

## حفاظت دیستانس خطوط انتقال موازی دو مداره برای خطاهای بین مداری

اسماعیل ساری

کارشناس ارشد شرکت توزیع برق اهواز  
sari.esmail@yahoo.com

چکیده - خطوط انتقال موازی دو مداره که بر روی یک دکل قرار دارند مشکلات منحصر به فردی برای رله های دیستانس بخصوص برای خطاهای بین مداری بوجود می آورند. در این مقاله سعی شده که الگوریتم جدیدی برای حفاظت دیستانس خطوط انتقال موازی دو مداره برای خطاهای بین مداری ارائه شود. این الگوریتم، امپدانس را با استفاده از نمونه گیری از یک سمت یکی از خطوط محاسبه می کند. اساس تئوری این الگوریتم که در این مقاله بیان شده بر اساس مولفه های متقارن خطوط دو مداره می باشد. اثر تزویج متقابل بین مدارها با استفاده از تبدیل، حذف شده و رابطه بین جریان توالی صفر بین دو مدار بدست آورده شده است. شبیه سازی کامپیوتری با استفاده از نرم افزار *PSCAD/EMTDC* و پارامترهای خط واقعی انجام شده است. نتایج نشان می دهد که الگوریتم پیشنهاد شده می تواند امپدانس اندازه گیری شده دقیقی را برای خطاهای بین مداری بدست آورد و دقت آن بوسیله مقاومت های خطا، جریان های بار و امپدانس های منبع تحت تاثیر قرار نمی گیرد.

کلید واژه-حفاظت دیستانس، خطوط انتقال موازی دو مداره، خطاهای بین مداری

Archive of SID

خطوط انتقال دو مداره در سیستم های قدرت مدرن بخاطر فواید اقتصادی و محیطی قابل توجه آن نسبت به خطوط تک مداره به طور وسیعی استفاده می شود (Liao and Elangovan 1998). اما حفاظت رله دیستانس برای خطوط انتقال موازی دو مداره بخاطر تزویج متقابل بین دو مدار و خطاهای بین مداری مشکل تر از خط تک مداره می باشد. امیدانس متقابل بین دو مدار می تواند به بزرگی ۵۰-۷۰ درصد امیدانس خودی تزویج توالی صفر باشد (Bhalja and Maheshwari 2007). ضرورت جبران سازی جریان توالی صفر رله دیستانس زمین بدلیل تزویج متقابل خطوط انتقال موازی دو مداره برای سال ها شناخته شده می باشد (Horowitz and Phadke, 1992), (Jongepier and Sluis, 1994), (McLaren et al, 1997). خطاهای بین مداری معمولا بوسیله قوس خطای ناشی از اولین خطای زمین بوجود می آید. فاصله زمانی کوچکی از اولین خطای زمین تا خطای بین مداری وجود دارد. اما این فاصله زمانی در مقایسه با مدت زمان خطا خیلی کوچک می باشد. برخی رله ها که امیدانس خطا را با استفاده از نمونه گیری از یک انتهای دو مدار اندازه گیری می کند در چند سال اخیر توسعه یافته اند (Phadke and Lu, 1985), (Gilany et al, 1992), (Zhang et al, 1999). در نظر گرفتن جریان توالی صفر مدار مجاور، منجر به اتصال پیچیده رله های دیستانس و کاهش قابلیت اعتماد رله های حفاظتی می شود. در این مقاله پیشنهاد شده است که جریان توالی صفر خط انتقال موازی مجاور در محل رله بوسیله جریان توالی صفر خط مورد نظر بدست آورده شده است.

## ۲- بررسی مشخصه جریان های توالی صفر

الگوریتم انتخاب فاز برای شناسایی فازهای تحت خطا برای حفاظت های دیستانس مورد نیاز می باشد و بر اساس این فرض که فازهای تحت خطا بوسیله الگوریتم انتخاب کننده فاز شناسایی می شود (Khorashadi-Zadeh, 2004) این مقاله بر الگوریتم محاسبه مسافت خطا تمرکز دارد. دیاگرام شماتیک خطوط انتقال موازی دو مداره برای خطای بین مداری در شکل ۱ نشان داده شده است.

تبدیل مولفه توالی برای بررسی خطای خطوط انتقال موازی دو مداره مناسب می باشد چون که تزویج متقابل بین دو مدار را به خوبی حذف می کند. ما فرض می کنیم که امیدانس متقابل بین خطوط انتقال موازی سه فاز در طول دو مدار مشابه می باشند. در روش زیر خازن موازی خطوط انتقال موازی دو مداره برای ساده سازی الگوریتم نادیده گرفته شده است. با روش مولفه متقارن خطوط انتقال موازی دو مداره میتوان جریان های توالی صفر خطوط موازی را به  $I_{K0T}$  و  $I_{K0F}$  تبدیل کرد (یعنی  $I_{K110} = I_{K0T} - I_{K0F}$  و  $I_{K10} = I_{K0T} + I_{K0F}$ ). جزئیات بیشتر را می توان در (Yoshihide.Hase, 2007) پیدا کرد.

$$I_{K0F} = \frac{-j\sqrt{3}U_K}{3Z_{K1T} + Z_{K1F} + 2Z_{K0F} + 6R_f} \quad (1)$$

$$I_{K0T} = \frac{-U_K}{Z_{K1T} + 3Z_{K1F} + 2Z_{K0T} + 6R_f + 12R_g} \quad (2)$$

وقتی خطای بین مداری بدون مقاومت زمین رخ دهد هر دو  $R_g$  و  $R_f$  برابر صفر می باشند.

$$I_{K0F} = \frac{-j\sqrt{3}U_K}{3Z_{K1T} + Z_{K1F} + 2Z_{K0F}} \quad (3)$$

$$I_{K0T} = \frac{-U_K}{Z_{K1T} + 3Z_{K1F} + 2Z_{K0T}} \quad (4)$$

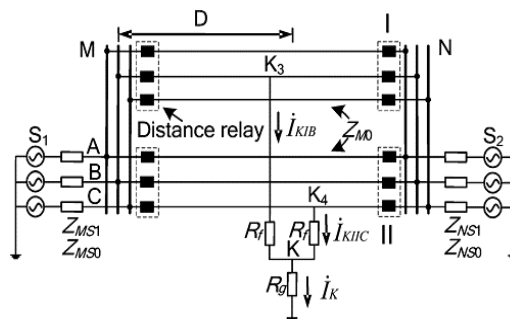
با در نظر نگرفتن مقاومت ها، می توان نوشت

$$\arg\left(\frac{I_{K0F}}{I_{K0T}}\right) = 90^\circ \quad (5)$$

وقتی که خطای بین مداری زمین شده با مقاومت خطا رخ دهد (به این معنی که حداقل یکی از  $R_f$  و  $R_g$  برابر صفر نباشند) رابطه (5) کاملاً صریح نخواهد بود. اما رابطه فاز بین  $I_{K0T}$  و  $I_{K0F}$  را می توان به صورت زیر بیان کرد

$$\arg\left(\frac{I_{K0F}}{I_{K0T}}\right) = \frac{j(Z_{K1T} + 3Z_{K1F} + 2Z_{K0T} + 6R_f + 12R_g)}{3Z_{K1T} + Z_{K1F} + 2Z_{K0F} + 6R_f} \quad (6)$$

نتیجه گیری نسبی را می توان با بررسی کردن وضعیت های حدی  $R_f$  و  $R_g$  بدست آورد. وقتی  $R_f$  و  $R_g$  به سمت صفر میل کند زاویه  $\arg\left(\frac{I_{K0F}}{I_{K0T}}\right)$  تقریباً برابر ۹۰ می شود. وقتی  $R_f$  به سمت بی نهایت میل کند و  $R_g$  نیز به سمت صفر میل کند زاویه تقریباً برابر ۹۰ درجه می شود. وقتی  $R_f$  به صفر نزدیک شود و  $R_g$  نیز به سمت بی نهایت نزدیک شود زاویه تقریباً صفر می شود. بنابراین حدود تغییرات زاویه از ۰ تا ۹۰ درجه می باشد. بر طبق رابطه فاز بین  $I_{K0T}$  و  $I_{K0F}$ ، رابطه فاز بین جریان های توالی صفر خطوط انتقال موازی دو مداره را می توان بدست آورد که برای بدست آوردن الگوریتم دیستانس از آن استفاده می شود.



شکل ۱ دیاگرام مدار بررسی شده

### ۳- الگوریتم برای زون اول رله دیستانس

وقتی خطاهای بین مداری رخ می دهد (به عنوان مثال  $IBIICG$ )، با به کار بردن قانون ولتاژ کیرشف برای مدار از

محل رله M تا محل خطا K در شکل ۱، رابطه زیر بدست می آید. که  $K_0 = \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1}$  و  $K_{M0} = \frac{Z_{M0}}{Z_1}$

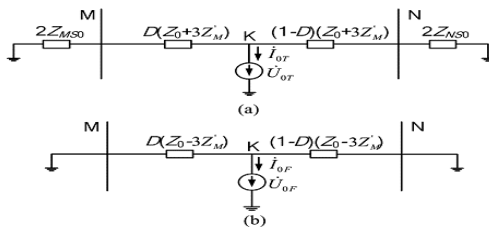
$$\begin{cases} U_{MIB} - U_{K3IB} = DZ_1(I_{MIB} + K_0 I_{MIO} + K_{M0} I_{MIO}) \\ U_{MIIC} - U_{K4IC} = DZ_1(I_{MIIC} + K_0 I_{MIO} + K_{M0} I_{MIO}) \\ U_{K3IB} - I_{KIB} R_f = U_{K4IC} - I_{KIC} R_f = I_K R_g \end{cases} \quad (7)$$

با فرض اینکه خطاهای بین مداری مستقیماً زمین شده رخ دهد،  $R_f$  و  $R_g$  هر دو برابر ۰ می باشند. پس داریم

$$\begin{cases} I_{MIO} = 3C_{M0T} I_{K0T} + 3C_{M0F} I_{K0F} \\ I_{MIO} = 3C_{M0T} I_{K0T} - 3C_{M0F} I_{K0F} \end{cases} \quad (8)$$

که  $C_{M0T}$  و  $C_{M0F}$  به ترتیب فاکتورهای توزیع مولفه مستقیم و معکوس می باشند.

شکل ۲ دیاگرام شماتیکی شبکه های توزیع توالی صفر مولفه های خطا را نشان می دهد. فاکتورهای توزیع جریان های توالی صفر مستقیم و معکوس به صورت زیر فرمول بندی شده است.



شکل ۲ شبکه های توزیع توالی صفر مولفه خطا الف) شبکه توزیع مولفه مستقیم توالی صفر ب) شبکه توزیع مولفه معکوس توالی صفر

$$\begin{cases} C_{MOT} = \frac{(1-D)(Z_0 + 3Z_{M0}) + 2Z_{NS0}}{2Z_{MS0} + Z_0 + 3Z_{M0} + 2Z_{NS0}} \\ C_{MOF} = 1 - D \end{cases} \quad (9)$$

مولفه های سیستم به عنوان مولفه های راکتانس القایی فرض شدند بنابراین فاکتورهای توزیع  $C_{MOT}$  و  $C_{MOF}$  هر دو عددهای حقیقی هستند. با فرض اینکه زاویه  $\beta$  اختلاف فاز بین  $I_{MIO}$  و  $I_{MII0}$  باشد. بر طبق (۵) و (۸) رابطه بین  $I_{MIO}$  و  $I_{MII0}$  به صورت زیر بیان شده است.

$$I_{MII0} = I_{MIO} < \beta \quad (10)$$

با جایگزینی (۱۰) در (۷)

$$U_{MIB} = DZ_1(I_{MIB} + K_0 I_{MIO} + K_{M0} I_{MIO} < \beta) \quad (11)$$

مسافت خطا  $D$  به صورت زیر بدست می آید

$$D = \frac{U_{MIB}}{Z_1(I_{MIB} + K_0 I_{MII0} + K_{M0} I_{MIO} < \beta)} \quad (12)$$

از (۸) و (۱۰) می توان بدست آورد

$$< \beta = \frac{I_{MII0}}{I_{MIO}} = \frac{3C_{MOT}I_{KOT} - 3C_{MOF}I_{KOF}}{3C_{MOT}I_{KOT} + 3C_{MOF}I_{KOF}} \quad (13)$$

بر طبق (۱۱) زاویه  $\beta$  با جدا کردن قسمت های حقیقی و موهومی مسافت خطا  $D$  به صورت زیر بیان می شود

$$\frac{a_1}{b_1} = \frac{a_2 + a_3 \cos(\beta + \theta)}{b_2 + b_3 \sin(\beta + \theta)} \quad (14)$$

که

$$a_1 = \text{real} \left( \frac{U_{MIB}}{Z_1} \right)$$

$$b_1 = \text{Imag} \left( \frac{U_{MIB}}{Z_1} \right)$$

$$a_2 = \text{real} (I_{MIB} + K_0 I_{MI})$$

$$b_2 = \text{Imag} (I_{MIB} + K_0 I_{MI})$$

$$a_3 = b_3 = K_{M0} I_{MIO}$$

سپس (۱۴) را به صورت زیر تغییر می دهیم

$$a_3 b_1 \cos(\beta + \theta) - a_1 b_3 \sin(\beta + \theta) = a_1 b_2 - a_2 b_1 \quad (15)$$

$$\sin(r_1 - (\beta + \theta)) = \sin r_2 \quad (16)$$

$$\sin r_1 = \frac{a_3 b_1}{\sqrt{(a_3 b_1)^2 + (a_1 b_3)^2}}$$

$$\cos r_1 = \frac{a_1 b_3}{\sqrt{(a_3 b_1)^2 + (a_1 b_3)^2}}$$

$$\sin r_2 = \frac{(a_3 b_1 - a_2 b_1)}{\sqrt{(a_3 b_1)^2 + (a_1 b_3)^2}}$$

رابطه زیر قانون مبنای تابع مثلثاتی می باشد

$$\sin(180 - r_2) = \sin r_2 \quad (17)$$

بر طبق (16) و (17) دو نتیجه برای  $\beta$  بدست می آید

$$\begin{cases} \beta_1 = r_1 - (180 - r_2) - \theta \\ \beta_2 = r_1 - r_2 - \theta \end{cases} \quad (18)$$

برای بدست آوردن حدود تغییرات زاویه  $\beta$ ، چندین فرض در نظر گرفته شده است. برای خط داده شده، پارامترهای خط ثابت در نظر گرفته شده است. حدود زاویه  $\beta$  باید بوسیله (13) برای محل های خطای مختلف و پیکربندی سیستم محتمل تعیین شود. به عنوان مثال در شکل 3 نشان داده شده است. واضح است که  $\beta$  از  $-90$  تا  $-180$  درجه تغییر می کند. بر طبق این نتیجه گیری که  $\beta$  از  $-90$  تا  $-180$  تغییر می کند  $\beta_1$  جواب ما خواهد بود.

بر اساس نتیجه گیری گرفته شده در قبل، رابطه (12) زاویه  $\beta$  را تعیین می کند

$$\beta_1 = r_1 - (180 - r_2) - \theta \quad (19)$$

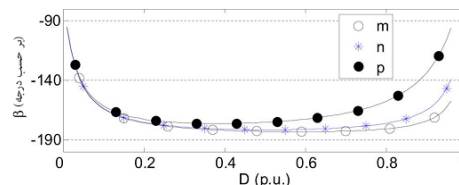
که

$$r_1 = \sin^{-1} \left( \frac{a_3 b_1}{\sqrt{(a_3 b_1)^2 + (a_1 b_3)^2}} \right)$$

$$r_2 = \sin^{-1} \left( \frac{a_1 b_2 - a_2 b_1}{\sqrt{(a_3 b_1)^2 + (a_1 b_3)^2}} \right)$$

با توجه به اینکه  $D$  مسافت را نشان می دهد در نتیجه می توان رله دیستانس را ساخت. با جایگزین کردن (19) در (12) راکتانس القایی تخمین زده شده در محل رله بدست می آید

$$X = DX_1 \quad (20)$$



شکل 3. تغییرات زاویه  $\beta$  به عنوان تابع محل خطا برای

نسبت امپدانس های منبع مختلف

$$\begin{aligned} Z_{MS1} = j6, Z_{MS0} = j7.8, m \div \left( \frac{Z_{MS1}}{Z_{NS1}} \right) = 0.1, n \div \left( \frac{Z_{MS1}}{Z_{NS1}} \right) \\ = 1, p \div \left( \frac{Z_{MS1}}{Z_{NS1}} \right) = 10 \end{aligned}$$

به طور مشابه معادلات عملکرد برای راکتانس‌های القایی تخمین زده شده برای انواع دیگر خطاهای بین مداری را می‌توان بدست آورد. در فرمول بدست آمده (۱۲)،  $U_{mib}$  و  $I_{mib}$  را باید به ترتیب با جریان و ولتاژ فاز خطا دار جایگزین کرد.

#### ۴- مطالعات موردی

مدل شبیه سازی سیستم دو ماشینه معادل  $kv$  ۵۰۰ در شکل ۱ نشان داده شده است. از نرم افزار PSCAD/EMTDC برای شبیه سازی سیستم قدرت استفاده شده است. منبع  $M$  از منبع  $N$  به اندازه ۳۰ درجه (بار سنگین) و ۰ درجه (بی باری) جلوتر می‌باشد. خطاها در ۰.۵ ثانیه اتفاق افتاده است. رابطه فوریه تمام سیکل به عنوان الگوریتم فیلتر با استفاده از نرخ نمونه گیری ۱۰۰ نمونه در هر سیکل (برای سیستم ۵۰ هرتز) استفاده شده است. تنها مولفه فرکانس اصلی بررسی شده است. معادله (۲۰) برای محاسبه راکتانس خطای تخمین زده شده از محل رله تا محل خطا به کار می‌رود.

به منظور ارزیابی الگوریتم پیشنهاد شده، بعضی نتایج مقایسه‌ای بین الگوریتم پیشنهاد شده و الگوریتم با جبران سازی جریان توالی صفر مستقیم خطوط انتقال موازی دو مداره یا الگوریتم سنتی بدون جبران سازی جریان توالی صفر خطوط انتقال موازی دو مداره انجام شده است.

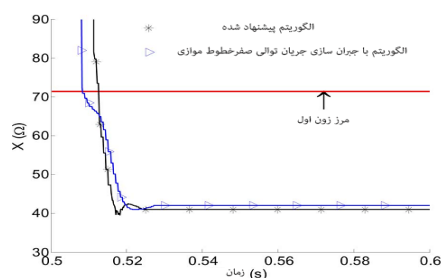
الگوریتم با جبران سازی جریان توالی صفر مستقیم دو مداره به صورت زیر می‌باشد

$$X = \text{imag} \left( \frac{U_{MI\phi}}{I_{MI\phi} + K_0 I_{MI0} + K_0 I_{MI10}} \right) \quad (21)$$

الگوریتم سنتی بدون جبران سازی جریان توالی صفر دو مداره را می‌توان به صورت زیر بیان کرد

$$X = \text{imag} \left( \frac{U_{MI\phi}}{I_{MI\phi} + K_0 I_{MI0}} \right) \quad (22)$$

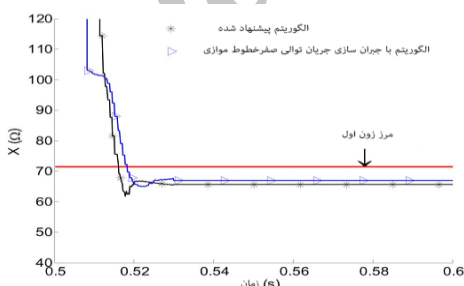
شکل ۴ و ۵ نتایج مقایسه بین الگوریتم پیشنهاد شده و الگوریتم با جبران سازی جریان توالی صفر وقتی که خطای  $IBIICG$  مستقما زمین شده که در دو محل مختلف اتفاق می‌افتد را نشان می‌دهد. وقتی فاز خطا انتخاب شود الگوریتم پیشنهاد شده راکتانس خطا را در ظرف ۲۰ میلی ثانیه می‌تواند محاسبه کند. می‌توان دید که چند تخمین اولیه دارای خطا هستند چونکه پنجره داده عمدتاً شامل داده های پیش از خطا هستند. وقتی که پنجره داده با داده های بعد از خطا پر شود تخمین ها به تدریج به مقدار راکتانس خطای واقعی می‌رسد. جریان توالی صفر خطوط انتقال موازی برای جبران سازی اثر تزویج متقابل در اندازه گیری راکتانس القایی خط خطا دار در رابطه (۲۱) استفاده شده است. وقتی که هر دو خط دو مداره در مدار باشند اندازه گیری دیستانس با جریان توالی صفر کاملاً جبران شده خطوط انتقال موازی خطوط خطا دار همیشه درست خواهد بود. بنابراین الگوریتم با جبران سازی جریان توالی صفر خطوط انتقال موازی دو مداره می‌تواند راکتانس خطای دقیق را محاسبه کند. همان طوری که در شکل ۴ و ۵ نشان داده شده است مکان هندسی الگوریتم پیشنهاد شده به مکان هندسی الگوریتم با جبران سازی جریان توالی صفر خطوط انتقال موازی دو مداره در محل های خطای مختلف نزدیک می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که عملکرد الگوریتم پیشنهاد شده نزدیک به الگوریتم با جبران سازی جریان توالی صفر خطوط انتقال موازی دو مداره می‌باشد.



شکل ۴ راکتانس خطای تخمین زده شده تحت خطای مستقیم *IBIICG* با محل خطای  $150\text{ km}$  از شین  $M$

خطای ماکزیمم الگوریتم پیشنهاد شده کمتر از ۳ درصد در شکل ۵ می‌باشد. خطاها بخاطر این است که فرض شده سیستم کاملاً از مولفه‌های القایی تشکیل شده و امپدانس‌های منبع اثر کم اهمیتی بر فاکتورهای توزیع جریان دارد اما مقدار ماکزیمم کمتر از ۳ درصد قابل قبول می‌باشد. شبیه سازی در شکل ۵ نشان می‌دهد که هر دو الگوریتم از پیش بیان شده، وقتی که پوشش زون ۸۵ درصد زون اول است می‌تواند به درستی عمل کند. بنابراین الگوریتم پیشنهاد شده می‌تواند دقت رله دیستانس زون اول تحت خطاهای بین مداری مستقیماً زمین شده را بر آورده کند.

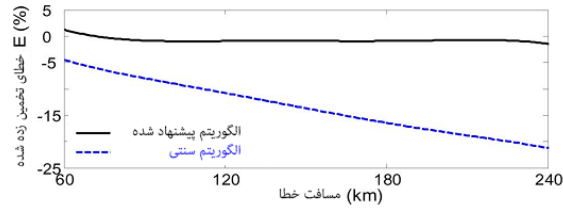
جریان توالی صفر خطوط انتقال موازی همیشه برای رله در عمل در برخی موارد قابل دسترسی نمی‌باشد. الگوریتم سنتی بدون جریان سازی جریان توالی صفر دو مداره بسته به جهت نسبی جریان توالی صفر خطوط انتقال موازی ممکن است اضافه برد یا کاهش برد پیدا کند. برای تایید الگوریتم پیشنهاد شده، مقایسه‌ی بین الگوریتم پیشنهاد شده و الگوریتم سنتی بدون جریان سازی جریان توالی صفر خطوط انتقال موازی دو مداره در دو وضعیت متداول انجام شده است شکل ۶ مقایسه بین الگوریتم پیشنهاد شده و الگوریتم سنتی بدون جریان سازی جریان توالی صفر خطوط انتقال موازی دو مداره وقتی که خطای



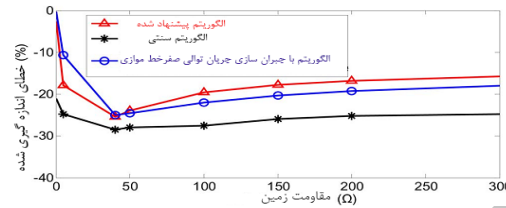
شکل ۵ راکتانس خطای تخمین زده شده تحت خطای مستقیم *IBIICG* با محل خطای  $240\text{ km}$  از شین  $M$

*IBIICG* مستقیماً زمین شده رخ دهد را نشان می‌دهد. خطاها با  $\delta=30$  (بار سنگین، منبع  $M$  از منبع  $N$  جلوتر می‌باشد) تحت وضعیت‌های خطای مختلف شبیه سازی شدند. همان طوری که در شکل ۶ نشان داده شده، خطاهای تخمین زده الگوریتم پیشنهاد شده کوچکتر از الگوریتم سنتی می‌باشد. رله با الگوریتم پیشنهاد شده می‌تواند به درستی در این وضعیت عمل کند در حالی که رله با الگوریتم سنتی ممکن است اضافه برد پیدا کند.

مقاومت خطا بین فازهای تحت خطا در عمل کوچک است اما مقاومت زمین ممکن است بزرگ باشد. شبیه سازی تحت وضعیت‌های حدی  $\delta=30$  و  $R_f$  برابر صفر و  $R_g$  بین  $0-300$  انجام شده است. خطاهای تخمین زده شده سه الگوریتم در شکل ۷ نشان داده شده است. خطای راکتانس خطا تخمین زده شده از رابطه (۲۳) محاسبه شده است.



شکل ۶ خطاهای راکتانس خطا تخمین زده شده تحت خطای مستقیم  $IBICG$  با وضعیت  $\delta=30$  تحت محل های خطای مختلف



شکل ۷ خطاهای راکتانس خطا تخمین زده شده تحت خطا با مقاومت زمین خطا  $IBICG$  با وضعیت  $R_f = 0$  و  $R_g$  بین  $300-0$  با محل خطا  $240$  km از شین  $M$

$$E = \frac{X - X_{actual}(\text{خط واقعی خطا})}{X_1} \quad (23)$$

بر طبق شکل ۷ می توان دید که خطای تخمین زده شده الگوریتم پیشنهاد شده کوچک می باشد. وقتی که مقاومت زمین کوچک باشد الگوریتم پیشنهاد شده نسبت به الگوریتم سنتی برتری دارد. بنابراین استفاده از الگوریتم پیشنهاد شده عملکرد حفاظت دیستانس خطوط انتقال موازی دو مداره را بهبود می دهد.

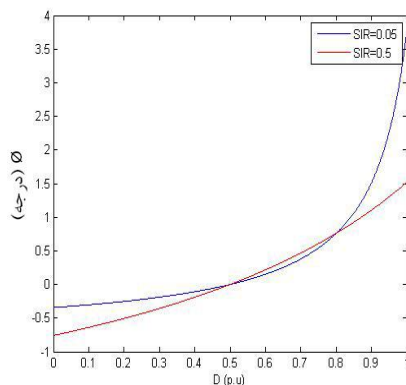
#### ۵- مطالعه حساسیت ها

برای بدست آوردن رابطه (۲۰) فرض شده است که دو خط کاملاً جابجایی فاز شده و خطای بین مدارای مستقیماً زمین شده رخ داده است. چون که در عمل این چنین حالت ایده آلی وجود ندارد، بنابراین ضروری است که حساسیت الگوریتم بررسی شده را نسبت به خطای ناشی از این پارامترها بررسی کنیم.

#### ۵-۱ تاثیر فاکتورهای توزیع جریان

لازم است که در الگوریتم بررسی شده، فاکتور توزیع جریان  $G_{MOT}$  در رابطه (۹) یک عدد حقیقی باشد. دست یافتن به عدد حقیقی همیشه امکان پذیر نمی باشد چون که بسته به پارامترهای خط انتقال و سیستم، فاز فاکتور توزیع جریان ( $\emptyset$ ) در حدود خاصی تغییر می کند. تغییرات زاویه  $\emptyset$  در محل های خطای مختلف در شکل ۸ نشان داده شده است.





شکل ۸ تغییرات  $\theta$  به عنوان تابع محل خطا برای دو نسبت

$$Z_{150} = Z_{250} \text{ امیدانس منبع به خط}$$

شکل ۸ تغییرات زاویه  $\theta$  در مقابل محل‌های خطای مختلف برای دو نسبت امیدانس منبع به خط حدی را نشان می‌دهد. همان طوری که در شکل ۸ نشان داده شده است مقدار ماکزیمم زاویه فاز  $\theta$  تنها  $3/92$  (خط صاف) می‌باشد، که مربوط به محل خطای نزدیک به انتهای خط انتقال می‌باشد. این مقدار خطا، باعث می‌شود که ماکزیمم خطای تخمین زده شده به مقدار  $2-$  درصد برسد (متناظر با نقطه در انتهای خط شکل ۷ می‌باشد). تغییرات زاویه  $G_{MOT}$  در شکل ۸ خیلی کوچک می‌باشد، که اثر قابل اغمازی بر راکتانس خطای تخمین زده شده دارد، همان طوری که در شکل ۶ مشاهده می‌شود.

#### ۲-۵ تاثیر مقاومت‌های خطا

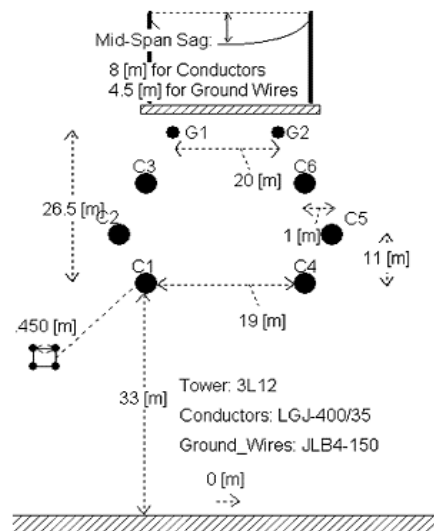
در الگوریتم بررسی شده، در حین بدست آوردن رابطه (۱) و (۲) مقاومت خطا در نظر گرفته شده است. در شکل ۴ و ۵ می‌توان مشاهده کرد وقتی که خطای بین مداری مستقیماً زمین شده اتفاق می‌افتد، الگوریتم بررسی شده عملکرد خوبی از خود نشان می‌دهد.

شکل‌های ۶ و ۷ نشان می‌دهند که الگوریتم بررسی شده عملکرد خوبی نسبت به الگوریتم سنتی بدون جبران‌سازی جریان توالی صفر خطوط موازی برای خطای بین مداری زمین شده با مقاومت‌های بالا دارد.

#### ۳-۵ تاثیر وضعیت جابجایی فاز خط

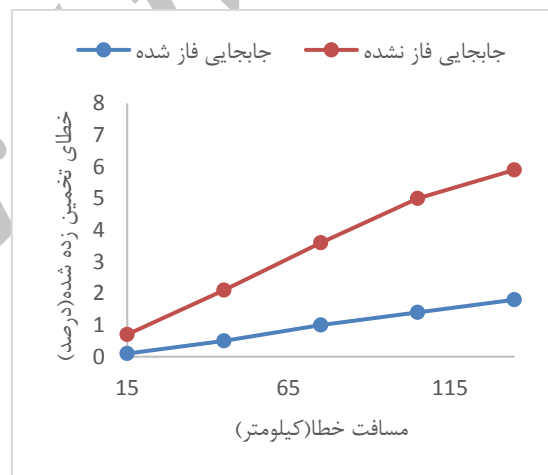
در الگوریتم بررسی شده، فرض شده است که خطوط انتقال موازی دو مداره کاملاً جابجایی فاز شده و سه فاز دو خط متقارن می‌باشند. اگر خطوط کاملاً جابجایی فاز نشده باشند، امیدانس‌های توالی به هندسه خط بستگی خواهند داشت و تاثیر متقابل خطوط نامتقارن را نمی‌توان کاملاً از طریق روش مولفه متقارن حذف کرد. اگر به‌جای پارمترهای خط جابجایی فاز شده، از پارمترهای خط جابجایی فاز نشده در الگوریتم بررسی شده استفاده شود باعث بوجود آمدن مقداری خطا در الگوریتم بررسی شده می‌شود.

پیکربندی ساختار برج برای خطوط انتقال ۵۰۰ kV در شکل ۹ ارائه شده است. طول خط ۱۵۰ کیلومتر فرض شده است. برای رله دیستانس که حدود تنظیمات زون اول ۸۰ تا ۹۰ درصد طول خط مورد حفاظت می‌باشد، معمولاً مورد انتظار است که خطا نزدیک مرز زون اول، کمتر از  $\pm 5$  درصد باشد (Xu, 2007). شکل ۱۰ نشان می‌دهد وقتی که محل خطا نزدیک انتهای زون اول (۱۲۷/۵ کیلومتر) باشد خطای راکتانس خطای تخمین زده شده کمتر از ۵ درصد می‌باشد.



شکل ۹ پیکربندی ساختار برج

بنابراین این خطا، اثر قابل اغمازی بر کاربرد الگوریتم بررسی شده حفاظت زون اول برای خط جابجایی فاز نشده دارد.



شکل ۱۰ خطای راکتانس خطای تخمین زده شده با به کار بردن الگوریتم بررسی شده برای خطوط جابجایی فاز شده و نشده

## ۶- نتیجه گیری

عملکرد رله‌های دیستانس متداول خطوط انتقال موازی دو مداره به طور نامطلوبی بخاطر تزویج متقابل بین خطوط، مخصوصاً برای خطاهای بین مداری تحت تاثیر قرار می‌گیرد. رله دیستانس متداول بدون در نظر گرفتن جبران سازی جریان توالی صفر خطوط انتقال موازی دو مداره ممکن است اضافه برد داشته باشد. الگوریتم جدید رله گذاری دیستانس زون اول برای خطاهای بین مداری زمین شده در این مقاله پیشنهاد شده است. جریان توالی صفر خط مجاور در محل رله بوسیله جریان توالی صفر خط مورد نظر با استفاده از روش مولفه متقارن خطوط انتقال موازی دو مداره بیان شد. دقت الگوریتم پیشنهاد شده تحت همه نوع وضعیت های خطا بررسی شده است. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهاد شده به خوبی الگوریتم با جبران سازی جریان توالی صفر مستقیم دو مداره می‌باشد. در حالی که عملکرد بهتری در مقایسه با الگوریتم سنتی بدون جبران سازی جریان توالی صفر خطوط انتقال موازی دو مداره دارد.

## ۷- مراجع

Y. Liao and S. Elangovan.( 1998). "Digital distance relaying algorithm for first zone protection for parallel transmission lines," *Proc. Inst. Elect. Eng., Gen. Transm. Distrib.*, vol. 145, no. 5, pp. 531–536, Sep.

B. R. Bhalja and R. P. Maheshwari. (2007) "High-resistance faultson two terminal parallel transmission line: Analysis, simulation studies, and an adaptive distance relaying scheme," *IEEE Trans. Power Del.*, vol.22, no. 2, pp. 801–812, Apr.

S. H. Horowitz and A. G. Phadke.( 1992) *Power System Relaying*. Taunton,U.K.: Research Studies Press, pp. 120–121.

A. G. Jongepier and L. van der Sluis.( 1994) "Adaptive distance protection of a double circuit line," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 9, no.3,pp.1289–1297, Jul..

P. G. McLaren, I. Fernando, H. Liu, E. Dirks, G. W. Swift, and C.Steele.( 1997) "Enhanced double circuit line protection," *IEEE Trans.Power Del.*, vol. 12, no. 3, pp. 1100–1108, Jul.

A. G. Phadke and J. H. Lu,( 1985) "A new computer based integrated distance relay for parallel transmission lines," *IEEE Trans Power App.Syst.*, vol.PAS-104, no. 2, pp. 445–452, Feb.

M. I. Gilany, O. P. Malik, and G. S. Hope. (1992) "A digital technique for parallel transmission lines using a single relay at each end ,"*IEEE Trans. Power Del.*, vol. 7, no. 1, pp. 118–123, Jan.

Q. C. Zhang, Y. Zhang, W. N. Song, Y. X. Yu, and Z. G. Wang.( 1999 )" Fault location of two-parallel transmission line for non-earth fault using one terminal data," *IEEE Trans. Power Del.*, vol.14,no.3,pp.863–867,Jul.

H. Khorashadi-Zadeh. (2004) "Artificial neural network approach to fault classification for double circuit transmission lines," in *Proc. IEEE Power Eng. Sox. Transmiss. Distribution Conf. Expo.: Latin America*, pp. 859–862.

Yoshihide.Hase. (2007 ) "Handbook of power system engineering," John Wiley & sons,Ltd.

Z. Y. Xu, S. F. Huang, L. Ran, J. F. Liu, Q. X. Yang, and J. L. He.( 2008) "A distance relay for a 1000-kV UHV transmission line," *IEEE Trans.Power Del.*, vol. 23, no. 4, pp. 1795–1804, Oct.