



دانشگاه گیلان
دانشکده فنی

شناسائی بهنگام نقاط ضعیف سیستم‌های قدرت از نظر پایداری و لتاژ با استفاده از شبکه‌های عصبی

پایان نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد

در رشته‌ی مهندسی برق گرایش قدرت

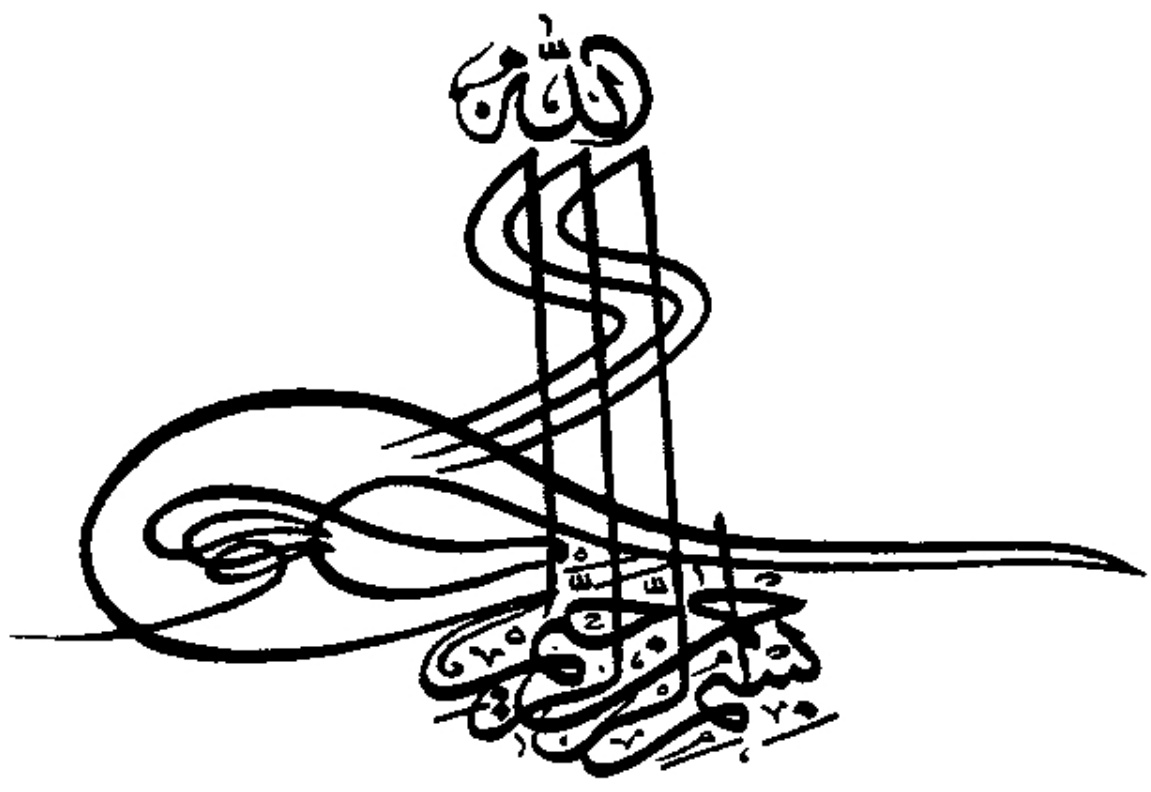
از: امیر اختری

اساتید راهنما:

دکتر علی کرمی

دکتر حمید ضابط خصوصی

دی ماه 1390



دانشکده فنی

گروه برق

گرایش قدرت

**شناسائی بهنگام نقاط ضعیف سیستم‌های قدرت از نظر پایداری و لتاژ
با استفاده از شبکه‌های عصبی**

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد

در رشته‌ی مهندسی برق گرایش قدرت

از: امیر اختری

اساتید راهنما:

دکتر علی کرمی

دکتر حمید ضابط خصوصی

دی ماه 1390

تأییدیه‌ی هیأت داوران جلسه‌ی دفاع از پایان‌نامه

نام دانشکده: دانشکده فنی

نام دانشجو: امیر اختری

عنوان پایان‌نامه:

شناسائی بهنگام نقاط ضعیف سیستم‌های قدرت از نظر پایداری ولتاژ با استفاده از شبکه‌های عصبی

تاریخ دفاع: 1390/10/17

رشته: مهندسی برق

گرایش: قدرت

ردیف	سمت	نام و نام خانوادگی	مرتبه	دانشگاه	امضا
1	استاد راهنما	دکتر علی کرمی	استادیار	گیلان	
2	استاد راهنما	دکتر حمید ضابط خصوصی	استادیار	گیلان	
3	استاد مشاور				
4	نماینده‌ی تحصیلات تکمیلی	دکتر اسماعیل فلاح	استادیار	گیلان	
5	استاد مدعو داخلی	دکتر حسین افراخته	استادیار	گیلان	
6	استاد مدعو داخلی	دکتر آلفرد باگرامیان	استادیار	گیلان	
7	استاد مدعو خارجی				
8	استاد مدعو خارجی				

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

باسمه تعالی

اینجانب **امیر اختری** به شماره دانشجویی 8819210019 دانشجوی رشته‌ی **مهندسی برق-قدرت** مقطع تحصیلی **کارشناسی ارشد** تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج این پایان‌نامه حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه‌برداری شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض در خصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسؤلیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی‌صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ‌گونه مسؤلیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی: **امیر اختری**

امضا و تاریخ:

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

- بهره‌برداری از این پایان‌نامه برای همگان بلامانع است.
- بهره‌برداری از این پایان‌نامه با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.
- بهره‌برداری از این پایان‌نامه تا تاریخ ممنوع است.

نام اساتید راهنما:

دکتر علی کرمی

دکتر حمید ضابط خصوصی

تاریخ:

امضا:

از زحمات استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر علی گرمی که با راهنمایی‌های دلسوزانه‌ی خود مرا در تهیه‌ی این پایان‌نامه یاری فرمودند کمال تشکر را دارم؛

همچنین پایان‌نامه‌ی خود را به مادر و پدر دلسوزم و همسر مهربانم

تقدیم می‌کنم.

تقدیر و تشکر:

در اینجا بر خود لازم می‌دانم که از کلیه افرادی که به نحوی مرا در انجام این پایان‌نامه یاری رساندند، تشکر و قدردانی نمایم. بخصوص از اساتید گرامی گروه برق دانشکده فنی دانشگاه گیلان به خاطر تمام آموخته‌هایم از ایشان سپاسگزارم.

چکیده فارسی:

شناسایی بهنگام نقاط ضعیف سیستم‌های قدرت از نظر پایداری ولتاژ با استفاده از شبکه‌های عصبی
امیر اختری

امروزه به دلیل پرهزینه بودن احداث خطوط انتقال جدید، خطوط موجود در شبکه‌های قدرت در نزدیکی حداکثر ظرفیت خود مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. با افزایش بار خطوط انتقال، مشکلات ناشی از حفظ پایداری ولتاژ برای سیستم‌های قدرت و شرکت‌های بهره‌بردار به صورت جدی مطرح می‌شود. اصلی‌ترین هدف در این مواقع به‌دست آوردن نقاط مستعد در بروز ناپایداری ولتاژ است. در عمل بیشتر از منحنی ولتاژ-توان (منحنی PV) برای بررسی ناپایداری ولتاژ در سیستم‌های قدرت استفاده می‌شود. اما این منحنی دارای محدودیت‌ها و مشکلاتی هستند. از جمله آن‌ها اطلاعات کاملاً دقیقی از شین‌های ضعیف (Weak Buses) موجود در شبکه به‌دست نمی‌دهند. همچنین این منحنی‌ها تنها برای یک وضعیت سیستم معتبر می‌باشند و با تغییر وضعیت سیستم، لازم است که آن‌ها را مجدداً محاسبه نمود که این امر زمان‌بر می‌باشد و مطلوب نیست. از آنجایی که ارزیابی بهنگام بررسی ناپایداری ولتاژ برای حفظ امنیت سیستم دارای اهمیت فراوانی است، استفاده از روشی سریع بدین منظور مورد نیاز می‌باشد. در این پایان‌نامه شاخص جدیدی برای تشخیص حد پایداری ولتاژ (Voltage Stability Margin Index – VSMI) ارائه می‌شود. این شاخص در ابتدا برای یک تک خط انتقال و با استفاده از اختلاف زاویه‌ی ولتاژ شین‌های فرستنده و گیرنده‌ی خط، تعریف می‌شود و سپس برای سیستم‌های قدرت چند ماشینه و به کمک کاهش شبکه قدرت و محاسبه مدار معادل سیستم از دید یک شین بار، تعمیم داده می‌شود. در سال‌های اخیر از شبکه‌های عصبی (Neural Network) برای حل بسیاری از مسائل سیستم‌های قدرت از جمله مسئله پایداری ولتاژ در سیستم‌های قدرت، استفاده شده است. در این پایان‌نامه از شبکه‌ی عصبی پرسپترون چند لایه هم برای به‌دست آوردن پارامترهای مدار معادل سیستم قدرت چند ماشینه و همچنین محاسبه‌ی مستقیم شاخص‌های پایداری ولتاژ استفاده می‌شود. نتایج شبیه‌سازی‌ها بر روی سیستم آزمون 39 شینه‌ی New England صحت و دقت روش‌های طرح شده را نشان می‌دهد.

کلید واژه: شبکه‌های عصبی، پایداری ولتاژ سیستم‌های قدرت، شاخص حد پایداری ولتاژ، نقاط ضعیف شبکه

Abstract:

On-Line Identification of Weak Locations in Power Systems Considering Voltage Stability Using Neural Networks

Amir Akhtari

Nowadays, economical and environmental reasons have forced the power systems to be operated closer to their stability limits. Voltage stability analysis is concerned with the ability of assessing voltage at all system buses under normal conditions and after being subjected to disturbances.

PV curve analysis is widely used in the industry for investigating voltage stability problems. However, PV analysis does not provide any information about weak locations with potential voltage problems in the system. This thesis presents a new index called Voltage Stability Margin Index (VSMI) for finding the weak locations in a multi-machine power system. The new method (or index) is based on the relationship between voltage stability and the angle difference between sending and receiving end buses. This relationship is derived for a simplified two-bus system and later applied to a multi-machine system by using the system Thevenin equivalent circuit seen from a given load bus.

Neural networks (NNs) have recently received widespread attention from researchers as a tool for on-line voltage stability assessment. Multi-layered Perceptron neural network is used in this thesis to estimate the parameters of the Thevenin equivalent circuit and also to estimate the voltage stability index.

New England 39-bus system is used to illustrate the accurateness and effectiveness of the proposed approach.

Keywords: Neural Networks; Power System Voltage Stability; Voltage Stability Margin Index; Weak Locations.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
ح	- چکیده فارسی
خ	- چکیده انگلیسی
ز	- فهرست جدول‌ها
س	- فهرست شکل‌ها
	فصل اول: مقدمه
2	1-1- مقدمه‌ای بر پایداری ولتاژ
5	2-1- اهمیت مسئله‌ی پایداری ولتاژ
5	3-1- هدف پایان‌نامه
6	4-1- ساختار پایان‌نامه
	فصل دوم: مروری بر روش‌های مختلف بررسی پایداری ولتاژ در سیستم‌های قدرت
8	1-2- مقدمه
8	2-2- پایداری ولتاژ و فروپاشی ولتاژ
14	3-2- انواع پایداری ولتاژ
15	1-3-2- پایداری اغتشاش بزرگ ولتاژ
15	2-3-2- پایداری اغتشاش کوچک ولتاژ
16	4-2- روش‌های استاتیکی بررسی مسئله‌ی پایداری ولتاژ
16	1-4-2- روش‌هایی که از اطلاعات کل سیستم قدرت استفاده می‌کنند
16	1-1-4-2- شاخص ارزیابی پایداری ولتاژ L-index
21	2-4-2- روش‌هایی که از اطلاعات مدل کاهش یافته‌ی سیستم قدرت استفاده می‌کنند
21	1-2-4-2- استفاده از مفهوم توان عبوری از یک خط انتقال برای سنجش حد پایداری ولتاژ
23	2-2-4-2- شاخص SI برای شناسایی ضعیف‌ترین گره از نظر فروپاشی ولتاژ
27	3-2-4-2- شاخص VSMI برای سنجش بهنگام حاشیه‌ی پایداری ولتاژ

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل سوم: کاهش شبکه‌ی قدرت
39	1-3- مقدمه
39	2-3- حاشیه‌ی پایداری ولتاژ در سیستم‌های قدرت چند ماشینه
40	3-3- کاهش شبکه‌ی قدرت با استفاده از مدار معادل تونن
45	4-3- استفاده از مدار معادل تونن و شاخص VSMI برای سنجش پایداری ولتاژ
	فصل چهارم: نتایج شبیه‌سازی محاسبه‌ی شاخص‌های پایداری ولتاژ
53	1-4- مقدمه
53	2-4- محاسبه‌ی VSMI و SI در شبکه‌ی 39 شینه‌ی New England
55	1-2-4- محاسبه‌ی VSMI و SI برای یک شین در ضریب توان ثابت به روش تقریبی
59	2-2-4- محاسبه‌ی VSMI و SI برای یک شین در ضریب توان ثابت به روش دقیق
70	3-2-4- محاسبه‌ی VSMI و SI به روش تقریبی درحالتی که تنها Q_D بار تغییر می‌کند
73	4-2-4- محاسبه‌ی VSMI و SI به روش دقیق درحالتی که تنها Q_D بار تغییر می‌کند
80	5-2-4- محاسبه‌ی VSMI و SI با افزایش بار تمام شین‌ها بدون محدودیت‌های ژنراتورها
83	6-2-4- محاسبه‌ی VSMI و SI با افزایش Q_D تمام شین‌ها بدون محدودیت‌های ژنراتورها
85	7-2-4- محاسبه‌ی VSMI و SI با افزایش بار تمام شین‌ها با محدودیت‌های ژنراتورها
89	8-2-4- محاسبه‌ی VSMI و SI با افزایش Q_D تمام شین‌ها با محدودیت‌های ژنراتورها
95	9-2-4- محاسبه‌ی VSMI و SI در بار پایه‌ی جدید (1/5 برابر بار پایه) به روش تقریبی
99	10-2-4- محاسبه‌ی VSMI و SI در بار پایه‌ی جدید (1/5 برابر بار پایه) به روش دقیق
101	11-2-4- محاسبه‌ی VSMI و SI در بار پایه‌ی جدید (2/1 برابر بار پایه) به روش تقریبی
104	12-2-4- محاسبه‌ی VSMI و SI در بار پایه‌ی جدید (2/1 برابر بار پایه) به روش دقیق
108	13-2-4- محاسبه‌ی VSMI و SI برای خطوط انتقال سیستم قدرت و کل شبکه

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
فصل پنجم: استفاده از شبکه‌ی عصبی در محاسبه‌ی شاخص‌های پایداری ولتاژ و پارامترهای مدار معادل تونن	
112	1-5- مقدمه
112	2-5- شبکه‌ی عصبی پرسپترون چند لایه
113	1-2-5- الگوریتم یادگیری شبکه پرسپترون چند لایه
115	3-5- معرفی روش پیشنهادی و اعمال بر روی سیستم آزمون New England
118	4-5- تولید داده‌های آموزش
119	5-5- نتایج شبیه‌سازی
120	1-5-5- شبکه‌ی عصبی با 56 ورودی و 4 خروجی (پارامترهای مدار معادل تونن)
124	2-5-5- شبکه‌ی عصبی با 67 ورودی و 4 خروجی (پارامترهای مدار معادل تونن)
128	3-5-5- شبکه‌ی عصبی با 56 ورودی و 2 خروجی (شاخص‌های پایداری ولتاژ)
131	4-5-5- شبکه‌ی عصبی با 67 ورودی و 2 خروجی (شاخص‌های پایداری ولتاژ)
فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها	
135	1-6- نتیجه‌گیری
136	2-6- پیشنهادها
137	- مراجع

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
54	جدول 4-1: مشخصات شین‌های شبکه‌ی 39 شینه‌ی New England
55	جدول 4-2: مشخصات خطوط شبکه‌ی 39 شینه‌ی New England
56	جدول 4-3: شاخص‌های پایداری ولتاژ برای یک شین در ضریب توان ثابت به روش تقریبی
60	جدول 4-4: نتایج پخش بار در نقطه کار پایه‌ی سیستم
61	جدول 4-5: شاخص‌های پایداری ولتاژ برای یک شین در ضریب توان ثابت به روش دقیق
63	جدول 4-6: نتایج پخش بار هنگامی که بار شین 15 ام با ضریب توان ثابت $3/56$ برابر شده است
64	جدول 4-7: نتایج پخش بار هنگامی که بار شین 15 ام با ضریب توان ثابت $6/14$ برابر شده است
71	جدول 4-8: شاخص‌های پایداری ولتاژ برای یک شین در افزایش بار راکتیو به روش تقریبی
74	جدول 4-9: شاخص‌های پایداری ولتاژ برای یک شین در افزایش بار راکتیو به روش دقیق
75	جدول 4-10: نتایج پخش بار هنگامی که بار راکتیو شین 15 ام $3/56$ برابر شده است
76	جدول 4-11: نتایج پخش بار هنگامی که بار راکتیو شین 15 ام $12/5$ برابر شده است
81	جدول 4-12: شاخص‌های پایداری ولتاژ یک شین با افزایش بار تمامی شین‌ها بدون محدودیت‌های ژنراتورها به روش دقیق
83	جدول 4-13: شاخص‌های پایداری ولتاژ شین با افزایش بار راکتیو تمامی شین‌ها بدون محدودیت‌های ژنراتورها به روش دقیق
86	جدول 4-14: اعمال محدودیت‌های توان راکتیو تولیدی ژنراتورها در شبکه‌ی 39 شینه‌ی New England
87	جدول 4-15: شاخص‌های پایداری ولتاژ یک شین با افزایش بار تمامی شین‌ها با محدودیت‌های ژنراتورها به روش دقیق
90	جدول 4-16: شاخص‌های پایداری ولتاژ شین با افزایش بار راکتیو تمامی شین‌ها با محدودیت‌های ژنراتورها به روش دقیق
96	جدول 4-17: نتایج پخش بار در نقطه کار پایه‌ی جدید سیستم با $1/5$ برابر شدن بار تمامی شین‌ها
97	جدول 4-18: شاخص‌های پایداری ولتاژ در نقطه کار پایه‌ی جدید سیستم با $1/5$ برابر شدن بار تمامی شین‌ها به روش تقریبی
100	جدول 4-19: شاخص‌های پایداری ولتاژ در نقطه کار پایه‌ی جدید سیستم با $1/5$ برابر شدن بار تمامی شین‌ها به روش دقیق
102	جدول 4-20: نتایج پخش بار در نقطه کار پایه‌ی جدید سیستم با $2/1$ برابر شدن بار تمامی شین‌ها
103	جدول 4-21: شاخص‌های پایداری ولتاژ در نقطه کار پایه‌ی جدید سیستم با $2/1$ برابر شدن بار تمامی شین‌ها به روش تقریبی
105	جدول 4-22: شاخص‌های پایداری ولتاژ در نقطه کار پایه‌ی جدید سیستم با $2/1$ برابر شدن بار تمامی شین‌ها به روش دقیق
109	جدول 4-23: محاسبه‌ی شاخص پایداری ولتاژ VSMI برای سه عدد از خطوط انتقال شبکه‌ی 39 شینه‌ی New England

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
3	شکل 1-1: تقسیم‌بندی پایداری سیستم‌های قدرت
9	شکل 1-2: سیستم ساده‌ی شعاعی برای نشان دادن پدیده‌ی پایداری ولتاژ
11	شکل 2-2: ولتاژ، جریان و توان حقیقی شین گیرنده به عنوان تابعی از بار مصرفی سیستم شکل 1-2
12	شکل 3-2: مشخصه‌ی ولتاژ-توان سیستم ساده‌ی شکل 1-2
13	شکل 4-2: مشخصه‌ی V_R-P_R سیستم قدرت ساده‌ی شکل 1-2 در ضریب توان‌های مختلف بار
14	شکل 5-2: مشخصه‌ی V_R-P_R سیستم قدرت ساده‌ی شکل 1-2 با نسبت‌های مختلف P_R/P_{RMAX}
17	شکل 6-2: مدل تک خطی سیستم قدرت دو شینه
22	شکل 7-2: سیستم تک خط انتقالی بین دو شین
24	شکل 8-2: یک سیستم انتقال شامل یک تک خط انتقال
26	شکل 9-2: منحنی P-V
28	شکل 10-2: سیستم ساده‌ی دو شینه
28	شکل 11-2: دیاگرام برداری سیستم ساده‌ی دو شینه‌ی شکل 10-2
32	شکل 12-2: رابطه‌ی میان اختلاف زاویه‌ی شین‌های فرستنده و گیرنده با ولتاژ شین گیرنده (بار)
32	شکل 13-2: رابطه‌ی میان اختلاف زاویه‌ی شین‌های فرستنده و گیرنده با توان اکتیو دریافتی شین گیرنده (بار)
33	شکل 14-2: رابطه‌ی میان توان دریافتی شین گیرنده (بار) با ولتاژ شین گیرنده (بار)
35	شکل 15-2: تبدیل شبکه‌ی قدرت واقعی به سیستم معادل دو شینه برای هر خط انتقال
40	شکل 1-3: یک سیستم قدرت چند ماشینه
41	شکل 2-3: سیستم قدرت چند ماشینه با صرف نظر کردن از راکتانس ژنراتورها
43	شکل 3-3: امپدانس معادل تونن و امپدانس دیده شده از هر شین
44	شکل 4-3: ولتاژ معادل تونن و ولتاژ دیده شده از هر شین k
45	شکل 5-3: نمایش شین ژنراتور پس از رسیدن به حد توان راکتیو
46	شکل 6-3: سیستم ساده‌ی دو شینه‌ی مدار معادل تونن شبکه‌ی چند ماشینه
51	شکل 7-3: فلوچارت برنامه‌ی پایان‌نامه برای محاسبه‌ی شاخص‌های VSMI و SI
53	شکل 1-4: شبکه‌ی 39 شینه‌ی New England

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
57	شکل 2-4: رابطه‌ی بین توان اکتیو و راکتیو شین 15ام با SI در ضریب توان ثابت به روش تقریبی
58	شکل 3-4: رابطه‌ی بین توان اکتیو و راکتیو شین 15ام با VSMI در ضریب توان ثابت به روش تقریبی
59	شکل 4-4: رابطه‌ی بین توان اکتیو و راکتیو شین 15ام با ولتاژ آن در ضریب توان ثابت به روش تقریبی
65	شکل 5-4: رابطه‌ی بین توان اکتیو و راکتیو شین 15ام با SI در ضریب توان ثابت به روش دقیق
65	شکل 6-4: رابطه‌ی بین توان اکتیو و راکتیو شین 15ام با VSMI در ضریب توان ثابت به روش دقیق
66	شکل 7-4: رابطه‌ی بین توان اکتیو و راکتیو شین 15ام با ولتاژ آن در ضریب توان ثابت به روش دقیق
67	شکل 8-4: رابطه‌ی بین توان اکتیو و راکتیو شین 15ام با زاویه‌ی ولتاژ آن در ضریب توان ثابت به روش دقیق
67	شکل 9-4: ولتاژ تمامی شین‌های شبکه با افزایش بار شین 15ام تا 1/2 و 3/56 پریونیت
68	شکل 10-4: اندازه‌ی ولتاژ تمامی شین‌های شبکه با افزایش بار شین 15ام تا 1/2 و 3/56 پریونیت
69	شکل 11-4: مقایسه‌ی SI و VSMI شین 15ام در ضریب توان ثابت به روش‌های تقریبی و دقیق
70	شکل 12-4: مقایسه‌ی ولتاژ شین 15ام در ضریب توان ثابت به روش‌های تقریبی و دقیق
72	شکل 13-4: رابطه‌ی توان راکتیو دریافتی یک شین با شاخص‌های پایداری ولتاژ با افزایش بار راکتیو به روش تقریبی
73	شکل 14-4: رابطه‌ی توان راکتیو دریافتی یک شین با ولتاژ آن با افزایش بار راکتیو به روش تقریبی
77	شکل 15-4: رابطه‌ی توان راکتیو دریافتی یک شین با شاخص‌های پایداری ولتاژ با افزایش بار راکتیو به روش دقیق
77	شکل 16-4: رابطه‌ی توان راکتیو دریافتی یک شین با ولتاژ و زاویه‌ی آن با افزایش بار راکتیو به روش دقیق
78	شکل 17-4: مقایسه‌ی SI و VSMI با افزایش بار با ضریب توان ثابت یا بار راکتیو یک شین به روش تقریبی یا دقیق
79	شکل 18-4: مقایسه‌ی ولتاژ با افزایش بار با ضریب توان ثابت یا بار راکتیو یک شین به روش تقریبی یا دقیق
80	شکل 19-4: مقایسه‌ی زاویه‌ی ولتاژ با افزایش بار با ضریب توان ثابت یا بار راکتیو یک شین به روش دقیق
82	شکل 20-4: رابطه‌ی توان اکتیو شین با شاخص پایداری ولتاژ با افزایش بار تمامی شین‌ها بدون حد ژنراتورها به روش دقیق
82	شکل 21-4: رابطه‌ی توان اکتیو شین با ولتاژ و اندازه‌ی زاویه آن با افزایش بار تمامی شین‌ها بدون حد ژنراتورها به روش دقیق
84	شکل 22-4: رابطه‌ی توان راکتیو شین با شاخص پایداری با افزایش بار راکتیو تمامی شین‌ها بدون حد ژنراتورها به روش دقیق
85	شکل 23-4: رابطه‌ی توان راکتیو شین با ولتاژ و اندازه‌ی زاویه آن با افزایش بار راکتیو شین‌ها بدون حد ژنراتورها به روش دقیق
88	شکل 24-4: رابطه‌ی توان اکتیو شین با شاخص پایداری ولتاژ با افزایش بار تمامی شین‌ها با حد ژنراتورها به روش دقیق

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
89	شکل 4-25: رابطه‌ی توان اکتیو شین با ولتاژ و اندازه‌ی زاویه آن با افزایش بار تمامی شین‌ها با حد ژنراتورها به روش دقیق
91	شکل 4-26: رابطه‌ی توان راکتیو شین با شاخص پایداری با افزایش بار راکتیو تمامی شین‌ها با حد ژنراتورها به روش دقیق
92	شکل 4-27: رابطه‌ی توان راکتیو شین با ولتاژ و اندازه‌ی زاویه آن با افزایش بار راکتیو شین‌ها با حد ژنراتورها به روش دقیق
93	شکل 4-28: مقایسه‌ی SI و VSMI با افزایش بار با ضریب توان ثابت یا بار راکتیو شین‌ها با و بدون محدودیت‌های ژنراتورها
94	شکل 4-29: مقایسه‌ی ولتاژ با افزایش بار با ضریب توان ثابت یا بار راکتیو شین‌ها با و بدون محدودیت‌های ژنراتورها
95	شکل 4-30: مقایسه‌ی زاویه‌ی ولتاژ با افزایش بار با ضریب توان ثابت یا بار راکتیو شین‌ها با و بدون محدودیت‌های ژنراتورها
98	شکل 4-31: رابطه‌ی توان اکتیو یک شین با شاخص پایداری ولتاژ در بار پایه‌ی $1/5$ برابر شده به روش تقریبی
101	شکل 4-32: رابطه‌ی توان اکتیو یک شین با شاخص پایداری ولتاژ در بار پایه‌ی $1/5$ برابر شده به روش دقیق
104	شکل 4-33: رابطه‌ی توان اکتیو یک شین با شاخص پایداری ولتاژ در بار پایه‌ی $2/1$ برابر شده به روش تقریبی
106	شکل 4-34: رابطه‌ی توان اکتیو یک شین با شاخص پایداری ولتاژ در بار پایه‌ی $2/1$ برابر شده به روش دقیق
107	شکل 4-35: مقایسه‌ی SI و VSMI در بار پایه‌ی $1/5$ یا $2/1$ برابر شده به روش تقریبی یا دقیق
109	شکل 4-36: نمودار میله‌ای شاخص‌های پایداری ولتاژ SI (الف) و VSMI (ب) برای شین‌های 15، 16، 32، 33 و 37 شبکه
110	شکل 4-37: نمودار میله‌ای اندازه‌ی ولتاژ (الف) و اندازه‌ی زاویه‌ی ولتاژ (ب) برای شین‌های 15، 16، 32، 33 و 37 شبکه
113	شکل 5-1: نمونه‌ای از یک شبکه‌ی پرسپترون چند لایه با تنها یک لایه‌ی پنهان
116	شکل 5-2: تخمین شاخص‌های پایداری ولتاژ با استفاده از یک شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (MLP)
120	شکل 5-3: بلوک دیگرام شبکه‌ی عصبی با 56 ورودی و 4 خروجی (پارامترهای مدار معادل تونن سیستم)
121	شکل 5-4: منحنی آموزش شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (MLP) با 56 ورودی و 4 خروجی
122	شکل 5-5: نتایج 50 الگوی تست برای تخمین مقدار $E_{th-real}$ در شبکه عصبی با 56 ورودی و 4 خروجی
123	شکل 5-6: نتایج 50 الگوی تست برای تخمین مقدار $E_{th-imag}$ در شبکه عصبی با 56 ورودی و 4 خروجی
123	شکل 5-7: نتایج 50 الگوی تست برای تخمین مقدار R_{th} در شبکه عصبی با 56 ورودی و 4 خروجی
124	شکل 5-8: نتایج 50 الگوی تست برای تخمین مقدار X_{th} در شبکه عصبی با 56 ورودی و 4 خروجی
125	شکل 5-9: بلوک دیگرام شبکه‌ی عصبی با 67 ورودی و 4 خروجی (پارامترهای مدار معادل تونن سیستم)

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
126	شکل 5-10: منحنی آموزش شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (MLP) با 67 ورودی و 4 خروجی
126	شکل 5-11: نتایج 50 الگوی تست برای تخمین مقدار $E_{th-real}$ در شبکه عصبی با 67 ورودی و 4 خروجی
127	شکل 5-12: نتایج 50 الگوی تست برای تخمین مقدار $E_{th-imag}$ در شبکه عصبی با 67 ورودی و 4 خروجی
127	شکل 5-13: نتایج 50 الگوی تست برای تخمین مقدار R_{th} در شبکه عصبی با 67 ورودی و 4 خروجی
128	شکل 5-14: نتایج 50 الگوی تست برای تخمین مقدار X_{th} در شبکه عصبی با 67 ورودی و 4 خروجی
129	شکل 5-15: بلوک دیگرآم شبکه ی عصبی با 56 ورودی و 2 خروجی (شاخص‌های پایداری ولتاژ)
130	شکل 5-16: نتایج 50 الگوی تست برای تخمین مقدار $VSMI$ در شبکه عصبی با 56 ورودی و 2 خروجی
130	شکل 5-17: نتایج 50 الگوی تست برای تخمین مقدار SI در شبکه عصبی با 56 ورودی و 2 خروجی
131	شکل 5-18: بلوک دیگرآم شبکه‌ی عصبی با 67 ورودی و 2 خروجی (شاخص‌های پایداری ولتاژ)
132	شکل 5-19: نتایج 50 الگوی تست برای تخمین مقدار $VSMI$ در شبکه عصبی با 67 ورودی و 2 خروجی
133	شکل 5-20: نتایج 50 الگوی تست برای تخمین مقدار SI در شبکه عصبی با 67 ورودی و 2 خروجی

فصل اول

مقدمه

1-1- مقدمه‌ای بر پایداری ولتاژ

در سال‌های اخیر گزارشات مختلفی از وقوع ناپایداری ولتاژ در نقاط مختلف جهان ارائه شده است [1]. در دوم جولای سال 1996 ناحیه‌ی غربی¹ کشور ایالات متحده‌ی آمریکا فروپاشی ولتاژ را تجربه کرد [2]. در ماه می سال 1997، شبکه قدرت کشور شیلی خاموشی سرتاسری ناشی از فروپاشی ولتاژ را تجربه کرد که منجر به قطع 80% از بارهای آن شد [3]. در دوازدهم جولای سال 2004، شهر آتن پدیده‌ی ناپایداری ولتاژ را که منجر به بروز خاموشی سرتاسری در کل شهر شد، تجربه کرد. بیشتر ژنراتورها و مولدهای سیستم قدرت آتن در شمال و غرب این شهر تمرکز یافته‌اند در حالی که اکثر بارهای شهر آتن در نزدیکی پایتخت و در جنوب و شرق این شهر پراکنده شده است. این سیستم دارای آمادگی بسیار زیادی برای وقوع پدیده‌ی ناپایداری ولتاژ به دلیل فاصله‌ی زیاد مولدهای آن از بارهای مصرفی است. این اتفاق در آستانه‌ی بازی‌های المپیک تابستانی سال 2004 رخ داد که قرار بود در شهر آتن برگزار شود. پس از آن تغییرات کلی و اساسی در شبکه‌ی قدرت شهر آتن به وجود آمد که متأسفانه در زمان وقوع ناپایداری ولتاژ هیچ کدام از آنها در سیستم قدرت وجود نداشت [4 و 5].

با توجه به موارد فوق الذکر، بررسی پایداری ولتاژ به یکی از اساسی‌ترین موضوعات طراحی و بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت تبدیل شده است. به همین دلیل در سالیان اخیر روش‌های مختلفی برای آنالیز و سنجش پایداری ولتاژ در سیستم‌های قدرت ارائه شده است.

در حالت کلی پایداری ولتاژ به معنی توانایی یک سیستم قدرت در حفظ ولتاژ در تمامی شین‌های شبکه در حد مجاز و قابل قبول در حالت مانا و نیز در صورت بروز هرگونه اغتشاش و یا خطا در سیستم، است. برای آنکه یک سیستم قدرت پایدار باشد می‌بایست توانایی برقراری تعادل بین توان بارهای مصرفی شبکه و توان تولیدی به‌وسیله‌ی مولدهای خود را داشته باشد. ناپایداری ولتاژ اغلب به صورت کاهش شدید و مداوم ولتاژ در چندین شینه‌ی شبکه رخ می‌دهد. ناپایداری ولتاژ منجر به قطع بارهای چند ناحیه‌ی شبکه و یا خارج شدن خطوط انتقال و دیگر تجهیزات قدرت به دلیل عمل کردن تجهیزات حفاظتی آنها از شبکه می‌شود که این خود منجر به بروز مشکلات جدیدتر و خروج تجهیزات و بارهای بیشتری از سیستم می‌شود که در نهایت ممکن است به خاموشی سرتاسری² در سیستم شود [6].

مسئله‌ی پایداری ولتاژ به چهار گروه تقسیم می‌شود:

1. WECC

2. Black Out