مروری بر روش‌های تشخیص ایمنی سیستم قدرت

مصطفی عیدیانی/ موسسه آموزش عالی خراسان/ eidiani@khorasan.ac.ir

چکیده

در این مقاله روش تشـخیص ایمنی سیسـتم قدرت غیرمتمرکز با روش دقیق و تقریبی آورده شده است. تاریخچه مختصری از روش‌های پیش‌بینی بار، پیش‌بینی تولید، پخش بار اقتصادی-فازی، پخش بار احتمالی، روش‌های تعیین پایداری گذرا و پایداری ولتاژ آورده شـده است. این روش‌ها دسته‌بندی و اولویت‌بندی شده‌اند. در انتها با سیستم واقعی، ایمنی سیستم قدرت با روش دقیق و تقریبی محاسبه‌شده است و دقت و سرعت دو روش با هم مقایسه شده‌اند.

کلمات کلیدی: رتبه‌بندی پیشامدها، سیستم غیرمتمرکز، منطق فازی، پیش‌بینی بار

A review of methods for power system security assessment

Mostafa Eidiani/ Khorasan Institute of Higher Education/eidiani@khorasan.ac.ir

Abstract:

In this paper, the methods of decentralized power system security assessment is presented with an accurate and approximate method. A brief history of load and generation forecasting methods, economic-fuzzy load flow, probabilistic load flow and transient and voltage stability assessment are presented. These methods are categorized and prioritized. In the end, power system security assessment is calculated with a real system and the accuracy and speed of the methods are compared.

Keywords: Contingency Ranking, Decentralized Power System, Fuzzy Logic, Load Forecasting

۱- مقدمه

از قدیـم تصور بر آن بـود که صنعت برق یک انحصار طبیعی اسـت بـه این معنی که قابل‌تبدیل به بازار نمی‌باشـد چون اصل اولیه بازار، تعداد بازیگران زیاد آن می‌باشـد و در صنعت برق امکان‌پذیر نیسـت. ولی در حقیقت فقط شبکه انتقال انحصار طبیعی[1] دارد و بخش تولید و مصرف امکان خصوصی شـدن دارد. هم‌زمان با بهبود سـاختارهای مدیریتی، فناوری سـخت‌افزاری صنعت برق نیـز بهبود یافت. بهبود ساختار ژنراتور، توربین، خطوط انتقال، تجهیزات مختلف، نرم‌افزارها، امنیت سیسـتم، کیفیت انرژی و ... همگی باعث شـد سـد انحصار طبیعی تولید شکسته شود و تولیدکنندگان کوچک وارد بخش تولید شـوند. بهبود مقررات و قوانین باعث شـد که به نتایج سـودمند زیر برسیم [۱]:

- جلوگیری از اجحاف بین تولیدکنندگان انحصاری
- جلوگیری از هدر رفتن سرمایه‌های ملی
- تامین حداقل نیاز اقشار ضعیف
- کمک به رشد صنایع کشاورزی

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-05-19]

- حمایت از صنایع داخلی سازنده تجهیزات
- افزایش رقابت در عرصه خدمات
- امکان رسیدن به سود ناشی از بازسازی
- ایجاد یک ساختار برای بازار برق که باعث رقابت بیشتر، هزینه کمتر و خدمات مطمئن‌تر شود.
- تهیه اطلاعات کافی برای مشتریان در انتخاب انرژی و تضمین حفاظت مصرف‌کنندگان
- توسعه منابع الکتریکی متنوع و خاص محیط
- دسترسی عام و غیر تبعیض‌آمیز به خدمات برق

البته مشکلات اساسی خصوصی‌سازی پس از وارد شدن به آن نمود می‌کند که در این مقاله مشکل ایمنی سیستم قدرت بررسی می‌شود چرا که در ساختار جدید صنعت برق، تشخیص ایمنی سیستم بسیار متفاوت از سیستم قدیم می‌باشد و راه‌حل‌های جدیدی را می‌طلبد. یکی از تفاوت‌های سیستم جدید نسبت به سیستم قدیم، عدم قطعیت در مقادیر مصرف و تولید می‌باشد. در سیستم غیرمتمرکز، هر ناحیه کنترلی نه‌تنها از نواحی اطراف خویش هیچ‌گونه اطلاعی ندارد بلکه با آن‌ها رقیب نیز می‌باشد. درنتیجه توان واردشده به ناحیه کنترلی مورد بررسی دارای عدم قطعیت می‌باشد همچنین مصرف و تولید در ناحیه کنترلی به دلیل بازار آزاد و رقابت برای کسب بیشترین سود، دارای عدم قطعیت می‌باشند. در این سیستم مشکلات فراوانی به وجود می‌آید که در صورت حل شدن آن‌ها، می‌توان از مزایای یک سیستم رقابتی سود جست[۱]. یکی از مشکلات به وجود آمده، تشخیص ایمنی سیستم قدرت می‌باشد که در این مقاله درباره آن بحث می‌شود .بخش دوم مقاله به پیش‌بینی بار و تولید وابسته به قیمت، پخش بار اقتصادی فازی و پخش بار احتمالی می‌پردازد. در این قسمت بر اساس مقادیر تولید و مصرف که به‌صورت احتمالی و یا اعداد فازی مدل زده‌شده‌اند یک پخش بار اقتصادی احتمالی و یا فازی انجام می‌شود. در بخش، ایمنی سیستم جدید با وجود تمام عدم قطعیت‌ها محاسبه می‌شود که به دو زیر قسمت پایداری گذرا و پایداری ولتاژ تقسیم‌شده است و تاریخچه مختصری از روش‌های موجود در سیستم متمرکز (قدیم) آورده شده است. این روش‌ها دسته‌بندی و اولویت‌بندی شده‌اند. در انتها با یک مثال، نحوه تعیین ایمنی یک سیستم غیرمتمرکز نشان داده‌شده است.

۲-تجزیه و تحلیل اطلاعات

۲-۱- پیش‌بینی بار

در سیستم‌های قدیمی (متمرکز)، قیمت ثابت بوده و تولید بر اساس بار، به‌طور اقتصادی تعیین می‌شد. بار به درجه حرارت، زمان، روزهای مشخص و غیره وابسته است که توسط روش‌های مختلفی از قبیل سری‌های زمانی، شبکه‌های عصبی، عصبی فازی و ... پیش‌بینی بار انجام می‌شود[۲].

در سیستم‌های جدید (خصوصی)، قیمت برق ثابت نبوده و تولید و مصرف به‌صورت رقابتی با یکدیگر کار می‌کنند از این‌رو بار علاوه بر وابستگی به پارامترهای قبلی به قیمت نیز وابسته است. چنانچه قیمت افزایش یابد مصرف کم و در صورت کاهش قیمت برق، مصرف افزایش می‌یابد. علاوه بر آن، قیمت برق به تولید نیز وابسته است. افزایش تولید، کاهش قیمت و کاهش تولید، افزایش آن را در بردارد. همچنین، تولید و مصرف در هر لحظه سعی می‌کنند در بهترین نقطه اقتصادی کار کنند بنابراین پیش‌بینی بار در این سیستم، مشکل‌تر از حالت قبل است. پاسخ در این قسمت، تعیین بار در زمان‌های آینده به‌صورت یک عدد فازی (یا با تابع چگالی احتمال) می‌باشد در واقع بار، با یک نوع عدم قطعیت مشخص‌شده است. روش‌های پیش‌بینی بار را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه و به ترتیب اهمیت و زمان ارایه آن دسته‌بندی کرد[۳-۵]

۱- روش‌های پیک بار (رگرسیون و سری‌های زمانی)
۲- روش‌های شکل بار
۲-۱-روش‌های قدیمی مبتنی بر روابط پیچیده ریاضی
۱-۱-۲-رگرسیون و سری‌های زمانی (MA, AR, ARMA, ARIMA)
۲-۱-۲-هموارسازی نمایی
۳-۱-۲-فیلتر کالمن
۴-۱-۲-باکس جنکینز
۲-۲- روش‌های جدید و هوشمند
۱-۲-۲-شبکه‌های عصبی (ANN)
۲-۲-۲-شبکه‌های عصبی-فازی (FNN)[۶]
۳-۲-۲- ترکیب ANN یا FNN و روش‌های شناسایی الگو

۲-۲-پیش‌بینی تولید

برای پیش‌بینی تولید نواحی همسایه، باید بر اساس پیش‌بینی بار در ناحیه کنترلی مورد بحث و قیمت برق در همین ناحیه و نواحی اطراف، توان واردشده به ناحیه کنترلی پیش‌بینی شود. این توان را می‌توان به‌صورت یک عدد فازی (یا تابع چگالی احتمال) مشخص کرد[۷].

۲-۳- پخش بار اقتصادی فازی (احتمالی)

پس از پیش‌بینی بار با در نظر گرفتن قیمت، تولید هر واحد و توان انتقالی تمام خطوط، با استفاده از پخش بار اقتصادی فازی (و یا احتمالی) محاسبه می‌شود. در این قسمت تمام تولیدات، مصارف و توان‌های عبوری از خطوط، به‌صورت اعداد فازی (و یا احتمالی) مشخص می‌شوند[۷].

روش‌های پخش بار اقتصادی را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه و به ترتیب زمان ارایه آن دسته‌بندی کرد:[۸]

۱- پخش بار اقتصادی توان
۲- پخش بار اقتصادی توان با در نظر گرفتن تلفات
۳- پخش بار اقتصادی توان با هماهنگی تولید آبی و حرارتی
۴- پخش بار دینامیکی
۵- پخش بار توان موهومی به‌منظور بهبود سطح ولتاژ
۶- روش آنالیز حساسیت در حل مساله پخش توان موهومی
۷- پخش بار بهینه با در نظر گرفتن مدل‌های فرآیند اتفاقی
۸- پخش بار بهینه با استفاده از منطق فازی
۹- پخش بهینه توان با منابع غیرعمومی
۱۰- پخش بار اقتصادی در سیستم‌های نوین

۲-۴-پخش بار فازی (احتمالی)

پس از حل پخش بار اقتصادی فازی (و یا احتمالی) توان‌های تولیدی و مصرفی بهینه وابسته به قیمت تعیین‌شده است. بنابراین از این قسمت به بعد احتیاج به یک پخش بار احتمالی (و یا فازی) داریم تا بتوان ولتاژها و زوایای باس‌ها را تعیین کرد. ازآنجا که ورودی‌ها دارای عدم قطعیت می‌باشند خروجی‌های برنامه نیز دارای عدم قطعیتی به‌صورت یک تابع چگالی احتمالی (و یا یک عدد فازی) می‌باشد. در این قسمت روش پخش بار احتمالی به‌طور خلاصه آورده شده است[۹]. ابتدا با مقادیر میانگین اطلاعات ورودی، پخش بار DC و

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-05-19]

سپس پخش بار AC به روش نیوتن رافسون انجام می‌شود. سپس مقادیر احتمالی به برنامه پخش بار احتمالی اضافه می‌شود. پخش بار احتمالی از تغییر معادلات پخش بار نیوتن رافسون و با استفاده از بسط سری گرام-چارلیر[۲] مرتبه هشتم به دست می‌آید[۹]. در ازای ورودی با مقادیر احتمالی، خروجی پخش بار احتمالی به‌صورت نمودارهای تابع چگالی احتمال برای ولتاژها، زاویه‌ها و توان‌های خطوط قابل‌محاسبه و رسم می‌باشد. به‌طور خلاصه روش پخش بار احتمالی دارای الگوریتم زیر است:

۱- ورود اطلاعات
۲- پخش بار DC
۳- پخش بار AC
۴- تشکیل ماتریس‌های امپدانس، ادمیتانس، ژاکوبین
۵- واردکردن مقادیر احتمالی مربوط به ژنراتورها، بارها
۶- محاسبه تراکم و گشتاور متغیرهای اتفاقی
۷- محاسبه تابع چگالی احتمال متغیر
۸- رسم تابع چگالی احتمال برحسب متغیر اتفاقی

در بخش بعدی خروجی پخش بار احتمالی برای یک مثال نمونه آورده شده است.

۳- تشخیص ایمنی

تشخیص ایمنی سیستم قدرت به دو قسمت تعیین پایداری گذرا و پایداری ولتاژ تقسیم‌شده است که در بخش‌های بعدی درباره آن‌ها بیشتر توضیح داده می‌شود.

۳-۱-روش‌های تعیین پایداری گذرا

در این قسمت روش‌های پایداری گذرا به‌صورت زیر خلاصه و به ترتیب زمان ارایه آن دسته‌بندی شده است[۱۰و۱۱]:

۱- روش شبیه‌سازی
۲- روش شناسایی الگو
۳- روش‌های مستقیم
۳-۱- روش صفحه-فاز
۳-۲- روش سطوح مساوی
۳-۳- معیار انتگرال-انرژی
۳-۴- روش نقطه به نقطه
۳-۵- روش مستقیم لیاپانوف
۳-۵-۱- نزدیک‌ترین نقطه تعادل ناپایدار
۳-۵-۲- نقطه تعادل ناپایدار کنترل‌کننده[۱۲]
۳-۵-۳- شاخص بر اساس ارتباط[۳]
۳-۵-۴- روش اتای[۴]
۳-۵-۵- روش سطح مرزی انرژی پتانسیل[۵] PEBS (روش کاکی‌موتو[۶])
۳-۵-۶- شاخص بر اساس شبکه عصبی مصنوعی[۱۳]
۳-۵-۷- شاخص بر اساس تابع انرژی گذرای خلوت
۳-۵-۸- روش‌های جدید بر اساس تقریب در محاسبه نقطه تعادل ناپایدار
۳-۵-۸-۱- روش BCU [۱۴]
۳-۵-۸-۲- روش CTS و POMP [۱۵و۱۶]
۳-۵-۸-۳- روش» ضربه دوم"[۷] [۱۷]
۳-۵-۸-۴- شاخص‌های ترکیبی[۸] [۱۸]

روش‌هایی که از تقریب نقاط تعادل ناپایدار سیستم استفاده می‌کنند مانند (۳-۵-۸)، از سرعت و دقت بالایی نسبت به دیگر روش‌ها برخوردار می‌باشند [۱۸].

۳-۲-روش‌های تعیین پایداری ولتاژ

در این قسمت روش‌های پایداری ولتاژ به‌صورت زیر خلاصه و به ترتیب زمان ارائه آن دسته‌بندی شده است [۱۹و۲۰]:

۱- پخش بار تداومی
۲- شرایط عددی در ویژه بودن ماتریس ژاکوبین
۳- شاخص فاصله بین نقطه تعادل پایدار و نقطه تعادل ناپایدار
۴- شاخص اختلاف انرژی بین نقطه تعادل پایدار و ناپایدار[۲۱]
۵- حل معادله مشخصه سیستم برای پیدا کردن نقطه بحرانی
۶- محاسبه حساسیت معادلات پخش بار به تغییرات بار
۷- روش تابع انرژی

بیشتر روش‌های پایداری ولتاژ دارای مقاله‌های جدید می‌باشند به‌طوری‌که روش‌های قبلی را بهبود داده‌اند و به‌راحتی نمی‌توان آن‌ها را به‌صورت زمانی مرتب کرد. به‌عنوان مثال قدیمی‌ترین روش، پخش بار متوالی می‌باشد که باز هم بر روی آن کارهای جدیدی انجام‌شده است و در بیشتر روش‌ها برای مقایسه روش‌ها از آن استفاده می‌شود[۲۲].

۴- روش بررسی

در این بخش دو روش تقریبی و دقیق برای تشخیص ایمنی سیستم قدرت غیرمتمرکز توضیح داده می‌شود. در هر روش ابتدا بارها و تولید با روش‌های پیش‌بینی بار و تولید مشخص می‌شوند و با استفاده از ایده‌های قبل برای تعیین پایداری ولتاژ و پایداری گذرا، ایمنی سیستم قدرت غیرمتمرکز تعیین می‌شود. در روش دقیق برای تعیین پایداری ولتاژ از الگوریتم روش پخش بار متوالی معمولی[۲۲] استفاده می‌شود. با این تفاوت که برنامه‌نویسی به‌صورت فازی می‌باشد و تمام اعمال ریاضی با متغیرهای فازی انجام می‌شود. ورودی‌ها (بارها و تولید) نیز دارای عدم قطعیت می‌باشند و درنتیجه حد پایداری ولتاژ نیز دارای عدم قطعیت می‌باشد.

برای تعیین پایداری گذرا از روش CTSA [۱۵] استفاده‌شده است که از روش PEBS سریع‌تر و دقیق‌تر است. در اینجا هیچ‌گونه تغییری در الگوریتم تعیین پایداری گذرا داده نشده است، فقط تمام محاسبات و اعمال ریاضی با متغیرهای فازی انجام می‌شود و در نتیجه خروجی‌ها یعنی زمان قطع بحرانی نیز دارای عدم قطعیت می‌باشد. ازآنجاکه هیچ‌گونه تغییری در الگوریتم تعیین پایداری ولتاژ و پایداری گذرا داده نشده است و فقط نوع برنامه‌نویسی از حالت عادی به برنامه‌نویسی با اعداد فازی تغییریافته است از این‌رو در مورد روش‌ها توضیح بیشتری آورده نشده است. برای برنامه‌نویسی با اعداد فازی از مرجع[۲۳] استفاده‌شده است.

در روش تقریبی به‌جای استفاده از برنامه‌نویسی فازی از برنامه‌نویسی معمولی استفاده‌شده است و ازآنجاکه ورودی‌ها دارای عدم قطعیت می‌باشند فقط چند نقطه کاری که دارای بیشترین و کمترین احتمال را دارا می‌باشند به‌عنوان ورودی استفاده می‌شوند. در ازای این ورودی‌ها با احتمالات مختلف، خروجی‌ها نیز با احتمالات مختلف محاسبه می‌شوند. هر چه تعداد این نقاط بیشتر باشد جواب این قسمت به جواب قسمت قبلی نزدیک‌تر است و در عوض زمان بیشتری برای محاسبات لازم است. برای اینکه تعداد این نقاط حداقل شود از روش‌های زیر استفاده می‌شود. برای پایداری ولتاژ از روش تحلیل حساسیت تغییر توان‌های ورودی (بارها یا تولید) به تغییر توان بار در نقطه موردنظر استفاده می‌شود. که همان روش تحلیل حساسیت مرجع [۲۴] می‌باشد و برای تعیین پایداری گذرا از روش تعیین پایداری با ساختار متغیر استفاده می‌شود (مرجع [۱۱] و

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-05-19]

[۲۵]). با اســتفاده از روش‌های تحلیل حساسیت برای پایداری ولتاژ و روش تغییر ســاختار برای پایداری ولتاژ، می‌توان بدترین و بهترین حالت را از نقطه نظر پایداری ولتاژ و گذرا در ازای تغییر توان‌های بار و تولید (که دارای عدم قطعیت می‌باشند) محاسبه کرد. به این معنی که با این دو روش فقط از ســه نقطه کار اســتفاده می‌شود. یک نقطه کار با بیشــترین احتمال که در پخش بار احتمالی به‌عنوان نقطه کار اســتفاده می‌شود؛ نقطه کار با بیشترین حد پایداری گذرا و یا ولتاژ و نقطه کار با کمترین حد پایداری گذرا یا ولتاژ.

۵- مثال عملی

شــبکه مورد بررسی، شبکه ساده‌شده خراســان می‌باشد که با اتصال به شــبکه‌های سراسری و شبکه سیســتان به‌عنوان دو ناحیه همسایه به‌صورت غیرمتمرکز تحلیل می‌شــود. فرض شــده اســت که این دو ناحیه توانی بــا عدم قطعیت مصرف می‌کنند و توانی از این دو ناحیه خریداری نمی‌شــود. (با آنکه برنامه کامپیوتری قادر اســت هر دو نوع تــوان تولیدی و مصرفی با عدم قطعیــت را تحلیل کند). اطلاعات بار شبکه برای ســال ۹۲ پیش‌بینی شده اســت که دارای عدم قطعیتی به‌صورت پیوســته در باس‌های بار مختلف می‌باشد[۲و۲۶]. بعضی از بارها در جدول (۱) آورده شده است.

جدول۱: بعضی از بارهای شبکه خراسان

		توان حقیقی		توان موهومی	
باس	نام	امید	انحراف معیار	امید	انحراف معیار
۱۰	عطار	۳۶/۰	۰/۰۹	۱۸/۰	۰/۰۹۲
۱۱	سبزوار	۵۲/۰	۰/۱۰	۱۰/۰	۰/۱۰۵
۴۱	بابک	۲۴/۰	۰/۱۱	۱۱/۰	۰/۰۹۷
۴۸	حمید	۴۷/۰	۰/۰۹	۲۳/۰	۰/۰۵
۴۶	چناران	۲۱/۷	۰/۰۹۵	۱۵/۱	۰/۰۹۵
۶۱	سیلو	۳۷/۰	۰/۱۰	۱۶/۲	۰/۱۰
۶۲	بازار	۴۴/۰	۰/۰۷۶	۱۰/۷	۰/۰۸۶

همچنیــن توان‌های مصرفــی دو ناحیه مجاور و با اســتفاده از آمار و اطلاعــات به‌دســت‌آمده به‌صورت عدم قطعیت در جدول (۲) نشــان داده‌شده است[۲و۲۶].

جدول ۲: توان‌های مصرفی نواحی همسایه شبکه خراسان

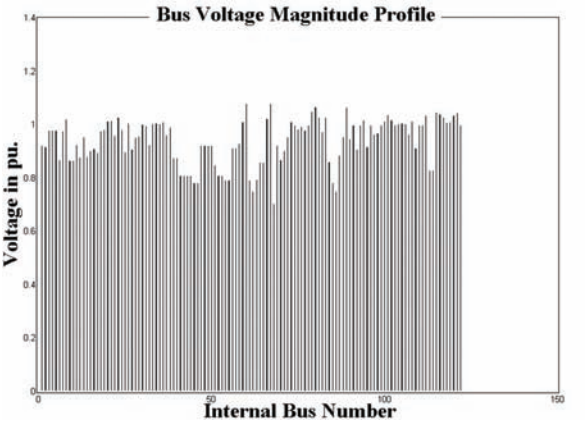
شبکه	امید	انحراف معیار
سراسری	۱۳۰	۰/۱۰
سیستان	۳۰	۰/۰۶

نرخ خروج اجباری ژنراتورها در جدول (۳) آورده شده است [۲۷,۲۶]. (برای سادگی فرض شده است نرخ خروج اجباری خطوط صفر است)

جدول ۳: نرخ خروج اجباری ژنراتورها و خطوط شبکه خراسان [۲۷]

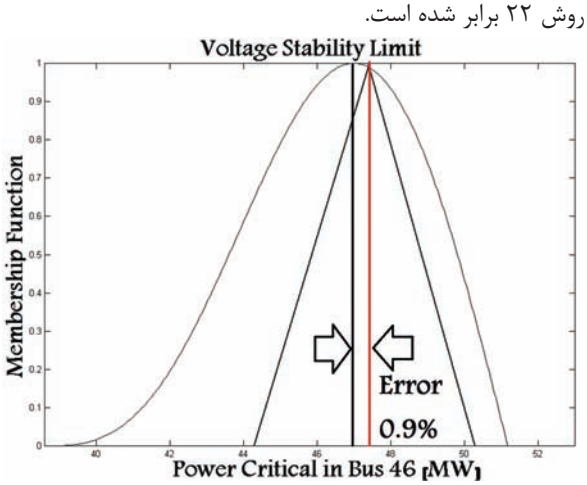
نام واحد	ظرفیت واحد	تعداد واحدها	FOR
طوس	۱۵۰	۴	۰/۰۹۸
مشهد۱	۶۰	۲	۰/۱۱۰
مشهد۲	۶۷/۵	۲	۰/۲۰۱
مشهد۳	۱۶	۲	۰/۲۰۱
شریعتی۱	۲۰/۵	۶	۰/۲۰۱
شریعتی۲	۱۱۵	۲	۰/۱۱۰
نیشابور	۱۱۰	۴	۰/۱۱۰
شیروان	۲۰	۶	۰/۲۰۱
قاین	۲۰	۳	۰/۲۰۱
طبس	۱۲۵	۴	۰/۱۱۰

و بالاخــره اطلاعــات خطوط، تولید، مصرف و ولتــاژ باس‌های کنترل ولتاژ از [۲۶]گرفته‌شــده است. تعداد کل باس‌ها ۱۲۲، تعداد خطوط اصلی ۷۹ و تعداد ژنراتورها ۱۵ در نظر گرفته‌شده است. پروفایل ولتاژ در نقطه کار در شــکل (۱) نشان داده‌شده است. برنامه نوشته‌شده در این قسمت، پخش بار ماتریسی خلوت به زبان مطلب است که سرعت آن ۲۵ برابر پخش بار معمولی است.



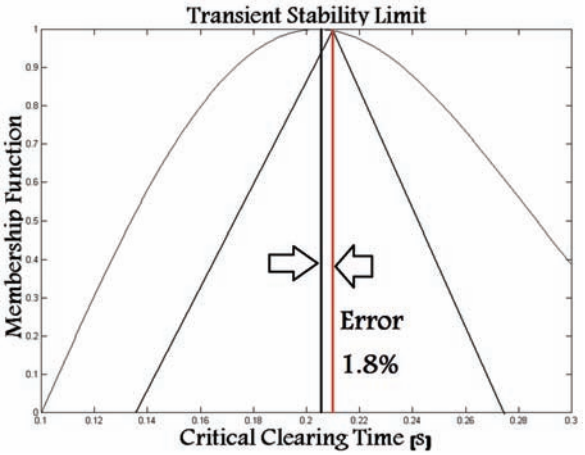
شکل ۱: پروفایل ولتاژ در نقطه کار

با استفاده از جداول (۱) تا (۳)، ابتدا پخش بار احتمالی انجام می‌شود. ولتــاژ باس‌ها و زوایا به‌صورت احتمالی و با چگالی احتمال مشــخص می‌شــود. سپس با استفاده از پخش بار متوالی حد پایداری ولتاژ باس ۴۶ (چناران) مشــخص می‌شود که در شکل (۲) نشان داده‌شده است به‌عبارت‌دیگــر حداکثــر توان مصرفی در باس بــار ۴۶ با یک منحنی مشــخص می‌شود و نه یک عدد. حال می‌توان حد پایداری ولتاژ باس ۴۶ را با روش تقریبی نیز به دست آورد که در شکل (۲) (خط راست) مشخص‌شــده است. دقت روش قابل‌قبول (خطا ۰,۹ درصد) و سرعت روش ۱۰/۳ برابر شده است. همچنین برای حد پایداری گذرا سیستم موردنظــر، ابتــدا پخش بار احتمالی انجام می‌شــود. ســپس پایداری گذرای سیستم در ازای اتصال کوتاه در خط چناران-قوچان و برطرف شــدن اتصال کوتاه بررسی می‌شود. زمان قطع بحرانی به روش دقیق در شکل (۳) به‌صورت احتمالی مشخص‌شده است. همچنین با روش تقریبی، زمان قطع بحرانی در شــکل (۳) (خط راســت) مشخص‌شده اســت که دقت به نسبت قابل قبولی دارد (خطا ۱,۸ درصد) و سرعت روش ۲۲ برابر شده است.



شکل ۲: حد پایداری ولتاژ در باس بار ۴۶ به روش دقیق (منحنی) و روش تقریبی (خطوط راست)

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-05-19]



شکل ۳: حد پایداری گذرا در ازای اتصال کوتاه در خط چناران-قوچان به روش دقیق (منحنی) و روش تقریبی (خطوط راست)

۶- نتیجه‌گیری

در سیستم غیرمتمرکز به دلیل ساختاری، عدم قطعیت‌های بیشتری در سیستم وجود دارد که باعث افزایش حجم اطلاعات ورودی به سیستم می‌شود. این عمل باعث می‌شود برنامه‌نویسی فازی مدنظر قرار بگیرد که روش دقیق این مقاله بر این اساس استوار است ولی همچنان‌که دیده‌شده زمان زیادی صرف تعیین جواب می‌شود و این زمان ارزش بیشتری نسبت به اطلاعات بدست‌آمده دارد. ولی روش تقریبی که با استفاده از تحلیل حساسیت در پایداری ولتاژ و تغییر ساختار سیستم در پایداری گذرا مشخص می‌شود به دلیل سرعت بالا، استفاده از برنامه‌های کلاسیک قبلی برای تعیین حدود پایداری ولتاژ و گذرا، استفاده از زیربرنامه‌های تحلیل حساسیت و تغییر ساختار برای تعیین پایداری، می‌تواند روش مناسبی برای تعیین ایمنی این نوع سیستم‌ها باشد.

پی‌نوشت‌ها

1 Monopoly
2 Gram-Charlier
3 Coherency
4 Athay
5 Potential Energy Boundary Surface
6 Kakimoto
7 Second Kick
8 Severity Indices

مراجع

[1]. The Changing Structure of the Electric Power Industry: An Update, www.eia.doe.gov/cneaf/electricity/chg-stru-update/

[۲]. یعقوب‌پور، محمود،«پیش‌بینی کوتاه‌مدت بار با استفاده از شبکه عصبی»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، تابستان ۱۳۷۶.

[۳]. یعقوب‌پور، محمود؛ خاتمی، مرتضی؛ مدیر شانه‌چی، محمد حسن،«روش‌های پیش‌بینی بار هوشمند»، ششمین کنفرانس مهندسی برق ایران ، اردیبهشت ۱۳۷۷.

[۴]. عیدیانی، مصطفی؛ یعقوب‌پور، محمود، «پیش‌بینی بار کوتاه‌مدت با استفاده از شبکه عصبی-فازی»، طرح پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بجنورد، ۱۳۷۹.

[5]. C.S. Chang and Minjun Yi, «Real-Time Pricing Related Short-Term Load Forecasting», 1998 International Conference on Energy Management & Power delivery, pp. 411-416, 1998.

[۶]. مقدس تفرشی، سید مسعود،«پیش‌بینی میان‌مدت میزان مصرف بار الکتریکی توسط شبکه عصبی-فازی»، دوازدهمین کنفرانس بین‌المللی برق، آبان ۱۳۷۶.

[7]. M. E. El. Hawary, Electric Power Application of Fuzzy Systems, IEEE Press Power Engineering Series, TK 1007.E43, pp. 321-335, 1998.

[۸]. عیدیانی، مصطفی، پخش بار بهینه، سمینار کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، تابستان ۱۳۷۵.

[۹]. عیدیانی، مصطفی؛ یعقوب‌پور، محمود، «پخش بار احتمالی»، طرح پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بجنورد، ۱۳۸۰.

[۱۰]. عیدیانی، مصطفی، دو روش جدید در تشخیص پایداری گذرا به روش مستقیم، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، ۱۳۷۵.

[11]. A.A. Fouad and Vijay Vittal, Power System Transient Stability Analysis Using the Transient Energy Function method, Prentice-Hall, 1992.

[12]. G.D. Irisarri and G.C. Ejeb, "Efficient Solution for Equilibrium Points in Transient Energy Function Analysis", IEEE Trans. On Power Sys., Vol. 9, No. 2, pp. 693-699, May 1994.

[13]. Y.T. Liu and etc., "Determination of Local Transient Stability Control Based on Neural Networks", International Conference of Energy Management & Power Delivery (EMPD'98), pp. 393-398, 1998.

[14]. H.D. Chiang and etc., "A BCU Method for Direct Analysis of Power System Transient Stability", IEEE Trans. on Power Sys., Vol. 9, No. 3, pp. 1194-1208, Aug. 1994.

[۱۵]. عیدیانی، مصطفی و مدیر شانه‌چی، محمد حسن، «CTS روش ترکیبی پایداری گذرا، روشی جدید در تشخیص پایداری گذرا به روش مستقیم»، دوازدهمین کنفرانس بین‌المللی برق، ص ۱۳-۱۷، ۱۳۷۶

[۱۶]. عیدیانی، مصطفی و مدیر شانه‌چی، محمد حسن، « POMP نقطه ماکزیمم انرژی پتانسیل، روشی جدید در تشخیص پایداری گذرا به روش مستقیم»، ششمین کنفرانس مهندسی برق ایران، صص ۲۳-۵ الی ۲۶-۵، ۱۳۷۷

[17]. Y. Mansour and E. Vaahedi and etc., "B.C. Hydro's on-line Transeint Stability Assessment Model Development, Analysis and Post-Processing", IEEE Trans. on Power Sys., Vol. 10, No. 1, Feb. 1995.

[18]. C. Fu and A. Bose, «Contingency Ranking Based on severity Indices in Dynamic Security Analysis», IEEE Trans. on Power Sys., Vol. 14, No. 3, pp. 980-986, Aug. 1999.

[19]. C. W. Taylor, Power System Voltage Stability, New York, McGraw-Hill, 1994.

[۲۰]. عیدیانی، مصطفی و مدیر شانه‌چی، محمد حسن، « کاربرد روش تابع انرژی برای تشخیص فروپاشی ولتاژ»، سیزدهمین کنفرانس بین‌المللی برق، ص ۷۷۲-۷۷۷، ۱۳۷۷

[21]. T.J. Overbye; Ian Dabson and C.L. DeMarco, «Q-V Curve Interpretations of Energy measure for Voltage Security», IEEE Trans. on Power Sys., Vol. 9, No. 4, pp. 331-340, Feb. 1994.

[۲۲]. عیدیانی، مصطفی؛ مدیر شانه‌چی، محمد حسن؛ واحدی، ابراهیم، «تعیین FCTTC با در نظر گرفتن پایداری ولتاژ و پایداری گذرا به روش انرژی»، دهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، مجموعه مقالات قدرت، ص ۹۴-۸۶، تبریز، اردیبهشت ۱۳۸۱.

[۲۳]. طاهری، سید محمود، آشنایی با نظریه مجموعه‌های فازی، جهاد دانشگاهی مشهد، ۱۳۷۵

[۲۴]. سیفی، حسین، تولید، بهره‌برداری و کنترل در سیستم‌های قدرت، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۱.

[۲۵]. عیدیانی، مصطفی، «تشخیص حد پایداری گذرا در یک سیستم قدرت با ساختار متغیر به روش حساسیت»، دومین کنفرانس دانشجویی برق ایران، ص ۴۸-۵۴، ۱۳۷۸

[۲۶]. شرکت برق منطقه‌ای خراسان، مرکز اطلاعات و آمار، مشهد، خراسان.

[۲۷]. عیدیانی، مصطفی؛ مدیر شانه‌چی، محمد حسن؛ پیروی، علی؛ مدقق، هادی؛ خجسته، علیرضا، «طراحی خط انتقال، جهت اتصال شبکه خراسان و سیستان و بلوچستان با بیشترین قابلیت اطمینان»، چهاردهمین کنفرانس بین‌المللی برق، ص ۴۲۶-۴۳۲، آبان ۱۳۷۸.

[۲۸]. کریمی، مازیار؛ کرمی، حسین؛ غلامی، مصطفی؛ خطیب زاده، هادی؛ مسلمی، نیکی، «اولویت‌بندی روزهای مشابه جهت پیش‌بینی بار کوتاه‌مدت شبکه ایران با در نظرگیری دما و بخش‌بندی سیستم قدرت»، مجله انجمن مهندسی برق و الکترونیک ایران، سال چهاردهم، شماره سوم، پائیز ۱۳۹۶.

[۲۹]. رضائی، حسین؛ کاظمی، اسدالله؛ پیروی، علی، «بررسی روش‌های هوشمند پیش‌بینی بار کوتاه‌مدت در شبکه توزیع با رویکرد بهینه‌سازی سود»، نشریه فناوری و پژوهش نوین، دوره۱، شماره۱، پاییز و تابستان ۱۳۹۶.

[۳۰]. حیدری، علی؛ عمارتی، سید محمدرضا؛ عسکر زاده، علیرضا؛ کی نیا، فرشید ، «برآورد و پیش‌بینی تقاضای سالانه برق ایران با استفاده از روش‌های کلاسیک و هوشمند»، سی‌امین کنفرانس بین‌المللی برق، آبان ۱۳۹۴.

[۳۱]. میرشکاری، مهرداد؛ ابراهیمی، رضا؛ سیاهی، مهدی، «پیش‌بینی کوتاه‌مدت و میان‌مدت بار در شبکه‌های توزیع با استفاده از شبکه عصبی بهبودیافته توسط سیستم خبره فازی»، اولین همایش ملی مهندسی قدرت و نیروگاه‌های هسته‌ای، آذر ۱۳۹۵.

***

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-05-19]