN 0-471-62058-0, United states of America 1991.
- [12] Dennis T. Hall, "Practical marine electrical knowledge," *Books, First.Ed*, BA (Hons), ISBN 1 85609 182 1, 1984.
- [13] Tenglin, John, et al. "High impedance fault detection technology," Report of PSRC Working group D15, 1996.
- [14] Chen, Z. Bo, Z. Q. Jiang, F. (2000). "Wavelet Transform Based Accurate Fault Location and Protection Technique for Cable Circuits" *5th International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management*, APSCOM 2000.

- [15] "The Discrete Wavelet Transform" 2007, MATLAB Help version 7.4.0.287 (R2007a) [Online].
- [16] D. C. Robertson, O. I. Camps, J. S. Mayer, and W. B. Gish, "Wavelet and electromagnetic power system transient" *IEEE Transaction on Power Delivery*, vol. 11(2), April-1996, pp.1050-1057.
- [17] H. Fernando, Magnago and Ali Abur, "Fault location using wavelets" *IEEE Transactions on Power Delivery*, PE-303- PWRD-0-12-1997.
- [18] Joe Air Jiang, Ching Shan Chen, Chih WenLiu, "A new protection scheme for fault detection, direction discrimination, classification, and location in transmission lines" *IEEE transactions on power delivery*, 2003, 18(1), pp.34-42.
- [19] Xinzhou Dong, Wei Kong, Tao Cui, "Fault classification and faulted-phase selection based on the initial current traveling wave," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 24, No.2, April 2009.
- [20] A. Ngaopitakkal, W. Pongchaisrikul, A.Kundakorn, "Analysis of characteristics of simultaneous faults in electrical power system using wavelet transform," in *Proc. 2008 IEEE International Conf. on Sustainable Energy Technologies*, pp.249-252.
- [21] Louis V. Dusang, Jr, "A ground fault protection method for ungrounded systems," *2008 IEEE Electrical Power & Energy Conference*, 978-1-4244-2895-3, 2008.
- [22] Reza Keyhani, Mohamed Deriche and Ed Palmer, "A High impedance fault detector using a neural network and subband decomposition," *International Symposium on Signal Processing and its Applications (ISSPA)*, Kuala Lumpur, Malaysia, 13 - 16 August, 2001.
- [23] Yun-Seok Ko, "A self-Isolation method for the HIF zone under the network-based distribution system," *IEEE Transactions on power delivery*, vol. 24, No. 2, April 2009, 0885-8977, 2009.
- [24] M. R. Haghifam, A. R. Sedighi and O. P. Malik, "Development of a fuzzy inference system based on genetic algorithm for high-impedance fault detection," *The Institution of Engineering and Technology* 2006, doi:10.1049, 2006.
- [25] C. Aguilera, E. Orduna and G. Ratta, "Fault detection, classification and faulted phase selection approach based on high-frequency voltage signals applied to a series-compensated line," *The Institution of Engineering and Technology* 2006, doi:10.1049, 2006.
- [26] S. R. Samantaray, B. K. Panigrahi and P. K. Dash, "High impedance fault detection in power distribution networks using time-frequency transform and probabilistic neural network," *The Institution of Engineering and Technology* 2008, doi:10.1049, 2008.

[27] Yun-Seok Ko, Tae-Ku Kang, Hak-Yeol Park, Ho-Yong Kim, "The FRTU-based fault-zone isolation method in the distribution systems," *IEEE Transactions on power delivery*, vol. 25, no. 2, April 2010, 0885-8977, 2010.

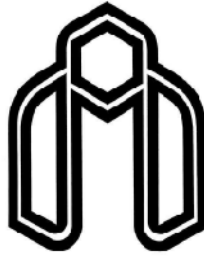
[28] Marek Michalik, Mirosław Lukowicz, Waldemar Rebizant, "Verification of the wavelet-based HIF detecting algorithm performance in solidly grounded MV networks," *IEEE Transactions on power delivery*, vol. 22, no. 4, October 2007, 0885-8977, 2007.

[29] M. Jannati and L. Eslami, "A new technique for detection of high impedance faults in power distribution system based on current harmonic analysis," *24th International power system conference PSC 2009*.

Abstract :

Marine electric equipment recently has been entered to the industry and commerce and before the shipboard power system could provide only the small loads. With appearing this equipment, existence equipped power systems with high reliability, has become inevitable. No earthing is the features of this system that makes the relays fails to recognize the single phase to ground fault (SPTGF). If another SPTGF occurs, makes two phase fault occurs, in this case relays will trip and emergency loads are disconnected. As you know, failure emergency loads could cause danger to health personnel. In this paper, the purpose is to using wavelet transform and intelligent tools, SPTGF be detected in shipboard power system.

Key Word : Wavelet, single phase to ground fault, ungrounded system, shipboard



Shahrood University of Technology
Faculty of Electrical and Robotic Engineering

Detection of single phase to ground fault in shipboard power system

By:

Ali Sanchooly

Supervisor:

Dr. Mehdi Banejad

Consultant:

Dr. Ahmad Darabi & Dr. Alireza Ahmadifard

Thesis Submitted for the Degree of Master of Science

October 2011