

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود
دانشکده مهندسی برق و رباتیک
گروه برق- قدرت

دسته‌بندی خط‌های اتصال کوتاه موازی بوسیله شبکه‌های عصبی مصنوعی

دانشجو: محسن کریمی

استاد راهنما:

دکتر مهدی بانژاد

استاد مشاور:

دکتر حمید حسن‌پور

پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

تیرماه ۱۳۸۹

شماره: ۰۷۷۹/آ.ت.ب
تاریخ: ۱۳۸۹/۰۴/۲۸
ویرایش: -----



مدیریت تحصیلات تکمیلی
فرم شماره (۶)

بسمه تعالی

فرم صورت جلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای گوشن کریمی (پ) رشته برق گرایش: قدرت تحت عنوان: دسته بندی خطهای موازی در سیستمهای قدرت با استفاده از شبکه های عصبی که در تاریخ ۱۳۸۹/۰۴/۲۸ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح زیر است:

<input type="checkbox"/> مردود	<input type="checkbox"/> دفاع مجدد	<input checked="" type="checkbox"/> قبول (با درجه: عالی - امتیاز ۱۹/۷۵)
--------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------

۱- عالی (۱۹ - ۳۰)

۲- بسیار خوب (۱۸ - ۱۸/۹۹)

۳- خوب (۱۶ - ۱۷/۹۹)

۴- قابل قبول (۱۴ - ۱۵/۹۹)

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	مهدی باقری	استاد	
۲- استاد مشاور	حمید حسن پور	رئیس	
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	ایدر رفیعی	استاد	
۴- استاد ممتحن	علیه احمدی	استاد	
۵- استاد ممتحن	احمد رادمان	رئیس	

تأیید رئیس دانشکده

تقدیم به روح پدرم که سراسر وجودش تلاش برای پیشرفت من بود

و به مادرم که همه صحت و سلامتی اش را برای رشد و تعالی من صرف نمود

تقدیر و تشکر

با تشکر از استاد عزیز، جناب آقای دکتر بانژاد که صبر زیبا و نیک‌خواهی همیشگی-

اش اولین درسی بود که از او آموختم. استادی که همیشه بیش از شاگردانش نگران آینده

آن‌هاست و همواره از هر نظر حامی ایشان است. سعدی شیرین سخن در وصف چنین

استادی چه زیبا فرمود که:

لوح سیمین بر کنارش نهاد

پادشاهی پسر به مکتب داد

جور استاد به ز مهر پدر

بر سر آن لوح نوشته به زر

و با تشکر فراوان از جناب آقای دکتر حسن‌پور که حسن خلق بی مثال ایشان مهم-

ترین درسی است که به شاگردانش می‌آموزد و نظرات کوچکش گشاینده گره‌های بزرگ

است.

و با تشکر فراوان از همه اساتید دانشکده برق و رباتیک که در طی دوران کارشناسی

و کارشناسی ارشد از محضرشان بهره بردم.

و به امید آنکه همه ما توفیق شاگردی آن استاد کامل را بیابیم.

تعهد نامه

اینجانب حسن کریمی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد / دکتری رشته مدیریت - فدیت دانشکده میرزا یونس دانشگاه صنعتی شاهرود بوسیله پایان نامه / رساله دسترسی خطای انتقال توان موازی بوسیله شکله های محاسبه تحت راهنمایی دکتر محمد علی... متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه / رساله توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه / رساله ناکمون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج یا تام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه / رساله تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه / رساله رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه / رساله ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه / رساله ، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ: ۱۹، ۴، ۲۸

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد ، این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه / رساله بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

* من این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه / رساله وجود داشته باشد.

چکیده

گسترش جوامع بشری و نیاز روز افزون به انرژی الکتریکی اهمیت ویژه‌ای به سیستم‌های قدرت بخشیده است و سبب شده تا مهندسين سیستم‌های قدرت همواره برای عملکرد صحیح این سیستم در تلاش باشند. یکی از عواملی که موجب ایجاد اختلال در عملکرد سیستم قدرت می‌شود رخ دادن خطاهای اتصال کوتاه است اما با حفاظت مناسب و بهره‌برداری صحیح می‌توان اثرات نامطلوب آن‌ها را کاهش داد. یکی از مباحث مطرح در حفاظت و بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت دسته‌بندی خطاها است. دسته بندی خطاها یکی از نیازهای اصلی اکثر روش‌های مکان‌یابی خطا است. بعلاوه با حرکت کردن سیستم‌های قدرت به سوی هوشمند شدن، دانستن دسته خطایی که در سیستم رخ داده است برای اتخاذ تصمیمات بعدی و بهره‌برداری مناسب ضروری است.

در این پایان‌نامه روش جدیدی برای دسته‌بندی خطاها ارائه شده است. در این روش از مقادیر فازوری جریان و ولتاژ و مولفه‌های متقارن آن‌ها استفاده شده است. در روش پیشنهادی با استفاده از مقادیر فازوری و مولفه‌های متقارن، یک معیار مناسب برای دسته‌بندی خطاها معرفی شده و برای انجام دسته‌بندی از شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شده‌است. با بررسی مقادیر معیار معرفی شده در خطاهای مختلف به انتخاب شبکه عصبی مناسب پرداخته شده و شبکه‌های عصبی خود سازمانده انتخاب گردیده‌اند.

در پایان روش پیشنهادی بر روی یک سیستم قدرت نمونه تست شده است. نتایج این آزمایشات نشان می‌دهد که روش پیشنهادی خطاهای آزمایشی را به درستی دسته‌بندی کرده است. بعلاوه روش پیشنهادی از سرعت بالایی برای دسته‌بندی خطاها برخوردار است. به همین دلیل می‌توان روش ارائه شده را به عنوان روش مناسبی برای دسته‌بندی خطاهای اتصال کوتاه در سیستم‌های قدرت دانست.

کلمات کلیدی: خطاهای موازی، دسته‌بندی خطاها، شبکه‌های عصبی مصنوعی

مقالات مستخرج از این پایان نامه

[1]. M. Karimi, M. Banejad, H. Hassanpour, A. Moieni, "Power System Faults Classification with Pattern Recognition Using Neural network", Proceeding of International Technical Problems of Electrical Engineering Conference (ITPEC2010), Tabriz, Iran, September 2010.

[2]. M. Karimi, M. Banejad, H. Hassanpour, A. Moieni, "Classification of Power System Faults Using ANN Classifiers", Proceeding of International Power Electronic Conference (IPEC2010), Singapour Octobre2010.

فهرست

فصل اول: مقدمه.....	۱
۱-۱ مقدمه.....	۲
فصل دوم: بررسی تئوری‌های مقدماتی لازم و مروری بر کارهای گذشته.....	۵
۱-۲ مولفه‌های متقارن.....	۶
۱-۱-۲ مولفه‌های متقارن در سیستم n فاز.....	۶
۲-۱-۲ مولفه‌های متقارن در یک سیستم سه فاز.....	۱۴
۲-۲ انواع خطاهای اتصال کوتاه در سیستم قدرت.....	۱۶
۱-۲-۲ تقسیم‌بندی کلی خطاهای سیستم قدرت.....	۱۷
۲-۲-۲ اهمیت مطالعه و بررسی انواع خطاهای اتصال کوتاه.....	۱۷
۳-۲-۲ خطاهای موازی.....	۱۹
۴-۲-۲ خطاهای سری.....	۲۱
۳-۲ بررسی روش‌های ارائه شده در زمینه دسته بندی خطاهای اتصال کوتاه.....	۲۲
۱-۳-۲ روش‌های ارائه شده در زمینه دسته‌بندی خطاهای اتصال کوتاه.....	۲۳
۲-۳-۲ مدت زمان لازم برای تشخیص خطا.....	۲۳
۳-۳-۲ فرکانس نمونه‌برداری از سیگنالهای جریان و ولتاژ.....	۲۴
۴-۳-۲ تاثیر عوامل موثر در جریان و ولتاژ خطا بر عملکرد روشهای دسته‌بندی خطاها.....	۲۵
۵-۳-۲ تعداد نمونه‌های استفاده شده برای آموزش در روش‌های مبتنی بر آموزش.....	۲۵
۶-۳-۲ معیار انتخاب شده برای تعیین دسته خطاهای اتصال کوتاه.....	۲۶

- ۲-۳-۷ قابلیت روش ارائه شده برای پیاده‌سازی آن در سیستم‌های قدرت دیگر ۲۷
- ۲-۴-۴-۲ مروری بر شبکه‌های عصبی مصنوعی ۲۸
- ۲-۴-۱-۲ فرایند یادگیری در مغز انسان ۲۸
- ۲-۴-۲ نرون‌های مصنوعی ۳۰
- ۲-۴-۳ شبکه‌های عصبی مصنوعی ۳۲
- ۲-۴-۴-۲ فرایند یادگیری یا آموزش ۳۴
- ۲-۴-۵ نگاشت‌های خود سازمان‌ده ۳۵
- ۲-۵-۵ خلاصه فصل ۳۹
- فصل سوم: دسته‌بندی خطاها با استفاده از شبکه‌های عصبی ۴۰
- ۳-۱ انتخاب مقادیر فازوری یا زمانی برای دسته‌بندی خطاهای اتصال کوتاه ۴۱
- ۳-۲ محاسبه فازورهای جریان و ولتاژ با استفاده از سیگنال‌های زمانی ۴۲
- ۳-۳ محاسبه فازورهای جریان و ولتاژ بلافاصله پس از وقوع خطا ۴۶
- ۳-۴ دسته‌بندی خطاهای اتصال کوتاه به وسیله شبکه‌های عصبی ۴۸
- ۳-۴-۱ معرفی معیار مناسب جهت دسته‌بندی خطاها ۴۸
- ۳-۴-۲ نحوه استفاده از معیار معرفی شده برای دسته‌بندی خطاها ۵۱
- ۳-۴-۳ انتخاب شبکه عصبی مناسب جهت دسته‌بندی خطاها ۵۲
- ۳-۵ خلاصه فصل ۵۹
- فصل چهارم: شبیه‌سازی ۶۰
- ۴-۱ مشخصات سیستم قدرت مورد آزمایش ۶۱

۶۲	.....	۲-۴ شبيه سازى انواع خطاها در سيستم قدرت مورد استفاده
۶۶	.....	۳-۴ طراحي و آموزش شبكه عصبى
۷۳	.....	۴-۴ تست كردن شبكه عصبى طراحي شده
۷۴	.....	۵-۴ تحليل نتايج
۷۶	.....	۶-۴ خلاصه فصل
۷۷	.....	فصل پنجم: نتيجه گيرى و پيشنهادات
۷۸	.....	۱-۵ نتيجه گيرى
۷۹	.....	۲-۵ پيشنهادات
۸۱	.....	مراجع

فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۱): سیستم سه فاز نامتقارن و سیستم‌های توالی مثبت، منفی و صفر..... ۱۵
- شکل (۲-۱): وقوع یک خطای اتصال کوتاه در یک سیستم توزیع به علت طوفان و بارش باران..... ۱۷
- شکل (۳-۱): نرون عصبی مغز انسان..... ۲۸
- شکل (۴-۱): ساختار یک نرون عصبی مصنوعی..... ۲۹
- شکل (۵-۱): ساختار یک شبکه عصبی مصنوعی ساده..... ۳۲
- شکل (۶-۱): ساختار یک شبکه عصبی SOM..... ۳۵
- شکل (۷-۱): الگوریتم آموزش شبکه عصبی SOM..... ۳۸
- شکل (۱-۱): یک موج سینوسی..... ۴۲
- شکل (۲-۱): بدست آوردن فازور موج سینوسی بوسیله نمونه‌های زمانی..... ۴۳
- شکل (۳-۱): بردار چرخان بدست آمده از نمونه‌های زمانی موج سینوسی..... ۴۴
- شکل (۴-۱): ولتاژهای سه فاز قبل و بعد از یک خطای دوفاز..... ۴۵
- شکل (۵-۱): شکل موج ولتاژهای سه فاز فیلتر شده خطای دو فاز شکل (۳-۴)..... ۴۷
- شکل (۶-۱): مراحل روش پیشنهادی..... ۵۱
- شکل (۷-۱): بردارهای X مربوط به سه خطای فاز A..... ۵۲
- شکل (۸-۱): بردارهای X مربوط به سه خطای فاز B..... ۵۳
- شکل (۹-۱): بردارهای X مربوط به سه خطای فاز C..... ۵۳
- شکل (۱۰-۱): بردارهای X مربوط به سه خطای بین فازهای A و B..... ۵۴
- شکل (۱۱-۱): بردارهای X مربوط به سه خطای بین فازهای B و C..... ۵۴
- شکل (۸-۱): بردارهای X مربوط به سه خطای بین فازهای A و C..... ۵۵
- شکل (۱۳-۱): بردارهای X مربوط به سه اتصال کوتاه فازهای A و B به زمین..... ۵۵

- شکل (۱۴-۱): بردارهای X مربوط به سه اتصال کوتاه فازهای B و C به زمین..... ۵۶
- شکل (۱۵-۱): بردارهای X مربوط به سه اتصال کوتاه فازهای A و C به زمین..... ۵۶
- شکل (۱۶-۱): بردارهای X مربوط به سه خطای فاز a در حالتی که نقطه اندازه‌گیری وسط خط ۱ قرار دارد..... ۵۸
- شکل (۱-۱): نمای تک خطی سیستم شبیه‌سازی شده..... ۶۰
- شکل (۲-۱): ولتاژهای پایانه واحد تولیدی قبل و بعد از رخ دادن یک خطای تک فاز..... ۶۳
- شکل (۳-۱): ولتاژهای پایانه واحد تولیدی قبل و بعد از رخ دادن یک خطای دو فاز..... ۶۳
- شکل (۴-۱): ولتاژهای فیلتر شده شکل (۳-۴)..... ۶۳
- شکل (۵-۱): ولتاژهای پایانه واحد تولیدی طی یک خطای دو فاز به زمین..... ۶۴
- شکل (۶-۱): ولتاژهای پایانه واحد تولیدی در حین یک خطای سه فاز..... ۶۴
- شکل (۷-۱): مقادیر برخی از وزن‌های نرون اول در طی فرایند آموزش..... ۶۶
- شکل (۸-۱): مقادیر وزن‌های شکل (۷-۴) در ۲۰ مرحله اول آموزش..... ۶۷
- شکل (۹-۱): مقادیر برخی از وزن‌های نرون پنجم در طی فرایند آموزش..... ۶۷
- شکل (۱۰-۱): مقادیر برخی از وزن‌های نرون اول در طی فرایند آموزش..... ۶۷
- شکل (۱۱-۱): بردارهای X مربوط به چند اتصال کوتاه فازهای A و C به زمین و بردار وزن نرون نماینده آن‌ها..... ۶۸
- شکل (۱۲-۱): بردارهای X مربوط به چند اتصال کوتاه فاز A به زمین و بردار وزن نرون نماینده آن‌ها..... ۶۹
- شکل (۱۳-۱): بردارهای X مربوط به چند اتصال کوتاه فاز B به زمین و بردار وزن نرون نماینده آن‌ها..... ۶۹
- شکل (۱۴-۱): بردارهای X مربوط به چند اتصال کوتاه فاز C به زمین و بردار وزن نرون

نماینده آنها.....۷۰

شکل (۱۵-۱): بردارهای X مربوط به چند اتصال کوتاه فازهای A و B و بردار وزن نرون

نماینده آنها.....۷۰

شکل (۱۶-۱): بردارهای X مربوط به چند اتصال کوتاه فازهای B و C و بردار وزن نرون

نماینده آنها.....۷۰

شکل (۱۷-۱): بردارهای X مربوط به چند اتصال کوتاه فازهای A و C و بردار وزن نرون

نماینده آنها.....۷۱

شکل (۱۸-۱): بردارهای X مربوط به چند اتصال کوتاه فازهای A و B به زمین و بردار وزن

نرون نماینده آنها.....۷۱

شکل (۱۹-۱): بردارهای X مربوط به چند اتصال کوتاه فازهای B و C به زمین و بردار وزن

نرون نماینده آنها.....۷۱

شکل (۲۰-۱): بردارهای X مربوط به چند اتصال کوتاه سه فاز و بردار وزن نرون نماینده آنها...۸۲

فهرست جدول‌ها

- جدول (۱-۱): گروه‌های مختلف خطاهای اتصال کوتاه در سیستم قدرت..... ۳
- جدول (۲-۱): انواع خطاهای موازی در سیستم قدرت و درصد وقوع آن‌ها..... ۲۱
- جدول (۳-۱): برخی از توابع تحریک پر کاربرد در نرون‌های عصبی..... ۳۲
- جدول (۴-۱): نمونه‌های برداشته شده از موج سینوسی و زمان متناظر با آن‌ها..... ۴۴
- جدول (۵-۱): بردارهای مختلط ساخته شده بوسیله نمونه‌های زمانی..... ۴۵
- جدول (۶-۱): پارامترهای سیستم انتقال شبیه‌سازی شده..... ۶۳
- جدول (۷-۱): پارامترهای مربوط به ساختار و آموزش شبکه عصبی..... ۶۷
- جدول (۸-۱): نتایج تست شبکه عصبی طراحی شده..... ۷۷

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

خطوط انتقال در سیستم قدرت، همچون رگ‌های بدن انسان هستند که وظیفه انتقال پیوسته انرژی از محل تولید به مصرف کنندگان را بر عهده دارند. بنابراین مباحث مربوط به حفاظت و تعمیر و نگهداری آنها همواره در بین متخصصین مطرح بوده است. در این میان، تشخیص و دسته‌بندی امکان‌یابی خطا در خطوط انتقال از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. پیدا کردن دقیق و سریع محل خطا در خطوط انتقال علاوه بر بالا بردن قابلیت اطمینان شبکه باعث کاهش زیان‌های اقتصادی و افزایش رضایت عمومی مصرف‌کنندگان می‌گردد.

یکی از نیازهای ضروری در اکثر روش‌های مکان‌یابی خطا، دانستن نوع خطا و فازهای درگیر در آن است [۱-۲-۳-۴]. به همین دلیل دسته‌بندی خطاها مساله‌ای مهم و شناخته شده است.

مهم‌ترین خطاهای سیستم‌های قدرت شامل چهار نوع می‌باشند:

۱. اتصال یک فاز به زمین^۱ (SLG)

۲. اتصال کوتاه دو فاز به یکدیگر^۲ (LL)

۳. اتصال کوتاه دو فاز به زمین^۳ (DLG)

۴. اتصال کوتاه سه فاز^۴

خطاهای ردیف ۱ الی ۳ هر کدام شامل چند خطای مختلف می‌باشند. بطور مثال، نوع اول شامل اتصال کوتاه فاز A به زمین، اتصال کوتاه فاز B به زمین و اتصال کوتاه فاز C به زمین می‌باشد. تمامی خطاهای ممکن در سیستم قدرت در جدول (۱-۱) آورده شده است. هر کدام

¹ Single Line to Ground

² Line to Line

³ Double Line to Ground

⁴ Three-Phase

از ستون‌های جدول (۱-۱) را یک گروه^۱ می‌نامند و به هر کدام از آن‌ها یک برچسب^۲ نسبت می‌دهند.

جدول (۱-۱): گروه‌های مختلف خطاهای اتصال کوتاه در سیستم قدرت

نوع خطا	تک فاز			دو فاز			دو فاز به زمین			سه فاز
	A	B	C	AB	BC	CA	ABG	BCG	CAG	ABC
برچسب گروه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰

در این پایان‌نامه در نظر داریم که در صورت وقوع یک خطای اتصال کوتاه در سیستم قدرت، دسته یا گروه آن را تعیین نماییم. دسته‌بندی خطاها یکی از نیازهای لازم در تعیین محل خطا می‌باشد. برای یکی از ابزارهای بسیار توانمند در حل مسائل دسته‌بندی، شبکه‌های عصبی مصنوعی^۳ هستند که در زمینه‌های تشخیص، دسته‌بندی و مکانیابی خطا به وفور مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۵-۶-۷]. اما آنچه در به کار بردن شبکه‌های عصبی بسیار مهم است، انتخاب معیار یا پارامتر مناسب به عنوان ورودی شبکه عصبی می‌باشد. این معیار که در حقیقت ملاک دسته‌بندی است، باید از پارامترهای فیزیکی سیستم قدرت نظیر ولتاژ، جریان، توان‌ها و غیره تشکیل شده باشد. در این پایان‌نامه با استفاده از مقادیر فازورهای جریان و ولتاژ و مولفه‌های متقارن^۴ معیاری برای دسته‌بندی خطاهای اتصال کوتاه ارائه شده است.

انتخاب معیار مناسب در حل مسائل دسته‌بندی خطاها از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. معیار انتخابی باید دارای حداقل ابعاد و بیشترین اطلاعات ممکن باشد. چنین ملاکی سبب می‌شود تا

¹ Class

² Label

³ Artificial Neural Network (ANN)

⁴ Symmetrical Components

سرعت و دقت روش پیشنهادی بسیار بالا باشد.

با پیدایش واحدهای اندازه‌گیری فازور^۱ اندازه‌گیری سریع و بسیار دقیق فازورهای ولتاژ و جریان در تمامی شین‌ها و خطوط انتقال قابل انجام است [۸]. البته به دلیل هزینه بالای این واحدها، نصب آنها در تمامی شین‌های شبکه هزینه‌های بسیار سنگینی در بر دارد. به همین دلیل روش‌های مختلفی برای مکانیابی بهینه این واحدها به شرط رویت‌پذیری^۲ کامل شبکه ارائه شده است [۹-۱۰-۱۱].

بعد از انتخاب و معرفی معیار دسته‌بندی، با توجه به خصوصیات ذاتی آن از قبیل ابعاد، گسستگی یا پیوستگی عناصر آن، وجود یا عدم وجود شیفت زمانی در نمونه‌های مختلف، ثابت یا متغیر بودن تعداد عناصر آن، متغیر یا ثابت بودن دامنه نمونه‌ها و غیره، شبکه عصبی مناسب انتخاب می‌گردد. با توجه به معیار معرفی شده در این پایان‌نامه، شبکه‌های عصبی خود سازمان‌ده^۳ برای انجام دسته‌بندی انتخاب شده‌اند. SOM ها از شبکه‌های عصبی با آموزش بدون نظارت^۴ هستند و از ساختار ساده و سرعت و دقت بالایی برخوردارند. روش ارائه شده بر یک سیستم انتقال که دارای ۵ خط انتقال، ۳ باس بار و یک واحد تولیدی است اعمال شده است.

این پایان‌نامه دارای چهار فصل دیگر می‌باشد. در فصل دوم تئوری‌های مورد نیاز برای ارائه یک روش دسته‌بندی خطا مطرح شده است. همچنین در این فصل به بررسی و نقد روش‌های ارائه شده قبلی پرداخته شده است. در فصل سوم به تشریح روش پیشنهادی جهت دسته‌بندی خطا پرداخته می‌شود. در فصل چهارم نیز سیستم قدرت مورد استفاده تشریح و شبیه‌سازی شده است. در فصل آخر نیز به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهاداتی برای ادامه این پایان‌نامه پرداخته خواهد شد.

¹ Phasor Measurement Unit (PMU)

² Observability

³ Self-Organized Map (SOM)

⁴ Unsupervised

فصل دوم

بررسی تئوری‌های مقدماتی لازم و

مروری بر کارهای گذشته

۱-۲ مولفه‌های متقارن

روش مولفه‌های متقارن ابزاری است که امکان استفاده از روش تحلیل سیستم‌های متعادل را در سیستم‌های نامتعادل فراهم می‌نماید. این روش براساس برخی خواص فازورهای سیستم نامتعادل که توسط فرتسکیو^۱ [۱۳] کشف شدند ابداع گردید. او کشف کرد که یک سیستم سه‌فاز نامتعادل را می‌توان به دو سیستم فازوری متعادل بعلاوه یک مجموعه فازور تک‌فاز تبدیل کرد. اگر ولتاژها و جریان‌های سیستم به این طریق بیان شوند، یک تحلیل تک‌فاز برای حل هر یک از سیستم‌ها کافی است. بدین ترتیب حل مسائل مربوط به سیستم‌های نامتعادل بسیار ساده خواهد شد [۱۴]. در این بخش ابتدا مبحث مولفه‌های متقارن را در حالت کلی برای یک سیستم با n فاز بیان می‌کنیم و سپس حالت خاص ۳ فاز را از آن استخراج می‌نماییم.

۱-۱-۲ مولفه‌های متقارن در سیستم n فاز

فرتسکیو در یک مقاله درخشان در سال ۱۹۱۸ [۱۳] پیشنهاد کرد که یک سیستم نامتعادل n فاز را می‌توان به $n-1$ سیستم متعادل n فاز و یک سیستم n فاز با اختلاف فاز صفر تجزیه کرد. در اینجا به بیان ریاضی مسئله می‌پردازیم. فرض کنید یک سیستم n فاز از فازورها را بوسیله روابط زیر بنویسیم:

¹ Fortescue

$$\begin{aligned}
V_a &= V_{a1} + V_{a2} + V_{a3} + \dots + V_{an} \\
V_b &= V_{b1} + V_{b2} + V_{b3} + \dots + V_{bn} \\
&\vdots \\
V_n &= V_{n1} + V_{n2} + V_{n3} + \dots + V_{nm}
\end{aligned}
\tag{۱-۲}$$

که در آن $V_a, V_b, V_c, \dots, V_n$ یک مجموعه از فازورهای نامتعادل است و $V_{a1}, V_{b1}, V_{c1}, \dots, V_{n1}$ مجموعه فازورهای متعادل اول هستند که بین آنها اختلاف فاز $\frac{2\pi}{n}$ وجود دارد و آنها را سیستم توالی^۱ می‌نامیم. $V_{a2}, V_{b2}, V_{c2}, \dots, V_{n2}$ دومین مجموعه فازوری متعادل است که بین فازورهای آن اختلاف فاز $\frac{4\pi}{n}$ وجود دارد و آن را سیستم توالی ۲ می‌نامیم. در نهایت مجموعه $V_{a(n-1)}, V_{b(n-1)}, V_{c(n-1)}, \dots, V_{n(n-1)}$ را سیستم توالی $n-1$ می‌نامیم که بین فازورهای آن زاویه‌ای برابر با $\frac{2(n-1)\pi}{n}$ وجود دارد. آخرین مجموعه از فازورهای متعادل $V_{an}, V_{bn}, V_{cn}, \dots, V_{mn}$ هستند که زاویه بین آنها $\frac{2n\pi}{n} = 2\pi$ می‌باشد. بنابراین فازورهای متعادل مجموعه آخر در حقیقت اختلاف فاز ندارند و بر یکدیگر منطبق هستند. به علت وجود اختلاف فاز صفر بین بردارهای این مجموعه، آن را سیستم توالی صفر می‌نامند. برای ساده شدن معادلات در مراحل بعدی، اپراتور a را بدین صورت تعریف می‌کنیم:

$$a = e^{j\frac{2\pi}{n}} \tag{۲-۲}$$

که در آن n همان تعداد فاز سیستم است. بنابراین توان‌های مثبت a بصورت زیر خواهند بود:

¹ Sequence

$$\begin{aligned}
 a^2 &= e^{\frac{j4\pi}{n}} \\
 &\vdots \\
 a^k &= e^{\frac{j2k\pi}{n}} \\
 &\vdots \\
 a^n &= e^{j2\pi}
 \end{aligned}
 \tag{۳-۲}$$

با ضرب شدن هر یک از توان‌های ۱ تا n عملگر a در یک بردار، زاویه آن در جهت مثبت مثلثاتی تغییر خواهد کرد. بطور مثال a^k موجب دوران یک بردار به اندازه $\frac{2k\pi}{n}$ در جهت مثبت خواهد شد. توان‌های منفی a نیز به راحتی قابل بیان هستند اما توان‌های منفی سبب گردش بردارها در جهت منفی خواهند شد.

با ضرب کردن توان‌های مختلف a در مجموعه معادلات (۱-۲) داریم:

$$\begin{aligned}
 V_a &= V_{a1} + V_{a2} + V_{a3} + \dots + V_{an} \\
 aV_b &= aV_{b1} + aV_{b2} + aV_{b3} + \dots + aV_{bn} \\
 a^2V_c &= a^2V_{c1} + a^2V_{c2} + a^2V_{c3} + \dots + a^2V_{cn} \\
 &\vdots \\
 a^{n-1}V_n &= a^{n-1}V_{n1} + a^{n-1}V_{n2} + a^{n-1}V_{n3} + \dots + a^{n-1}V_{nn}
 \end{aligned}
 \tag{۴-۲}$$

با توجه به تعریف ارائه شده برای سیستم توالی ۱ به سادگی می‌توان نوشت:

$$V_{a1} = aV_{b1} = a^2V_{c1} = \dots = a^{n-1}V_{n1}
 \tag{۵-۲}$$

علت درست بودن معادله (۵-۲) آن است که براساس تعریف بیان شده برای سیستم توالی ۱،

بین بردارهای این مجموعه زاویه $\frac{2\pi}{n}$ وجود دارد و ضرب شدن V_{b1} در a سبب دوران آن به اندازه

$\frac{2\pi}{n}$ در جهت مثبت شده و آن را بر V_{a1} منطبق می‌سازد. ضرب شدن دیگر توان‌های a در سایر

فازورها به طریق مشابه موجب انطباق آن‌ها بر V_{a1} می‌شوند. بنابراین معادله (۵-۲) صحیح است.

اکنون مجموعه معادلات (۴-۲) را با یکدیگر جمع می‌کنیم. با توجه به معادله (۵-۲) واضح

است که در سمت راست معادلات (۴-۲) مجموع عبارت‌هایی که دارای زیرنویس ۱ هستند برابر با

nV_{a1} می‌باشد. نکته مهم اینجا است که مجموع عبارت‌هایی که زیرنویس آن‌ها شامل اعداد غیر از ۱

است برابر با صفر است. این مطلب را برای عبارت‌هایی که دارای زیرنویس ۲ هستند اثبات می‌نماییم.

با توجه به تعریف سیستم توالی ۲ داریم:

$$\begin{aligned} V_{a2} &= V_{a2} \\ aV_{b2} &= aa^{-2}V_{a2} = a^{-1}V_{a2} \\ a^2V_{c2} &= a^2a^{-4}V_{a2} = a^{-2}V_{a2} \\ &\vdots \\ a^{n-1}V_{n2} &= a^{n-1}a^{-2(n-1)}V_{a2} = a^{-(n-1)}V_{a2} \end{aligned} \quad (۶-۲)$$

با جمع کردن معادلات (۶-۲) داریم:

$$V_{a2} + aV_{b2} + a^2V_{c2} + \dots + a^{n-1}V_{n2} = V_{a2} + a^{-1}V_{a2} + a^{-2}V_{a2} + \dots + a^{-(n-1)}V_{a2} \quad (۷-۲)$$

سمت راست معادله (۷-۲) شامل مجموع بردارهایی است که اختلاف فاز یکسانی دارند و در

نتیجه یک سیستم متعادل را تشکیل داده‌اند. از آنجا که مجموع فازورهای یک سیستم متعادل صفر

است حاصل جمع سمت راست معادله (۷-۲) برابر با صفر است. بنابراین داریم:

$$V_{a2} + aV_{b2} + a^2V_{c2} + \dots + a^{n-1}V_{n2} = 0 \quad (۸-۲)$$

به طریق مشابه می‌توان نشان داد که اگر معادلات (۴-۲) را با یکدیگر جمع کنیم، مجموع

فازورهایی که زیرنویس آن‌ها ۱ ندارد برابر با صفر است. بنابراین حاصل این جمع برابر است با

$$V_{a1} = \frac{1}{n} (V_a + aV_b + a^2V_c + \dots + a^{n-1}V_n) \quad (9-2)$$

به طریق مشابه می‌توان نشان داد که:

$$\begin{aligned} V_{a2} &= \frac{1}{n} (V_a + a^2V_b + a^4V_c + \dots + a^{2(n-1)}V_n) \\ V_{a3} &= \frac{1}{n} (V_a + a^3V_b + a^6V_c + \dots + a^{3(n-1)}V_n) \\ &\vdots \\ V_{a(n-1)} &= \frac{1}{n} (V_a + a^{n-1}V_b + a^{2(n-1)}V_c + \dots + a^{(n-1)(n-1)}V_n) \\ V_{an} &= \frac{1}{n} (V_a + V_b + V_c + \dots + V_n) \end{aligned} \quad (10-2)$$

نمایش ماتریسی معادلات (۱۰-۲) روش مناسب‌تری برای نمایش آن است. در اینجا معادله

V_{an} که در آخر است را به علت سادگی آن در ابتدا قرار داده و آن را با V_{a0} نشان می‌دهیم. زیرا چنان که بیان شد مجموعه فازورهای $V_{an}, V_{bn}, V_{cn}, \dots, V_{nn}$ را سیستم توالی صفر می‌نامیم. پس داریم:

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \\ \vdots \\ V_{a(n-1)} \end{bmatrix} = \frac{1}{n} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & a & a^2 & \dots & a^{n-1} \\ 1 & a^2 & a^4 & \dots & a^{2(n-1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & a^{n-1} & a^{2(n-1)} & \dots & a^{(n-1)(n-1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (11-2)$$

که آن را بصورت خلاصه چنین بیان می‌کنیم:

$$S = \frac{1}{n} C_n P \quad (12-2)$$

این معادله بیان کننده تبدیل یک مجموعه فازور نامتعادل بنام P به مولفه‌های متقارن بنام S می‌باشد. باید توجه کرد که S شامل مولفه‌های متقارن فاز a است. اما با استفاده از مولفه‌های متقارن فاز a و اختلاف فاز بین فازورها در هر سیستم توالی، براحتی مولفه‌های متقارن سایر فازها نیز بدست می‌آیند.

عناصر ماتریس C_n از توان‌های مختلف اپراتور a تشکیل شده‌اند. این ماتریس در حقیقت یک ماتریس انتقال یا تبدیل است. از آنجا که معکوس هر تبدیل کاربردهای بسیاری دارد، یافتن معکوس ماتریس C_n از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. معکوس ماتریس C_n وجود دارد اگر و تنها اگر ماتریس C_n غیر تکین باشد یا به عبارت بهتر دترمینال C_n مخالف صفر باشد و در نتیجه معکوس آن وجود داشته باشد. اگر C_n^{-1} وجود داشته باشد می‌توان نوشت:

$$P = C_n^{-1} S \quad (13-2)$$

معادله فوق نشان می‌دهد که در صورت وجود C_n^{-1} ، بوسیله مولفه‌های متقارن فاز a می‌توان فازورهای سیستم نامتعادل اولیه را بدست آورد. اما مسئله اصلی نشان دادن غیر تکین بودن ماتریس C_n است. برای این امر باید توجه نمود که ماتریس C_n یک حالت خاصی از ماتریس واندرموند^۱ می‌باشد [۱۷-۱۶-۱۵] که به صورت زیر بیان می‌شود:

¹ Vandermond Matrix

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 \\ \lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 & \cdots & \lambda_n \\ \lambda_1^2 & \lambda_2^2 & \lambda_3^2 & \cdots & \lambda_n^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \lambda_1^{n-1} & \lambda_2^{n-1} & \lambda_3^{n-1} & \cdots & \lambda_n^{n-1} \end{bmatrix} \quad (14-2)$$

ماتریس C_n ساختاری مشابه ماتریس Q دارد. برای درک این شباهت در ماتریس Q جایگذاری‌های زیر باید صورت پذیرد:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= 1 \\ \lambda_i &= a^{i-1} \quad i > 1 \end{aligned} \quad (15-2)$$

دترمینان ماتریس واندرموند از رابطه زیر به دست می‌آید [۱۷-۱۶-۱۵]:

$$\det P = \prod_{i>j} (\lambda_i - \lambda_j) = (\lambda_2 - \lambda_1) \cdots (\lambda_n - \lambda_1) (\lambda_3 - \lambda_2) \cdots (\lambda_n - \lambda_{n-1}) \quad (16-2)$$

واضح است که اگر مقادیر λ_i در ماتریس واندرموند با هم برابر نباشند، دترمینان آن مخالف صفر است و غیر تکین خواهد بود. در مورد ماتریس C_n باید گفت که همه مقادیر λ_i اعداد مختلط هستند که دارای اندازه یکسان و فازهای متفاوت می‌باشند و در نتیجه با هم برابر نیستند. بنابراین ماتریس C_n غیر تکین بوده و دارای معکوس می‌باشد. بنابراین معادله (۱۳-۲) بعنوان معکوس تبدیلی که در معادله (۱۲-۲) بیان شده صحیح می‌باشد.

برای یافتن معکوس ماتریس C_n معادلات (۱-۲) را بازنویسی می‌کنیم. توجه نمایید که نمادهای $V_{an}, V_{bn}, V_{cn}, \dots, V_{mn}$ که مولفه‌های توالی صفر هستند به ترتیب با نمادهای $V_{a0}, V_{b0}, V_{c0}, \dots, V_{n0}$ جایگزین شده‌اند تا شباهت بیشتری با نامگذاری خود داشته باشند.

$$\begin{aligned}
V_a &= V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} + \dots + V_{a(n-1)} \\
V_b &= V_{b0} + V_{b1} + V_{b2} + \dots + V_{b(n-1)} \\
&\vdots \\
V_n &= V_{n0} + V_{n1} + V_{n2} + \dots + V_{n(n-1)}
\end{aligned}
\tag{۱۷-۲}$$

در ابتدا باید یادآور شویم که مولفه‌های متقارن توالی صفر با یکدیگر برابرند:

$$V_{a0} = V_{b0} = V_{c0} = \dots = V_{n0} \tag{۱۸-۲}$$

و همچنین براساس معادله (۵-۲) داریم:

$$V_{a1} = aV_{b1} = a^2V_{c1} = \dots = a^{n-1}V_{n1} \tag{۱۹-۲}$$

به طور مشابه می‌توان نشان داد که در سیستم توالی ۲ نیز داریم:

$$V_{a2} = a^2V_{b2} = a^4V_{c2} = \dots = a^{2(n-1)}V_{n2} \tag{۲۰-۲}$$

برای سایر توالی‌ها نیز می‌توان روابط مشابهی بدست آورد [۱۴]. با جایگزین نمودن این روابط

در معادله (۱۷-۲) داریم:

$$\begin{aligned}
V_a &= V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} + \dots + V_{a(n-1)} \\
V_b &= V_{a0} + a^{-1}V_{a1} + a^{-2}V_{a2} + \dots + a^{-(n-1)}V_{a(n-1)} \\
&\vdots \\
V_n &= V_{a0} + a^{-(n-1)}V_{a1} + a^{-2(n-1)}V_{a2} + \dots + a^{-(n-1)(n-1)}V_{a(n-1)}
\end{aligned}
\tag{۲۱-۲}$$

و با نوشتن به شکل ماتریسی داریم:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & a^{-1} & a^{-2} & \dots & a^{-(n-1)} \\ 1 & a^{-2} & a^{-4} & \dots & a^{-2(n-1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & a^{-(n-1)} & a^{-2(n-1)} & \dots & a^{-(n-1)(n-1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \\ \vdots \\ V_{an} \end{bmatrix} \quad (22-2)$$

برای نوشتن ساده‌تر این معاله، می‌توان با توجه به این که توان‌های منفی a را به توان‌های مثبت تبدیل نمود. این در واقع به معنای افزودن ضرایبی از π به زاویه اعداد مختلط برای مثبت شدن زاویه آن‌ها می‌باشد. با اعمال این تغییر داریم:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} = \frac{1}{n} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & a^{n-1} & a^{n-2} & \dots & a \\ 1 & a^{n-2} & a^{n-4} & \dots & a^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & a & a^2 & \dots & a^{(n-1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \\ \vdots \\ V_{an} \end{bmatrix} \quad (23-2)$$

و بدین ترتیب ماتریس C_n^{-1} بدست می‌آید.

۲-۱-۲ مولفه‌های متقارن در یک سیستم سه فاز

سیستم n فاز که در بخش قبل بیان شد از لحاظ تئوری دارای اهمیت زیادی است اما در عمل تنها سیستم‌های سه‌فاز مهم هستند. بنابراین در اینجا بحث مولفه‌های متقارن را برای حالت خاص سه‌فاز مطرح می‌کنیم. اگر در سیستم n فاز مقدار n برابر با ۳ قرار داده شود، اپراتور a بصورت $a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$ در می‌آید. بنابراین اپراتور a باعث گردش ۱۲۰ درجه‌ای بردارها می‌شود. با قرار دادن مقدار جدید a در معادلات (۲-۱۱) و (۲۳-۲) روابط مورد نظر برای سیستم سه‌فاز بدست می‌آید. با

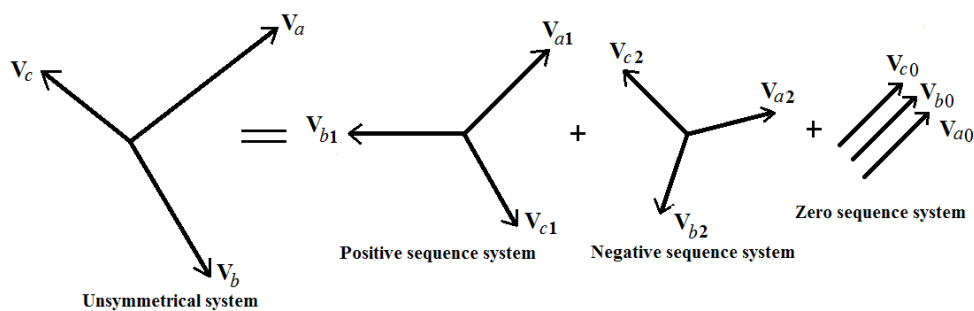
جایگزینی مقدار جدید a در (۱۱-۲) داریم:

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}$$

(۲۴-۲)

$$V_{012} = \frac{1}{3} C_3 V_{abc}$$

در این معادله S و P را به ترتیب با V_{012} و V_{abc} جایگزین نموده‌ایم تا نام آن‌ها با محتوای آن‌ها مطابقت بیشتری داشته باشد. بعلاوه بسیاری از مراجع همین نامگذاری را بکار برده‌اند [۱۸-۱۹-۲۰]. برخی از منابع نیز عبارت‌های صفر، مثبت و منفی را بکار برده‌اند که اشاره به مثبت یا منفی بودن توالی فازها دارد. در شکل (۱-۲) یک مجموعه از مولفه‌های متقارن برای درک بهتر نمایش داده شده است.



شکل (۱-۲). سیستم سه فاز نامتقارن و سیستم‌های توالی مثبت، منفی و صفر

مجموعه V_{a1}, V_{b1}, V_{c1} مشابه فازورهای ولتاژی هستند که توسط یک ژنراتور که دارای توالی فاز $a-b-c$ است تولید می‌شود که ما آن را توالی مثبت می‌نامیم. مجموعه توالی منفی، ولتاژهایی هستند که دارای توالی $a-c-b$ می‌باشند.

با جایگزین کردن $n=3$ در معادله (۲۰-۲) داریم:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix}$$

(۲۵-۲)

$$V_{abc} = C_3^{-1} V_{012}$$

این معادله نشان دهنده نحوه بدست آوردن ولتاژهای سه فاز نامتعادل بوسیله مولفه‌های متقارن فاز a می‌باشد.

تاکنون در حین مبحث مولفه‌های متقارن از فازورهای ولتاژ استفاده نموده‌ایم. این فازورها می‌توانند ولتاژهای خط به خط یا خط به زمین باشند. بعلاوه همه مطالب بیان شده در مورد فازورهای جریان نیز صادق است. بنابراین برای جریان نیز روابط مشابهی بصورت زیر وجود دارد:

$$I_{012} = \frac{1}{3} C_3 I_{abc}$$

(۲۶-۲)

$$I_{abc} = C_3^{-1} I_{012}$$

۲-۲ انواع خطاهای اتصال کوتاه در سیستم قدرت

امروزه انرژی الکتریکی در تمامی بخش‌های زندگی انسان وارد شده، بطوری که بدون آن مشکلات بسیاری برای جامعه ایجاد می‌شود. این وابستگی زیاد زندگی انسان‌ها به انرژی برق سبب شده تا مسئولین و متصدیان سیستم‌های الکتریکی همواره در تلاش برای تامین پیوسته انرژی برای

مشترکان باشند. اما عوامل متعددی می‌تواند مانع این هدف شوند که از جمله آنها بروز خطا^۱ در سیستم انرژی الکتریکی است. در این فصل به بررسی انواع این خطاها می‌پردازیم.

۱-۲-۲ تقسیم‌بندی کلی خطاهای سیستم قدرت

مهندسين سیستم‌های قدرت عبارت "خطا" را برای هر رخدادی که موجب عملکرد نادرست سیستم شود بکار می‌برند. اما برخی از این وقایع به ندرت و برخی بیشتر رخ می‌دهند. از این رو بسیاری از متخصصین و اساتید ودانشجویان این عبارت را تنها در مورد آن دسته از حوادث که بیشتر اتفاق می‌افتند بکار می‌برند. خطاهای سیستم قدرت را می‌توان بصورت کلی به دو دسته خطاهای سری^۲ و موازی^۳ تقسیم بندی نمود. خطاهای سری نیز به ندرت اتفاق می‌افتند و به همین علت کم‌تر مورد توجه قرار می‌گیرند و در مباحث درسی دانشگاه‌ها تدریس نمی‌گردند. این امر موجب آن شده که اکثر افراد کلمه "خطا" را معادل با خطاهای موازی بدانند. در ادامه این فصل به توضیح در مورد هر دو دسته خطاها پرداخته خواهد شد اما در این پایان‌نامه فقط به دسته‌بندی خطاهای موازی می‌پردازیم.

۲-۲-۲ اهمیت مطالعه و بررسی انواع خطاهای اتصال کوتاه

با توجه به نقش مهم و کلیدی سیستم قدرت در زندگی انسان‌ها، متخصصان همواره می‌کوشند تا این سیستم را در شرایط مناسب نگه داشته و نیاز جامعه را به انرژی الکتریکی برطرف سازند. عوامل متعددی نظیر پدیده‌های آب و هوایی، حوادث غیر مترقبه، استهلاک تجهیزات در اثر گذشت زمان و غیره، در عملکرد این سیستم دخالت دارند. همین عوامل باعث می‌شوند تا همیشه سیستم قدرت در معرض خطر باشد و همواره عوامل مختلفی باعث برهم خوردن عملکرد بخشی از شبکه یا کل آن

¹ Fault

² Series Faults

³ Parallel Faults

گردند. نمونه‌ای از این وقایع در شکل (۲-۲) آورده شده است. مهندسين برق این حوادث را خطا می-نامند. خطاها جز جدایی ناپذیر سیستم قدرت هستند و نمی‌توان مانع از رخ دادن آن‌ها شد. اما با طراحی و نگهداری خوب و بهره‌برداری صحیح می‌توان احتمال وقوع و اثرات مخرب آن‌ها را کم کرد.



شکل (۲-۲): وقوع یک خطای اتصال کوتاه در یک سیستم توزیع به علت طوفان و بارش باران

خطاها ممکن است اثرات مخرب داشته باشند. در محل خطا ممکن است قوس الکتریکی با درجه حرارت بالا ایجاد شود که سبب آتش‌سوزی و انفجار می‌گردد و خطرات جانی و مالی بسیار به دنبال دارد. در اثر جریان‌های بالا ممکن است نیروهای مکانیکی مخربی ایجاد شود [۲۱]. اضافه ولتاژها ممکن است عایق‌ها را در معرض ولتاژهایی بیش از ولتاژ شکست آن‌ها قرار دهند. حتی در مورد خطاهای خفیف، جریان‌های خطادار در سیستم خطادار ممکن است تجهیزات را داغ کرده و وجود اضافه حرارت در طول زمان عمر دستگاه‌ها را کاهش می‌دهد.

با وجود این مضرات لازم است که خطاها هرچه سریع‌تر برطرف شوند. اما به موازات این هدف، هدف دیگری نیز وجود دارد و آن تامین شدن بارهای شبکه تا حد امکان است. زیرا قطع شدن بعضی از بارها می‌تواند خسارات سنگینی به بار آورد. به عنوان نمونه قطع شدن بارهای روشنایی، سیستم

تهویه مطبوع یا خطوط تلفن معمولاً چندان مشکل‌ساز نیست، اما قطع برخی بارهای صنعتی می‌تواند زیان‌های جدی در بر داشته باشد. برای مثال قطع برق یک واحد ذوب آهن سبب انجماد آهن در کوره آن شده و لازم است تا کوره تعمیر شود که این مستلزم چند ماه توقف کارخانه و صرف هزینه‌های سنگین است. یا قطع برق در یک واحد صنعتی پخت نان حتی برای مدت نه چندان طولانی موجب فاسد شدن چند تن خمیر نان می‌گردد. بنابراین سیستم حفاظت شبکه باید به نحوی عمل کند که علاوه بر جدا کردن بخش خطادار از شبکه، تا حد امکان بار شبکه را تامین نماید.

مهندسين سیستم‌های قدرت در نظر دارند تا در آینده با تبدیل سیستم‌های قدرت فعلی به سیستم‌های هوشمند^۱، به بهینه‌ترین حالت بهره‌برداری از شبکه دست پیدا نمایند. به طوری که با رخ دادن یک اتصال کوتاه در یک فاز، بارهای سه فاز بوسیله تجهیزات حفاظتی خود از شبکه جدا شوند ولی بارهای تک‌فاز متصل به فازهای سالم به کار خود ادامه دهند. این امر علاوه بر افزایش سطح رضایت مصرف‌کننده‌ها برای پایداری سیستم در برابر خطا نیز مفید است. یکی از لوازم اصلی رسیدن به این هدف دانستن دسته خطا و یا فازهای درگیر در خطا می‌باشد. از این جهت دسته‌بندی خطاها اهمیت ویژه‌ای در سیستم‌های هوشمند خواهد داشت.

۲-۲-۳ خطاهای موازی

خطاهای موازی به آن دسته از خطاها گفته می‌شود که در آن‌ها ارتباطی بین خطوط با یکدیگر و یا خطوط و زمین وجود دارد [۱۴]. اکثر خطاهایی که در سیستم قدرت رخ می‌دهند از این نوع می‌باشند. بین ۷۰ تا ۹۰ درصد از خطاهای رخ داده شبکه‌های برق از نوع موازی هستند. این وقایع اکثراً در اثر عواملی مانند صاعقه، طوفان‌های شدید، زلزله و سایر عواملی که منجر به پاره شدن هادی‌های خطوط یا فروریختن دکل‌ها می‌شوند ایجاد می‌گردند. این خطاها به

¹ Smart Grid

چهار دسته کلی زیر قابل تقسیم هستند:

۱. اتصال یک فاز به زمین (SLG)

۲. اتصال دو فاز به زمین (DLG)

۳. اتصال دو فاز به یکدیگر (LL)

۴. اتصال سه فاز به یکدیگر (3ϕ)

موارد ۱ تا ۳ هر یک شامل چند زیر دسته می‌باشند. بطور مثال در نوع دوم سه حالت مختلف وجود دارد که به ترتیب شامل اتصال فازهای A-B، B-C و C-A می‌شوند. لازم به ذکر است که به غیر از چهار مورد ذکر شده خطاهای موازی دیگری هم در سیستم رخ می‌دهند که از میان آن‌ها خطاهای همزمان را می‌توان نام برد. خطاهای همزمان انواع مختلفی دارند اما مهم‌ترین آن‌ها شامل موارد زیر است:

۱. اتصال یک فاز به زمین از دو نقطه

۲. اتصال دو فاز به یکدیگر از دو نقطه

۳. اتصال دو فاز به زمین از دو نقطه

از آنجا که رخ دادن خطا در دو نقطه متفاوت از یک خط بطور همزمان بسیار کم است، خطاهای همزمان به ندرت اتفاق می‌افتند. به همین دلیل در مباحث مربوط به حفاظت و پایداری سیستم‌های قدرت چندان در نظر گرفته نمی‌شوند. در این پایان‌نامه نیز خطاهای موازی همزمان در نظر گرفته نشده‌اند.

در بین دسته خطای غیرهمزمان مذکور، بیشترین درصد وقوع مربوط به خطاهای تک‌فاز است. درصد وقوع خطاهای SLG، LL، DLG و 3ϕ به ترتیب برابر با ۷۰٪، ۱۵٪، ۱۰٪ و ۵٪ کل خطاها می‌باشند [۲۲]. کل خطاهایی که در این پایان‌نامه در نظر گرفته شده‌اند مطابق جدول (۱-۳) می‌باشد.

جدول (۱-۲). انواع خطاهای موازی در سیستم قدرت و درصد وقوع آن‌ها [۲۲]

نوع خطا	SLG			LL			DLG			3ϕ
درصد وقوع	٪۷۰			٪۱۵			٪۱۰			٪۵
فازهای درگیر	A	B	C	AB	BC	CA	ABG	BCG	CAG	ABC

خطاهای موازی غیر همزمان که به اختصار آن‌ها را خطاهای موازی می‌نامیم، با توجه به آنکه موجب برهم خوردن تعادل سیستم بشوند یا خیر، به دو دسته نامتقارن^۱ و متقارن^۲ تقسیم می‌شوند. خطاهای متقارن تنها شامل خطاهای 3ϕ می‌شوند و سایر خطاهای ذکر شده در جدول (۱-۲) نامتقارن می‌باشند. خطاهای نامتقارن سبب ایجاد توالی‌های منفی و صفر مولفه‌های متقارن جریان و ولتاژ می‌گردد. در فصل‌های بعدی بیان خواهد شد که از تاثیر خطاهای متقارن و نامتقارن بر مولفه‌های متقارن چگونه می‌توان برای دسته‌بندی خطا استفاده نمود.

۲-۲-۴ خطاهای سری

خطای سری به شرایطی گفته می‌شود که در آن‌ها هیچ ارتباطی بین فازها با یکدیگر و یا با زمین وجود ندارد. عبارت "سری" از این جهت به آن‌ها اطلاق می‌شود که این شرایط را می‌توان با تغییر امپدانس سری خط مدل نمود. برای مثال پدیده قطع شدن یک خط در حالتی که هادی‌های آن با سایر فازها و یا با زمین ارتباط نداشته باشند یک خطای سری است. این خطا را می‌توان با بینهایت کردن امپدانس سری فاز قطع شده مدل کرد. به خاطر نحوه مدل‌سازی مذکور، در خطای سری محل وقوع خطا اهمیتی ندارد و در حل مسئله هیچ تغییری ایجاد نمی‌کند. خطاهای سری را نیز می‌توان به دو دسته متقارن و نامتقارن تقسیم نمود.

¹ Unsymmetrical

² Symmetrical

خطای سری نیز در عمل بسیار کم رخ می‌دهند. بعلاوه ضررهای آنان بسیار کمتر از خطاهای موازی است. از اینرو در مباحث حفاظتی به ندرت مورد توجه قرار می‌گیرند. در این پایان‌نامه نیز این دسته از خطاها در نظر گرفته نشده‌اند. برای مطالعه در این زمینه و آشنایی با نحوه انجام محاسبات خطاهای سری به مرجع [۱۴] مراجعه نمایید.

۳-۲ بررسی روش‌های ارائه شده در زمینه دسته بندی خطاهای اتصال کوتاه

به علت اهمیت دسته‌بندی خطاهای اتصال کوتاه تاکنون روش‌های مختلفی برای آن ارائه شده است که در هر کدام ابزار خاصی مورد استفاده قرار گرفته است. اما آنچه کارایی و برتری نسبی یک روش را در مقایسه با دیگران تعیین می‌نماید ابزار مورد استفاده نمی‌باشد بلکه معیارهای دیگری برای سنجش و مقایسه روش‌های فوق وجود دارند. این معیارها شامل موارد زیر هستند:

۱. مدت زمان لازم برای تشخیص دسته خطا
۲. فرکانس نمونه برداری از سیگنال‌های جریان و ولتاژ
۳. چگونگی تاثیر عواملی همچون امپدانس خطا، زاویه رخ دادن خطا و مدت زمان خطا بر دقت و عملکرد یک روش
۴. تعداد نمونه‌های مورد استفاده برای آموزش در روش‌های مبتنی بر آموزش مانند شبکه‌های عصبی یا ماشین بردار پشتیبان^۱
۵. معیار انتخاب شده برای تعیین دسته خطاهای اتصال کوتاه
۶. قابلیت روش ارائه شده برای بکاربردن آن در سیستم‌های قدرت دیگر

در ادامه این فصل به تفصیل به بررسی این ملاک‌ها در مورد تحقیقات پیشین می‌پردازیم.

¹ Support Vector Machine

۲-۳-۱ روش‌های ارائه شده در زمینه دسته‌بندی خطاهای اتصال کوتاه

از آنجا که دسته‌بندی خطا همواره مورد توجه متخصصین سیستم‌های قدرت بوده است در سال‌های اخیر روش‌های مختلفی برای انجام آن ارائه شده است که در هر یک ابزار خاصی بکار رفته است. یکی از پرکاربردترین ابزارها در انجام این کار، شبکه‌های عصبی مصنوعی هستند [۲۳-۲۴-۲۵]. در برخی از تلاش‌ها از تبدیل موجک^۱ بهره گرفته شده [۲۶-۲۷] و در دسته‌ای دیگر از تحقیقات ماشین بردار پشتیبان (SVM) استفاده شده است [۲۸]. تئوری فازی نیز در این عرصه بدون نقش نبوده و برخی آن را مورد استفاده قرار داده‌اند [۲۹]. روش‌های دیگری همچون درخت تصمیم^۲ [۳۰]، اصل آنتروپی داده‌ها^۳ [۳۱] و غیره نیز برای دسته‌بندی خطاها استفاده شده‌اند. بسیاری نیز از ترکیب‌های مختلفی از روش‌های فوق استفاده نموده‌اند [۳۲-۳۳-۳۴]. اما آنچه برتری یک روش را نسبت به سایر روش‌ها تعیین می‌نماید ابزار مورد استفاده آن‌ها نیست بلکه معیارهای دیگری برای این کار وجود دارد که در ادامه این فصل به آن می‌پردازیم:

۲-۳-۲ مدت زمان لازم برای تشخیص خطا

مدت زمان لازم برای تشخیص دسته خطا باید تا حد ممکن کوتاه باشد. در واقع پیش از آنکه رله‌ها عمل کرده و بخش خطادار را از سیستم جدا کنند، باید دسته‌بندی انجام شود و گرنه پس از جدا شدن بخش خطادار دیگر امکان دسته‌بندی وجود ندارد. از آنجا که مدت زمان عملکرد رله‌ها عموماً بیش از ۲۰۰ میلی ثانیه است، تشخیص خطا باید پیش از این زمان انجام شده باشد. ۲۰۰ میلی ثانیه در فرکانس ۵۰ هرتز معادل با ۱۰ سیکل است. لیکن تمام این ۱۰ سیکل برای دسته‌بندی خطا

¹ Wavelet Transfer

² Decision Tree

³ Entropy

صرف نمی‌شود بلکه پیش از دسته‌بندی می‌باید تشخیص وقوع خطا توسط یک سیستم تشخیص خطا^۱ انجام شود. بنابراین باید چند سیکل از بازه مذکور را برای تشخیص وقوع خطا کنار گذاشت.

برای مثال در بهترین نتایج بدست آمده در تحقیقات انجام شده مدت زمان $\frac{1}{4}$ سیکل برای دسته‌بندی خطا بیان شده است [۲۳]. پس از آن در مرجع [۲۴] مدت زمان کمتر از نیم سیکل ارائه شده است. در سایر مراجع این فصل زمان‌های نیم سیکل و یک سیکل و دو سیکل ارائه شده است. همگی این زمان‌ها بخصوص زمان‌های کمتر از یک سیکل برای دسته‌بندی خطا بسیار مناسب به نظر می‌رسند.

۳-۳-۲ فرکانس نمونه‌برداری از سیگنال‌های جریان و ولتاژ

در عمل در یک سیستم واقعی تنها چیزی که در دسترس مهندسین می‌باشد سیگنال‌های جریان و ولتاژ سیستم است و برای دانستن مقدار آن‌ها و یا هر پارامتر دیگر سیستم باید از این سیگنال‌ها نمونه‌برداری نمود. روش‌های دسته‌بندی خطا نیز از این قاعده مستثنی نبوده و نیازمند نمونه‌برداری از جریان و ولتاژ هستند. فرکانس نمونه‌برداری باید بقدری بالا باشد که نمونه‌های گرفته شده شامل حداکثر اطلاعات ممکن از موج اولیه باشند. از طرف دیگر، این فرکانس باید در حدود فرکانس‌های نمونه‌برداری متعارف باشد تا دستیابی به آن‌ها در عمل امکان‌پذیر باشد. بطور کلی باید گفت فرکانس نمونه‌برداری هرچه کمتر باشد بهتر است به شرط آنکه اطلاعات موج اولیه را از دست ندهیم.

در تمامی مراجع این فصل به غیر از مرجع [۲۶] فرکانس‌های نمونه‌برداری در محدوده کمتر از ۴KHz می‌باشند. نمونه برداری با چنین فرکانس‌هایی در عمل بسادگی قابل انجام است. در مرجع

¹ Fault Detection

[۲۶] نیز فرکانس ۴۰۰KHz بکار رفته که در عمل امکان پذیر است و امروزه ادوات اخذ داده^۱ چنین فرکانس‌هایی را برای نمونه برداری فراهم نموده‌اند.

۴-۳-۲ تاثیر عوامل موثر در جریان و ولتاژ خطا بر عملکرد روش‌های دسته‌بندی

خطاها

عوامل موثر در جریان و ولتاژ خطا نظیر امپدانس خطا، زاویه رخ دادن خطا و مدت زمان خطا، نباید در عملکرد و دقت روش‌هایی که پیشنهاد می‌شوند تاثیری داشته باشند. به عبارت بهتر هر روشی که برای تشخیص، دسته‌بندی و مکان‌یابی خطا مطرح می‌شود باید قادر باشد تمامی خطاهای احتمالی را با هر شرایطی از نظر عوامل مذکور را به درستی تحلیل نماید و پاسخ صحیح بدهد. برای مثال اگر روشی برای خطاهایی که در زوایای نزدیک به صفر رخ می‌دهند پاسخ‌های مناسب ارائه نماید و برای خطاهایی که در زوایای بیشتر رخ می‌دهند دقت کمتری داشته باشد، روش مناسبی نیست. بنابراین لازم است که اثر هر یک از موارد فوق بر روشی که ارائه می‌شود بررسی شود. در هیچ-یک از مراجع این فصل این مسائل مطرح نشده است.

۵-۳-۲ تعداد نمونه‌های استفاده شده برای آموزش در روش‌های مبتنی بر آموزش

در روش‌های مبتنی بر آموزش و آزمایش، نظیر شبکه‌های عصبی یا ماشین بردار پشتیبان، برای غلبه بر مشکل مطرح شده در بخش قبل می‌بایست تعداد زیادی خطاهای اتصال کوتاه شبیه‌سازی شوند، بطوری که این خطاها از نظر عوامل فوق‌الذکر تنوع زیادی داشته باشند. اگر تعداد خطاهای شبیه‌سازی شده که برای آموزش استفاده می‌شود به قدر کافی زیاد باشد و تنوع پارامترهای خطا نیز به حد کافی باشد می‌توان امیدوار بود که روش طراحی شده خطاها را با هر شرایطی از لحاظ مکان،

¹ Data Acquisition

زاویه، امپدانس و مدت درست تحلیل خواهد نمود.

البته باید به این نکته توجه نمود که اگرچه زیاد بودن نمونه‌های آموزشی موجب دقت بالاتری در عملکرد این روش‌ها می‌گردد، لیکن نمونه‌ها باید به اندازه کافی با یکدیگر متفاوت باشند. برای مثال در برخی مقالات در طول یک خط انتقال چند هزار خطای اتصال کوتاه شبیه‌سازی نموده‌اند [16]. واضح است که بسیاری از این خطاها تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند و از میان این چند هزار خطا کمتر از ۵۰۰ خطا را می‌توان به نمایندگی از سایرین در نظر گرفت بطوری که دقت روش پیشنهادی تغییر چندانی نکند.

۲-۳-۶ معیار انتخاب شده برای تعیین دسته خطاهای اتصال کوتاه

انتخاب یک معیار مناسب و کارآمد مهم‌ترین مسئله در ارائه یک روش دسته‌بندی است. در این زمینه انتخاب‌های متعددی وجود دارد. برای مثال در بسیاری از روش‌های ارائه شده از جریان یا ولتاژ و یا هر دوی آن‌ها استفاده شده است [۲۳-۲۶-۲۷-۳۱]. برخی نیز پیشنهاد می‌کنند که می‌توان از توان حقیقی یا موهومی نیز استفاده نمود. البته انتخاب‌های فراوان دیگری نیز وجود دارد. در بسیاری از تحقیقات اخیر سیگنال‌های زمانی جریان و ولتاژ کنار گذاشته شده و از مقادیر فازوری جریان و ولتاژ استفاده شده است [۲۹-۳۲]. در مرجع [۲۶] از موج سیار جریان^۱ استفاده شده است.

پارامتری که بعنوان معیار انتخاب می‌شود تاثیر بسزایی در روش پیشنهادی دارد. بعنوان نمونه در مرجع [۲۶] از موج سیار جریان استفاده شده است. چون سرعت حرکت این موج برابر با سرعت نور است برای ثبت آن در سیگنال جریان، نیاز به فرکانس نمونه‌برداری بسیار بالایی می‌باشد که در این مرجع فرکانس ۴۰۰KHz انتخاب شده است که برای دستیابی به آن نیاز به ادوات خاصی می‌باشد. بعلاوه به علت فرکانس فوق‌العاده زیاد موج سیار، برای استخراج آن از سیگنال جریان نمی‌توان

¹ Current Traveling Wave

از تبدیل فوریه استفاده نمود. به همین علت از تبدیل موجک استفاده شده است. بنابراین موج سیار جریان پارامتر مناسبی برای دسته‌بندی خطا به نظر نمی‌رسد.

در برخی از روش‌ها نظیر آنچه در [۲۳-۲۸] ارائه شده است، چند واحد SVM و یا شبکه عصبی بصورت موازی با یکدیگر عمل می‌کنند. از آنجایی که آموزش این واحدها بصورت جدا از سیستم قدرت انجام می‌شود زیاد بودن تعداد واحدها عیب بشمار نمی‌آید. اما نیاز به چند واحد مجزا می‌تواند ناشی از نامناسب بودن معیار انتخابی برای ورود به شبکه عصبی یا SVM باشد.

۲-۳-۷ قابلیت روش ارائه شده برای پیاده‌سازی آن در سیستم‌های قدرت دیگر

از مهم‌ترین ملاک‌های سنجش روش‌های دسته‌بندی خطاها قابلیت پیاده‌سازی آن‌ها در سیستم‌های مختلف و متفاوت است. روش‌هایی که از ابزارهای مبتنی بر آموزش مانند شبکه‌های عصبی استفاده می‌نمایند برای پیاده شدن در یک سیستم جدید باید دوباره آموزش‌های لازم را ببینند. این مسئله را نمی‌توان به عنوان یک عیب مطرح نمود زیرا آموزش شبکه بصورت جدا از سیستم قدرت انجام می‌گردد. آنچه موجب جامعیت یک روش برای پیاده‌سازی آن در سیستم‌های مختلف می‌شود پارامتری است که بعنوان معیار انتخاب می‌شود. در مراجع این فصل سیستم‌های قدرت شبیه‌سازی شده برای تست روش‌های ارائه شده بسیار ساده می‌باشند و هیچ دلیلی وجود ندارد که این روش‌ها در یک سیستم واقعی با بیش از ۱۰۰ باس قابل استفاده باشد. در مراجع این فصل در مورد امکان پیاده‌سازی روش‌های خود در سیستم‌های پیچیده بحث نموده‌اند و تنها به سیستم‌های فوق‌العاده ساده اکتفا نموده‌اند. البته در مراجع [۲۶-۲۹] روش‌های پیشنهادی بر سیستم‌های پیچیده-تری نسبت به سایرین پیاده سازی شده‌اند.

در مراجع [۲۹-۳۲] از متغیرهای فازوری برای دسته‌بندی خطا استفاده شده است. اما واضح است که آنچه در عمل قابل اندازه‌گیری است مقادیر زمانی جریان و ولتاژ می‌باشند. بنابراین برای پیاده‌سازی این روش‌ها باید روشی برای محاسبه فازورها بوسیله سیگنال‌های زمانی بیان شود تا

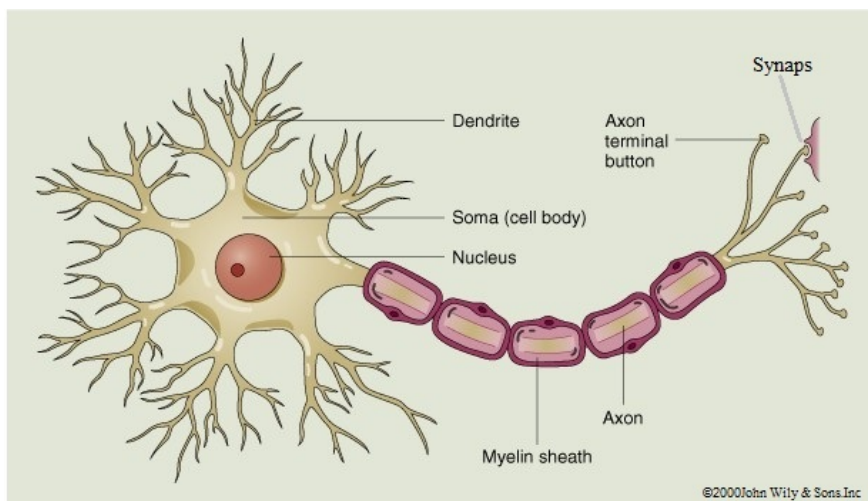
مشخص شود که در این روش نحوه نمونه‌برداری و انجام محاسبات به چه صورت بوده و آیا قابل استفاده در تمامی سیستم‌ها می‌باشد یا خیر. متأسفانه در هیچ یک از مراجعی که از پارامترهای فازوری استفاده نموده‌اند مطلبی در مورد روش محاسبه فازورها بیان نشده است. بعلاوه یک سوال اساسی که این روش‌ها با آن روبرو هستند این است که متغیرهای فازوری تنها در حالت سینوسی دائمی قابل تعریف و اندازه‌گیری هستند. اما زمانی که خطایی در سیستم رخ می‌دهد شکل موج جریان‌ها و ولتاژها از حالت دائمی سینوسی خارج می‌شوند و دیگر متغیرهای فازوری در مورد آنها مفهومی ندارد. با این تفاسیر چگونه در برخی از تحقیقات در بازه‌ای که سیستم در حالت غیر سینوسی است از فازورها استفاده شده است. این‌ها همه مطالبی هستند که در یک روش خوب و کارآمد برای دسته‌بندی خطا می‌باید پاسخ داده شده باشند، اما به علت جدید بودن مبحث دسته‌بندی خطاهای اتصال کوتاه توسط محققان به خوبی جواب داده نشده‌اند و شاید در آینده روش‌های کامل و جامعی برای دسته‌بندی خطاهای اتصال کوتاه ارائه شوند.

۴-۲ مروری بر شبکه‌های عصبی مصنوعی

۴-۲-۱ فرایند یادگیری در مغز انسان

توانایی یادگیری یکی از توانمندی‌های خاص انسان است و سایر موجودات یا از آن بهره‌ای ندارند و یا توانایی یادگیری بسیار محدودی دارند. وجود این قابلیت در انسان به خاطر مغز فوق‌العاده پیچیده و شگفت‌انگیز اوست. مغز انسان از سلول‌های عصبی یا نرون^۱ تشکیل شده است که این نرون‌ها با استفاده از بخش‌های مختلف خود با یکدیگر ارتباط برقرار می‌نمایند. شکل یک نرون عصبی مغز انسان در شکل (۲-۳) آورده شده است.

¹ Neuron



شکل (۲-۳): نرون عصبی مغز انسان

هر نرون از طریق دندریت^۱ها و اکسون^۲های خود با سایر نرون‌ها ارتباط برقرار می‌نماید. دندریت-های یک نرون ورودی‌ها و اکسون‌هایش خروجی‌های آن هستند. دندریت‌های یک نرون به اکسون‌های سایر نرون‌ها متصل است و به این محل اتصال سیناپس^۳ گفته می‌شود. نرون‌ها با استفاده از موادی که در محل سیناپس ترشح می‌کنند با هم ارتباط برقرار می‌کنند.

انسان برای یادگیری کاری که تاکنون آن را انجام نداده است نیاز به تمرین دارد. با انجام تمرینات زیاد فرد می‌تواند آن فعالیت را به نحو مناسب انجام دهد و در این حالت گفته می‌شود که فرد آن فعالیت را یاد گرفته است. تاثیری که تمرین در فرد می‌گذارد آن است که باعث می‌شود تا میزان ترشحات در محل سیناپس‌های مختلف به نحوی تصحیح شوند که فرد فعالیت مورد نظر را بهتر انجام دهد. بنابراین قدرت یادگیری مغز به توانایی آن در تنظیم میزان ترشحات در سیناپس‌ها مربوط می‌شود.

این قابلیت مغز و سلول‌های عصبی ایده اصلی و بنیادین در بوجود آمدن شبکه‌های عصبی

¹ Dendrite
² Axon
³ Synapse

مصنوعی است. در ادامه بیان خواهد شد که چگونه سلول‌های عصبی مصنوعی تعریف می‌شوند و چطور برای انجام یک هدف مشخص تمرین می‌کنند.

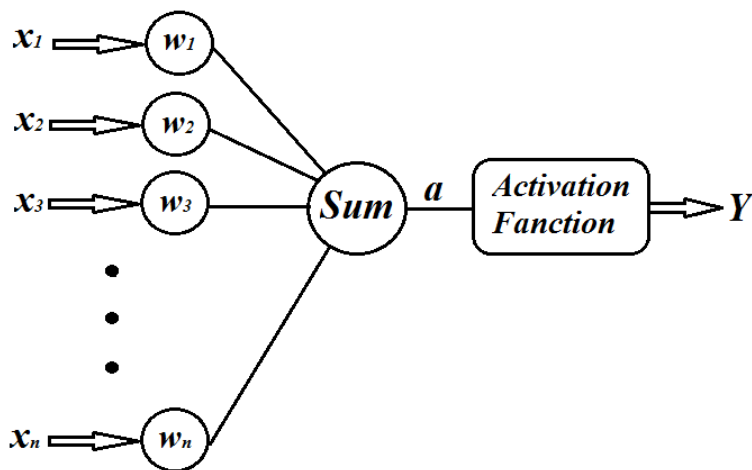
۲-۴-۲ نرون‌های مصنوعی

نرون مصنوعی یک مدل ریاضی است که دارای توانایی یادگیری است. ساختار این مدل را می‌توان در شکل (۴-۲) دید. در این شکل مقادیر x_1, x_2, \dots, x_n ورودی‌های نرون هستند. مقادیر w_1, w_2, \dots, w_n نیز وزن^۱های نرون نامیده می‌شوند. ورودی‌ها ابتدا در وزن‌ها ضرب شده و سپس به یک جمع‌کننده وارد می‌شوند. نتیجه این جمع‌کننده متغیر a است که وارد بخشی بنام تابع تحریک می‌شود. خروجی نرون در واقع خروجی این تابع می‌باشد. بنابراین معادله خروجی نرون بصورت معادله (۲۷-۲) می‌باشد.

$$Y = f(a) = f(x_1 w_1 + x_2 w_2 + \dots + x_n w_n) = f(WX)$$

$$W = [w_1 \quad w_2 \quad \dots \quad w_n] \quad (۲۷-۲)$$

$$X = [x_1 \quad x_2 \quad \dots \quad x_n]^T$$



شکل (۴-۲): ساختار یک نرون عصبی مصنوعی

¹ Weight

وزن‌های نرون عصبی مهم‌ترین پارامتر آن می‌باشند. وزن‌ها در واقع بیانگر اهمیت هر ورودی می‌باشند. همانگونه که در مغز انسان برای یادگیری یک عمل میزان ترشحات در سیناپس‌ها تنظیم می‌شود، در شبکه‌های عصبی مصنوعی نیز برای انجام صحیح هر هدف مقادیر وزن‌ها تصحیح می‌شوند. بنابراین برای استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی باید در طی یک فرایند یادگیری مقادیر مناسبی برای وزن‌های آن پیدا کنیم.

تابع فعال‌سازی نرون می‌تواند توابع متعددی باشد. این تابع باید برحسب کاربرد شبکه انتخاب گردد. این تابع در فرایند آموزش تغییری نمی‌نماید. توابعی که بعنوان توابع تحریک کاربرد زیادی دارند در جدول (۲-۲) آورده شده‌اند.

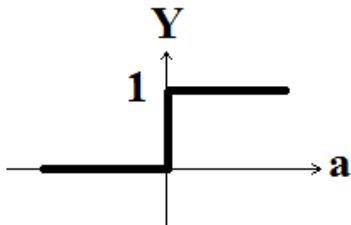
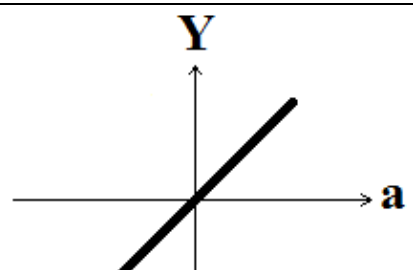
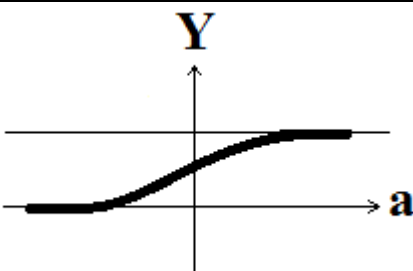
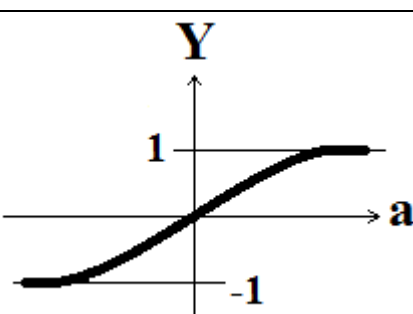
در اینجا ذکر یک نکته ضروری است و آن اینکه مدل ارائه شده برای نرون، تنها یکی از مدل‌ها و البته پرکاربردترین آن‌ها می‌باشد. نرون‌های دیگری که از لحاظ ساختار و نحوه محاسبه خروجی متفاوت هستند نیز وجود دارند. دسته‌ای از آن‌ها نرون‌های رقابتی^۱ هستند که ساختاری مشابه شکل (۲-۴) دارند اما نحوه محاسبه خروجی در آن‌ها متفاوت است. در نرون‌های معمولی طبق معادله (۲-۲) متغیر a ضرب داخلی بردار ورودی‌ها و بردار وزن‌ها می‌باشد. اما در یک نرون رقابتی متغیر a برابر با فاصله اقلیدسی بردار ورودی‌ها و بردار وزن‌ها می‌باشد. بنابراین معادله خروجی یک نرون رقابتی مطابق معادله (۲-۲۸) می‌باشد.

$$Y = f(a) = f(|W - X|) \quad (2-28)$$

در بخش‌های بعدی این فصل با شبکه‌هایی که از نرون‌های فوق تشکیل شده‌اند بیشتر آشنا می‌شویم.

¹ Competitive Neurons

جدول (۲-۲): برخی از توابع تحریک پر کاربرد در نرون‌های عصبی مصنوعی

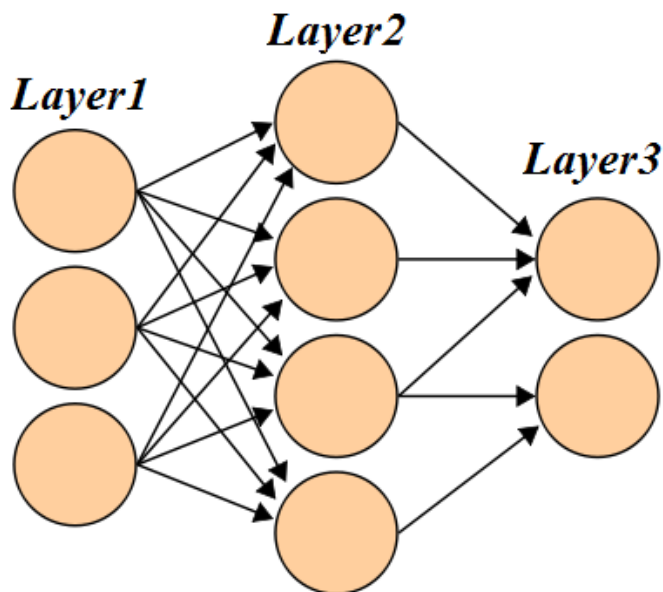
ردیف	نام تابع	معادله تابع	نمودار تابع
۱	پله	$Y = \begin{cases} 0 & a < 0 \\ 1 & a \geq 0 \end{cases}$	
۲	خطی	$Y = a$	
۳	سیگموئیدی	$Y = \frac{1}{1 + e^{-a}}$	
۴	سیگموئیدی دو مقداری	$Y = \frac{2}{1 + e^{-2a}} - 1$	

۲-۴-۳ شبکه‌های عصبی مصنوعی

یک شبکه عصبی مجموعه‌ای از نرون‌های عصبی می‌باشد. از آنجا که تعداد نرون‌ها، تعداد لایه-

های شبکه، نحوه اتصال نرون‌ها به یکدیگر و نوع هر یک از نرون‌ها حالت‌های مختلفی دارند، شبکه‌های عصبی از تنوع زیادی برخوردار هستند. اما تنها انواع محدودی از شبکه‌ها به اندازه کافی مورد بررسی قرار گرفته‌اند و در مسائل عملی نیز تنها از همین شبکه‌ها استفاده می‌شوند. در این قسمت به معرفی چند شبکه معروف می‌پردازیم.

یک ساختار ساده در شبکه‌های عصبی در شکل (۲-۵) آورده شده است. چنانچه دیده می‌شود در این ساختار نرون‌ها در ستون‌هایی مرتب شده‌اند که به هر کدام یک لایه گفته می‌شود. در شبکه شکل (۲-۵) هر نرون خروجی خود را به لایه‌های جلوتر از خود وارد می‌کند. چنین شبکه‌هایی را شبکه‌های پیشرو^۱ می‌نامند. اگر برخی نرون‌ها خروجی خود را به نرون‌های لایه‌های قبل از خود ارسال کنند آن شبکه را دارای ساختار پس‌خورده می‌نامند.



شکل (۲-۵): ساختار یک شبکه عصبی مصنوعی ساده

اگر در یک شبکه نرون‌های یک لایه با تمام نرون‌های لایه بعد در ارتباط باشند، مانند ارتباط

¹ Feed Forward

بین لایه اول و دوم در شکل (۲-۵)، آن را شبکه کاملاً متصل^۱ می‌گویند. اگر مانند لایه‌های دوم و سوم شبکه شکل (۴-۳) نرون‌ها به همه نرون‌های لایه بعد متصل نباشند آن را دارای اتصال ناقص گویند.

لایه‌های شبکه‌ها به سه دسته لایه ورودی، لایه خروجی و لایه‌های مخفی^۲ تقسیم می‌شوند. هر شبکه تنها یک لایه ورودی و یک لایه خروجی دارد و لایه‌های مخفی هر تعدادی می‌توانند داشته باشند.

یکی از شبکه‌های پرکاربرد که ساختار پیشرو دارد شبکه MLP^۳ است. این شبکه کاربردهای بسیاری دارد و با روشی موسوم به پس انتشار خطا^۴ آموزش داده می‌شود. از میان شبکه‌های پس‌خورد نیز می‌توان به شبکه همینگ^۵ اشاره نمود. از بین شبکه‌هایی که از نرون‌های رقابتی ساخته شده‌اند نگاشت‌های خود سازمان ده را می‌توان نام برد که در این پایان‌نامه از آن‌ها استفاده شده است. در ادامه این فصل بطور مبسوط در مورد این شبکه‌ها توضیح داده خواهد شد.

۲-۴-۴ فرایند یادگیری^۶ یا آموزش^۷

آنچه بعنوان فرایند آموزش در شبکه‌های عصبی مصنوعی مطرح می‌گردد، مشابه تمرین کردن یک انسان برای یادگرفتن یک فعالیت خاص می‌باشد. انسان در حین تمرین بارها یک عمل را انجام می‌دهد و با مقایسه نتیجه‌ای که بدست می‌آورد با آنچه که باید بدست آورد، خطای خود را مشاهده کرده و در تکرارهای بعدی سعی در رفع آن خطا می‌نماید.

بطور کاملاً مشابه در شبکه‌های عصبی مصنوعی نیز کاری که شبکه باید انجام دهد را بارها با

¹ Fully Connected

² Hidden Layer

³ Multi-Layer Perceptron

⁴ Back Propagation

⁵ Hamming

⁶ Learning

⁷ Training

آن انجام می‌دهیم و با توجه به خطای شبکه در انجام آن، وزن‌های شبکه را به نحوی اصلاح می‌نماییم که خطای آن کاهش یابد. اینکه وزن‌ها چگونه اصلاح شوند توسط قانون آموزش^۱ تعیین می‌شود. قانون آموزش یک رابطه ریاضی است که براساس میزان خطای شبکه و مقادیر فعلی وزن‌ها، مقادیر بعدی وزن‌ها را تعیین می‌نماید.

روش‌های آموزش مختلفی وجود دارند که به دو دسته کلی قابل تقسیم هستند:

۱. آموزش‌های با نظارت^۲

۲. آموزش‌های بدون نظارت^۳

در دسته اول میزان خطای شبکه در انجام هدف تعیین می‌شود و سپس براساس میزان خطا، مقادیر جدید پارامترهای شبکه تعیین می‌گردند. اما در نوع دوم مقدار خطا در محاسبه مقادیر جدید وزن‌ها بکار برده نمی‌شود. هر یک از دو دسته فوق شامل انواع متعددی از روش‌ها می‌شوند که از لحاظ قانون آموزش بکار رفته و پارامترهایی که باید تصحیح شوند متفاوت هستند.

۲-۴-۵ نگاشت‌های خود سازمان ده

نگاشت‌های خود سازمان ده یا SOM، دسته‌ای از شبکه‌های عصبی هستند که دارای آموزش بدون نظارت هستند. کاربرد اصلی این شبکه‌ها در حل مسائل تشخیص الگو^۴ و خوشه‌بندی^۵ می‌باشد. در مسئله تشخیص الگو هدف این است که تشخیص دهیم که هر یک از نمونه‌های ورودی متعلق به کدام یک از الگوهای اصلی می‌باشد. در بحث خوشه‌بندی هدف تقسیم کردن مجموعه ورودی‌ها به چند دسته است به نحوی که اعضا هر دسته شباهت کافی داشته باشند. SOM با استفاده از روش آموزش رقابتی و تصحیح کردن وزن‌ها براساس یک شعاع همسایگی به دسته‌بندی بردارهای

¹ Learning Rule

² Supervised

³ Unsupervised

⁴ Pattern Recognition

⁵ Clustering

ورودی می پردازد.

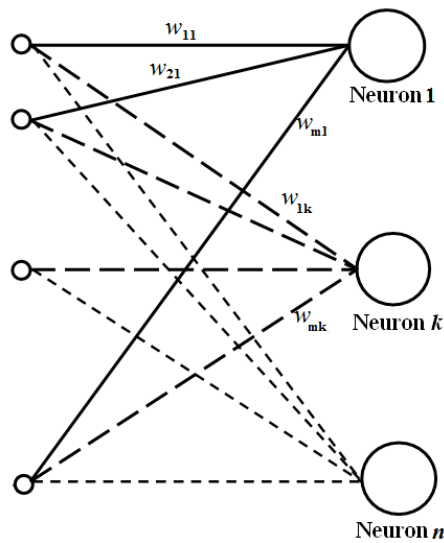
روش آموزش رقابتی که برای برخی از شبکه های عصبی بکار می رود دو تفاوت اساسی با روش -

های دارای ناظر دارد:

۱. آموزش رقابتی دارای ناظر نمی باشند.

۲. بجای ضرب داخلی بردار ورودی و بردار وزن ها، فاصله این دو بردار محاسبه می شود.

SOMها از یک لایه نرون تشکیل شده اند و ساختاری مطابق با شکل (۶-۲) دارند.



شکل (۶-۲): ساختار یک شبکه عصبی SOM

فرض کنید P مجموعه ای از نمونه های برداری بصورت p_i باشند و W ماتریس وزن های

شبکه باشد که هر یک از ستون های آن بردار وزن یکی از نرون ها باشد (معادله (۲۹-۲)).

$$P = [p_1 \quad p_2 \quad \cdots \quad p_m]$$

$$W = [w_1 \quad w_2 \quad \cdots \quad w_n]$$
(۲۹-۲)

فرض کنید که نمونه p_i را به ورودی شبکه اعمال نماییم. ابتدا فاصله اقلیدسی بین p_i و

بردار وزن تمامی نرون ها محاسبه می گردد. سپس نرونی که بردار وزن هایش کمترین فاصله را

دارد تعیین می‌شود. به این فرایند رقابت بین نرون‌ها می‌گویند و نرونی که کمترین فاصله را دارد نرون برنده^۱ می‌نامند. دومین گام در فرایند آموزش در شبکه‌های خود سازمان ده، تصحیح وزن نرون برنده و برخی از نرون‌های نزدیک به آن می‌باشد. نرون‌هایی که نزدیک به نرون برنده هستند را نرون همسایه^۲ می‌نامند. در اینجا منظور از نزدیکی کم بودن فاصله اقلیدسی بین نرون‌ها می‌باشد. نرون‌هایی که در اطراف نرون برنده هستند با آن فاصله‌های یکسانی ندارند. بنابراین به روشی باید تعیین کرد که کدامیک از نرون‌های همسایه باید در تصحیح وزن‌ها شرکت کنند. این مسئله که وزن کدامیک از نرون‌های همسایه در فرایند آموزش باید تصحیح شود، به شعاع همسایگی تعریف شده بستگی دارد. برای مثال اگر شعاع همسایگی برابر با یک تعریف شود همه نرون‌هایی که فاصله آن‌ها از نرون برنده برابر یا کمتر از یک می‌باشد در تصحیح وزن شرکت می‌کنند. در عمل شعاع همسایگی در طی فرایند آموزش متغیر در نظر گرفته می‌شود به طوری که از یک مقدار بزرگ به مقداری کوچک کاهش می‌یابد. ذکر این نکته نیز ضروری است که تعریف فوق برای شعاع همسایگی یکی از چند تعریف موجود برای این پارامتر می‌باشد و در بسیاری از کاربردها از تعاریف دیگری برای این پارامتر استفاده می‌شود. برای تصحیح وزن‌های نرون برنده و نرون‌های همسایه‌اش، از قانون آموزش زیر استفاده می‌کنیم:

$$w_{win}(k) = w_{win}(k-1) + \alpha(p_i(k) - w_{win}(k-1)) \quad (30-2)$$

که در آن w_{win} بردار وزن نرون برنده است و k نشان دهنده تعداد تکرارهای انجام شده است و p_i نمونه ورودی i ام است. برای تصحیح وزن نرون‌های همسایه نیز از قانون فوق استفاده

¹ Winner Neuron

² Neighborhood Neuron

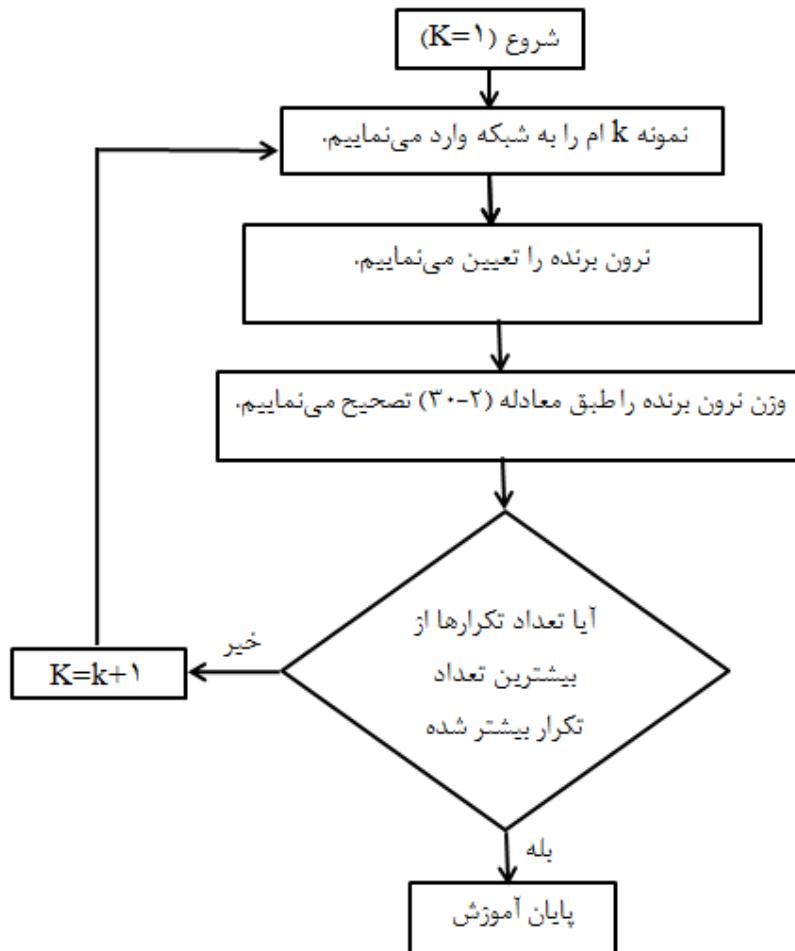
می‌کنیم؛ با این تفاوت که بجای W_{win} بردار وزن آن نرون‌ها را قرار می‌دهیم.

α را نرخ یا سرعت آموزش¹ می‌نامند. α یک عدد مثبت بین صفر و یک است. α نیز همانند شعاع همسایگی در اکثر موارد مقدار متغیری در نظر گرفته می‌شوند. در گام‌های اولیه آموزش α را مقدار بزرگی در نظر می‌گیرند که نزدیک به یک است. علت این امر در آن است که در مراحل اولیه خطای شبکه زیاد است و اگر α کوچک باشد فرایند آموزش بسیار طولانی می‌شود. در گام‌های آخر α باید مقدار کوچکی داشته باشد زیرا در این قسمت از آموزش خطای شبکه کم است و بزرگ بودن نرخ یادگیری نه تنها نمی‌تواند این خطای کم را تصحیح نماید بلکه ممکن است موجب افزایش مجدد خطای شبکه شود. در برخی از کاربردها α را یک تابع متغیر در نظر گرفته که بصورت نمایی و با ثابت زمانی مشخصی کاهش می‌یابد. اما در اکثر کاربردها برای α دو مقدار در نظر گرفته می‌شود. در نیمی از فرایند آموزش برای آن مقداری حدود $0/9$ در نظر می‌گیرند. سپس در بخش دوم آموزش برای آن یک مقدار کوچک مثلا حدود $0/05$ یا کمتر در نظر گرفته می‌شود. در پایان‌نامه حاضر از روش اخیر استفاده شده است بدین ترتیب که در نیمی از گام‌های آموزش مقدار $0/9$ و در نیمه دوم آموزش مقدار $0/05$ برای نرخ آموزش انتخاب شده است.

استفاده از این قانون آموزش سبب می‌شود تا وزن‌های نرون برنده و همسایه‌های آن بصورتی تصحیح شوند که فاصله آن‌ها تا بردار ورودی p_i کمتر از قبل شود. بنابراین با وارد شدن مجدد p_i و یا بردارهای شبیه به آن به SOM، همین نرون دوباره برنده خواهند شد. فرایند آموزش به تعداد دفعات زیاد تکرار خواهد شد و بدین طریق وزن هر کدام از نرون‌های SOM به سمت تعدادی از بردارهای ورودی میل می‌نماید و به عنوان نماینده آن‌ها در شبکه شناخته می‌شود.

¹ Learning Rate

الگوریتم آموزش SOM بصورت خلاصه در شکل (۷-۲) آورده شده است.



شکل (۷-۲): الگوریتم آموزش شبکه عصبی SOM

۵-۲ خلاصه فصل

در این فصل به تشریح و بررسی مباحث تئوری لازم برای ارائه یک روش جدید برای دسته‌بندی خطا پرداخته شد. در این فصل با مولفه‌های متقارن در یک سیستم n فاز، خطاهای سری و موازی، تلاش‌های گذشته در زمینه دسته‌بندی خطاها و نیز شبکه‌های عصبی مصنوعی آشنا شدیم. در فصل بعد بیان خواهد شد که چه معیاری را برای دسته‌بندی خطاها انتخاب می‌نماییم و چگونه با استفاده از مقادیر فازورها و مولفه‌های متقارن می‌توان به دسته‌بندی خطاها پرداخت. همچنین به انتخاب یک شبکه عصبی مناسب برای دسته‌بندی خطاها خواهیم پرداخت.

فصل سوم

دسته‌بندی خطاها با استفاده از شبکه-

های عصبی

در این پایان نامه یک روش جدید برای دسته‌بندی خطاهای اتصال کوتاه در سیستم قدرت ارائه شده است. یکی از نکات اصلی مطرح شده در این روش، انتخاب یک معیار مناسب برای دسته‌بندی است. در بخش‌های اولیه این فصل به توضیحاتی در مورد علت این انتخاب و نحوه محاسبه این پارامتر در کاربردهای عملی پرداخته شده است. در بخش آخر نیز به نحوه استفاده از شبکه عصبی در این روش اشاره شده است.

۳-۱ انتخاب مقادیر فازوری یا زمانی برای دسته‌بندی خطاهای اتصال کوتاه

چنانچه در بخش قبل بیان شد در تلاش‌های پیشین محققان متغیرهای مختلفی از شبکه را به عنوان معیاری برای دسته‌بندی خطاها انتخاب نموده‌اند. در تحقیقات اخیر محققان به استفاده از مقادیر فازوری جریان‌ها و ولتاژها روی آورده‌اند. زیرا فازور یک سینوسی یک عدد مختلط است که تمامی خواص آن را بیان می‌نماید. در حالی که در حوزه زمان برای دست داشتن تمام خواص یک موج سینوسی باید تعداد زیادی نمونه از آن برداشت. بنابراین استفاده از فازورها در جریان‌ها و ولتاژهای سینوسی موجب می‌شود تا بدون از دست دادن محتوای موج، تعداد اعدادی که باید ذخیره شوند به شدت کاهش یابد. این کاهش حجم اطلاعات سبب می‌شود تا ابزاری که برای دسته‌بندی بکار می‌رود ساختار بسیار ساده‌تر داشته باشد و سرعت و دقت بسیار بیشتری پیدا کند. به همین علت استفاده کردن از مقادیر فازوری مورد استقبال محققان قرار گرفته است [۳۵-۳۶-۳۷-۳۸].

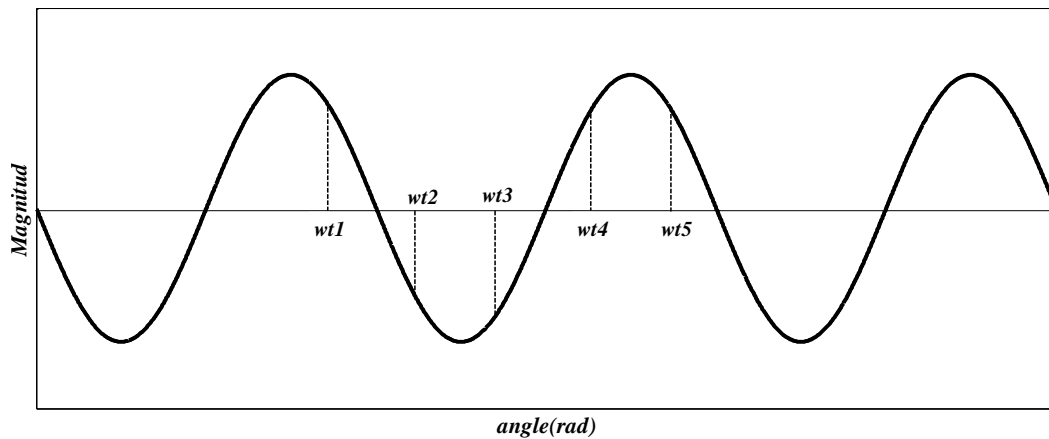
علاوه بر این، مقدار فازورهای جریان و ولتاژ هر یک از خطوط تا حدی حاکی از فازهای درگیر در خطا می‌باشند. به طور مثال تغییری که در فازورهای جریان خطوط در اثر یک خطای دو فاز بین a و b ایجاد می‌شود با تغییری که در اثر خطای بین a و c ایجاد می‌گردد متفاوت است. این امر نیز در روی آوردن محققان برای استفاده از فازورهای جریان و ولتاژ نقش بسزایی داشته است.

از سوی دیگر هر خطای اتصال کوتاه، بجز خطاهای سه فاز، سبب ایجاد عدم تقارن در سیستم می‌شوند و این امر باعث ایجاد مقادیر مولفه‌های متقارن می‌گردد. بنابراین وقوع خطاهای اتصال کوتاه تاثیر مستقیم بر مقدار مولفه‌های متقارن دارند. برای مثال مقدار مولفه‌های متقارن فاز a در حالتی که همین فاز دچار خطا شود نسبت به حالتی که فاز b یا c دچار خطا شده باشند متفاوت است (رجوع شود با معادله (۲-۲۴)). بنابراین مقدار مولفه‌های متقارن تا حدی گویای آن است که خطای رخ داده جز کدام دسته از گروه‌های ۱۰ گانه می‌باشد. این امر موجب توجه محققان به مولفه‌های متقارن جریان و ولتاژ گشته است. از آنجا که این مقادیر از جنس فازور هستند برای محاسبه آن‌ها نیاز به فازورهای جریان و ولتاژ می‌باشد و در نتیجه محققان در حوزه دسته‌بندی خطاها، به استفاده از حوزه فازور بجای حوزه زمان روی می‌آورند.

با توجه به این مسائل، در این پایان‌نامه از مقادیر فازورهای جریان و ولتاژ خطوط و مولفه‌های متقارن جریان و ولتاژ فاز a برای دسته‌بندی خطا استفاده شده است.

۳-۲ محاسبه فازورهای جریان و ولتاژ با استفاده از سیگنال‌های زمانی

آنچه که در عمل برای تشخیص، دسته‌بندی و یا مکان‌یابی خطاها در دست مهندسين قدرت می‌باشد سیگنال‌های زمانی جریان و ولتاژ خطوط می‌باشد. اما چنانکه بیان شد استفاده از مقادیر زمانی جریان و ولتاژ معایبی دارد که سبب روی آوردن متخصصین به فازورهای جریان و ولتاژ شده است. بنابراین ضروری است که بتوانیم با استفاده از سیگنال‌های زمانی، فازورها را محاسبه نماییم. فرض کنید که یک موج سینوسی مطابق شکل (۳-۱) در اختیار داریم. می‌خواهیم با نمونه‌گیری از این موج مقدار فازور این موج را محاسبه کنیم. توجه داشته باشید که فرکانس موج معلوم است و برابر ω در نظر گرفته می‌شود. در این شکل به علت مجهول بودن فاز موج سینوسی مبدا محور زمان را مشخص ننموده‌ایم.



شکل (۳-۱): یک موج سینوسی

فرض کنید که در لحظه $t = t_1$ یک نمونه از سیگنال سینوسی برداشته شود. سپس در $\frac{\pi}{2}$ رادیان جلوتر از آن یعنی در $t = t_2$ ، یک نمونه دیگر نیز برداشته شود. این عمل را برای یک بازه به طول 2π رادیان انجام می‌دهیم. بنابراین ۵ نمونه در لحظات t_1 تا t_5 بدست می‌آیند که جدول (۳-۱) آورده شده‌اند.

جدول (۳-۱): نمونه‌های برداشته شده از موج سینوسی و زمان متناظر با آن‌ها

لحظات زمانی	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5
مقدار نمونه جریان	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5

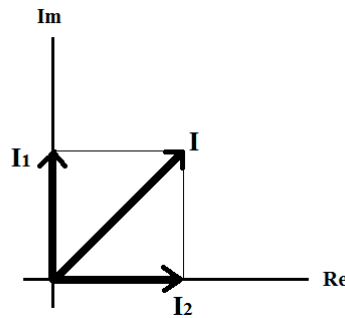
سپس برای محاسبه فازور در لحظه t_2 چنین عمل می‌کنیم که مقدار نمونه قبلی یعنی I_1 را روی محور موهومی و نمونه فعلی یعنی I_2 را روی محور حقیقی مطابق شکل (۳-۲) قرار می‌دهیم. برداری که توسط این دو مقدار در صفحه مختلط ایجاد می‌شود همان فازور جریان مورد نظر است [۳۹]. برای محاسبه اندازه و زاویه این بردار می‌توان نوشت:

$$I_1 = A \sin(\omega t_1 + \varphi)$$

$$I_2 = A \sin(\omega t_2 + \varphi) = A \sin(\omega t_1 + 90 + \varphi) = A \cos(\omega t_1 + \varphi)$$

$$\sqrt{I_1^2 + I_2^2} = \sqrt{A^2(\sin^2(\omega t_1 + \varphi) + \cos^2(\omega t_1 + \varphi))} = \sqrt{A^2} = A \quad (1-3)$$

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{I_1}{I_2}\right)$$



شکل (۲-۳): بدست آوردن فازور موج سینوسی بوسیله نمونه‌های زمانی

چنانچه دیده می‌شود اندازه این بردار دقیقاً برابر با دامنه موج سینوسی است. بردارهای مشابهی

برای لحظات بعد از t_2 تشکیل داده شده و در جدول (۲-۳) آورده شده است.

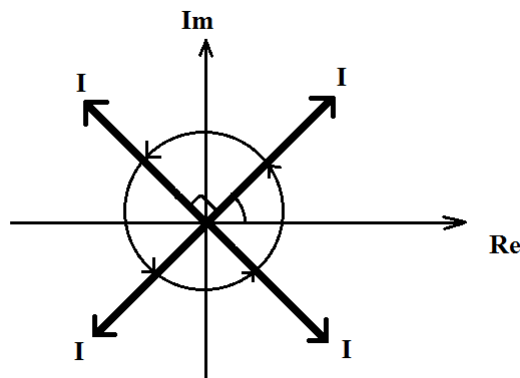
جدول (۲-۳): بردارهای مختلط ساخته شده بوسیله نمونه‌های زمانی

زمان	مقدار حقیقی	مقدار موهومی	بردار مختلط
t_1	I_1	-	-
t_2	I_2	I_1	$I_2 + i I_1$
t_3	I_3	I_2	$I_3 + i I_2$
t_4	I_4	I_3	$I_4 + i I_3$
t_5	I_5	I_4	$I_5 + i I_4$

یادآوری می‌نماییم که فازور یک موج سینوسی با فرکانس زاویه‌ای ω ، یک بردار با اندازه ثابت

است که با سرعت زاویه‌ای ω حول مبدا مختصات می‌چرخد. با رسم تمامی داده‌های جدول (۲-۳)

در شکل (۳-۳) ، دیده می‌شود که برداری به اندازه A ایجاد می‌گردد که در مدت زمان یک سیکل ، T ، به اندازه 2π رادیان دوران کرده است. پس سرعت زاویه‌ای آن برابر است با $\frac{2\pi}{T}$ که همان ω است. بنابراین بردار شکل (۳-۳) با سرعت زاویه‌ای ω می‌چرخد. در نتیجه این بردار چرخان همان فازور موج سینوسی شکل (۱-۳) می‌باشد.



شکل (۳-۳): بردار چرخان بدست آمده از نمونه‌های زمانی موج سینوسی

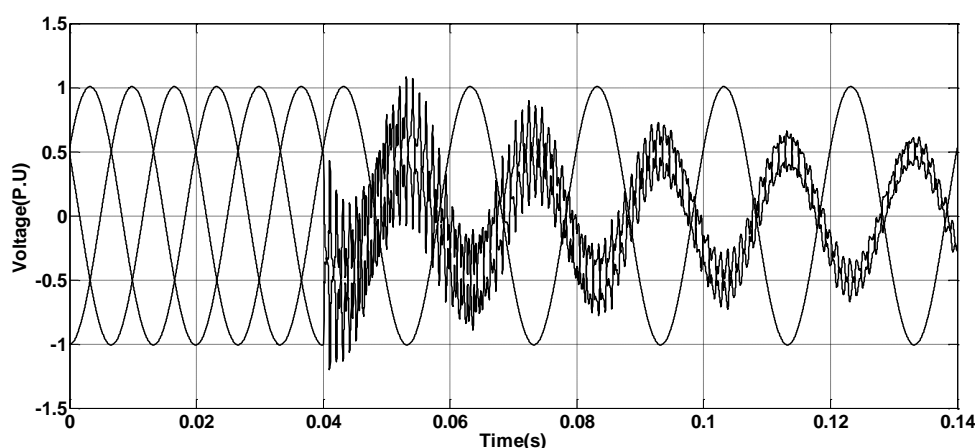
خلاصه مطلب آنکه با برداشتن نمونه‌هایی با اختلاف زاویه $\frac{\pi}{2}$ رادیان از موج سینوسی، می‌توان فازور آن را بدست آورد. برای نسبت دادن یک زاویه به این فازور می‌باید زاویه یکی از فازورهای سیستم را که آن را فازور مبنا می‌نامیم برابر با صفر در نظر گرفت و زاویه سایر فازورها را برابر اختلاف زاویه آن‌ها با این فازور مبنا در نظر گرفت.

چنانچه بیان شد در این پایان‌نامه تنها از اندازه فازورها استفاده شده است. برای محاسبه اندازه

فازورها به روش فوق تنها داشتن دو نمونه از آن کافی است. بنابراین در یک بازه زمانی به اندازه $\frac{\pi}{2}$ رادیان می‌توان اندازه فازورها را بدست آورد. در این تحقیق ولتاژ پایانه واحد تولیدی به عنوان مبنا در نظر گرفته شده است.

۳-۳ محاسبه فازورهای جریان و ولتاژ بلافاصله پس از وقوع خطا

در بخش قبل روش محاسبه فازورهای جریان و ولتاژ از یک موج سینوسی مطرح شد. اما دو سوال بسیار مهم در این جا وجود دارد. می‌دانیم که پس از وقوع خطا، جریان‌ها و ولتاژها از حالت سینوسی خارج شده و در حالت کلی دارای هارمونیک‌های مرتبه بالاتر و مقدار متوسط^۱ ثابت یا نمایی می‌گردند. برای مثال ولتاژهای یک خطای دو فاز در شکل (۳-۴) آورده شده است.



شکل (۳-۴): ولتاژهای سه فاز قبل و بعد از یک خطای دو فاز

اینجا دو سوال مطرح می‌گردد. اولاً فازورها در حالت گذرا تعریف شده‌اند و استفاده از آن‌ها در حالت گذرا و غیر سینوسی امکان‌پذیر نیست. دوم اینکه بفرص وجود مفهوم فازور در حالت گذرا، چگونه آن را محاسبه نماییم. چون روش ارائه شده مربوط به حالت سینوسی دائمی است. به این نکته هم باید توجه داشت که نمی‌توان اجازه داد تا زمان به اندازه کافی بگذرد و به حالت سینوسی برسیم و آنگاه فازورها را محاسبه نماییم. زیرا چندین سیکل زمان لازم است تا تمامی نوسانات فرکانس بالا و فرکانس پایین میرا شوند.

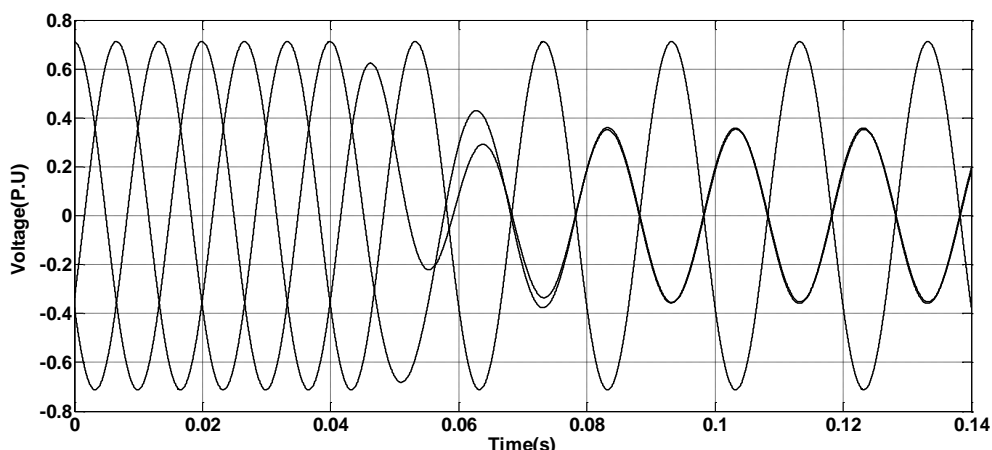
برای حل این مشکل درگام اول با استفاده از یک فیلتر پایین گذر نوسانات فرکانس بالای موجود در جریان و ولتاژ را حذف می‌نماییم. ایده استفاده از فیلتر از رله‌های امیدانس گرفته شده است

^۱ DC offset

[۳۹]. طراحان این رله‌ها در ورودی آن‌ها یک فیلتر پایین گذر قرار می‌دهند تا فقط فرکانس اصلی وارد رله شود [۳۹]. بنابراین ابتدا جریان و ولتاژ سیستم را از فیلتر پایین گذر عبور می‌دهیم تا نوسانات فرکانس بالای آن حذف شوند و تنها موج فرکانس اصلی باقی بماند. در گام بعدی برای حذف سطح DC و یا توابع نمایی موجود در ولتاژ یا جریان از فیلترهای دیجیتالی استفاده می‌نماییم [۳۹-۴۰]. شکل موج فیلتر شده سیگنال شکل (۳-۴) در شکل (۳-۵) آورده شده است. با استفاده از این فیلترها می‌توان شکل موج حالت سینوسی دائم را پیش از آنکه سیستم به حالت دائمی برسد استخراج نموده و سپس فازور آن را محاسبه نمود.

البته این نکته را نباید از نظر دور داشت که فیلتر باعث تغییر در دامنه و فاز سیگنال فرکانس اصلی می‌شود. اما این مطلب تاثیری در عملکرد روش پیشنهادی در این پایان‌نامه نخواهد داشت. زیرا همانطور که در بخش بعدی گفته خواهد شد در این روش فقط از اندازه موج اصلی استفاده خواهیم نمود و از این رو اختلاف فاز ایجاد شده توسط فیلتر در فرکانس پایه اهمیتی ندارد. علاوه بر این می‌توان این تاثیر فیلتر بر زاویه موج اصلی را محاسبه نمود و در صورت نیاز اثر آن را از بین برد.

از لحاظ دامنه موج نیز باید در نظر داشت که فیلتر دامنه تمامی موج‌هایی که فرکانس مشابه دارند در عدد یکسانی ضرب می‌کند. برای مثال فیلتر بکار رفته در این پایان‌نامه دامنه موج اصلی را که دارای فرکانس 50Hz است در ضریب $0/7$ ضرب می‌نماید که این اثر در شکل (۳-۵) دیده می‌شود. برای از بین بردن این تاثیر باید پس از محاسبه اندازه فازورهای جریان و ولتاژ آن‌ها را بر ضریب مذکور تقسیم نماییم و سپس به ادامه محاسبات پردازیم.



شکل (۳-۵): شکل موج ولتاژهای سه فاز فیلتر شده خطای دو فاز شکل (۳-۴)

۳-۴ دسته‌بندی خطاهای اتصال کوتاه به وسیله شبکه‌های عصبی

۳-۴-۱ معرفی معیار مناسب جهت دسته‌بندی خطاها

در این پایان‌نامه روش جدیدی برای دسته‌بندی خطاها ارائه شده است. ابزاری که برای دسته‌بندی در نظر گرفته شده، شبکه عصبی می‌باشند. در ابتدای امر نمی‌توان گفت که بهتر است از چه نوع شبکه‌ای استفاده شود. زیرا نوع شبکه مورد استفاده با توجه به معیاری که برای دسته‌بندی خطاها استفاده می‌نماییم مشخص خواهد شد. پس ابتدا به انتخاب یک پارامتر مناسب می‌پردازیم.

معیاری که برای دسته‌بندی انتخاب می‌شود باید پارامتری باشد که مقدار یا مقادیرش در هر یک از دسته‌ها تفاوت آشکار و محسوسی داشته باشد. با توجه به آنچه در بخش (۳-۱) بیان شد استفاده از مقادیر فازوری نسبت به مقادیر زمانی ارجحیت دارند. همچنین در آن بخش بیان شد که چرا مولفه‌های متقارن حاوی اطلاعات زیادی از دسته خطای رخ داده می‌باشند. با توجه به این مباحث، در این پایان‌نامه در نظر گرفته شد تا از مقادیر فازوری جریان و ولتاژ و مولفه‌های متقارن فاز a برای دسته‌بندی استفاده شود. در اینجا یادآوری می‌کنیم که مقادیر فازورها و مولفه‌های متقارن مربوط به آن‌ها همگی بلافاصله پس از آشکار شدن خطا محاسبه می‌شوند. در این لحظات سیگنال جریان و ولتاژ در حالت گذرا بوده و شکل سینوسی ندارند اما با روشی که در بخش (۳-۳) بیان شد

می توان فازورهای مورد نیاز را محاسبه کرد.

برای سهولت در استفاده از شبکه های عصبی و نوشتن معادلات بعدی متغیرهای فازوری مذکور

را در یک بردار مرتب می کنیم. نام این بردار را X می گذاریم:

$$X = [I_a \parallel I_b \parallel I_c \parallel I_a^+ \parallel I_a^- \parallel I_a^0 \parallel V_a \parallel V_b \parallel V_c \parallel V_a^+ \parallel V_a^- \parallel V_a^0]^T \quad (2-3)$$

در روش ارائه شده در این تحقیق، پس از رخ دادن هر خطا در سیستم قدرت، فازورهای جریان و ولتاژ و مولفه های متقارن را محاسبه می نماییم و سپس بردار X را تشکیل می دهیم. در نتیجه متناظر با هر خطا یک بردار X وجود دارد که در واقع نماینده آن خطا می باشد.

در اینجا دو سوال مهم می تواند ایجاد شود. اول اینکه چرا در بردار X که در واقع معیاری برای دسته بندی خطا است فقط اندازه فازورها استفاده شده اند و اثر زاویه آنها نادیده گرفته شده است. در پاسخ به این سوال باید یادآوری نمود که یکی از مهم ترین شاخصه های روش هایی که در زمینه دسته بندی خطاها ارائه می شوند، عدم وابستگی دقت و عملکرد آنها به شرایط مختلف است. زاویه فازورهای جریان و ولتاژ و به تبع آنها زاویه مولفه های متقارن، وابستگی شدیدی به زاویه رخ دادن خطا دارند. از این رو استفاده از آنها سبب کاهش دقت دسته بندی می گردد. اما اندازه فازورها اثری از زاویه رخ دادن خطا نمی پذیرند. تاثیر مهم زاویه خطا در شکل موج های جریان و ولتاژ به صورت ظهور گذراها¹ می باشد. بطوری که در [31] بیان شده، در زوایای نزدیک به صفر گذراهای نوسان بالا ناچیزند و گذراهای نوسان پایین زیادتر هستند و در زوایای نزدیک به ۹۰ درجه عکس این مطلب وجود دارد. این حالت های گذرا می تواند سبب تغییر در اندازه فازورها شوند اما چون پیش از محاسبه

¹ Transients

فازورها این نوسانات را فیلتر می‌کنیم، تاثیری بر اندازه فازورها و مولفه‌های متقارن نمی‌گذارند. در نتیجه زاویه رخ دادن خطا اثری در اندازه فازورها ندارد و از این رو فقط اندازه فازورها در نظر گرفته شده و از زاویه آن‌ها صرف نظر شده است.

سوال دوم این است که چرا فقط از مولفه‌های متقارن فاز a استفاده شده است. پاسخ این است که در روش پیشنهادی از اندازه مولفه‌های متقارن استفاده شده است و از آنجا که هر سه مولفه توالی مثبت با هم برابر است در نظر گرفتن یکی از آن‌ها کافی است. این مسئله در مورد توالی‌های منفی و صفر نیز صادق است.

اما یک مطلب بسیار اساسی باقی مانده است و آن اینکه فازورهای جریان و ولتاژی که تاکنون از آن‌ها صحبت نموده‌ایم مربوط به کدام نقطه است؟ این فازورها نمی‌توانند مربوط به محل خطا باشند زیرا ما محل خطا را نمی‌دانیم و حتی اگر می‌دانستیم هم در عمل امکان اندازه‌گیری ولتاژ و جریان برای ما وجود نداشت. بنابراین باید یک نقطه خاص که آن را "نقطه نمونه‌گیری"¹ می‌نامیم انتخاب کرده و تمامی اندازه‌گیری‌ها را در آن انجام دهیم. در کل نقطه اندازه‌گیری را هر جایی می‌توان انتخاب نمود اما انتخاب مناسب این نقطه تاثیر شگرفی در کارایی، سادگی و دقت روش دارد. اساسی‌ترین مسئله در انتخاب نقطه اندازه‌گیری آن است که خطاهایی که در یک دسته قرار دارند ولی در مکان‌های مختلفی از سیستم رخ می‌دهند تاثیر یکسانی بر جریان و ولتاژ این نقطه داشته باشند. اگر نقطه‌ای در طول یک خط را به عنوان نقطه اندازه‌گیری در نظر بگیریم، انتخاب مناسبی انجام نداده‌ایم. زیرا مثلا اگر یک خطای فاز a به زمین در دو نقطه قبل و یا بعد از نقطه اندازه‌گیری اتفاق بیفتد، واضح است که اثر متفاوتی در جریان نقطه اندازه‌گیری دارند. زیرا یکی موجب افزایش جریان فاز a در نقطه اندازه‌گیری می‌شود و دیگری سبب کاهش آن می‌گردد.

¹ Sampling Point

بنابراین بهتر است که نقطه اندازه‌گیری پایانه واحد تولیدی و یا یکی از باس‌های بار باشد. در این پایان‌نامه ترمینال واحد تولیدی بعنوان نقطه اندازه‌گیری انتخاب شده است. در بخش (۳-۳۴) نشان داده خواهد شد که انتخاب ترمینال واحد تولیدی یا وسط یک خط بعنوان نقطه اندازه‌گیری چه تاثیری در ساده شدن روش پیشنهادی دارد.

۳-۴-۲ نحوه استفاده از معیار معرفی شده برای دسته‌بندی خطاها

پس از بیان مطالب لازم و ضروری مقدماتی، اکنون همه شرایط برای تشریح روش پیشنهاد شده در این پایان‌نامه آماده است. در این روش جریان و ولتاژ پایانه ژنراتور را همواره فیلتر و ثبت می‌نماییم. پس از رخ دادن خطا و آشکار شدن آن توسط یک سیستم تشخیص خطا، دو نمونه از سیگنال‌های جریان و ولتاژ همه خطوط برداشته می‌شود. در اینجا منظور از ولتاژ، ولتاژ خط نسبت به زمین است. سپس به کمک این دو نمونه فازورهای جریان و ولتاژ محاسبه می‌شوند. پس از آن مولفه‌های متقارن جریان و ولتاژ فاز a بدست می‌آیند. سپس بردار X مطابق معادله (۳-۲) محاسبه شده و برای دسته‌بندی خطاها به شبکه عصبی اعمال می‌شود. بنابراین مراحل روش پیشنهادی به صورت زیر هستند:

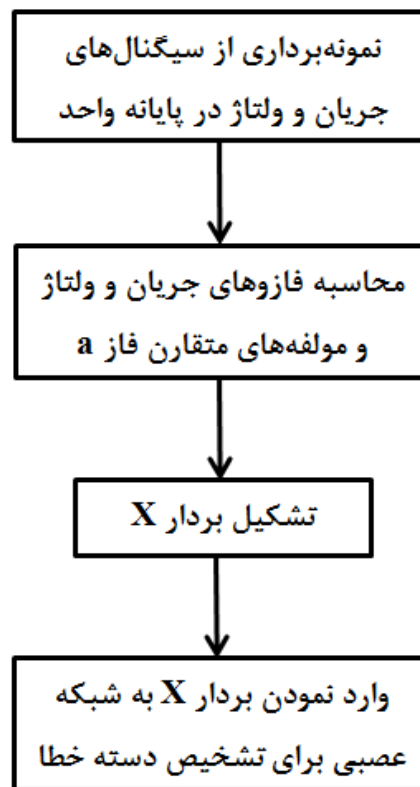
۱. نمونه‌گیری از سیگنال‌های جریان و ولتاژ پایانه واحد تولیدی

۲. محاسبه فازورها و مولفه‌های متقارن فاز a

۳. تشکیل بردار X مطابق معادله (۳-۲)

۴. وارد کردن بردار X به شبکه‌های عصبی برای تعیین کردن دسته خطا

شکل (۳-۶) مراحل روش پیشنهادی را نشان می‌دهند:



شکل (۳-۶): مراحل روش پیشنهادی

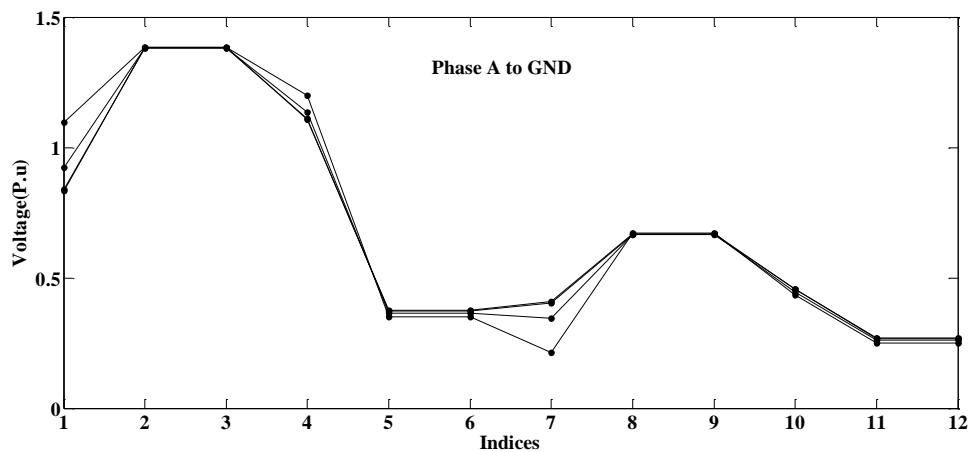
۳-۴-۳ انتخاب شبکه عصبی مناسب جهت دسته‌بندی خطاها

برای انتخاب یک شبکه عصبی مناسب برای دسته‌بندی خطاها، ابتدا باید به بررسی داده‌هایی که شبکه باید آن‌ها را تحلیل نماید پرداخت. این داده‌ها همان نمونه‌هایی هستند که برای آموزش و آزمایش شبکه عصبی استفاده می‌شوند. منظور از نمونه اینجا بردارهای X مربوط به خطاها می‌باشند. بنابراین باید تعداد زیادی خطای اتصال کوتاه در سیستم قدرت مورد نظر شبیه‌سازی شوند و سپس بردار X مربوط به آن‌ها را تشکیل دهیم. همه این بردارها در یک پایگاه داده ذخیره می‌شوند و برای آموزش و آزمایش شبکه‌های عصبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اطلاعات مربوط به سیستم قدرت مورد استفاده و چگونگی شبیه‌سازی خطاها در آن در فصل بعد به تفصیل بیان شده است.

نتیجه این شبیه‌سازی‌ها، انجام شدن ۱۲۰ خطای مختلف و ذخیره شدن بردارهای X آن‌ها می‌باشد. برای نتیجه‌گیری در مورد اینکه چه شبکه‌ای را انتخاب نماییم، ابتدا داده‌های مربوط به

خطاها را بررسی می‌نماییم.

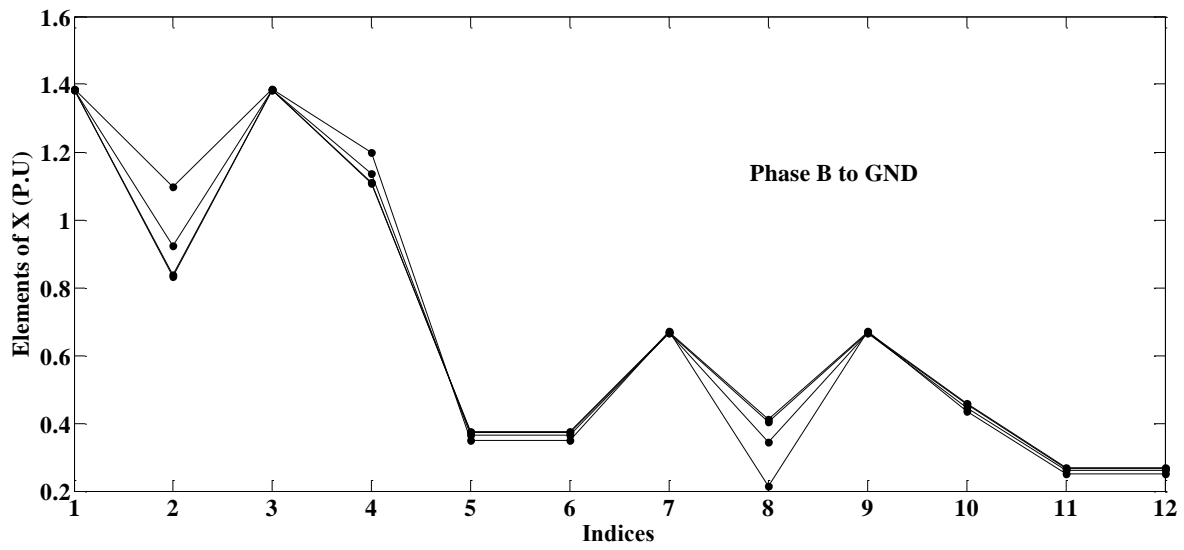
اگر بردارهای مربوط به چند اتصال کوتاه فاز a به زمین را در یک نمودار ترسیم نماییم شکل (۳-۶) را بدست خواهیم آورد. چنانچه در این شکل دیده می‌شود بردارهای X مربوط به این خطاها با وجود مقادیر مختلف دارای شکل کلی و خصوصیات مشابهی هستند.



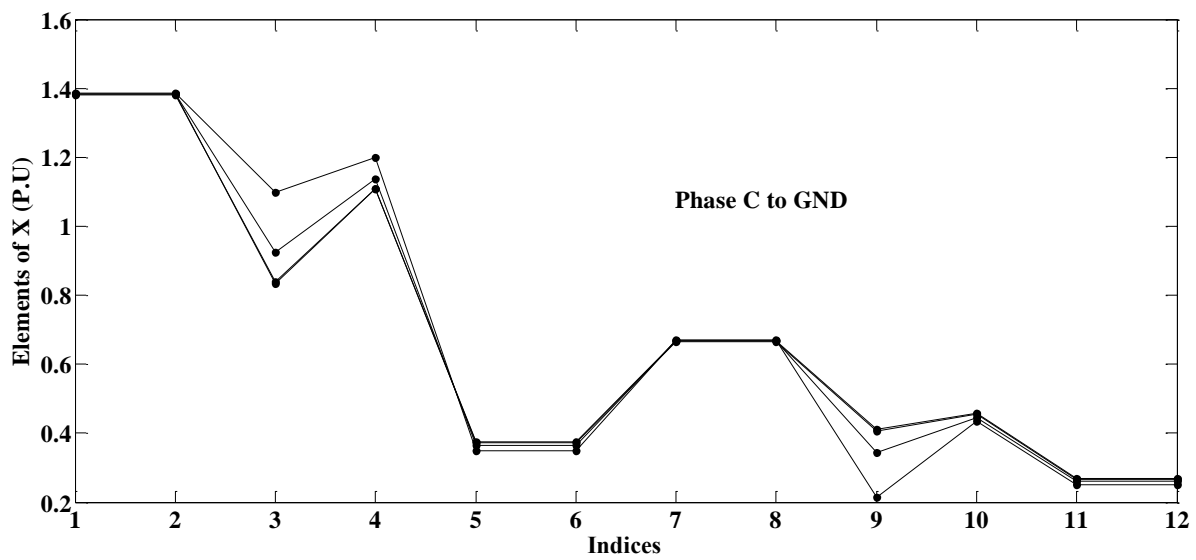
شکل (۳-۷): بردارهای X مربوط به سه خطای فاز A

اکنون شکل‌های مشابه را برای سایر دسته‌ها ده‌گانه خطا رسم می‌نماییم. شکل‌های (۳-۸) تا (۳-۱۵) نشان‌دهنده این شکل‌ها می‌باشند. با مقایسه کردن این نمودارها با یکدیگر یک نتیجه بسیار مهم بدست می‌آوریم. نتیجه این که بردارهای X خطاهایی که در یک دسته قرار دارند همگی رفتار و شکل مشابهی دارند. بعلاوه شکل مربوط به هر یک از دسته‌های خطا با شکل‌های تمامی دسته‌های دیگر متفاوت است.

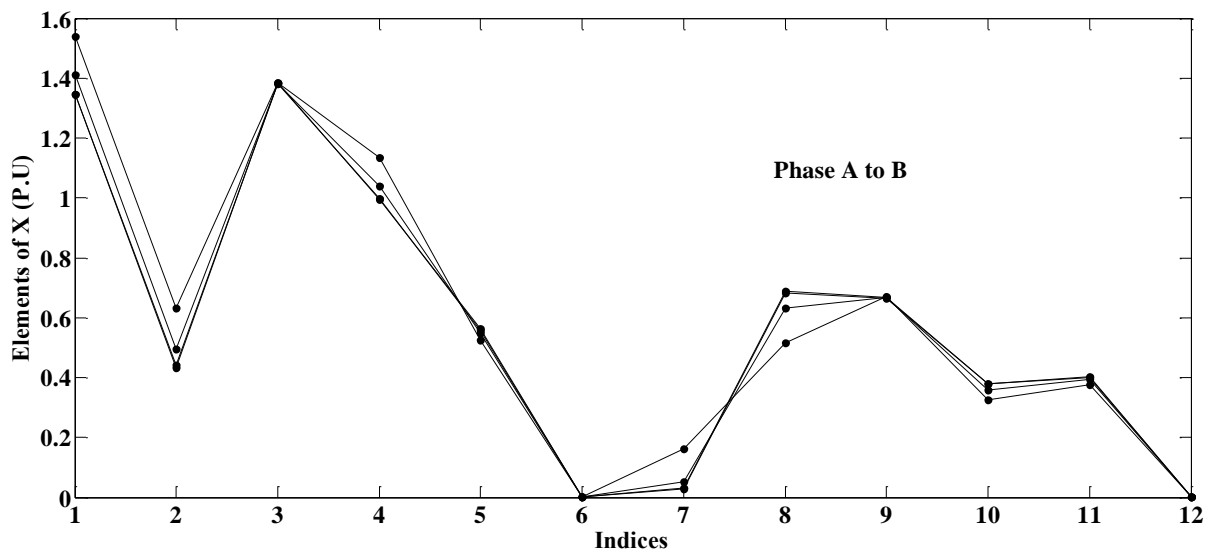
این شباهت بین خطاهای یک دسته و تفاوت میان تمامی دسته‌ها بهترین عامل برای دسته‌بندی خطا است. در واقع این شکل‌ها نشان می‌دهند که بردارهای X مربوط به خطاهای مختلف تفاوت ذاتی با یکدیگر دارند. از اینرو باید یک شبکه عصبی انتخاب نمود که قادر باشد دسته‌هایی که بصورت ذاتی در مجموعه تمامی X ها وجود دارد را تشخیص دهد.



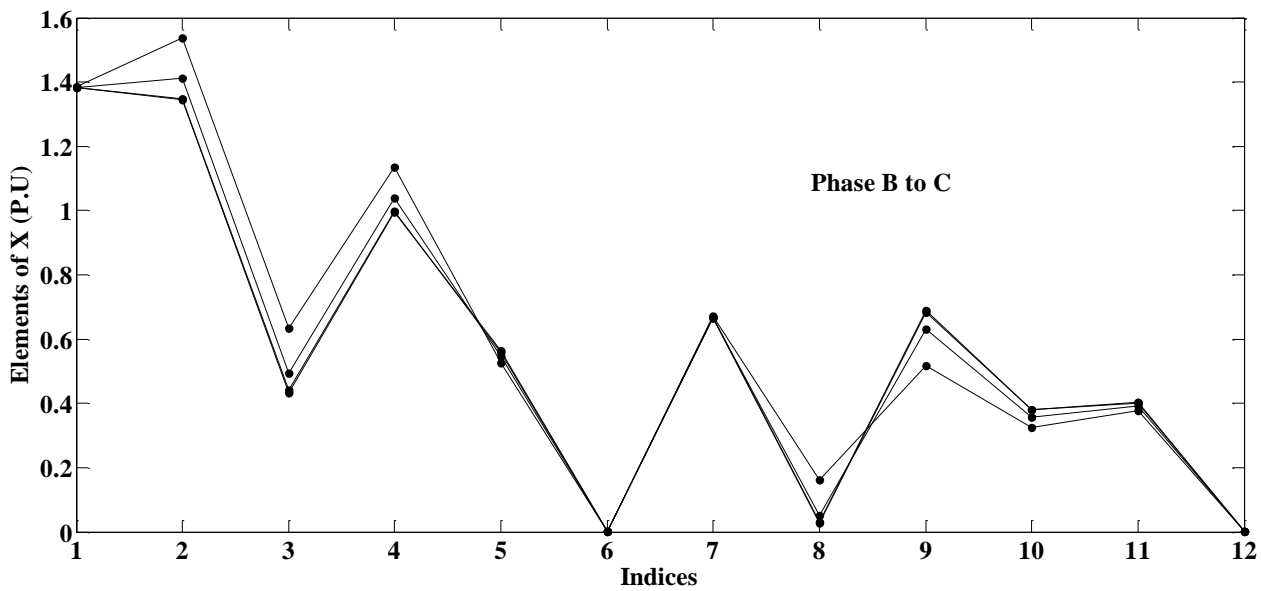
شکل (۸-۳): بردارهای X مربوط به سه خطای فاز B



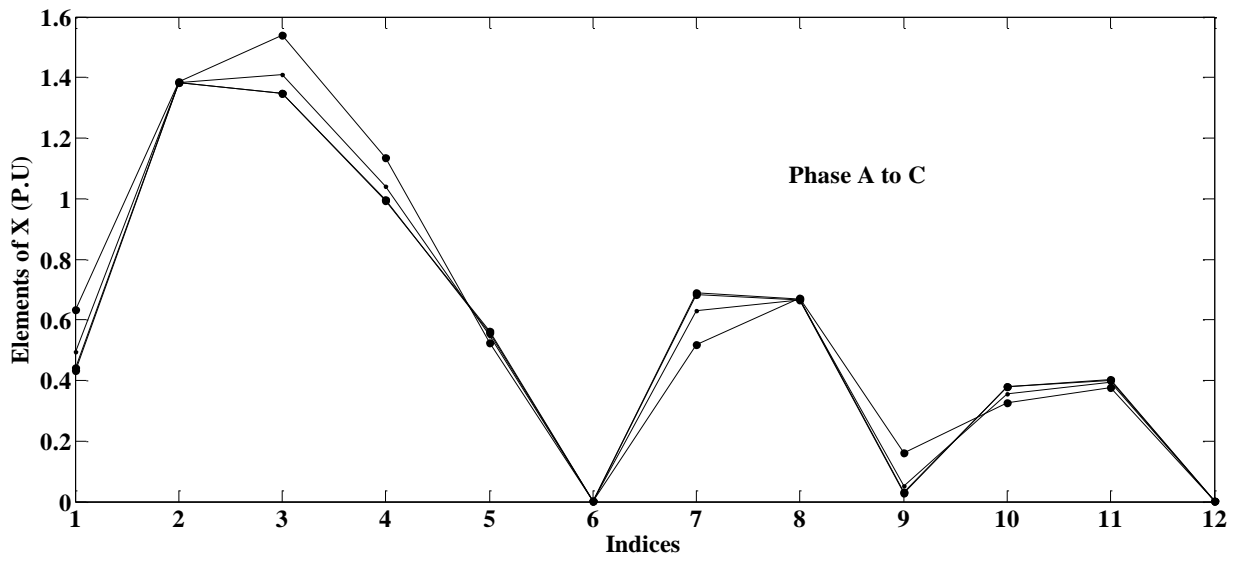
شکل (۹-۳): بردارهای X مربوط به سه خطای فاز C



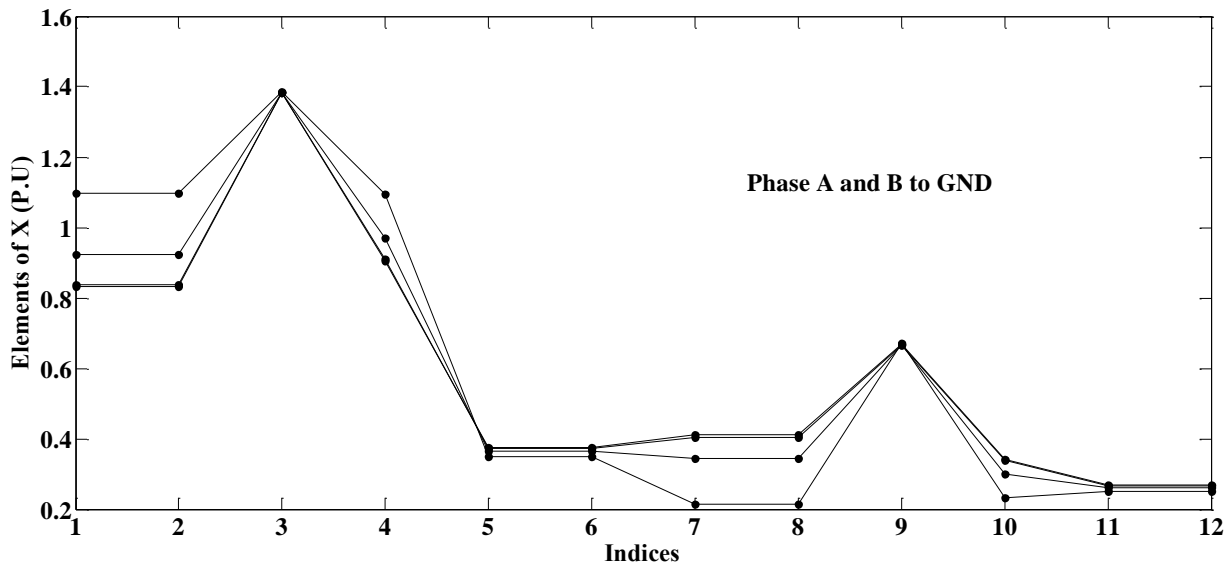
شکل (۳-۱۰): بردارهای X مربوط به سه خطا بین فازهای A و B



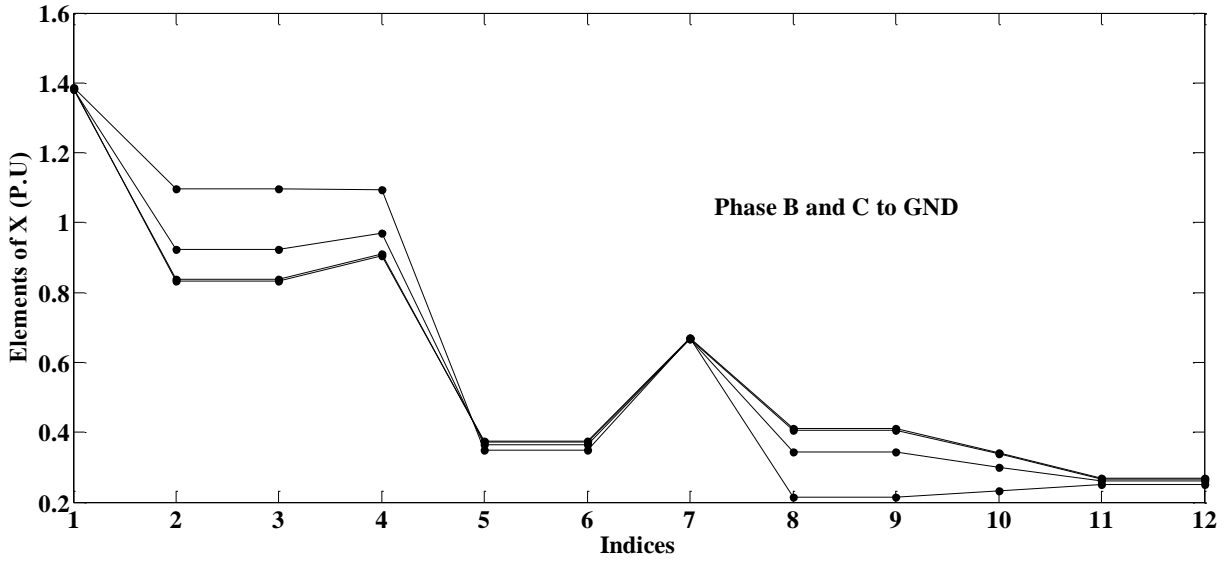
شکل (۳-۱۱): بردارهای X مربوط به سه خطا بین فازهای B و C



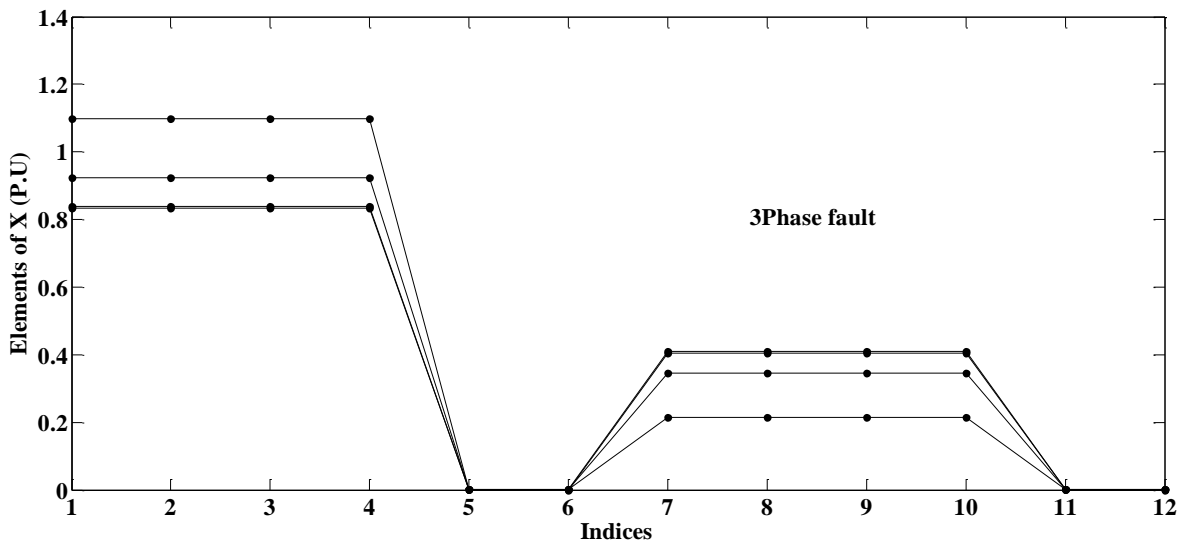
شکل (۳-۱۲): بردارهای X مربوط به سه خطا بین فازهای A و C



شکل (۳-۱۳): بردارهای X مربوط به سه اتصال کوتاه فازهای A و B به زمین



شکل (۳-۱۴): بردارهای X مربوط به سه اتصال کوتاه فازهای B و C به زمین



شکل (۳-۱۵): بردارهای X مربوط به سه اتصال کوتاه فازهای A و C به زمین

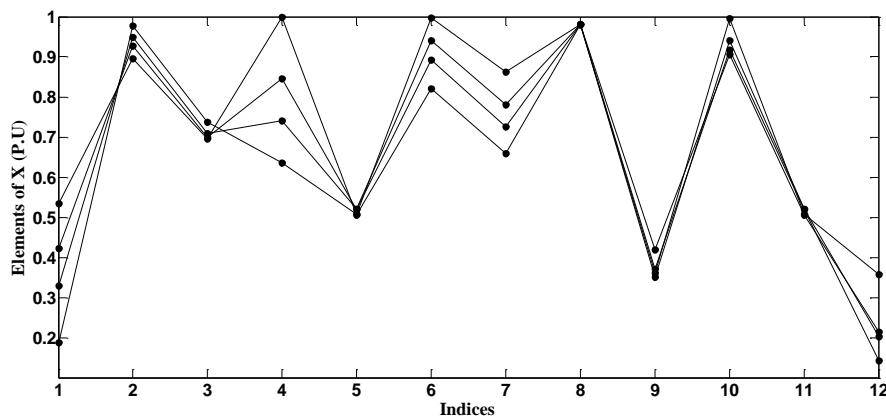
یکی از قوی‌ترین شبکه‌های عصبی برای انجام این امر، نگاشت‌های خودسازمان‌ده^۱ (SOM) نام دارند [۴۲]. SOMها دسته‌ای از شبکه‌های عصبی هستند که دارای آموزش بدون ناظر می‌باشند و قادرند در حین فرایند آموزش دسته‌های نهان موجود در مجموعه‌ای از داده‌ها را تشخیص دهند. SOMها زمانی قادر به دسته‌بندی مناسب هستند که داده‌های هر دسته شکل کلی یکسانی داشته باشند و تا حدی دارای نوپز باشند [۴۲-۴۳].

البته نوپز داده‌ها نباید زیاد باشد و گرنه SOM قادر به دسته‌بندی مناسب نخواهد بود [۴۴]. برای مثال برای دسته‌بندی بردارهایی مانند بردار X که دارای ۱۲ عنصر هستند، حداقل ۴ یا ۵ عنصر از بردارهایی که در یک دسته هستند باید شباهت بسیاری به هم داشته باشند. این مسئله در شکل ۱۰ اخیر کاملاً قابل مشاهده است. یعنی بردارهای X مربوط به هر دسته از خطاها با وجود داشتن اندکی اختلاف، دارای شکل نسبتاً مشابه هستند. بنابراین استفاده از SOM برای انجام دسته‌بندی خطاهای اتصال کوتاه بسیار مناسب به نظر می‌رسند. از این رو در این پایان‌نامه شبکه عصبی SOM مورد استفاده قرار گرفته است.

در انتها مناسب است تا تاثیر انتخاب نقطه اندازه‌گیری را بر روش پیشنهادی بررسی نماییم. چنانچه در بخش (۳-۴-۱) بیان شد، انتخاب کردن نقطه‌ای در طول خطوط انتقال بعنوان نقطه اندازه‌گیری انتخاب مناسبی نیست. برای اثبات این موضوع به شکل (۳-۱۶) توجه نمایید. در این شکل بردارهای X مربوط به خطاهای فاز a ترسیم شده است با این تفاوت که نقطه اندازه‌گیری در وسط خط انتقال شماره ۱ انتخاب شده است. همانگونه که در شکل (۳-۱۶) دیده می‌شود با وجود اینکه همه خطاها مربوط به فاز a هستند، اما بردارهای X آنها هیچ شباهتی با یکدیگر ندارند. در اینجا بسیار مناسب است که این شکل را با شکل (۳-۷) مقایسه نماییم. در هر دو شکل بردارهای X

¹ Self-Organizing Map

متعلق به خطاهای فاز a ترسیم شده است ولی چنانچه دیده می‌شود، بردارهای X شکل (۷-۳) شباهت بسیار دارند ولی بردارهای X شکل (۱۶-۳) بسیار با یکدیگر متفاوت هستند. مقایسه این دو شکل نشان می‌دهد که انتخاب نقطه اندازه‌گیری از اهمیت فوق‌العاده برخوردار است. زیرا برای دسته-بندی بردارهای شکل (۱۶-۳)، قطعاً نیاز به روش‌های پیچیده‌تری می‌باشد. بنابراین در اینجا توصیه می‌شود که همیشه یکی از باس‌های واحد تولیدی و یا بار به عنوان نقطه اندازه‌گیری انتخاب شود.



شکل (۱۶-۳): بردارهای X مربوط به سه خطی فاز a در حالتی که نقطه اندازه‌گیری وسط خط ۱ قرار دارد.

۵-۳ خلاصه فصل

در این فصل به تشریح روش پیشنهادی برای دسته‌بندی خطاها و توضیح علت هر یک از انتخاب‌ها پرداخته شده است. در بخش اول علت استفاده از مقادیر فازوری بیان شده است. سپس به نحوه استخراج فازورهای جریان و ولتاژ در حالت دائمی سینوسی و در حالت گذرای غیر سینوسی پرداخته شده است. در گام بعدی معیار جدیدی برای دسته‌بندی خطا معرفی شده و در نهایت شبکه عصبی مناسب انتخاب شده و دلایل این انتخاب بیان گردیده است.

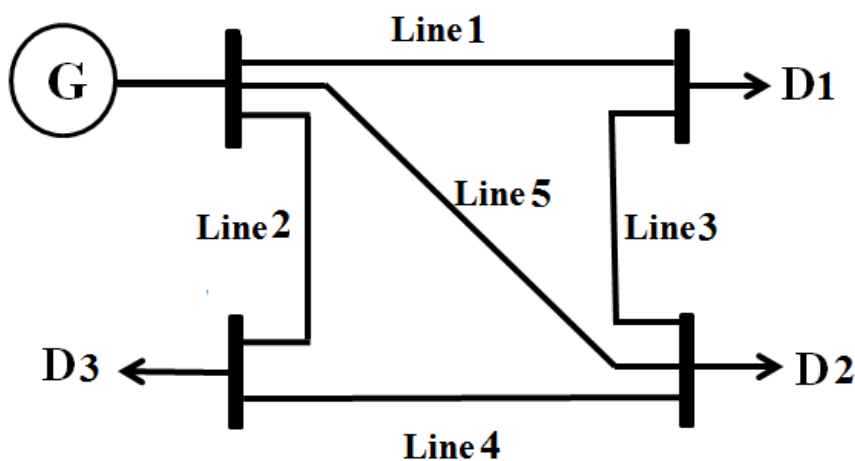
فصل چهارم

شبیه‌سازی

چنانچه در بخش‌های پیشین بیان شد نمونه‌های لازم برای آموزش شبکه عصبی با استفاده از شبیه‌سازی خطاها در یک سیستم قدرت تهیه می‌شود. در این بخش به بررسی سیستم قدرت شبیه‌سازی شده و نحوه شبیه‌سازی خطاهای اتصال کوتاه در آن می‌پردازیم. سپس به آموزش شبکه عصبی مورد نظر پرداخته و نتایج مرحله آموزش آن را تحلیل می‌نماییم. در مرحله بعد به آزمایش شبکه آموزش یافته می‌پردازیم و سپس نتایج این تست‌ها را تحلیل می‌نماییم.

۴-۱ مشخصات سیستم قدرت مورد آزمایش

در این پایان‌نامه برای تامین داده‌های آموزشی و نیز برای تست نمودن روش پیشنهادی یک سیستم قدرت شبیه‌سازی شده است. این سیستم نسبت به سیستم‌های شبیه‌سازی شده در تلاش-های قبلی تا حدی پیچیده‌تر است. این سیستم دارای ۴ باس، ۵ خط انتقال، ۱ واحد تولیدی و ۳ بار می‌باشد. اطلاعات مربوط به این شبکه در جدول (۴-۱) آورده شده است. نمای تک خطی آن نیز در شکل (۴-۱) آورده شده است. این سیستم بوسیله نرم‌افزار MATLAB/SIMULINK شبیه‌سازی شده است.



شکل (۴-۱): نمای تک خطی سیستم شبیه‌سازی شده

جدول (۴-۱): پارامترهای سیستم انتقال شبیه‌سازی شده

واحد تولیدی و بارها			خطوط انتقال				
تجهیزات سیستم	توان اکتیو (Mw)	توان راکتیو (Mvar)	نام خط	طول خط	پارامترهای خط R(Ω /km), L(H/km), C(nF/km)		
واحد تولیدی	1168	475	خط شماره ۱	۱۰۰	۰/۲۵۶۸	۰/۰۰۲	۸/۶
بار شماره ۱	430	180	خط شماره ۲	۱۰۰	۰/۳۱۷۱	۰/۰۰۳	۷/۲
بار شماره ۲	220	95	خط شماره ۳	۱۰۰	۰/۲۵۶۸	۰/۰۰۲	۸/۶
بار شماره ۳	510	205	خط شماره ۴	۱۰۰	۰/۴۲۵۵	۰/۰۰۴۵	۹/۳
			خط شماره ۵	۱۰۰	۰/۳۹۲۵	۰/۰۰۲۳	۶/۵

۲-۴ شبیه‌سازی انواع خطاها در سیستم قدرت مورد استفاده

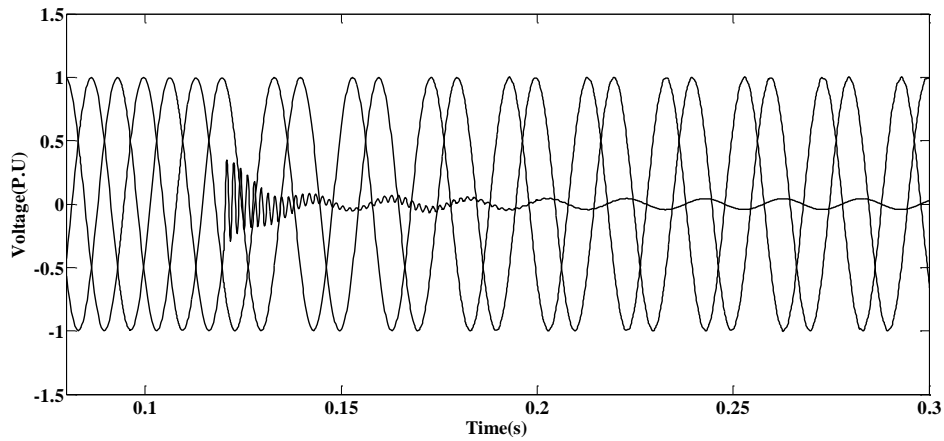
برای آموزش و آزمایش شبکه عصبی مورد استفاده، تعداد زیادی خطا در سیستم قدرت شبیه‌سازی شدند. خطاها در محل باس‌ها و در طول خطوط انتقال رخ داده‌اند. فاصله بین محل‌های خطا در طول خطوط ۳۰ کیلومتر انتخاب شده است. در این شبیه‌سازی‌ها پارامترهای مختلف موثر در خطا نظیر مکان خطا، دسته خطا و زاویه رخ دادن خطا تغییر داده شده‌اند. در بین خطاهای شبیه‌سازی شده از تمامی دسته‌های خطا وجود دارند. زاویه رخ دادن خطا نیز در بازه صفر تا ۳۶۰ درجه تغییر داده می‌شود.

از آنجا که در سیستم‌های انتقال مقاومت خطاها اغلب صفر است، مقاومت خطاها بسیار ناچیز در نظر گرفته شده‌اند. البته در سیستم‌های توزیع مقاومت خطاها را نمی‌توان صفر در نظر گرفت زیرا در بسیاری موارد هادی‌های قطع شده بر روی آسفالت خشک و یا درخت می‌افتند که امپدانس‌های قابل توجهی دارند. مثلاً مقاومت آسفالت خشک بحدی زیاد است که سبب ایجاد خطاهای امپدانس بالا^۱ می‌گردد. بنابراین برای ارائه یک روش دسته‌بندی مشابه در سیستم‌های توزیع می‌باید مقاومت خطا را در یک بازه مشخص تغییر داد. در اینجا برای اعتبار سنجی سیستم شبیه‌سازی شده نمودارهای بدست آمده برای چند نمونه از خطاهای مختلف را بررسی می‌نماییم. در شکل (۲-۴) ولتاژهای پایانه واحد تولیدی در زمان‌های قبل و بعد از رخ دادن یک خطای تک فاز ترسیم شده است. همان طور که مورد انتظار است ولتاژ فازی که دچار خطا شده است به شدت کاهش یافته است اما ولتاژهای دو فاز دیگر بدون تغییر باقی مانده‌اند. توجه نمایید که در شکل (۲-۴) ولتاژ فازی که دچار خطا شده به صفر نرسیده است. زیرا همان طور که بیان شد، این ولتاژها تعلق به پایانه واحد تولیدی هستند نه محل وقوع خطا. بنابراین ولتاژ ناچیز باقی مانده، ولتاژی است که بر روی امپدانس خطوط بین نقطه و محل خطا قرار دارند.

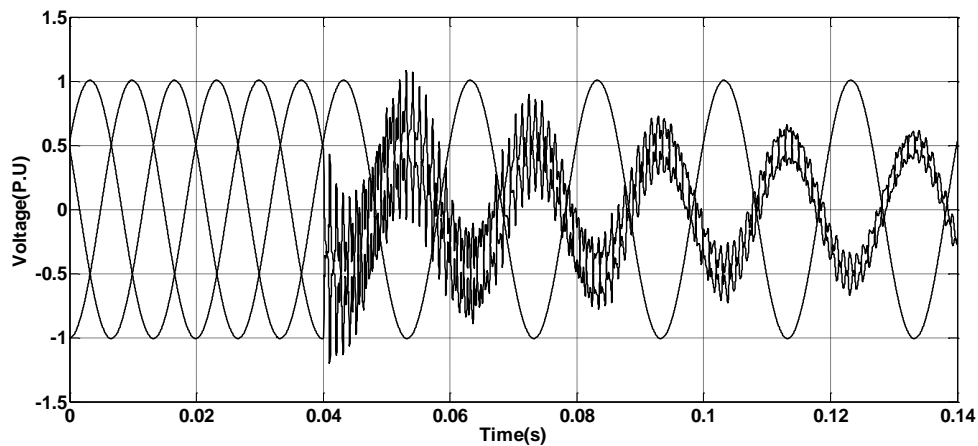
شکل (۳-۴) ولتاژهای ترمینال واحد تولیدی را برای یک خطای دوفاز نشان می‌دهد. این نمودار نیز دقیقاً مطابق با انتظار است. یعنی ولتاژ فازهای درگیر در خطا با هم برابر شده‌اند ولی ولتاژ فاز دیگر تغییری نداشته است. این شکل موج‌ها دارای نوسانات فرکانس بالا هستند و چنان که بیان شد با وجود این نوسانات نمی‌توان فازورها را اندازه گرفت و می‌باید از فیلتر استفاده نمود. شکل موج ولتاژهای فیلتر شده در شکل (۴-۴) آورده شده است. چنانچه دیده می‌شود تمامی نوسانات حذف شدند. بعلاوه اثر فیلتر بر اندازه و دامنه ورودی نیز در این شکل قابل مشاهده است. در شکل‌های (۴-۴)

¹ High Impedance Fault

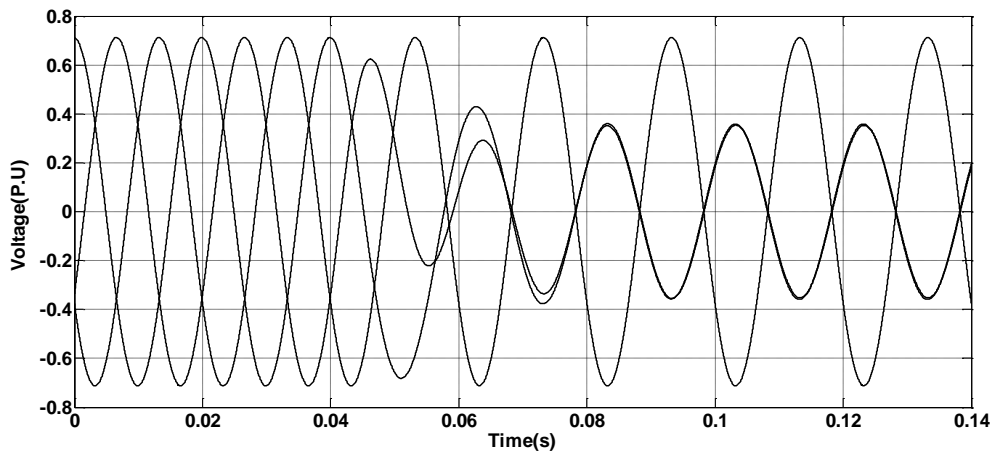
(۵) و (۴-۶) شکل موج‌های فیلتر نشده متعلق به خطاهای دو فاز به زمین و سه فاز را نشان می‌دهد. این شکل‌ها نیز مطابق با انتظار هستند. با توجه به این شکل‌ها عملکرد سیستم قدرت شبیه‌سازی شده را می‌توان تا حد کافی معتبر دانست.



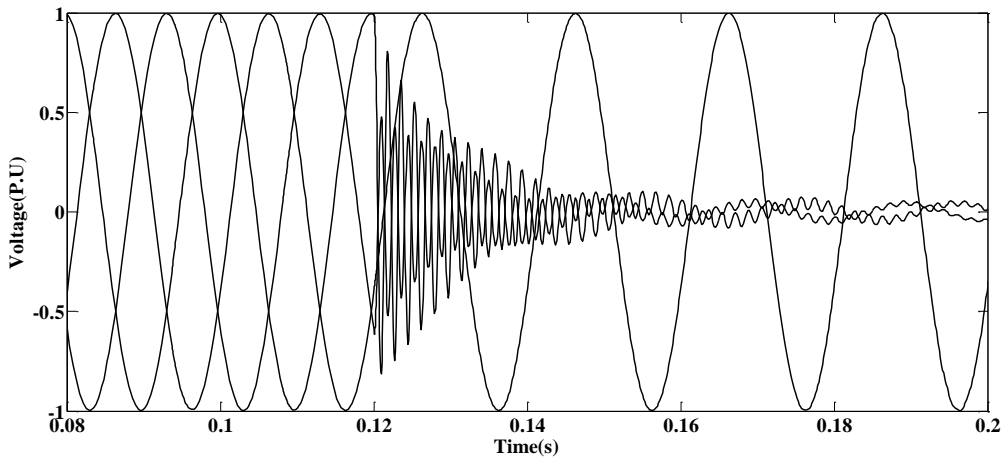
شکل (۲-۴): ولتاژهای پایانه واحد تولیدی قبل و بعد از رخ دادن یک خطای تک فاز



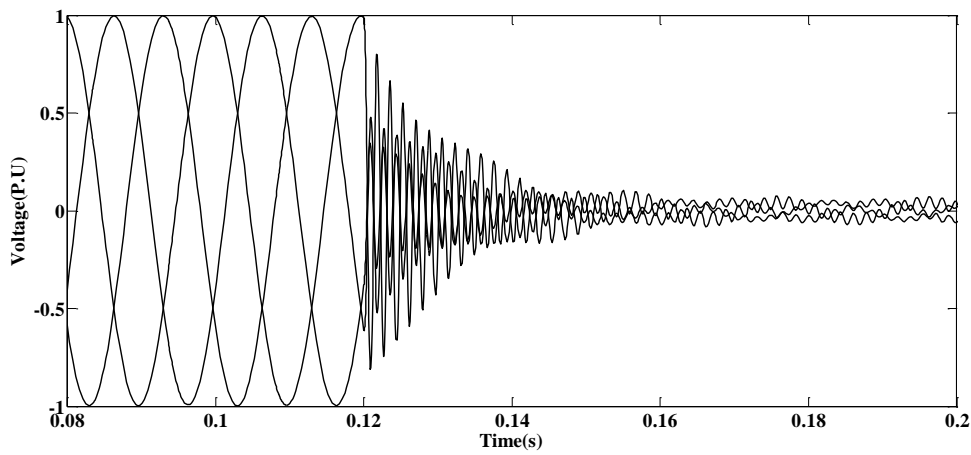
شکل (۳-۴): ولتاژهای پایانه واحد تولیدی قبل و بعد از رخ دادن یک خطای دو فاز



شکل (۴-۴): ولتاژهای فیلتر شده شکل (۳-۴)



شکل (۵-۴): ولتاژهای پایانه واحد تولیدی طی یک خطای دو فاز به زمین



شکل (۶-۴): ولتاژهای پایانه واحد تولیدی در حین یک خطای سه فاز

۳-۴ طراحی و آموزش شبکه عصبی

پس از شبیه‌سازی خطاها و محاسبه بردار X مربوط به هر یک از آن‌ها می‌توان آموزش شبکه عصبی را آغاز نمود. ۱۲۰ بردار بدست آمده از شبیه‌سازی را به دو قسمت تقسیم می‌نماییم. مجموعه اول شامل ۸۰ بردار است که آن‌ها را نمونه‌های آموزشی^۱ می‌نامیم. مجموعه دوم که شامل ۴۰ بردار است را نمونه‌های تست^۲ می‌نامیم.

چنانچه در بخش (۳-۴) بیان شد شبکه عصبی مورد استفاده از نوع SOM می‌باشد. از آنجا که ۱۰ دسته مختلف خطا داریم ۱۰ نرون برای آن در نظر می‌گیریم. در آموزش SOM معیار برنده شدن نرون‌ها در رقابت، حداقل فاصله اقلیدسی بردار وزن هر نرون تا بردارهای ورودی می‌باشد. پارامترهای آموزش شبکه عصبی در جدول (۲-۴) آورده شده‌اند. در سطر مربوط به نرخ آموزش^۳ دو عدد آورده شده است. علت این امر آن است که در نیمه اول مرحله آموزش از نرخ آموزش $0/9$ و در نیمه دوم آموزش از مقدار $0/02$ استفاده شده است. این امر برای بالا رفتن دقت شبکه عصبی انجام شده است. مقادیر اولیه وزن‌های تمامی نرون‌ها نیز $0/5$ انتخاب شده‌اند.

جدول (۲-۴): پارامترهای مربوط به ساختار و آموزش شبکه عصبی SOM

مقدار اولیه وزن نرون‌ها	توپولوژی نرون‌ها	ماکزیمم تعداد تکرار	نرخ آموزش	نام متغیر
$0/5$	شش ضلعی	۱۲۰۰	$0/9$ و $0/02$	مقدار

شکل‌های (۴-۷) تا (۴-۱۰) نشان دهنده مقدار وزن‌های نرون‌شماره اول، پنجم و دهم است در طی فرایند آموزش است. البته برای وضوح شکل‌ها تنها وزن ۵ ورودی از ۱۲ ورودی هر نرون نشان داده شده است و از ترسیم نمودار سایر ورودی‌ها اجتناب شده است. نمودارهای مشابه برای تمامی

¹ Learning Samples

² Test Samples

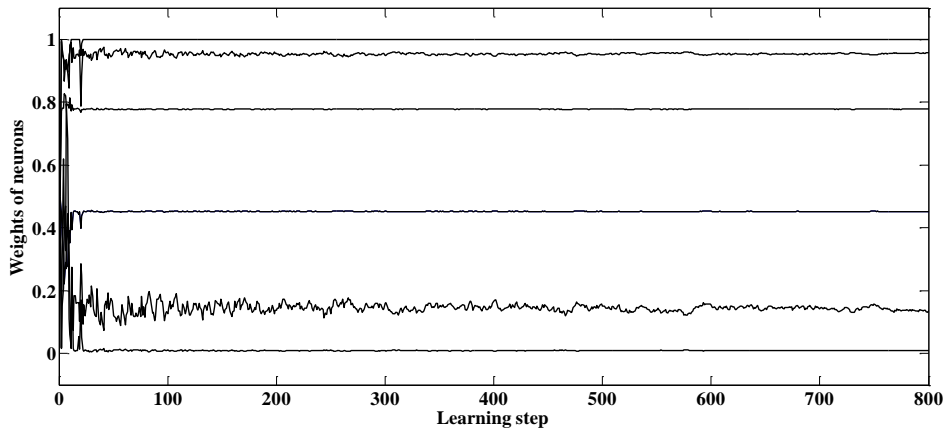
³ Learning Rate

نرون‌ها بدست آورده شده است اما به خاطر پرهیز از طولانی شدن غیر ضروری مطلب به آوردن همین سه شکل اکتفا کرده‌ایم.

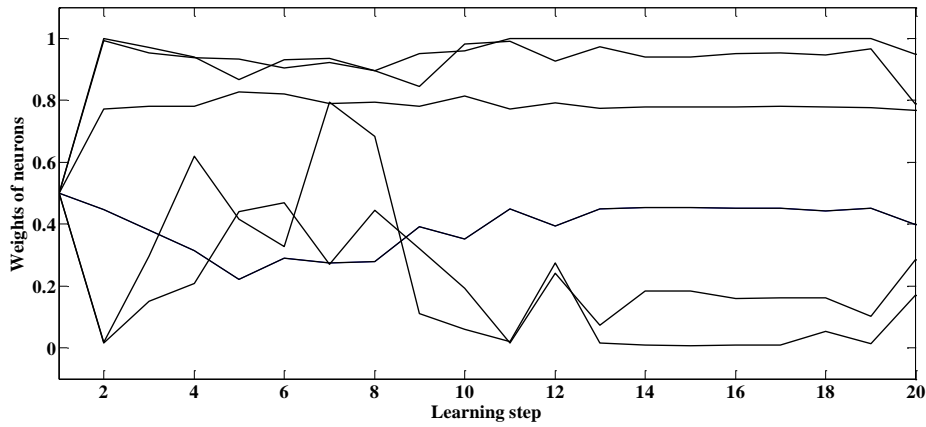
چنانچه در شکل (۴-۷) دیده می‌شود برخی از وزن‌های نرون اول در کمتر از ۵۰ تکرار به مقدار ثابتی رسیده‌اند. ولی برخی از وزن‌ها حتی با گذشت ۸۰۰ تکرار به مقدار ثابتی دست نیافته‌اند. البته واضح است که نوسانات این وزن‌ها در طی آموزش در حال کم شدن است و اگر آموزش شبکه عصبی را برای تکرارهای بیشتر انجام دهیم این وزن‌ها نیز مقادیر ثابتی خواهند یافت. اما باید توجه داشت که رسیدن به یک مقدار کاملاً ثابت در بسیاری از موارد ضرورتی ندارد. در واقع شبکه با همین حد از آموزش براحتی می‌تواند بدون خطا به دسته‌بندی صحیح پردازد.

در شکل (۴-۸) همان وزن‌های شکل قبل در مراحل اولیه آورده شده‌اند تا تغییرات آن‌ها در تکرارهای ابتدایی واضح‌تر دیده شوند. همان‌گونه که قبلاً بیان شد، مقدار اولیه تمامی وزن‌ها برابر با ۰/۵ در نظر گرفته شده است که این مسئله در شکل (۴-۸) دیده می‌شود. مقادیر برخی از وزن‌های نرون‌های پنجم و دهم نیز در شکل‌های (۴-۹) و (۴-۱۰) ترسیم شده است. شکل‌های مشابهی برای تمامی نرون‌ها بدست آورده شده‌اند که برای پرهیز از مطالب تکراری از ترسیم آن‌ها صرف‌نظر می‌نماییم.

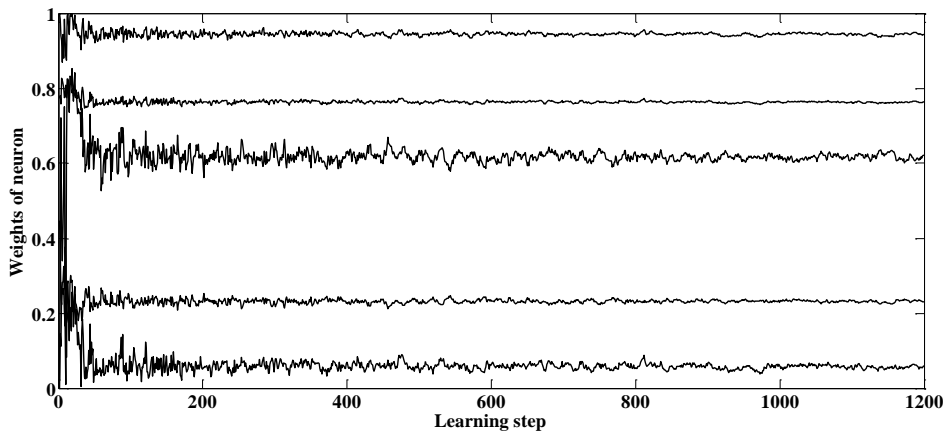
در تمامی این نمودارها مقدار وزن‌های تمامی نرون‌ها به سمت مقادیرهای نسبتاً ثابتی میل می‌کند. این نوع رفتار بیان‌کننده این مطلب است که وزن‌های شبکه در حین آموزش همگرا می‌شوند.



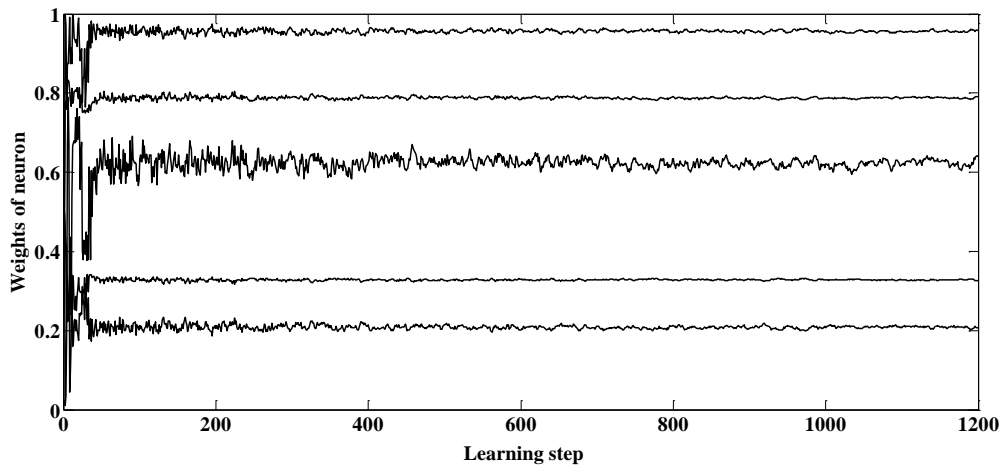
شکل (۷-۴): مقادیر برخی از وزن‌های نرون اول در طی فرایند آموزش



شکل (۸-۴): مقادیر وزن‌های شکل (۷-۴) در ۲۰ مرحله اول آموزش



شکل (۹-۴): مقادیر برخی از وزن‌های نرون پنجم در طی فرایند آموزش



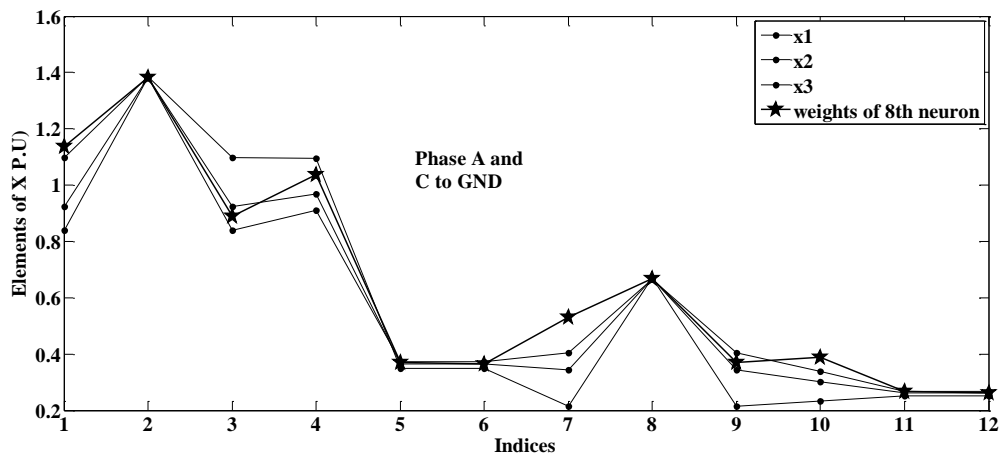
شکل (۴-۱۰): مقادیر برخی از وزن‌های نرون دهم در طی فرایند آموزش

شبکه SOM دارای آموزش بدون نظارت است. به همین علت، نمی‌توان تعیین کرد که کدام یک از نرون‌های SOM نماینده کدام دسته از خطاها شود. پس از اتمام مرحله آموزش لازم است تا با وارد نمودن تعدادی از نمونه‌های آموزشی از دسته‌های مختلف که دسته هر کدام را می‌دانیم، تعیین نماییم که هر نرون نماینده کدام یک از دسته‌های خطا است. نتایج انجام این کار در جدول (۴-۳) آورده شده است.

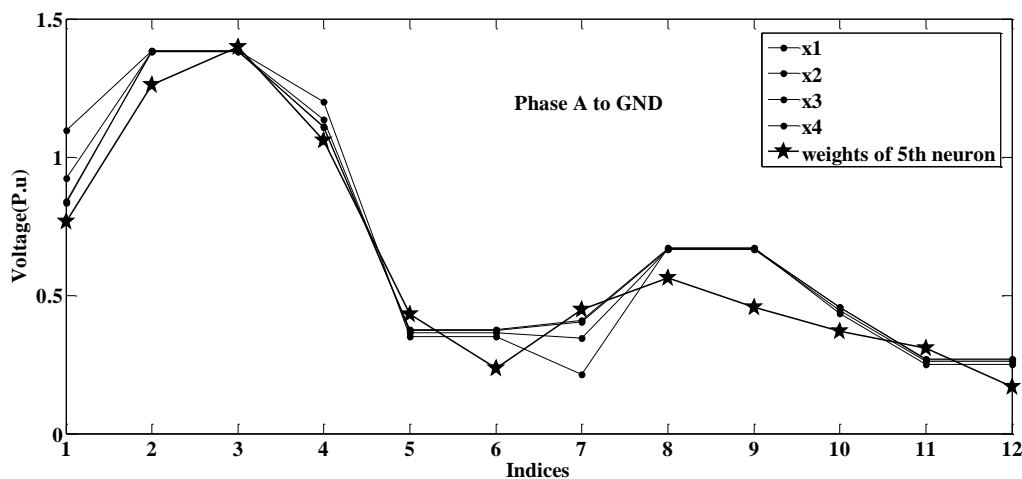
جدول (۴-۳): دسته‌های مختلف خطا و نرون‌های نماینده آن‌ها

دسته خطا	a	b	c	ab	bc	ca	abg	bcg	cag	abc
نرون نماینده	5	3	9	1	7	6	4	10	8	2

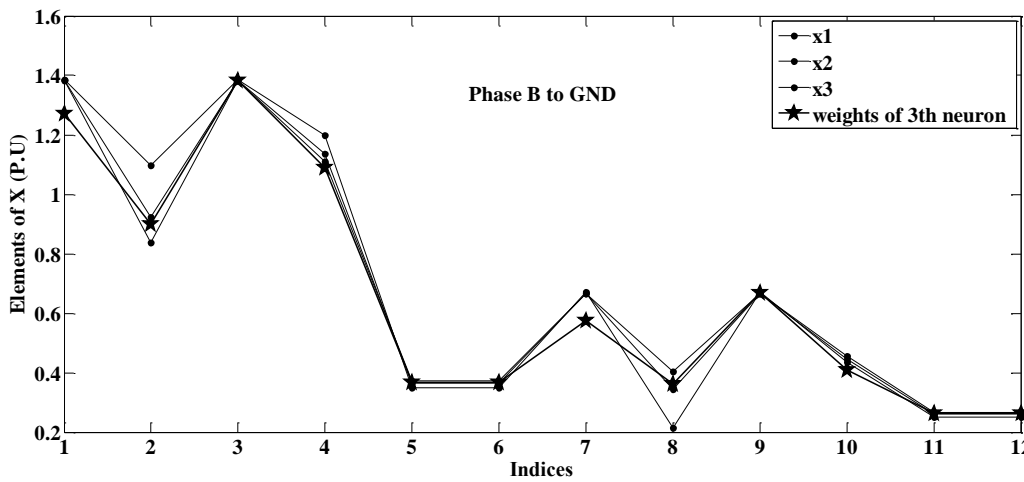
در ادامه برای آنکه از روش پیشنهادی درک شهودی بیشتری حاصل شود، بردار وزن مربوط به نرون ۸ که نماینده دسته cag است را با بردارهای X چند خطای مربوط به این دسته در یک شکل ترسیم می‌نماییم. نتیجه این کار شکل (۴-۱۱) می‌باشد.



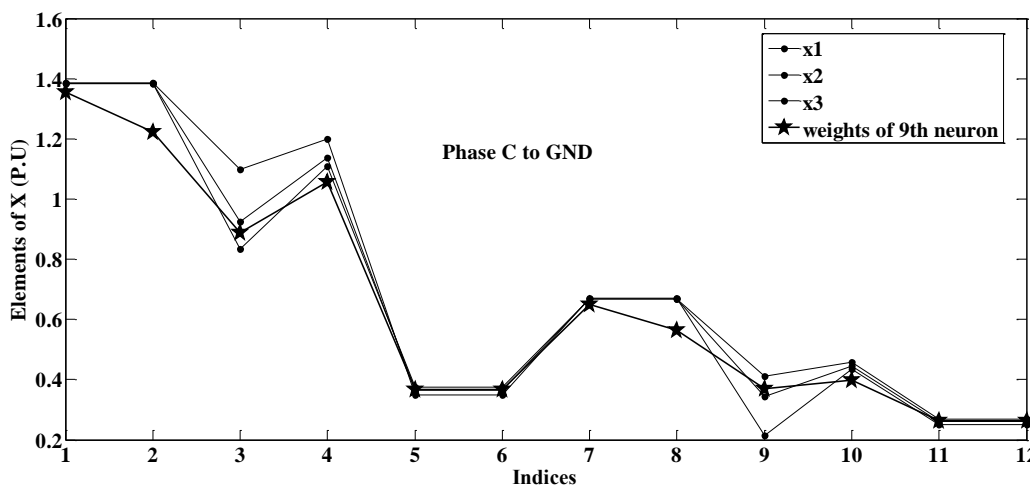
شکل (۴-۱۱): بردارهای X مربوط به چند اتصال کوتاه فازهای A و C به زمین و بردار وزن نرون نماینده آنها چنانچه در این شکل دیده می شود مقادیر وزن های نرون ۸ام پس از طی فرایند آموزش به نحوی تصحیح شده اند که شکلی مشابه با شکل بردارهای X مربوط به خطاهای cag پیدا کرده اند. در نتیجه با اعمال بردار X متعلق به یک خطای cag به شبکه عصبی، به علت شباهت زیاد وزن های نرون ۸ام و این بردار، نرون ۸ام در رقابت برنده می شود. در شکل های (۴-۱۲) تا (۴-۲۰) بردار وزن هر نرون و چند بردار X مربوط به خطاهایی که آن نرون نماینده آنها است رسم شده اند. در تمامی این شکل ها بردار وزن شباهت زیادی با بردارهای X دارد و این مطلب دقیقا همان چیزی است که مورد انتظار است.



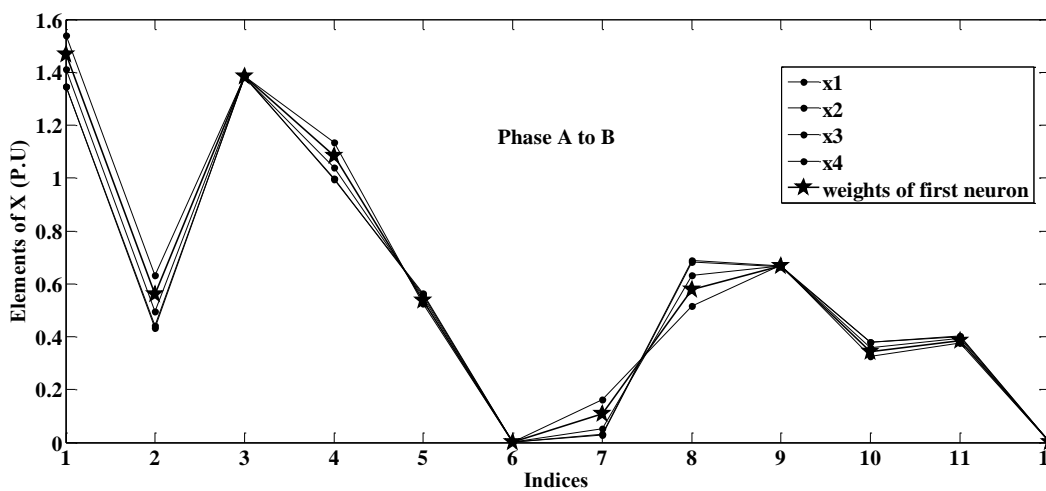
شکل (۴-۱۲): بردارهای X مربوط به چند اتصال کوتاه فاز A به زمین و بردار وزن نرون نماینده آنها



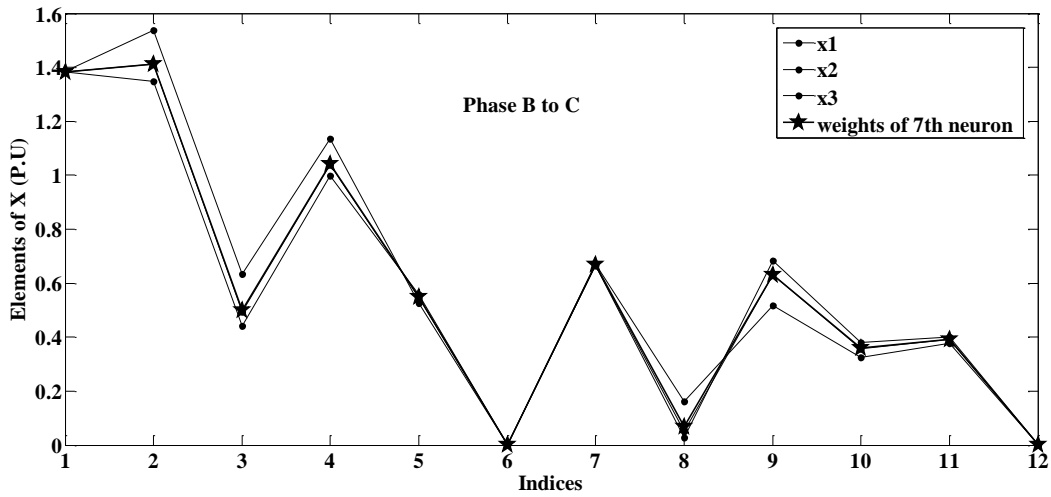
شکل (۴-۱۳): بردارهای X مربوط به چند اتصال کوتاه فاز B به زمین و بردار وزن نرون نماینده آنها



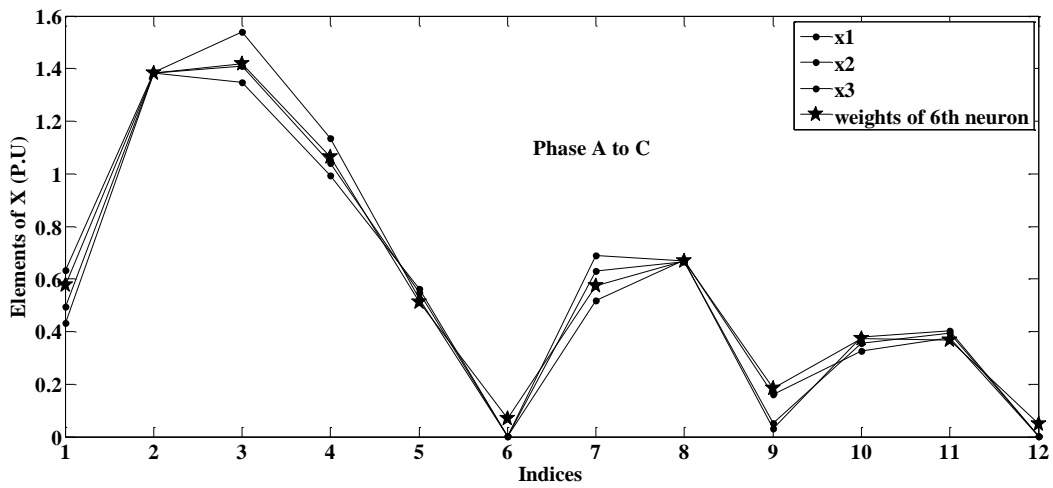
شکل (۴-۱۴): بردارهای X مربوط به چند اتصال کوتاه فاز C به زمین و بردار وزن نرون نماینده آنها



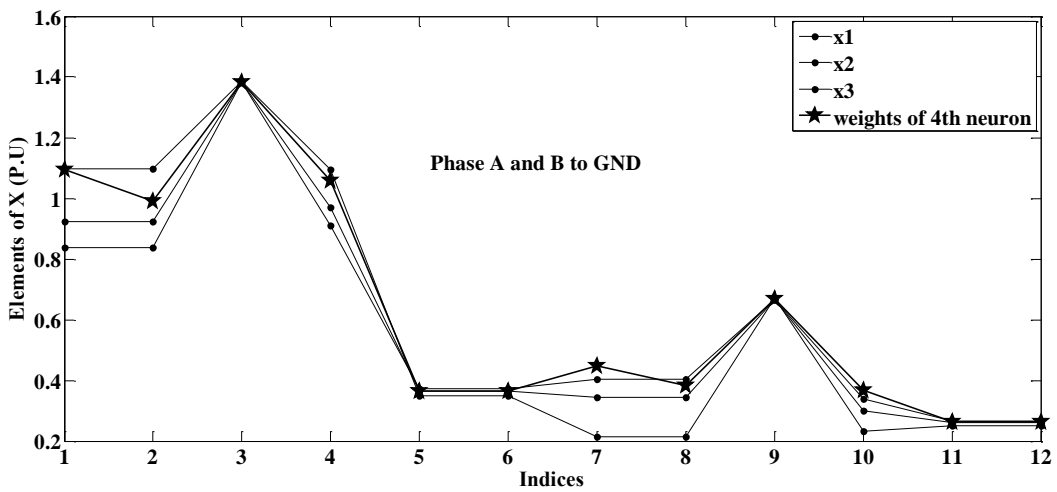
شکل (۴-۱۵): بردارهای X مربوط به چند اتصال کوتاه فازهای A و B و بردار وزن نرون نماینده آنها



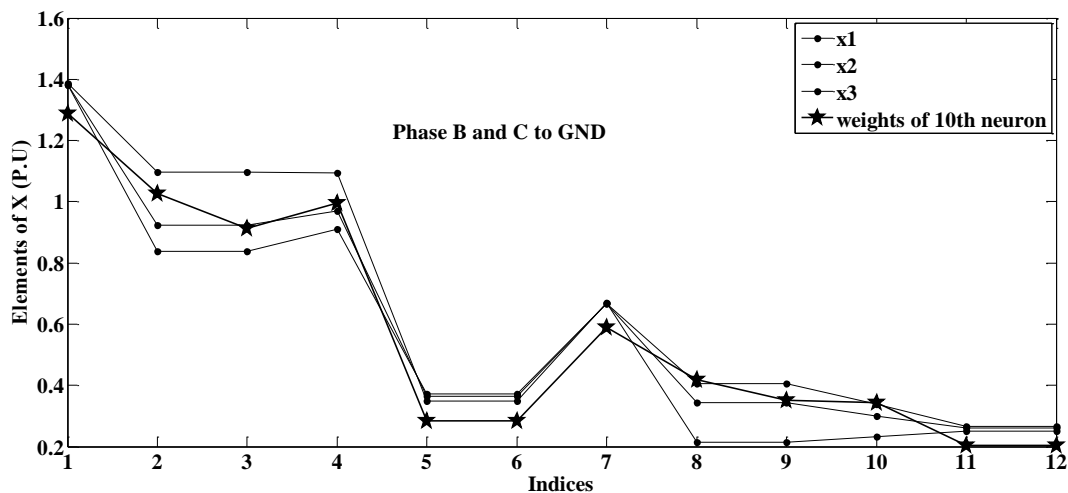
شکل (۴-۱۶): بردارهای X مربوط به چند اتصال کوتاه فازهای B و C و بردار وزن نرون نماینده آن‌ها



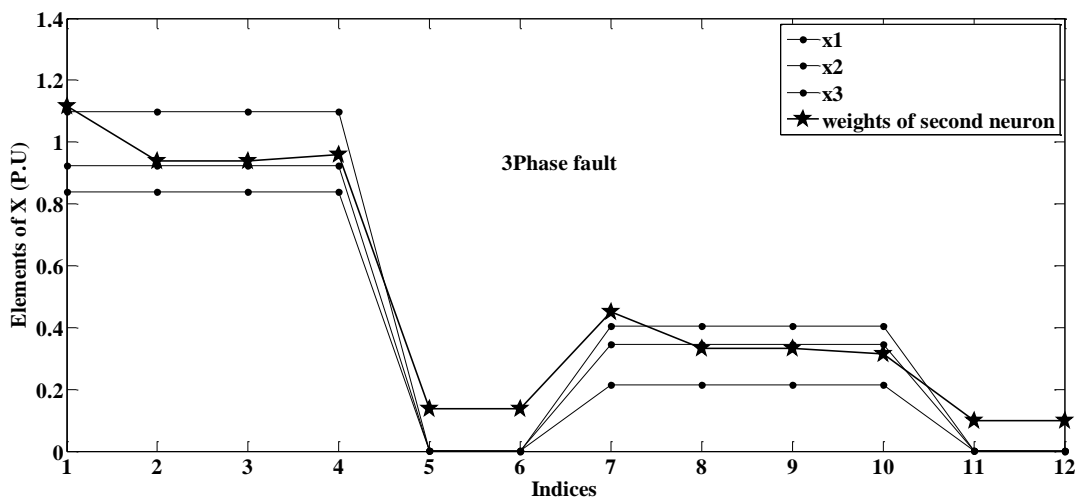
شکل (۴-۱۷): بردارهای X مربوط به چند اتصال کوتاه فازهای A و C و بردار وزن نرون نماینده آن‌ها



شکل (۴-۱۸): بردارهای X مربوط به چند اتصال کوتاه فازهای A و B به زمین و بردار وزن نرون نماینده آن‌ها



شکل (۴-۱۹): بردارهای X مربوط به چند اتصال کوتاه فازهای B و C به زمین و بردار وزن نرون نماینده آنها



شکل (۴-۲۰): بردارهای X مربوط به چند اتصال کوتاه سه فاز و بردار وزن نرون نماینده آنها

۴-۴ تست کردن شبکه عصبی طراحی شده

چنان که در بخش قبل بیان شد ۴۰ بردار X را به عنوان نمونه‌های تست در نظر گرفتیم و از آنها در فرایند آموزش استفاده نکردیم. در این بخش به تست کردن شبکه عصبی طراحی شده می‌پردازیم. تست کردن شبکه عصبی SOM در واقع معادل با تست کردن روش پیشنهادی است. در اینجا تمام بردارهایی که به عنوان نمونه تست در نظر گرفته شده‌اند به SOM اعمال می‌شوند و نرون برنده آن تعیین می‌گردد. نرونی که برنده می‌شود باید با آنچه که براساس جدول (۴-۳) مورد انتظار

است تطبیق داشته باشد. مثلاً در صورت اعمال یک خطای سه‌فاز به شبکه انتظار داریم نرون دوم برنده شود. نتایج مربوط به اعمال نمونه‌های تست به شبکه در جدول (۴-۴) آورده شده است.

۴-۵ تحلیل نتایج

نتایج تست کردن شبکه عصبی در جدول (۴-۴) ارائه شده است چنانچه در این جدول دیده می‌شود، ۴۰ خطای مختلف شبیه سازی شده و بردار X آن‌ها به شبکه داده شده و شبکه SOM طراحی شده توانسته است تمامی نمونه‌های تست را به غیر از ۲ مورد به درستی تشخیص دهد. البته با توجه به مشابهت بسیار زیاد وزن نرون‌ها و بردارهای X دسته مربوط به آن‌ها، که در شکل‌های فوق دیده می‌شود همین مسئله مورد انتظار بود. لازم به ذکر است که یکی از مهم‌ترین عوامل عملکرد مناسب روش ارائه شده، انتخاب معیار مناسب برای دسته‌بندی خطا یا همان بردار X می‌باشد.

جدول (۴-۴): نتایج تست شبکه عصبی طراحی شده

وضعیت تشخیص	نرون برنده	دسته خطای رخ داده	وضعیت تشخیص	نرون برنده	دسته خطای رخ داده
صحيح	۲	ABC	صحيح	۶	AC
صحيح	۶	AC	درست	۳	B
صحيح	۴	ABG	صحيح	۱۰	BCG
صحيح	۱۰	BCG	صحيح	۹	C
صحيح	۳	B	صحيح	۱	AB
صحيح	۵	A	صحيح	۷	BC
صحيح	۱	AB	صحيح	۵	A
صحيح	۷	BC	غلط	۷	BCG
صحيح	۲	ABC	صحيح	۲	ABC
صحيح	۹	C	صحيح	۸	ACG
صحيح	۲	ABC	صحيح	۷	BC
صحيح	۸	ACG	صحيح	۶	AC
صحيح	۳	B	صحيح	۲	ABC
صحيح	۱	AB	صحيح	۹	C
غلط	۲	ACG	صحيح	۴	ABG
صحيح	۲	ABC	صحيح	۳	B
صحيح	۴	ABG	صحيح	۷	BC
صحيح	۷	BC	صحيح	۹	C
صحيح	۵	A	صحيح	۶	AC
صحيح	۶	AC	صحيح	۱۰	BCG

۴-۶ خلاصه فصل

در این فصل به تشریح سیستم قدرت شبیه سازی شده و بررسی صحت عملکرد آن پرداخته شده است. سپس شبکه عصبی مورد نظر آموزش داده شد و در بخش آخر نیز شبکه بدست آمده با استفاده از نمونه‌های آزمایشی تست و نتایج آن بیان گردیده است.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱ نتیجه گیری

در این پایان نامه روش جدیدی برای دسته بندی خطاها ارائه شده که در آن از مقادیر فازورهای جریان و ولتاژ و مولفه های متقارن برای دسته بندی خطاها استفاده شده است. در ابتدا یک معیار جدید و کارآمد برای دسته بندی خطاها معرفی شده و سپس به کمک شبکه های عصبی SOM دسته بندی خطاها انجام شده است. ویژگی های روش ارائه شده بصورت زیر است:

۱. مدت زمان تشخیص دسته در این روش برابر با $\frac{1}{4}$ سیکل است، زیرا برای محاسبه

فازورهای جریان و ولتاژ تنها داشتن دو نمونه زمانی با اختلاف فاز ۹۰ درجه کافی است. چنانچه در بخش (۲-۳) بیان شد، در روش هایی که تاکنون برای دسته بندی

خطاها ارائه شده اند کمترین مدت زمان $\frac{1}{4}$ سیکل بوده است و از این لحاظ روش

پیشنهادی در این پایان نامه از جمله سریع ترین روش ها است.

۲. فرکانس نمونه برداری در این روش نیز ۴ برابر فرکانس موج اصلی است زیرا باید نمونه-

هایی با اختلاف زاویه ۹۰ درجه برداشته شود. بنابراین فرکانس نمونه برداری برای

سیستم های ۵۰ هرتز برابر با ۲۰۰ هرتز و برای سیستم های ۶۰ هرتز برابر با ۲۴۰ هرتز

می باشد. این فرکانس های نمونه برداری به سهولت قابل دستیابی هستند.

۳. پارامترهایی نظیر محل وقوع خطا، زاویه رخ دادن خطا، مدت زمان خطا و امپدانس

خطا در عملکرد روش پیشنهادی تاثیری ندارد. به بیان بهتر می توان گفت که روش

پیشنهادی در برابر این پارامترها مقاوم^۱ می باشد.

با توجه به موارد فوق، باید بیان نمود که روش پیشنهادی از عملکرد بسیار مناسبی برخوردار

¹ Robust

است. همان‌طور که در جدول (۴-۴) دیده می‌شود، همه خطاهایی که به عنوان نمونه آموزشی به شبکه عصبی داده شده است به درستی تشخیص داده شده‌اند. اگر چه در این تست‌ها هیچ خطایی وجود ندارد لیکن نمی‌توان ادعا نمود که این روش هرگز پاسخ اشتباهی نخواهد داد. زیرا مانند همه روش‌های مبتنی بر آموزش و آزمایش، ممکن است خطایی رخ دهد که به درستی دسته‌بندی نشود. اما از آنجا که تنوع نمونه‌های آموزشی زیاد است احتمال اینکه اشتباهی در دسته‌بندی رخ دهد ناچیز است.

۲-۵ پیشنهادات

در اینجا دو پیشنهاد در راستای این پایان‌نامه ارائه می‌گردد.

۱. می‌توان مدت زمان تشخیص را بسیار کوتاه‌تر از ربع سیکل نمود. در واقع به جای برداشتن نمونه‌هایی که اختلاف زاویه ۹۰ با یکدیگر دارند، می‌توان نمونه‌هایی با اختلاف زاویه بسیار کمتر مثلا ۱۰ درجه و یا کمتر برداشت. البته برای انجام این امر نیاز به یافتن معادلات لازم برای استخراج فازورها از این نمونه‌ها داریم. بنابراین با انجام تلاش‌هایی بر روی ارتباط بین مختصات محورهای متعامد و مختصات محورهای نامتعامد و استخراج روابط آن، می‌توان فازورها را با استفاده از نمونه‌هایی که دارای اختلاف فاز کمتر از ۹۰ درجه هستند استخراج نمود.

۲. روش ارائه شده در این پایان‌نامه و تمامی تلاش‌های قبلی، همگی بر روی سیستم‌های بسیار ساده پیاده‌سازی شده‌اند. نمی‌توان انتظار داشت که این روش‌ها در یک سیستم قدرت واقعی که مثلا دارای ۲۰۰ باس باشد قابل استفاده باشند. پیشنهاد می‌شود که بدنبال روشی برای دسته‌بندی خطاهای اتصال کوتاه در سیستم‌های قدرت واقعی باشیم. اگرچه روشی که در این پایان‌نامه ارائه شده مستقیما قابل پیاده‌سازی بر روی یک سیستم واقعی نیست اما ایده‌هایی برای بکار بردن آن بعنوان بخشی از یک روش

جامع تر وجود دارد که در تحقیقات بعدی مولف به آنها پرداخته خواهد شد.

مراجع

[1] Chishan, Y., An Unsynchronized Measurements Correction Method for Two-Terminal Fault-Location Problem, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 25, No. 3, July 2010.

[2] Suonan, J., Gao, S., Song, G., Jiao, Z., and Kang, X., A Novel Fault-Location Method for HVDC Transmission Lines, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 25, No. 2, April 2010.

[3] Silva, M., Coury, D., Oleskovicz, M., Segatto, E., Combined Solution for Fault Location in Three-Terminal Lines Based on Wavelet Transforms, IET Gener. Transm. Distrib., 2010, Vol. 4, Iss. 1, pp. 94–103.

[۴]. حمید افرادی، جواد ساده، تعیین محل خطا در خطوط انتقال ترکیبی به کمک سیستم استنتاج فازی-تطبیقی، دومین کنفرانس تخصصی حفاظت و کنترل سیستم‌های قدرت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۱۳۸۶.

[5] Etemadi, A., Sanaye-Pasand, M., High-impedance Fault Detection using Multi-Resolution Signal Decomposition and Adaptive Neural Fuzzy Inference System, IET Gener. Transm. Distrib., 2008, No. 2, pp. 110–118.

[6] Naresh, R., Sharma, V., Vashisth, M., An Integrated Neural Fuzzy Approach for Fault Diagnosis of Transformers, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 25, No. 4, October 2008.

[7] Thukaram, D., Khincha, H., Vijaynarasimh, H., Artificial Neural Network and Support Vector Machine Approach for Locating Faults in Radial Distribution Systems, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 20, No. 2, April 2005.

[8] Zhang, D., Emerging, P., Techniques in Power System Analysis, Springer, New York, 2009.

[9] Aminifar, F., Khodaei, A., Fotuhi, M., Shahidehpour, M., Contingency-Constrained PMU Placement in Power Networks, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 25, No. 1, February 2010.

[10] Dambhare, D., Gajbhiye, D., Soman, R., Optimal Multistage Scheduling of PMU Placement An ILP Approach, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 23, No. 4, October 2008.

[11] Rakpenthai, C., Uatrongjit, S., Neville, S., Watso, R., An Optimal PMU Placement Method Against Measurement Loss and Branch Outage, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 22, No. 1, January 2007.

[۱۲]. حامد مسگر نژاد، سید محمد شهرتاش، بررسی تطبیقی روش‌های جایابی بهینه واحدهای اندازه‌گیری فازور با هدف رویت‌پذیری کامل شبکه، دومین کنفرانس تخصصی حفاظت و کنترل سیستم‌های قدرت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۱۳۸۶.

[13]. Fortescue, C., Method of Symmetrical Coordinates Applied to the Solution of Polyphase Networks. Trans. AIEE 37:1027-1140, 1918

[14]. Anderson, P., Analysis of Faulted Power Systems. IEEE press, 2003.

- [15] Korn, G., Korn, T., Mathematical Handbook for Scientists and Engineers, 2nd ed. McGraw-Hill, New York, 1998.
- [16]. Hohn, F., Elementary Matrix Algebra. Macmillan, New York, 1995.
- [17] Ogata, K., State Space Analysis of Control Systems. Prentice-Hall, Englewood cliffs, N.J., 2001.
- [18] Stevenson, W., Elements of Power System Analysis, 3rd ed. McGraw-Hill, New York, 1992.
- [19] Wagner, C., Evans, R., Symmetrical Components. McGraw-Hill, New York, 1993.
- [20] Clarke, E., Circuit Analysis of A-C Power Systems, 2Vol. General Electric Co., Schenectady, N.Y., 1990.
- [۲۱]. آرتور برگن، وی جی ویتال، بررسی سیستم‌های قدرت، ترجمه دکتر حمید لسانی. انتشارات دانشگاه تهران ۱۳۸۱.
- [22] Westinghouse Electric Corporation. Electrical transmission and distribution reference book, 4th ed. East Pittsburgh, Pa., 1950.
- [23] Mohamed, E., Talaat, H., Khamis., E., Fault Diagnosis System for Tapped Power Transmission Lines, Electric Power Systems Research 80 (2010) 599-613.
- [24] Lin, W., Yang, C., Lin, J., Tsay, M., A Fault Classification Method by RBF Neural Network With OLS Learning Procedure, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 16, No. 4, October 2001.
- [25] Mahanty, R., Gupta, P., Application of RBF Neural Network to Fault Classification and Location in Transmission Lines, IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol. 151, No. 2, March 2004
- [26] Dong, X., Kong, W., Cui, T., Fault Classification and Faulted-Phase Selection Based on the Initial Current Traveling Wave, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 24, No. 2, April 2009.
- [27] Reddy, M., Mohanta, D., A DSP based Frequency Domain Approach for Classification of Transmission Line Faults, Digital Signal Processing 18 (2008) 751-761.
- [28] Parikh, U., Das.B., Maheshwari, R., Fault Classification Technique for Series Compensated Transmission Line Using Support Vector Machine, Electrical Power and Energy Systems 32 (2010) 629-636
- [29] Mahanty, R., Gupta, P., A Fuzzy Logic Based Fault Classification Approach Using Current Samples Only, Electric Power Systems Research 77 (2007) 501-507.
- [30] Samantaray, S., Decision Tree-Based Fault Zone Identification and Fault Classification in Flexible AC Transmissions-Based Transmission Line, IET Gener. Transm. Distrib., 2009, Vol. 3, Iss. 5, pp. 425–436.

- [31] Ling, F., Zhengyou, H., Zhiqian, B., Novel Approach to Fault Classification in EHV Transmission Line based on Multi-Information Measurements of Fault Transients,
- [32] Zi, E., Gola, G., A Neuro-Fuzzy Technique for Fault Diagnosis and Its Application to Rotating Machinery, Reliability Engineering and System Safety 94 (2009) 78-88.
- [33] Reddy, M., Mohanta, D., A Wavelet-Fuzzy Combined Approach for Classification and Location of Transmission Line Faults, Electrical Power and Energy Systems 29 (2007) 669-678.
- [34] Safty, S., Zonkoly, A., Applying Wavelet Entropy Principle in Fault Classification, Electrical Power and Energy Systems 31 (2009) 604-607.
- [35] Phadke, A., Thor, J., Synchronized Phasor Measurements and Their Applications, Springer Science, Business Medi, LLC, 2008.
- [36] Lien, K., Liu, C., Yu, C., Jian, J., Transmission Network Fault Location Observability With Minimal PMU Placement, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 21, No. 3, July 2006.
- [۳۷]. صباح دانیار، مجتبی شیروبی، صادق جمالی، محل یابی خطا در شبکه انتقال با استفاده از تخمین حالت مبتنی بر اندازه‌گیری‌های فازوری، دومین کنفرانس تخصصی حفاظت و کنترل سیستم‌های قدرت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۱۳۸۶.
- [۳۸]. سید سیاوش گرامیان، حسین عسکریان، حسام الدین صادقی، کاظم مظلومی، تعیین محل خطا در شبکه‌های انتقال با استفاده از حداقل واحدهای اندازه‌گیر فاز، دومین کنفرانس تخصصی حفاظت و کنترل سیستم‌های قدرت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۱۳۸۶.
- [39] Anderson, P., Power system protection, IEEE press, McGraw-Hill, New York, 1998.
- [40] Schweitzer, E. Unified Protection, Monitoring and Control of Overhead Transmission Lines Achieves Performance and Economy, 38th Protective Relay Engineers conference, Atlanta, 1985.
- [41].Schweitzer, E., Four new Digital Relay for Overhead Transmission Line Protection, 12th Western Protective Relay Conference, Spokane, 1995.
- [42] Haykin, S., Neural Networks, A Comprehensive Foundation, Prentice-Hall, 1999.
- [43] Du, K., Swamy, S., Neural Networks in A Soft Computing Framework, Springer-Verlag London 2006.
- [۴۴]. محمد باقر منهج، مبانی شبکه‌های عصبی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر ۱۳۸۶.

Abstract

Nowadays, electrical power system has a very important role in human life. Because of this, electrical engineering always should prepare normal operation of power system. Short circuit faults are one of the main reasons that lead to abnormal operation of system. A rapid and accurate method for fault classification is very necessary to system restoration and fault location. In addition by extending smart power grids, a fast and intelligent fault classification method is very necessary. This work presents a new and more applicable method for fault classification and faulted phase selection. In this method an innovative criteria was defined for fault classifying. This parameter is a vector that made of three phase voltage and current phasors. Using this criteria parameter, the fault classification problem lead to a vector classification problem. This new problem was solved by using Self-Organizing Map (SOM) neural networks. The proposed method was applied to a 4-bus test power system. Simulation results show that proposed method is a rapid and accurate method for fault classification. It can classify the faults in half cycle after fault starting.

Key words: Fault Classification, Shunt Fault, Artificial Neural Network.



Shahrood University of Technology
Robotic and Electric Faculty

Shunt fault classification using artificial neural network

Mohsen Karimi

Supervisor:

Dr. Mahdi Banejad

Advisor:

Dr. Hamid Hassanpour

Thesis Submitted for the Degree of Master of Science

Jul 2010