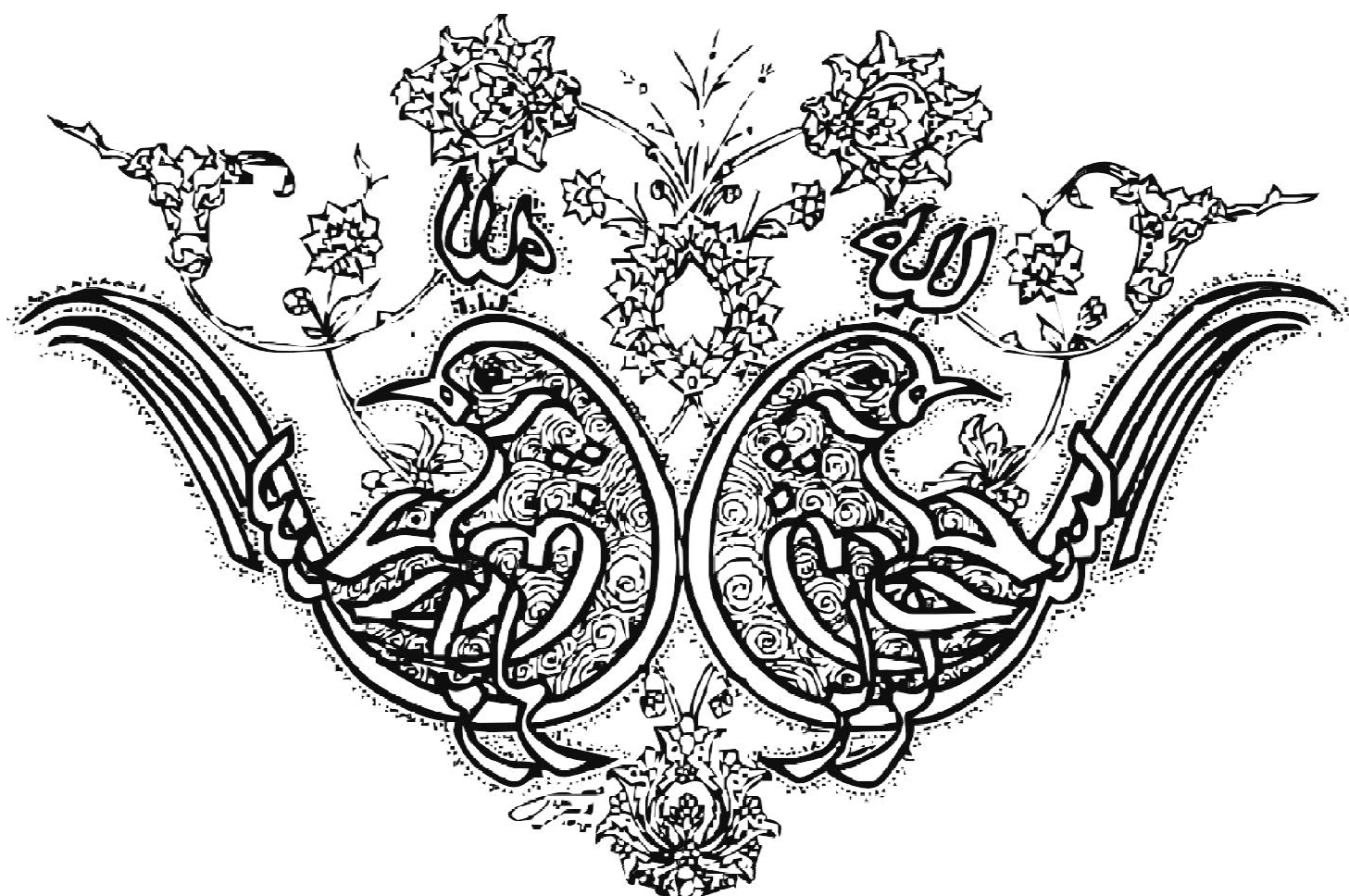






دانشگاه صنعتی شاهرود  
دانشکده مهندسی برق و رباتیک  
گروه مهندسی برق - قدرت

پایان نامه کارشناسی ارشد

# تشخیص جزیره‌ای شدن تولیدات پراکنده در یک سیستم قدرت با حضور عناصر غیر خطی

علی معینی

استاد راهنما:

دکتر احمد دارابی

استاد مشاور:

دکتر سید محمدرضا رفیعی

تیرماه 1389

تقدیم به

صاحب عصر (عج)

پدر و مادرم عزیزم

اساتید گرانقدر دکتر دارابی و دکتر رفیعی

و تمام کسانی که در راستای اعتلای ایران عزیز و اسلام

از جان، مال و قلم خود

دریغ نکردند

نمی‌کنند

و نخواهند کرد

## چکیده

امروزه استفاده از واحدهای کوچک تولید انرژی الکتریکی در سیستمهای قدرت به دلیل مزایای مختلف بهره‌برداری، مورد توجه قرار گرفته‌است. از موانع بسیار مهم توسعه این نوع منابع، مسئله قطع شبکه و پدیده‌های غیرمطلوب ناشی از آن مانند خروج از سنکرونیزم واحد می‌باشد. عدم آگاهی از قطع شبکه اصلی می‌تواند خساراتی را به همراه داشته‌باشد. در این پروژه رویکردهای جدیدی برای تشخیص واحد جزیره‌شده، ارائه شده‌است. پایش سیگنال ورودی به گاورنر در حلقه کنترل بار-فرکانس واحدهای سنکرون، اولین راهکاری است که پیشنهاد شده‌است.

در چندسال اخیر از شبکه‌های عصبی در تحلیل و دسته‌بندی پدیده‌های سیستم‌ها بسیار استفاده می‌شود. در این پروژه از روش دسته‌بندی خودسازمانده و روش خوشه‌بندی احتمالی برای تشخیص پدیده جزیره‌ای شدن از پدیده‌های مشابه استفاده شده است. همچنین روش اکتیو جدیدی بر مبنای استفاده از کنترل هوشمند و انتقال سیگنال نوسانات فرکانس به حلقه کنترل ولتاژ برای تشدید تغییرات در موقع جزیره‌شدگی و عملکرد رله ولتاژ استفاده شده است. نکته قابل تامل دیگر در مورد این پایان‌نامه استفاده از شبکه‌های عصبی به روش خاص برای تشخیص جزیره‌ای شدن است. کلمات کلیدی: جزیره‌ای شدن، پایش سیگنال ورودی به گاورنر، شبکه عصبی خودسازمانده، شبکه عصبی احتمالی، روش اکتیو تریپ رله ولتاژ به کمک نوسانات فرکانس

## فهرست مطالب

|         |                                                                        |
|---------|------------------------------------------------------------------------|
| 1.....  | فصل اول: مقدمه .....                                                   |
| 2.....  | 1-1 ساختار شبکه‌های قدرت .....                                         |
| 2.....  | 2-1 پدیده جزیره‌ای شدن .....                                           |
| 6.....  | فصل دوم: عملکرد جزیره‌ای تولیدات پراکنده .....                         |
| 7.....  | 1-2 جزیره توان .....                                                   |
| 9.....  | 1-1-2 روش‌های کنترل از راه دور .....                                   |
| 10..... | 2-1-2 روش‌های محلی .....                                               |
| 11..... | 1-2-1-2 استفاده از رله‌های فرکانسی .....                               |
| 12..... | 2-2-1-2 روش تشخیص بر مبنای نرخ تغییرات فرکانس .....                    |
| 13..... | 3-2-1-2 تشخیص با استفاده از جابجایی فاز ولتاژ خروجی .....              |
| 13..... | 4-2-1-2 استفاده از نرخ تغییرات اندازه ولتاژ برای تشخیص قطعی شبکه ..... |
| 14..... | 5-2-1-2 استفاده از تغییر توان اکتیو .....                              |
| 14..... | 6-2-1-2 استفاده از شاخص تغییر توان راکتیو .....                        |
| 14..... | 7-2-1-2 نرخ تغییرات توان راکتیو .....                                  |
| 14..... | 8-2-1-2 شاخص نرخ تغییرات فرکانس نسبت به تغییرات توان اکتیو .....       |
| 14..... | 9-2-1-2 شاخص امپدانس دیده‌شده شبکه از دید تولید پراکنده .....          |
| 15..... | 10-2-1-2 شاخص اعوجاج هارمونیکی .....                                   |

|    |                                                                   |
|----|-------------------------------------------------------------------|
| 15 | 11-2-1-2 امیدانس‌های توالی المان‌های شبکه                         |
| 17 | 3-1-2 روش‌های اکتیو                                               |
| 17 | 1-3-1-2 خطای توان راکتیو تزریقی تولید پراکنده                     |
| 18 | 2-3-1-2 شاخص امیدانس دیده شده شبکه از دید تولید پراکنده           |
| 18 | 3-3-1-2 روش تشخیص شیف‌ت فرکانس جریان                              |
| 18 | 4-3-1-2 روش تشخیص به کمک رانش فعال فرکانسی                        |
| 19 | 4-1-2 روش‌های ترکیبی                                              |
| 20 | فصل سوم: شبیه‌سازی و تست (سیستم شماره 1 و 2)                      |
| 21 | 1-3 سیستم کنترل بار- فرکانس                                       |
| 21 | 2-3 پایش سیگنال ورودی به گاورنر                                   |
| 24 | 3-3 نتایج شبیه‌سازی                                               |
| 24 | 1-3-3 کلیدزنی بارالقایی                                           |
| 24 | 2-3-3 کلیدزنی بارالقایی بین کلید خودکار شماره 1 و 2               |
| 25 | 3-3-3 سوئیچ بار بین کلید خودکار شماره 2 و 3 نسبت به تولید پراکنده |
| 26 | 4-3-3 قطع شبکه سراسری                                             |
| 27 | 5-3-3 وقوع قطع شبکه توسط کلید شماره 1                             |
| 27 | 6-3-3 وقوع قطع شبکه توسط کلید شماره 2                             |
| 29 | 7-3-3 وقوع قطع شبکه توسط کلید شماره 3                             |
| 29 | 8-3-3 کلیدزنی بانک خازنی                                          |

|    |                                                                       |
|----|-----------------------------------------------------------------------|
| 30 | 9-3-3 خطای سه فاز                                                     |
| 33 | 4-3 مدل سازی بار غیر خطی شامل یکسوساز 6 پالسه تریستوری                |
| 33 | 5-3 خطای اتصال کوتاه                                                  |
| 34 | 6-3 کلیدزنی بانک های خازنی                                            |
| 34 | 7-3 استارت موتور القایی                                               |
| 34 | 8-3 نوسانات بار                                                       |
| 35 | 9-3 جزیره ای شدن                                                      |
| 35 | 10-3 سیگنال های بکاررفته و نمونه برداری                               |
| 37 | فصل چهارم: شبکه های عصبی دسته بندی و تشخیص جزیره ای شدن               |
| 38 | 1-4 تعریف کلی دسته بندی                                               |
| 38 | 2-4 شبکه های عصبی احتمالی                                             |
| 39 | 3-4 دسته بندی پدیده های شبکه برای تشخیص جزیره ای شدن                  |
| 39 | 1-3-4 دسته بندی پدیده ها برای تشخیص جزیره ای شدن (سیستم تست شماره یک) |
| 39 | 1-1-3-4 اطلاعات ورودی PNN+PW در سیستم شماره یک                        |
| 41 | 2-3-4 آموزش و تست شبکه PNN+PW برای سیستم شماره یک                     |
| 44 | 1-2-3-4 افزایش زمان نمونه برداری                                      |
| 45 | 4-4 دسته بندی پدیده ها برای تشخیص جزیره ای شدن (سیستم تست شماره دو)   |
| 46 | 1-4-4 اطلاعات ورودی PNN+PW از شبکه نمونه شماره دو                     |
| 48 | 2-4-4 آموزش و تست شبکه PNN+PW برای سیستم شماره دو                     |

|    |                                                                         |
|----|-------------------------------------------------------------------------|
| 50 | 5-4 استفاده از PNN+PW به عنوان رله تشخیص جزیره‌ای شدن                   |
| 50 | 6-4 استفاده از PNN+PW به عنوان واحد تشخیص جزیره‌ای شدن و تریپ رله ولتاژ |
| 51 | فصل پنجم: شبکه‌های عصبی خوشه‌بندی و تشخیص جزیره‌ای شدن                  |
| 52 | 1-5 خوشه‌بندی                                                           |
| 52 | 1-1-5 نگاشت‌های خودسازمانده                                             |
| 59 | 1-1-1-5 تحلیل حساسیت                                                    |
| 62 | 2-1-5 طراحی رله به کمک SOM                                              |
| 64 | 3-1-5 استفاده از SOM برای فعال‌سازی رله ولتاژ                           |
| 64 | 1-3-1-5 روش مبتنی بر فیدبک توان اکتیو                                   |
| 64 | 2-3-1-5 روش مبتنی بر توان راکتیو                                        |
| 70 | فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات                                         |
| 71 | 1-6 نتیجه‌گیری                                                          |
| 71 | 2-6 پیشنهادات                                                           |
| 72 | فصل هفتم: مراجع                                                         |



## فهرست شکل‌ها

- شکل 2-1. تولید پراکنده و شبکه سراسری به همراه کلیدهای موثر در پدیده جزیره‌ای شدن. 7
- شکل 3-1. مدل سیستم کنترل بار- فرکانس و گاورنر ..... 21
- شکل 3-2. سیگنال ورودی به گاورنر ناشی از اتصال مقادیر مختلف بار بین کلید 1 و 2 در حضور شبکه اصلی ..... 25
- شکل 3-3. سیگنال ورودی به گاورنر ناشی از خروج مقادیر مختلف بار بین کلید 1 و 2 در حضور شبکه اصلی ..... 25
- شکل 3-4. سیگنال ورودی به گاورنر ناشی از اتصال مقادیر مختلف بار بین کلید 2 و 3 در حضور شبکه اصلی ..... 26
- شکل 3-5. سیگنال ورودی به گاورنر ناشی از خروج مقادیر مختلف بار بین کلید 2 و 3 در حضور شبکه اصلی ..... 26
- شکل 3-6. سیگنال ورودی به گاورنر ناشی از قطع کلید شماره 1 ..... 27
- شکل 3-7. سیگنال ورودی به گاورنر ناشی از قطع کلید شماره 2 ..... 28
- شکل 3-8. سیگنال ورودی به گاورنر ناشی از قطع کلید شماره 2 در حالت برابری توان و بار جزیره ..... 28
- شکل 3-9. سیگنال ورودی به گاورنر ناشی از قطع کلید شماره 3 ..... 29
- شکل 3-10. ورودی گاورنر ناشی از کلیدزنی خازن نزدیک به واحد ..... 30
- شکل 3-11. ورودی گاورنر ناشی از کلیدزنی خازن بین کلید 1 و 2 ..... 30
- شکل 3-12. ورودی گاورنر ناشی از کلیدزنی خازن بین کلید 2 و 3 ..... 31
- شکل 3-13. ورودی گاورنر ناشی از خطا نزدیک به واحد ..... 31
- شکل 3-14. ورودی گاورنر ناشی از خطا بین کلید 1 و 2 ..... 32

- شکل 3-15. ورودی گاورنر ناشی از خطا بین کلید 2 و 3 ..... 32
- شکل 3-16. جریان ورودی یک فاز مبدل تریستوری ..... 34
- شکل 3-17. محل تولید پراکنده و نقاط تعیین شده برای شبیه‌سازی پدیده‌های مختلف ..... 36
- شکل 4-1. شمایی ساده از ساختار شبکه عصبی احتمالی ..... 39
- شکل 5-1. نحوه اتصال ورودی‌ها به نرون‌ها در SOM ..... 53
- شکل 5-2. ساختار کلی شبکه SOM ..... 53
- شکل 5-3. پنج وزن اول SOM6 برای نرون اول ..... 56
- شکل 5-4. پنج وزن اول SOM6 برای نرون دوم ..... 56
- شکل 5-5. پنج وزن اول SOM6 برای نرون سوم ..... 57
- شکل 5-6. پنج وزن اول SOM6 برای نرون چهارم ..... 57
- شکل 5-7. پنج وزن اول SOM6 برای نرون پنجم ..... 58
- شکل 5-8. پنج وزن اول SOM6 برای نرون ششم ..... 58
- شکل 5-9. همگرایی وزن اول از نرون اول با توجه به نرخ‌های آموزش متفاوت ..... 61
- شکل 5-10. تغییر توپولوژی شبکه در همگرایی وزن‌های شبکه ..... 61
- شکل 5-11. نحوه عملکرد روش توان اکتیو و روش توان راکتیو برای تریپ رله فرکانس و رله ولتاژ ..... 65
- شکل 5-12. شماتیک روش پیشنهادی برای استفاده همزمان از ورودی گاورنر و رله ولتاژ ..... 68
- شکل 5-13. تشدید افت ولتاژ و تریپ رله ولتاژ با استفاده از روش پیشنهادی ..... 69

## فهرست جداول

- جدول 1-4. نتیجه اعتبارسنجی PNN+PW برای شبکه تست اول با  $\sigma = 0.002$  ..... 41
- جدول 2-4. نتیجه اعتبارسنجی PNN+PW برای شبکه تست اول با  $\sigma = 0.01$  ..... 42
- جدول 3-4. نتیجه اعتبارسنجی PNN+PW برای شبکه تست اول با  $\sigma = 0.1$  ..... 43
- جدول 4-4. نتیجه اعتبارسنجی PNN+PW برای شبکه تست اول با  $\sigma = 0.5$  ..... 43
- جدول 5-4. نتیجه اعتبارسنجی برای شبکه تست اول PNN+PW با  $\sigma = 1$  ..... 44
- جدول 6-4. نتیجه اعتبارسنجی برای شبکه تست اول PNN+PW با  $\sigma = 2$  ..... 44
- جدول 7-4. نتیجه اعتبارسنجی PNN+PW با  $\sigma = 0.01$  برای شبکه تست اول با 175 نمونه ..... 45
- جدول 8-4. نتیجه اعتبارسنجی PNN+PW با  $\sigma = 0/001$  برای سیستم تست شماره دو ..... 48
- جدول 9-4. نتیجه اعتبارسنجی PNN+PW با  $\sigma = 0/01$  برای سیستم تست شماره دو ..... 48
- جدول 1-5. ساختارهای طراحی شده برای SOM ..... 54
- جدول 2-5. تنظیمات SOM ..... 54
- جدول 3-5. تعیین نرون برنده در قبال جزیره‌ای شدن و غیر جزیره‌ای شدن ..... 55
- جدول 4-5. نتیجه اعتبارسنجی شبکه SOM6 ..... 600
- جدول 5-5. میزان خطا در دسته‌بندی برای شبکه‌های طراحی شده ..... 600

# فصل اول

## مقدمه

## 1-1 ساختار شبکه‌های قدرت

ساختار شبکه‌های قدرت به دلایل مختلف از جمله محدودیت‌های جغرافیایی، زیست‌محیطی و اجتماعی براساس تولید انرژی برق در نیروگاه‌های بزرگ و انتقال توان الکتریکی از مراکز تولید به نقاط مصرف است. امروزه با توجه به افزایش تقاضای انرژی الکتریکی، شاهد گرفتگی بیشتر خطوط در سیستم‌های انتقال و توزیع، کاهش قابلیت اعتماد شبکه، محدودیت‌های ظرفیتی و عملیاتی ادوات مختلف و افزایش چشمگیر تلفات هستیم. از طرف دیگر کاهش روزافزون منابع فسیلی و مشکلات زیست‌محیطی آن، مخاطرات سوخت هسته‌ای و چشم‌انداز آینده انرژی از دیگر مشکلاتی است که صاحبان سیستم و سیاست‌گذاران کلی شبکه را بر اتخاذ تصمیماتی مبنی بر مدیریت مصرف و کاهش تلفات شبکه وادار می‌سازد. از جمله راهکارهای ارائه‌شده در زمینه رفع این معضلات، استفاده از تولیدات پراکنده<sup>1</sup> و انرژی‌های نو می‌باشد. استفاده همزمان از برق و گرمای تولیدی ژنراتور، افزایش قابلیت اطمینان شبکه، بهبود کارکرد سیستم با کاهش تقاضای برق از شبکه سراسری و تعویق احداث نیروگاه و خطوط جدید در سیستم‌های تولید و انتقال از جمله این مزایا می‌باشند.

## 2-1 پدیده جزیره‌ای شدن<sup>2</sup>

عملکرد موازی تولید پراکنده در یک شبکه، مشکلاتی نیز از دیدگاه قابلیت اطمینان هر دو سیستم نیز در پی دارد. این‌گونه واحدها اغلب به صورت محلی کنترل‌شده و کنترلی از مدیریت مرکزی شبکه بر روی آن‌ها وجود ندارد. یکی از مهمترین معضلات این نوع کارکرد، لزوم محافظت تولید پراکنده در مقابل عدم وجود منبع اصلی تولید شبکه سراسری است. پدیده جزیره‌ای شدن زمانی اتفاق می‌افتد که تولید پراکنده از منبع برق سراسری قطع شده و به یک بخش کوچک از شبکه سراسری محدود شود.

---

<sup>1</sup> - Distributed Generation

<sup>2</sup> - Islanding

قطع واحد تولید پراکنده از شبکه اصلی به دلایل مختلف می‌تواند رخ دهد. عملکرد هرکدام از کلیدهای شبکه ممکن است به جزیره‌ای شدن منجر شود. در حالت جزیره‌ای شدن بسته به بار شبکه حالات مختلفی می‌تواند رخ دهد. اگر بار قسمت جزیره‌شده تفاوت فاحشی با توان واحد داشته‌باشد، در این صورت فرکانس و ولتاژ شبکه تفاوت زیادی با مقدار خود قبل از حالت جزیره‌ای شدن خواهد داشت. اگر واحد تولید پراکنده توانایی تامین بار حالت جزیره‌شده را داشته باشد، در این صورت فرکانس شبکه و ولتاژ آن در حد استاندارد باقی می‌ماند. و قسمت جزیره‌شده بدون مشکلی بکار خود ادامه می‌دهد.

مشکل اصلی هنگامی رخ می‌دهد که تولید پراکنده در حال تزریق توان به سیستم جزیره‌شده می‌باشد، بدون آنکه از قطع شبکه اصلی اطلاعی داشته‌باشد. در صورت ادامه کار واحد، ممکن است با وصل مجدد کلیدهای خودکار شبکه، پدیده خروج از سنکرونیزم رخ دهد. در صورت اتصال خارج از سنکرون تولید پراکنده به شبکه اصلی، گشتاور غیرسنکرونی ایجاد می‌شود که به واحد و گرداننده آن صدمات جدی وارد می‌کند. احتمال قطع شبکه اصلی متصل به تولید پراکنده و اتصال مجدد آن به دلیل عملکرد خودکار کلیدهای موجود در سیستم قدرت زیاد می‌باشد.

به منظور حفاظت تولید پراکنده در شبکه و جلوگیری از آسیب‌های احتمالی ناشی از قطع شبکه اصلی، باید در حداقل زمان ممکن قطع شبکه تشخیص داده‌شود و ژنراتور از سیستم سراسری تفکیک شود.

روش‌های زیادی در مقالات و مجلات مختلف علمی برای تشخیص حالت جدایی تولید پراکنده از شبکه ارائه شده‌است. این روش‌ها در یک تقسیم بندی کلی به دو روش کنترل از راه دور<sup>1</sup> و کنترل به صورت محلی<sup>2</sup> تقسیم می‌شوند. روش‌های کنترل از راه دور مبتنی بر ارتباط تولید پراکنده با شبکه می‌باشند. یک راه موثر متناسب با ساختار شبکه‌های امروزی استفاده از سیستم‌های مخابراتی است.

---

<sup>1</sup> - Communication Base

<sup>2</sup> - Local Techniques

چنین سیستمی با تحلیل وضعیت سوئیچ‌ها و بریکرهای نصب‌شده در شبکه و هرگونه عملکرد آن‌ها، وقفه بوجودآمده در سیستم را تشخیص می‌دهد. این گونه روش‌ها با وجود دقت بسیار بالا و عملکرد بسیار مطلوب، معضلاتی نیز در پی‌دارند. هزینه بالای سرمایه‌گذاری اولیه و نگهداری سیستم، پیچیدگی تکنیک‌های به کار رفته، تغییر توپولوژی شبکه در طول زمان و نیاز بروزرسانی الگوریتم مرکزی تحلیل از جمله موانع استفاده از روش‌های ارتباط محور می‌باشد.

تکنیک‌های محلی خود نیز شامل دو دسته اصلی می‌شوند. دسته اول شامل تکنیک‌های پسو می‌شود. این طیف از روش‌ها با بررسی و آنالیز سیگنال‌های مرتبط با تولید پراکنده، بدون تاثیر متقابل سیستم تشخیص بر روی شبکه می‌پردازند.

دسته دوم به تکنیک‌های اکتیو اطلاق می‌شود که با تزریق سیگنالی به سیستم و بررسی پاسخ آن قطعی شبکه را تشخیص می‌دهند. از آنجا که روش‌های اکتیو ارتباط متقابلی با سیستم دارند، از قابلیت اعتماد بیشتری نسبت به روش‌های پسو برخوردار هستند.

در این پایان‌نامه ابتدا سیگنال ورودی به گاورنر بخش کنترل بار-فرکانس واحد به عنوان شاخصی جدید برای تشخیص جزیره‌ای شدن معرفی می‌شود. در ادامه رویکردی کاملاً متفاوت با آنچه تاکنون برای تشخیص جزیره‌ای شدن استفاده‌شده، مورد توجه قرار می‌گیرد. شبکه‌های عصبی به عنوان ابزاری بسیار قدرتمند برای تشخیص حالت جزیره‌ای شدن در این پایان‌نامه استفاده می‌شود.

نحوه فصل‌بندی این پایان‌نامه به این صورت است که در فصل دوم پدیده جزیره‌ای شدن کاملاً مورد تحلیل قرار می‌گیرد و تعدادی از روش‌های تشخیص جزیره‌ای شدن پرداخته می‌شود. در فصل سوم سیستم مورد مطالعه شماره یک و دو معرفی و تحلیل می‌شود. در فصل سوم هم‌چنین سیگنال گاورنر به عنوان یک شاخص برای تشخیص حالت جزیره‌ای شدن مورد توجه قرار می‌گیرد. در فصل چهارم دسته‌بندی با استفاده از شبکه‌های عصبی ارائه می‌شود. علاوه براین در فصل چهارم روش جدیدی برای تشخیص جزیره‌ای شدن بر مبنای استفاده از شبکه‌های عصبی نوع دسته‌بندی ارائه می‌-

شود. در فصل پنجم به معرفی شبکه‌های عصبی از نوع خوشه‌بندی پرداخته می‌شود. در این فصل روش دیگری نیز برای تشخیص حالت جزیره‌ای شدن بر مبنای شبکه‌های عصبی از نوع خوشه‌بندی معرفی می‌شود و روش اکتیو جدیدی نیز برای تشخیص شبکه معرفی و تست می‌شود. جمع‌بندی و ارائه پیشنهادات در فصل ششم تنظیم می‌شود.

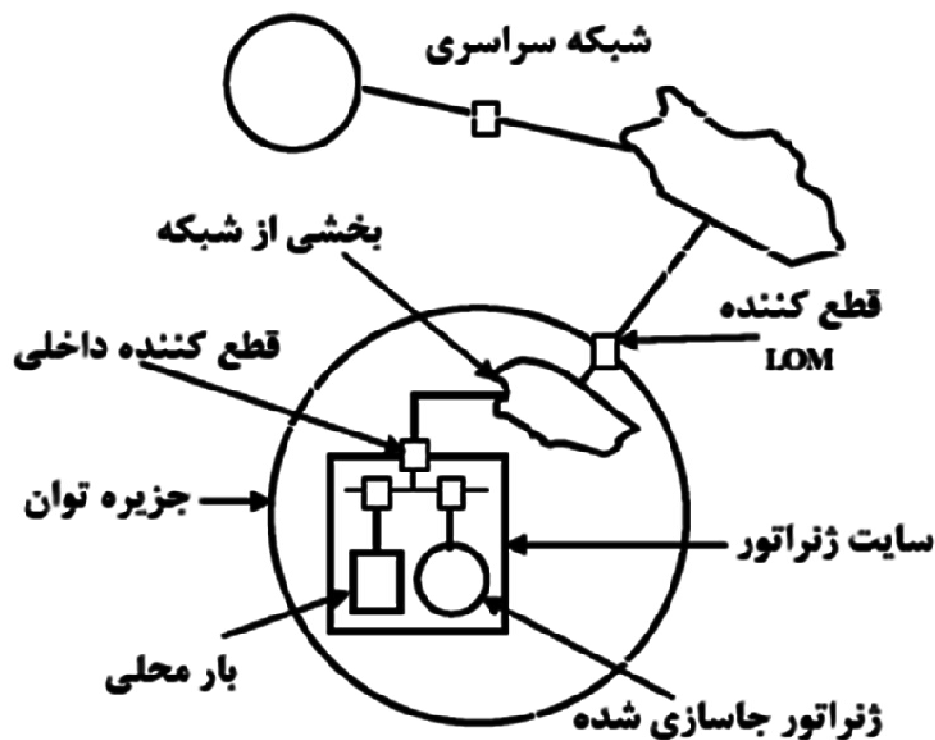


## فصل دوم

### عملکرد جزیره‌ای تولیدات پراکنده

## 1-2 جزیره توان

طبق استاندارد IEEE، یک جزیره توان بخشی از یک سیستم قدرت شامل یک یا چند منبع توان و بار است که برای یک دوره زمانی از سایر بخش‌های سیستم جدا شده است [1]. از این رخداد در مقالات و کتب مختلف با عناوین جزیره‌ای شدن<sup>1</sup>، از دست رفتن شبکه اصلی<sup>2</sup>، و یا از دست رفتن سیستم<sup>3</sup> یاد می‌شود. همان‌طور که در شکل 1-2 نشان داده شده است، معمولاً به دنبال عمل کردن یکی از قطع‌کننده‌های شبکه اصلی که تولید پراکنده را از شبکه اصلی جدا می‌کند، چنین وضعیتی پیش می‌آید



شکل 1-2. تولید پراکنده و شبکه سراسری به همراه کلیدهای موثر در پدیده جزیره‌ای شدن

با قطع شبکه اصلی ممکن است که قطع‌کننده واحد تولید پراکنده را از شبکه جدا سازد، در

<sup>1</sup> - Islanding

<sup>2</sup> - Loss of Main (LOM)

<sup>3</sup> - Loss of Grid

صورتی که قطع شبکه تشخیص داده نشود، واحد بکار خود ادامه می‌دهد.

اگر بار باقیمانده در بخش جزیره توان، بیشتر از توان تولید پراکنده باشد، جزیره‌ای شدن معمولاً باعث اضافه بار بر روی تولید پراکنده خواهد شد و ممکن است ولتاژ و فرکانس ژنراتور افت کند. این شرایط باعث می‌شود که تولید پراکنده توسط سیستم حفاظتی اضافه بار - در صورت عدم وجود سیستم حفاظتی پیشرفته‌تر - از کار بیافتد و بار متصل به آن نیز بدون تغذیه رها شود. در این شرایط عدم تعادل ولتاژ و فرکانس قبل از قطع شبکه ممکن است به بارهای سیستم جزیره‌شده، مخصوصاً بارهای حساس به کیفیت توان آسیب می‌رساند. از طرف دیگر در صورتی که ژنراتور بعد از قطع شبکه تحت اضافه بار قرار نگیرد می‌تواند به کار خود ادامه دهد. ولتاژ و فرکانس در این حالت می‌تواند در حد استاندارد حفظ شود. در این صورت، بسته به میزان بار شبکه، سیستم جزیره‌شده به نقطه تعادل جدیدی می‌رسد و تولید پراکنده بدون اطلاع از قطع شبکه بکار خود ادامه می‌دهد.

به طور معمول شبکه سراسری با رفع علت خطا دوباره وصل می‌شود تا بار جزیره‌شده را تغذیه کند. کلیدهای بسیاری هستند که به صورت خودکار و نیمه خودکار، و یا دستی شبکه را دوباره متصل می‌کنند. با وصل مجدد شبکه ممکن است تولید پراکنده از شرایط سنکرونیزم خارج شود. اتصال مجدد تولید پراکنده به شبکه بدون سنکرون سازی مجدد آن مشکلات زیادی را برای واحد و تجهیزات مربوطه به همراه خواهد داشت. در این مورد، بخصوص در هنگام عملکرد کلیدهای بازبست خودکار که پس از رفع یک خطای کوچک بلافاصله وصل می‌شوند، امکان خطر بالاست. مشکل دیگری که در شرایط جزیره‌ای شدن می‌تواند خطرناک باشد، تغذیه شبکه به صورت مستقل از شبکه اصلی می‌باشد. کارکرد مستقل تولید پراکنده می‌تواند برای مهندسين شبکه که از فعال بودن تولید پراکنده خبر نداشته و بخش جداشده را خاموش فرض می‌کنند، خطرناک باشد.

به منظور حفاظت تولید پراکنده در شبکه و جلوگیری از آسیب‌های احتمالی ناشی از قطع شبکه اصلی، باید در حداقل زمان ممکن قطع شبکه تشخیص داده شود و تولید پراکنده از سیستم

سراسری تفکیک شود.

در زمینه تشخیص قطع شبکه اصلی روش‌های متفاوتی پیشنهاد شده‌است. اهتمام کلی این روش‌ها بر تشخیص به موقع ازدست رفتن شبکه سراسری و قطع تولید پراکنده می‌باشد. این روش‌ها در یک تقسیم‌بندی کلی به دو روش کنترل از راه دور<sup>1</sup> و کنترل به صورت محلی<sup>2</sup> تقسیم می‌شوند.

## 1-1-2 روش‌های کنترل از راه دور

روش‌های کنترل از راه دور مبتنی بر ارتباط تولید پراکنده با شبکه سراسری می‌باشند. این نوع از روش‌ها هرگونه حالت جزیره‌ای شدن را به واحد تولیدپراکنده اطلاع می‌دهند. یک راه موثر متناسب با ساختار شبکه‌های قدرت امروزی استفاده از سیستم‌های مخابراتی است. چنین سیستمی با تحلیل وضعیت سوئیچ‌ها و بریکرهای نصب‌شده در شبکه و هرگونه عملکرد آن‌ها، وقفه به وجودآمده در سیستم را تشخیص می‌دهد.

اطلاعات اخذشده از سراسر شبکه توسط یک الگوریتم مرکزی با توجه به ساختار خطوط و موقعیت مکانی کلیدها تحلیل‌شده و محدوده جزیره‌شده و امکان وضعیت جزیره‌ای شدن تولید پراکنده مشخص می‌شود. سیستم مرکزی می‌تواند فرمان قطع از شبکه را به تمامی واحدها و یا به تعداد خاصی از واحدها که در منطقه جزیره‌شده قرار دارند، ارسال کند.

در این‌گونه روش‌ها از سیستم‌های مخابراتی اعم از تلفن، امواج رادیویی، اینترنت یا مخابره سیگنال بر روی حامل خط توان<sup>3</sup> برای انتقال سیگنال خطا<sup>4</sup> و اطلاع‌رسانی به واحدهای جاسازی‌شده استفاده می‌شود [2-3].

این‌گونه روش‌ها با وجود دقت بسیار بالا و عملکرد بسیار مطلوب، معضلاتی نیز در پی دارند.

---

<sup>1</sup> - Communication Base

<sup>2</sup> - Local Techniques

<sup>3</sup> - Power Line Carrier Communication (PLCC)

<sup>4</sup> - Transfer Trip Scheme

هزینه بالای سرمایه‌گذاری اولیه این طرح‌ها از جمله اهم موارد است. نگهداری این سیستم مخابراتی هم مشکلات خاص خود را دارد. پیچیدگی تکنیک‌های به‌کاررفته کار با این تکنولوژی‌ها را مشکل می‌کند. اما بزرگ‌ترین مشکل تغییر توپولوژی شبکه در طول زمان و نیاز بروزرسانی الگوریتم مرکزی تحلیل است. شبکه انتقال انرژی دائما در حال تغییر و تحول است و ممکن است هرروز به تعداد واحدهای تولید پراکنده در آن افزوده شود. لذا لازم است که الگوریتم مرکزی با توجه به تغییرات شبکه تطبیق داده‌شود.

امکان خرابکاری در سیستم قدرت یکی دیگر از مشکلاتی است که اخیرا بسیار مورد توجه قرار گرفته‌است. در صورت استفاده از سیگنال‌های مخابراتی این امکان وجود دارد که ارسال هشدار قطع توسط سیستم دیگری غیر از مرکز کنترل صورت پذیرد. احتمال این رخداد با توجه به پیشرفت‌های امروزی در صنعت مخابرات و نفوذ در سیگنال‌های مخابراتی بسیار زیاد است.

## 2-1-2 روش‌های محلی

تکنیک‌های محلی به روش‌هایی اطلاق می‌شوند تشخیص جزیره‌ای شدن در محل خود تولید پراکنده صورت می‌پذیرد و دیگر نیازی به سیستم‌های مخابراتی ارسال اطلاعات نیست. تکنیک‌های محلی خود نیز شامل دو دسته می‌شوند. دسته اول شامل تکنیک‌های پسو می‌شود. این طیف از روش‌ها با بررسی و آنالیز سیگنال‌های مرتبط با تولید پراکنده، بدون تاثیر متقابل بر روی سیستم اصلی، به تشخیص جزیره‌ای شدن تولید پراکنده می‌پردازند. استفاده از این روش‌ها امروزه متداول است. این گونه روش‌ها از فاکتورهای مختلفی برای تشخیص جزیره‌ای شدن استفاده می‌کنند. برخلاف روش‌های تشخیص از راه دور، در این رویکرد، ادوات تشخیص در مجاورت تولید پراکنده نصب شده و سیگنال‌های مرتبط با خود تولید پراکنده را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهند.

## 1-2-1-2 استفاده از رله های فرکانسی<sup>1</sup>

این روش بر مبنای استفاده از رله های فرکانسی استوار است. در این نوع از رله ها از شاخص فرکانس برای قطع استفاده می کنند. با ایجاد یک جزیره توان، فرکانس کل شبکه دستخوش تغییراتی می شود که رله فرکانسی برای تشخیص جزیره ای شدن، از این تغییرات می تواند استفاده می کند. این نوع رله ها برای میزان خاصی از تغییر نوسان تنظیم می شوند. در صورتی که تغییرات فرکانس از این مقدار بیشتر شود، فرمان قطع را صادر می کنند [4].

تغییرات فرکانس با معیار معرفی شده فوق مقایسه می شود. اگر تغییرات بیش تر از مقدار مشخصی باشد، حالت جزیره شدگی تشخیص داده می شود. همان طور که مشخص می باشد، ثابت ها واحد در این روش تاثیرگذار هستند.

استفاده از این نوع رله مشکلاتی را نیز به همراه دارد. در طول شبانه روز، پروفایل شبکه تغییرات زیادی را شامل می شود. نوسان بار به نوبه خود فرکانس شبکه را دستخوش تغییراتی گذرا می کند که هر کدام از این تغییرات ممکن است باعث عملکرد رله های فرکانسی شود. علاوه بر این پدیده های دیگری نیز در شبکه هستند که فرکانس شبکه را تحت تاثیر قرار می دهند. نکته مهم در قبال این نوع رله تنظیم صحیح آن می باشد که به ازای شرایط جزیره ای شدن عمل کند. برای این مهم باید حالات زیادی در شبکه مورد توجه قرار گیرند.

تجربه نشان می دهد در صورتی که بار قبل و بعد از حالت جزیره ای شدن، تفاوت چندانی نداشته باشد، این نوع از رله ها قادر به تشخیص نیستند. وقتی بار شبکه از دیدگاه تولید پراکنده تغییرات چندانی نداشته باشد، بالطبع تغییرات فرکانس هم تغییرات چندانی نخواهد داشت.

اساسا هر روش تشخیص جزیره ای شدن، یک ناحیه غیر قابل تشخیص<sup>2</sup> دارد. این بدین معنا است که اگر تغییر شاخص موردنظر در بازه مربوطه نباشد، تکنیک معرفی شده قادر به تشخیص حالت

---

<sup>1</sup> - Frequency Relay

<sup>2</sup> - Non Detection Zone (NDZ)

جزیره‌ای شدن نمی‌باشد.

اگر نوسانات بار در محدوده مجاور به توان نامی تولید پراکنده باشد، رله فرکانسی قادر به تشخیص نمی‌باشد. این محدوده به میزان تنظیم رله فرکانسی نیز بستگی دارد. تنظیم دقیق‌تر باعث تشخیص عدم تعادل کمتر می‌شود. ولی درعین حال حساسیت بیشتر نسبت به نوسان و امکان تریپ نابجا ممکن است بوجود آید.

## 2-2-1-2 روش تشخیص بر مبنای نرخ تغییرات فرکانس

مشکلات اشاره شده در مورد رله فرکانسی باعث معرفی روش جدیدی بر مبنای نرخ تغییرات فرکانس<sup>1</sup> شد. نرخ تغییرات فرکانس در واقع شیب خط فرکانس بوده که میزان آن می‌تواند در تعیین حالت جزیره‌ای شدن موثر باشد. در روش تشخیص با نرخ نوسان فرکانس، نرخ تغییرات فرکانس تولید پراکنده با یک مقدار مرجع مقایسه می‌شود. در صورتی که مقدار محاسبه شده از مقدار مرجع بیشتر باشد، دستور قطع تولید پراکنده از شبکه صادر می‌شود [5]. نکته مهم در قبال این روش تعیین سطح مجاز نرخ تغییرات می‌باشد. هرچه نرخ تغییرات کمتر باشد، رله طراحی شده حساسیت کمتری از خود نسبت به تغییرات فرکانس تولید پراکنده نشان می‌دهد. در مقابل تنظیم مقدار کوچک برای نرخ تغییرات تولید پراکنده می‌تواند مشکلات بعدی را به همراه داشته‌باشد.

از جمله مشکلات این رله در مواقع راه‌اندازی موتورها و ژنراتورها می‌باشد. هنگامی که یک موتور القایی یا یک ژنراتور دیگر وارد مدار می‌شود، نوساناتی را در سیستم شاهد هستیم که نرخ تغییرات آن‌ها در ابتدای کلیدزنی زیاد است. در این گونه مواقع فرکانس نوسانات زیادی را شاهد است که ممکن است این رله فرمان تریپ را صادر نماید.

---

<sup>1</sup> - Rate Of Change Of Frequency (ROCOF)

## 3-2-1-2 تشخیص با استفاده از جابجایی فاز ولتاژ خروجی<sup>1</sup>

معمولا به دنبال قطع شبکه، فاز ولتاژ جزیره‌ای شدن در نقطه اتصال به شبکه شاهد شیفت فازی خواهد بود. در روش تشخیص با استفاده از جابجایی شیفت فاز ولتاژ خروجی، دائما ولتاژ خروجی جزیره‌ای شدن پایش می‌شود و در صورتی که مقدار اندازه‌گیری شده نسبت به مقدار مرجع، اختلاف فاز داشته‌باشد، رله مجهز به این روش، فعال شده و در صورتی که مقدار اختلاف فاز از مقدار مجاز بیشتر شود، فرمان قطع را صادر می‌کند.

در صورتی که واحد از شبکه اصلی جدا شود، هرگونه تغییر جریان باعث تغییر در زاویه ولتاژ پایانه و ولتاژ داخلی می‌شود. این اختلاف زاویه به عنوان یک شاخص برای تشخیص جزیره‌شدگی معرفی شده‌است.

مشکل عمده در قبال این روش پدیده‌های مشابه هستند که می‌توانند باعث جابجایی فاز ولتاژ شوند. همچنین اگر تغییر جریان کم باشد، این روش قادر به تشخیص نخواهد بود. این وضعیت در حالتی رخ می‌دهد که بار قبل و بعد از قطع شبکه از دیدگاه تولید پراکنده نزدیک به هم باشند. به همین دلیل این روش نیز رویکرد مناسبی برای تشخیص نمی‌باشد [6].

## 4-2-1-2 استفاده از نرخ تغییرات اندازه ولتاژ برای تشخیص قطعی شبکه

یکی دیگر از شاخص‌هایی که برای تعیین قطعی شبکه به کار می‌رود، استفاده از اندازه ولتاژ تولید پراکنده است. تغییرات ولتاژ نسبت به تغییرات فرکانس سریع‌تر است و این امر می‌تواند، سرعت تشخیص را بهبود بخشد. البته مشکلی مهم در زمینه استفاده از شاخص ولتاژ وجود دارد، که آن هم وابستگی ولتاژ به توان راکتیو است. تغییرات توان راکتیو شبکه مانند سوئیچ بانک‌های خازنی می‌تواند باعث عملکرد نادرست رله‌های مبتنی بر تغییرات ولتاژ شود [7].

---

<sup>1</sup> - Phase Shift



## **5-2-1-2 استفاده از تغییر توان اکتیو**

در این روش از پایش سیگنال خروجی توان اکتیو تولید پراکنده برای تعیین جزیره‌ای شدن استفاده می‌شود. عملکرد این روش مشابه روش‌های مبتنی بر فرکانس می‌باشد [8]. باطبع نوسانات بارهای شبکه می‌تواند در عملکرد این روش اختلال ایجاد کند.

## **6-2-1-2 استفاده از شاخص تغییر توان راکتیو**

در این روش توان راکتیو در پایانه تولید پراکنده پایش می‌شود. چنانچه تغییرات توان راکتیو از مقدار مشخصی بیشتر شود، حالت جزیره‌ای شدن تشخیص داده می‌شود. عمده معضل این روش در مواجهه با کلیدزنی بانک‌های خازنی است.

## **7-2-1-2 نرخ تغییرات توان راکتیو**

با رخداد حالت جزیره‌ای شدن، تامین توان راکتیو به عهده واحد جاسازی شده می‌باشد. در این صورت توان راکتیو تغییرات زیادی را دارد که نرخ این تغییرات می‌تواند برای تشخیص جزیره‌ای شدن به کار رود [9].

از جمله روش‌های دیگر که مطرح شده اند، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

## **8-2-1-2 شاخص نرخ تغییرات فرکانس نسبت به تغییرات توان اکتیو**

در این روش میزان تغییرات فرکانس بر روی تغییرات توان اکتیو محاسبه می‌شود [10].

## **9-2-1-2 شاخص امیدانس دیده شده شبکه از دید تولید پراکنده**

در این روش امیدانس دیده شده شبکه سراسری متصل از دیدگاه واحد تولید پراکنده دائماً پایش و محاسبه می‌شود. چنانچه تغییرات زیادی در آن مشاهده شود، حالت جزیره‌ای شدن تشخیص داده می‌شود و فرمان قطع واحد صادر می‌شود [11 و 12]. البته این روش هم مشکلاتی را خواهد

داشت، با عملکرد هرکدام از سوئیچ‌های بار شبکه سراسری ممکن است تغییرات امپدانس قابل توجه باشد و حالت جزیره‌ای شدن تشخیص داده‌شود. نکته مهم در قبال این روش نیز تنظیم سطح مجاز نوسان امپدانس شبکه است.

## 10-2-1-2 شاخص اعوجاج هارمونیک

در این روش میزان اعوجاج شبکه و هارمونیک‌های آن اندازه‌گیری می‌شوند. در صورتی که این مقادیر از مقدار مجاز فراتر رود، حالت جزیره‌ای شدن تشخیص داده می‌شود [13].

## 11-2-1-2 امپدانس‌های توالی المان‌های شبکه

امپدانس توالی مثبت و منفی برای اکثر المان‌های شبکه تقریباً برابر است. این امپدانس‌ها برای بارهای تکفاز، بارهای سه فاز امپدانسی و ترانسفورماتورها دارای مقادیر دقیقاً برابر می‌باشند، خطوط انتقال نیز غالباً دارای جابجایی فاز بوده و امپدانس‌های توالی مثبت و منفی برابر دارند. اما موتورهای القایی سه‌فاز دارای تفاوت اندکی در امپدانس‌های توالی مثبت و منفی هستند. البته این تفاوت نسبت به اختلاف امپدانس‌های توالی مثبت و منفی در ژنراتورهای سنکرون بسیار ناچیز است و مشکلی در تمایز این دو المان ایجاد نمی‌کند.

تفاوت امپدانس‌های توالی مثبت و منفی در ژنراتور سنکرون از جهت چرخش روتور ناشی می‌شود. مقدار امپدانس توالی مثبت هنگامی بدست می‌آید که جریان توالی مثبت بر اثر اعمال مجموعه ولتاژهای توالی مثبت جاری شود. ترتیب فاز در مجموعه ولتاژهای توالی مثبت به صورتی است که باعث ایجاد میدان دوار هم‌جهت با چرخش رتور خواهد شد. امپدانس توالی مثبت ژنراتور در حالت‌های دائمی، گذرا و زیرگذرا بترتیب برابر  $X_d$ ،  $X'_d$  و  $X''_d$  است. اما مجموعه ولتاژهای توالی منفی باعث ایجاد میدان در خلاف جهت چرخش رتور می‌شوند. بنابراین سیم‌پیچ میدان تاثیری در این امپدانس نداشته و تنها متاثر از سیم‌پیچ می‌راکننده در محور عمودی ماشین است. امپدانس توالی

منفی ژنراتور تقریباً با راکتانس زیرگذرای توالی مثبت برابر است. امپدانس توالی صفر نیز تقریباً برابر راکتانس پراکندگی استاتور می‌باشد. بطور خلاصه امپدانس‌های توالی ژنراتور با روابط زیر به پارامترهای دینامیکی آن مربوط می‌شوند.

$$X^+ = X_d \quad (1)$$

$$X^- = X_d'' \quad (2)$$

$$X^0 = X_l \quad (3)$$

سایر المان‌های شبکه هم تفاوت چندانی در امپدانس توالی مثبت و منفی ندارند. لذا تفاضل بین امپدانس‌های معادل توالی مثبت و منفی در یک شبکه، وجود یا عدم وجود ژنراتور سنکرون را در آن شبکه مشخص می‌کند.

در حالت اتصال شبکه اصلی، اختلاف قابل ملاحظه‌ای بین امپدانس معادل توالی مثبت شبکه و امپدانس معادل توالی منفی آن وجود ندارد، زیرا اکثر المان‌های شبکه دارای امپدانس‌های توالی مثبت و منفی برابر می‌باشند. اما در حالت قطع شبکه اصلی این اختلاف محسوس است. زیرا امپدانس معادل ژنراتور سنکرون در مقابل توالی‌های مثبت و منفی دارای تفاوت قابل ملاحظه ای است.

همان‌گونه که بیان شد، روش پیشنهادی بایستی قادر به تشخیص قطع شبکه اصلی و شرایط مشابه مانند سوئیچ بار باشد. شاخص مورد استفاده بصورت اختلاف بین امپدانس‌های توالی مثبت و منفی معادل شبکه تعریف شده است. بطور طبیعی در شبکه‌های توزیع، مجموعه ولتاژهای توالی مثبت و منفی وجود دارند. لذا جریان‌های هر دو توالی نیز در شبکه جاری خواهند شد. امپدانس توالی مثبت از نسبت ولتاژ توالی مثبت به جریان توالی مثبت محاسبه می‌شود. امپدانس توالی منفی نیز از نسبت ولتاژ توالی منفی به جریان توالی منفی محاسبه می‌شود.

تغییرات اندک و یا گذرا در شاخص مذکور نشان‌دهنده پدیده‌هایی همچون سوئیچینگ، قطع بار و یا مربوط به خطاهای محاسبات امپدانس‌های توالی شبکه می‌باشند. اما تغییرات دائمی و محسوس در این شاخص، بیانگر قطع و وصل ژنراتورهای سنکرون در شبکه است. هنگامی که مقدار شاخص

بسیار نزدیک صفر شود، پدیده جزیره‌شدگی رخ داده است، زیرا هیچ ژنراتوری در بخش باقیمانده شبکه از دیدگاه تولید پراکنده وجود ندارد.

البته این روش معضلاتی را هم دارد. استفاده از ادوات الکترونیک قدرت، کندانسورهای سنکرون و منابع تولید پراکنده دیگر در شبکه می‌تواند در تصمیم‌گیری مشکلاتی را بوجود آورد. با توجه به مطالب گفته‌شده، مشکل اصلی استفاده از روش‌های پسیو تعیین میزان حد مجاز نوسانات شاخص استفاده‌شده می‌باشد [14].

### 3-1-2 روش‌های اکتیو<sup>1</sup>

دسته دوم به تکنیک‌های اکتیو اطلاق می‌شوند که با تزریق سیگنالی به سیستم و بررسی پاسخ آن قطعی شبکه را تشخیص می‌دهند. از آنجا که روش‌های اکتیو ارتباط متقابلی با سیستم دارند، از قابلیت اعتماد بیشتری نسبت به روش‌های پسیو برخوردار هستند.

#### 1-3-1-2 خطای توان راکتیو تزریقی تولید پراکنده<sup>2</sup>

در این روش مقداری توان راکتیو به شبکه تزریق می‌شود. در صورتی که تولید پراکنده به شبکه متصل باشد، ولتاژ شبکه پایدار خواهد بود. علت پایداری شبکه وجود شبکه اصلی است که وظیفه تثبیت ولتاژ به عهده آن است. در صورتی که تولید پراکنده به صورت جزیره‌شده تامین توان نماید، ولتاژ شبکه تغییرات محسوسی را دارد. این تغییرات در واقع پاسخ شبکه جزیره‌شده در قبال توان راکتیو تزریق‌شده است که می‌توان از این تغییرات برای تشخیص حالت جزیره‌ای شدن استفاده کرد [15]. مشکل این روش توان راکتیو تزریق‌شده است. این توان راکتیو تزریق‌شده می‌تواند اعوجاجاتی را در سیستم ایجاد کند.

---

<sup>1</sup> - Active methods

<sup>2</sup> - Reactive Power Export Error

## **2-3-1-2 شاخص امیدانس دیده شده شبکه از دید تولید پراکنده**

اساس این روش مشابه حالت پسو است. در این روش یک راکتور به صورت گسسته در پایانه تولید پراکنده وارد شبکه شده و میزان جریان اتصال کوتاه و ولتاژ آن اندازه گیری می شود. از روی این پارامترها میزان امیدانس شبکه محاسبه نمود. البته زمان اتصال به گونه ای تنظیم می شود که ولتاژ نزدیک به صفر باشد که مشکلی از بابت اتصال پیش نیاید.

## **2-3-1-3 روش تشخیص شیفت فرکانس جریان<sup>1</sup>**

در این روش نوسانات کمی به شبکه تزریق می شود. در صورتی که واحد جاسازی شده به صورت موازی با شبکه باشد، فرکانس جریان شبکه پایدار خواهد بود. در صورتی که واحد به صورت مجزا تامین توان نماید، تزریق اعوجاج باعث نوسانات فرکانس جریان می شود که می توان از این نوسانات برای تشخیص قطعی شبکه استفاده کرد. در این روش از یک فیدبک مثبت برای تقویت و تشخیص سریع تر استفاده می شود [16].

## **2-3-1-4 روش تشخیص به کمک رانش فعال فرکانسی<sup>2</sup>**

در این روش جریان تزریقی واحد برای مدت زمان کوتاهی صفر می شود. این عمل هنگامی صورت می گیرد که موج جریان در حال صفر شدن است. در صورتی که واحد به شبکه متصل نباشد، جریان در ترمینال خروجی صفر خواهد بود. با صفر ماندن جریان، فرمان قطع واحد صادر می شود. در صورتی که واحد به شبکه متصل باشد، جریان صفر نمانده و تغییراتی را خواهد داشت [17].

اگر بارهای شبکه مقاومتی باشد، این روش عملکرد خوبی خواهد داشت. این روش وقتی بارهای راکتیو در شبکه وجود دارد، کارایی چندانی ندارد.

---

1 - Automatic phase shift method

2 - Active Frequency Drift

## 4-1-2 روش‌های ترکیبی<sup>1</sup>

روش‌هایی هستند که به صورت ترکیبی از روش‌های فوق ارائه شده اند. این روش‌ها از ترکیب چند شاخص پسیو برای شناخت، یا چند شاخص حالت اکتیو، و یا ترکیبی از شاخص‌های اکتیو و پسیو استفاده می‌شود. کارایی این روش‌ها نسبت به روش‌های قبلی بیشتر بوده و از قابلیت اعتماد بیشتری برخوردار هستند. روش فیدبک مثبت به همراه عدم تعادل ولتاژ [18] و روش شیفت ولتاژ و توان اکتیو [19] در زمره این روش‌ها به شمار می‌روند.

---

<sup>1</sup> - Hybrid Technique

## فصل سوم

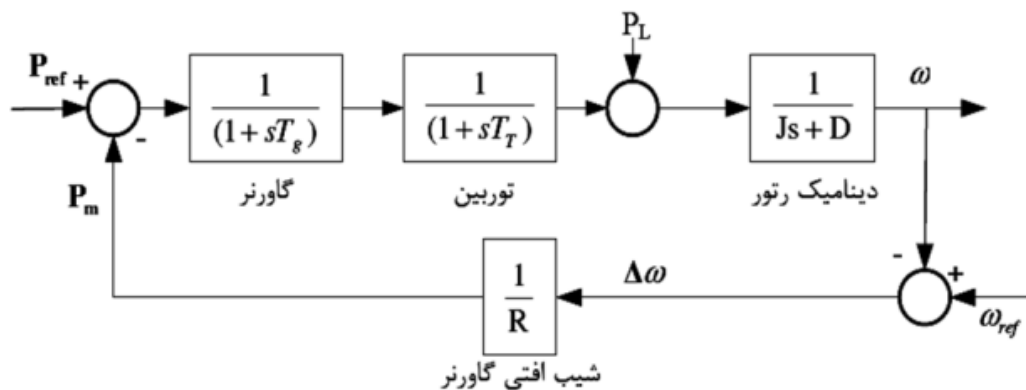
### شبیه‌سازی و تست

### (سیستم شماره 1 و 2)

به منظور شبیه‌سازی قطع شبکه سراسری و بررسی اثر آن بر روی تولید پراکنده، از محیط شبیه‌سازی برنامه MATLAB\_SIMULINK استفاده شده است. سیستم شبیه‌سازی شده شماره یک دارای سه باس می‌باشد [20-23]. تجهیزات مختلف شبکه به صورت ذیل در محیط برنامه SIMULINK شبیه‌سازی شده‌اند.

### 1-3 سیستم کنترل بار - فرکانس

وظیفه کنترل توان اکتیو و فرکانس سیستم متصل به واحد الکتریکی بر عهده سیستم کنترل بار-فرکانس<sup>1</sup> می‌باشد. مطابق با شکل 1-3 فرکانس سیستم با مقدار مرجع فرکانس مقایسه می‌شود. این سیگنال پس از تقویت توسط بهره حلقه فیدبک، با میزان از پیش تعیین‌شده توان مرجع تولیدی مقایسه‌شده و به گاورنر اعمال می‌شود. گاورنر واحد تولیدی، تابع اولیه کنترل سرعت را مطابق با شرایط مختلف کاری سیستم فراهم می‌آورد. با تنظیم مقدار بهره حلقه فیدبک می‌توان میزان مشارکت واحد در تنظیم فرکانس را تعیین کرد.



شکل 1-3. مدل سیستم کنترل بار - فرکانس و گاورنر

### 2-3 پایش سیگنال ورودی به گاورنر

سیستم کنترل بار-فرکانس واحدهای تولید انرژی الکتریکی بسته به وضعیت آن‌ها در شبکه از نظر اتصال، رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهد. هنگامی که واحد جاسازی شده به صورت مجزا باری

<sup>1</sup> - Automatic Load- Frequency Controller



را تغذیه می‌کند، هرگونه تغییر بار باعث تغییر فرکانس و نقطه کار سیستم می‌شود. سیستم کنترل در حالت عملکرد مجزا سعی دارد که با تنظیم بار و کنترل فرکانس، شبکه را حتی الامکان به صورت پایدار نگه‌دارد. برای مدل‌سازی این سیستم با توجه به شکل 1-3 داریم:

$$\Delta P_G(s) = \Delta P_{ref}(s) - \frac{1}{R} \Delta \omega(s) \quad (1.3)$$

مدل‌سازی گاورنر واحد به کمک یک تابع تبدیل با یک ثابت زمانی هیدرولیکی صورت پذیرفته‌است.

$$G_G(s) = \frac{1}{1 + sT_G} \quad (2.3)$$

به طور مشابه توربین نیز به صورت ساده و به کمک یک تابع تبدیل مدل شده‌است.

$$G_T(s) = \frac{1}{1 + sT_T} \quad (3.3)$$

با توجه به معادله نوسان توان داریم:

$$\Delta P_M(s) - \Delta P_L(s) = Js\Delta\omega + D\Delta\omega \quad (4.3)$$

$$\Delta P_M(s) = \Delta P_G(s).G_G(s).G_T(s) \quad (5.3)$$

$$[\Delta P_{ref}(s) - \frac{1}{R} \Delta \omega(s)].G_G(s).G_T(s) - \Delta P_L(s) = Js\Delta\omega + D\Delta\omega \quad (6.3)$$

با فرض اینکه حلقه ثانویه در سیستم کنترل بار-فرکانس نباشد و تغییرات توان مرجع صفر

باشد، در این صورت معادله (6.3) به صورت معادله (7.3) درمی‌آید.

$$\Delta \omega(s) [\frac{1}{R}.G_G(s).G_T(s) + Js + D] = -\Delta P_L(s) \quad (7.3)$$

اثر قطع شبکه اصلی را می‌توان به صورت سوئیچ بار جدید سیستم جزیره‌شده، بر تولید پراکنده

در نظر گرفت [معادله 7.3]. در این صورت به دلیل عملکرد سیستم کنترل بار-فرکانس شاهد نوسانات

متفاوت در سیگنال‌های سیستم کنترل فرکانس تولید پراکنده هستیم.

اگر فرض شود که بار سوئیچ‌شده بر روی ژنراتور به صورت پله‌ای با دامنه ثابت باشد، معادله 7.3

به صورت معادله 8.3 قابل بازنویسی است.

$$\Delta P_L(s) = \frac{M}{s} \quad (8.3)$$

$$\Delta \omega(s) = \frac{-M}{s} \cdot \frac{(R).(1+sT_G).(1+sT_T)}{1+(R).(Js+D).(1+sT_G).(1+sT_T)} \quad (9.3)$$

$$\Delta \omega(s) = -\frac{M}{s \cdot [\frac{1}{R}.G_G(s).G_T(s) + Js + D]} \quad (10.3)$$

$$\lim_{s \rightarrow 0} [s\Delta \omega(s)] = \frac{-R.M}{1+R.D} \quad (11.3)$$

پاسخ پویای حلقه کنترل بار-فرکانس به ازای تغییر پله واحد بار، دارای یک مقدار افت فرکانس در حالت دائمی می‌باشد. این بدین معناست که به ازای تنظیم فرکانس سیستم به هر اندازه، شاهد افت فرکانس در سیستم جزیره‌شده هستیم. به کمک پایش این سیگنال می‌توان به وضعیت شبکه از نقطه نظر اتصال و وضعیت جزیره‌ای شدن پی‌برد.

در حالتی که جزیره‌ای شدن به باس بی‌نهایت متصل باشد، گاورنر مربوطه، رفتاری متفاوت با وضعیت قطع شبکه اصلی از خود نشان می‌دهد. تنظیم فرکانس به گونه‌ای می‌باشد که نوسانات فرکانس به مقدار تنظیم‌شده در باس بی‌نهایت منجر می‌شود. در این حالت تولید پراکنده تابعی از شبکه متصل به باس مشترک بوده و مقدار  $\Delta \omega(s)$  صفر می‌شود و مقدار نهایی ورودی گاورنر دقیقاً میزان توان مکانیکی ورودی است. علاوه بر مقدار حالت دائمی سیگنال ورودی خطا، رفتار حالت گذرای آن نیز بسته به اتصال یا عدم اتصال آن به شبکه اصلی متفاوت می‌باشد. صرف‌نظر از ساختار و عناصر شبکه، نوسانات حالات گذاری ورودی گاورنر تولید پراکنده، متناسب با وضعیت آن از نظر اتصال به شبکه می‌باشد. به کمک پایش حالت گذرای سیگنال می‌توان در زمان بسیار کوتاه‌تری جزیره‌ای شدن را تشخیص داد و تولید پراکنده را از شبکه جدا کرد.

### 3-3 نتایج شبیه‌سازی

به منظور بررسی و پایش سیگنال ورودی گاورنر، سناریوهای مختلفی شبیه‌سازی شده‌است. در این سناریوها سعی شده که اثر تغییر بار، خطای متعادل سه فاز، کلیدزنی بانک خازنی در اندازه‌های مختلف و در باس‌های دور و نزدیک به تولید پراکنده شبیه‌سازی شوند.

### 3-3-1 کلیدزنی بارالقایی

از جمله شرایط احتمال خطا در تشخیص قطعی شبکه اصلی، حالتی است که بار متصل به باس تولید پراکنده، برابر و یا نزدیک به میزان تولید نامی آن باشد. در حالت نابرابری زیاد بار باس و تولید واحد مربوطه، تشخیص به راحتی با توجه به میزان انحراف بیش از حد هر کدام از سیگنال‌های سیستم امکان‌پذیر است. در شبیه‌سازی‌های این پروژه، برای باس مربوط به جزیره‌ای شدن بارگذاری سبک برابر با میزان نامی توان تولیدی تولید پراکنده فرض شده‌است.

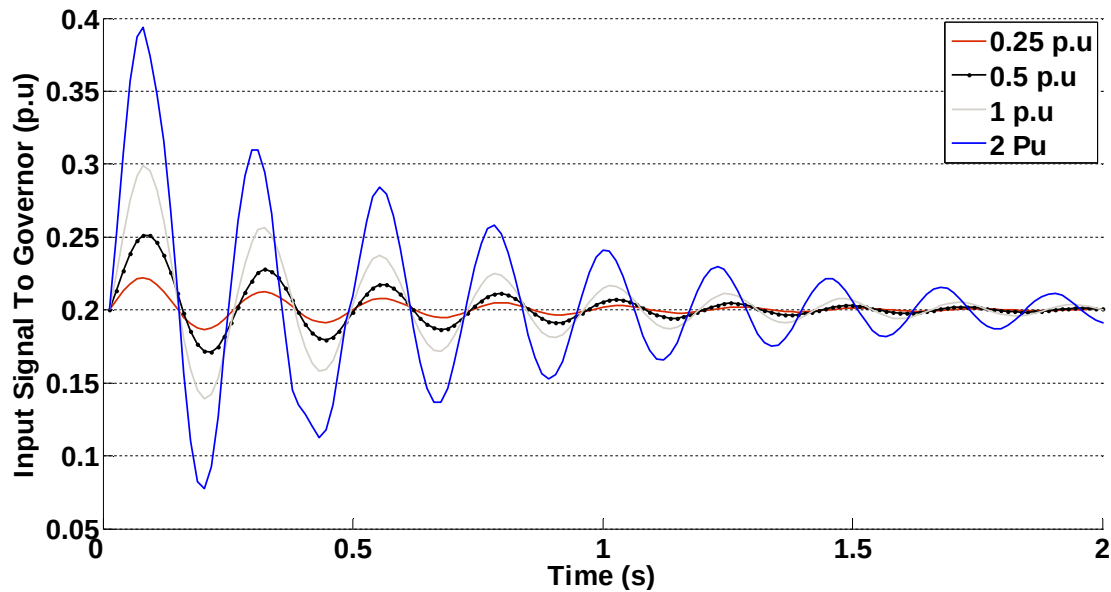
چهار نوع بارگذاری به عنوان تست و پایش سیگنال گاورنر در نقاط مختلف به شبکه اعمال شده‌است:

- بارگذاری سبک شبکه (0/25 پریونیت و 0/5 پریونیت)
- بارگذاری نرمال شبکه (1 پریونیت)
- بارگذاری سنگین شبکه (2 پریونیت)

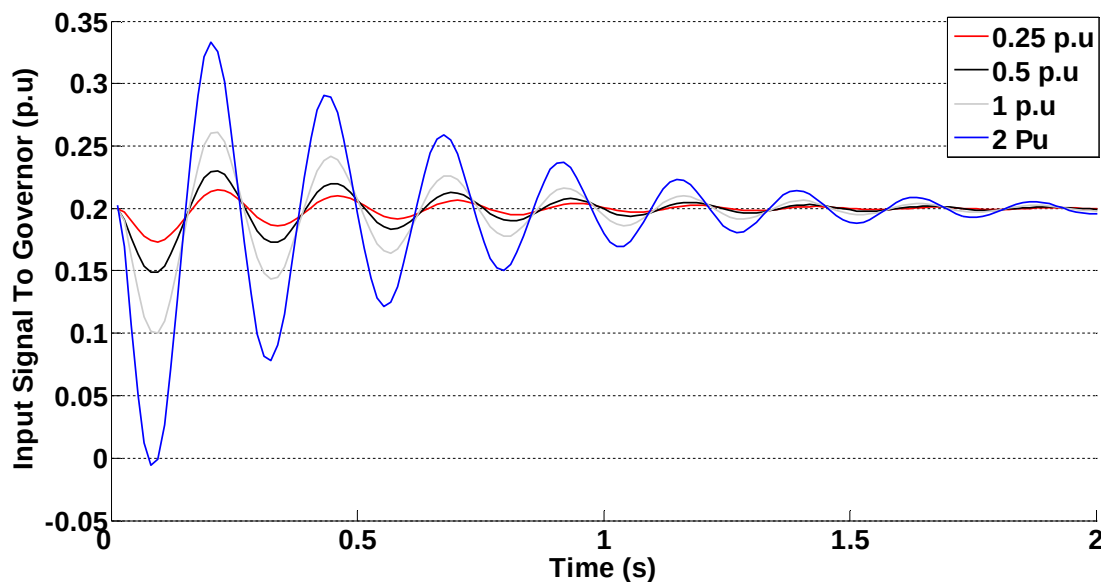
### 3-3-2 کلیدزنی بارالقایی بین کلید خودکار شماره 1 و 2

در این سناریو بارهای با اندازه‌های مختلف بر روی شبکه کلیدزنی می‌شوند. از آن‌جا که استاندارد IEEE 1547-2003 حداکثر زمان تشخیص قطع را 2 ثانیه ذکر کرده‌است، لذا سیگنال‌های نمونه‌برداری شده از ورودی گاورنر در محدوده دو ثانیه بعد از وقوع کلیدزنی یا سوئیچینگ به نمایش درآمده‌اند. همان‌طور که در شکل 2-3 و 3-3 مشخص می‌باشد، با افزایش اندازه بار کلیدزده شده بر

روی سیستم، میزان انحراف سیگنال ورودی گاورنر بیشتر می‌شود.



شکل 2-3. سیگنال ورودی به گاورنر ناشی از اتصال مقادیر مختلف بار بین کلید 1 و 2 در حضور شبکه اصلی

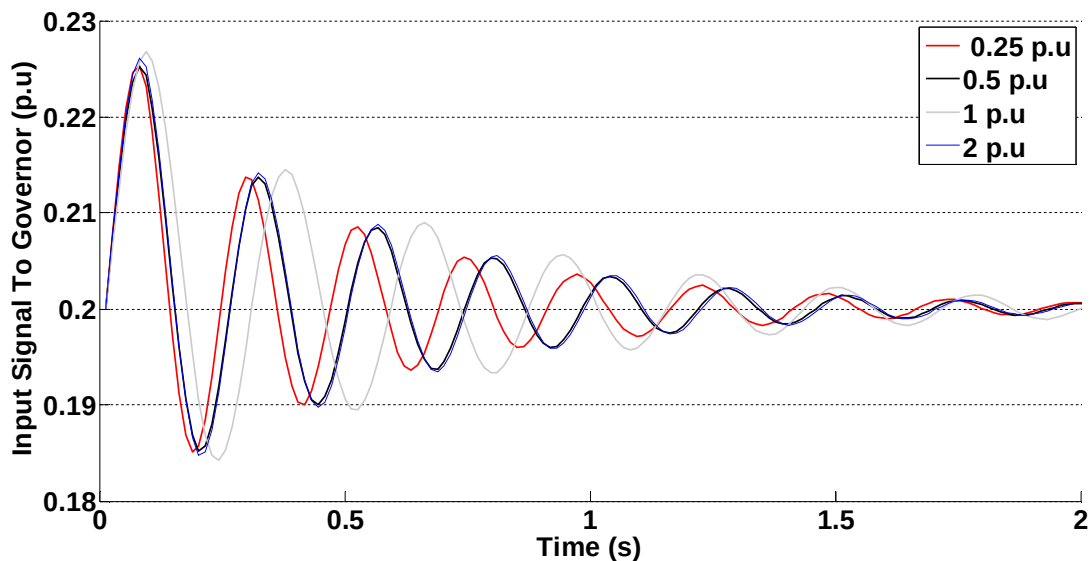


شکل 3-3. سیگنال ورودی به گاورنر ناشی از خروج مقادیر مختلف بار بین کلید 1 و 2 در حضور شبکه اصلی

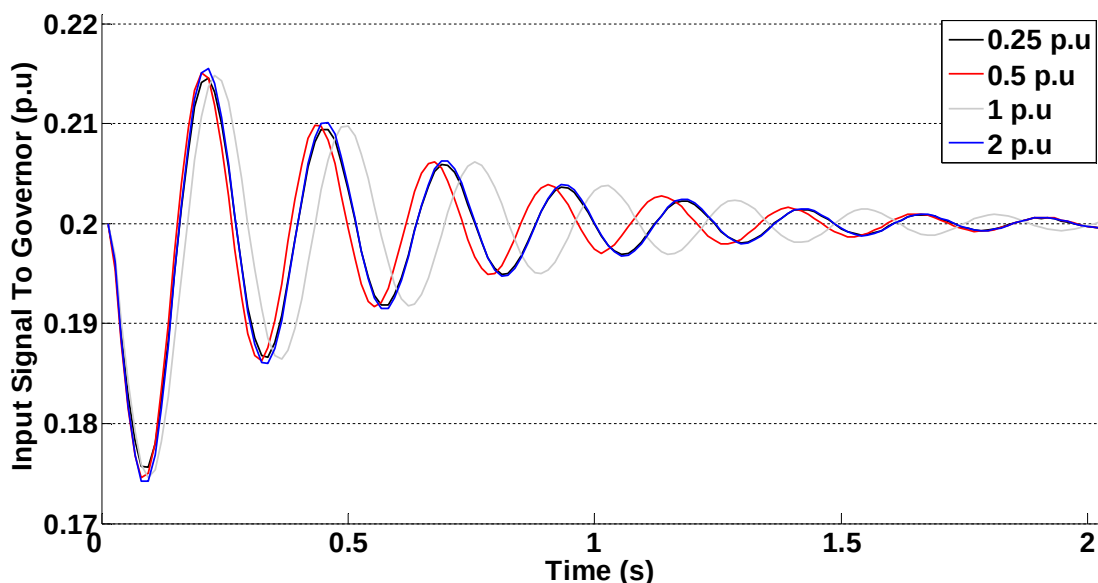
### 3-3-3 سوئیچ بار بین کلید خودکار شماره 2 و 3 نسبت به تولید پراکنده

به طور مشابه کلیدزنی بارهای مختلف در نقطه‌ای دورتر نسبت به تولید پراکنده موردنظر شبیه‌سازی شده‌است. همان‌طور که در شکل‌های 3-4 و 3-5 دیده می‌شود، صرف‌نظر از فاصله بار با تولید پراکنده، روند نوسان سیگنال‌های ورودی گاورنر مشابه می‌باشد. منتها هرچه نقطه کلیدزنی بار از

تولید پراکنده دورتر باشد، تاثیر کمتری بر روی سیگنال ورودی گاورنر دارد.



شکل 3-4. سیگنال ورودی به گاورنر ناشی از اتصال مقادیر مختلف بار بین کلید 2 و 3 در حضور شبکه اصلی



شکل 3-5. سیگنال ورودی به گاورنر ناشی از خروج مقادیر مختلف بار بین کلید 2 و 3 در حضور شبکه اصلی

### 3-3-4 قطع شبکه سراسری

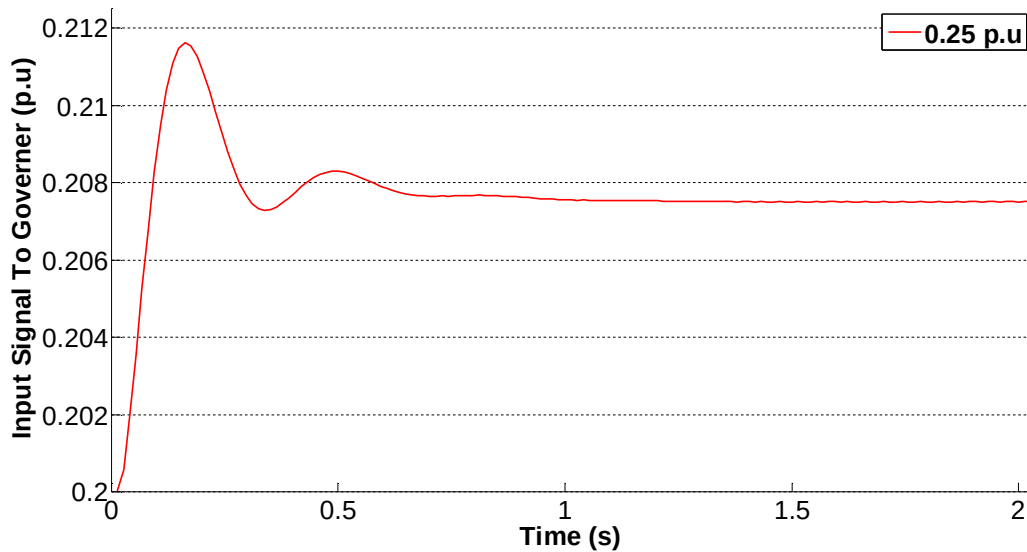
برای شبیه‌سازی پدیده قطع شبکه اصلی از کلیدهای روی شبکه اصلی استفاده شده‌است. با

قطع هرکلید بارهایی در سمت تولید پراکنده مدل‌شده باقی می‌ماند که وظیفه تامین این بارها به

عهده تولید پراکنده است. بسته به محل قطع شبکه، بارهای مختلفی روی تولید پراکنده قرار می‌گیرد.

### 5-3-3 وقوع قطع شبکه توسط کلید شماره 1

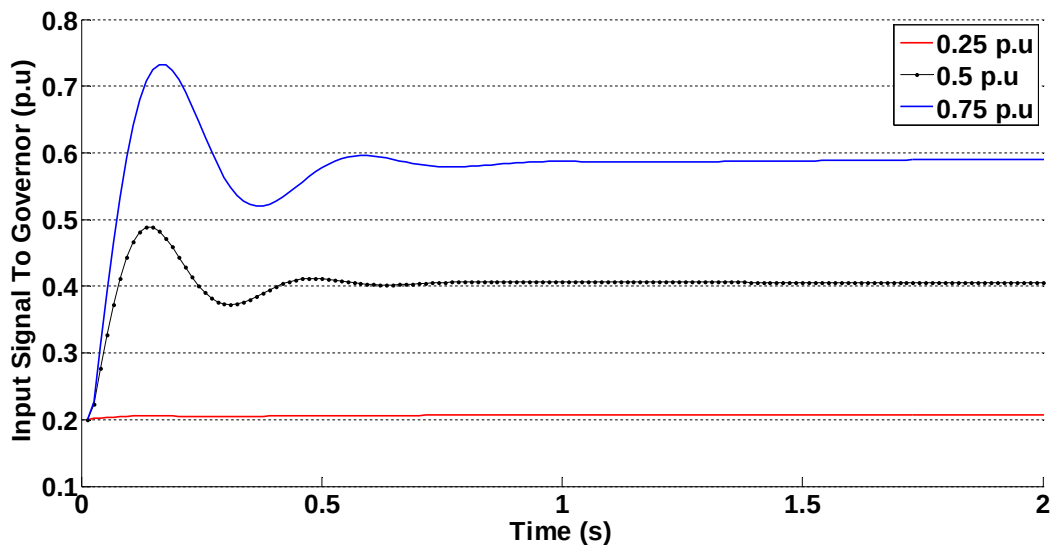
با قطع این کلید تنها بار محلی بر روی شبکه قرار می‌گیرد. یکی از حالات جزیره‌ای شدن که تشخیص را مشکل می‌سازد، برابری بار جزیره‌شده با تولید تولید پراکنده است. این حالت با قطع کلید شماره 1 شبیه‌سازی شده و در شکل 6-3 این حالت نمایش داده شده است.



شکل 6-3. سیگنال ورودی به گاورنر ناشی از قطع کلید شماره 1

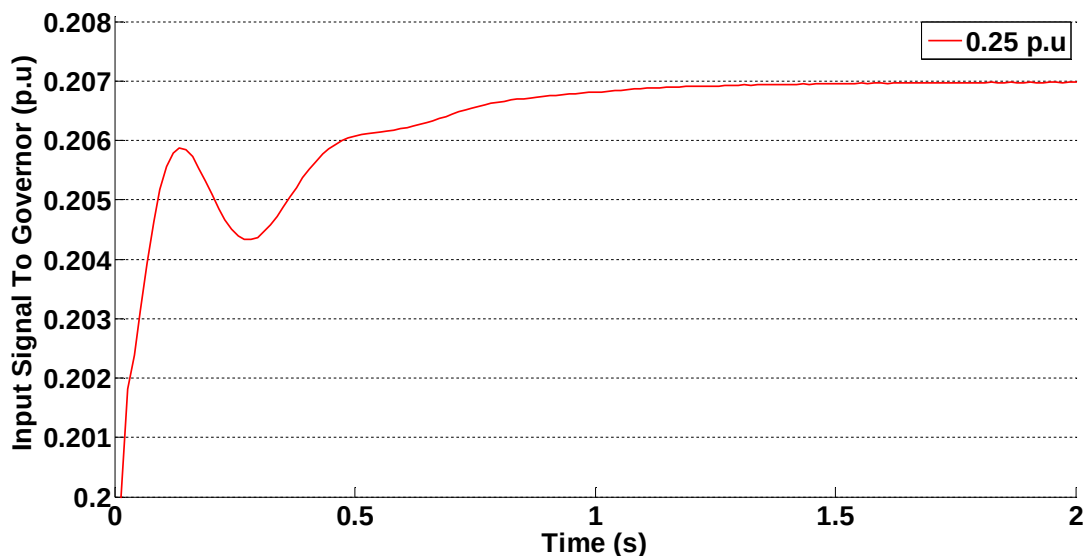
### 6-3-3 وقوع قطع شبکه توسط کلید شماره 2

در شبکه ممکن است حالاتی رخ دهد که به دلیل قطع کلیدهای دورتر از تولید پراکنده بار بیشتری از شبکه بر روی تولید پراکنده منتقل شود. در چنین حالتی جزیره توان شامل بار محلی به همراه بخشی از بار شبکه می‌باشد. بسته به اندازه بار تحمیل‌شده بر روی واحد، فرکانس شبکه دچار تغییراتی می‌شود. همان‌طور که در شکل 7-3 دیده می‌شود، با افزایش مقدار بار تحمیل‌شده بر روی واحد تولید پراکنده، میزان انحراف سیگنال خطای ورودی به گاورنر بیشتر می‌شود.



شکل 7-3. سیگنال ورودی به گاورنر ناشی از قطع کلید شماره 2

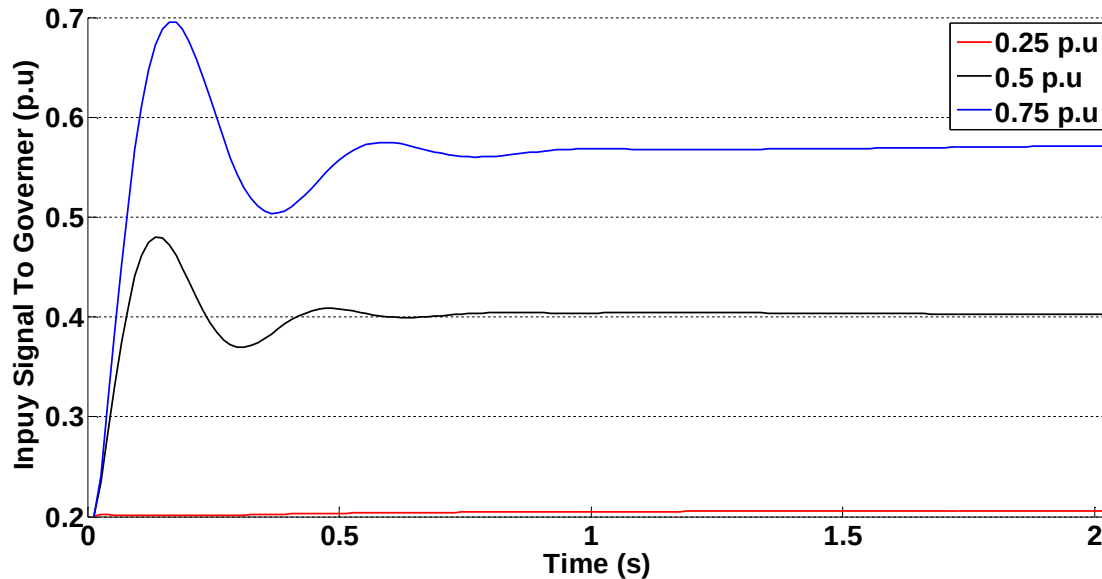
در حالتی که با قطع کلید 2 بار 0/25 پریونیت در جزیره توان باقی بماند، واحد جاسازی شده این توانایی را دارد که آن را تامین کند، در صورت برابری بار و توان نامی تولید پراکنده، تشخیص قطع شبکه با توجه به سیگنال ورودی گاورنر امکان پذیر است. نوسانات ورودی گاورنر در حالت برابری بار جزیره و توان تولید پراکنده، مطابق شکل 8-3 می باشد.



شکل 8-3. سیگنال ورودی به گاورنر ناشی از قطع کلید شماره 2 در حالت برابری توان و بار جزیره

### 7-3-3 وقوع قطع شبکه توسط کلید شماره 3

مشابه قسمت قبل برای کلید شماره 3 نیز شبیه‌سازی انجام شده است [شکل 9-5].

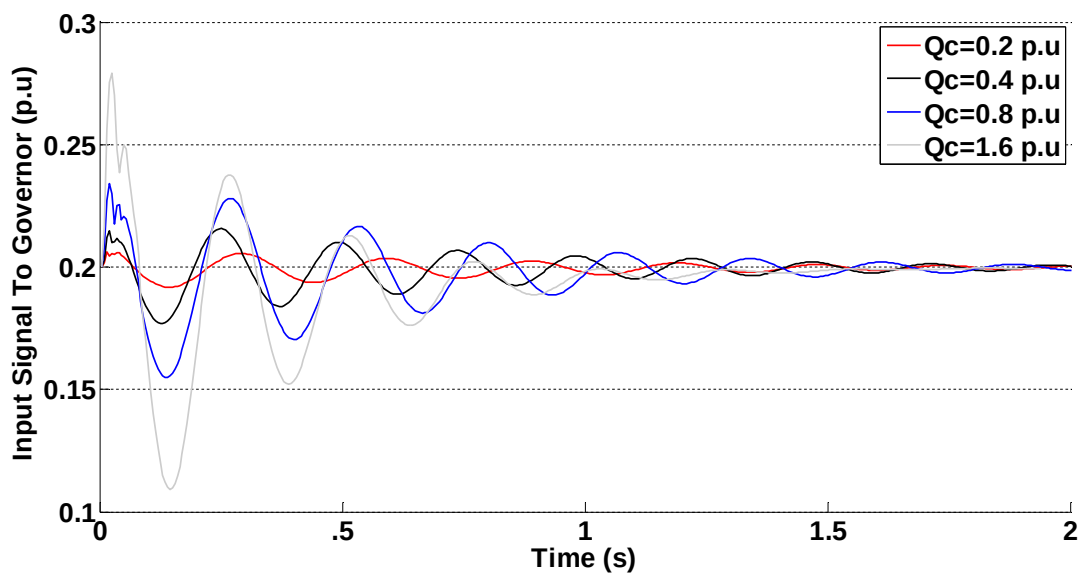


شکل 9-3. سیگنال ورودی به گاورنر ناشی از قطع کلید شماره 3

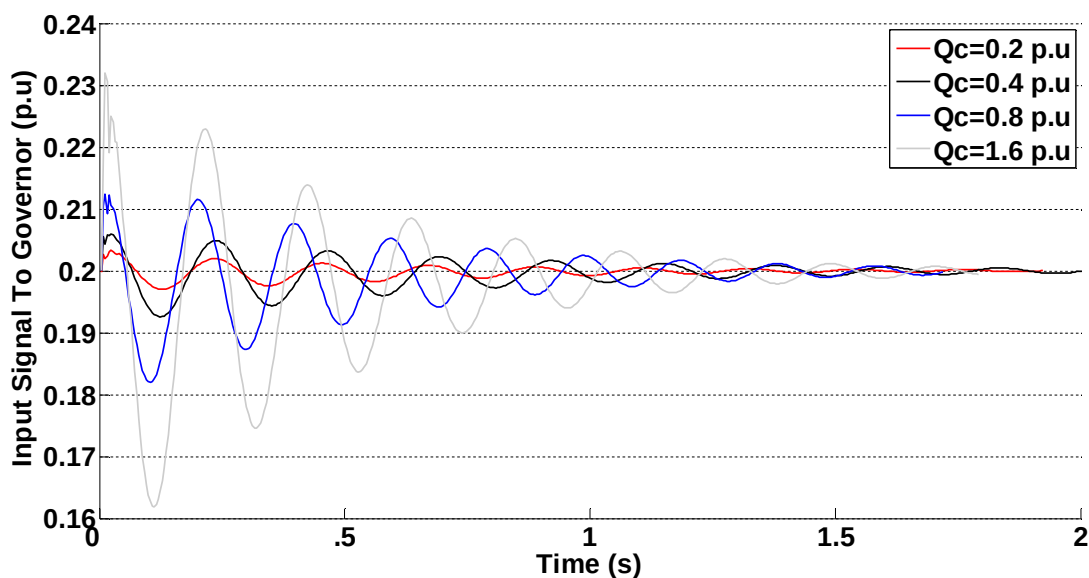
### 8-3-3 کلیدزنی بانک خازنی

یکی دیگر از پدیده‌های معمول در سیستم قدرت، کلیدزنی بانک‌های خازنی نصب‌شده در نقاط مختلف سیستم می‌باشد. بانک‌های خازنی برای تامین توان راکتیو به صورت محلی و جبران افت ولتاژ بکار می‌روند، برای بررسی تاثیر کلیدزنی بانک خازنی بر روی سیستم کنترل بار-فرکانس، کلیدزنی بانک‌های خازنی در اندازه‌های مختلف و در نقاط مختلف سیستم تست، شبیه‌سازی شده است. کلیدزنی بانک خازنی شامل نوسانات گذرای کوچکی بر روی نوسان اصلی سیگنال می‌باشد. محل کلیدزنی هم بر روی دامنه نوسانات تاثیر دارد، به گونه‌ای که با افزایش فاصله نقطه اتصال بانک موردنظر به شبکه از نظر تولید پراکنده، تاثیرات آن بر روی سیگنال ورودی گاورنر تولید پراکنده کمتر می‌شود. [شکل‌های 10-3، 11-3 و 12-3]





شکل 10-3. ورودی گاورنر ناشی از کلیدزنی خازن نزدیک به واحد



شکل 11-3. ورودی گاورنر ناشی از کلیدزنی خازن بین کلید 1 و 2

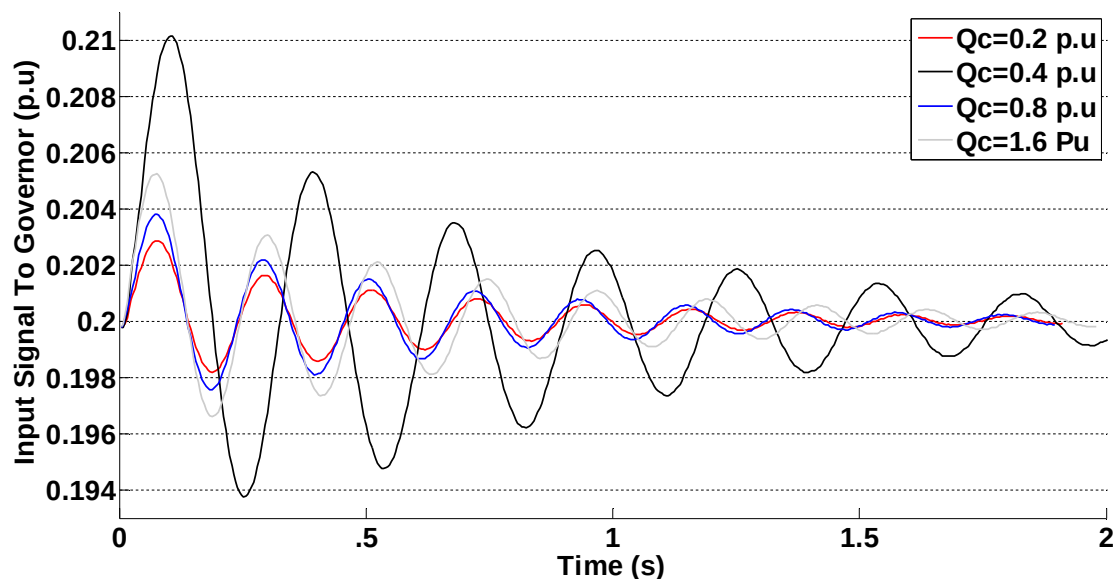
### 9-3-3 خطای سه فاز

از دیگر پدیده‌های معمول در سیستم قدرت، خطا در ادوات مختلف می‌باشد. اهمیت خطا و تامین پایداری سیستم در قبال رخداد آن، باعث شده تا محققان در زمینه شناسایی آن و بررسی تاثیرات آن گام‌های مهمی بردارند. به جهت بررسی تاثیر خطا بر روی سیستم موردنظر و سیگنال

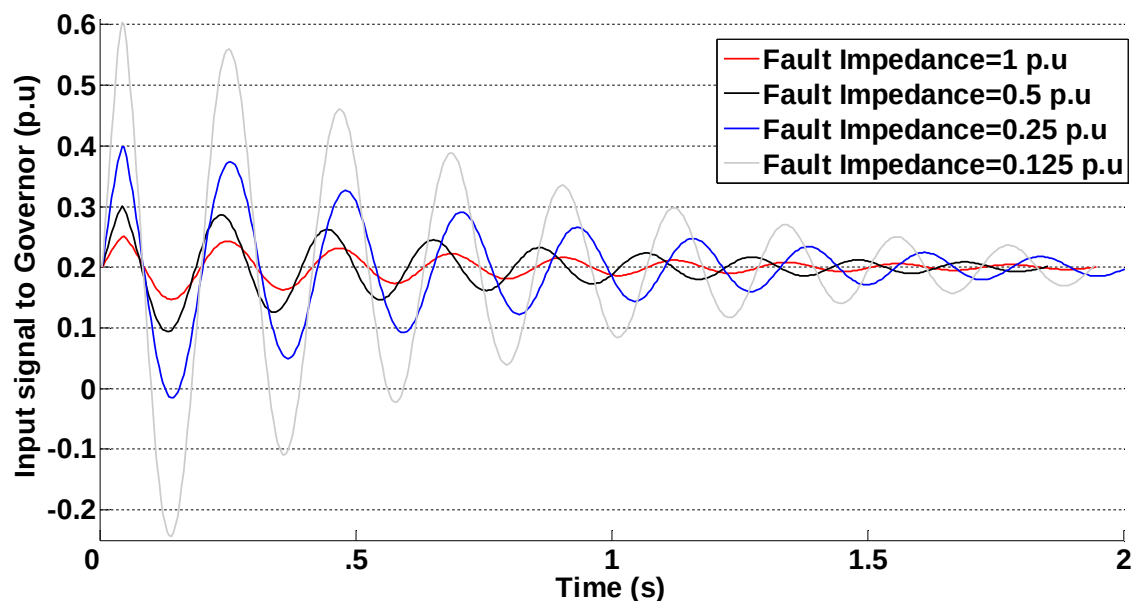
ورودی گاورنر، خطای سه فاز در نقاط مختلف سیستم شبیه سازی شده است [ شکل های 3-13، 3-14

و 3-15]. زمان خطای مورد نظر برابر با دو سیکل منظور شده است. شبیه سازی برای مقادیر مختلف

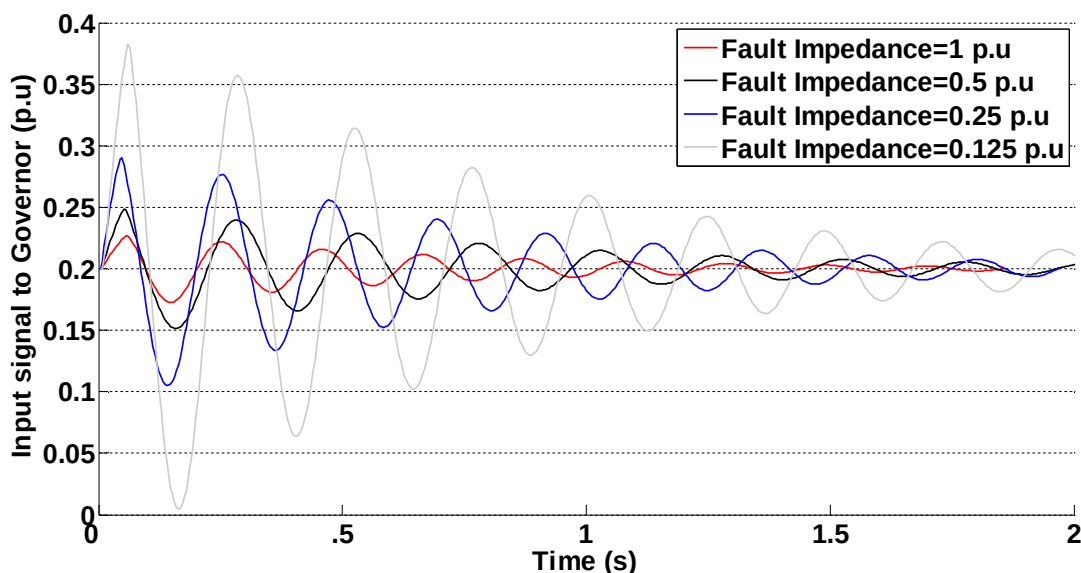
امپدانس خطا انجام شده تا تاثیر امپدانس خطا نیز در نظر گرفته شود.



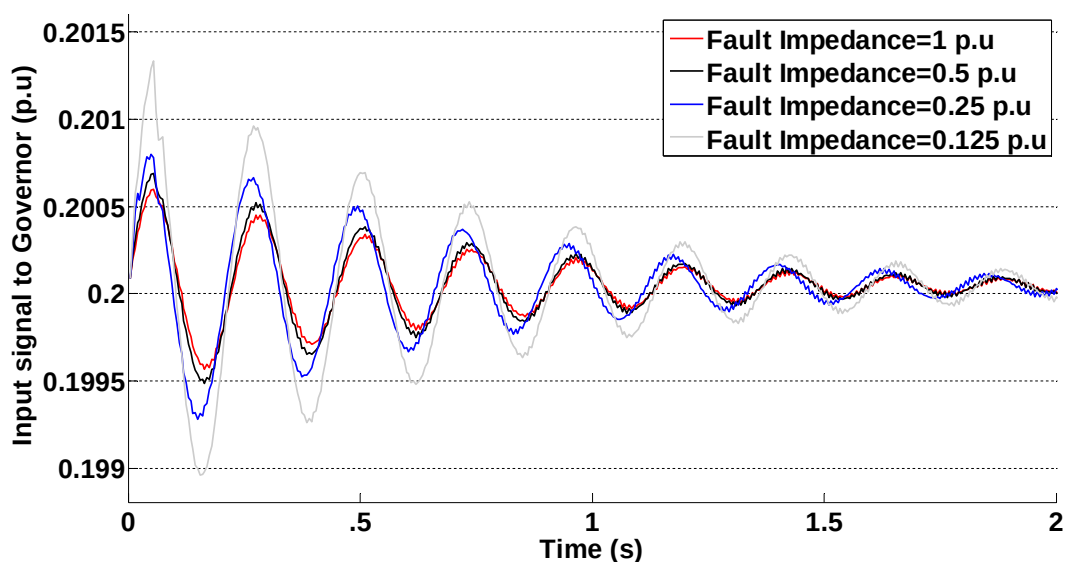
شکل 3-12. ورودی گاورنر ناشی از کلیدزنی خازن بین کلید 2 و 3



شکل 3-13. ورودی گاورنر ناشی از خطا نزدیک به واحد



شکل 3-14. ورودی گاورنر ناشی از خطا بین کلید 1 و 2



شکل 3-15. ورودی گاورنر ناشی از خطا بین کلید 2 و 3

همان‌طور که از نتایج شبیه‌سازی برمی‌آید، حالت گذاری سیگنال ورودی به گاورنر در وضعیت قطع شبکه رفتار نوسانی خاصی از خود نشان می‌دهد. در صورت قطع شبکه، سیگنال ورودی گاورنر بسته به میزان بار، نوساناتی را شامل می‌شود که هدف رسیدن به مقدار جدید تنظیم‌شده برای ورودی گاورنر می‌باشد. رفتار سیستم کنترل بار-فرکانس در قبال سیگنال گاورنر به‌گونه‌ای است که نوسانات آن بسیار کم می‌باشد. از خصوصیات دیگر این سیگنال در حالت قطع شبکه، میرایی سریع آن است

[شکل‌های 3-13، 3-14 و 3-15]. در حالی در پدیده‌های کلیدزنی بار، کلیدزنی بانک‌های خازنی و وقوع خطا با وجود شبکه، نوسانات به گونه‌ای هستند که تماماً حول مقدار اولیه ورودی گاورنر انجام می‌پذیرند و در نهایت به مقدار اولیه همگرا می‌شوند. اصولاً نوسانات حول محور اولیه سیگنال گاورنر بدین معناست که هنوز شبکه اصلی وظیفه تامین فرکانس را دارد. در حالت قطع شبکه اصلی وظیفه تامین فرکانس به عهده واحد است. در وضعیت جزیره‌ای شدن، تولید پراکنده با توجه به مشخصات خود سعی در کنترل فرکانس و توان دارد. به کمک این اختلاف در روند نوسانی سیگنال ورودی گاورنر می‌توان شاخصی را برای تشخیص قطع شبکه اصلی تعریف کرد.

IEEE دارای شبکه‌های نمونه در زمینه‌های مختلف می‌باشد. از جمله این شبکه‌ها می‌توان از شبکه‌های توزیع و شبکه‌های انتقال نام برد. یکی از شبکه‌های نمونه IEEE، شبکه 13 باسه نمونه توزیع می‌باشد که ساختار آن به صورت شعاعی طراحی گردیده است [24 و 25]. برای شبیه سازی سیستم تست شماره 2 از این شبکه نمونه استفاده شده است.

### 3-4 مدل سازی بار غیرخطی شامل یکسوساز 6 پالسه تریستوری

یکسوساز تریستوری 6 پالسه است که در محیط MATLAB/SIMULINK شبیه سازی شده است. برای شبیه سازی یکسوساز از بلوک‌های موجود در سیمولینک استفاده شده است. همان طور که در شکل 3-16 مشاهده می‌شود، حدود 0/12 ثانیه طول می‌کشد تا جریان ورودی به حالت پایدار برسد.

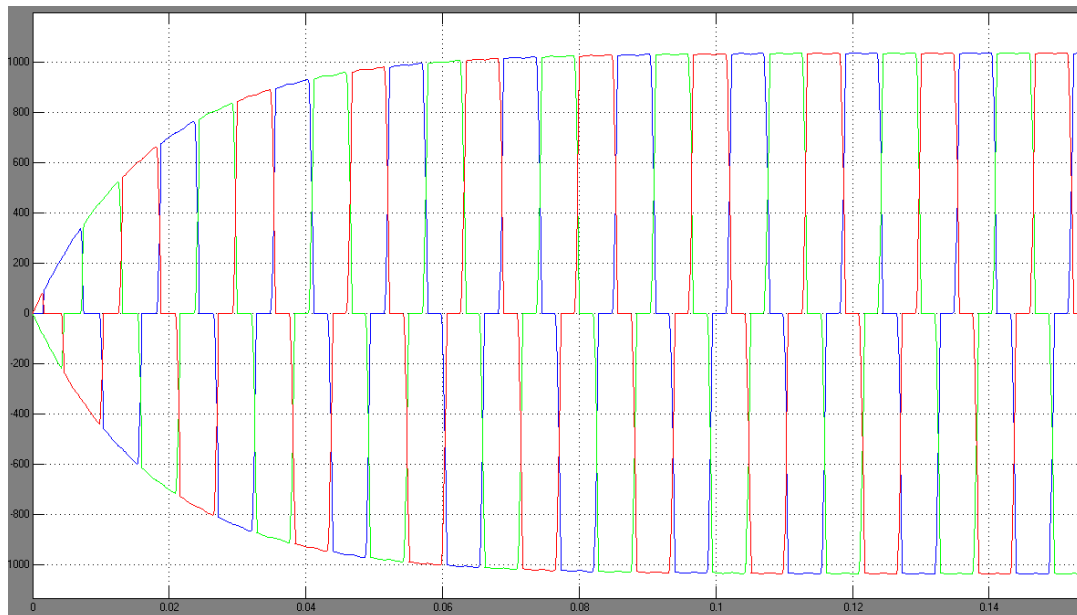
### 3-5 خطای اتصال کوتاه

خطاهای مختلفی در این پروژه به شرح زیر شبیه سازی شده‌اند.

- خطای اتصال کوتاه سه فاز
- خطای اتصال کوتاه فاز

مدت زمان خطا یک سیکل تا هفت سیکل در نظر گرفته شده است. امپدانس خطا نیز برابر

0/0001 منظور شده است.



شکل 3-16. جریان ورودی یک فاز مبدل تریستوری

### 3-6 کلیدزنی بانک‌های خازنی

در این پروژه کلیدزنی بانک خازنی برای دو حالت اتصال به شبکه و قطع از شبکه شبیه‌سازی و

بررسی شده است.

بار خازنی که کلیدزنی می‌شود، بین 50 تا 450 کیلووار مدنظر قرار گرفته است.

### 3-7 استارت موتور القایی

پدیده استارت موتور القایی در این پروژه نیز بررسی شده است. توان موتور آسنکرون در چند

اندازه مختلف در نظر گرفته شده، که از 50 تا 450 کیلووات متغیر می‌باشد.

### 3-8 نوسانات بار

به جهت اهمیت موضوع بارهای شبکه استاندارد IEEE بر روی شبکه کلیدزنی و یا خارج

شده‌اند. نحوه کلیدزنی بارها بگونه‌ای تنظیم شده‌است که حالات مختلف احتمالی در شبکه مدل شود. مقدار توان کلید زده‌شده از بار بین 10 تا 100 درصد توان نامی آن بار منظور شده‌است.

### 3-9 جزیره‌ای شدن

کلیدهای زیادی در این شبکه وجود دارند که قطع هر کدام می‌تواند به حالت جزیره‌ای شدن منجر شود. برای حالت جزیره‌ای شدن حالات زیادی مدل شده‌اند. واحد تولید پراکنده نیز در باس 675 به شبکه متصل است [شکل 3-17]. در هر کدام از این حالات پس از قطع کلید، تولید پراکنده به تنهایی باید بار را تامین کند.

### 3-10 سیگنال‌های بکاررفته و نمونه‌برداری

نمونه‌برداری در شبکه تست شماره 2 با فرکانس 10 کیلوهرتز انجام شده‌است. زمان تشخیص جزیره‌ای شدن برابر با 100 میلی‌ثانیه مدنظر قرار گرفته‌است که با توجه به مقالات مختلف زمان بسیار خوبی می‌باشد. با توجه به فرکانس نمونه‌برداری، از هر سیگنالی که نمونه برداشته‌شود، تعداد 1000 نمونه در 100 میلی‌ثانیه در اختیار است.

محل رخداد هر پدیده در 9 نقطه سیستم تعیین شده است. این نقاط باس‌های 675، 692، 671، 684، 611، 634، 632، 645 و 650 هستند. این نقاط مختلف در شکل 3-17 با رنگ متمایز نشان داده شده‌اند.

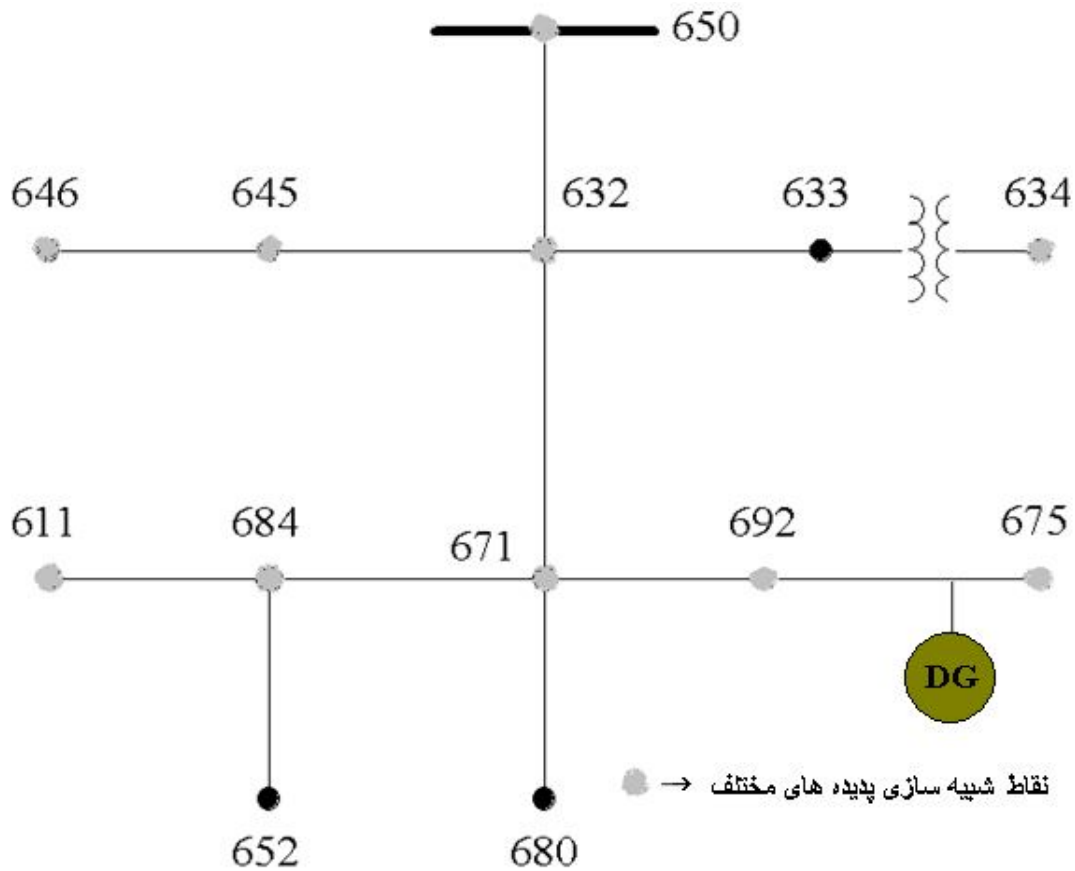
سیگنال‌های زیادی در شبکه می‌توانند برای تشخیص جزیره‌ای شدن بکار روند. به جهت اینکه امکان پیاده‌سازی ساده هر روش ارائه‌شده وجود داشته‌باشد، سعی شده تا از سیگنال‌هایی که به صورت معمول در واحدهای تولید پراکنده ثبت می‌شوند، استفاده شود. سیگنال‌های بکاررفته در این پایان‌نامه برای نمونه‌برداری موارد زیر هستند:

- اندازه ولتاژهای سه‌فاز

- اندازه جریان‌های سه‌فاز

- اندازه جریان تحریک

برای تشخیص جزیره‌ای شدن می‌توان از هر سه سیگنال و یا ترکیبی از آن‌ها استفاده کرد.



شکل 3-17. محل تولید پراکنده و نقاط تعیین شده برای شبیه‌سازی پدیده‌های مختلف

البته سیگنال‌های دیگری در شبکه هستند که هرکدام به نوبه خود، حاوی اطلاعات مناسبی می‌تواند باشد. از جمله این سیگنال‌ها می‌توان به توان اکتیو و راکتیو تزریقی واحد، توالی‌های ولتاژ و جریان، انحراف زاویه روتور و ولتاژ تحریک اشاره کرد.

## فصل چهارم

شبکه‌های عصبی دسته‌بندی و

تشخیص جزیره‌ای شدن



#### 1-4 تعریف کلی دسته‌بندی<sup>1</sup> [26-29]

در مسائل دسته‌بندی هدف شناسایی ویژگی‌هایی است که گروهی را که هر مورد به آن تعلق دارد، نشان دهند. از این الگو می‌توان هم برای فهم داده‌های موجود و هم پیش‌بینی نحوه رفتار مواد جدید استفاده کرد. داده‌کاوی مدل‌های دسته‌بندی را با بررسی داده‌های دسته‌بندی شده قبلی ایجاد می‌کند و یک الگوی پیش‌بینی کننده را بصورت استقرایی می‌یابد. این موارد موجود ممکن است از یک پایگاه داده تاریخی آمده باشند.

#### 2-4 شبکه‌های عصبی احتمالی<sup>۲</sup>

یکی از شبکه‌های عصبی معروفی که برای دسته‌بندی بکار می‌رود، شبکه عصبی احتمالی است. شبکه عصبی احتمالی بر مبنای احتمال داده‌های ورودی را به چند دسته مجزا با احتمال متفاوت دسته‌بندی می‌کند.

لایه‌های مختلف این شبکه به صورت زیر هستند:

▪ لایه ورودی

اطلاعات ورودی برای دسته‌بندی به این لایه اعمال می‌شوند.

▪ لایه تعیین احتمال داده‌های ورودی

هریک از ورودی‌ها به تمامی نرون‌های لایه دوم نیز متصل می‌باشند. در لایه دوم احتمال اطلاعات ورودی مشخص می‌شود. هر نرون از تابع احتمال از پیش تعیین شده استفاده کرده و احتمال هر ورودی مربوطه را حساب می‌کند.

▪ لایه سوم

در لایه سوم تمامی خروجی‌های هر نرون را جمع کرده و به عنوان خروجی آن نرون خاص برای

---

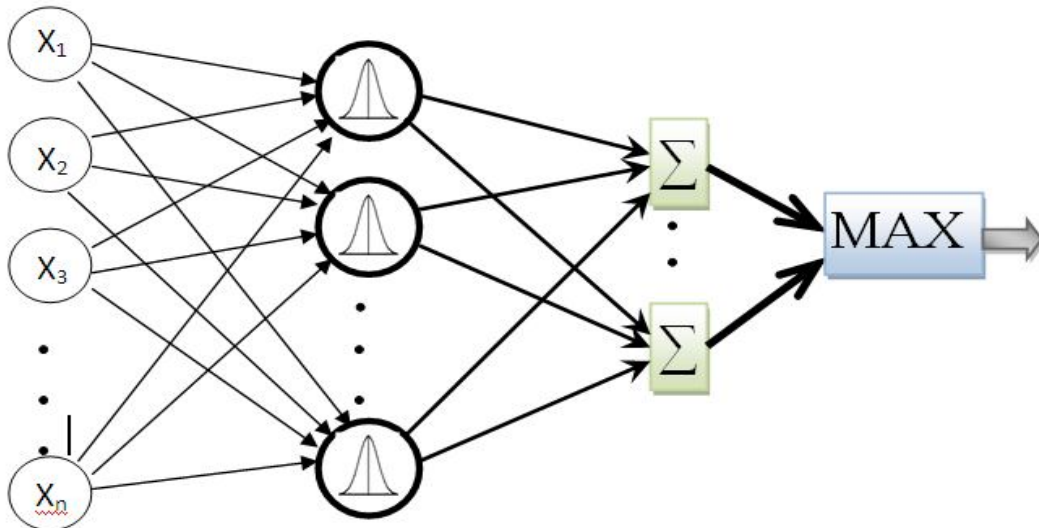
<sup>1</sup> - Classification

تصمیم‌گیری بعدی نگه داشته می‌شود.

▪ لایه تصمیم‌گیری

در این لایه مشخص می‌شود که چه نرونی باید نمایندگی ورودی اعمال‌شده را عهده‌دار باشد.

تعیین تابع احتمال مناسب برای محاسبات در این شبکه برای دسته‌بندی نیاز می‌باشد [شکل 1-7].



شکل 1-4. شمایی ساده از ساختار شبکه عصبی احتمالی

#### 3-4 دسته‌بندی پدیده‌های شبکه برای تشخیص جزیره‌ای شدن

#### 1-3-4 دسته‌بندی پدیده‌های شبکه برای تشخیص حالت جزیره‌ای شدن (سیستم

تست شماره یک)

سیستم تست شماره یک در فصل سوم معرفی و مدل آن بررسی شد. در این سیستم از

سیگنال ورودی گاورنر برای تشخیص پدیده جزیره‌شدگی با استفاده از PNN+PW استفاده می‌شود.

#### 1-1-3-4 اطلاعات ورودی PNN+PW در سیستم شماره یک

اطلاعات ورودی از شبکه نمونه شماره یک به صورت زیر می‌باشند:

- 5 پدیده خطای تکفاز، خطای سه‌فاز، کلیدزنی بانک خازنی، کلیدزنی بار و جزیره‌ای شدن موردنظر قرار گرفته‌اند. هدف این است که حالت جزیره‌ای شدن تشخیص داده شود.
- سیگنال ورودی به گاورنر برای مدت 2 ثانیه پس از وقوع هر رخداد ذخیره شده‌است. در مدت 2 ثانیه 350 نمونه از سیگنال اخذ گردیده که فرکانس نمونه برداری از اطلاعات برابر با 175 هرتز می‌شود.
- مدت زمان تشخیص حالت جزیره‌شدگی واحد برابر با 200 میلی ثانیه به صورت پیش‌فرض تعیین‌شده، در نتیجه تعداد 35 نمونه اول به عنوان ورودی به PNN+PW اعمال می‌شوند.
- تعداد 44 سیگنال به عنوان پدیده کلیدزنی بانک خازنی شبکه موجود است که با برچسب شماره یک نام‌گذاری شده‌اند. شبکه به نحوی آموزش می‌بیند که برای تمامی این نمونه‌ها و مشابه آن‌ها، نرون اول در لایه رقابتی آخر فعال شود. حدود 82 درصد داده‌ها برای آموزش شبکه و بقیه برای تست شبکه بکار می‌رود.
- تعداد 52 بردار برای حالت خطای تکفاز موجود است که با شماره دو برچسب زده‌شده‌اند. لذا نرون شماره دو به عنوان نماینده این دسته معرفی شده‌است. حدود 81 درصد سیگنال‌های خطای تکفاز برای آموزش و 19 درصد باقیمانده برای تست و اعتبارسنجی شبکه استفاده می‌شود.
- مشابهاً تعداد 52 بردار برای حالت خطای سه‌فاز موجود است. این پدیده‌ها با شماره سه برچسب زده شده‌اند. نرون شماره سه به عنوان نماینده این دسته معرفی شده‌است. حدود 81 درصد سیگنال‌های خطای سه‌فاز برای آموزش و 19 درصد باقیمانده برای تست و اعتبارسنجی شبکه استفاده می‌شود.

▪ تعداد 50 بردار از پدیده جزیره‌ای شدن موجود است. 80 درصد داده‌ها برای آموزش شبکه و 20 درصد باقیمانده برای تست شبکه بکار می‌رود. پدیده جزیره‌ای شدن واحد با شماره چهار برچسب‌گذاری شده و فعال‌شدن نرون شماره چهار به معنای رخداد حالت جزیره‌ای شدن تلقی می‌شود.

▪ تعداد 69 سیگنال هم برای پدیده کلیدزنی بار موجود است که 91 درصد برای آموزش و بقیه برای تست شبکه بکار رفته است. این داده‌ها با شماره پنج برچسب‌گذاری می‌شوند.

#### 4-3-2 آموزش و تست شبکه PNN+PW برای سیستم شماره یک

حال شبکه PNN+PW آموزش داده می‌شود. اطلاعات شبکه مطابق با نتایجی است که در فصل ششم ارائه شد. در مرحله آموزش از مقادیر مختلف  $\sigma$  استفاده می‌شود تا تاثیر آن بر روی نتایج بررسی شود. و به کمک داده‌های تست، اعتبار نتایج بررسی می‌شود که نتایج شبیه‌سازی به صورت جدول 4-1 است:

جدول 4-1. نتیجه اعتبارسنجی PNN+PW برای شبکه تست اول با  $\sigma = 0.002$

| پدیده              | خروجی شبکه             |
|--------------------|------------------------|
| کلیدزنی بانک خازنی | 1 1 1 1 1<br>1 1 1     |
| خطای تکفاز         | 2 1 1 2 1<br>1 2 1 2 2 |
| خطای سه‌فاز        | 3 1 3 3 3<br>3 3 3 3 3 |
| جزیره‌شدگی         | 4 1 4 4 4<br>4 4 4 4 1 |
| کلیدزنی بار        | 1 5 5 5 5<br>5         |

به ازای  $\sigma = 0.002$  کلیدزنی بانک خازنی به خوبی تشخیص داده شده است. تشخیص شبکه برای خطای تکفاز مناسب نبوده، ولی در قبال خطای سه‌فاز فقط در یک مورد اشتباه داشته است. در مورد جزیره‌ای شدن دو مورد به اشتباه کلیدزنی بانک خازنی تشخیص داده شده است. این دو

مورد بسیار حائز اهمیت می‌باشد. اگر در مقابل یک پدیده غیر از جزیره‌ای شدن شبکه به اشتباه تشخیص جزیره‌ای شدن بدهد، در این صورت تنها مشکل بوجود آمده ممکن است قطع شبکه باشد. در این حالت واحد از شبکه جدا شده، ولی مشکلی برای آن پیش نمی‌آید. ولی در صورتی که یک حالت جزیره‌ای شدن به اشتباه تشخیص داده شده و پدیده دیگری در سیستم تلقی شود، در این صورت مشکلات وصل مجدد شبکه و خطر آسیب به واحد وجود دارد.

جدول 2-4. نتیجه اعتبارسنجی PNN+PW برای شبکه تست اول با  $\sigma = 0.01$

| پدیده              | خروجی شبکه             |
|--------------------|------------------------|
| کلیدزنی بانک خازنی | 1 5 1 1 3<br>1 1 1     |
| خطای تکفاز         | 2 2 2 2 5 2<br>2 2 2 2 |
| خطای سه‌فاز        | 3 3 3 3 3 3<br>3 3 3 3 |
| جزیره‌شدگی         | 4 4 4 4 4<br>4 4 4 4 4 |
| کلیدزنی بار        | 5 5 5 5 5<br>5         |

به ازای  $\sigma = 0.01$  تمامی حالت‌های جزیره‌ای شدن به درستی تشخیص داده شده‌اند. و مشکلی از این بابت نیست. تنها در دو مورد کلیدزنی بانک خازنی به اشتباه پدیده‌های دیگری تشخیص داده شده‌اند. از آنجایی که تخمین شبکه اشتباهی در جزیره‌ای شدن ندارد، لذا مشکلی از بابت تبعات ناخواسته بعد از جزیره‌ای شدن نداریم.

برای  $\sigma = 0.1$  هم نتایج شبکه بررسی شده‌است. نتایج به صورت جدول 3-4 می‌باشد. به ازای  $\sigma = 0.1$  هم تمامی حالت‌های جزیره‌ای شدن به درستی تشخیص داده شده‌اند. تنها در حالت کلیدزنی بانک خازنی و حالت خطای تکفاز مشکلاتی را داریم که هیچ‌کدام مربوط به حالت جزیره‌ای شدن نمی‌شود.

به ازای  $\sigma = 0.5$  تمامی حالت‌های جزیره‌ای شدن به درستی تشخیص داده شده‌اند. تنها در یک کلیدزنی بانک خازنی و یک حالت خطای تکفاز، تشخیص نادرست به پدیده جزیره‌ای شدن وجود

دارد. یعنی PNN+PW تشخیص درست جزیره‌ای شدن را به ازای حالت جزیره‌ای شدن می‌دهد. در عین حال این احتمال وجود دارد که به ازای پدیده دیگری مانند پدیده کلیدزنی بانک خازنی هم تشخیص جزیره‌ای شدن داده و فرمان قطع تولید پراکنده از شبکه را دهد.

جدول 3-4. نتیجه اعتبارسنجی PNN+PW برای شبکه تست اول با  $\sigma = 0.1$

| پدیده              | خروجی شبکه                                  |
|--------------------|---------------------------------------------|
| کلیدزنی بانک خازنی | 1 <u>5</u> 1 1 <u>3</u> 1<br>1 1            |
| خطای تکفاز         | 2 2 <u>5</u> 2 <u>5</u> <u>5</u><br>2 2 2 2 |
| خطای سه‌فاز        | 3 3 3 3 3 3<br>3 3 3 3                      |
| جزیره‌شدگی         | 4 4 4 4 4 4<br>4 4 4 4                      |
| کلیدزنی بار        | 5 5 5 5 5 5                                 |

برای  $\sigma = 0.5$  هم نتایج دسته‌بندی شبکه بررسی شده‌است. نتایج در جدول 4-4 آمده است.

جدول 4-4. نتیجه اعتبارسنجی PNN+PW برای شبکه تست اول با  $\sigma = 0.5$

| پدیده              | خروجی شبکه                                                   |
|--------------------|--------------------------------------------------------------|
| کلیدزنی بانک خازنی | 1 <u>5</u> <u>3</u> <u>4</u> <u>3</u> <u>5</u><br>1 <u>5</u> |
| خطای تکفاز         | <u>5</u> 2 <u>5</u> 2 <u>5</u> <u>5</u><br>2 <u>4</u> 2 2    |
| خطای سه‌فاز        | 3 <u>5</u> 3 3 3 3<br>3 <u>2</u> 3 3                         |
| جزیره‌شدگی         | 4 4 4 4 4 4<br>4 4 4 4                                       |
| کلیدزنی بار        | 5 5 5 5 5 5                                                  |

برای مقادیر بیشتر  $\sigma$  هم شبیه‌سازی مربوطه انجام شده‌است که نتایج شبیه‌سازی به صورت جدول 5-4 می‌باشد. به ازای  $\sigma = 1$  هم تمامی حالت‌های جزیره‌ای شدن واحد به درستی تشخیص داده شده‌اند. تنها در یک کلیدزنی بانک خازنی و یک حالت خطای تکفاز، تشخیص نادرست به پدیده جزیره‌ای شدن وجود دارد. در این حالت تمامی نمونه‌های کلیدزنی بانک خازنی اشتباه دسته‌بندی شده‌اند. دسته‌بندی نادرست پدیده کلیدزنی بانک خازنی می‌تواند حاکی از آن باشد که مقدار انتخاب شده  $\sigma$  چندان مناسب نمی‌باشد.

جدول 4-5. نتیجه اعتبارسنجی برای شبکه تست اول PNN+PW با  $\sigma = 1$

| پدیده              | خروجی شبکه |   |   |   |   |   |
|--------------------|------------|---|---|---|---|---|
| کلیدزنی بانک خازنی | 5          | 5 | 3 | 4 | 3 | 5 |
|                    |            |   |   | 5 | 5 |   |
| خطای تکفاز         | 2          | 2 | 5 | 2 | 2 | 5 |
|                    |            |   | 2 | 4 | 2 | 2 |
| خطای سه فاز        | 3          | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 |
|                    |            |   | 3 | 2 | 3 | 3 |
| جزیره‌شدگی         | 4          | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
|                    |            |   | 4 | 4 | 4 | 4 |
| کلیدزنی بار        | 5          | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |

اگر برای  $\sigma$  بیشتر شبیه‌سازی انجام شود، نتیجه درخور توجه است. در این حالت شبکه کارکرد بسیار نامناسبی برای دسته‌بندی دارد و تمامی نمونه‌ها را کلیدزنی بار تشخیص می‌دهد. این مشکل به دلیل انتخاب بزرگ برای  $\sigma$  است.

جدول 4-6. نتیجه اعتبارسنجی برای شبکه تست اول PNN+PW با  $\sigma = 2$

| پدیده              | خروجی شبکه |   |   |   |   |   |
|--------------------|------------|---|---|---|---|---|
| کلیدزنی بانک خازنی | 5          | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
|                    |            |   |   | 5 | 5 |   |
| خطای تکفاز         | 5          | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
|                    |            |   |   | 5 | 5 | 5 |
| خطای سه فاز        | 5          | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
|                    |            |   |   | 5 | 5 | 5 |
| جزیره‌شدگی         | 5          | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
|                    |            |   |   | 5 | 5 | 5 |
| کلیدزنی بار        | 5          | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |

#### 1-2-3-4 افزایش زمان نمونه‌برداری

نکته دیگری هم که می‌تواند به دسته‌بندی درست داده‌ها کمک شایانی کند، این است که زمان نمونه‌برداری را افزایش دهیم. افزایش زمان نمونه‌برداری هم خصوصیات بیش‌تری از سیگنال را به ما می‌دهد و هم تعداد بیشتری نمونه در دسترس خواهد بود. مطابق با استاندارد IEEE1547 حداکثر زمان مجاز برای تعیین حالت جزیره‌ای شدن 2 ثانیه می‌باشد. در قسمت بعد، آموزش و تست شبکه عصبی با در نظر گرفتن 175 نمونه - که معادل با 1 ثانیه نمونه‌برداری می‌شود - انجام می‌پذیرد. به

ازای  $\sigma = 0.01$  نتایج در جدول 4-7 آمده است.

جدول 4-7. نتیجه اعتبارسنجی PNN+PW با  $\sigma = 0.01$  برای شبکه تست اول با 175 نمونه

| پدیده              | خروجی شبکه             |
|--------------------|------------------------|
| کلیدزنی بانک خازنی | 1 1 1 1 1 1<br>1 1     |
| خطای تکفاز         | 2 2 2 2 2<br>2 2 1 2 2 |
| خطای سه فاز        | 3 3 3 3 3 3<br>3 3 3 3 |
| جزیره شدگی         | 4 4 4 4 4<br>4 4 4 4 4 |
| کلیدزنی بار        | 5 5 5 5 5<br>5         |

همان طور که مشاهده می شود، تمامی پدیده ها به جز یک مورد به درستی دسته بندی شده اند. تنها در یک مورد خطای تکفاز، کلیدزنی بانک خازنی تشخیص داده شده است. این نتیجه از افزایش تعداد نمونه ها حاصل می شود که افزایش زمان مجاز برای تشخیص کمک شایانی در تشخیص و دسته بندی درست اطلاعات دارد. البته این نکته نباید فراموش شود که هرچه قطع شبکه سریعتر تشخیص داده شود، مناسب تر است.

#### 4-4 دسته بندی پدیده های شبکه برای تشخیص حالت جزیره ای شدن (سیستم تست

##### شماره دو)

به جهت اینکه امکان پیاده سازی ساده هر روش ارائه شده وجود داشته باشد، سعی شده تا از سیگنال هایی استفاده شود که به صورت معمول در واحدهای تولید پراکنده ثبت می شوند. سیگنال های بکاررفته در این پایان نامه برای نمونه برداری موارد زیر هستند:

- اندازه ولتاژهای سه فاز
- اندازه جریان های سه فاز
- اندازه جریان تحریک

به طور معمول این سیگنال ها در یک واحد تولید پراکنده برای بحث کنترل توان ثبت می شوند.



در نهایت برداری به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$X = [V_a \ V_b \ V_c \ I_a \ I_b \ I_c \ I_f]$$

نمونه برداری در شبکه تست شماره 2 با فرکانس 10 کیلوهرتز انجام شده است. زمان تشخیص جزیره‌ای شدن برابر با 100 میلی‌ثانیه مدنظر قرار گرفته است که با توجه به مقالات مختلف زمان بسیار خوبی می‌باشد. با توجه به فرکانس نمونه برداری، از هر سیگنالی که نمونه برداشته شود، تعداد 1000 نمونه در 100 میلی‌ثانیه در اختیار است.

با توجه به مطالب اشاره شده، هر پدیده به صورت یک بردار -که تعداد 7000 نمونه دارد- مدل می‌شود. برای هر پدیده چندین حالت مختلف در سیستم شبیه سازی می‌شود. محل رخداد هر پدیده در نقاط مختلف سیستم در نظر گرفته شده است تا شبیه سازی انجام شده حالت جامع تر و کاربردی تر داشته باشد [شکل 6-10].

#### 4-4-1 اطلاعات ورودی PNN+PW از شبکه نمونه شماره دو

اطلاعات ورودی از شبکه نمونه شماره دو به صورت زیر می‌باشند:

- 7 پدیده کلیدزنی بانک خازنی، کلیدزنی بار، خطای سه فاز، خطای تک فاز، جزیره‌ای شدن، استارت یکسوکننده، و استارت ماشین آسنکرون موردنظر قرار گرفته اند. هدف این است که حالت جزیره‌ای شدن تشخیص داده شود.
- تعداد 81 سیگنال به عنوان پدیده کلیدزنی بانک خازنی شبکه موجود است که با برچسب شماره یک نام گذاری شده اند. شبکه به نحوی آموزش می‌بیند که برای تمامی این نمونه ها و مشابه آن ها، نرون اول در لایه رقابتی آخر فعال شود. حدود 88 درصد داده ها برای آموزش شبکه و بقیه برای تست شبکه بکار می‌رود.

- تعداد 72 سیگنال هم برای پدیده کلیدزنی بار موجود است که 84 درصد برای آموزش و بقیه برای تست شبکه بکار رفته است. این داده‌ها با شماره دو برچسب گذاری می‌شوند.
- تعداد 63 بردار برای حالت خطای سه‌فاز موجود است. این پدیده‌ها با شماره سه برچسب زده شده‌اند. نرون شماره سه به عنوان نماینده این دسته معرفی شده‌است. حدود 81 درصد سیگنال‌های خطای سه‌فاز برای آموزش و 19 درصد باقیمانده برای تست و اعتبارسنجی شبکه استفاده می‌شود.
- مشابهاً تعداد 63 بردار برای حالت خطای تک‌فاز شبکه موجود است که با شماره چهار برچسب زده شده‌اند. لذا نرون شماره چهار به عنوان نماینده این دسته معرفی شده‌است. حدود 81 درصد سیگنال‌های خطای تک‌فاز برای آموزش و 19 درصد باقیمانده برای تست و اعتبارسنجی شبکه استفاده می‌شود.
- تعداد 121 بردار از پدیده جزیره‌ای شدن موجود است. 90 درصد داده‌ها برای آموزش شبکه و 10 درصد باقیمانده برای تست شبکه بکار می‌رود. پدیده جزیره‌ای شدن واحد با شماره پنج برچسب‌گذاری شده‌اند. و فعال شدن نرون شماره پنج به معنای رخداد حالت جزیره‌ای شدن تلقی می‌شود.
- تعداد 72 بردار برای حالت استارت یکسوکونده تریستوری مدنظر قرار گرفته‌است. نرون شماره شش به عنوان نماینده این دسته معرفی شده‌است. تعداد 90 درصد داده‌ها برای آموزش شبکه و 10 درصد باقیمانده برای اعتبارسنجی نگه داشته می‌شود.

- تعداد 72 بردار برای حالت استارت ماشین آسنکرون مدنظر قرار گرفته است. نرون شماره هفت به عنوان نماینده این دسته معرفی شده است. تعداد 90 درصد داده های این گروه برای آموزش شبکه و 10 درصد باقیمانده برای تست شبکه نگه داشته می شود.

#### 2-4-4 آموزش و تست شبکه PNN+PW برای سیستم شماره دو

همان گونه که در قسمت قبل بیان شد، پدیده جزیره ای شدن مرتبط با نرون شماره 5 می باشد. لذا در نمونه های تست اگر نرون پنجم به عنوان برنده معرفی شود، استنباط حالت جزیره ای شدن می باشد.

جدول 4-8. نتیجه اعتبارسنجی PNN+PW با  $\sigma = 0/001$  برای سیستم تست شماره دو

| پدیده                     | خروجی شبکه برای $\sigma = 0.001$ |
|---------------------------|----------------------------------|
| کلیدزنی بانک خازنی        | 1 1 1 1 1 1 1 1                  |
| کلیدزنی بار               | 2 2 2 2 2 2 2 2                  |
| خطای سه فاز               | 3 3 3 1 3 1 3 1 3 1 1 3          |
| خطای تکفاز                | 4 4 4 1 4 1 4 1 4 4 4 4          |
| جزیره ای شدن              | 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5          |
| استارت یکسوکننده تریستوری | 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6          |
| استارت موتور آسنکرون      | 7 7 7 7 7 7 7 7                  |

جدول 4-9. نتیجه اعتبارسنجی PNN+PW با  $\sigma = 0/01$  برای سیستم تست شماره دو

| پدیده                     | خروجی شبکه برای $\sigma = 0/01$ |
|---------------------------|---------------------------------|
| کلیدزنی بانک خازنی        | 1 1 1 1 1 1 1 1                 |
| کلیدزنی بار               | 2 2 2 2 2 2 2 1                 |
| خطای سه فاز               | 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 3 3         |
| خطای تکفاز                | 6 4 4 4 4 4 4 4 4 6 4 4         |
| جزیره ای شدن              | 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5         |
| استارت یکسوکننده تریستوری | 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6         |
| استارت موتور آسنکرون      | 7 7 7 7 7 7 7 7                 |

جدول 4-10. نتیجه اعتبارسنجی PNN+PW با  $\sigma = 0/1$  برای سیستم تست شماره دو

| پدیده                     | خروجی شبکه برای $\sigma = 0.1$ |
|---------------------------|--------------------------------|
| کلیدزنی بانک خازنی        | 1 1 1 1 1 1 1 1                |
| کلیدزنی بار               | 2 2 2 2 1 1 1                  |
| خطای سه فاز               | 5 3 3 3 3 3 3 3 3 3 7 3 3      |
| خطای تکفاز                | 1 4 4 4 4 4 4 4 4 4 1 4 7      |
| جزیره‌ای شدن              | 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5      |
| استارت یکسوکننده تریستوری | 6 6 6 1 1 1 1 1 6 6            |
| استارت موتور آسنکرون      | 7 7 7 7 7 7 7                  |

به ازای  $\sigma = 0/1$  مشکل نه چندان جدی در قبال تشخیص داریم. تمامی حالات جزیره‌ای شدن درست تشخیص داده شده‌اند. ولی در یک حالت، خطای سه فاز سیستم مشابه با حالت جزیره‌ای شدن واحد دسته‌بندی شده‌است. هرچند این از نگاه مشکلات بعد از جزیره‌ای شدن این مسئله مورد بررسی قرار نمی‌گیرد، ولی این اشتباه و اشتباهات مشابه حاکی از آن است که شبکه در دسته‌بندی چندان مناسب عمل نمی‌کند.

جدول 4-11. نتیجه اعتبارسنجی PNN+PW با  $\sigma = 1$  برای سیستم تست شماره دو

| پدیده                     | خروجی شبکه برای $\sigma = 1$ |
|---------------------------|------------------------------|
| کلیدزنی بانک خازنی        | 5 5 5 5 5 5 5 5              |
| کلیدزنی بار               | 5 5 5 5 5 5 5                |
| خطای سه فاز               | 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5      |
| خطای تکفاز                | 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5      |
| جزیره‌ای شدن              | 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5      |
| استارت یکسوکننده تریستوری | 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5          |
| استارت موتور آسنکرون      | 5 5 5 5 5 5 5                |

به ازای  $\sigma = 1$  تمامی حالات جزیره‌ای شدن درست تشخیص داده شده‌اند. ولی در عین حال شبکه تمامی حالات دیگر را نیز جزیره‌ای شدن دسته‌بندی کرده‌است. این دسته‌بندی نادرست حاکی

از عدم توانایی شبکه در تشخیص صحیح پدیده‌های متفاوت است.

#### **5-4 استفاده از PNN+PW به عنوان رله تشخیص جزیره‌ای شدن**

مشابه فصل هشتم می‌توان از PNN+PW هم برای تشخیص و قطع تولید پراکنده از شبکه استفاده کرد. این بحث به طور کامل در فصل هشتم بررسی می‌شود.

#### **6-4 استفاده از PNN+PW به عنوان واحد کنترل هوشمند تشخیص جزیره‌ای**

##### **شدن و تریپ رله ولتاژ**

مشابه می‌توان از PNN+PW هم برای تشخیص جزیره‌ای شدن و تشدید تغییرات ولتاژ برای قطع شبکه استفاده کرد. این بحث به طور کامل در فصل پنجم بررسی می‌شود.

## فصل پنجم

شبکه‌های عصبی خوشه‌بندی و

تشخیص جزیره‌ای شدن

## 1-5 خوشه بندی [30-31]

یکی از انواع شبکه‌های عصبی، شبکه‌هایی هستند که داده‌های ورودی را گروه‌بندی می‌کنند. گروه‌بندی نمونه‌های برچسب نخورده توسط عملیات خوشه‌بندی<sup>1</sup> انجام می‌شود

### 1-1-5 نگاشت‌های خود سازمان ده

نگاشت‌های خود سازمان‌ده<sup>2</sup>، دسته‌ای از شبکه‌های عصبی هستند که دارای آموزش بدون نظارت هستند. کاربرد اصلی این شبکه‌ها در حل مسائل تشخیص الگو<sup>3</sup> و خوشه‌بندی<sup>4</sup> 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 ورودی می‌پردازد. ساختار شبکه SOM در شکل‌های 1-5 و 2-5 آمده است.

برای شبکه SOM ورودی‌ها به صورت زیر داده شده‌اند. ابتدا قسمت ثابت از همه سیگنال‌ها کسر شده تا تنها با تغییرات هر سیگنال مواجه باشیم.

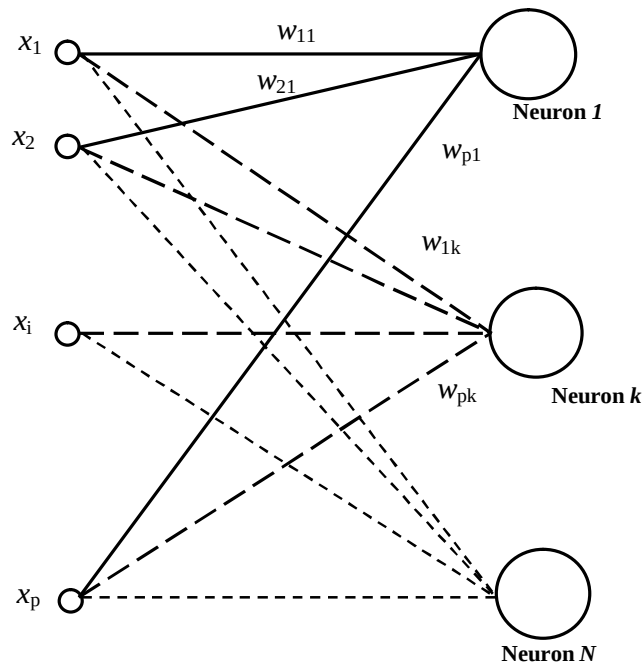
---

<sup>1</sup> - Clustering

<sup>2</sup> - Self-Organizing Map (SOM)

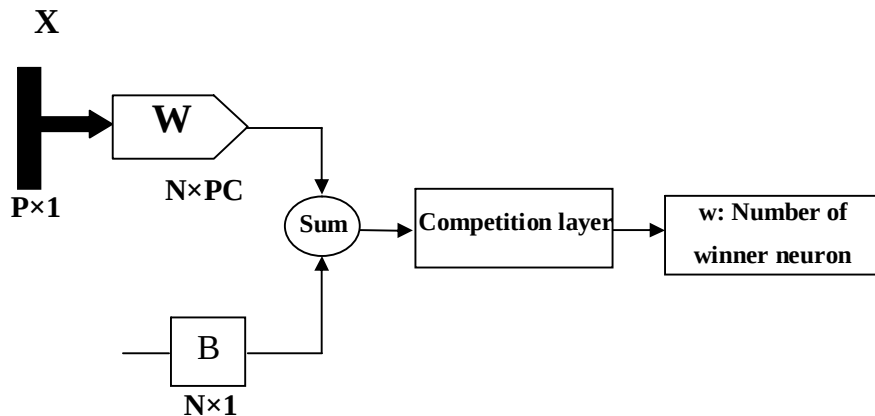
<sup>3</sup> - Pattern Recognition

<sup>4</sup> - Clustering



$$V_k = [w_{1k} \ w_{2k} \ \dots \ w_{pk}]^T \quad \text{Weight vector of } k^{\text{th}}$$

شکل 5-1. نحوه اتصال ورودی‌ها به نرون‌ها در SOM



شکل 5-2. ساختار کلی شبکه SOM

چندین ساختار برای SOM طراحی شده‌است. یک روش کلی برای تعیین تعداد نرون‌هایی که در لایه رقابت استفاده می‌کنند، وجود ندارد. در اکثر موارد تعداد نرون‌ها مساوی و یا بیشتر از تعداد دسته‌های موردنظر تنظیم می‌شود. در صورتی که تعداد نرون‌ها برابر با تعداد دسته‌های موردنظر باشد، انتظار می‌رود که در مقابل هر دسته تنها یک نرون فعال شود. در مواردی که ناحیه مورد دسته‌بندی



به صورت ناپیوسته باشد، در این صورت، این فرض که تعداد نرون‌ها با تعداد دسته‌های موردنظر برابر باشد، نمی‌تواند به تقسیم‌بندی درست توسط شبکه منجر شود. در حالتی که تعداد نرون‌ها از تعداد دسته‌های موردنظر بیشتر باشند، در قبال یک دسته ممکن است چند نرون فعال شوند. در این صورت فضای ورودی برای هر دسته به چند ناحیه جدا از هم تقسیم شده‌است. این امر باعث تقسیم بندی دقیق‌تر خواهد شد. از سوی دیگر باید به این نکته توجه داشت که انتخاب نرون‌ها اگر از حد مناسب بیشتر باشد، در این صورت وزن‌های شبکه همگرا نشده و دائماً بین چند نرون نزدیک به هم نوسان می‌کنند.

با توجه به مطالبی که پیشتر اشاره شد، الگوریتم SOM دارای تنظیماتی می‌باشد. توپولوژی شبکه برای انتخاب همسایگی به صورت هگزاگونال انتخاب شده‌است. تعداد تکرار مرحله آموزش برابر با 650 تکرار منظور شده‌است. بقیه موارد نیز در جدول آمده‌است.

جدول 5-1. ساختارهای طراحی شده برای SOM

| تعداد نرون | نام ساختار |
|------------|------------|
| 2          | SOM1       |
| 3          | SOM2       |
| 4          | SOM3       |
| 5          | SOM4       |
| 6          | SOM5       |
| 7          | SOM6       |
| 8          | SOM7       |
| 9          | SOM8       |
| 10         | SOM9       |

جدول 5-2. تنظیمات SOM

| Parameter                     | Value     |
|-------------------------------|-----------|
| نرخ آموزش نیمه اول روند آموزش | 0.9       |
| نرخ آموزش نیمه دوم روند آموزش | 0.02      |
| تعداد تکرار                   | 650       |
| توپولوژی                      | Hexagonal |

با توجه به پارامترهای مختلف SOM شبکه آموزش لازم را می‌بیند. نکته مهم در قبال SOM این است که باید تعیین شود کدام نرون نسبت به ورودی جزیره‌ای شدن فعال می‌شود. برای این

منظور داده‌های ورودی دوباره به شبکه اعمال می‌شوند. با توجه به اینکه از قبل می‌دانیم کدام داده مربوط به کدام پدیده می‌شود، می‌توان نرون فعال شده در قبال هر پدیده را مشخص کرد. در جدول 3-5 نرون فعال شده برای پدیده جزیره‌ای شدن و برای غیر حالت جزیره‌ای شدن مشخص شده‌است. اگر به ساختار SOM6 دقت شود، متوجه می‌شویم نرون یک در قبال پدیده جزیره‌ای شدن فعال شده‌است. این بدین معنا است که اگر به شبکه یک ورودی جدید اعمال شود و نرون شماره یک در خروجی برنده شود، در این صورت حتماً پدیده جزیره‌ای شدن رخ داده‌است. اگر در جواب یک ورودی نرون‌های دیگری غیر از نرون یک فعال شوند، در این صورت می‌توان نتیجه گرفت که پدیده‌ای غیر از جزیره‌ای شدن به ورودی اعمال شده‌است.

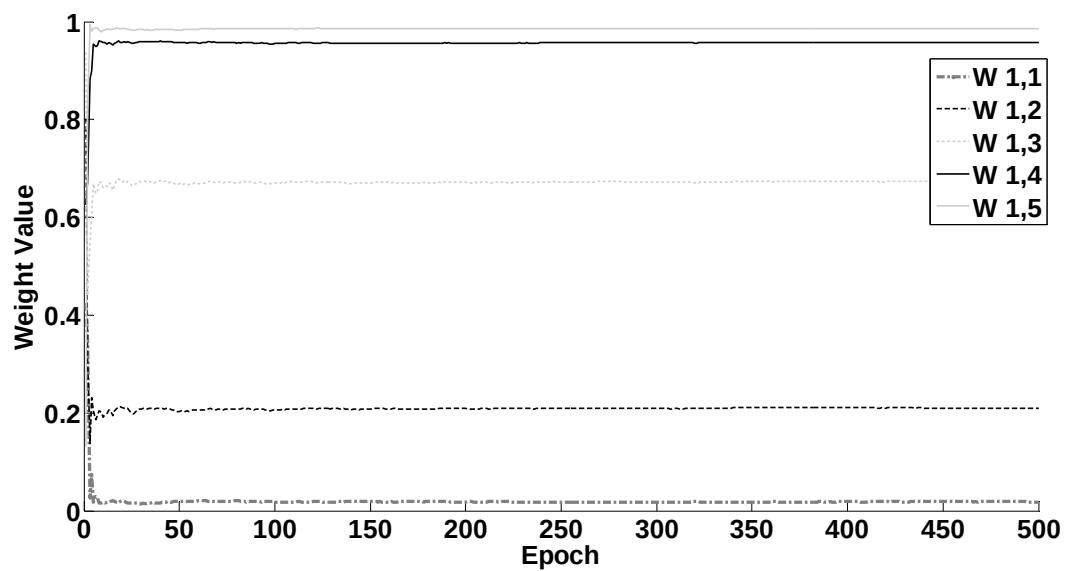
همان‌طور که از جدول 3-5 برمی‌آید، ساختار آخر دارای دو نرون فعال شده برای جزیره‌ای شدن می‌باشد. فعال شدن هر کدام از این نرون‌ها به منزله رخداد جزیره‌ای شدن می‌باشد. از دیگر نکات مهمی که معمولاً مورد توجه قرار می‌گیرد، نحوه همگرایی وزن‌های مختلف شبکه به سوی هدف می‌باشد. میزان نوسانات وزن‌ها و تعداد تکرار لازم برای همگرایی آن‌ها می‌تواند تنظیمات درست و یا نادرست شبکه را نشان دهد.

جدول 3-5. تعیین نرون برنده در قبال جزیره‌ای شدن و غیر جزیره‌ای شدن

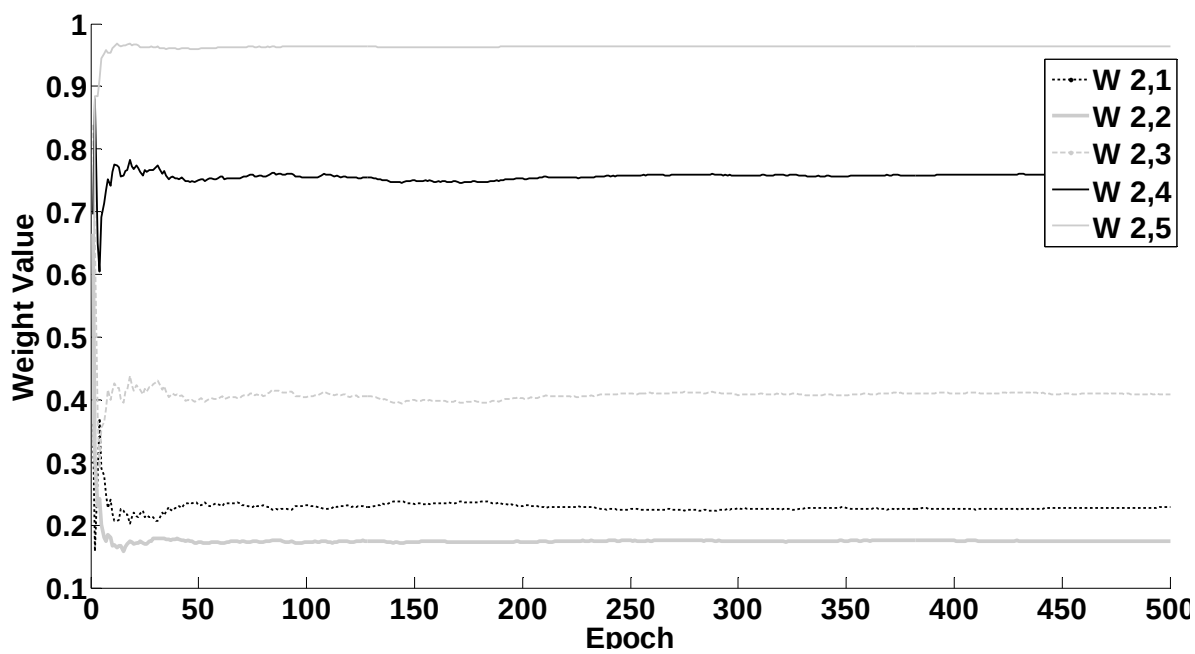
| نرون فعال شده برای غیر حالت جزیره‌ای شدن | نرون فعال شده برای حالت جزیره‌ای شدن | نام ساختار |
|------------------------------------------|--------------------------------------|------------|
| 1,2                                      | 1                                    | SOM1       |
| 1,2,3                                    | 3                                    | SOM2       |
| 1,2,3,4                                  | 1                                    | SOM3       |
| 1,2,3,4,5                                | 1                                    | SOM4       |
| 1,2,3,4,5,6                              | 1                                    | SOM5       |
| 2,3,4,5,6,7                              | 1                                    | SOM6       |
| 2,3,4,5,6,7,8                            | 1                                    | SOM7       |
| 2,3,4,5,6,7,8,9                          | 1                                    | SOM8       |
| 1,2,3,4,5,6,7,8                          | 9,10                                 | SOM9       |

برای این منظور پنج وزن اول از هر نرون در شکل‌های رسم شده‌اند. همان‌طور که از شکل‌های

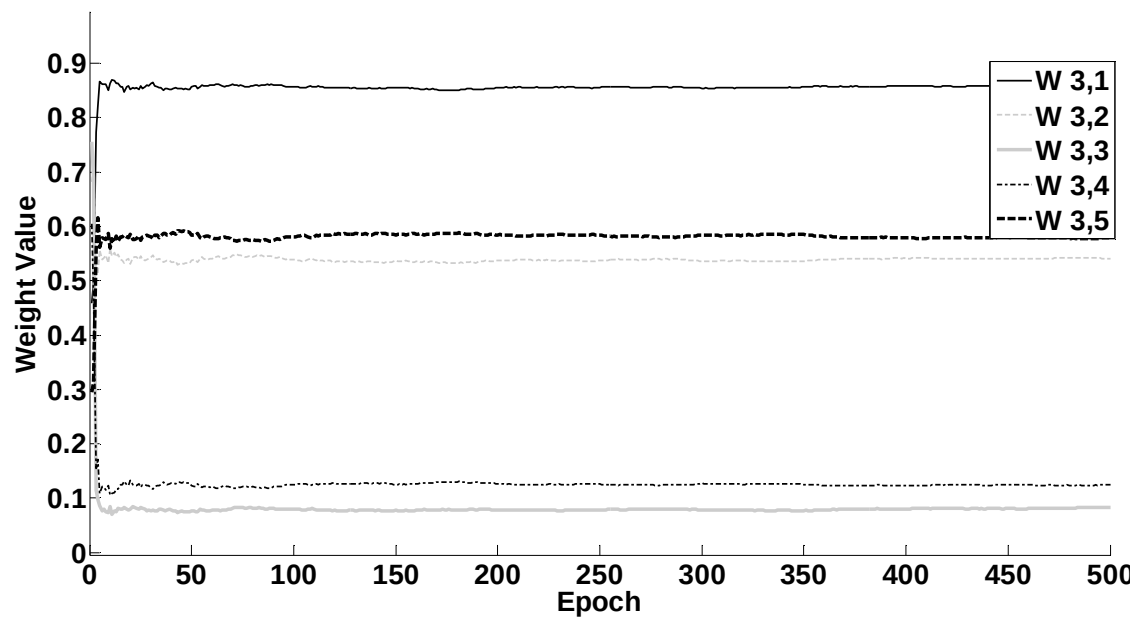
ذیل برمی‌آید، نوسانات شبکه خیلی سریع میرا می‌شوند و وزن‌های شبکه همگرا می‌شوند.



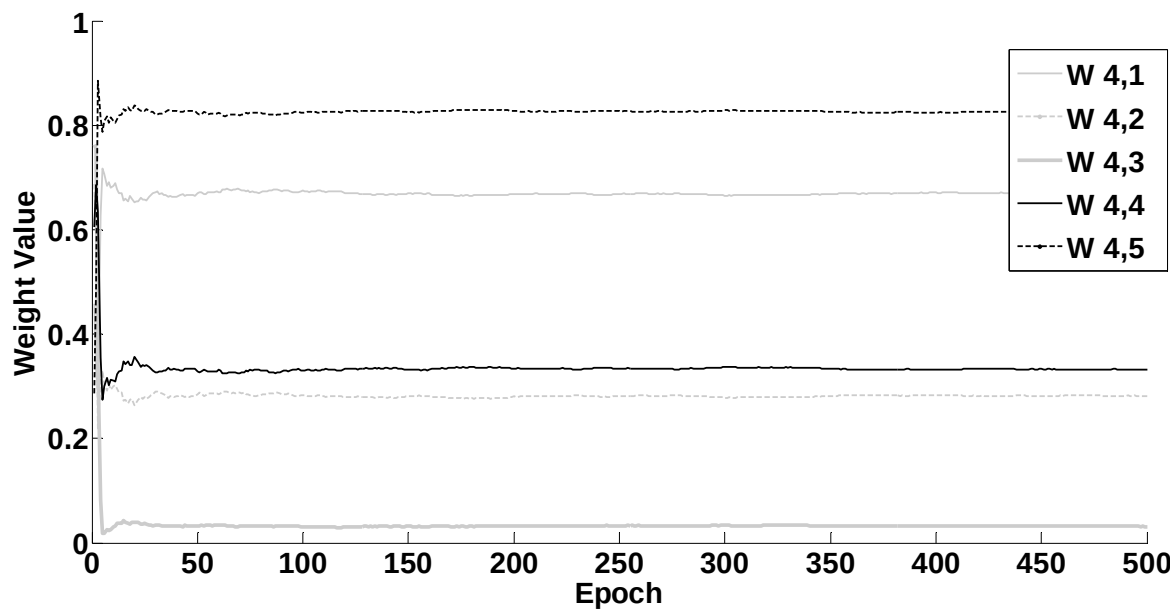
شکل 3-5. پنج وزن اول SOM6 برای نرون اول



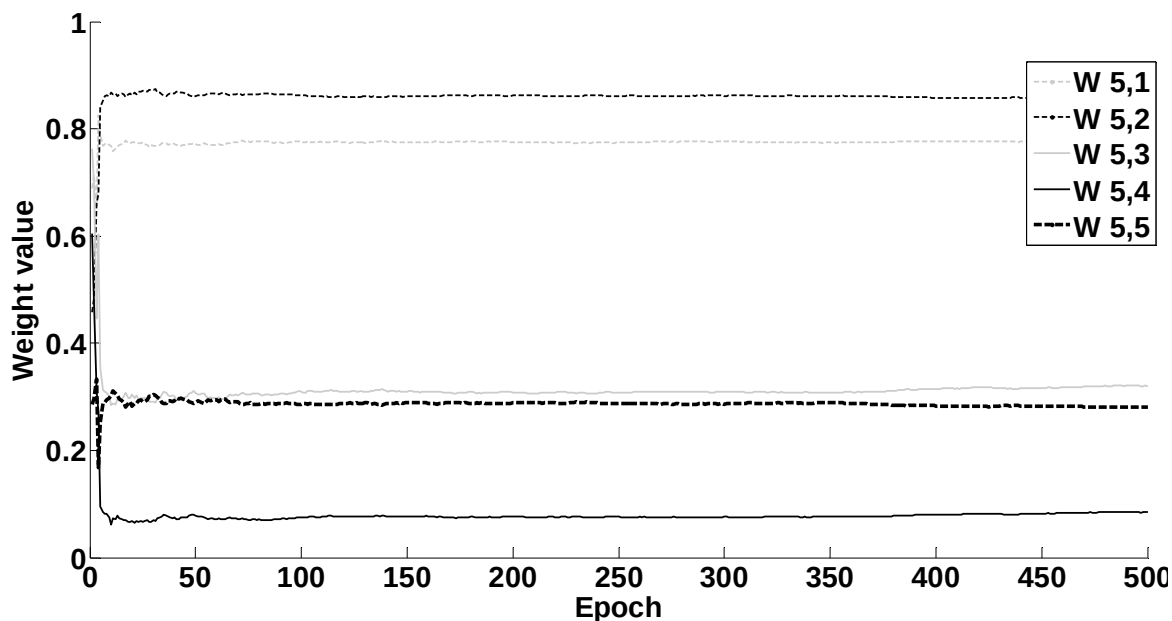
شکل 4-5. پنج وزن اول SOM6 برای نرون دوم



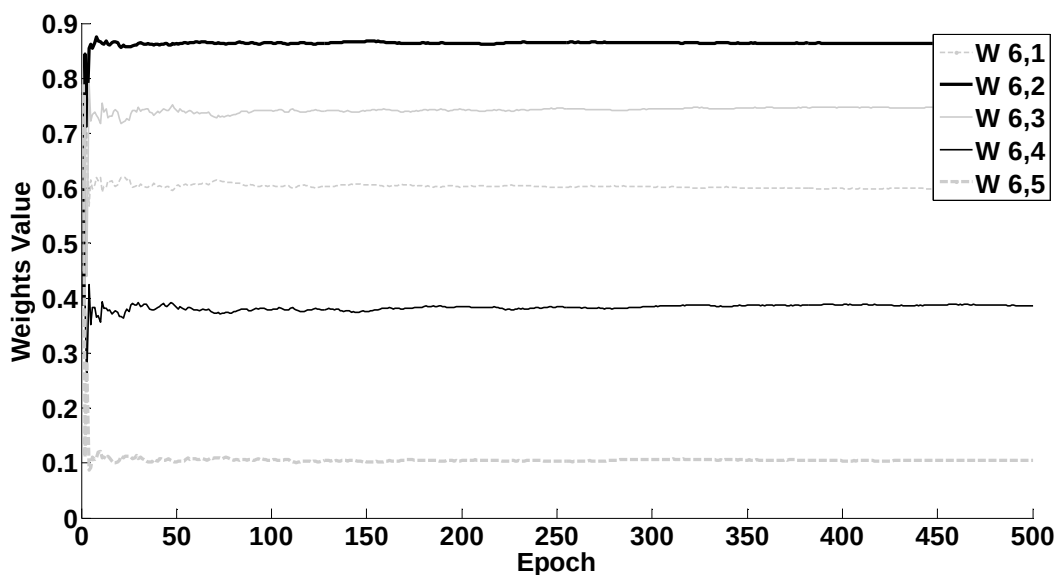
شکل 5-5. پنج وزن اول SOM6 برای نرون سوم



شکل 5-6. پنج وزن اول SOM6 برای نرون چهارم



شکل 5-7. پنج وزن اول SOM6 برای نرون پنجم



شکل 5-8. پنج وزن اول SOM6 برای نرون ششم

برای اعتبارسنجی شبکه نمونه‌های تست اعمال می‌شوند. این نمونه‌ها، داده‌هایی هستند که شبکه قبلاً آن‌ها را آموزش ندیده‌است. نحوه برخورد شبکه و جواب آن می‌تواند معیاری برای توانایی شبکه باشد. برای شبکه SOM6 داده‌های تست و نتیجه اعتبارسنجی در جدول 4-5 آمده‌است.

همان‌طور که در جدول 4-5 مشاهده می‌شود، تعداد 11 نمونه برای حالت جزیره‌ای شدن و تعداد 37 نمونه دیگر برای حالت‌های غیر جزیره‌ای شدن منظور شده‌اند. تمام ورودی‌های مربوط به حالت جزیره‌ای شدن به درستی تشخیص داده شده‌اند. تنها تشخیص اشتباه شبکه در قبال یک نمونه غیر از جزیره‌ای شدن می‌باشد. این نمونه به اشتباه جزیره‌ای شدن تشخیص داده شده‌است. البته باید این نکته اشاره شود که اشتباه در دسته‌بندی در قبال یک نمونه غیر از جزیره‌ای شدن می‌باشد. یعنی شبکه SOM6 در مقابل یک پدیده غیر از جزیره‌ای شدن فرمان قطع واحد تولید پراکنده از شبکه را خواهد داد. این امر از دیدگاه بحث جزیره‌ای شدن مشکل خاصی بوجود نمی‌آورد. مشکل اصلی هنگامی خواهد بود که یک حالت جزیره‌ای شدن به اشتباه غیر از جزیره‌ای شدن تشخیص داده‌شود و فرمان قطع صادر نشود. برای شبکه‌های طراحی‌شده دیگر نیز میزان خطای تشخیص مطابق با جدول 5-5 تعیین شده‌است.

#### 5-1-1-1-1 تحلیل حساسیت:

در قبال شبکه‌های عصبی تحلیل حساسیت از جایگاه مهمی برخوردار است. پارامترهای زیادی برای تنظیم یک شبکه عصبی وجود دارد. تغییر در اندازه هرکدام از این ثوابت ممکن است در جواب نهایی شبکه موثر باشد. برای این منظور چند مورد از ثوابت در شبکه عصبی SOM6، مورد بررسی قرار گرفته و تحلیل حساسیت بر روی آن‌ها انجام می‌شود.

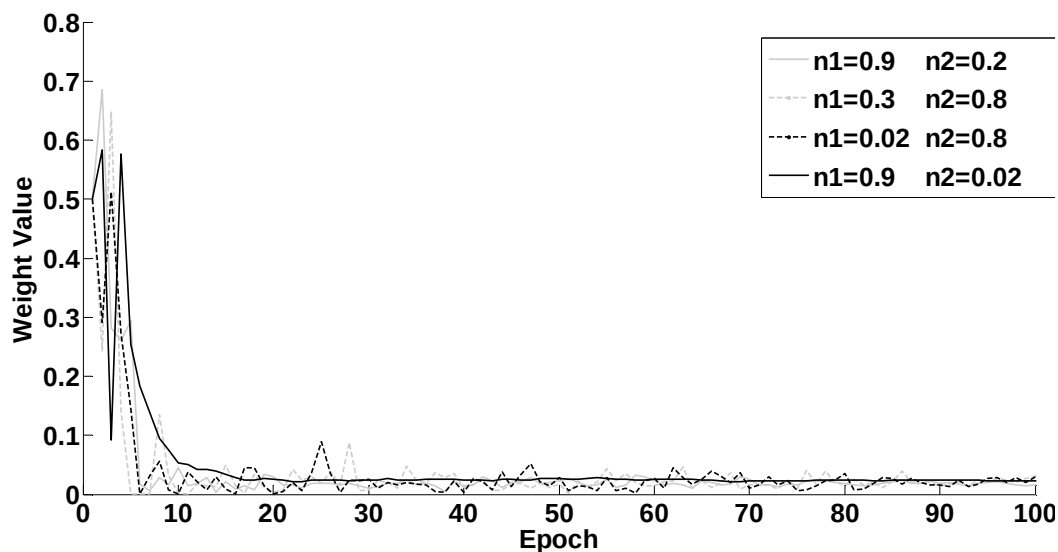
در شبکه‌های عصبی که آموزش در آن‌ها به صورت تکراری انجام می‌شود، نرخ آموزش از اهمیت خاصی برخوردار است. نرخ آموزش بزرگ در ابتدای آموزش نوسانات زیادی را ناشی می‌شود و ممکن است شبکه همگرا نشود. در مقابل نرخ آموزش کم باعث همگرایی کند در وزن‌های شبکه عصبی می‌شود. در این پایان‌نامه چندین حالت برای نرخ آموزش مورد توجه قرار گرفته‌است. نتایج آموزش شبکه برای یکی از وزن‌های نرون اول در شکل 5-9 آمده‌است. شروع تمامی حالات یک مقدار مشخص تعیین‌شده مقایسه قابل انجام باشد.

جدول 4-5. نتیجه اعتبارسنجی شبکه SOM6

| نمونه‌های ورودی برای تست |                  | نمونه‌های ورودی برای تست |                  |
|--------------------------|------------------|--------------------------|------------------|
| نرون فعال شده            | جزیره‌ای شدن = L | نرون فعال شده            | جزیره‌ای شدن = L |
| غیر جزیره‌ای شدن = O     |                  | غیر جزیره‌ای شدن = O     |                  |
| O                        | 5                | O                        | 4                |
| O                        | 5                | L                        | 1                |
| O                        | 7                | O                        | 3                |
| O                        | 6                | O                        | 3                |
| O                        | 1                | O                        | 5                |
| O                        | 7                | O                        | 7                |
| O                        | 6                | O                        | 7                |
| O                        | 5                | O                        | 2                |
| O                        | 3                | O                        | 7                |
| O                        | 6                | O                        | 6                |
| L                        | 1                | O                        | 7                |
| O                        | 5                | O                        | 6                |
| O                        | 4                | O                        | 5                |
| L                        | 1                | O                        | 5                |
| L                        | 1                | L                        | 1                |
| O                        | 7                | L                        | 1                |
| O                        | 3                | O                        | 2                |
| O                        | 3                | O                        | 6                |
| O                        | 4                | O                        | 5                |
| L                        | 1                | O                        | 7                |
| O                        | 6                | O                        | 5                |
| L                        | 1                | L                        | 1                |
| O                        | 7                | L                        | 1                |
| O                        | 5                | L                        | 1                |

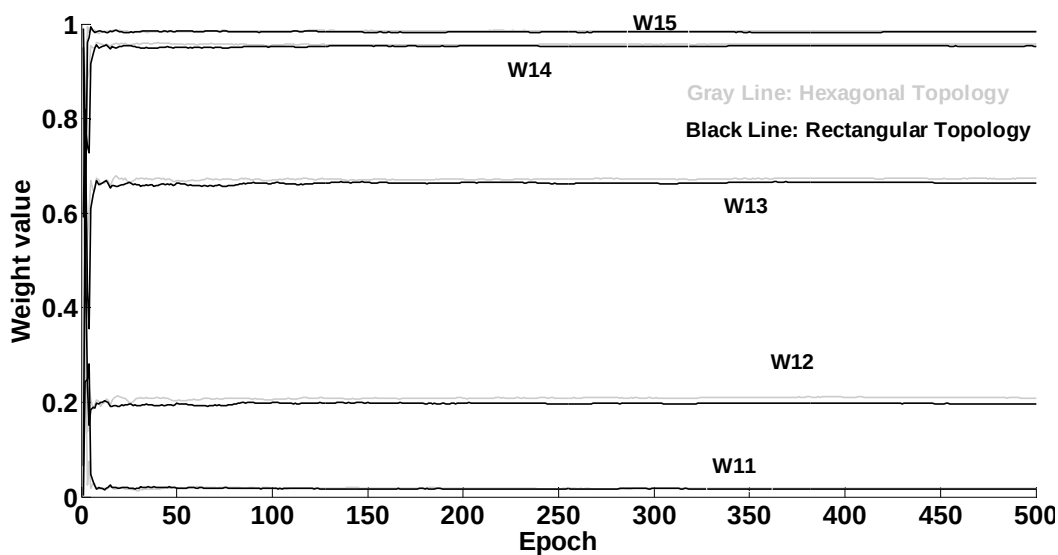
جدول 5-5. میزان خطا در دسته‌بندی برای شبکه‌های طراحی شده

| نام ساختار | درصد خطا در دسته‌بندی |
|------------|-----------------------|
| SOM6       | 2.08%                 |
| SOM7       | 8.33%                 |
| SOM8       | 2.08%                 |
| SOM9       | 4.17%                 |



شکل 5-9. همگرایی وزن اول از نرون اول با توجه به نرخ‌های آموزش متفاوت

شعاع همسایگی در SOM نقش مهمی دارد. این‌که چه نرون‌هایی در همسایگی نرون برنده بایستی به روزرسانی شوند، و این نرون‌ها بایستی چگونه انتخاب شوند، به وسیله شعاع همسایگی مشخص می‌شود. دو حالت همسایگی در این پایان‌نامه مورد توجه قرار گرفته‌است. دو حالت ساختار هگزاگونال و مستطیلی شبیه‌سازی شده‌اند. نتایج شبیه‌سازی برای وزن‌های نرون اول در شکل 5-10 آمده‌است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تغییر توپولوژی تأثیر چندانی بر روی همگرایی شبکه ندارد.



شکل 5-10. تغییر توپولوژی شبکه در همگرایی وزن‌های شبکه



## 5-1-2 طراحی رله به کمک SOM

از SOM می‌توان برای طراحی یک رله جزیره‌ای شدن در واحدهای تولید پراکنده استفاده کرد. این رله بر مبنای نرون‌های فعال شده می‌تواند حالت جزیره‌ای شدن را تشخیص دهد و فرمان قطع واحد از شبکه را صادر کند. برای مثال اگر از SOM6 در این رله طراحی شده استفاده شود، در این صورت فعال شدن نرون یک به معنای حالت جزیره‌ای شدن تلقی شده و باید واحد از شبکه جدا شود. این رله خاص که براساس شبکه‌های عصبی طراحی شده تاکنون در هیچ مقاله‌ای مورد توجه قرار نگرفته است. نحوه استفاده از این رله به صورت زیر می‌باشد.

### 1- دریافت اطلاعات از ورودی

ابتدا سیگنال موردنظر که به عنوان شاخص برای تشخیص حالت جزیره‌ای شدن بکار می‌رود، به صورت یک بردار ذخیره می‌شود. این بردار شامل نمونه‌هایی است که در طول یک زمان مشخص از سیگنال موردنظر اخذ شده است. در این پایان‌نامه سیگنال موردنظر، سیگنال ورودی به گاورنر سیستم کنترل بار-فرکانس واحد جاسازی شده است. زمان نمونه‌برداری هم برابر با 200 میلی ثانیه تعیین شده است. با توجه به فرکانس نمونه‌برداری 175 کیلوهرتز، تعداد 35 نمونه در طول 200 میلی ثانیه در اختیار است.

### 2- پردازش اطلاعات

در مرحله بعد این بردار به ساختار شبکه عصبی طراحی شده ارائه می‌شود. فرض کنید که از SOM6 در این رله استفاده شود. با توجه به آموزش شبکه و نتایج آن، برنده شدن نرون شماره یک حالت جزیره‌ای شدن را اعلام می‌دارد.

### 3- دستور قطع در صورت وقوع حالت جزیره‌ای شدن

حال اگر رله تغییر وضعیت نرون شماره یک را به عنوان فرمان قطع در نظر بگیرد، در این صورت با فعال شدن نرون شماره یک و تغییر وضعیت آن از صفر به یک، دستور تریپ به واحد ارسال

می‌شود. زمان پاسخ‌گویی شبکه طراحی‌شده به یک بردار ورودی در بسیار کم است که این مقدار در مقابل 200 میلی ثانیه قابل اغماض است.

البته این رله مزایای دیگری هم دارد. این مزایا را می‌توان در قالب چند مورد بارز بیان کرد

✓ عدم تداخل در کار واحد:

رله طراحی‌شده هیچ‌گونه تداخلی در کار عادی واحد جاسازی‌شده ندارد. این رله تأثیرات منفی

مشابه روش‌های اکتیو ندارد.

✓ قابلیت آموزش نمونه‌هایی جدید

به مرور زمان با توجه به تغییر توپولوژی شبکه می‌توان شبکه عصبی بکاررفته را با نمونه‌های

جدید آموزش داد. این امر خطای سیستم را با توجه به تغییرات مدام سیستم سراسری متصل

حذف می‌کند.

✓ قابلیت اعتماد بالا

همانطور که اشاره شد، میزان خطای این رله بسیار اندک است. و می‌توان آن را به عنوان یک

روش مطمئن بکاربرد. نکته مهم دیگر این است که با افزایش تعداد نمونه‌های آموزشی می‌توان خطای

شبکه را باز هم کاهش داد.

✓ قابلیت پیاده‌سازی

بسیاری روش‌های تشخیص جزیره‌ای شدن تولیدات پراکنده وجود دارند که تنها در مقالات

ارائه شده‌اند. پیاده‌سازی هر روشی در عمل ممکن نیست. شبکه‌های عصبی مصنوعی به راحتی قابل

پیاده‌سازی هستند. امروزه انواع شبکه‌های عصبی بکمک سیستم‌های الکترونیکی قابل ساخت هستند.

لذا ساخت چنین رله‌ای امکان‌پذیر است.

✓ قابلیت تشخیص پدیده‌های دیگر سیستم

از جمله مزایای بارز این رله تشخیص پدیده‌های دیگر سیستم است. به عنوان مثال می‌توان کلیدزنی

بانک خازنی یا خطاهای سه فاز را نیز تشخیص داد.

✓ استفاده در تولیدات پراکنده اینورتری

از این رله در تولیدات پراکنده اینورتری هم می توان استفاده کرد. کافی است که به معیار جدید

به جای نوسانات سیگنال گاورنر برای تشخیص معرفی شود.

### **3-1-5 استفاده از SOM برای فعال سازی رله ولتاژ**

در [32] دو روش برای استفاده از فیدبک ولتاژ و فرکانس شبکه معرفی شده است. این دو روش

سعی دارند که در زمان قطع شبکه تغییرات ولتاژ و یا جریان را افزایش بدهند و رله ولتاژ و یا رله فرکانس را وادار به تریپ واحد کنند.

#### **1-3-1-5 روش مبتنی بر فیدبک توان اکتیو**

در این روش انحرافات فرکانس واحد نمونه برداری شده و میزان توان مرجع واحد جاسازی شده

تغییر پیدا می کند. این روند در شکل نمایش داده شده است. همان گونه که مشاهده می شود، نوسانات

فرکانس توسط یک فیدبک به بخش مقایسه با توان اکتیو مرجع واحد انتقال داده می شود. هنگامی که

حالت جزیره ای شدن رخ دهد، فیدبک نوسانات فرکانس، رله فرکانسی را وادار به ارسال فرمان قطع

شبکه می کند. نحوه این کار بدین صورت است که بهره فیدبک طراحی شده باید طوری تعیین شود که

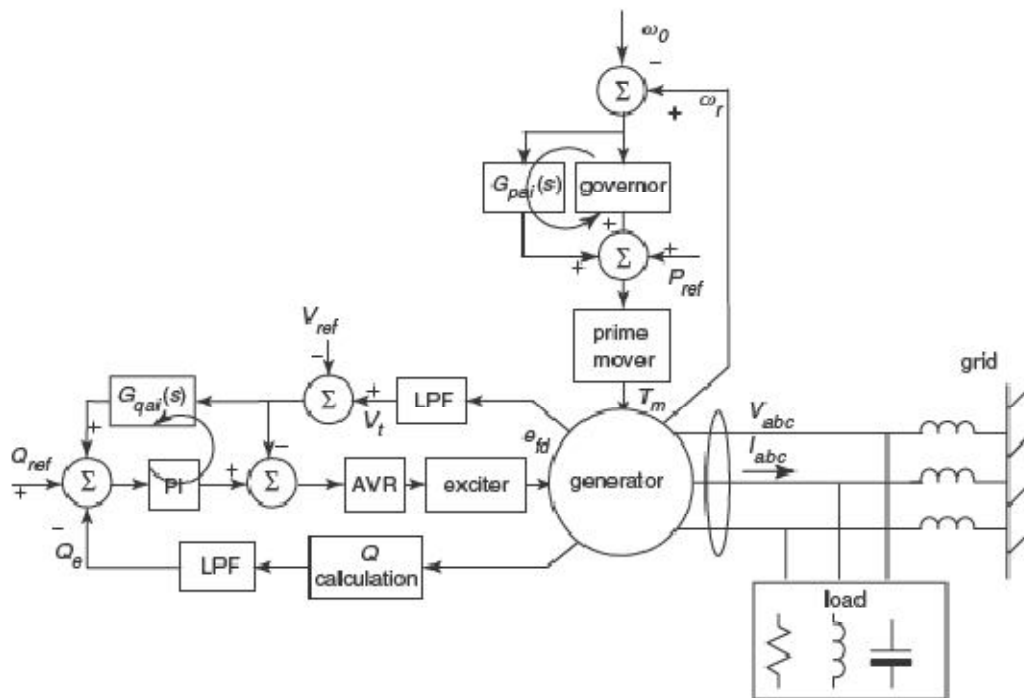
در زمان خطا از یک بیشتر باشد و سیگنال ورودی را تقویت کند.

#### **2-3-1-5 روش مبتنی بر توان راکتیو**

در این روش از میزان ولتاژ شبکه فیدبک گرفته می شود. این نمونه به توان راکتیو مرجع واحد

اضافه شده و باعث تغییر ولتاژ خروجی در سیستم کنترل خودکار ولتاژ می شود. در صورتی که حالت

جزیره ای شدن رخ دهد، این حلقه فعال شده و باعث تریپ اجباری رله کنترل فرکانس می شود.



شکل 5-11. نحوه عملکرد روش توان اکتیو و روش توان راکتیو برای تریپ رله فرکانس و رله ولتاژ [32]

در استفاده از این روش بایستی چند نکته مورد توجه قرار گیرد:

1- بهره فیدبک‌های بکاررفته برای ولتاژ و جریان بایستی از برای حالت قطع شبکه بیشتر از یک

باشد. این امر تضمین می‌کند که سیگنال ورودی به فیدبک در حالت جزیره‌ای شدن تقویت

می‌شود.

2- بهره فیدبک‌های بکاررفته بایستی در شرایط غیر جزیره‌ای شدن کمتر از یک باشد. بهره کمتر

از یک در شرایط اتصال شبکه مانع از قطع بی‌مورد و تداخل در کار سیستم اصلی می‌شود.

فعال‌شدن این حلقه‌ها در شرایط اتصال به شبکه باعث تزریق نوساناتی ناخواسته به شبکه

می‌شود. از آنجایی سیستم اصلی وظیفه کنترل فرکانس و تثبیت ولتاژ را بر عهده دارد، در

این صورت تداوم عملکرد سیستم‌های فیدبک نتیجه‌ای جز عدم پایداری کل شبکه نخواهد

داشت. این امر باعث کاهش کیفیت توان و صدماتی به بارهای مجاور و حتی خود تولید

پراکنده خواهد شد.

3- در حالت اتصال به شبکه هنوز هم خروجی بلوک غیر صفر است. حتی اگر بهره جبران‌ساز

کمتر از یک باشد، باز هم امکان اختلال در کار سیستم وجود دارد.

4- از یک سری فیلترها نیز باید به کنار فیدبک‌ها استفاده شود که مانع از انتقال بخش ثابت ولتاژ

و یا فرکانس به مرجع کنترل توان راکتیو و اکتیو شود.

5- نیاز است تا تست‌های مختلفی انجام شود تا از بهره مناسب حلقه‌های فیدبک در زمان قطع

شبکه و در زمان اتصال شبکه اطمینان حاصل کرد.

علاقم‌مزیتهایی که برای دو روش فوق وجود دارد، مشکلاتی نیز در مورد این دو روش قابل

ذکر است.

روش اکتیو با توجه به اینکه به پاسخ سیستم گاورنر و سیستم کنترل بار-فرکانس مربوط است،

به نسبت از سرعت کمتری برخوردار است. این درحالی است که سرعت تشخیص در بحث جزیره‌ای

شدن از اهمیت خاصی برخوردار است. در ضمن وجود بار القایی زیاد در سیستم می‌تواند عملکرد این

سیستم را مختل سازد.

روش راکتیو دارای سرعت بیش‌تری نسبت به روش اکتیو است. اما مشکل عمده در قبال این

روش کلیدزنی بانک خازنی است که ممکن است در عملکرد این سیستم اختلال ایجاد کند.

از آن‌جا که سرعت در تشخیص جزیره‌ای شدن برای هر روش بسیار مهم است، لذا روش

جدیدی در این پایان‌نامه بر مبنای استفاده از پیشنهاد [33] معرفی می‌شود. در [33] از ترکیب این

دو روش استفاده‌شده تا بتوان از مزیت‌های هر دو روش استفاده کرد. نوسانات فرکانس به عنوان یک

شاخص استفاده‌شده تا مرجع توان راکتیو شبکه را در حالت قطع شبکه اصلی تغییر دهد. در این

صورت سرعت تشخیص و عملکرد رله ولتاژی استفاده‌شده و تاثیرپذیری واحد از نوسانات ولتاژ نیز

کاهش می‌یابد. در [32] برای فیدبک معرفی‌شده از یک جبران‌ساز استفاده شده است. این جبران‌ساز به

گونه‌ای تنظیم‌شده تا در مواقع قطع شبکه اصلی بهره آن بیشتر از یک باشد. در این صورت واحد

تولید پراکنده از سیستم جدا خواهد شد.

با تمام مزیت‌هایی که این روش دارد، یک مشکل عمده وجود دارد و آن هم تعیین ساختار مناسب برای این جبرانساز است. در سیستم‌های بزرگتر نوسانات شبکه حالات پیچیده‌تری به خود می‌گیرند و امکان تشخیص مشکل‌تر می‌شود. اینکه چه ساختاری مناسب برای طراحی جبرانساز است، خود مسئله غامضی خواهد بود. در مرحله دوم تنظیم مناسب ثوابت یک ساختار انتخابی نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نیاز هست تا حالات زیادی در شبکه مورد شبیه‌سازی قرار بگیرند تا ساختار مناسب مشخص شود. در ضمن همواره یک حاشیه امنیت هم برای تضمین عملکرد درست نیاز است. مواردی این چنین ممکن است تعیین یک ساختار با ثوابت مناسب را مشکل سازد.

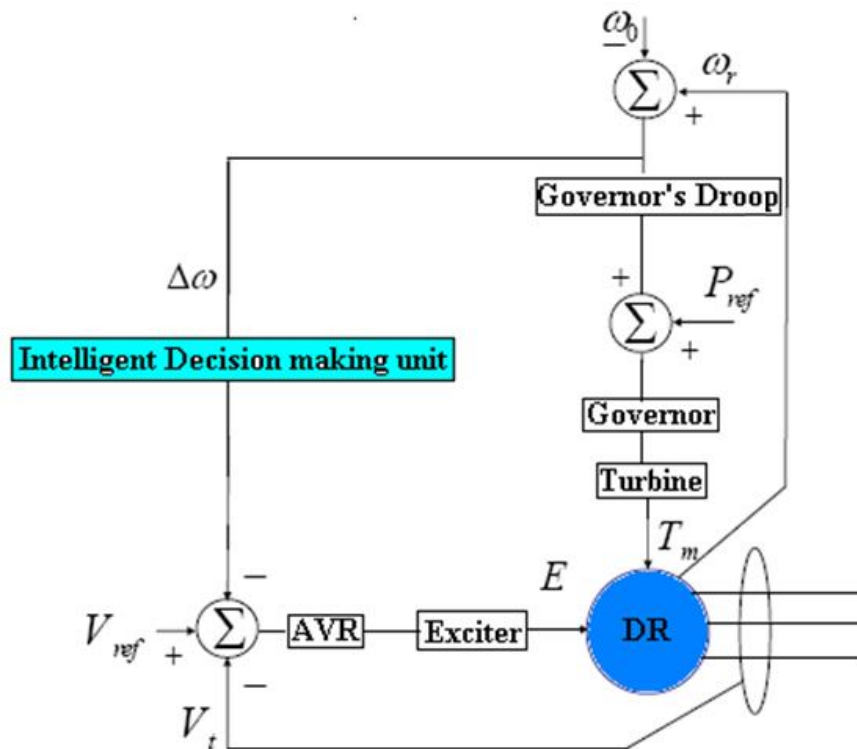
در این پایان‌نامه پیشنهاد می‌شود که از شبکه‌های عصبی در بلوک جبرانساز استفاده شود. نحوه استفاده از این بلوک در سیستم واحد تولید پراکنده در شکل 5-12 آمده است. خروجی واحد هوشمند کنترلی به نرون نماینده پدیده جزیره‌ای شدن متصل است. در این صورت خروجی بلوک کنترلی به صورت صفر و یا عددی ثابت خواهد بود.

مزیت‌هایی که روش پیشنهادی دارد را می‌توان در چند مورد زیر بیان کرد:

- ✓ در این روش دیگر نیازی به یک جبرانساز بر مبنای کنترل کلاسیک نیست. با حذف جبرانساز نگرانی در زمینه تعیین درست ثوابت آن نیز از بین می‌رود.
- ✓ از آن‌جا که خروجی واحد هوشمند کنترلی در حالت وجود شبکه اصلی برابر با صفر است، نگران تداخل در کار موازی سیستم اصلی و واحد نیستیم.
- ✓ امکان به روزرسانی سیستم هوشمند کنترلی وجود دارد.
- ✓ تمامی مزایای شبکه‌های عصبی در مورد این سیستم نیز صادق است.

امکان واکن به دیگر پدیده‌های شبکه نیز وجود دارد. برای مثال اگر در حالت استارت موتور القایی ولتاژ شبکه افت می‌کند، می‌توان از خروجی این سیستم هم برای بهبود وضعیت کمک گرفت.

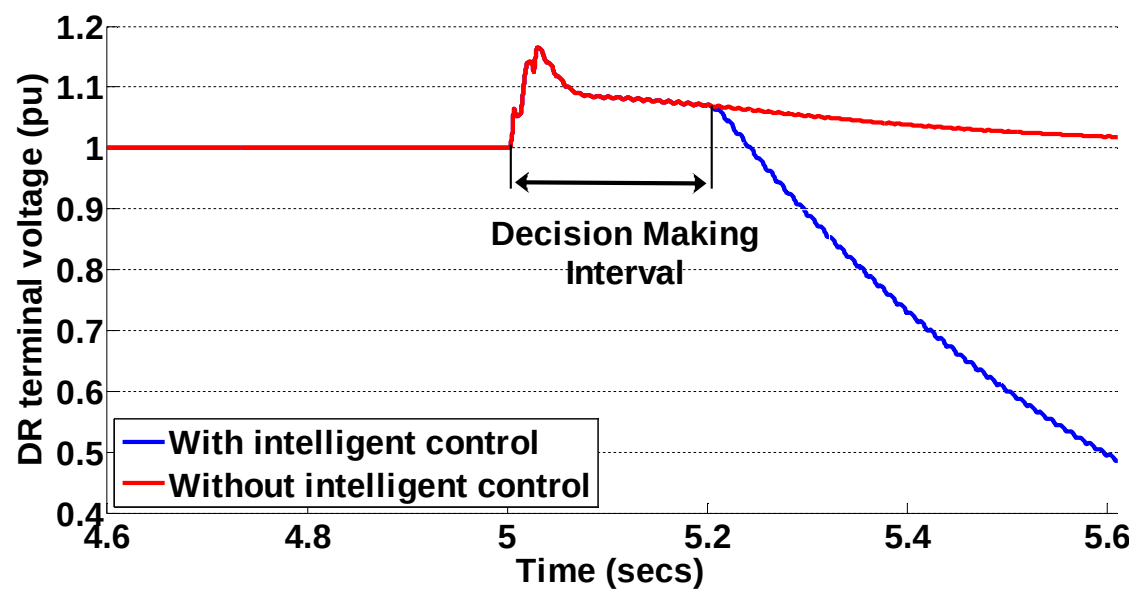
البته باید سیستم موردنظر بگونه‌ای باشد که در عملکرد صحیح حلقه کنترل ولتاژ مشکلی ایجاد نکند.



شکل 5-12. شماتیک روش پیشنهادی برای استفاده همزمان از ورودی گاورنر و رله ولتاژ

روش پیشنهادی برای یک حالت جزیره‌ای شدن تست و ولتاژ خروجی شبیه‌سازی شده‌است. در این حالت یک جزیره‌ای شدن با کلید شماره یک در سیستم تست شماره یک رخ داده‌است. با وقوع این حالت پس از 200 میلی ثانیه نسبت به قطع و یا عدم قطع تصمیم‌گیری شده‌است.

در نهایت فرمان تشدید افت ولتاژ واحد توسط سیستم کنترلی صادر شده که نتیجه آن در شکل 5-13 قابل مشاهده است. تا 200 میلی‌ثانیه پس از قطع شبکه ولتاژ سیستم در دو حالت وجود و عدم وجود سیستم کنترلی هوشمند یکسان است. در صورت استفاده از بلوک هوشمند کنترلی، پس از 200 میلی ثانیه افت ولتاژ شبکه تشدید شده است. پس از مدت زمان کمی، ولتاژ شبکه به حد پایین استاندارد می‌رسد. که در این صورت رله‌های ولتاژ فرمان قطع را صادر خواهند کرد.



شکل 5-13. تشدید افت ولتاژ و تریپ رله ولتاژ با استفاده از روش پیشنهادی



## فصل ششم

### نتیجه‌گیری و پیشنهادات

## 6-1 نتیجه‌گیری

روش‌های جدیدی که در این پایان‌نامه برای تشخیص جزیره‌شدگی ارائه شده‌است:

◇ سیگنال ورودی به گاورنر در سیستم کنترل بار-فرکانس

◇ دسته‌بندی پدیده‌های مختلف به کمک PNN+PW

◇ خوشه‌بندی پدیده‌های مختلف به کمک SOM Neural Network

◇ روش اکتیو شناسایی به کمک بلوک کنترلی هوشمند با استفاده از فیدبک

نوسانات فرکانس به حلقه کنترل ولتاژ

## 6-2 پیشنهادات

رویکردی که در این پایان‌نامه اشاره شده، برای اولین بار است که در زمینه جزیره‌ای شدن واحدهای تولیدپراکنده مطرح شده است. می‌توان از شبکه‌های قدرتمند دیگری برای دسته‌بندی استفاده کرد و پدیده‌های دیگری را نیز در سیستم در نظر گرفت. در گام‌های بعدی می‌توان همین شبیه‌سازی‌ها را بر روی مبدل‌های اینورتری بررسی کرد. فرکانس نمونه برداری یکی دیگر از مواردی است که می‌توان با افزایش آن اطلاعات بیشتری از سیگنال را در اختیار داشت. البته هدف تشخیص قطع شبکه در کمترین زمان ممکن است. بررسی شبکه‌های بزرگتر و پیچیده‌تر می‌تواند از دیگر پیشنهادات برای ادامه این کار باشد.

## فصل هفتم

## مراجع

- [1]- IEEE Standard 1547–2003, "IEEE Standard for interconnecting distributed resources with electric power systems", IEEE Standards Coordinating Committee 21, 2003.
- [2]- M. A. Referrn, O. Usta, G. Fielding. "Protection Against Loss of Utility Grid Supply for a Dispersed Storage and Generation Unit", IEEE Transactions on Power Delivery , Vol.8, No. 3, July 1993. pp 948 - 954.
- [3]- C. J. Mozina. "Interconnection Protection of IPP Generators at Commercial / Industrial 75 Facilities", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 37, No. 3, May / June 2001. pp 681 - 689.
- [4]- Bartlett M.G., Redfern M.A., "A Review of Techniques for the Protection of Embedded Generation Against Loss of Grid", Proceeding UPEC 2000, Power Engineering, Belfast, Sept. 2000.
- [5]- ffonso, C.M.; Freitas, W.; Xu, W.; da Silva, L.C.P, "Performance of ROCOF relays for embedded generation", applications, Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings-Volume 152,.Issue 1, 10 Jan, 2005
- [6]- G. Hung, C. Chang, and C. Chen. "Automatic phase shift method for islanding detection of grid connected photovoltaic inverter," IEEE Trans. Energy Conversion, vol. 18, no. 1, pp. 169-173, Mar. 2003
- [7]- embedded generation, Nick Jenkins , Ron Allan , Peter Crossley , David Kirschen and Goran Strbac, IEE power and energy series 31. p184.
- [8]- M. A. Redfern, J. I. Barret, O. Usta, "A New Microprocessor Based Islanding Protection Algorithm for Dispersed Storage and Generation Units", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 10, N 3, July 1995. pp 1249 – 1254.
- [9]- S. K. Salman, D. J. King and G. Weller, "New Loss of Mains Detection Algorithm for Embedded Generation Using Rate of Change of Voltage and Changes in Power Factors", Developments in Power Systems Protection, Conference Publication N° 479 IEE 2001.
- [10]- F. Pai, and S. Huang, "A detection algorithm for islanding-prevention of dispersed consumer-owned storage and generating units," IEEE Trans, Energy Conversion, vol. 16, no. 4, pp. 346-351, 2001.
- [11]- P. O’Kane, and B. Fox, "Loss of mains detection for embedded generation by system impedance monitoring," in Proc. Sixth International Conference on Developments in Power System Protection, pp. 95-98, March 1997.
- [12]- P. D. Hopewell, N. Jenkins, and A. D. Cross, "Loss of mains detection for small generators," IEE Proc. Electric Power Applications, vol. 143, no. 3, pp. 225-230, May 1996.
- [13]- S. Jang, and K. Kim, "Development of a logical rule-based islanding detection method for distributed resources," in Proc. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, vol. 2, pp. 800-806, 2002.
- [14]- Ahmad Darabi, Amir Hassannia, Mahdi Saedi, and Ali Moeini, Sequence

- Impedances Criterion for Loss of Main Detection of Embedded Generation, IEEE EEIC 2010, Prague, Czech Republic
- [15]- Warin, and W. H. Allen, "Loss of mains protection," in Proc. 1990 ERA Conference on Circuit Protection for industrial and Commercial Installation, London, UK, pp. 4.3.1-12.
- [16]- G. Hung, C. Chang, and C. Chen. "Automatic phase shift method for islanding detection of grid connected photovoltaic inverter," IEEE Trans. Energy Conversion, vol. 18, no. 1, pp. 169-173, Mar. 2003.
- [17]- M. E. Ropp, M. Begovic, and A. Rohatgi, "Analysis and performance assessment of the active frequency drift method of islanding prevention," IEEE Tran. Energy Conversion, vol. 14, no 3, pp. 810-816, Sep. 1999.
- [18]- V. Menon, and M. H. Nehrir, "A hybrid islanding detection technique using voltage unbalance and frequency set point," IEEE Tran. Power Systems, vol. 22, no. 1, pp. 442-448, Feb. 2007.
- [19]- Pukar Mahat, Zhe Chen, Senior and Birgitte Bak-Jensen, A Hybrid Islanding Detection Technique Using Average Rate of Voltage Change and Real Power Shift, IEEE transactions on power delivery, vol. 24, no. 2, april 2009

[20]- مهدی سعدی، تشخیص پدیده جزیره‌شدگی تولیدات پراکنده، پایان‌نامه کارشناسی

ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود

- [21]- Darabi A., "Auxiliary windings, supplying the AVR of a brushless synchronous generator", Eighth International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Vol. 1, Sept 2005, pp. 81-85.
- [22]- Darabi A, Tindall C.E., "Analogue AVR model for use in real time transient simulation of small salient pole alternators", IEE Conference Publication, Power Electronics, Machines and Drives, No. 487, April 2002, pp. 451-455.
- [23]- Ahmad. Darabi, Colin. Tindall and Stuart. Ferguson, "Finite-Element Time-Step Coupled Generator, Load, AVR, and Brushless Exciter Modeling", IEEE Transactions on Energy Conversion, VOL. 19, NO. 2, JUNE 2004
- [24]- <http://www.ewh.ieee.org/soc/pes/dsacom/testfeeders.html>
- [25]- <http://www.ewh.ieee.org/soc/pes/dsacom/testfeeders.pdf>
- [26]- Richard O. Duda, Peter E. Hart and David G. Stork, Pattern Classification, Wiley-Interscience, 2 edition (October 2000)
- [27]- Christopher M. Bishop, Neural Networks for Pattern Recognition, Oxford University Press, USA; 1 edition (January 18, 1996)
- [28]- Brian D. Ripley, Pattern Recognition and Neural Networks, Cambridge University Press; 1 edition (January 28, 2008)
- [29]- A.D. Gordon, Classification, 2nd Edition, Chapman and Hall/CRC; 2 edition (June 17, 1999)
- [30]- Brian S. Everitt, Sabine Landau, Morven Leese, Cluster Analysis, Wiley, 4 edition (July 9, 2001)

- [31]- Leonard Kaufman, Peter J. Rousseeuw, Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis, Wiley-Interscience; 1 edition (March 25, 2005)
- [32]- P. Du, J.K. Nelson and Z. Ye, "Active Anti-Islanding Schemes for Synchronous – Based Distributed Generation, " IEE Generation, Transmission and Distribution, Vol. 152, No. 5, Sep. 2005
- [33]- محمد رضا احمدی نیا، جوادساده، روش اکتیو جدید برای تشخیص جزیره‌ای شدن در حضور تولیدات پراکنده سنکرون، بیست و سومین کنفرانس بین المللی برق، 1387

**Abstract:**

Nowadays, employing Distributed Generations (DG) in power systems is highly interested. A considerable problem of using the small generation units is Islanding phenomenon. In this project a new approach based on governor signal processing is introduced for loss of main detection scenario.

Recently neural network has been gained so many attentions of the researchers working on the field of system identification or modeling. In this thesis both Self-Organizing Map (SOM) and Probabilistic Neural Network (PNN) are applied to cluster and classify some signals in order to detect islanding situation. In addition, a new active scheme is introduced using the governor signal which triggers a voltage relay when islanding. Simulation results show that neural network can be confidently applied when designing a relay for islanding detection. This relay prevents any undesired consequences of islanding and reconnection of the main including out of synchronism operation of the DG.

*Keywords:* Islanding, Governor signal processing, Self-Organizing Map (SOM) Neural Network, probabilistic Neural Network (PNN), Active Method based on voltage relay tripping using frequency oscillation



Shahrood university of Technology  
Faculty of Electrical and Robotic Engineering  
Power Group

Master of Science Thesis

# **Loss of Main Detection in a Distribution System Comprising Non-Linear Loads**

By:

**Ali Moeini**

Supervisor:

**Dr. Ahmad Darabi**

Advisor:

**Dr. S.M.R Rafiei**

July 2010