



# یک حفاظت تفاضلی جدید برای خط انتقال فشار قوی چشمه سفید - نیروگاه سنندج با استفاده از مولفه خطای توان مختلط

سعید جوادی

شرکت برق منطقه‌ای غرب

کرمانشاه، ایران

s.javadi19@gmail.com

شهرام حیدری

شرکت برق منطقه‌ای غرب

کرمانشاه، ایران

shahram.heydari@gmail.com

واژه‌های کلیدی — مولفه خطا توان مختلط؛ خطای داخلی؛ خطای خارجی؛ تبدیل فوریه؛ الگوریتم جدید و مقاومت خطا

## ۱. مقدمه

سیستم انتقال یکی از بخش‌های پیچیده سیستم قدرت به شمار می‌آید، چرا که به دلیل ارتباط زیاد با طبیعت و بلایای طبیعی مثل طوفان، باد، سیل، زلزله و ... امکان ایجاد انواع حوادث و خطاها در سیستم انتقال بسیار زیاد است و همچنین طبق آمارهای موجود هزینه طراحی، احداث و بهره برداری خطوط بسیار زیاد است، پس می‌توان گفت خطوط انتقال یکی از اجزای اساسی سیستم قدرت است و در واقع تنه اصلی شبکه سراسری محسوب می‌شود همچنین با توجه به افزایش مداوم ظرفیت خطوط انتقال انرژی، اهمیت حفاظت از آن بیش از پیش فزونی یافته است. مشکلات حفاظت دیستانس برای خطوط انتقال موضوعی بوده است که از گذشته تاکنون محققان و مولفان در زمینه حفاظت را به چالش کشیده است و مقالات و کتب فراوانی هم در این زمینه به وجود آمده است که هر کدام برخی از نقص‌های این حفاظت را برطرف کرده‌اند در زیر تعداد اندکی از مقالات و کتب مرتبط با این تحقیق که تاکنون انجام شده است و همچنین نقاط ضعف و قوت آنها نیز آورده شده است [۱ و ۲]. به دلیل مشکلات ذکر شده برای حفاظت دیستانس، حفاظت دیفرانسیل که یک حفاظت واحد با اطمینان و هماهنگی و حساسیت بالا است استفاده از آن در خطوط انتقال بلند انرژی مورد نظر بوده است یکی از مشکلات اصلی بر سر راه این حفاظت برای

چکیده — به دلیل مشکلات حفاظت دیستانس نظیر بدون حفاظت ماندن قسمتی از خط در زون یک، عملکرد نادرست هنگام نوسانات قدرت و خطای شدید خارجی، عملکرد اشتباه هنگام مقاومت زیاد خطا و ... تلاش می‌شود که یک حفاظت دقیق و با هماهنگی و حساسیت بالا برای خطوط انتقال فشار قوی بکار رود. در این مقاله سعی بر این است با استفاده از الگوریتم مولفه خطای توان مختلط که با یک روش جدید سرعت عملکرد آن افزایش یافته است، بتوان یک حفاظت با دقت و سرعت عمل بالا، هماهنگی، حساسیت و پایداری بالا برای خطوط انتقال بلند بکار برد. این حفاظت بایستی بتواند فازی که خطا در آن اتفاق افتاده است را نیز تشخیص دهد همچنین عملکرد این الگوریتم جدید با عملکرد تبدیل فوریه نیز مقایسه گردیده است. برای این منظور انواع خطاها در داخل و خارج با مقادیر متفاوت مقاومت خطا و در فواصل مختلف از خط انتقال چشمه سفید به نیروگاه سنندج در نرم افزار EMTP-RV شبیه سازی شده است. پس از استخراج سیگنال‌های ولتاژ و جریان دو طرف خط از این نرم افزار و پیاده سازی این دو الگوریتم در MATLAB، مشخصه رله برای این دو الگوریتم به دست آمده است. در نهایت نتایج نشان می‌دهد که با الگوریتم مولفه خطای توان مختلط با روش جدید سرعت عملکرد، هماهنگی، حساسیت و همچنین پایداری رله افزایش می‌یابد.

- عدم عملکرد سریع رله با بعضی الگوریتم‌های فوق
- ناپایداری حفاظت برای برخی خطاهای شدید خارجی
- عدم وجود حساسیت و هماهنگی بالا
- تشخیص غلط فاز دارای خطا

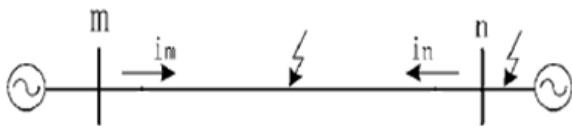
با وجود مشکلات فوق بایستی الگوریتم جدیدی برای بکارگیری یک حفاظت دقیق برای خطوط انتقال بلند بکار برد که اساس این مقاله را تشکیل می‌دهد. در این مقاله با استفاده از الگوریتم مولفه خطا توان مختلط (FCIP) که اساس عملکردش شبیه حفاظت دیفرانسیل است و از مقادیر ولتاژ و جریان دو طرف خط استفاده می‌کند یک حفاظت با ضریب اطمینان بالا، حساسیت زیاد، سطح محاسبات پایین و عملکرد تقریباً آنی برای تمام طول یک خط انتقال بلند بکار برده شده است که بایستی فاز دارای خطا (فازی که خطا در آن رخ داده) نیز تشخیص داده شود. برای این کار این الگوریتم جدید حفاظتی روی خط انتقال چشمه سفید-نیروگاه بیستون پیاده سازی شده و با بکارگیری روش‌های جدید در فرآیند الگوریتم عملکرد این حفاظت تسریع داده شده است.

## ۲. مفهوم FCIP و نحوه عملکرد آن

ابتدا نحوه تشخیص خطا و فازی که خطا در آن است بیان می‌گردد.

### ۲.۱. تشخیص خطای داخلی خط

«شکل ۱» خط انتقال دو سو تغذیه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: خط انتقال دو سو تغذیه

«شکل ۲» مدل سازی خط انتقال معرفی شده در «شکل ۱» است که در آن یک خطای داخلی در نقطه F اتفاق افتاده است.

خطوط انتقال بلند وجود جریان خازنی در خط است که هرچه ولتاژ و طول خط بیشتر گردد این جریان نیز شدیدتر می‌گردد برای حذف این جریان خازنی از جبرانگرها و بعضی الگوریتم‌های جدید استفاده شده است که جریان خازنی را به طور کامل در حالت پایدار و گذرا جبران سازی نکرده‌اند که باعث عملکرد اشتباه می‌شود [۳ و ۴].

در [۵ و ۶] توانسته‌اند با بکارگیری حفاظت دیفرانسیل بر اساس توان‌های اکتیو و راکتیو مشکل جریان خازنی خط را تا حدودی برطرف کنند و توانسته‌اند خط انتقال را با استفاده از رله دیفرانسیل محافظت کنند. حفاظت دیفرانسیل توانی در واقع یک نوع حفاظت پایلوت است که مشکلات حفاظت جریانی را تا حدودی برطرف می‌کند. اما مشکل اصلی که در حفاظت‌های توانی وجود دارد عملکرد اشتباه هنگام خطاهای شدید خارج از خط انتقال است بعبارتی خط بدون هیچ مشکلی بر روی آن قطع می‌گردد در واقع یک حفاظت ناپایدار است.

با استفاده از الگوریتم پارامترهای توزیع شده خط انتقال در حوزه فرکانس می‌توان خطاهای داخلی و خارجی را تشخیص داده، اما مشکل اصلی این روش محاسبات بسیار زیاد در حوزه فرکانس است که فراتر از قابلیت رله‌های کنونی است [۷].

در [۸] بیان گردیده است که با استفاده از یک تبدیل گسسته، امواج ولتاژی و انتهای خط تجزیه و تحلیل شده است. در نهایت با استفاده از این تبدیل مکان و نوع بعضی از خطاهای رخ داده شده در خط انتقال مشخص گردیده است.

در ادامه با استفاده از قانون انرژی بدون توجه به جریان خازنی خط انتقال حفاظت دیفرانسیل برای خطوط انتقال بکار رفته است، در اینجا با استفاده از مقادیر ولتاژ و جریان دو طرف خط انتقال و تلفات موجود در خط و تعیین یک مقدار آستانه تلفات برای تشخیص نوع خطا توانسته‌اند داخلی و یا خارجی بودن خطای اتفاق افتاده را تشخیص دهند اما مشکلی که بر سر راه این الگوریتم وجود دارد عدم تشخیص فاز دارای خطا است [۹].

در [۱۰] نیز یک حفاظت دقیق اما دارای تاخیر به دلیل طولانی بودن پنجره زمانی، که بر اساس اندازه‌گیری فازورهای جریانی دو طرف خط عمل می‌کند برای خط انتقال بلند و فشار قوی بکار برده شده است. ویژگی‌های مشترک و مشکلات بکارگیری الگوریتم‌های حفاظتی فوق برای خطوط از کارهای گذشته به صورت زیر خلاصه می‌شوند:

- عدم رفع مشکلات حفاظت دیستانس به طور کامل

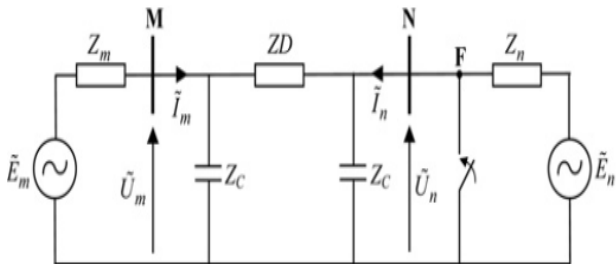
<sup>1</sup> Fault component integrated power

$$FCIP = -R_m |\Delta I_m|^2 - R_n |\Delta I_n|^2 < 0 \quad (6)$$

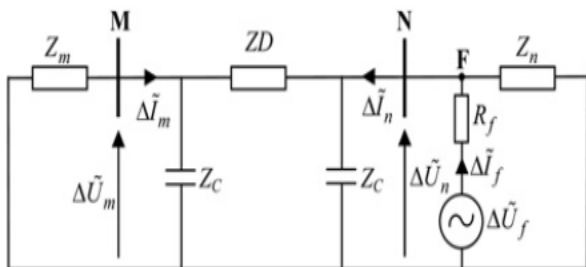
پس FCIP برای یک خطای داخلی همواره منفی است.

## ۲.۲. تشخیص خطای خارجی

«شکل‌های ۴ و ۵» برای نشان دادن خطای خارجی بکار برده شده‌اند.



شکل ۴: خط انتقال با وجود یک خطای خارجی [۱۱]



شکل ۵: شبکه ناشی از خطا خارجی [۱۱]

معادلات زیر با استفاده از «شکل‌های ۴ و ۵» به دست آمده‌اند.

$$\Delta I_m = \frac{\Delta U_m}{Z_c} + \frac{\Delta U_m - \Delta U_n}{ZD} \quad (7)$$

$$\Delta I_n = \frac{\Delta U_n}{Z_c} + \frac{\Delta U_n - \Delta U_m}{ZD} \quad (8)$$

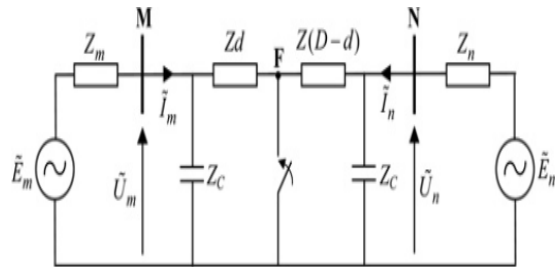
با جایگذاری (۷) و (۸) در معادلات توان داریم:

$$\Delta S_m = \Delta U_m \Delta I_m^* = \frac{|\Delta U_m|^2}{Z_c^*} + \frac{|\Delta U_m|^2 - \Delta U_m \Delta U_n^*}{ZD^*} \quad (9)$$

$$\Delta S_n = \Delta U_n \Delta I_n^* = \frac{|\Delta U_n|^2}{Z_c^*} + \frac{|\Delta U_n|^2 - \Delta U_n \Delta U_m^*}{ZD^*} \quad (10)$$

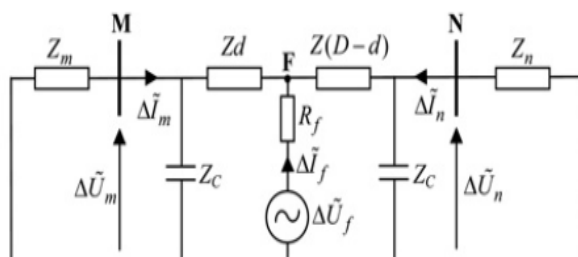
با فرض  $\Delta U_n = |\Delta U_n| \exp(j\theta_n)$  و  $\Delta U_m = |\Delta U_m| \exp(j\theta_m)$

و با دانستن  $Z_c = \frac{2}{j\omega c}$  و با ساده سازی داریم:



شکل ۲: مدار معادل خط انتقال با وجود یک خطای داخلی [۱۱]

هنگامی که یک خطای داخلی رخ دهد با استفاده از «شکل ۳» که فقط شامل شبکه خطا است معادلات زیر به دست خواهند آمد. توجه گردد که در تمام روابط زیر مقادیر استفاده شده فازورهای فقط ناشی از خطای ولتاژ و جریان هستند، که چگونگی استخراج این فازورها نیز در قسمت‌های بعدی بیان خواهد شد.



شکل ۳: شبکه ناشی از یک خطای تکفاز داخلی [۱۱]

همانطوریکه در شکل مشخص است ولتاژ ترمینال‌های m و n از روابط

(۱) و (۲) به دست می‌آید.

$$\Delta U_m = -Z_m \Delta I_m \quad (1)$$

$$\Delta U_n = -Z_n \Delta I_n \quad (2)$$

توجه گردد که  $Z_m$  و  $Z_n$  امپدانس‌های تونن هر دو پست،  $\Delta U_m$ ،  $\Delta U_n$ ،  $\Delta I_m$  و  $\Delta I_n$  فازورهای فقط ناشی از خطا، ولتاژ و جریان هر دو پست هستند توان‌های مختلط خارج شده از هر دو ترمینال طبق (۳) و (۴) به دست خواهد آمد.

$$\Delta S_m = \Delta U_m \Delta I_m^* = -Z_m |\Delta I_m|^2 \quad a + b = \alpha \quad (3)$$

$$\Delta S_n = \Delta U_n \Delta I_n^* = -Z_n |\Delta I_n|^2 \quad (4)$$

مولفه FCIP طبق (۵) به دست خواهد آمد [۱۱].

$$FCIP = \text{Re}(\Delta S_m + \Delta S_n) \quad (5)$$

با جایگذاری  $Z_n = R_n + jX_n$  و  $Z_m = R_m + jX_m$  در (۵)، (۶)

که همواره منفی است به دست می‌آید.

### ۳. استخراج مولفه‌های فازوری خطا

در این مقاله تمام حالات مختلف خطا بر روی خط انتقال مورد مطالعه در نرم افزار EMTP-RV شبیه سازی می‌گردد. سپس تمام سیگنال‌های ولتاژ و جریان دو طرف خط به صورت سمپلی دریافت می‌شوند.

#### ۳.۱. استخراج مولفه خطا

برای استخراج مولفه خطای هر سیگنال از (۱۵) استفاده می‌شود.

$$\Delta r(k) = [r(k) - r(k - 2Z)] - [r(k - 2Z) - r(k - 4Z)] \quad (15)$$

در (۱۵)  $r(k)$  هر سیگنال ولتاژ و یا جریانی می‌تواند باشد. با عبور سیگنال‌های گسسته جریان و ولتاژ هر سه فاز abc از (۱۵) مولفه فقط ناشی از خطای آن شکل موج ساخته می‌شود،  $Z$  تعداد نمونه‌های (سمپل) موجود در یک فرکانس قدرت است.

#### ۳.۲. روش جدید تبدیل سمپل به فازور

از سمپل‌های ولتاژ و جریان فقط ناشی از خطا، دو جز مطابق (۱۵) و (۱۶) ساخته می‌شود [۱۲].

$$\Delta r_s(k) = s_1 \Delta r(k) + s_2 \Delta r(k+1) \quad (15)$$

$$\Delta r_c(k) = c_1 \Delta r(k) + c_2 \Delta r(k+1) \quad (16)$$

که در آن  $k$  و  $k+1$  به ترتیب نشان‌دهنده سمپل‌های  $k$  و  $k+1$  هستند. ضرایب ثابت نیز برابر (۱۷) هستند.

$$s_1 = c_2 = 2.6180 \quad (17)$$

$$s_2 = c_1 = 2.6180$$

با انتخاب تبدیل کسینوسی متقارن روی مقادیر سمپلی، قسمت‌های حقیقی و موهومی به ترتیب طبق (۱۸) و (۱۹) ساخته می‌شوند [۱۲].

$$\Delta R_s = K_1 \times \sum_{k=1}^N \cos\left(\frac{2\pi k}{N}\right) \times \Delta r_s(k) \quad (18)$$

$$\Delta R_c = K_1 \times \sum_{k=1}^N \sin\left(\frac{2\pi k}{N}\right) \times \Delta r_c(k) \quad (19)$$

در (۱۹) طبق [۱۲]،  $N$  در فرکانس نمونه برداری یک کیلوهرتز، برابر ۵ است، در نهایت مقادیر فازوری سیگنال  $\Delta r$  از (۲۰) به دست می‌آید.

$$\Delta R = \Delta R_s + j\Delta R_c \quad (20)$$

$$\Delta S_m + \Delta S_n = -\frac{j\omega C}{2} (|\Delta U_m|^2 + |\Delta U_n|^2) + \frac{|\Delta U_m - \Delta U_n|^2}{|ZD|^2} (R + jX) \quad (11)$$

با توجه به (۵) مولفه FCIP طبق (۱۲) محاسبه می‌گردد.

$$FCIP = \text{Re}(\Delta S_m + \Delta S_n) = \frac{|\Delta U_m - \Delta U_n|^2 R}{|ZD|^2} > 0 \quad (12)$$

که یک مقدار همیشه مثبت است. پس مقدار FCIP برای خطا داخلی منفی و برای خطای خارجی مثبت است.

#### ۲.۳. تعیین آستانه تشخیص

برای اینکه عملکرد این حفاظت توان مختلط با حفاظت اضافه جریان خطوط هیچ تداخل و عدم هماهنگی نداشته باشد و برای بالا بردن قابلیت اطمینان بیشتر رله یک مقدار حاشیه اطمینانی برای آن بکار برده می‌شود که یک مقدار اسپیلون ( $\varepsilon$ ) است و با استفاده از مقدار پیک آپ رله اضافه جریان، مقاومت پست‌های تغذیه کننده خط و روابط (۶) و (۱۲) مقدار  $\varepsilon$  محاسبه می‌گردد [۱۱]. توجه گردد مقدار  $\varepsilon$  برای سیستم انتخابی ابرای خطای خارجی و داخلی تقریباً ۰/۵ مگاوات محاسبه شده است.

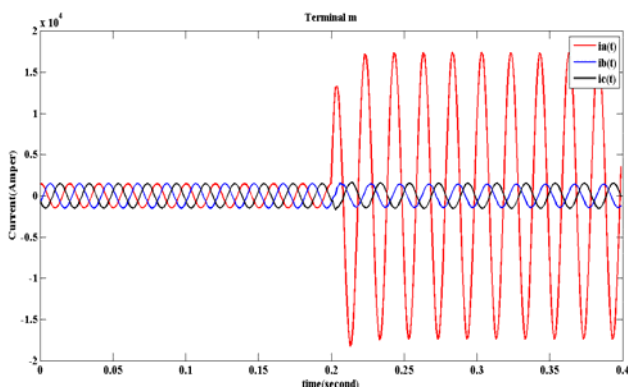
$$FCIP < -\varepsilon \quad (13)$$

$$FCIP > \varepsilon \quad (14)$$

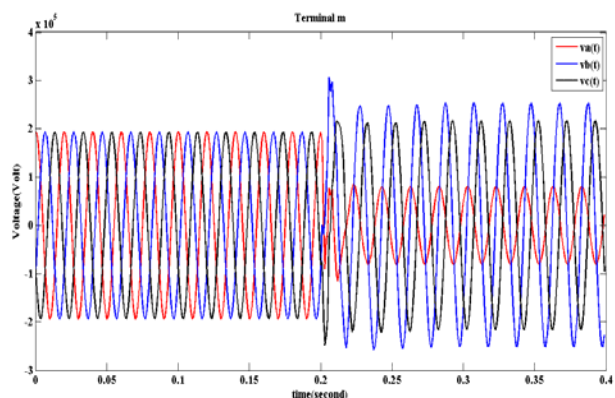
(۱۳) و (۱۴) به ترتیب برای خطای داخلی و خارجی برقرار است.

#### ۲.۴. نحوه تشخیص فاز دارای خطا

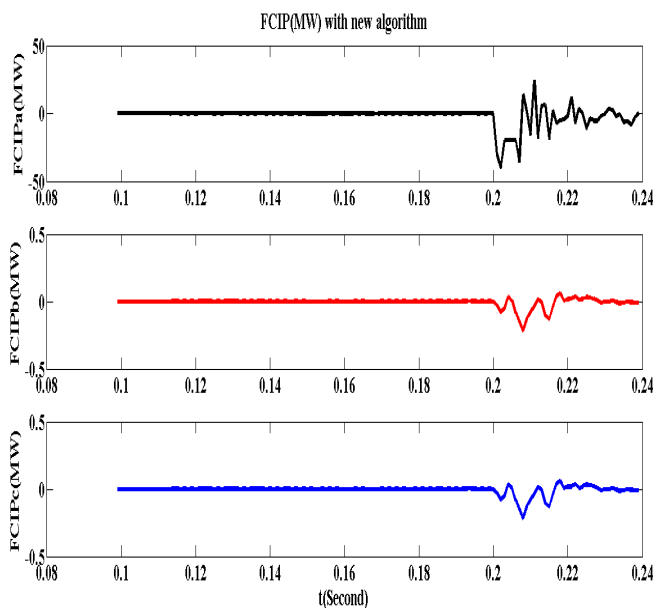
هرگاه خطایی رخ دهد FCIP برای هر سه فاز محاسبه می‌شود و هر فاز یا فازهایی که دارای اندازه FCIP بیشتر است خطا در آن فاز یا فازها رخ داده است. شایان ذکر است که FCIP در فازی که خطا در آن نباشد نیز به دلیل تزویج متقابل با فازهای دیگر دچار تغییرات می‌شود اما تغییرات آن به اندازه آستانه یعنی ۰/۵ مگاوات نمی‌رسد، پس در نهایت نتیجه این است که هر فازی که بیشترین تغییرات را دارد دچار خطا شده است. پس علامت و اندازه FCIP نوع خطا و فاز دارای خطا را مشخص می‌کند.



شکل ۶: جریان‌های هر سه فاز با وجود خطا در فاز



شکل ۷: ولتاژهای هر سه فاز با وجود خطا در فاز



شکل ۸: FCIP برای هر سه فاز با وجود خطا در فاز a با روش جدید

«جدول‌های ۱ و ۲» به ترتیب مقدار حداکثر FCIP هر سه فاز و زمان تشخیص خطا برای انواع خطا در کیلومترهای مختلف از خط با روش جدید

در نهایت فازورهای ولتاژ و جریان ناشی از خطای هر سه فاز abc هر دو ترمینال m و n یعنی  $(\Delta U_m, \Delta I_m, \Delta U_n, \Delta I_n)$  ساخته می‌شوند.

### ۳.۳. تبدیل فوری برای تبدیل سمپل به فازور

زیر سمپل‌های ولتاژ و جریان استخراج شده از بخش (۳،۱) مطابق تبدیل (۲۱) به مقادیر فازوری تبدیل می‌شوند.

$$\Delta R = \frac{\sqrt{2}}{Z} \times \sum_{k=0}^{Z-1} \Delta r(k) \times \cos\left(\frac{2k\pi}{Z}\right) - j \frac{\sqrt{2}}{Z} \times \sum_{k=0}^{Z-1} \Delta r(k) \times \sin\left(\frac{2k\pi}{Z}\right) \quad (21)$$

در این تبدیل Z تعداد سمپل‌های یک سیکل در فرکانس قدرت است.

### ۴. شبیه سازی و نتایج آن

برای پیاده سازی الگوریتم فوق ابتدا انواع خطاهای داخلی (روی خط انتقال چشمه سفید-نیروگاه سنج) و خارج خط انتقال (خارجی) در فواصل مختلف و به ازای مقادیر مختلف مقاومت خطا در EMTP-RV شبیه سازی شده، سپس ولتاژ و جریان‌های هر سه فاز دو طرف خط را از هر حالت خطا به صورت تعدادی بسته داده با فرکانس نمونه برداری مشخص خارج خواهد شد. این بسته داده‌ها را به نرم افزار MATLAB وارد کرده و هر دو الگوریتم ذکر شده برای تشخیص نوع خطا و فازی که خطا در آن رخ داده است پیاده سازی خواهند شد. در ادامه حالات مختلف شبیه سازی شده بیان می‌گردد.

#### ۴.۱. تاثیر مکان رخداد خطا

در این حالت انواع خطا در فواصل مختلف از خط انتقال شبیه سازی شده است. به عنوان مثال «شکل‌های ۶ و ۷» سیگنال‌های جریان و ولتاژ هر سه فاز که از وسایل اندازه گیری در پست چشمه سفید با وجود یک خطای تکفاز به زمین (فاز a) به فاصله ۷۰ کیلومتری از پست چشمه سفید به دست آمده است را نشان می‌دهد. توجه گردد که خطا در زمان ۰/۲ ثانیه رخ می‌دهد. «شکل‌های ۸ و ۹» مولفه توان مختلط هر سه فاز به ترتیب با روش جدید و تبدیل فوری را نشان می‌دهد همانطوریکه مشخص است مقدار FCIP برای فاز a بیشترین تغییرات را دارد و همچنین منفی است البته الگوریتم FCIP با روش جدید سریع‌تر از تبدیل فوری، خطا را تشخیص می‌دهد. پس این دو الگوریتم توانسته‌اند یک خطای تکفاز به زمین داخلی و همچنین فازی که دچار خطا شده است را نیز به درستی تشخیص دهند.

a-g	خارجی	۲۰۹	۲۸	۰/۲۱	۰/۱۱
a-b	۱۰	۲۱۰	-۱۰۰	-۱۰۰	۰/۳۲
a-b	۷۰	۲۰۹	-۴۳	-۴۳	-۰/۱۸
a-b	۱۳۰	۲۰۸	-۳۳	-۳۳	۰/۰۹
a-b	خارجی	۲۰۶	۴۶	۴۵	۰/۱۲
abc-g	۱۰	۲۰۳	-۸۹	-۹۹	-۱۲۰
abc-g	۷۰	۲۰۹	-۵۱	-۵۳	-۵۹
abc-g	۱۳۰	۲۰۸	-۲۹	-۲۶	-۲۳
abc-g	خارجی	۲۰۷	۲۵	۳۲	۱۹

همان‌طوریکه مشخص است مقدار FCIP برای خطای داخلی منفی و خطای خارجی مثبت است و در فازی که خطا وجود ندارد مقدار FCIP به آستانه نرسیده است. در ضمن الگوریتم FCIP با روش جدید سریع‌تر از FCIP با تبدیل فوریه خطا را تشخیص می‌دهد.

#### ۴،۲. تاثیر مقاومت خطا

در این بخش یک خطای تک فاز با مقاومت‌های خطای مختلف در فاصله ۷۰ کیلومتری از پست چشمه سفید شبیه سازی کرده و دو الگوریتم مورد نظر روی داده‌های خروجی پیاده سازی شده است. «جدول‌های ۳ و ۴» به ترتیب میزان حداکثر FCIP با روش جدید و تبدیل فوریه برای هر سه فاز به ازای خطای تک‌فاز و با مقادیر مختلف مقاومت خطا در فاصله ۷۰ کیلومتری از پست چشمه سفید نشان می‌دهد.

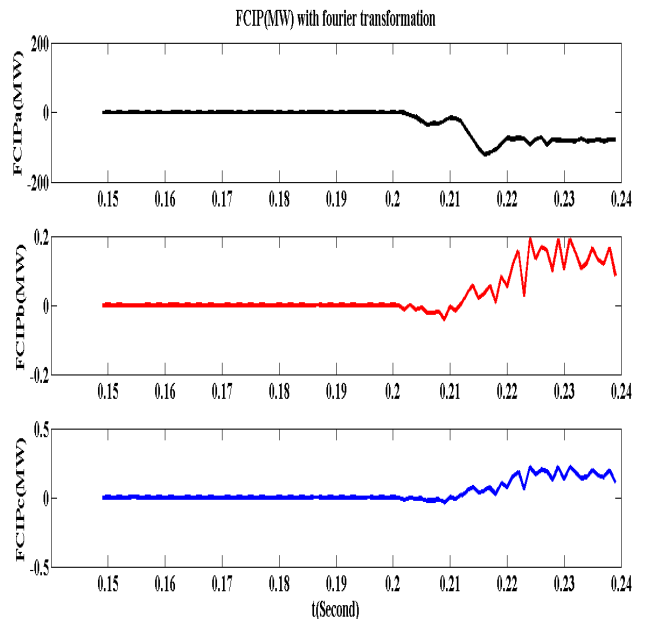
جدول ۳: مقدار FCIP برای هر سه فاز و زمان عملکرد با روش جدید

مقاومت خطا (اهم)	زمان تشخیص (میلی ثانیه)	FCIP <sub>a</sub> MW	FCIP <sub>b</sub> MW	FCIP <sub>c</sub> MW
صفر	۲۰۰	-۵۰	۰/۲	۰/۳
۱۰	۲۰۲	-۳۵	-۰/۱	-۰/۱۸
۷۰	۲۰۱	-۱۵	-۰/۰۵	-۰/۰۵
۱۵۰	۲۰۱	-۸	۰/۰۲	۰/۰۲
۳۵۰	۲۰۲	-۳	۰	۰
۷۵۰	۲۰۳	-۲	۰	۰

جدول ۴: مقدار FCIP برای هر سه فاز و زمان عملکرد با تبدیل فوریه

مقاومت خطا (اهم)	زمان تشخیص (میلی ثانیه)	FCIP <sub>a</sub> MW	FCIP <sub>b</sub> MW	FCIP <sub>c</sub> MW
صفر	۲۰۹	-۱۲۰	۰/۲	۰/۲
۱۰	۲۰۸	-۱۰۰	۰/۱۱	۰/۱۱
۷۰	۲۱۰	-۳۵	۰/۰۱	۰/۰۱
۱۵۰	۲۰۹	-۱۰	۰	۰
۳۵۰	۲۰۹	-۲	۰	۰
۷۵۰	۲۱۱	-۱	۰	۰

و تبدیل فوریه است. g بیانگر زمین است و زمان تشخیص زمانی است که FCIP از آستانه فراتر می‌رود.



شکل ۹: FCIP برای هر سه فاز با وجود خطا در فاز a با تبدیل فوریه  
جدول ۱: مقدار FCIP برای هر سه فاز و زمان عملکرد با روش جدید

نوع خطا	کیلومتر	زمان تشخیص (میلی ثانیه)	FCIP <sub>a</sub> MW	FCIP <sub>b</sub> MW	FCIP <sub>c</sub> MW
a-g	۱۰	۲۰۱	-۳۵	-۰/۲	۰/۱۱
a-g	۷۰	۲۰۲	-۳۷	۰/۱۶	۰/۰۲
a-g	۱۳۰	۲۰۱	-۴۲	۰/۱۵	۰/۲
a-g	خارجی	۲۰۱	۳۵	۰/۰۱	۰/۲۱
a-b	۱۰	۲۰۲	-۵۰	-۵۰	۰/۰۱
a-b	۷۰	۲۰۱	-۳۳	-۳۳	-۰/۱۳
a-b	۱۳۰	۲۰۰	-۵۳	-۵۳	۰/۲
a-b	خارجی	۲۰۲	۴۵	۴۵	۰/۱۵
abc-g	۱۰	۲۰۰	-۵۰	-۴۰	-۳۰
abc-g	۷۰	۲۰۲	-۵۳	-۴۸	-۳۹
abc-g	۱۳۰	۲۰۱	-۲۷	-۲۶	-۲۳
abc-g	خارجی	۲۰۱	۵۰	۲۰	۱۰

جدول ۲: مقدار FCIP برای هر سه فاز و زمان عملکرد با تبدیل فوریه

نوع خطا	کیلومتر	زمان تشخیص (میلی ثانیه)	FCIP <sub>a</sub> MW	FCIP <sub>b</sub> MW	FCIP <sub>c</sub> MW
a-g	۱۰	۲۰۹	-۸۰	-۰/۱۵	۰/۱۳
a-g	۷۰	۲۰۸	-۶۲	۰/۲۸	۰/۲۸
a-g	۱۳۰	۲۰۷	-۵۹	۰/۱۲	۰/۰۲

*Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 47–No.22, June 2012*

- [9] Abdel, A.M.M., Faheem, Z.A., Khalil, I.D.: 'Transmission lines differential protection based on the energy conservation law', *Electr. Power Syst. Res.*, 2008, 78, (11), pp. 865–1872
- [10] Zadeh, H.K., Li, Z.: 'Phasor measurement unit based transmission line protection scheme design', *Electr. Power Syst. Res.*, 2011, 81, (2), pp. 421–429
- [11] Tohid Ghanizadeh Bolandi, Heresh Seyedi, Sayyed Mohammad Hashemi "Protection of transmission lines using fault" *IET Gener. Transm. Distrib.*, 2014, Vol. 8, Iss. 12, pp. 2163–2172
- [12] Z. Yining S. Jiale "Phaselet-based current differential protection scheme based on transient capacitive current compensation" *IET Gener. Transm. Distrib.*, 2008, Vol. 2, No. 4, pp. 469–477/469
- [13] Tohid Ghanizadeh Bolandi, Heresh Seyedi, Sayyed Mohammad Hashemi "Protection of transmission lines using fault component integrated power" *IET Gener. Transm. Distrib.*, 2014, Vol. 8, Iss. 12, pp. 2163–2172

در این حالت نیز این دو الگوریتم نوع خطا و فاز دارای خطا را به درستی تشخیص داده و الگوریتم FCIP با روش جدید سریع‌تر از الگوریتم تبدیل فوریه است نتیجه دیگر این است که هر چه مقاومت خطا افزایش مقدار FCIP کاهش و تقریباً زمان تشخیص خطا نیز افزایش یافته است.

## ۵. نتیجه

با توجه به مشکلات ذکر شده برای رله دیستانس، در این مقاله یک حفاظت دقیق و پایدار همانند حفاظت دیفرانسیل برای خطوط انتقال مورد نظر بوده است. برای این منظور با استفاده از الگوریتم مولفه خطای توان مختلط (FCIP) با روش جدید قسمت ۳ و تبدیل فوریه، انواع خطا در داخل و خارج خط و با مقادیر متفاوت مقاومت خطا، در فواصل مختلف از خط انتقال چشمه سفید به نیروگاه سندج تشخیص داده شد. در نهایت نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم FCIP با هر دو روش هماهنگی، حساسیت و همچنین پایداری رله افزایش می‌یابد البته الگوریتم FCIP با روش جدید دارای سرعت عملکرد بیشتری نسبت به الگوریتم FCIP با تبدیل فوریه است. همچنین این FCIP با هر دو روش توانایی تشخیص فاز را نیز دارد. آنچه به عنوان پیشنهاد برای ادامه این تحقیق می‌تواند مطرح گردد روشی است که بتواند فاصله محل خطا تا هر پست را تشخیص دهد.

## مراجع

- [1] Horowitz, S.H., Phadke, A.G.: 'Power system relaying' (Wiley, 1992, 2008, 3rd edn.)
- [2] Ziegler, G.: 'Numerical distance protection: principles and applications' (Publicis, 2006)
- [3] Witek, B.: 'Algorithms of phase and current comparison protection for transmission lines', *Eur. Trans. Electr. Power*, 1998, 8, (1), pp. 51–56
- [4] Xu, Z.Y., Du, Z.Q., Ran, L., et al.: 'A current differential relay for a 1000 kV UHV transmission line', *IEEE Trans. Power Deliv.*, 2007, 22, (3), pp. 1392–1399
- [5] Darwish, H.A., Taalab, A.I., Ahmed, E.S.: 'Investigation of power differential concept for line protection', *IEEE Trans. Power Deliv.*, 2005, 20, (2), pp. 617–624
- [6] Taalab, A.I., Darwish, H.A., Ahmed, E.S.: 'Performance of power differential relay with adaptive setting for line protection', *IEEE Trans. Power Deliv.*, 2007, 22, (1), pp. 50–58
- [7] Suonan, J.L., Wang, C.Q., Jiao, Z.B.: 'A novel transmission line pilot protection principle based on frequency-domain model identification of distributed parameter'. 11th Int. Conf. on Developments in Power Systems Protection, DPSP, Birmingham, UK, April 2012. pp. 1–6
- [8] Mamta Patel and R. N. Patel ' Fault Detection and Classification on a Transmission Line using Wavelet Multi Resolution Analysis and Neural Network' *International*