

استفاده از ضرایب حساسیت خطوط برای تنظیم واحد نوسان توان رله های دیستانس یک شبکه قدرت

مسعود علی اکبر گلکار
استادیار
دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

حسین عسگریان ابیانه
دانشیار
دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

مرتضی خسرویان
کارشناس ارشد
مرکز تحقیقات نیرو

غلامرضا منیبی
کارشناس ارشد
مرکز تحقیقات نیرو

چکیده

هر تغییر ناگهانی در ساختار یا مقدار بار یک سیستم قدرت موجب وقوع نوسانات توانی می شود که نسبت به شدت ضعف آن ممکن است باعث عملکرد ناخواسته در رله های دیستانس موجود در شبکه انتقال گردد و ناپایداری کل یا قسمتی از شبکه را سبب شود. در این مقاله ابتدا روشی ارائه می شود که با استفاده از ضرایب حساسیت، خطوط انتخاب شده برای بررسی نوسان توان چگونه برابر می شوند. سپس از نتیجه روش یاد شده برای به حداقل رساندن فاصله بین امیدانس بار و آخرین ناحیه حفاظتی استفاده می گردد. حال با بکارگیری مجدد همین پارامتر حساسیت، خط دیگری را که قطع آن به واسطه خطای اعمال شده بر روی آن بیشترین اثر را بر روی خطوط مورد مطالعه دارد، شناسایی می نماید. در پایان، شبیه سازی کامپیوتری در خطوط یاد شده به عمل آمده که بررسی شود آیا در خط مورد مطالعه نوسان توان اتفاق خواهد افتاد یا خیر؟ در صورت وقوع نوسان توان در آن به تنظیم واحد نوسان توان رله دیستانس خط مربوطه پرداخته می شود.

Settings of Power Swing Relays of Power Systems Using Transmission Lines Sensitivity Coefficients

H. Askarin Abyaneh
Associate Professor
Amirkabir University of Technology

G. Monibi
Protection Engineer
Electric Power Research Center

M. A. Golkar
Assistant Professor
K. N. Tossi University of Technology

M. Khosravian
Protection Engineer
Electric Power Research Center

Abstract

Any disturbance on power system configuration or load causes a power swing and consequently may create unwanted operations of distance relays. Therefore unstability of the system is occurred. In this paper, first a method to become lines under considerations full loads based on transmission lines sensitivity coefficients is described.

Then from the result of the method, the way of minimization of distance between load impedance and last zone of protection is given. This procedure for outage of the lines which have more influence on the line under study is performed. Finally a computer simulation for the approach and whether power swing or not has written? If power swing occurs the settings of the power swing relays are done.

ضرایب حساسیت می باشد. این ضرایب تغییر تقریبی در توان های انتقال خطوط در اثر تغییر در تولید و یا قطع، وصل خطوط شبکه را نشان می دهند. این ضرایب با استفاده از پخش بار مستقیم [۲] حاصل می شوند.

ضرایب حساسیت شبکه به طور عمده در این مقاله به دو دسته تقسیم شده است:

الف - ضرایب جابجایی در تولید

ب - ضرایب توزیع وقفه های خطوط

که در زیر به روش و چگونگی محاسبه آنها پرداخته خواهد شد.

۱-۲ - محاسبه ضرایب جابجایی در تولید

ضرایب جابجایی در تولید که با a_{Li} نمایش داده می شوند، به صورت زیر تعریف می گردند:

$$a_{Li} = \frac{\Delta P_L}{\Delta P_i} \quad (1)$$

که در آن L شاخص خط و i شاخص شین و ΔP_L معرف تغییر در توان انتقالی از خط L در اثر تغییر ΔP_i در تولید شین i می باشد. در این تعریف فرض می شود که تغییرات در تولید ΔP_i دقیقاً با تغییری مخالف در تولید شین مبنا جبران می گردد و تولید در سایر واحدها ثابت می ماند. بنابراین ضرایب a_{Li} حساسیت توان انتقالی از خط L را نسبت به تغییر در تولید شین i نشان می دهند. اگر هدف محاسبه وقفه یک واحد بزرگ باشد، بدین صورت که تمام کمبود در تولید، به وسیله شین مبنا جبران گردد [۳ و ۲] می توان نوشت:

$$\Delta P_i = -P_i \quad (2)$$

که در این رابطه P_i مقدار توان واحد از دست رفته می باشد و حال می توان توان جدید انتقالی از هر خط را با استفاده از مجموعه ضرایب a_{Li} که قبلاً توسط رابطه (۱) محاسبه شده اند به صورت زیر به دست آورد:

$$\hat{f}_L = f_L + a_{Li} \cdot \Delta P_i \quad (3)$$

که در این رابطه \hat{f}_L معرف توان انتقالی از خط L بعد از وقفه تولید در شین i و f_L توان انتقالی در حالت عادی می باشد. \hat{f}_L در هر خط را می توان با محدوده مجاز آن مقایسه کرد تا با استفاده از آن در رابطه (۱) بتوان روش

باز شدن یک خط سالم در طی یک واقعه نوسان توان که خود تغذیه کننده بار مجموعه ای از یک سیستم قدرت می باشد، به احتمال نسبتاً زیادی باعث ناپایدار شدن آن سیستم خواهد شد. نمونه ای از واقعه فوق را در شبکه برق ایران می توان خارج شدن کل شبکه آذربایجان از شبکه سراسری ایران در تاریخ ۷/۱۲/۷۴ نام برد. در آن واقعه بر اثر وقوع یک اتصال کوتاه در خط شهید رجایی - تبریز و خارج شدن آن خط از مدار پس از مدت کوتاهی، با عملکرد رله های دیستانس خط پوندل - تقی دیزه و میانه - زنجان به علت نوسان توان، این دو خط نیز از مدار خارج شدند. نهایتاً با خارج شدن یکی از واحدهای بخار نیروگاه تبریز در اثر عملکرد رله زیر فرکانسی، کل شبکه آذربایجان بی برق گردید [۱]. لذا لازم است واحد قفل کننده رله های دیستانس که به عنوان رله های اصلی شبکه انتقال به کار برده می شوند به گونه ای تنظیم گردند که از عملکرد ناخواسته رله در چنین مواقعی جلوگیری نمایند. به عبارت دیگر، رله به گونه ای تنظیم شود که قادر به تشخیص خطا از نوسان توان باشد. بنابر این جهت تنظیم واحد نوسان توان، لازم است که در ابتدای امر ماهیت نوسان توان شناخته شود. تا پس از آن بتوان به ارائه روشی جهت احتمال وقوع نوسان توان در خطوط شبکه و در نتیجه تنظیم واحد مربوطه در رله دیستانس واقع در آن خط پرداخت.

در ارتباط با ماهیت نوسان توان مطالعات کاملی صورت پذیرفته است [۴، ۵، ۶]. در این مقاله با استفاده از ضرایب حساسیت خطوط نسبت به یکدیگر، به بررسی وقوع نوسان توان پرداخته شده است. به عبارت دیگر با استفاده از این پارامترها، می توان حالتی را در شبکه مورد مطالعه برقرار نمود که با اعمال یک خطا در خطوط دیگر شدیدترین نوسان را در خطی که جهت مطالعه نوسان توان انتخاب شده ایجاد کرد. سپس با بررسی نحوه رفتار امپدانس برای این خطوط و نفوذ آن به مشخصه رله نوسان توان به تنظیم زمانی واحد قفل کننده رله مربوطه پرداخت.

۲ - محاسبه ضرایب حساسیت

برای بررسی نوسان توان در شبکه لازم است که خطوط را پربار نماییم. چرا که با پربار کردن خط، امپدانس بار به ناحیه حفاظتی رله نزدیکتر خواهد شد. چگونگی روش پربار نمودن خط، استفاده از روش

$d_{L,K}$: ضریب توزیع وقفه هنگام نظارت بر وضعیت خط
به علت وقفه در خط K

X_K : راکتانس خط K

m, n : معرف شماره شین دو سر خط K

X_{mi} : عنصر m ام از بردار $\Delta\theta$ واقع در معادله استاندارد

بخش بار مستقیم $\Delta\theta = [X] \Delta P$

X_L : راکتانس خط L

در این قسمت لازم است توضیح بیشتری در رابطه با اندازه و مقدار ضریب توزیع وقفه یک خط به علت وقفه در خط دیگر و در نتیجه نقش آن در وقوع نوسان توان ارائه گردد. اگر ضریب وقفه توزیع یک خط K نسبت به وقفه دو خط دیگر همچون m و n در یک شبکه قدرت به دست آید آن خطی که (مثلاً خط m) اندازه ضریب وقفه اش نسبت به خط دیگری (خط n) بیشتر باشد، چنین مفهومی را القاء خواهد نمود که با ایجاد وقفه در m عمق دامنه نوسانات ایجاد شده در خط K نسبت به عمق و دامنه نوسانات ایجاد شده به واسطه وقفه در خط n بزرگتر خواهد بود. لذا با ایجاد بدترین شرایط، اگر خطایی در خط m اعمال گردد، در صورتی که عمق و نفوذ نوسانات ایجاد شده در خط K ، وارد ناحیه حفاظتی رله دیستانس خط K نگردد، یقیناً با اعمال خطا در خط n نیز، نوسانات ایجاد شده وارد ناحیه حفاظتی رله خط

اثر جابجایی در تولید شین های مختلف، بار خط L را به محدوده مجاز رساند یا به عبارتی آن را پربار نمود. به طور خلاصه جهت پربار نمودن یک خط می توان از روند نمای زیر استفاده کرد.

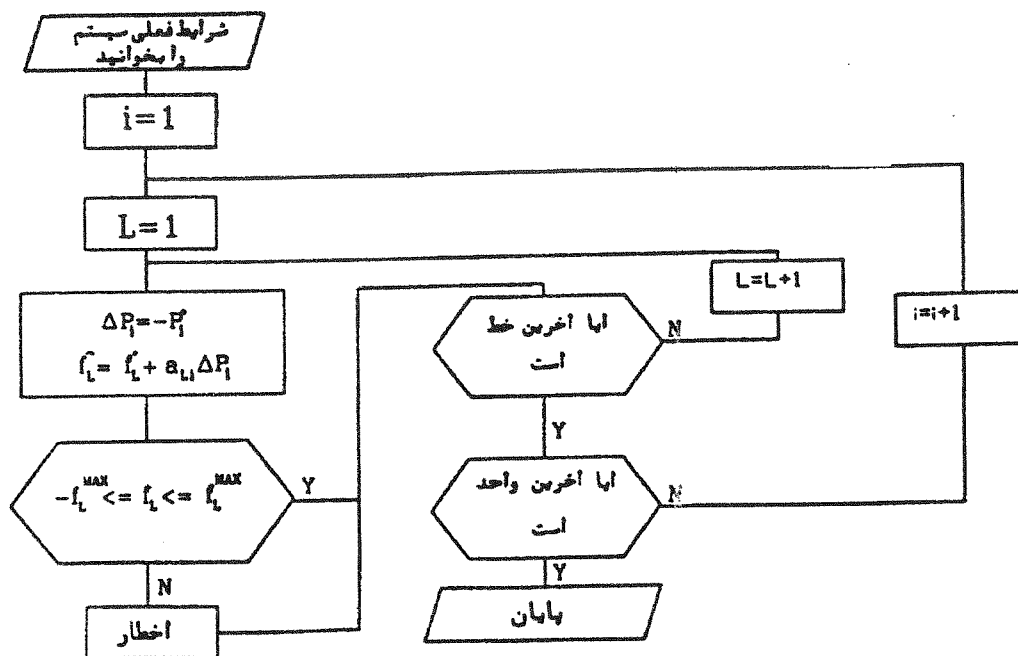
۲-۲- محاسبه ضرایب توزیع وقفه های خطوط

پس از پربار نمودن خط مورد نظر جهت بررسی نوسان توان استفاده از ضرایب جابجایی در تولید، حال به محاسبه ضرایب توزیع وقفه های خطوط [۲، ۳] پرداخته خواهد شد. به عبارت دیگر با استفاده از این ضرایب می توان یک خط از خطوط شبکه را مشخص نمود تا با اعمال یک خطا بر روی آن و در نتیجه قطع آن شدیدترین نوسانات با بزرگترین دامنه را بر روی خطی که مطالعه نوسان توان آن مورد بررسی می باشد ایجاد نمود.

جهت سوق این امر، معادله زیر را که منتج از معادلات بخش بار برای یک شبکه n شینه می باشد [۲] در نظر گرفته می شود.

$$d_{L,K} = \frac{\frac{X_K}{X_L} (X_{in} - X_{jn} - X_{im} + X_{jm})}{X_K - (X_{nn} + X_{mm} - 2X_{nm})} \quad (4)$$

که در این رابطه:



شکل (۱) روند نمای پربار نمودن یک خط با استفاده از ضرایب حساسیت جابجایی در تولید

K نخواهد شد. بنابراین نیازی به بررسی و شبیه سازی جهت مطالعه نوسان توان در خط K به واسطه اعمال خطا بر روی خط n و به طور کلی خطوطی که ضریب توزیع وقفه آنها کمتر از ضرایب توزیع وقفه خط m می باشد، نیست. نکته دیگری که در اینجا شایان ذکر است آن است که حتی اگر عمق و نفوذ نوسانات ایجاد شده در خط K به واسطه وقفه در خط m و n نیز وارد ناحیه حفاظتی رله خط K گردد، چون شدت و عمق نوسانات ایجاد شده به واسطه وقفه در خط m نسبت به n بیشتر است، لذا معیار محاسبات برای تنظیم زمانی نوسان توان رله خط K براساس وقفه در خط m انجام خواهد گرفت. حال با استفاده از این ضرایب و ضرایب جابجایی در تولید می توان به تشخیص نوسان توان در خطوط واقع در یک شبکه قدرت پرداخت که در قسمت بعدی به الگوریتم آن اشاره شده است.

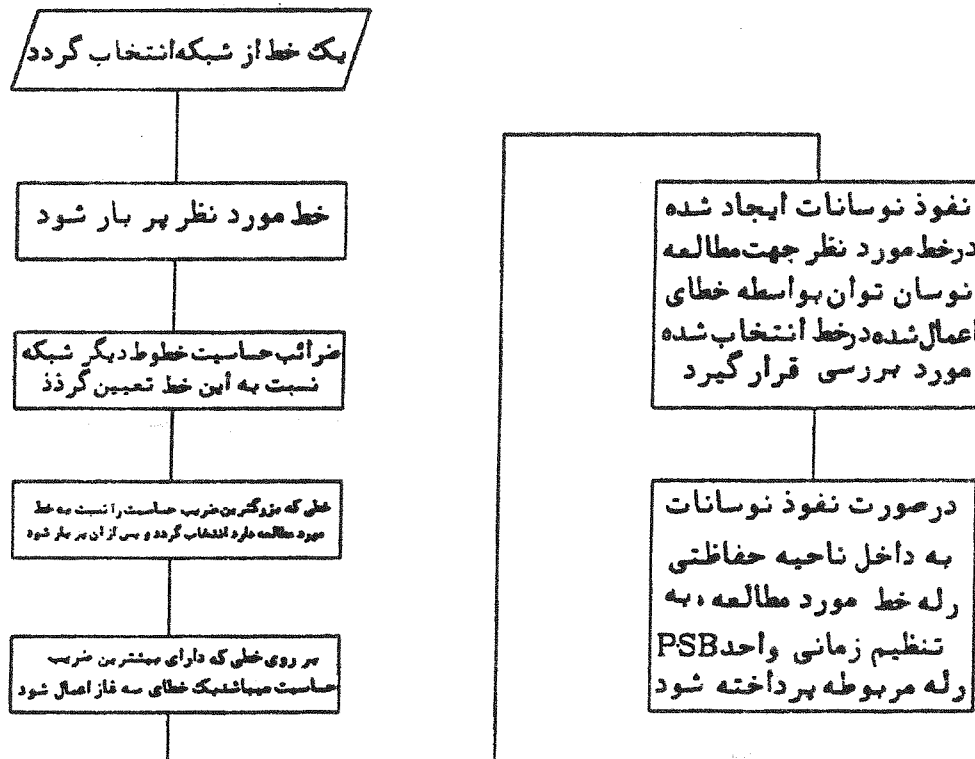
۳- الگوریتم تشخیص نوسان توان در یک خط با استفاده از ضرایب حساسیت

پس از پربار کردن خط مورد نظر جهت مطالعه

نوسان توان توسط ضرایب جابجایی در تولید به شناسایی خطی که دارای بیشترین ضریب وقفه نسبت به خط مورد نظر می باشد، پرداخته می شود. پس از آن با اعمال یک خطا بر روی خط شناسایی شده و رفع آن خطا توسط عملکرد رله های حفاظتی دیستانس دو سر خط پس از مدت زمان تنظیم شده بر روی نواحی حفاظتی رله، بررسی نفوذ نوسانات به داخل نواحی حفاظتی مورد نظر انجام می گیرد. در این قسمت دو حالت وجود دارد که در دو قسمت زیر به بررسی آنها پرداخته می شود.

۳-۱- عمق و نفوذ نوسانات وارد ناحیه حفاظتی رله مورد نظر شده است

در این حالت اگر تغییرات امپدانس بتواند هر دو محدوده استارتر و Z_3 (ناحیه ۳) را قطع نماید و در صورتی که مدت زمان نفوذ نوسانات در داخل Z_3 بیشتر از زمان عملکرد ناحیه سوم باشد، در این صورت می توان مدت زمانی را که طول می کشد تا این نوسانات از محدوده قفل کننده نوسان توان PSB^۱ به محدوده



شکل (۲) روند نمای تنظیم واحد نوسان توان رله دیستانس

زنجان) و (پونل - تقی دیزه) با هدف پربار کردن آنها. لازم به توضیح است که در این بند و بند «ب» فقط به ذکر چند نتیجه از برنامه فوق الذکر که دارای بالاترین مقدار می باشند، بسنده شده است.

نام خط: میانه - زنجان

ضریب جابجایی تولید

نبروگاه تبریز ۰/۶۰۸	خط شهید رجایی - تبریز ۰/۵۹۲	خط پونل - تقی دیزه ۰/۴۸۰
------------------------	--------------------------------	-----------------------------

نام خط: پونل - تقی دیزه

ضریب جابجایی تولید

نبروگاه گیلان -۰/۶۱۹	نبروگاه تبریز ۰/۵۱	خط شهید رجایی - تبریز ۰/۴۹۰	خط میانه - زنجان ۰/۴۵۰
-------------------------	-----------------------	--------------------------------	---------------------------

ب: محاسبه ضریب وقفه توزیع برای خطوط (میانه - زنجان) و (پونل - تقی دیزه) با هدف شناسایی خطی که قطع آن بیشترین نوسانات را برای خطوط مذکور خواهد داشت.

نام خط: میانه - زنجان

ضریب توزیع وقفه

خط شهید رجایی - تبریز ۰/۶۲۰	خط زنجان - لوشان ۱	خط میانه - تکمداش ۱
--------------------------------	-----------------------	------------------------

نام خط: پونل - تقی دیزه

ضریب توزیع وقفه

خط شهید رجایی - تبریز ۰/۴۳۰	خط اهر - تقی دیزه ۱	خط پونل - درشت ۱
--------------------------------	------------------------	---------------------

همانطور که در نتایج فوق ملاحظه می گردد، بعضی از ضرایب توزیع وقفه نسبت به خطوط (میانه - زنجان) و (پونل - تقی دیزه) یک می باشد. با توجه به دیاگرام تک خطی شبکه آذربایجان واقع در شکل (۵) با اعمال خطا در هر یک از خطوطی که دارای ضریب وقفه یک می باشند خط مربوطه اش در شبکه به صورت شعاعی درخواهد آمد. به طور مثال با اعمال یک خطا در خط (میانه - تکمداش) و قطع آن توسط رله های مربوطه باعث خواهد شد که خط ۰ (میانه - زنجان) به صورت شعاعی درآید و خطی که به صورت شعاعی باشد، هیچگاه توان نوسان توان در آن اتفاق نمی افتد، زیرا $Z = \frac{V}{I}$ و چون نوسانات ولتاژ با نوسانات جریان در آن خط از یک منبع سرچشمه

استوارتر رله برسد را محاسبه نموده و آن را T_m می نامند. حال این مقدار T_m به عنوان ملاک تشخیص نوسان توان از خط انتخاب می گردد. این بدین معنی است که اگر مدت تغییرات امپدانس اندازه گیری شده از محدوده نوسان توان تا ناحیه استوارتر بیشتر از T_m باشد رله آن را به عنوان نوسان توان تلقی نموده و رله را قفل خواهد نمود. در غیر این صورت اختلال ایجاد شده را به عنوان خطا می شمارد و از قفل شدن رله جلوگیری می نماید.

علت اینکه این اختلال به عنوان معیاری جهت تنظیم زمانی واحد نوسان توان خط مورد مطالعه می باشد، آن است که این خطا به عنوان شدیدترین اختلال می باشد. در نتیجه سرعت تغییرات امپدانس حاصل نسبت به سایر اختلالات در خطوط دیگر بیشتر است. لذا به عنوان معیاری جهت تنظیم زمانی واحد نوسان توان رله دیستانس خط مورد نظر انتخاب می گردد.

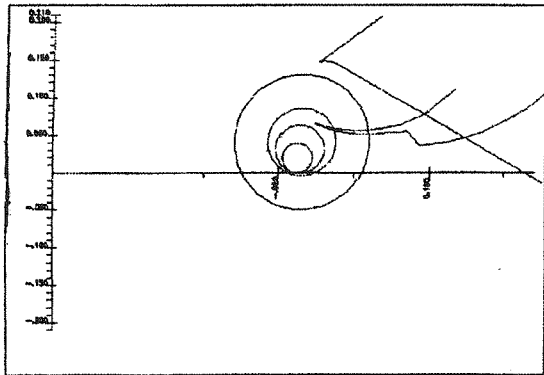
۲-۳ - عمق نفوذ نوسانات وارد هیچیک از نواحی حفاظتی رله خط مورد نظر نشده است.

در این خط به واسطه ساختار شبکه ایجاد شده با توجه به دلایل قسمت های (۱-۲) و (۲-۲) چون به ازای این خط عمق نفوذ نوسانات وارد نواحی حفاظتی نشده لذا به ازای هیچیک از خطاهای اعمال شده در خطوط دیگر عمق نفوذ نوسانات وارد ناحیه حفاظتی رله خط مورد نظر نشده و در نتیجه هیچ نوسان توانی در این خط بوجود نمی پیوندد. به طور کلی می توان جهت نمایش الگوریتم برنامه از روند نمای نمایش داده شده در شکل (۲) استفاده نمود.

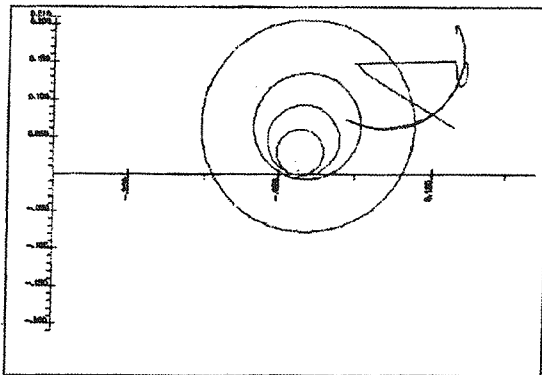
۴ - آزمایش برنامه تنظیم واحد نوسان توان به روش ضریب حساسیت بر روی شبکه واقعی

همانطور که در قسمت مقدمه نیز ذکر گردید با وقوع خطایی در خط (شهید رجایی - تبریز) از شبکه آذربایجان دو خط (میانه - زنجان) و (تقی دیزه پونل) از شبکه فوق الذکر با عملکرد ناخواسته رله مربوطشان به واسطه نوسان توان از مدار خارج گردیدند که این عمل در نهایت منجر به بی برق شدن کل شبکه آذربایجان گردید [۱]. حال با استفاده از روش ضرایب حساسیت به تنظیم زمانی رله های خطوط مذکور پرداخته خواهد شد. الف: محاسبه ضریب جابجایی تولید برای خط (میانه -

برای میانه زنجان، ۹۰ میلی ثانیه و برای خط پونل - تقی دیزه ۴۰ میلی ثانیه می باشد [۸ و ۷].



شکل (۳) نمایش تغییرات امپدانس در خط میانه - زنجان در صفحه X-R.



شکل (۴) نمایش تغییرات امپدانس در خط پونل تقی دیزه در صفحه X-R.

۵ - نتیجه

در این مقاله روشی جهت یافتن بحرانی ترین حالت نوسان توان در شبکه با استفاده از تحلیل ضرایب حساسیت جابجایی در تولید قدرت و ضرایب توزیع وقفه های خطوط ارائه گردید. همچنین تنظیم زمانی واحد قفل کننده نوسان توان برای خطوطی که در آنها نوسان توان اتفاق می افتد شرح داده شد. یک شبیه سازی کامپیوتری با بکارگیری تئوری یاد شده با قابلیت انعطاف مناسب انجام گرفت. نتایج حاصل نشانگر موفقیت آمیز بودن برنامه است. نمونه های از آزمایش های انجام شده در شکل های (۳) و (۴) ارائه گردید.

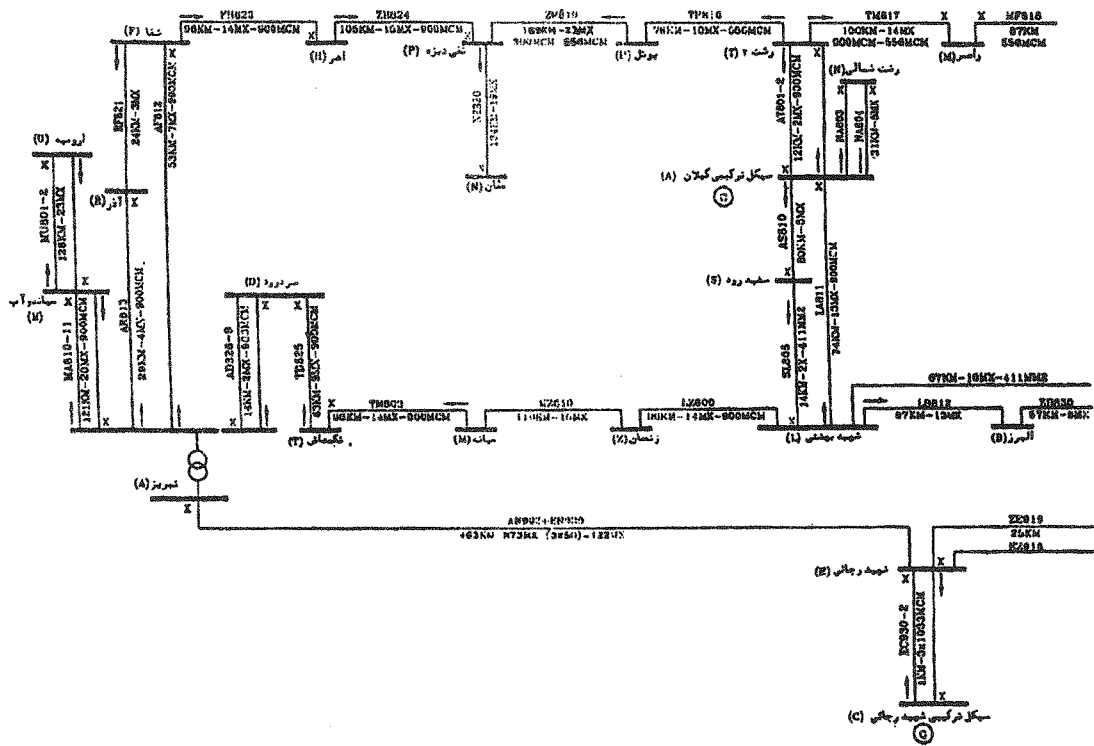
زیر نویس

1 - Power Swing Blocking

می گیرند، لذا نوسانات آنها با یکدیگر سنکرون خواهند بود، بنابراین مقدار Z یک مقدار ثابت و در حدود صفر می باشد. لذا از اعمال خطا در این خطوط صرف نظر می گردد.

حال برای پربار کردن خطوط (میانه - زنجان) و (پونل - تقی دیزه) باتوجه به ضرایب فوق به شرط آن که پخش بار شبکه و اگر نشود، با خارج کردن یکی از واحدهای نیروگاه تبریز (۲۲۰ MW) با این خطوط را به بالاترین مقدار ممکن در حین بهره برداری خواهیم رساند. پس از اجرای این امر بار خط (شهید رجایی - تبریز) از ۸۷ MW به ۲۵۶ MW و بار خط (میانه - زنجان) از ۵۶ MW به ۸۸ MW و بار (پونل - تقی دیزه) از ۸۲ MW به ۱۲۱ MW خواهد رسید. حال با انتخاب خط شهید رجایی - تبریز که دارای بالاترین ضریب وقفه نسبت به دو خط مذکور می باشد، با اعمال خطایی در مکان ۱۰٪ نسبت به شین تبریز و رفع خطا توسط عملکرد رله های حفاظتی در زمان ۲۰۰ و ۳۲۰ میلی ثانیه (زمان عملکرد زون ۱ و ۲) به ترتیب در شین های تبریز و شهید رجایی به بررسی میزان نوسانات در دو خط (پونل - تقی دیزه) و (میانه - زنجان) پرداخته خواهد شد.

نمایش تغییرات امپدانس در صفحه X-R برای هر یک از خطوط در شکل (۳) و (۴) نمایش داده شده است. باتوجه به هر یک از دو شکل و محاسبات انجام شده ملاحظه خواهد شد که زمان تداخل این نوسانات با ناحیه ۳ رله مربوط به پست پونل از خط پونل - تقی دیزه در حدود ۸۲۰ میلی ثانیه است. در حالی که همین زمان برای رله مربوط به پست زنجان از خط میانه - زنجان در حدود ۷۸۰ میلی ثانیه می باشد که هر یک از این دو زمان از زمان عملکرد زون ۳ مربوط به رله متناظرشان بیشتر می باشد. در نتیجه می توان با اندازه گیری زمان تغییرات امپدانس از ناحیه قفل کننده نوسان توان تا ناحیه استارتر، زمان تنظیم واحد قفل کننده نوسان توان را به دست آورد. همانطور که ملاحظه می شود با استفاده از روش ضریب حساسیت در ابتدا توانستیم خطوط مذکور را پربار و پس از آن با استفاده از ضریب وقفه، خطی که قطع آن بیشترین اثر را بر روی خطوط فوق الذکر دارد شناسایی نماییم و پس از آن به تنظیم واحد قفل کننده نوسان توان از رله مربوطه بپردازیم. در آخر مقدار تنظیمی که برای هر یک از واحدهای نوسان توان رله های دیستانس خطوط فوق الذکر به دست می آید به ترتیب



شکل (۵) دیاگرام تک خطی شبکه آذربایجان

مراجع

- [۱] گزارش مرکز دیسپاچینگ در رابطه با حادثه خارج شدن شبکه آذربایجان از شبکه سراسری در تاریخ ۷۴/۱۲/۷
- [2] "Power Generation, Operation and Control", by Allen J. Wood & Bruce F. Wollen berg, John Wiley & Sons, 1993.
- [3] "Placement of Static Compensators for Stability Improvement", by M. O. Brien, B.E, and G. Ledwich, B.E., Ph. D., IEE Proceedings Vol. 132, Pt.C. No. 1, January 1985.
- [4] "Power System Stability", Vol. 3, by Kimbark, Edward Wilson, 1962.
- [5] "A New Blocking Principle with Phase and
- Earth Fault Detection During fast power Swings for Distance Protection", by A. Mechraui, D. W. P. Thomas, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 10, No. 3, July 1995.
- [6] "A New Power Swing Block in Distance Protection Based on a Microcomputer-Principle and Performance Analysis "IEE, P. 843 - 7, Vol. 2 - 1992.
- [7] "Service Manual, LFZP111 Series, R-5911 B-Mitsobishi - 1991.
- [8] "Introduction, Description and Application of YTG33", BBC Brown, Boveri & Company, Ltd.