

# بررسی رفتار عملگر ۷۸ رله‌های 7UM62 و REG216 در شرایط گریز از همگامی واحدهای یک نیروگاه نمونه از شبکه سراسری ایران

بهنام محامدی، سید حمید مرتضوی یزدی، علی سجادی، حسین ایوب‌زاده

دفتر مطالعات و حفاظت شبکه

شرکت مدیریت شبکه برق ایران

تهران، ایران

**چکیده** — گریز از همگامی (out-of-step) واحدهای نیروگاهی پدیده‌ای پیچیده در سیستم‌های قدرت محسوب می‌شود. چنانچه این پدیده به خوبی کنترل و مهار نشود ممکن است منجر به تریپ‌های ناخواسته و کنترل‌نشده‌ی رله‌های خطوط و رله‌های واحدهای نیروگاهی گردد و نهایتاً صدمات جدی به تجهیزات الکتریکی خصوصاً ژنراتورها وارد کند. از این رو، مطالعات گریز از همگامی جهت جلوگیری از خطراتی که ممکن است به شبکه‌های قدرت وارد کند، ضروری است. در این مقاله، ابتدا به منظور شفاف شدن مسیرهای امپدانس که در شرایط گریز از همگامی طی می‌شوند، معادلات مربوط به دواير امپدانس به دقت بررسی و تحلیل می‌گردند. در گام بعد، مشخصه عملکردی عملگر (function) ۷۸ رله‌های 7UM62 و REG216 معرفی و تشریح می‌شود. سپس، دو سناریوی مختلف گریز از همگامی مربوط به واحدهای یک نیروگاه نمونه از شبکه سراسری ایران شبیه‌سازی شده و رفتار دو عملگر مذکور در این سناریوها بر اساس ارسال بموقع سیگنال تریپ بررسی می‌گردد.

**واژه‌های کلیدی** — اتصال کوتاه سه‌فاز؛ راکتانس زیرگذرا؛ گریز از همگامی؛ عملگر ۷۸؛ مسیرهای امپدانس

## ۱. مقدمه

هنگامیکه یک یا چند ژنراتور از شرایط همگامی با شبکه خارج می‌شوند، سیستم‌های قدرت پدیده‌ای به نام گریز از همگامی (out-of-step) را تجربه

می‌کنند. در این شرایط، واحدهایی که دچار گریز از همگامی شده‌اند می‌بایست در سریعترین زمان ممکن از سایر اجزای شبکه جدا شوند تا از آسیب رسیدن به سایر تجهیزات و خاموشی‌های سراسری جلوگیری به عمل آید [۱] و [۲]. بر این اساس، تشخیص گریز از همگامی و عملکرد مناسب و بموقع در برابر این پدیده از اهمیت زیادی برخوردار است. بررسی‌های مختلفی توسط محققین در این زمینه انجام شده است [۳] و [۴] و روش‌های متفاوتی [۵]–[۷] برای آشکارسازی و صدور بموقع دستور تریپ به منظور جداسازی واحدهای نیروگاه از شبکه در هنگام وقوع این پدیده ارائه شده است.

شبکه‌ی سراسری ایران به دلیل گستردگی و طولانی بودن برخی خطوط انتقال و همچنین توزیع غیریکنواخت تولید همواره در معرض وقوع خطر گریز از همگامی است. اصولاً در شبکه‌های بزرگی مانند شبکه‌ی ایران، خطاهای شدیدی مانند اتصال کوتاه سه‌فاز می‌توانند واحدهای نیروگاهی را وارد مرحله‌ی گریز از همگامی نمایند. تا کنون چندین حادثه‌ی گریز از همگامی در شبکه‌ی ایران رخ داده است که هر یک به نوبه‌ی خود اثرات مخربی در شبکه گذاشته‌اند. در این میان، نقش عملگرهای ۷۸ (تریپ‌دهنده در گریز از همگامی یا out-of-step tripping) چندان روشن نبوده و جهت روشن شدن این موضوع مطالعات گسترده‌ای نیاز است.

هدف از این مقاله، ارائه‌ی یک دید روشن نسبت به رفتار عملگرهای ۷۸ است که بر اساس امپدانس اندازه‌گیری شده عمل می‌کنند که متداولترین نوع این عملگرها محسوب می‌گردند. بر این اساس، ابتدا معادلات بیان‌کننده‌ی مسیرهای امپدانس در شرایط گریز از همگامی به دقت تحلیل و

همگام (synchronous) از خود نشان می‌دهد. مقدار راکتانس در این شرایط با تقریب خوبی برابر با  $X'_d$  است.

از آنجاییکه در شبکه‌ی انتقال می‌توان از مقاومت‌ها در برابر راکتانس‌ها صرف‌نظر کرد [۱۰]،  $Z_{\text{Syst}}$  با یک راکتانس ( $X_{\text{Syst}}$ ) تقریب زده می‌شود. بر اساس شکل ۲ معادلات ذیل بدست می‌آیند

$$V = E_G \angle \delta - jX'_d \cdot I \quad (1)$$

$$I = \frac{E_G \angle \delta - E_{\text{Syst}} \angle 0}{j(X'_d + X_T + X_{\text{Syst}})} \quad (2)$$

با تقسیم (۱) بر  $I$  خواهیم داشت

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{E_G \angle \delta - jX'_d \cdot I}{I} = \frac{E_G \angle \delta}{I} - jX'_d \quad (3)$$

با جایگذاری  $I$  از (۱) در (۳)، امپدانس دیده‌شده از دید عملگر ۷۸ بصورت ذیل بدست می‌آید

$$Z = j \cdot \frac{E_G \angle \delta}{E_G \angle \delta - E_{\text{Syst}} \angle 0} \cdot (X'_d + X_T + X_{\text{Syst}}) - jX'_d \quad (4)$$

با فرض

$$k = \frac{E_{\text{Syst}}}{E_G} \quad (5)$$

نهایتاً امپدانس دیده‌شده برابر خواهد شد با

$$Z = \frac{k \sin \delta}{1 + k^2 - 2k \cos \delta} \cdot X_{\text{Tot.}} + j \left( \frac{1 - k \cos \delta}{1 + k^2 - 2k \cos \delta} X_{\text{Tot.}} - X'_d \right) \quad (6)$$

در (۶)  $X_{\text{Tot.}}$  برابر است با

$$X_{\text{Tot.}} = X'_d + X_T + X_{\text{Syst.}} \quad (7)$$

با جدا کردن قسمت حقیقی و موهومی در (۶)، مقاومت ( $R$ ) و راکتانس ( $X$ ) اندازه‌گیری شده از دید عملگر ۷۸ با روابط ذیل ارائه می‌شوند

$$R = \frac{k \sin \delta}{1 + k^2 - 2k \cos \delta} \cdot X_{\text{Tot.}} \quad (8)$$

$$X = \frac{1 - k \cos \delta}{1 + k^2 - 2k \cos \delta} X_{\text{Tot.}} - X'_d \quad (9)$$

بلاستفاده از (۸) و (۹) و انجام محاسبات مثلثاتی خواهیم داشت

$$R^2 + \left( X + X'_d - \frac{X_{\text{Tot.}}}{4(1 - k^2)} \right)^2 = \frac{X_{\text{Tot.}}}{1 - k^2} \left( \frac{X_{\text{Tot.}}}{4(1 - k^2)} - X_{\text{Syst.}} \right) \quad (10)$$

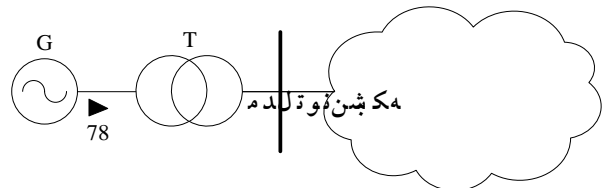
ارائه می‌شوند. در ادامه، مشخصه عملکردی عملگر ۷۸ رله‌های 7UM62 و REG216 ارائه و تشریح می‌شوند. سپس، دو سناریوی متفاوت گریز از همگامی واحدهای یک نیروگاه نمونه از شبکه‌ی سراسری ایران با استفاده از نرم‌افزار PowerFactory [۸] شبیه‌سازی شده و نقش عملگرهای ۷۸ فوق‌الذکر در این گریز از همگامی‌ها بررسی می‌گردند. نتایج شبیه‌سازی، زمان تشخیص گریز از همگامی و ارسال سیگنال تریپ توسط این دو نوع عملگر را در دو سناریوی مورد نظر ارائه می‌کنند.

## ۲. مسیرهای امپدانس در شرایط گریز از همگامی

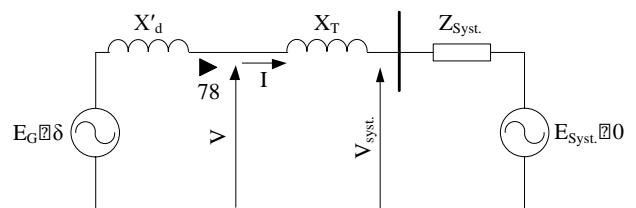
در پدیده‌ی گریز از همگامی، تغییر زاویه‌ی بقی رتور و شبکه ( $\delta$ ) نقش اساسی در رفتار کم‌ت‌های الکتریکی دارد. در این بخش، معادلات امپدانس از دید عملگرهای ۷۸ بررسی می‌شوند. این عملگرها از سیگنال ولتاژ و جریان پائینه‌ی ژنراتور تغذیه می‌شوند و از این رو امپدانس دیده‌شده می‌بایست از پائینه‌ی ژنراتور مورد بررسی قرار بگیرد. شکل ۱ یک واحد نیروگاهی را که از طریق ترانسفورماتور واحد به شبکه متصل است، نشان می‌دهد که در آن محل نصب عملگر ۷۸ در پائینه‌ی ژنراتور مشخص شده است.

شکل ۲ مدل ژنراتور و شبکه را در حالت گریز از همگامی نشان می‌دهد.

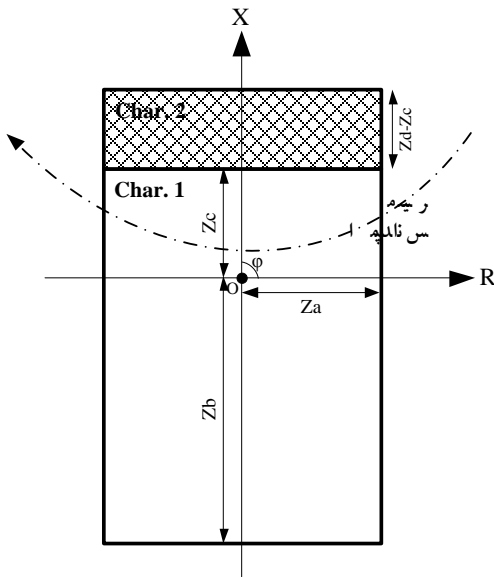
در این مدل تمام پارامترها از دید پایانه‌ی ژنراتور و در مبنای مقادیر نامی ژنراتور در نظر گرفته می‌شوند. همانطور که نشان داده شده است، در شرایط گریز از همگامی راکتانس ژنراتور با  $X'_d$  مدل می‌شود [۹] چراکه ژنراتور از حالت همگامی خارج شده است و راکتانس کاملاً متفاوتی نسبت به راکتانس



شکل ۱ اتصال یک واحد نیروگاهی به شبکه از طریق ترانسفورماتور واحد



شکل ۲ مدل ژنراتور و شبکه در شرایط گریز از همگامی



شکل ۳ مشخصه‌ی عملکرد ۷۸ رله‌ی 7UM62

را در مقادیر بزرگ قطع می‌کنند. هرچه مقدار مطلق نقطه‌ی تقاطع با محور راکتانس‌ها کوچکتر باشد مرکز نوسان نفوذ بیشتری به سمت ژنراتور کرده و اصطلاحاً گریز از همگامی مخرب‌تری بوجود آمده است و باید هرچه سریعتر ژنراتور از شبکه جدا شود. بر این اساس، تعداد ورود و خروج مسیر امیدانسی به مشخصه‌ی ۱ (n1) و مشخصه‌ی ۲ (n2) که زمان مناسب جهت صدور دستور تریپ را به تأخیر می‌اندازد بطور جداگانه قابل تنظیم هستند. در گریز از همگامی‌هایی که مسیر امیدانس محور راکتانس را در مقادیر بزرگ قطع می‌کند، مرکز نوسان از ژنراتور دور است و ممکن است رفته‌رفته از ژنراتور دورتر گردد و واحد نیروگاهی به حالت پایدار جدیدی برسد. بر این اساس، با تنظیم n2 در مقدار بزرگتر (به عنوان مثال ۴) می‌توان ارسال سیگنال تریپ را به تأخیر انداخت. بالعکس، چنانچه مسیر امیدانس، محور راکتانس را در مقادیر کوچکتری قطع کند که دلالت بر شدید بودن گریز از همگامی دارد، با تنظیم n1 در مقدار کمتر (به عنوان مثال ۱) می‌توان سیگنال تریپ را سریعتر ارسال کرد. در شکل ۳، گستره‌ی امیدانسی ناحیه‌ی ۱ در سمت شبکه (Zc) و در سمت ژنراتور (Zb) و تفاوت گستره‌ی امیدانسی ناحیه‌ی ۱ و ۲ (Zd-Zc) و همچنین گستره‌ی مقاومتی مشخصه (Za) قابل تنظیم هستند. Za بر اساس فرمول ذیل تنظیم می‌شود

$$Za = \frac{X'_d + X_T + X_{Syst.}}{2} \cdot \cot \frac{\delta}{2} \quad (13)$$

در (۱۳) مقدار  $\delta$  برای اعلام گریز از همگامی است و بر اساس مطالعات پائیزی گذرا انتخاب می‌شود. چنانچه مطالعات پائیزی امکانپذیر نباشد،

معادله‌ی (۱۰) نشان می‌دهد که اگرچه با تغییر  $\delta$  در شرایط گریز از همگامی R و X تغییر می‌کنند ولی این تغییرات بگونه‌ای است که R و X در معادله‌ی دایه‌ای با مرکز و شعاع خطی صدق می‌کنند

$$C = \left( 0, \frac{X_{Tot.}}{4(1-k^2)} - X'_d \right) \quad (11)$$

$$r = \sqrt{\frac{X_{Tot.}}{1-k^2} \left( \frac{X_{Tot.}}{4(1-k^2)} - X_{Syst.} \right)} \quad (12)$$

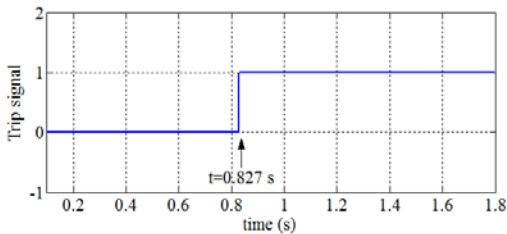
از (۱۱) و (۱۲) مشاهده می‌شود که مرکز و شعاع دایه امیدانسی تابعی از k می‌باشند. در شرایط گریز از همگامی، سرعت رتور ژنراتور بطور فزاینده‌ای افزایش می‌یابد. این موضوع باعث تغییر EG خواهد شد. در نتیجه متغی k در شرایط گریز از همگامی یک عدد ثابت نیست. بنابراین، در طول دوره‌ی زمانی وقوع گریز از همگامی، دایه امیدانسی مختلفی بدست خواهد آمد. چنانچه k بزرگتر از ۱ باشد می‌تواند به عبارتی دیگر اندازه‌ی ولتاژ سرپیچم از اندازه‌ی ولتاژ ژنراتور بزرگتر باشد، مرکز دایه امیدانسی روی مقادیر منفی محور راکتانس قرار می‌گیرد. چنانچه k بین ۰ تا ۱ باشد می‌تواند به عبارتی دیگر اندازه‌ی ولتاژ سرپیچم از اندازه‌ی ولتاژ ژنراتور کوچکتر باشد، بسته به مقدار k و  $X'_d$  مرکز دایه ممکن است روی مقادیر مثبت محور راکتانس‌ها قرار گیرد. از طرفی از آنجاکه مرکز و شعاع دایه امیدانسی حساسیت بالایی در مقادیر k نزدیک به ۱ دارند، در شرایط گریز از همگامی با تغییر اندک در مقدار k حول مقدار ۱ دایه‌های امیدانسی کاملاً متفاوتی بدست خواهد آمد. این موضوع با آنالیز حساسیت به راحتی قابل اثبات است که در اینجا بدلیل محدودیت صفحات از توضیح آن خودداری می‌شود. این حساسیت تا جایی است که در برخی از سناری‌های گریز از همگامی، در دوره وقوع گریز از همگامی مرکز دایه‌ها از قسمت مثبت به منفی و برعکس جا به جا می‌شود.

### ۳. عملکرد ۷۸ رله‌ی متداول در شبکه‌ی ایران

#### ۳.۱. عملکرد ۷۸ رله‌ی 7UM62

عملکرد ۷۸ رله‌ی 7UM62 بر اساس ورود و خروج مسیر امیدانس به مشخصه‌ی مستطیل‌شکلی که طول ضلع‌های آن قابل تنظیم است عمل می‌کند [۱۱]. شکل ۳ مشخصه‌ی مذکور را که شامل دو ناحیه‌ی عملکردی ۱ و ۲ (Char. 1 و Char. 2) است، نشان می‌دهد. اساس تعریف دو ناحیه‌ی عملکردی مختلف، تفاوت بین مسیرهای امیدانسی است که محور راکتانس‌ها را در مقادیر کم قطع می‌کنند در مقایسه با مسیرهای امیدانسی که این محور





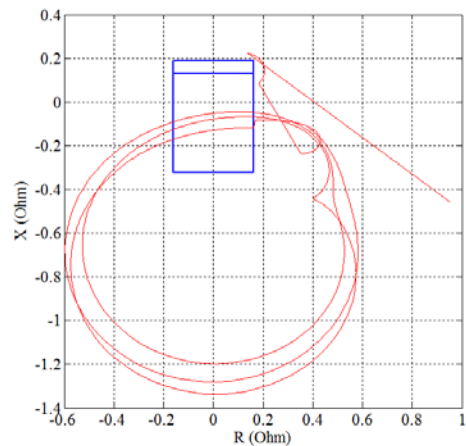
شکل ۷ سیگنال تریپ مشخصه ۷۸ رله 7UM62 در شرایط گریز از همگامی در سناریوی اول با تنظیم  $n1=1$

تنظیمات لحاظ شده برای مشخصه عملگر ۷۸ رله 7UM62 به شرح ذیل در نظر گرفته شده است. گستره راکتانسی در سمت شبکه برای ناحیه عملکردی شماره ۱ ( $Z_C$ ) برابر با  $X_T$  و در سمت ژنراتور ( $Z_B$ ) برابر با  $X'_d$  تنظیم شده است. همچنین گستره راکتانسی ناحیه عملکردی شماره ۲ ( $Z_D - Z_C$ ) برابر با ۴۰ درصد راکتانس ترانسفورماتور در نظر گرفته شده است. ناحیه عملکردی ۲ جهت آشکارسازی گریز از همگامی‌هایی است که به نزدیکی ترانسفورماتور می‌رسند و تنظیمات متفاوتی بر اساس فلسفه‌های حفاظتی مختلف برای آن ارائه می‌گردد. همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است، دایه‌های امپدانس با شعاع‌ها و مرکزهای مختلفی در طول دوری وقوع گریز از همگامی ایجاد می‌شود. این موضوع به دلایل تغییرات مداوم  $k$  در طول این دوره است. در شکل ۶ مشاهده می‌شود که مسیری امپدانس چندین بار به ناحیه عملکردی ۱ ورود و خروج می‌کند. با هر ورود و خروج، مقدار  $n1$  یک واحد افزایش می‌یابد.

شکل ۷ سیگنال تریپ صادر شده توسط عملگر ۷۸ رله 7UM62 را با فرض تنظیم  $n1$  برابر ۱ نشان می‌دهد. سیگنال تریپ در لحظه ۰/۸۲۷ ثانیه صادر می‌شود. در این لحظه، سرعت رتور برابر با  $\omega=1/0.31$  پریودیت است. این موضوع نشان می‌دهد که سیگنال تریپ در زمان مناسب صادر می‌شود چراکه سرعت رتور همچنان در محدوده مجاز است. علاوه بر این، از آنجاکه سیگنال تریپ هنگام خروج مسیری امپدانس از مشخصه ارسال می‌شود و در این لحظه جریان عبوری حداکثر نبوده و رو به کاهش است، باز شدن کلید ژنراتور در این شرایط آسری به کلید وارد نخواهد نمود. چنانچه مقدار  $n1$  برابر با ۲ تنظیم شود سیگنال تریپ در لحظه ۱/۲۸۹ ثانیه صادر می‌شود. در این لحظه سرعت رتور برابر با  $\omega=1/0.53$  پریودیت است. این در حالی است که طبق استاندارد می‌بایست از عملکرد رتور در شرایطی که سرعت رتور به‌بیشتر از ۱/۰۳ درصد مقدار نامی می‌رسد جلوگیری کرد [۹]. بنابراین تنظیم مقدار  $n1$  برابر با ۲ مطلوب نیست.

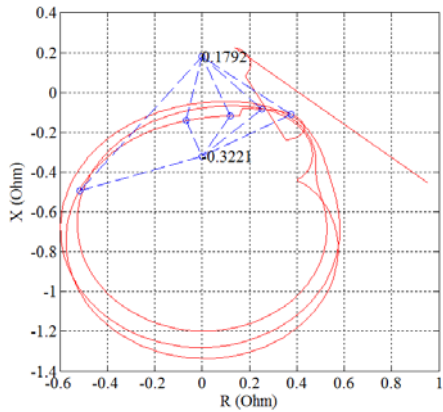
دو سناریوی خطا که منجر به گریز از همگامی واحدهای نیروگاه می‌گردند در نظر گرفته شده‌اند. در سناریوی اول یک خطای سه‌فاز با مقاومت ۱ اهم در لحظه ۰/۲ ثانیه در ۱۰ درصدی خط ۲۳۰ کلوولت L15 (از سمت نیروگاه) رخ می‌دهد. کلید سمت نیروگاه با عملکرد زون ۱ رله متناظر پس از ۱۶۰ میلی‌ثانیه و کلید سمت باسبار ۵ با عملکرد زون ۲ رله متناظر پس از ۴۶۰ میلی‌ثانیه باز می‌شود. فرض شده است که تأخیر زمانی زون ۱ و زون ۲ به ترتیب برابر با ۱۰۰ و ۴۰۰ میلی‌ثانیه تنظیم شده باشند و باز شدن کلیدها نیز ۳ سرکل قدرت (۶۰ میلی‌ثانیه) بطول بطنجامد. پس از باز شدن کلیدهای مذکور، سیستم وارد شرایط گریز از همگامی می‌گردد. در سناریوی دوم، یک خطای سه‌فاز در لحظه ۰/۲ ثانیه در ۱۰ درصدی خط ۴۰۰ کلوولت L13 (از سمت نیروگاه) رخ می‌دهد. از آنجاکه در شبکه سراسری ایران اکثر خطوط ۴۰۰ کلوولت مجهز به تله-پروتکشن هستند، لذا فرض می‌شود رله‌های هر دو سمت خط L13 در زون ۱ عمل می‌کنند. با تأخیر در باز شدن کلیدها فرض می‌شود که کلیدهای دو سمت خط مذکور پس از ۱۷۰ میلی‌ثانیه باز می‌شوند. مشابه سناریوی اول، پس از باز شدن کلیدهای مذکور، سیستم وارد شرایط گریز از همگامی می‌شود.

در شکل ۶ مسیری امپدانس دیده شده از ترینال‌های ژنراتور با لحاظ نمودن مشخصه تنظیمی عملگر ۷۸ رله 7UM62 در شرایط گریز از همگامی در



شکل ۶ مسیر امپدانس نسبت به مشخصه ۷۸ رله 7UM62 در شرایط گریز از همگامی در سناریوی اول

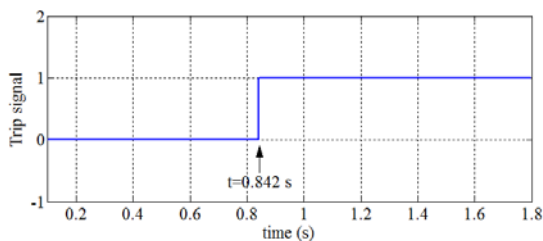
سناریوی اول نشان داده شده است. مدت زمان شبیه‌سازی گریز از همگامی ۱/۱۴ ثانیه از زمان باز شدن دومین کلید (یعنی تا زمان ۱/۸۰ ثانیه) در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه ولتاژ باسبار ژنراتور ۰/۸۵ پریودیت در نظر گرفته شده است، انتظار می‌رفت که مرکز دایره امپدانس در مقادیر منفی محور راکتانس قرار گیرد. این موضوع به وضوح در شکل ۶ مشاهده می‌شود.



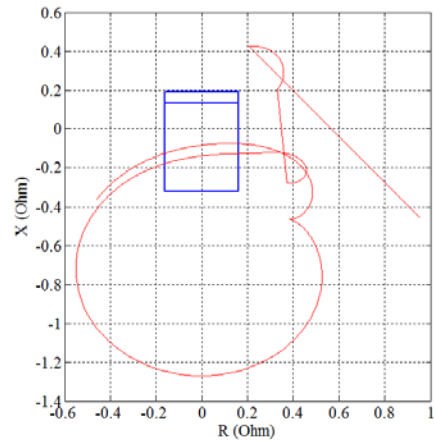
شکل ۱۰ مسیر امپدانس و زاویه‌ی بین دو بردار در شرایط گریز از همگامی در سناریوی اول

می‌دهد. زاویه‌ی هشدار گریز از همگامی برابر با  $110^\circ$  درجه و زاویه‌ی آشکارسازی آن برابر با  $90^\circ$  درجه تنظیم شده است. همچنین مقدار  $Z_A$  برابر با مجموع راکتانس ترانسفورماتور و شبکه و مقدار  $Z_B$  برابر با منفی راکتانس زی‌گذاری ژنراتور ( $X'_d$ ) تنظیم شده است.

شکل ۱۱ سیگنال تریپ صادرشده توسط عملگر ۷۸ رله‌ی REG216 را با فرض تنظیم مقدار  $n1$  برابر ۱ نشان می‌دهد. سیگنال تریپ در لحظه‌ی  $0.842$  ثانیه ارسال شده و سرعت رتور در این لحظه برابر با  $\omega = 1/0.33$  پریودت است. این موضوع نشان می‌دهد علاوه بر آنکه سیگنال تریپ در لحظه‌ی مناسب صادر می‌شود، جریان عبوری در حد اکثر مقدار نیست و روند کاهش دارد و از آسیب احتمالی به کل‌های ژنراتور جلوگیری به عمل می‌آید. این بدان دلیل است که سیگنال تریپ در مسیر برگشت امپدانس هنگامیکه زاویه‌ی بین دو بردار از مقدار معینی (در اینجا  $90^\circ$  درجه) کمتر است ارسال می‌شود. در حقیقت، هنگامیکه امپدانس اندازه‌گیری شده رو به افزایش است بهترین زمان برای ارسال سیگنال تریپ است و این امر با تنظیم مناسب زاویه‌ی تریپ امکانپذیر است. چنانچه مقدار  $n1$  برابر با ۲ تنظیم شود سیگنال تریپ در لحظه‌ی  $1/300$  ثانیه صادر می‌شود. در این لحظه سرعت رتور برابر با  $\omega = 1/0.54$  پریودت است که بالاتر از مقدار مجاز استاندارد است. بنابراین، تنظیم  $n1$  برابر با ۲ مطلوب نیست.



شکل ۱۱ سیگنال تریپ مشخصه‌ی ۷۸ رله‌ی REG216 در شرایط گریز از همگامی در سناریوی اول با تنظیم  $n1=1$

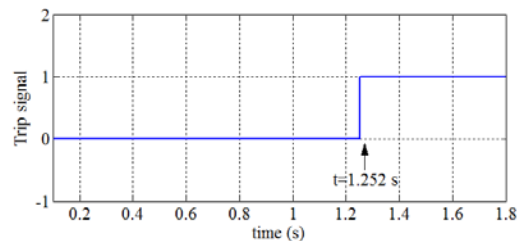


شکل ۸ مسیر امپدانس نسبت به مشخصه‌ی ۷۸ رله‌ی 7UM62 در شرایط گریز از همگامی در سناریوی دوم

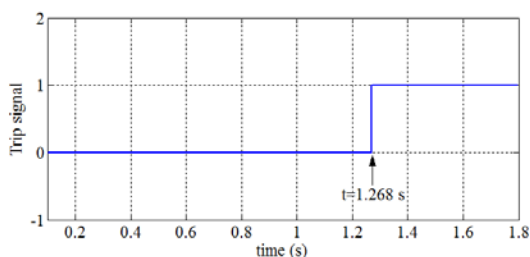
در شکل ۸ مسیری امپدانس مشاهده شده از دبی عملگر ۷۸ در شرایط گریز از همگامی در سناریوی دوم نشان داده شده است. مدت زمان گریز از همگامی  $1/43$  ثانیه بوده است و در این مدت، مسیری امپدانس دو بار به ناحیه‌ی عملکردی ۱ ورود و خروج می‌نماید.

شکل ۹ سیگنال تریپ صادرشده توسط عملگر ۷۸ رله‌ی 7UM62 را در سناریوی دوم با فرض تنظیم  $n1$  برابر ۱ نشان می‌دهد. سیگنال تریپ در لحظه‌ی  $1/252$  ثانیه صادر می‌شود. در این لحظه، سرعت رتور برابر با  $\omega = 1/0.27$  پریودت است. این نشان می‌دهد که سیگنال تریپ در زمان کاملاً مناسبی ارسال می‌شود، افزون بر اینکه جریان عبوری در حد اکثر مقدار نبوده و رو به کاهش است. چنانچه مقدار  $n1$  برابر با ۲ تنظیم شود، سیگنال تریپ در لحظه‌ی  $1/758$  ثانیه صادر خواهد شد. در این لحظه سرعت رتور برابر با  $\omega = 1/0.49$  پریودت است. با توجه به اینکه طبق استاندارد سرعت رتور نباید از  $1/0.3$  درصد مقدار نامی فراتر رود، بنابراین تنظیم مقدار  $n1$  برابر با ۲ مطلوب نیست.

اکنون رفتار عملگر ۷۸ رله‌ی REG216 در شرایط گریز از همگامی در سناریوی اول و دوم بررسی می‌شود. شکل ۱۰ مسیری امپدانس و زاویه‌ی بین دو بردار را در بخشی از دوره‌ی گریز از همگامی در سناریوی اول نشان



شکل ۹ سیگنال تریپ مشخصه‌ی ۷۸ رله‌ی 7UM62 در شرایط گریز از همگامی در سناریوی دوم با تنظیم  $n1=1$



شکل ۱۳ سیگنال تریپ مشخصه‌ی ۷۸ رله‌ی REG216 در شرایط گریز از همگامی در سناریوی دوم با تنظیم  $n1=1$

چرخش مسری امپدانس ( $n1=1$ ) بموقع بوده و قبل از اینکه سرعت رتور از حد مجاز خارج شود سیگنال تریپ ارسال خواهد شد. از آنجا که سیگنال تریپ در لحظه‌ی صادر می‌شود که جرئن حداکثر نبوده و رو به کاهش است، لذا ارسال سیگنال تریپ کاملاً کنترل‌شده بوده و از آسیب‌های احتمالی که ممکن است به کلین ژنراتور وارد شود جلوگیری به عمل می‌آید. بر این اساس، در شرایط گریز از همگامی، سیگنال تریپ می‌بایست توسط عملگر ۷۸ ارسال گردد چراکه ممکن است سالی عملگرها (مانند ۲۱ و ۸۱) سیگنال تریپ را بدون کنترل و در لحظه‌ای که جرئن عبوری از کلینها حداکثر است ارسال کنند.

## منابع

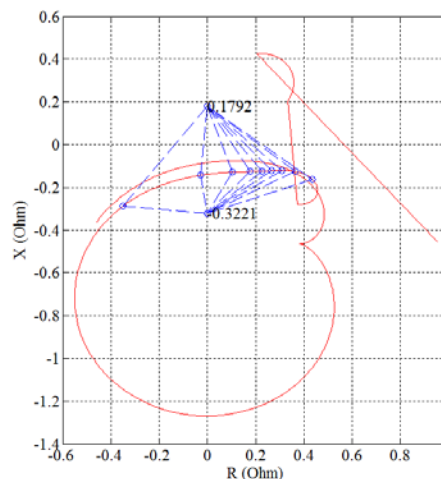
- [1] E. W. Kimbark, *Power System Stability*, vol. 2, The Swing Equation and Its Solution, Wiley-IEEE Press, February 1995, p. 15-52.
- [2] Power Syst. Relay Committee, "Power swing and out-of-step considerations on transmission lines," IEEE PSRC Working Group D6, New York, 2005.
- [3] N. V. Kosterev, V. P. Yanovsky, and D. N. Kosterev, "Modeling of out-of-step conditions in power systems," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 11, no. 2, pp. 839-844, May 1996.
- [4] K. Malmedal, P. K. Sen, and J. P. Nelson, "Application of out-of-step relaying for small generators in distributed generation," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 41, no. 6, pp. 1506-1514, Nov./Dec. 2005.
- [5] S. M. Brahma, "Distance relay with out-of-step blocking function using wavelet transform," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 22, no. 3, pp. 1360-1366, Jul. 2007.
- [6] S. Paudyal, G. Ramakrishna, and M. S. Sachdev, "Application of equal area criterion conditions in the time domain for out-of-step protection," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 25, no. 2, pp. 600-609, Apr. 2010.
- [7] B. Shrestha, R. Gokaraju, and M. Sachdev, "Out-of-step protection using state-plane trajectories analysis," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 28, no. 2, pp. 1083-1093, Apr. 2013.
- [8] *DIgSILENT PowerFactory*, DIgSILENT GmbH, Germany, [Online]. Available: <http://www.digsilent.de/index.php/products-powerfactory.html>.
- [9] Power Syst. Relay Committee, "IEEE guide for AC generator protection," New York, IEEE C37.102-2006, 2006.
- [10] H. Saadat, *Power System Analysis*, 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 2002.
- [11] "7UM62 V4.6 Manual" Simens. [Online]. Available: <http://siemens.siprotec.de>.
- [12] "REG216 Operating Instructions," ABB. [Online]. Available: [www05.abb.com](http://www05.abb.com).

در شکل ۱۲ مسری امپدانس و زاویه‌ی بین دو بردار در دورهی گریز از همگامی در سناریوی دوم نشان داده شده است. شکل ۱۳ سیگنال تریپ صادرشده توسط عملگر ۷۸ رله‌ی REG216 را در سناریوی دوم با فرض تنظیم مقدار  $n1$  برابر ۱ نشان می‌دهد. سیگنال تریپ در لحظه‌ی  $1/268$  ثانیه صادر شده است. در این لحظه، سرعت ژنراتور برابر  $\omega=1/029$  پریودیت است. این موضوع نشان می‌دهد که سیگنال تریپ در زمان کاملاً مناسبی صادر می‌شود افزون بر اینکه جرئن در مقدار حداکثر نیست و رو به کاهش است. چنانچه مقدار  $n1$  برابر با ۲ تنظیم شود، سیگنال تریپ در لحظه‌ی  $1/770$  ثانیه صادر می‌شود. سرعت رتور در این لحظه برابر با  $\omega=1/051$  پریودیت است که از مقدار مجاز استاندارد بیشتر است. بنابراین، در صورت تنظیم  $n1$  برابر با ۲ حفاظت مطلوبی حاصل نخواهد شد.

## ۵. نتیجه‌گیری

در این تحقیق، معادلات مربوط به مسری‌های امپدانس طی‌شده در شرایط گریز از همگامی به دقت بررسی و تحلیل شدند. نشان داده شد که مرکز و شعاع دای امپدانس‌ری که در شرایط گریز از همگامی طی می‌شوند تابعی از مقدار نسبت ولتاژ سیستم از دین ژنراتور به ولتاژ ژنراتور ( $k$ ) است. از آنجا که اندازه‌ی ولتاژ ژنراتور در طول دورهی گریز از همگامی دائماً در حال تغیر است، مقدار  $k$  نیز مرتباً تغیر می‌کند. بنابراین، در دورهی گریز از همگامی دای امپدانس‌ری متفاوتی ایجاد خواهد شد. نتایج شبیه‌سازی این موضوع را به خوبی نشان می‌دهند. حتی در برخی از سناریوهای گریز از همگامی، مرکز دای از قسمت منفی به مثبت و برعکس جابجا می‌شود.

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهند که چنانچه مرکز نوسان به داخل ترانسفورماتور یا ژنراتور نفوذ کند، صدور دستور تریپ پس از یک بار



شکل ۱۲ مسیر امپدانس و زاویه‌ی بین دو بردار در شرایط گریز از همگامی در سناریوی دوم