

تعیین پایداری ولتاژ شبکه خراسان با روش NRS توسعه یافته

مصطفی عیدانی

دانشگاه آزاد بجنورد

شرکت برق منطقه‌ای خراسان

www.eidiani.com

محمد حسن مدیر شانه‌چی

دانشگاه فردوسی مشهد

www.um.ac.ir

کاظم عاملی

مهندسی مشاور نارون سیستم شرق

www.narvan.ir

واژه‌های کلیدی: پایداری ولتاژ، روش NRS، نرم‌افزار مطلب، نرم‌افزار DPF

خلاصه

در این مقاله پایداری ولتاژ ایستا¹ یعنی بدون در نظر گرفتن دینامیک‌های سیستم برای شبکه خراسان انجام شده است. روش NRS² یا نیوتن - رافسون - سایدل روشی قدیمی ولی سریع و دقیق است که در این مقاله توسعه یافته است. همچنین اطلاعات دقیق شبکه خراسان که در نرم‌افزار DPF³ در دسترس بود بصورت استاندارد کتاب درسی بررسی سیستم‌های قدرت تبدیل شده و قابل دسترس است.

۱- مقدمه

پایداری ولتاژ به توانایی سیستم قدرت در حفظ ولتاژهای سیستم در وضعیت عادی و بعد از وارد شدن خطا اطلاق می‌شود. سیستم هنگامی وارد حالت ناپایداری ولتاژ می‌شود که بروز اغتشاش، افزایش در بار مورد نیاز و یا تغییر در موقعیت سیستم، موجب کاهش غیر قابل کنترل ولتاژ گردد. عامل اصلی ناپایداری، ناتوانی سیستم قدرت در مواجهه با تقاضا برای توان موهومی می‌باشد. پایداری ولتاژ را می‌توان به دو دسته پایداری ولتاژ اغتشاش بزرگ و اغتشاش کوچک تقسیم کرد. پایداری ولتاژ اغتشاش بزرگ، توانایی سیستم را در کنترل ولتاژ، بدنبال بروز یک خطای بزرگ، از قبیل خطاهای سیستم، از دست دادن بار و یا از دست دادن تولید، در نظر می‌گیرد. این نوع پایداری را می‌توان به کمک شبیه‌سازهای غیرخطی در حوزه زمان مطالعه کرد. فقط باید در این معادلات، مدل‌های عناصری که نقش بسزایی بر پایداری ولتاژ دارند در نظر گرفت؛ از جمله تغییر دهنده تپ ترانسفورماتور، تنظیم کننده‌های تغییر دهنده فاز، مدل‌های دقیق بار (وابستگی بار به ولتاژ و فرکانس)، کنترل

کننده‌های توان موهومی و ... [1,2]. ساختار کلی مدل سیستم برای تحلیل پایداری ولتاژ دینامیکی و تحلیل پایداری گذرا یکسان است و از آنجا که هدف این مقاله تحلیل استاتیکی پایداری ولتاژ است لذا در اینجا بیشتر بر روی روشهای پایداری سیگنال کوچک بحث می‌شود.

پایداری ولتاژ اغتشاش کوچک یا سیگنال کوچک، توانایی سیستم در کنترل ولتاژ بدنبال بروز خطاهای کوچک از قبیل تغییرات تدریجی بار می‌باشد. این شکل از پایداری را می‌توان با روشهای حالت ماندگار که از خطی‌سازی معادلات دینامیکی سیستم در یک نقطه کار معلوم بدست آمده‌اند مطالعه کرد. روشهای مهم مورد استفاده عبارتند از [3,4]: تحلیل حساسیت V-Q، تحلیل مدل V-Q، پخش بار تداومی، روشهای انرژی، شاخص فاصله اقلیدسی بین نقطه تعادل پایدار و ناپایدار، شاخص تابع آزمایش، شاخص درمینان و روش NRS.

بعضی از روشهای فوق را می‌توان برای تعیین ATC⁴ نیز بکار برد که در این مقاله بر روی روش NRS تاکید شده است. سرعت زیاد، دقت بالا و همگرایی عالی از مزایای این روش بشمار می‌آید و تنها عیب آن پیچیدگی روش است. عیب روش NR⁵ نسبت به GS⁶ نیز پیچیدگی روش است ولی در تمام نرم‌افزارها از روش NR استفاده می‌شود و در واقع پیچیدگی روش عاملی برای حذف آن بشمار نمی‌رود. این روش می‌تواند علاوه بر نقاط تعادل پایدار سیستم، نقاط تعادل ناپایدار را نیز محاسبه کند یعنی تمام نقاط منحنی V-Q را بدست آورد. در این مقاله روش NRS که در مراجع [5-7] مورد استفاده قرار گرفته است توسعه یافته تا با دقت و سرعت بیشتری به سمت جواب همگرا شود. روش ارائه شده بر روی شبکه واقعی و دقیق

⁴ Available Transmission Capability

⁵ Newton - Raphson

⁶ Gause - Seydel

¹ Static

² Newton - Raphson - Seydel

³ DIGSILENT Power Factory

$$v = \begin{bmatrix} v_1 \\ \dots \\ v_n \end{bmatrix} : \quad \text{بردار ویژه متنظر با مقدار ویژه } \lambda$$

α : پارامتر جستجو
 $X = [x, v, \alpha]$ متغیرهای روش NRS
 $\|v\|$ نرم اقلیدسی بردار ویژه
 p : بردار جهت ATC (نشان دهنده باسهای افزایش بار و تولید)

برای حل مجموعه معادلات (۱) تا (۳) از روش نیوتن استفاده می‌شود لذا باید از این معادلات نسبت به متغیر X مشتق گرفت سپس از روش تکراری زیر X را محاسبه کرد:

$$\Delta X^{(r)} = [F_X(X)]^{-1} \cdot F(X) \quad (۵)$$

$$X^{(r+1)} = X^{(r)} + \Delta X^{(r)} \quad (۶)$$

که بالانویس (r) مرحله r ام را مشخص می‌کند و $X^{(0)}$ شرایط اولیه سیستم است و $F_X(X) = \frac{\partial F}{\partial X}$ ماتریس ژاکوبین در روش NRS است که در روش "تقریبی" بصورت زیر محاسبه شده است [5-7]:

$$F_X(X) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} & 0 & -p \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} * \text{diag}(v_1, v_2, \dots, v_n) & \frac{\partial f}{\partial x} - \lambda * I & 0 \\ 0 & \frac{v'}{\|v\|} & 0 \end{bmatrix} \quad (۷)$$

که:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} * \text{diag}(v_1, v_2, \dots, v_n) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f_1}{\partial x_1^2} * v_1 & \dots & \frac{\partial^2 f_1}{\partial x_n^2} * v_n \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial^2 f_n}{\partial x_1^2} * v_1 & \dots & \frac{\partial^2 f_n}{\partial x_n^2} * v_n \end{bmatrix} \quad (۸)$$

خراسان آزمایش شده است و از سه نرم‌افزار DPF، مطلب و ATCT⁷ در این تحلیل استفاده شده است. دقت و سرعت روش ارائه شده در این مقاله قابل توجه است.

۲- روش NRS

روش NRS یک روش تعمیم یافته از پخش بار نیوتن رافسون (NR) است که برای پخش بار سیستم تحت فشار، تعیین حد پایداری ولتاژ و یا تعیین ATC ایستا مورد استفاده قرار می‌گیرد و می‌تواند نقاط تعادل پایدار و ناپایدار سیستم را تعیین کند. در مراجع قبلی [5-7] از روش NRS تقریبی استفاده شده است ولی در این مقاله این روش توسعه یافته و دقت و سرعت آن افزایش یافته است. امکان واگرایی روش قبلی [5_7] وجود دارد.

۱-۲- روش "تقریبی" NRS

معادلات تعیین ATC استاتیک بصورت زیر تعریف شده است [5-7]:

$$f(x) - y_0 - p * \alpha = 0 \quad (۱)$$

$$\left(\frac{\partial f}{\partial x} - \lambda * I \right) * v = 0 \quad (۲)$$

$$\|v\| - 1 = 0 \quad (۳)$$

که می‌توان معادلات فوق را بصورت زیر خلاصه کرد:

$$F(X) = 0 \quad (۴)$$

در صورتیکه:

X_{n*1} : متغیرهای سیستم، اندازه و زاویه ولتاژ باسها

$f(x)$: معادلات پخش بار

y_0 : مقادیر اولیه توانهای تولیدی و مصرفی

$J = \frac{\partial f}{\partial x} (n * n)$: ماتریس ژاکوبین سیستم

λ : کوچکترین مقدار ویژه ماتریس ژاکوبین

$\lambda = 0$ شرط رسیدن به مرز پایداری سیستم

⁷ ATC Toolbox

و:

ترانهاده v'

$$J_{ik} = \frac{\partial f_i}{\partial x_k} \quad (13)$$

با تعاریف فوق و معادله ۱۰، می‌توان نوشت:

$$H_{ij} = \frac{\partial J_{i1}}{\partial x_j} * v_1 + \frac{\partial J_{i2}}{\partial x_j} * v_2 + \dots + \frac{\partial J_{in}}{\partial x_j} * v_n \quad (14)$$

$$= \frac{\partial}{\partial x_j} (J_{i0}) * v$$

که در آن J_{i0} بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$J_{i0} = [J_{i1} \quad J_{i2} \quad \dots \quad J_{in}]_{1*n} \quad (15)$$

پس می‌توان H را بصورت زیر نوشت:

$$H = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x_1} (J_{10}) * v & \frac{\partial}{\partial x_2} (J_{10}) * v & \dots & \frac{\partial}{\partial x_n} (J_{10}) * v \\ \frac{\partial}{\partial x_1} (J_{20}) * v & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial}{\partial x_1} (J_{n0}) * v & \dots & \dots & \frac{\partial}{\partial x_n} (J_{n0}) * v \end{bmatrix}_{n*n} \quad (16)$$

و یا بطور خلاصه داریم:

$$H = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x_1} (J) * v & \dots & \frac{\partial}{\partial x_n} (J) * v \end{bmatrix}_{n*n} \quad (17)$$

مقدار H را باید از معادله (۱۷) در معادله (۹) قرار داد سپس با استفاده از روش نیوتن رافسون معمولی، معادله (۴) و یا (۵) و (۶) را حل نمود. تفاوت بسیاری بین رابطه (۱۷) و (۸) وجود دارد. رابطه (۱۷) دقیق ولی پیچیده است ولی رابطه (۸) باعث عدم همگرایی کل معادلات می‌شود که قابل قبول نمی‌باشد. در ادامه از روش "NRS توسعه یافته" برای تعیین پایداری ولتاژ و ATC ایستا استفاده شده است.

۳- نرم افزارهای مورد استفاده

برای اطمینان از پاسخ جوابها از سه نرم افزار DPF، مطلب و ATCT استفاده شده که در این بخش بطور خلاصه معرفی می‌شوند.

v' :

مشکل این روش، معادله (۸) است که بسیار تقریبی است و در بعضی از مواقع باعث عدم همگرایی روش می‌شود. در قسمت بعدی، روش "NRS توسعه یافته" با تصحیح معادله (۸) بدست آمده است.

۲-۲- روش NRS توسعه یافته

در این بخش معادله (۷) و به عبارت دیگر معادله (۸) تصحیح می‌شود. اگر معادله (۷) بصورت خلاصه زیر نوشته شود:

$$F_X(X) = \begin{bmatrix} J & 0 & -p \\ H & J - \lambda * I & 0 \\ 0 & \frac{v'}{\|v\|} & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

به دنبال مقدار دقیق H هستیم که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$H = \frac{\partial}{\partial X} ((J - \lambda * I) * v) = \frac{\partial}{\partial X} (J * v) \quad (10)$$

$$= \frac{\partial}{\partial X} \left(\begin{bmatrix} J_{11} & \dots & J_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ J_{n1} & \dots & J_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ \dots \\ v_n \end{bmatrix} \right) =$$

$$= \frac{\partial}{\partial X} \left(\begin{bmatrix} J_{11} * v_1 + J_{12} * v_2 + \dots + J_{1n} * v_n \\ \dots \\ J_{n1} * v_1 + J_{n2} * v_2 + \dots + J_{nn} * v_n \end{bmatrix} \right)$$

$$= \frac{\partial}{\partial X} \left[\sum_{k=1}^n J_{ik} * v_k \right] = \frac{\partial}{\partial X} \begin{bmatrix} g_1 \\ \dots \\ g_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial g_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial g_1}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial g_n}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial g_n}{\partial x_n} \end{bmatrix}$$

که در معادله فوق داریم:

$$g_i = \sum_{k=1}^n J_{ik} * v_k \quad (11)$$

$$H_{ij} = \frac{\partial g_i}{\partial x_j} = \sum_{k=1}^n \frac{\partial J_{ik}}{\partial x_j} * v_k = \sum_{k=1}^n \frac{\partial^2 f_i}{\partial x_j \partial x_k} * v_k \quad (12)$$

۳-۱- DPF

در این بخش، شبکه خراسان معرفی می‌شود که چهار سطح ۴۰۰، ۲۳۰، ۱۳۲ و ۶۳ کیلو ولت، خطوط، ترانسها و ژنراتورها در آن بطور دقیق مشخص شده‌اند و می‌توان از آن در مطالعات ایستا و پویا استفاده کرد. از آنجا که اطلاعات شبکه خراسان، ابتدا تحت نرم‌افزار DPF مشخص بود؛ در ابتدا، این شبکه تحت این نرم‌افزار توضیح داده شده است.

۴-۱- شبکه خراسان تحت DPF

شکل‌های (۱) تا (۴) شبکه تک خطی ژنراتورها، ۴۰۰، ۱۳۲ و ۶۳ کیلو ولت شبکه خراسان را تحت DPF نشان می‌دهد. این شکل‌های گرافیکی، فعال بوده و پارامترهای هر عنصر را می‌توان براحتی تغییر داد. شبکه خراسان (سال ۸۳) دارای ۳۸ ژنراتور، ۱۵۶ خط، ۲۵۷ باس و ترمینال، ۱۲۲ ترانس دو سیم‌پیچه، ۱۶ ترانس سه سیم‌پیچه و ۷ سلف ۵۰ مگاوازی می‌باشد. شکل‌های (۱) تا (۴) از مرجع [10] قابل دریافت است. برای تعیین پایداری ولتاژ و ATC باید بصورت گام به گام عمل کرد تا سیستم به مرز پایداری برسد.

۴-۲- شبکه خراسان تحت مطلب

در این قسمت چگونگی تبدیل شبکه خراسان تحت DPF به مطلب بطور خلاصه بیان شده است. توان مینا ۱۰۰ مگا ولت آمپر و ولتاژهای ۴۰۰، ۲۳۰، ۱۳۲، ۶۳، ۳۳، ۲۰، ۱۵، ۱۰/۵، ۶/۳ و ۵/۵ کیلو ولت، ولتاژهای مینای مورد استفاده می‌باشند. در پریونیت ترانسها این نکته قابل توجه است که مثلاً اگر دو ترانس T1(63kv/20kv) و T2(63kv/21kv) در شبکه داشته باشیم و ولتاژ مینای اولیه ۶۳ کیلو ولت باشد؛ در تحلیل استاندارد شبکه، ولتاژ مینای ثانویه T1، ۲۰ کیلو ولت و T2، ۲۱ کیلو ولت می‌شود که در حالت پریونیت هر دو ترانس بصورت یک به یک (۱:۱) تبدیل می‌شوند. ولی نرم‌افزار DPF ولتاژ ثانویه ترانس T2 را 1.05p.u نشان می‌دهد. در واقع ولتاژ مینای ثانویه هر دو ترانس ۲۰ کیلو ولت در نظر گرفته شده است. لذا برای یکسان بودن پاسخها، در نرم‌افزار مطلب، ترانس T2 بصورت یک ترانس با تپ ۱/۰۵ در ثانویه در نظر گرفته شده است بدون اینکه این تپ در اندازه امپدانس ترانس تأثیری داشته باشد که در ادامه توضیح داده می‌شود.

نرم‌افزار DPF یک نرم‌افزار پیشرفته است که توسط متن بین‌الملل برای شرکت‌های برق منطقه‌ای از جمله برق منطقه‌ای خراسان تهیه شده است. علت اصلی استفاده از این نرم‌افزار در این مقاله، وجود اطلاعات شبکه خراسان تحت این نرم‌افزار بود. قدرت گرافیکی بالا، کارکرد ساده، امکان در نظر گرفتن تمام جزئیات اجزاء سیستم، کتابخانه کامل، تحلیل کامل شبکه بصورت ایستا و پویا^۸ از مزایای این نرم‌افزار بشمار می‌آید. در این مقاله برای تایید صحت محاسبات نرم‌افزارهای نوشته شده، از این نرم‌افزار استفاده شده است.

۳-۲- مطلب

نرم‌افزار مطلب یک نرم‌افزار پر قدرت برای کارهای آموزشی و پژوهشی است که در تمام دانشگاهها مورد استفاده قرار می‌گیرد. مرجع [8] که در بعضی از دانشگاهها برای تدریس بررسی سیستمهای قدرت در نظر گرفته شده است برنامه‌های آموزشی با نرم‌افزار مطلب دارد که مثالهای درس را برای دانشجویان حل نموده است و دانشجویان می‌توانند تمرینها و پروژه‌های مختلفی با برنامه‌های نوشته شده در این کتاب انجام دهند. لذا ارائه یک شبکه واقعی و بومی مانند شبکه خراسان بصورت استاندارد یک کتاب درسی می‌تواند کمک زیادی در حل مشکلات این شبکه بنماید.

۳-۳- ATCT

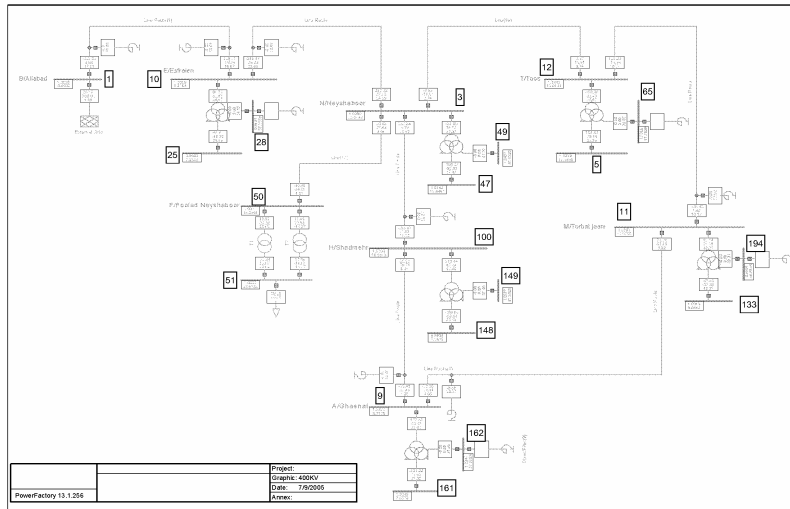
برای تعیین ATC ایستا از نرم‌افزار دیگری بنام ATCT استفاده شده است [9]. در این نرم‌افزار که از روش "NRS توسعه یافته" استفاده شده است قادر است علاوه بر پخش بار معمولی با این روش، ATC ایستا، پویا و نقطه انشعاب^۹ را نیز محاسبه کند. پاسخهای این نرم‌افزار با DPF مقایسه شده است که در قسمت بعد درباره آن توضیح داده می‌شود. قابل توجه است که نرم‌افزار DPF که در دسترس شرکت‌های برق منطقه‌ای است فعلاً قادر به تعیین ATC نمی‌باشد و باید به آن جعبه ابزار^{۱۰} جداگانه‌ای اضافه نمود.

۴- سیستم مورد مطالعه

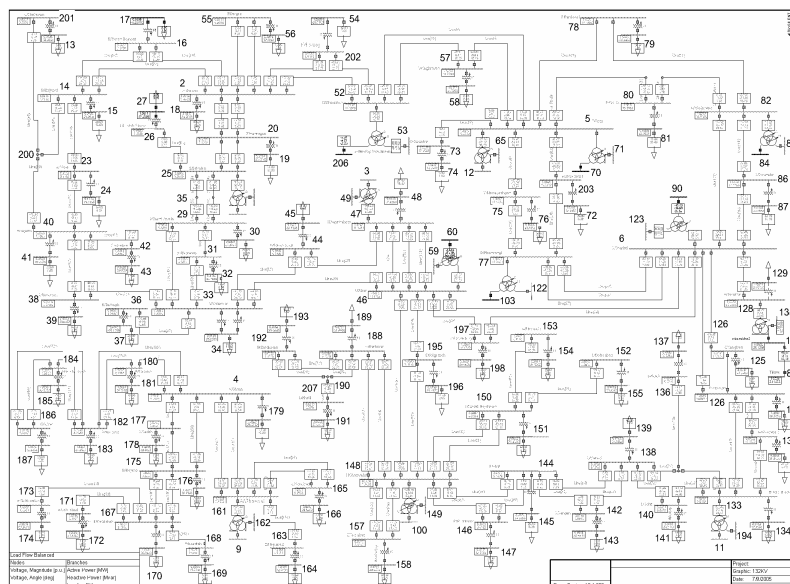
⁸ Dynamic

⁹ Bifurcation Point

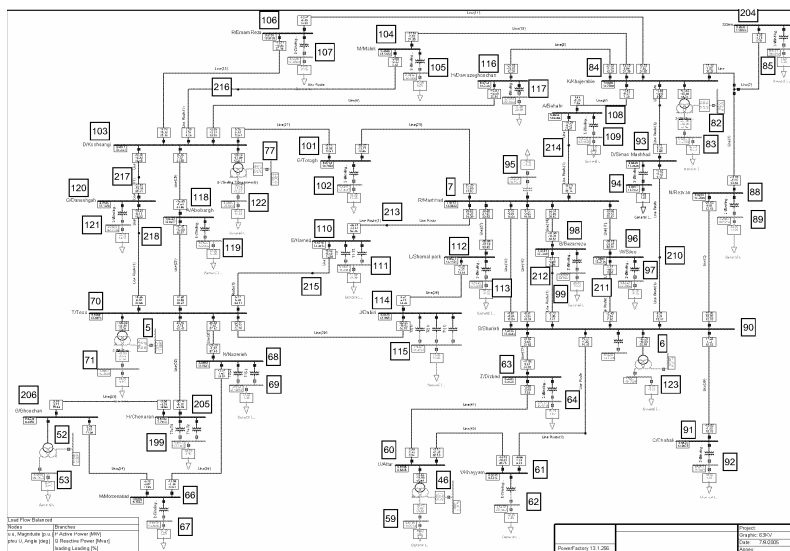
¹⁰ Toolbox



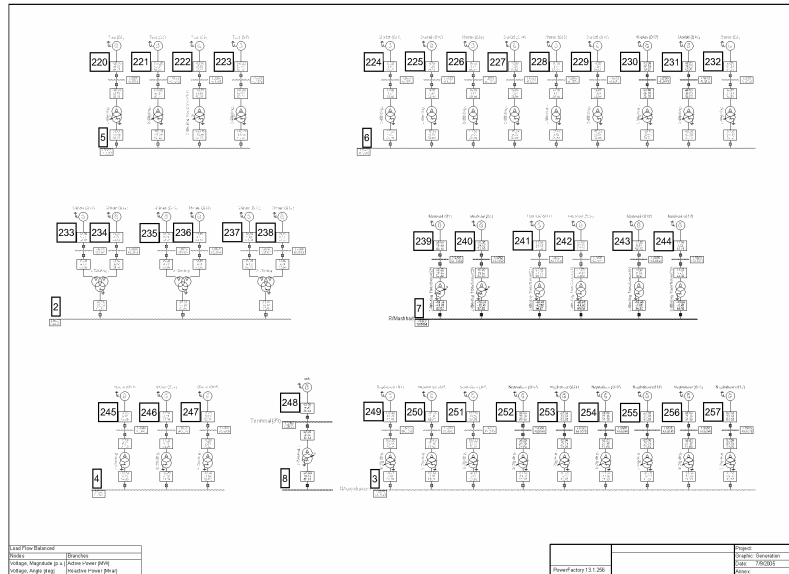
شکل (۱) - شبکه ۴۰۰ کیلو ولت خراسان تحت نرم افزار DPF [10]



شکل (۲) - شبکه ۱۳۲ کیلو ولت خراسان تحت نرم افزار DPF [10]



شکل (۳) - شبکه ۶۳ کیلو ولت خراسان تحت نرم افزار DPF [10]



شکل (۴) - شبکه ژرانورهای خراسان تحت نرم افزار DPF [10]

۴-۳- شبکه خراسان تحت ATCT

برنامه ATCT یک برنامه تخصصی برای تعیین ATC ایستا و پویا است که با مطلب نوشته شده است و قادر است پخش بار را به روش NR و NRS توسعه یافته انجام دهد همچنین ATC ایستا و پویا را به کمک NRS توسعه یافته محاسبه کند^{۱۲} (شکل ۵) [9]. اطلاعات ورودی این برنامه با ساختار مرجع [8] تفاوت دارد و باید از یک برنامه مبدل برای تبدیل اطلاعات استفاده کرد. این برنامه دارای یک کمک قوی است که کاربران می توانند راهنماییهای لازم را در هر بخشی مشاهده نمایند (شکل ۶). ماتریس ژاکوبین و ژاکوبین توسعه یافته ابتدا به زبان C سپس به dll تبدیل می شود. با این کار سرعت برنامه بسیار افزایش می یابد. قابل توجه است که مهم ترین قسمت این برنامه در روش NRS، استفاده از کوچکترین مقدار ویژه برای تحلیل پایداری ولتاژ است. این برنامه قادر است کوچکترین مقدار ویژه یک ماتریس 1000×1000 را در یک کامپیوتر P4 در کمتر از ۳ ثانیه محاسبه کند که این سرعت با تبدیل برنامه محاسبه مقدار ویژه بصورت dll بدست آمده است. همچنین در الگوریتم "NRS توسعه یافته"، این مقدار ویژه فقط یکبار

نکته دوم، تغییر امپدانس ترانس در ازای تغییر تپ آن می باشد بطوریکه اگر راکتانس ترانس بر حسب پیرونیت در حالت خنثی 1.10% ، تغییر تپ از ۰ تا ۲۰، تپ خنثی ۱۰ و مقدار تپ $1.1/6\%$ در طرف HV باشد؛ مقدار راکتانس ترانس در تپ ۱۵ برابر است با:

$$\text{tap} = (1 - \frac{1.6}{100} \times 5) = 0.92 \Rightarrow \quad (18)$$

$$x^{\text{New}} (\text{p.u.}) = \text{tap}^2 \times 0.1 = 0.0846 = 8.46\%$$

نکته سوم، راکتورهای موازی ۵۰ مگاوار در خطوط ۴۰۰ کیلو ولت است که مقدار امپدانس آنها ۳۲۰۰ اهم می باشد. در برنامه پخش بار مطلب، توان موهومی خازن یا سلف قابل اضافه کردن می باشد ولی راکتورها در برنامه DPF، مانند راکتورهای واقعی بصورت امپدانس مدل زده شده اند. لذا باید بعد از محاسبه ماتریس ادمیتانس، این مقادیر به ماتریس اضافه شود.

قابل توجه است که برنامه پخش بار مرجع [8] بعضی مواقع و اگر می شود؛ لذا برنامه دیگری برای تحلیل پخش بار نوشته شده است که اولاً شماره باس مرجع می تواند غیر از یک باشد. باسهای کنترل ولتاژ می توانند هر باسی باشند و در صورتیکه توان موهومی تولیدی باس کنترل ولتاژ از محدوده خارج شد به باس بار تبدیل می شود. همچنین تمام محاسبات بصورت ماتریسی نوشته شده است (نه بصورت حلقه) که باعث افزایش سرعت محاسبات می شود [11,12]. خروجی این برنامه با خروجی برنامه DPF یکسان می باشد [10-12].

¹² - برای تعیین ATC پویا از روش PEBS استفاده شده است که در این مقاله وارد جزئیات روش ATC پویا نمی شویم. ترکیب "NRS توسعه یافته" با PEBS در تعیین ATC پویا، سریعترین و دقیقترین روش کاربردی است که همیشه به جواب می رسد [9] و از تمام روشهای قبلی تعیین ATC سریعتر و دقیقتر است [13,14].

نیستند چون به روش گام به گام از نرم افزار DPF استفاده شده است. مقادیر جدول (۱) در ازای واگرا شدن پخش بار بدست آمده‌اند. قبل از واگرا شدن، ژنراتورهای باس مشهد به حد توان موهومی خود رسیده‌اند. این موضوع برای تمام باسها اتفاق افتاده است.

همچنین در جدول (۲) حداکثر مقدار توان تولیدی در باس ترکمنستان در ازای مصرف توان در باس علی‌آباد (شبکه سراسری) بدست آمده است. در حداکثر مقدار تولید، اگر باس ترکمنستان ۱۹۴ مگاوات (۹۲-۲۸۶) بیشتر از مقدار پایه تولید کند فقط می‌توان ۱۰۳ مگاوات (۲۶۴-۳۶۷) از این توان را از طریق باس علی‌آباد فروخت. این اختلاف توان بدلیل وجود تلفات در ازای تغییر نقطه کار بوجود آمده است. همچنانکه دیده می‌شود در ازای افزایش تولید توان، تلفات به شدت افزایش می‌یابد بطوریکه در حداکثر تولید، تلفات بیشتر از توان فروخته شده است. این موضوع بدلیل وجود ترانس ۲۳۰ به ۱۳۲ کیلو ولت پست ترکمنستان است و توان انتقالی مجبور است در سطح ولتاژ کمتر از ۴۰۰ کیلو ولت به سمت مصرف کننده برود. لذا پیشنهاد می‌شود از یک ترانس ۲۳۰ به ۴۰۰ کیلو ولت در پست ترکمنستان استفاده شود تا بتوان در سطح ولتاژ بالاتر و در نتیجه جریان و تلفات کمتر، توان را از پست ترکمنستان به علی‌آباد انتقال داد.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله روش "NRS توسعه یافته" ارائه شده است. این روش، یک روش سریع، دقیق و قابل اطمینان برای تعیین پایداری ولتاژ و پخش بار سیستم تحت فشار می‌باشد بدون اینکه مشکل همگرایی برای آن پیش بیاید و حتی می‌توان قسمت پایین منحنی V-Q را با آن بدست آورد. تبدیل شبکه واقعی خراسان تحت نرم‌افزار DPF و استاندارد مرجع [8] می‌تواند در آینده مورد استفاده محققان برای تحلیل یک شبکه بومی به جای شبکه‌های استاندارد IEEE شود.

برای تعیین حداکثر توان انتقالی مجاز بین دو نقطه، هنوز لازم است که از نظر دینامیکی نیز سیستم بررسی شود. مقادیر بدست آمده در این مقاله بصورت ایستا بررسی شده‌اند که مطمئناً حدود دینامیکی محدودیت بیشتری برای انتقال توان بوجود خواهند آورد.

محاسبه می‌شود و سپس با هر گام دلخواهی این مقدار ویژه (λ) به سمت صفر میل داده می‌شود لذا نقطه کار سیستم به سمت مرز پایداری پیش می‌رود بدون اینکه برنامه واگرا شود ولی به تجربه ثابت شده است که اگر λ را با پنج گام به سمت صفر میل دهیم با حداقل تعداد تکرار به مرز پایداری می‌رسیم؛ به عبارت دیگر پس از محاسبه λ در نقطه کار، λ های بعدی بصورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$\lambda^{(1)} = 0.8\lambda^{(0)}, \lambda^{(2)} = 0.6\lambda^{(0)}, \dots, \lambda^{(5)} = 0 \quad (19)$$

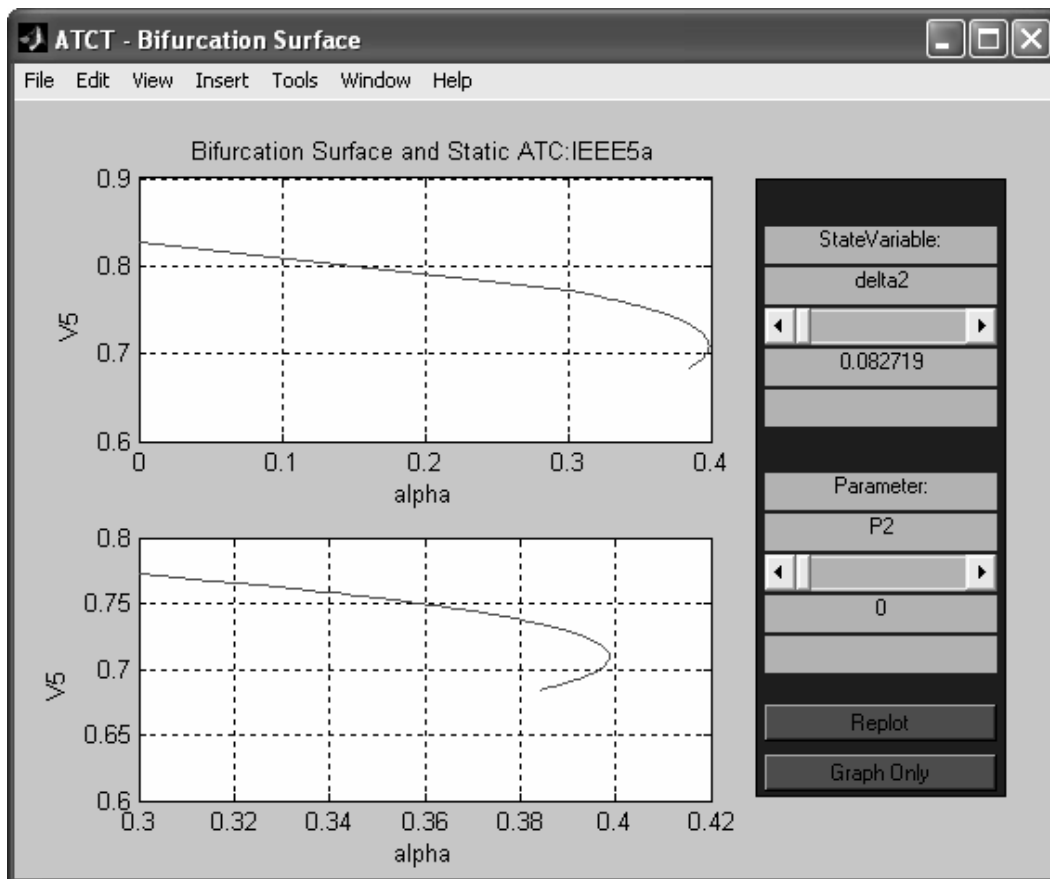
برای رسم دقیقتر منحنی P-V و یا V- α می‌توان از تعداد تکرار بیشتری استفاده کرد (شکل ۵). به دلیل استفاده از روش نیوتن، سرعت و دقت روش بسیار زیاد است و ماتریس ژاکوبین توسعه یافته (رابطه ۹ و ۱۷) هیچ وقت منفرد نمی‌شود به عبارت دیگر حتی در نقطه انشعاب نیز دترمینان ماتریس صفر نمی‌شود و از آنجا که از هیچ تقریبی استفاده نشده است از تمام روشهای تقریبی دقیقتر است [15]. نتایج تحلیل شبکه خراسان با این برنامه در بخش بعدی آورده شده است.

۵- تعیین پایداری ولتاژ و ATC ایستا

با استفاده از دو برنامه DPF و ATCT پایداری ولتاژ و ATC ایستای شبکه خراسان محاسبه شده است و جوابها دقیقاً یکسان شده‌اند با این تفاوت که در DPF، به روش گام به گام و توسط اپراتور به جواب رسیدیم ولی ATCT با سرعت بالا به جواب مورد نظر رسیده است. پایداری ولتاژ و ATC در باسهای مهم بدست آمده است که در جدول (۱) و (۲) مشخص شده‌اند و به ترتیب اهمیت (بحرانی بودن) باس مرتب شده‌اند (ATC پویا در این مقاله بررسی نشده است).

همانطور که در جدول (۱) دیده می‌شود بحرانی‌ترین باس از نظر پایداری ولتاژ، باس چناران با ضریب افزایش ۱/۷ می‌باشد و قابل توجه است که ترتیب باسهای بحرانی از سال ۱۳۷۸ [15] تا الآن تغییر کرده است ولی باس چناران همچنان بحرانی‌ترین باس بشمار می‌آید.

فرض شده است که توان حقیقی و موهومی بارها به یک نسبت افزایش یافته است (ضریب قدرت ثابت). این مقادیر از دو نرم‌افزار DPF و ATCT بدست آمده است و نتایج یکسان می‌باشند. از نظر زمان محاسبات این دو نرم افزار قابل مقایسه



شکل (۵) - خروجی برنامه ATCT در هنگام تعیین ATC ایستا [9]

The screenshot shows the 'Available Transmission Capability Toolbox- Static ATC Analysis' window. It displays various analysis parameters and state values.

Current System: IEEE5_ATCT

Algorithm Settings:

Algorithm	Iterations	0	Plot-V	Plot-angl
Newton-Raphson-Seydel	Time/Iteration	0	Plot-Pline	
Tolerance	1e-006	RelTolerance	0.0001	Start
Error	NA	RelError	NA	Reset
MaxIterations	20	Reporting	5	Save
				Save As

State Values:

Pg2	Pd2	Qg2	Qd2	Pg3
0	0	0	0	0
1	ATC Direction(-1-0-1)			16
V1	delta1	V2	delta2	V3
1.2	0	1.2	-0.0869	1.2
1	State Values			10

شکل (۶) - بخش راهنما در هنگام تعیین ATC ایستا [9]

جدول (۱) - نتایج بررسی پایداری ولتاژ شبکه خراسان [9]

ضریب افزایش بار		سطح ولتاژ	عنوان باس
واگرا	همگرا		
۱/۸	۱/۷	۶۳	چناران
۱/۹	۱/۸	۶۳	شمال پارک
۲/۱	۲	۶۳	آب و برق
۲/۱	۲	۶۳	دروازه قوچان
۲/۲	۲/۱	۱۳۲	خلیل
۲/۲	۲/۱	۶۳	مومن آباد
۲/۲	۲/۱	۶۳	خیام
۲/۳	۲/۲	۱۳۲	آزادوار
۲/۳	۲/۲	۶۳	دیزباد
۲/۳	۲/۲	۶۳	دانشگاه
۲/۳	۲/۲	۶۳	رضوان
۲/۳	۲/۲	۶۳	سیلو
۲/۵	۲/۴	۱۳۲	تربت جام
۲/۵	۲/۴	۱۳۲	بجنورد
۲/۵	۲/۴	۶۳	طرق
۲/۸	۲/۷	۱۳۲	سبزوار
۲/۸	۲/۷	۶۳	امام رضا
۲/۹	۲/۸	۶۳	بازار رضا

جدول (۲) - نتایج بررسی ATC شبکه خراسان [9]

د	ج	ب	الف	نوع تحلیل
۸۲	۱۸۳	۱۸۳	صفر	بدون خرید
۹۳	۱۷۲	۲۶۴	۹۲	نقطه کار
۱۰۸	۱۵۷	۳۰۷	۱۵۰	-
۱۲۵	۱۴۰	۳۴۰	۲۰۰	-
۱۴۸	۱۱۶	۳۶۶	۲۵۰	-
۱۸۳	۸۱	۳۶۷	۲۸۶	حداکثر

الف: توان خریداری شده از ترکمنستان (MW)

ب: توان فروخته شده به علی آباد (MW) (شبکه سراسری)

ج: اختلاف توان خریداری شده و فروخته شده (MW) (ب منهای الف)

د: تلفات کل سیستم (MW)

۷- مراجع

- [12] عیدانی، مصطفی، برنامه تبدیل اطلاعات شبکه خراسان به مطلب، قابل دریافت از آدرس:
www.eidiani.com/daryaft/khorasan22tir.m
- [13] عیدانی، مصطفی؛ مدیر شانه‌چی، محمد حسن؛ واحدی، ابراهیم، "روش سریع و دقیق برای تعیین ATC با در نظر گرفتن پایداری ولتاژ"، مجله علمی-پژوهشی برق، دوره ۳۵، شماره مقاله ۸۰/۵۳، صص: ۵۶-۶۸، ۱۳۸۱.
- [14] عیدانی، مصطفی؛ مدیر شانه‌چی، محمد حسن؛ واحدی، ابراهیم، "تعیین ATC با در نظر گرفتن همزمان پایداری ولتاژ و پایداری گذرا"، مجله علمی-پژوهشی استقلال، شماره ۲، سال ۲۳، دانشگاه صنعتی اصفهان، صص: ۱۱-۲۴، زمستان ۱۳۸۳.
- [15] جاویدی، محمد حسین؛ قره‌ویسی، علی اکبر، "تعیین مرزهای پایداری ولتاژ شبکه خراسان"، چهاردهمین کنفرانس بین‌المللی برق، جلد ۱، آبان ۱۳۷۸، صص: ۵۰۷-۵۱۷.
- [1] کندور، پرابها، پایداری و کنترل سیستمهای قدرت، سیفی، حسین؛ خاکی صدیق، علی، چاپ اول، تهران، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۶.
- [2] Taylor, C.W., *Power System Voltage Stability*, McGraw-Hill, 1993.
- [3] عیدانی، مصطفی، محاسبه سریع و دقیق قابلیت انتقال توان در دسترس (ATC) با روشهای ترکیبی پویا و ایستا، پایان نامه دکتری، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات، بهار ۱۳۸۳.
- [4] عیدانی، مصطفی، فهرست مراجع مربوط به پایداری ولتاژ، پایداری گذرا، ATC ایستا و پویا، قابل دریافت از آدرس:
www.eidiani.com/daryaft/refatc.txt
- [5] Fan, Y. K.; Niebur, D.; Nwankpa, C.O. and etc. "Saddle-Node Bifurcation of Voltage Profile of Small Integrated AC/DC Power System", *Proc. of the IEEE Summer Power Meeting*, Seattle, July 16-21, 2000, pp. 614-619.
- [6] Ayasun, S.; Nwankpa, C. O.; Kwany, H. G., "A Novel Method to Compute Singulare Points of Differential-Algebraic Power System Model", *Proc. Of the American Conf. Arlington*, VA June 25-27, 2001, pp. 3563-3564.
- [7] Ayasun, S.; Nwankpa, C. O.; Kwany, H. G., "Numerical Issues in the Location of Singularity-Induced Bifurcation Points", *Proceedings of IEEE PES Winter Meeting*, New York City, New York, February 1999, pp. 707-712.
- [8] سعادت، هادی، بررسی سیستمهای قدرت، شایانفر، حیدرعلی؛ جدید، شهرام؛ کاظمی، احد، چاپ اول، تهران، انتشارات دانشگاه علم و صنعت، ۱۳۸۰.
- [9] عیدانی، مصطفی، تعیین حداکثر توان انتقالی خطوط با در نظر گرفتن پایداری گذرا و پایداری ولتاژ، کمیته مرکزی تحقیقات منطقه خراسان، پروژه تحقیقاتی شماره ۵۸۰، ۱۳۸۳-۱۳۸۴.
- [10] عیدانی، مصطفی، شکلهای گرافیکی شبکه خراسان - خروجی از برنامه DPF، قابل دریافت از آدرس:
www.eidiani.com/daryaft/khorasan.pdf
- [11] عیدانی، مصطفی، برنامه پخش بار بدون مشکل تحت نرم‌افزار مطلب، قابل دریافت از آدرس:
www.eidiani.com/daryaft/moslfnewton.m