

رتبه بندی اغتشاشات در بررسی پایداری ولتاژ به کمک شبکه های عصبی

اصغر اکبری فرود
کارشناس ارشد

حسین سیفی
دانشیار

بخش مهندسی برق، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

استفاده بهینه از منابع انرژی موجود و کاهش تلفات و افزایش راندمان بهره برداری، از اصول اساسی سیستم مدیریت انرژی می باشد. بروز اغتشاشات در سیستم های قدرت ممکن است مسائلی از قبیل افزایش تلفات در خطوط انتقال و راه اندازی واحدهای سریع گرانتر، کاهش عمر مفید تجهیزات و نیروگاه ها به واسطه بهره برداری در سطح بالاتر از حد نرمال و کاهش قابلیت اعتماد و در نهایت خاموشی در قسمتی از شبکه را در پی داشته باشد. لذا بررسی اغتشاشات به صورت زمان واقعی در سیستم مدیریت انرژی مطرح است. بروز اغتشاشات ممکن است باعث نزدیک شدن سیستم به ناپایداری ولتاژ و یا حتی باعث ناپایداری ولتاژ شود. میزان تأثیر اغتشاشات مختلف در پایداری ولتاژ یکسان نمی باشد و چون تعداد اغتشاشات ممکن در شبکه قدرت زیاد است، لذا باید بدترین اغتشاشات از دیدگاه پایداری ولتاژ را با روشی ساده و سریع شناسایی نمود و سپس به بررسی دقیق آنها پرداخت تا در صورت بروز آنها با اعمال کنترل های لازم از ناپایداری ولتاژ پیشگیری گردد. در این مقاله، به کمک شبکه های عصبی، روشی سریع برای رتبه بندی اغتشاشات از دیدگاه پایداری ولتاژ ارائه خواهد شد.

Contingency Ranking for Voltage Stability Analysis Using Artificial Neural Networks

H. Seifi
Associate Professor

A. Akbari - Forood
M.Sc. Graduate

Tarbiat - Modarres University, Electrical
Engineering Department

Abstract

Contingency ranking is of vital importance for voltage stability analysis function is an energy management system environment. This is due to large computational burden if all foreseen contingencies are to be accurately analyzed. This paper proposes a fast ranking approach based on using artificial neural networks (ANN) so that only the most severe cases can be later on analyzed by currently available more accurate developed algorithms.

واژه‌های اصلی

پایداری ولتاژ، رتبه بندی اغتشاشات، شبکه های عصبی، دینامیک سیستم های قدرت.

واژه‌های اصلی به انگلیسی

Voltage Stability, Contingency Ranking, Artificial Neural Networks, Power System Dynamics

۱- مقدمه

مسئله پایداری ولتاژ امروزه یکی از مباحث اساسی سیستم های قدرت به شمار می رود. بزرگ شدن سیستم های قدرت، بهره برداری از خطوط انتقال در نزدیکی حد ماکزیم مجاز، دور بودن مراکز کنترل ولتاژ از مراکز مصرف و کم بودن منابع جبران ساز توان راکتیو در شبکه از عواملی هستند که پایداری ولتاژ را تحت تأثیر قرار می دهند. بروز اغتشاشات در شبکه های قدرت، ممکن است کاهش میزان پایداری ولتاژ را در پی داشته باشد.

مطالعات پایداری ولتاژ در سه زمینه، بررسی پایداری ولتاژ با استفاده از روش های استاتیکی [نمونه ۳ - ۱]، دینامیکی [نمونه ۶ - ۴] و روش های کنترل و بهبود پایداری ولتاژ [نمونه ۸ - ۷] منتشر شده است. تأثیر وقوع اغتشاش بر پایداری ولتاژ از جمله مواردی است که در تحقیقات مورد توجه قرار گرفته است [۹]. از آنجا که تعداد واقعی اغتشاشات ممکن در یک شبکه قدرت بسیار زیاد است، باید به نحوی آنها را رتبه بندی نمود و بدترین آنها را مورد مطالعه دقیق قرار داد. در سیستم های مدیریت انرژی که برنامه بررسی پیش آمدها (Contingency Analysis) به صورت زمان واقعی انجام می شود، سرعت رتبه بندی اغتشاشات بسیار مهم است.

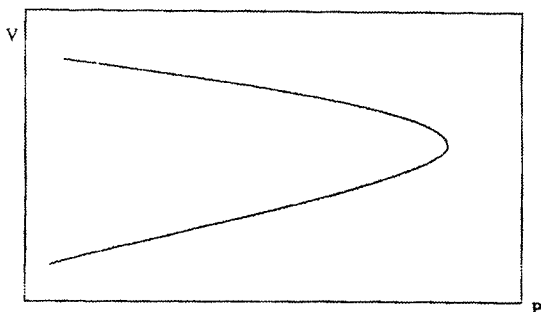
در خصوص رتبه بندی اغتشاشات از دیدگاه پایداری ولتاژ تحقیقات چندی انجام پذیرفته است، اما این روش ها از لحاظ دقت و قابلیت دارای نقایصی است که در این مقاله تشریح خواهد گردید. در این مقاله به کمک شبکه های عصبی، روش جدیدی ارائه می شود به گونه ای که علاوه بر دقت نتایج، سرعت قابل توجهی دارد و مناسب کاربرد در سیستم های مدیریت انرژی است.

ساختار مقاله به صورت زیر است؛ ابتدا روش های موجود رتبه بندی اغتشاشات به طور مختصر مورد

بررسی قرار می گیرد. به دنبال آن الگوریتم پیشنهادی جهت رتبه بندی اغتشاشات بیان می گردد. سپس نتایج به دست آمده مورد ارزیابی قرار می گیرد و سرانجام ارزیابی کلی ارائه خواهد شد.

۲- روش های موجود رتبه بندی اغتشاشات

در رتبه بندی اغتشاشات در شبکه های قدرت، هدف، ارائه روشی سریع است که میزان پایداری ولتاژ را در صورت بروز اغتشاشات مختلف تعیین نماید تا بدینوسیله اغتشاشاتی که تأثیر سوء بیشتری دارند شناسایی شوند. آنچه که در رتبه بندی اغتشاشات از اهمیت خاصی برخوردار است، تعیین نقطه فروپاشی ولتاژ یا تعیین فاصله نقطه کار تا نقطه فروپاشی ولتاژ با روشی سریع است (شکل ۱)، به گونه ای که با استفاده از نتایج بتوان، اغتشاشات را برحسب فاصله نقطه کار تا فروپاشی رتبه بندی نمود. در اینجا به چند روش به طور مختصر اشاره می شود.



شکل (۱) منحنی تغییرات ولتاژ بر حسب بار

۲-۱- روش پخش بار چندگانه

در روش پخش بار چندگانه (Multiple Load Flow Method) دو نقطه بر روی منحنی $V-P$ یا $V-\lambda$ تعیین می گردد (λ پارامتر افزایش بار است). این دو نقطه یکی بر روی شاخه پایدار منحنی (Stable Equilibrium Point, SEP) و نقطه دوم بر روی شاخه ناپایدار منحنی (Unstable Equilibrium Point, UEP) به گونه ای انتخاب می شود که P یا λ در هر دو نقطه یکسان باشد (شکل ۲).

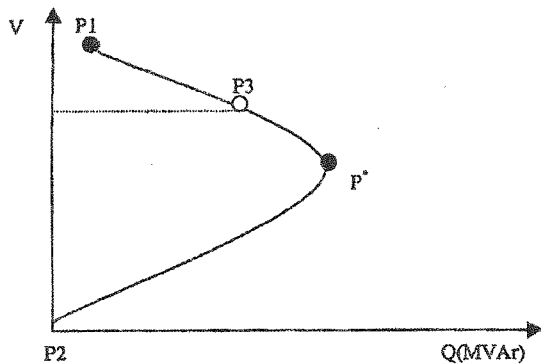
۳-۲- روش درونیابی منحنی V-Q [۱۱]

این روش قادر است حد پایداری ولتاژ را تنها برحسب MVAR تعیین نماید. اگر منحنی V-Q، منحنی تغییرات ولتاژ یک شین نسبت به تغییرات توان راکتیو همان شین باشد، نظریه اساسی در این روش، انتخاب سه نقطه مشخص روی منحنی V-Q به صورت زیر و گذراندن یک منحنی تقریبی V-Q از این سه نقطه است که منحنی برازش شده یک منحنی درجه سه می باشد.

P_1 ، نقطه کار.

P_2 ، مبدأ مختصات.

و برای به دست آوردن نقطه سوم فرض می شود که شین مربوطه PV باشد و ولتاژ آن در ۰/۹ p.u. ثابت نگهداشته شود و Q آن شین با این دو فرض محاسبه می شود (شکل ۳). پس از گذراندن منحنی، فاصله نقطه کار تا فروپاشی، به سهولت و باتوجه به حد ماکزیم منحنی به دست می آید.

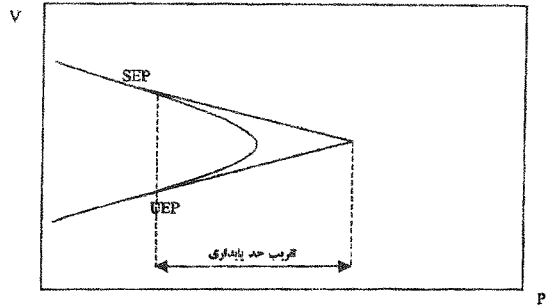


شکل (۳) تعیین حد پایداری بر حسب MVAR

۴-۲- روش انتریولاسیون منحنی درجه دو [۱۲]

در این روش بر سه نقطه یک منحنی درجه دو برازش می شود. این سه نقطه بر روی شاخه پایدار منحنی V-P یا V-λ انتخاب می شوند (شکل ۴)، نقطه اول (x_1, λ_1) نقطه کار است، دو نقطه بعدی (x_2, λ_2) و (x_3, λ_3) از پخش بار پیوسته با این فرض که $\lambda_3 > \lambda_2 > \lambda_1$ باشد به دست می آید. سپس بر این سه نقطه یک منحنی درجه دو برازش می شود و نقطه ماکزیم این منحنی به عنوان λ^* تقریبی در نظر گرفته می شود. λ^* کل شبکه از رابطه تقریبی زیر به دست می آید:

$$\lambda^* = \frac{\sum_{i=1}^{n_c} \lambda_i^*}{n_c} \quad (5)$$



شکل (۴) روش تقریبی تعیین حد پایداری ولتاژ

از دو نقطه مزبور، دو مماس بر منحنی ترسیم می شود، محل تلاقی این دو مماس نقطه تقریبی فروپاشی ولتاژ خواهد بود. بدین صورت فاصله نقطه کار تا فروپاشی به سهولت تعیین می شود.

۲-۲- روش تابع تست [۱۰]

در منحنی V-λ مقدار λ^* معرف نقطه ناپایداری ولتاژ است. با استفاده از روابط ماتریسی می توان تابع تستی برای تخمین مقدار بحرانی λ^* بیان نمود. این تابع تست به صورت زیر بیان می شود:

$$T(x, \lambda) \triangleq e_k^t J(x, \lambda) v \quad (1)$$

e_k بردار واحد از مرتبه k می باشد.

J ماتریس ژاکوبی سیستم است که در روش پخش بار پیوسته به صورت تابعی از بردار حالت x و پارامتر افزایش بار λ می باشد.

v برداری است که از روابط زیر به دست می آید:

$$J_{kn} v = e_k \quad (2)$$

$$J_{kn} \triangleq (I - e_k e_k^t) J + e_k e_k^t \quad (3)$$

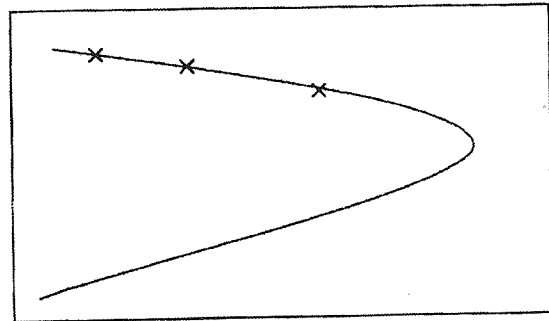
می توان نشان داد که مقدار تابع تست در نقطه شکست ولتاژ صفر می شود و با رابطه زیر λ^* به طور تقریبی به دست می آید [۱۰]:

$$\lambda^* \approx \lambda_1 - \frac{1}{2} \frac{T(x_1, \lambda_1)}{T'(x_1, \lambda_1)} \quad (4)$$

T' مشتق تابع تست نسبت به پارامتر λ می باشد و (x_1, λ_1) نقطه ای بر روی شاخه پایدار منحنی V-λ است.

λ^* پارامتر افزایش بار بحرانی شین نام و n_e تعداد کل شین های بار و λ^* پارامتر افزایش بار بحرانی کل سیستم است.

باید تذکر داد که روش استاتیکی دقیق بررسی و تعیین حد پایداری ولتاژ، روش پخش بار پیوسته طرح شده در مرجع [۱۳] است.



شکل (۲) تعیین حد پایداری ولتاژ با روش برازش منحنی درجه دو

۲-۵- تحلیل روش ها

باتوجه به تحلیل های انجام شده درخصوص روش های موجود رتبه بندی اغتشاشات، باید ذکر کرد که دقت نتایج دو روش اول و دوم پایین است و روش سوم نیز به دلیل آنکه تنها قادر است حد پایداری ولتاژ را برحسب MVAR تعیین نماید، کاربرد چندانی ندارد. نتایج روش چهارم در مقایسه با سه روش قبل از دقت بالاتری برخوردار است. نقص عمده روش چهارم این است که دقت منحنی درجه دو برازش شده، به انتخاب سه نقطه آزمایش بسیار حساس است. زمانی که سه نقطه نزدیک به هم انتخاب شوند، ممکن است از این سه نقطه نتوان یک منحنی درجه دو عبور داد و یا ممکن است منحنی درجه دو برازش شده، با منحنی $\lambda - V$ واقعی اختلاف زیادی داشته باشد. اگر سه نقطه دور از یکدیگر انتخاب شوند، ممکن است منحنی درجه دو به گونه ای برازش شود که نقطه سوم در شاخه ناپایدار منحنی درجه دو برازش شده، قرار گیرد که در این صورت منحنی درجه دو برازش شده، منحنی مطلوب نمی باشد. از سوی دیگر، چون این روش ها، λ یا P یا Q را برای هر تک شین به طور جداگانه در نظر می گیرند و حد پایداری را بر حسب MVA, MW یا MVAR برای همان شین محاسبه می نمایند، چندان دقیق نیستند زیرا که در شبکه قدرت هیچگاه ولتاژ یک شین تنها تابع بار همان

شین نمی باشد و قطعاً تغییرات بار شین های دیگر نیز بر روی ولتاژ آن شین تأثیر می گذارد. تنها در روش چهارم از رابطه (۵) برای تعیین λ^* کل شبکه استفاده می شود که این رابطه نیز یک رابطه تقریبی است.

۳- روش پیشنهادی

در روش جدیدی که برای رتبه بندی اغتشاشات بیان می گردد، سعی شده است که نقایص روش های موجود رفع گردد. در این روش، با استفاده از الگوی مناسبی از بار و معیار صحیح تری جهت رتبه بندی اغتشاشات، میزان دقت و صحت نتایج افزایش می یابد؛ از طرفی استفاده از شبکه های عصبی، سرعت رتبه بندی اغتشاشات در حالت زمان واقعی را افزایش می دهد.

۳-۱- اصول کلی روش

دقت روش چهارم (برازش منحنی درجه دو) به انتخاب سه نقطه حساس است، با انتخاب سه نقطه از منحنی V-P به شرح زیر منحنی درجه دو برازش شده به منحنی V-P واقعی بسیار نزدیک خواهد بود و نقطه فروپاشی ولتاژ با دقت بالاتری محاسبه می شود (شکل ۵).

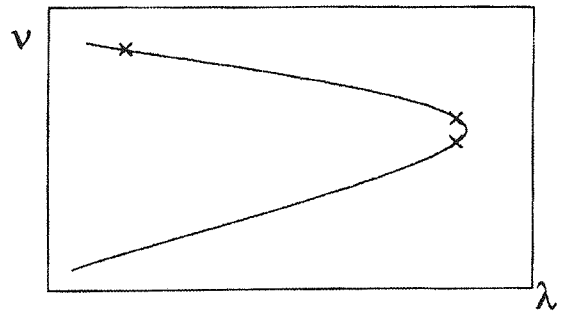
- نقطه اول بر روی شاخه پایدار منحنی V-P در بار کم.
- نقطه دوم بر روی شاخه پایدار منحنی V-P در بار زیاد (در لبه ناپایداری).

- نقطه سوم بر روی شاخه ناپایدار منحنی V-P در بار زیاد به گونه ای که بار شبکه در نقطه دوم و سوم یکسان باشد. برای انتخاب دو نقطه اول و دوم از برنامه پخش بار در مختصات قطبی استفاده می شود و نقطه سوم نیز به کمک روشی که در بخش بعد ارائه می گردد، تعیین می شود.

از طرفی باید تذکر داد که شبکه های بزرگ دارای چندین شین بار می باشند و ولتاژ هر شین نه تنها تابع بار همان شین است بلکه تابع بار سایر شین ها نیز می باشد. در این مقاله برای مدلسازی بار شین ها، از الگوی بارهای همسان استفاده می شود [۱۴]. در الگوی بارهای همسان فرض می شود که درصد افزایش بار شین ها یکسان است و نسبت بار هر شین به بار کل شبکه همواره ثابت می ماند؛ ضریب قدرت مصرف نیز ثابت فرض می شود. این فرضیات تا حد معقولی به واقعیات نزدیک هستند.

اکنون اصول کلی روش را می توان باتوجه به شکل ۵

توضیح داد. محور عمودی، ولتاژ شین بار و محور افقی، بار راکتیو مصرفی کل شبکه است. برای هر شین بار سه نقطه برای برازش منحنی درجه دو انتخاب می شود.



شکل (۵) برازش منحنی درجه دو با انتخاب سه نقطه مناسب

مختصات نقطه فروپاشی ولتاژ هر شین که شامل بار کل شبکه و ولتاژ شین مزبور است، برای کلیه شین های بار، از محاسبه نقطه ماکزیمم منحنی درجه دو برازش شده به دست می آید. هر شینی که زودتر یا به عبارت دیگر، در بار کمتری به ناپایداری برسد، تعیین کننده حد پایداری ولتاژ شبکه می باشد. با اعمال الکوی بارهای همسان، بار تک تک شین ها در زمان ناپایداری ولتاژ شبکه قابل محاسبه است. به این ترتیب تأثیر بار کلیه شین ها در پایداری ولتاژ هر شین در نظر گرفته می شود.

مختصات نقطه فروپاشی ولتاژ شبکه در حالت بروز اغتشاش نیز با روش فوق تعیین می شود و برای هر اغتشاش، مراحل فوق تکرار می گردد. به این ترتیب بار کل شبکه در لحظه فروپاشی ولتاژ در حالت کار عادی و در حالت وقوع تک تک اغتشاشات تعیین می گردد و با اعمال الکوی بارهای همسان، بار هر شین نیز تعیین می شود. فاصله توان شبکه در نقطه کار از توان کل شبکه در لحظه فروپاشی ولتاژ، معیار رتبه بندی اغتشاشات است.

۲-۳- روش محاسبه پاسخ ولتاژ پایین معادلات پخش بار

برای محاسبه نقطه سوم جهت برازش منحنی درجه دو که پاسخ ولتاژ پایین معادلات پخش بار می باشد، به روش زیر عمل می شود [۱۵]: در این روش نقطه شروع معادلات پخش بار به ناحیه ای از فضای V-Q سوق داده

می شود که بتواند معادلات پخش بار را به پاسخ ولتاژ پایین همگرا نماید (شکل ۶).

۱- ابتدا معادلات پخش بار در نقطه کار حل می شود (لازم است که روش معادلات پخش بار، روش نیوتن رافسون در مختصات قطبی باشد).

۲- به V_{Hi} که اندازه ولتاژ بالا می باشد، ΔV_i که یک عدد منفی می باشد، اضافه می گردد $(V_{Hi} + \Delta V_i)$.

۳- $\Delta \theta_i$ از روابط زیر به دست می آید:

$$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1n-1} \\ C_{21} & & & \\ \vdots & & & \\ C_{n-11} & C_{n-12} & \dots & C_{n-1n-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta_1 \\ \Delta \theta_2 \\ \vdots \\ \Delta \theta_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_1 \\ D_1 \\ \vdots \\ D_{n-1} \end{bmatrix} \quad (۶)$$

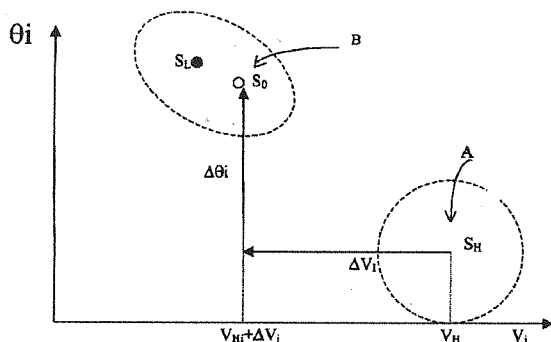
$$C_{kk} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{X_{ki}} (V_k + \Delta V_k) (V_i + \Delta V_i) \cos(\theta_k - \theta_i) \quad (۷)$$

$$C_{ki} = -\frac{1}{X_{ki}} (V_k + \Delta V_k) (V_i + \Delta V_i) \cos(\theta_k - \theta_i) \quad (۸)$$

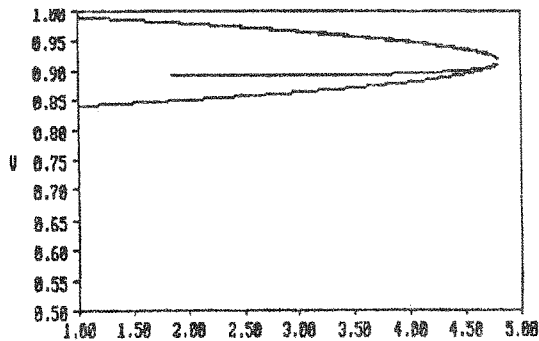
$$D_k = \sum_{i=1}^n -\frac{1}{X_{ki}} (V_k \Delta V_i + V_i \Delta V_k + \Delta V_k \Delta V_i) \sin(\theta_k - \theta_i) \quad (۹)$$

۴- $(V_{Hi} + \Delta V_i)$ و $(\theta_{Hi} + \Delta \theta_i)$ ها به عنوان نقطه شروع برنامه پخش بار به کار می روند.

۵- اگر پاسخ ولتاژ پایین به دست آمد، الگوریتم پایان می پذیرد، در غیر این صورت ΔV_i را افزایش و دوباره به مرحله ۲ باز می گردیم.



شکل (۶) انتقال نقطه شروع به ناحیه ای که معادلات پخش بار را به پاسخ ولتاژ پایین همگرا نماید



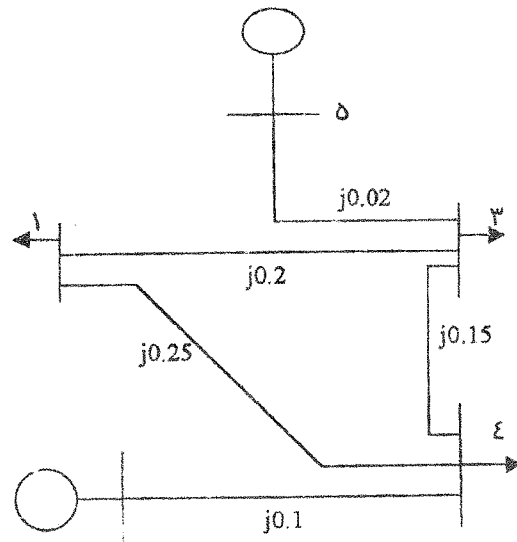
شکل (۹) منحنی V-P و منحنی درجه دو برازش شده برای شین شماره ۳ شبکه پنج شینه

۳-۳. استفاده از شبکه عصبی جهت رتبه بندی اغتشاشات

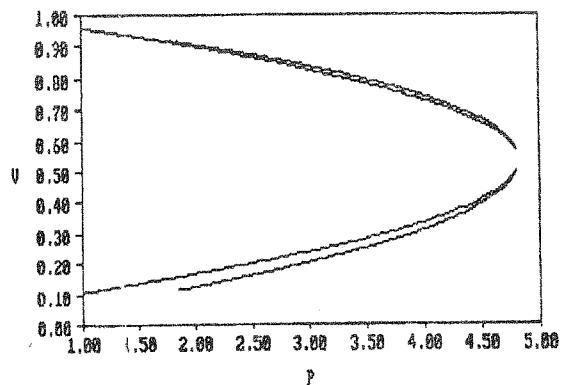
در این بخش نشان داده خواهد شد که چگونه می توان از قابلیت های شبکه های عصبی برای تعیین حد ناپایداری ولتاژ، در صورت بروز اغتشاش و در نتیجه رتبه بندی اغتشاشات از دیدگاه پایداری ولتاژ بهره جست. ورودی های شبکه عصبی برای هر اغتشاش، اندازه ولتاژ شین های مصرف و توان مصرفی حقیقی کل سیستم قدرت می باشد، حال آن که خروجی، فاصله توان کل سیستم قدرت در نقطه کار تا آن توان در لحظه فروپاشی است. به منظور سهولت و دقت بیشتر، فاصله مزبور با استفاده از روش پیشنهادی طرح شده در بخش ۱-۳ محاسبه می شود. با استفاده از تعداد قابل توجهی نمونه و برای هر اغتشاش، شبکه آموزش داده می شود؛ بدین ترتیب تعداد زیادی شبکه عصبی، به تعداد اغتشاشات ممکن، آموزش داده می شود. باید توجه کرد که در این مقاله تنها اغتشاشات منفرد لحاظ شده است. در حالت زمان واقعی از پایگاه داده ها و خروجی برنامه تخمین گر حالت، ورودی های شبکه عصبی به سهولت در دسترس است. در این صورت برای هر اغتشاش، فاصله تا ناپایداری تعیین شده و با توجه به حد فاصله، اغتشاشات رتبه بندی می گردند. با استفاده از سایر ابزارهای موجود در سیستم مدیریت انرژی [۱۶]؛ می توان محاسبات دقیق را برای بدترین اغتشاشات انجام داد.

شبکه عصبی مورد استفاده، یک شبکه چند لایه تغذیه از جلو، با یک لایه ورودی و یک یا چند لایه میانی و یک لایه خروجی است. الگوریتم اصلاح ضرایب و پارامترهای شبکه، الگوریتم انتشار خطا به عقب است. تعداد لایه های میانی و نوترون های هر لایه میانی به

در شکل های ۸ و ۹ منحنی V-P به همراه منحنی برازش شده درجه دو به ترتیب برای شین شماره ۱ و شین شماره ۲ شبکه پنج شینه شکل ۷ در حالت کار عادی ترسیم شده است. مقایسه منحنی درجه دو با منحنی V-P بیانگر این واقعیت است که منحنی درجه دو در شاخه پایدار و در حوالی نقطه ناپایداری ولتاژ به منحنی V-P واقعی بسیار نزدیک است.



شکل (۷) شبکه پنج شینه



شکل (۸) منحنی V-P و منحنی درجه دو برازش شده برای شین شماره ۱ شبکه پنج شینه

بزرگی سیستم قدرت بستگی دارد. در نتایج ارائه شده در بخش ۴ برای سیستم ده شینه که دارای شش شین مصرف است، تعداد ورودی های شبکه عصبی با توجه به تعداد شین های مصرف، شش و باتوجه به آزمایش های انجام شده، تعداد لایه های میانی یک، تعداد نوئون های لایه میانی ده، و تعداد نوئون لایه خروجی، یک انتخاب شده است. در ضمن باتوجه به اینکه خروجی تنها فاصله توان کل نقطه کار تا ناپایداری برحسب مگاوات است، تعداد نوئون لایه خروجی تنها یک می باشد.

۴ - نتایج

۴-۱ - سیستم مورد مطالعه

الگوریتم ارائه شده در این مقاله بر روی یک شبکه ده شینه مطابق شکل ۱۰ آزمایش شده است. از مقاومت خطوط انتقال صرفنظر شده است. پارامترهای شبکه در ضمیمه آمده است.

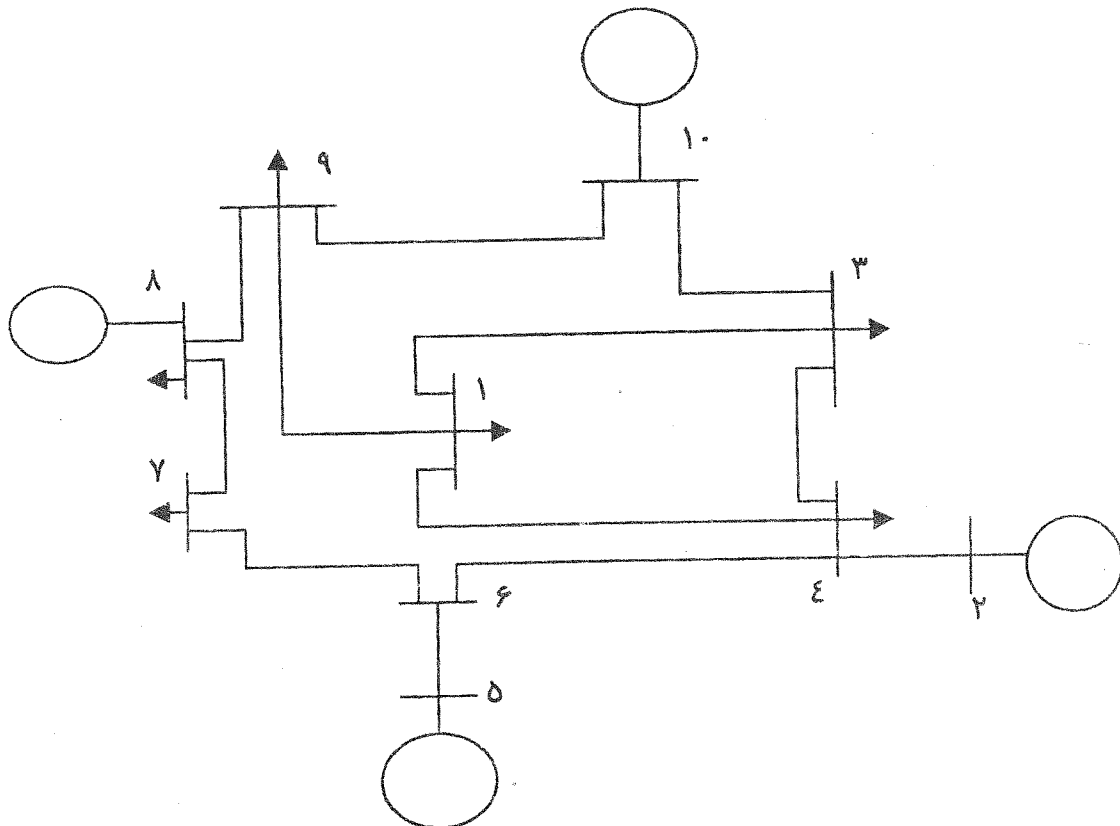
۴-۲ - شبکه عصبی مورد استفاده

با انجام آزمایش های مختلف جهت انتخاب تعداد لایه های میانی و تعداد نوئون لایه های میانی برای شبکه تست شکل ۱۰، از شبکه عصبی با یک لایه میانی

که دارای ده نوئون می باشد، استفاده شده است. با این انتخاب خطای آموزش شبکه عصبی به حدود ۰/۰۰۴/ تقلیل می یابد و همچنین سرعت آموزش شبکه عصبی نیز در حد قابل قبولی می باشد.

در آموزش شبکه عصبی، (همچنانکه در بخش پیش گفتیم) بارها همسان فرض شده است. تغییرات بار وسیعی اعمال شده و شبکه آموزش داده شده است. در جدول ۱ نمونه هایی از الگوهای آموزشی در حالت کار عادی شبکه آمده است. جدول های نمونه ای هم برای هر اغتشاش در نظر گرفته شده است. بنابراین در نهایت به تعداد اغتشاش، شبکه عصبی آموزش یافته داریم. ورودی های شبکه عصبی همچنانکه گفتیم، ولتاژهای همه شین های PQ و کل بار حقیقی شبکه است. ولی همزمان، توان راکتیو شین های مصرف نیز تغییر یافته اند، به گونه ای که ضریب قدرت ثابت بماند. برای تست شبکه های عصبی آموزش یافته از نقطه کاری مطابق جدول ۲ استفاده شده است که این نقطه کار در الگوی آموزش شبکه عصبی نیست.

لازم به توضیح است که چون خروجی نمونه های آموزشی واقعی خارج از بازه (۰-۱) می باشد، لذا خروجی بر این بازه تصویر شده است.



شکل (۱۰) شبکه ده شینه

جدول (۱) نمونه‌هایی از الگوهای آموزشی شبکه عصبی در حالت کار عادی شبکه

ورودی								خروجی
شماره نمونه	بارکل شبکه p.u.	V ₁ p.u.	V ₃ p.u.	V ₄ p.u.	V ₆ p.u.	V ₇ p.u.	V ₉ p.u.	فاصله تا ناپایداری
۰	۳/۰	۰/۹۴۱۷	۰/۹۸۳۹	۰/۹۶۴۲	۰/۹۸۵۶	۰/۹۶۱۸	۰/۹۵۴۵	۰/۹۶۰۱
۱	۲/۵	۰/۹۳۰۵	۰/۹۸۰۹	۰/۹۵۷۴	۰/۹۸۲۸	۰/۹۵۴۲	۰/۹۴۵۸	۰/۹۰۱۳
۲	۴/۰	۰/۹۱۸۹	۰/۹۷۷۷	۰/۹۵۰۴	۰/۹۷۹۷	۰/۹۴۶۵	۰/۹۳۶۷	۰/۷۲۴۸
۹	۶/۰۶	۰/۸۶۴۲	۰/۹۶۳۲	۰/۹۱۷۶	۰/۹۶۵۲	۰/۹۰۹۸	۰/۸۹۳۸	۰/۶۰۰۱
۱۰	۶/۰۸	۰/۸۶۳۶	۰/۹۶۳۰	۰/۹۱۷۲	۰/۹۶۵۰	۰/۹۰۹۴	۰/۸۹۳۳	۰/۵۹۷۸
۱۱	۶/۱	۰/۸۶۳۰	۰/۹۶۲۸	۰/۹۱۶۸	۰/۹۶۴۹	۰/۹۰۹۰	۰/۸۹۲۸	۰/۵۹۵۴
۱۵۱	۸/۹	۰/۷۵۸۹	۰/۹۳۶۷	۰/۸۵۷۲	۰/۹۳۷۳	۰/۸۴۰۵	۰/۸۱۱۱	۰/۲۶۶۰
۱۵۲	۸/۹۲	۰/۷۵۷۹	۰/۹۳۶۴	۰/۸۵۶۷	۰/۹۳۷۱	۰/۸۳۹۹	۰/۸۱۰۶	۰/۲۶۳۶
۲۰۷	۱۰/۰۲	۰/۶۹۴۷	۰/۹۲۱۹	۰/۸۲۳۳	۰/۹۲۱۴	۰/۸۰۱۷	۰/۷۶۱۰	۰/۱۳۴۳
۲۰۸	۱۰/۰۴	۰/۶۹۳۲	۰/۹۲۱۶	۰/۸۲۲۶	۰/۹۲۱۰	۰/۸۰۰۹	۰/۷۵۹۹	۰/۱۳۱۹
۲۵۰	۱۰/۸۸	۰/۶۱۲۵	۰/۹۰۵۱	۰/۷۸۴۶	۰/۹۰۳۸	۰/۷۶۰۸	۰/۶۹۸۱	۰/۰۳۳۱
۲۶۰	۱۱/۰۸	۰/۵۷۵۵	۰/۸۹۸۳	۰/۷۶۹۴	۰/۸۹۷۴	۰/۷۴۷۶	۰/۶۷۰۳	۰/۰۰۹۵
۲۶۳	۱۱/۱۴	۰/۵۵۶۸	۰/۸۹۵۱	۰/۷۶۲۳	۰/۸۹۴۷	۰/۷۴۲۶	۰/۶۵۶۴	۰/۰۰۲۴

جدول (۲) نقطه کاری تست شبکه عصبی

بار کل شبکه p.u.	V ₁ p.u.	V ₃ p.u.	V ₄ p.u.	V ₆ p.u.	V ₇ p.u.	V ₉ p.u.
۳/۶	۰/۹۲۸	۰/۹۸۰	۰/۹۵۶	۰/۹۸۲	۰/۹۵۲	۰/۹۴۴

جدول (۳) فاصله تا ناپایداری در حالت عادی و اغتشاشات مختلف

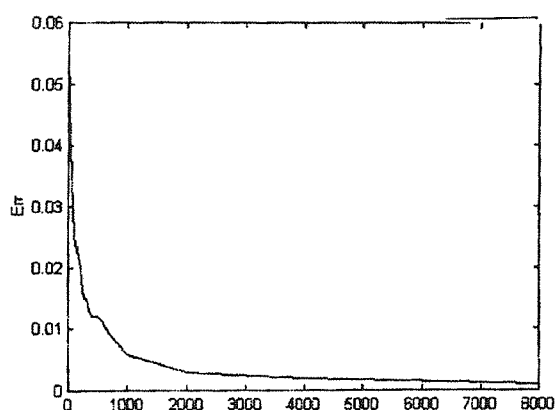
نوع اغتشاش	فاصله تا ناپایداری	شین ضعیف
خارج شدن خط شماره ۱ از مدار	۴/۷۰۹	شین ۷
خارج شدن خط شماره ۲ از مدار	۷/۰۹۷	شین ۶
خارج شدن خط شماره ۳ از مدار	۶/۷۵۴	شین ۳
خارج شدن خط شماره ۴ از مدار	۲/۱۶۷	شین ۷
خارج شدن خط شماره ۵ از مدار	۲/۱۵۱	شین ۹
خارج شدن خط شماره ۶ از مدار	۵/۰۲۱	شین ۷
خارج شدن خط شماره ۷ از مدار	۴/۲۴۳	شین ۷
خارج شدن خط شماره ۸ از مدار	۱/۶۷۳	شین ۷
خارج شدن خط شماره ۹ از مدار	۵/۶۷۳	شین ۴
خارج شدن خط شماره ۱۰ از مدار	۴/۶۸۸	شین ۹
خارج شدن نیروگاه شین شماره ۲ از مدار	۳/۲۳۱	شین ۷
خارج شدن نیروگاه شین شماره ۵ از مدار	۴/۷۹۴	شین ۳
خارج شدن نیروگاه شین شماره ۸ از مدار	۳/۱۴۳	شین ۲
حالت عادی شبکه	۷/۵۲۲	شین ۷

۳-۴- رتبه بندی اغتشاشات

اغتشاشات به صورت منفرد در نظر گرفته شده است. اغتشاشاتی که رتبه بندی می شوند، خارج شدن خطوط از مدار و خارج شدن نیروگاه ها از مدار می باشد. با ورودی های جدول ۲ برای حالت کار عادی و هر نوع اغتشاش، فاصله تا ناپایداری که خروجی شبکه عصبی می باشد، در جدول ۳ آمده است. به این ترتیب شین های ضعیف در زمان تعیین حداکثر بارگذاری مجاز شبکه شناسایی می شوند و اغتشاشات مختلف برحسب میزان فاصله تا ناپایداری رتبه بندی می شوند. در جدول ۴ اغتشاشات، رتبه بندی شده اند.

در شکل ۱۱ منحنی خطای آموزش شبکه عصبی برحسب تعداد تکرار در آموزش شبکه ده شینه در حالت اغتشاش شماره ۴ ترسیم شده است؛ Err میانگین حداقل

مربعات خطای آموزش می باشد. مشاهده می شود که خطا به حداقل مقدار ۰/۰۰۳ رسیده است.



شکل (۱۱) منحنی خطای آموزش شبکه عصبی

جدول (۲) نتایج حاصل از رتبه بندی اغتشاشات در شبکه ده شینه

رتبه اغتشاش	نوع اغتشاش	فاصله تا ناپایداری p . u	شین ضعیف
۱	خارج شدن خط شماره ۸ از مدار	۱/۶۷۲	شین ۷
۲	خارج شدن نیروگاه شین شماره ۸ از مدار	۳/۱۴۲	شین ۲
۳	خارج شدن خط شماره ۵ از مدار	۳/۱۵۱	شین ۹
۴	خارج شدن خط شماره ۴ از مدار	۳/۱۶۷	شین ۷
۵	خارج شدن خط شماره ۲ از مدار	۳/۲۳۱	شین ۷
۶	خارج شدن خط شماره ۷ از مدار	۴/۲۴۲	شین ۷
۷	خارج شدن خط شماره ۱۰ از مدار	۴/۶۸۸	شین ۹
۸	خارج شدن خط شماره ۱ از مدار	۴/۷۰۹	شین ۷
۹	خارج شدن نیروگاه شین ۵ از مدار	۴/۷۹۴	شین ۳
۱۰	خارج شدن خط شماره ۶ از مدار	۵/۰۲۱	شین ۷
۱۱	خارج شدن خط شماره ۹ از مدار	۵/۶۷۲	شین ۴
۱۲	خارج شدن خط شماره ۳ از مدار	۶/۷۵۴	شین ۳
۱۳	خارج شدن خط شماره ۲ از مدار	۷/۰۹۷	شین ۶
	حالت عادی شبکه	۷/۵۲۲	شین ۷

۵- نتیجه گیری

رتبه بندی اغتشاشات از دیدگاه پایداری و لتاژ به صورت زمان واقعی در سیستم مدیریت انرژی بسیار مهم است. از طرفی تعداد اغتشاشاتی که ممکن است در شبکه قدرت رخ دهد، زیاد است و بررسی دقیق همه آنها بسیار زمان گیر می باشد.

با استفاده از الگوی بارهای همسان و انتخاب معیار مناسب، فاصله توان کل شبکه در نقطه کار تا توان کل شبکه در نقطه ناپایداری و لتاژ با احتساب تأثیر بار کلیه شین ها، مورد بررسی قرار گرفت. به کمک شبکه های عصبی، اغتشاشات ممکن در سیستم به صورت منفرد از دیدگاه ناپایداری و لتاژ مورد بررسی قرار گرفته و رتبه بندی گردید.

اغتشاشاتی که در این مقاله رتبه بندی شدند، از نوع خارج شدن خطوط از مدار و خارج شدن واحدهای تولیدی از مدار بودند. در ادامه کار می توان انواع دیگر اغتشاشات را نیز رتبه بندی نمود. احتمال وقوع اغتشاشات در این مقاله یکسان در نظر گرفته شدند. می توان احتمال وقوع اغتشاشات را نیز با این روش ترکیب نمود و به این ترتیب روش کاملتری را برای رتبه بندی اغتشاشات ارائه کرد. در شبکه های بزرگ قدرت که ممکن است تعداد ورودی های شبکه عصبی خیلی زیاد شود، می توان با استفاده از روش حساسیت، ورودی های مهمتر را انتخاب نمود و از حجم ورودی ها کاست. مؤلفین مقاله انجام موارد فوق را در دستور کار دارند.

ضمیمه - پارامترهای شبکه ده شین

شین ابتدای خط	شین انتهای خط	X (p . u.)
۱	۴	۰/۲۵
۱	۳	۰/۲۵
۱	۹	۰/۱
۲	۴	۰/۲
۲	۴	۰/۳
۲	۱۰	۰/۰۲
۴	۶	۰/۱
۶	۵	۰/۰۴
۶	۷	۰/۲
۷	۸	۰/۲۵
۸	۹	۰/۲
۹	۱۰	۰/۲

مراجع

- [1] N. Flatabo, R. Ognedal, T. Carlsen, "Voltage Stability Condition in a Power Transmission System Calculated by Sensitivity Methods" IEEE PWRS-5, 1990, pp. 1286-1293.
- [2] C.L. Demaro, "An Energy Based Security Measure for Assessing Vulnerability to Voltage Collapse", IEEE PWRS-5, 1990, pp. 419-425.
- [3] T. Tanaka, K. Tanaka, "Developmet of Static and Simulation Programs for Voltage Stability Studies of Bulk Power Systems", IEEE PWRS-12, 1997, pp. 273-281.
- [4] T.V. Cutsem, C.D. Vournas, "Voltage Stability Analysis in Transient and Midterm Time Scales", IEEE PWRS-11, 1996, pp. 146-152
- [5] W. Xu, Y.M. Mansour, "Voltage Stability Analysis Using Generic Dynamic Load Models", IEEE PWRS-9, 1994, pp. 479-493
- [6] A. Caldon, R. Mari, "On Dynamic Load Models for Voltage Stability Studies", IEEE PWRS-12, 1997, pp. 293-305
- [7] K. Yabe, J. Koda, "Conceptual Design of AI-based Systems for Local Prediction of Voltage Collapse", IEEE PWRS-11, 1996, pp. 137-145.
- [8]. T.V. Cutsem, "An Approach to Corrective Control of Voltage Instability Using Simulation and Sensitivity", IEEE PWRS-10, 1995, pp. 614-622.
- [۹] حسین سیفی، کارل ایمهوف، بررسی پایداری ولتاژ به صورت زمان واقعی در سیستم‌های بزرگ قدرت، کنفرانس مهندسی برق ایران، ۱۳۷۵، دانشگاه تهران.
- [10] H. O. Chiang, R.J. Jumeau, "Towads a Practical Index for Predicting Voltage Collapse in Electric

- Power Systems", IEEE PWRS -10, 1995, pp. 584-592.
- [11] O.B. Fosso, N. Flatabo, A. T. Holen, "Comparison of Methods for Calculation of Margins to Voltage Instability", Athens Power Tech. Conference, Greece, 1993.
- [12] G.C. Ejebe, G.S. Irisarri, "Methods for Contingency Screening and Ranking for Voltage Stability Analysis of Power Systems", IEEE PICA 1995, pp. 249-255.
- [13] v. Ajjarapu, "The Continuation Power Flow, A Tool for Steady State Voltage Stability Analysis", IEEE PWRS-7, 1991, pp. 416-423.
- [14] A.J. Wood, B.F. Wollenberg, "Power Generation Operation and Control", Wiley, 1994.
- [15] M. Suzuki, S. Wada, M. Sato, "Newly Developed Voltage Security Monitoring Systems", IEE PWRS-8, 1992, pp. 965-973.
- [16] H. Seifi, K. Imhof, "Voltage Stability Analysis in an Energy Management System - A Practical Implementation", Power System Computation Conference, 1997, Dresden, Germany.