

اثر نوع بار در انتخاب منحنی مشخصه رله‌های جریان زیاد

حمزه روغنیان جهرمی

Roghanian_jahromi@yahoo.com

شرکت برق منطقه‌ای فارس

واژه‌های کلیدی: رله جریان زیاد، بار، هماهنگی رله، منحنی مشخصه

چکیده

از جمله عوامل مهم در کارکرد صحیح رله‌های حفاظتی تنظیمات آنهاست و از موارد تأثیر گذار بر تنظیم رله‌های جریان زیاد، نوع بار فیدر (توان ثابت، امپدانس ثابت و ...) است. تنظیم رله‌های جریان زیاد بدون در نظر گرفتن نوع بار منجر به عملکرد اشتباه آنها می‌گردد.

نتایج مطالعات این مقاله نشان می‌دهند که برای بارهای توان ثابت (موتوری) بهتر است از منحنی خیلی خیلی معکوس (Extremely Inverse) و برای بارهای ترکیبی (امپدانس ثابت و موتوری) بهتر است از منحنی خیلی معکوس (Very Inverse) استفاده شود. روش پیشنهادی در مورد تنظیمات دو ایستگاه نمونه استان بوشهر اعمال شده و نتایج رضایت بخشی به دست آمده است.

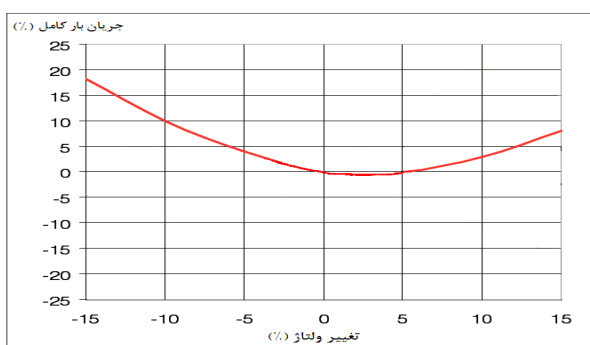
۱- مقدمه

قابلیت اطمینان یک سیستم حفاظتی به قابلیت اتکاء و امنیت آن بستگی دارد. قابلیت اتکاء یعنی اینکه در صورت بروز خطا در شبکه، رله حفاظتی حتماً عمل نماید. امنیت یعنی اینکه در صورت عدم بروز خطا، رله به اشتباه عمل ننماید. قابلیت اطمینان یک سیستم حفاظتی به عوامل متعددی بستگی دارد. انتخاب رله مناسب، انجام آزمایشات دوره ای رله‌ها، هماهنگی و تنظیم دقیق آنها از عوامل موثر بر امنیت و قابلیت اتکاء یک سیستم حفاظتی خوب می‌باشد.

از آنجا که حفاظت فیدرهای فشار متوسط توزیع فقط بوسیله یک رله جریان زیاد و اتصال زمین ساده صورت می‌گیرد لذا بسیار حائز اهمیت است که این رله‌ها بخوبی انتخاب و هماهنگ شوند چون به دلیل هزینه گزاف سیستم حفاظتی، در شبکه توزیع معمولاً از رله‌های پشتیبان محلی استفاده نمی‌شود.

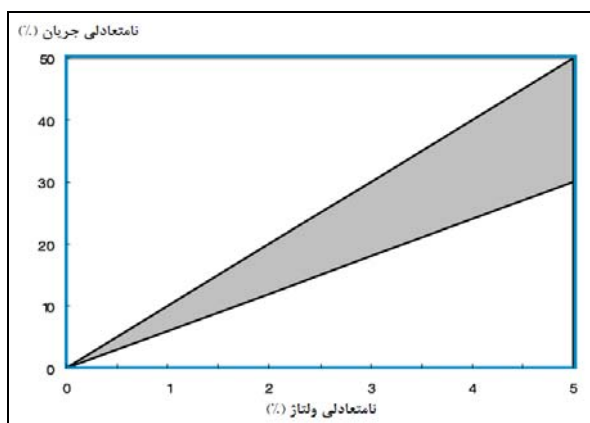
بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

کند توان آنها ثابت می‌ماند. بنابراین با افزایش ولتاژ، جریانشان کاهش می‌یابد و بر عکس شکل (۱). میزان کاهش و یا افزایش جریان بستگی به اندازه موتور، میزان تغییرات ولتاژ و گشتاور بار دارد. چنانکه از شکل (۱) دیده می‌شود کاهش ولتاژ اثر شدیدتری بر جریان موتور دارد و افزایش ولتاژ تا ۵٪ اثر ناچیزی بر جریان دارد.



شکل (۱) - اثر تغییر ولتاژ بر جریان بار موتوری

برای بارهای موتوری، نامتعادلی ولتاژ اثر خیلی شدیدی بر افزایش نامتعادلی جریان موتور دارد. بطوریکه ۵٪ نامتعادلی ولتاژ می‌تواند باعث افزایش جریان و ۳۰٪ تا ۵۰٪ نامتعادلی جریان شود شکل (۲).



شکل (۲) - اثر نامتعادلی ولتاژ بر جریان بار موتوری

بارهای ترکیبی شامل بارهای امپدانس و موتوری هستند. مشخصه آنها به گونه‌ای است که مشابه بارهای توان ثابت، با کاهش ولتاژ، جریانشان افزایش می‌یابد. اما میزان افزایش جریان نسبت به بار فقط موتوری، کمتر است.

از جمله نمونه‌های عملکرد ناصحیح رله‌های جریان زیاد، قطع اشتباه یک فیدر به هنگام بروز اتصالی در شبکه بالا دست یا فیدر مجاور است [۳-۱]. برخی از مراجع راهکارهایی برای رفع مشکل قطع ناخواسته فیدرها مطرح نموده‌اند [۴-۵] اما مطالعات صورت گرفته تنها بخشی از موضوع را بررسی نموده‌اند. آنها بیشتر قطع فیدرهای مجاور در یک ایستگاه را بررسی نموده‌اند و اثر نوع بار را نادیده گرفته‌اند. با توجه به اهمیت موضوع هنوز هم در مقالات و تحقیقات این موضوع در دست بررسی قرار دارد [۶-۸].

در این مقاله ابتدا سه نوع بار (امپدانس ثابت، موتوری و ترکیبی) مطالعه و مشخصه آنها بررسی شده است. سپس با انجام شبیه‌سازی در محیط نرم افزار MATLAB برای انواع بارهای مختلف عملکرد رله جریان زیاد مطالعه شده است. همچنین بوسیله اندازه‌گیری، نوع بار دو ایستگاه نمونه در شهرستان برازجان از توابع استان بوشهر مورد مطالعه قرار گرفته و تنظیمات پیشنهادی در مورد آنها اعمال شده است. بررسی حوادث دو ایستگاه مزبور نشان می‌دهد که این روش بطور کامل مشکل عملکرد ناصحیح رله‌ها را حل نموده است. بکارگیری این راهکارها به هزینه بسیار کمی نیاز داشته و باعث افزایش امنیت شبکه به میزان قابل توجهی شده است.

۲- انواع بارهای مطالعه شده و مشخصه آنها:

در این مقاله مشخصات سه نوع بار مطالعه شده است.

- بار امپدانس ثابت
- بار توان ثابت (موتوری)
- بار ترکیبی (موتوری بعلاوه امپدانس)

بارهای امپدانس ثابت نظیر هیترها، لامپ‌های رشته‌ای و ... هستند. مشخصه عمده این بارها این است که با افزایش ولتاژ جریانشان بصورت خطی افزایش می‌یابد و با کاهش ولتاژ جریان آنها نیز بطور خطی کاهش می‌یابد. همچنین این بارها دینامیک نیستند.

بارهای موتوری عموماً از نوع توان ثابت و دینامیک هستند. در صورتیکه ولتاژ آنها در یک محدوده مجاز تغییر

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

یک فرورفتگی ولتاژ (دو فاز) بوجود آمده است. ولتاژ و جریان فیدر غیر اتصالی، قبل از اتصالی و حین اتصالی اندازه گیری شده اند. نتایج شبیه سازی برای سه نوع بار امپدانس، موتوری و ترکیبی در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱ - جریان و ولتاژ قبل و حین اتصالی فیدر مجاور

پارامتر	Z = cte	P = cte	(P+Z) = cte
ولتاژ شبکه (kV)	۲۰	۲۰	۲۰
توان حقیقی (kW)	۱۵۷/۱۳	۱۶۳	۳۱۸
توان راکتیو (kVar)	۴۹/۴۰	۷۹	۱۲۵
جریان قبل از اتصالی (A)	۳۳۴	۳۷۴	۷۰۴
جریان حین اتصالی (A)	۲۷۳	۶۰۲	۸۸۶
ولتاژ قبل از اتصالی (V)	۳۱۹	۳۲۳	۳۱۹
ولتاژ حین اتصالی (V)	۲۷۵	۲۸۵	۲۸۰

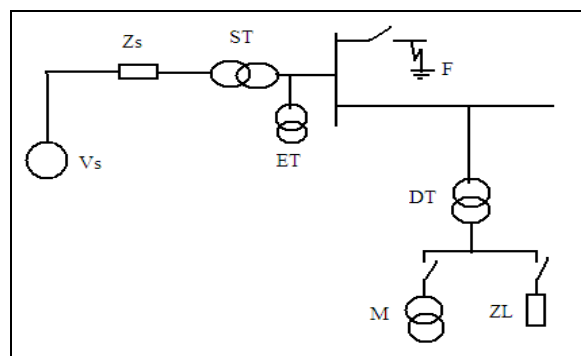
برای بار امپدانس چنان که از شکل (۵) مشاهده می‌شود جریان در حین اتصالی (فرورفتگی ولتاژ) کاهش یافته است. برای بار توان ثابت، با بروز فرورفتگی ولتاژ، جریان افزایش می‌یابد. میزان افزایش جریان بستگی به میزان فرورفتگی و عدم تعادل ولتاژ دارد. در این حالت با کاهش ۱۴ درصدی ولتاژ، جریان ۶۰ درصد افزایش یافته است شکل (۶). برای بار ترکیبی (۵۰٪ امپدانس ثابت و ۵۰٪ توان ثابت) چنان که دیده می‌شود با بروز فرورفتگی ولتاژ، باز هم جریان بار افزایش یافته است. در این حالت نسبت افزایش جریان از حالت بار توان ثابت کمتر است. میزان افزایش جریان ۲۶ درصد و میزان کاهش ولتاژ ۱۲ درصد بوده است شکل (۷). بنابر این همزمان با فرورفتگی ولتاژ، جریان بار فیدرهای با بار توان ثابت و ترکیبی افزایش می‌یابد. همین موضوع احتمال عملکرد رله های جریان زیاد و اشتباه سیستم حفاظتی را افزایش می‌دهد.

۳-۲- اثر نوع و مدت اتصالی بر جریان بارهای مختلف

به منظور بررسی اثر نوع اتصالی (تک فاز، دو فاز و سه فاز) و زمان رفع خطا بر جریان بارهای موتوری و ترکیبی

۳- شبیه سازی برای اثر تغییر ولتاژ بر بارهای مختلف

برای بررسی و مطالعه مشخصه بارهای بالا، از نرم افزار Matlab Simulink استفاده شده است. هدف از این شبیه سازی، بررسی مشخصه بارهای مختلف یعنی اثر تغییر یا نامتعادلی ولتاژ بر جریان انواع بار می باشد. لذا با ایجاد یک اتصالی در شبکه، عمده‌اً یک فرورفتگی ولتاژ نامتعادل ایجاد می‌کنیم و اثر این فرورفتگی ولتاژ بر تغییرات جریان، مطالعه می‌شود. در اینجا دو حالت مطالعه شده است.



شکل (۳) - دیاگرام تک خطی شبکه مورد مطالعه

الف - اثر فرورفتگی و نامتعادلی ولتاژ بر جریان بارهای مختلف

ب - اثر نوع و مدت زمان اتصالی بر جریان بارهای مختلف
شکل (۳) دیاگرام این مطالعه را نشان می‌دهد. در این شکل، Vs ولتاژ منبع (۶۳ kV)، Zs امپدانس معادل منبع، ST شکل، ترانسفورماتور پست فوق توزیع (۶۳/۲۰ kV)، ET ترانسفورماتور زمین، F اتصالی، DT ترانسفورماتور پست فشار متوسط (۲۰ / ۰/۴ kV)، موتور القائی و ZL بار امپدانس ثابت می‌باشد.

۳-۱- اثر فرورفتگی و نامتعادلی ولتاژ بر جریان بارهای مختلف

فرورفتگی ولتاژ نامتعادل با بروز یک اتصالی تک فاز به زمین ایجاد و در حین این فرورفتگی ولتاژ تغییر جریان بارهای مختلف بررسی شده است. اتصال تک فاز - زمین در زمان ۰/۶ ثانیه ایجاد و در زمان ۱ ثانیه با قطع فیدر اتصالی برطرف گردیده است. شکل (۴) نشان می‌دهد که همزمان با اتصالی تک فاز در شبکه فشار متوسط، در شبکه فشار ضعیف

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

ناپایدار می‌گردد اما اگر مدت اتصالی ۰/۱ ثانیه باشد جریان ۰/۱۵ ثانیه پس از رفع اتصالی به حالت عادی بر می‌گردد. لذا، این حالت نیز بر رله‌ها تأثیر می‌گذارد. با توجه به مطالعات فوق اثر سرعت قطع اتصالی بخوبی نمایان می‌گردد.

جدول (۲) - زمان برگشت جریان به حالت قبل از اتصالی

نوع بار	مدت بروز اتصالی (s)	مدت زمان برگشت جریان به قبل از اتصالی بر حسب (s) برای اتصالی		
		۱ فاز	۲ فاز	۳ فاز
بار موتوری	۰/۴	۰	۰/۴	ناپایدار
	۰/۲	۰	۰/۱	ناپایدار
	۰/۱	۰	۰/۰۵	۰/۳
بار ترکیبی	۰/۴	۰	۰/۱	ناپایدار
	۰/۲	۰	۰/۰۲	ناپایدار
	۰/۱	۰	۰/۰۱	۰/۱۵

بنابر این با توجه به نتایج شبیه سازی و بررسی حوادث رخ داده، مشخص شده است که بر اثر اتصالی در شبکه یک فرورفتگی ولتاژ نامتعادل ایجاد می‌شود. در حالت اتصالی تک فاز این فرورفتگی ولتاژ معمولاً باعث عملکرد اشتباه رله نمی‌شود ولی عموماً در اتصالی‌های دو و سه فاز در صورت انتخاب نامناسب منحنی مشخصه رله جریان زیاد و طولانی شدن زمان رفع خطا، باعث عملکرد اشتباه رله می‌شود. که مدت اتصالی ۰/۴ ثانیه باشد جریان ۰/۱ ثانیه پس از رفع اتصالی به حالت عادی بر می‌گردد. لذا این حالت می‌تواند بر رله‌ها تأثیر گذارد.

پ (اتصال سه فاز): در صورت بروز اتصال زمین سه فاز، جریان در حین اتصالی افزایش زیادی پیدا می‌کند. ضمن اینکه پس از رفع اتصالی، احتمال دارد جریان ناپایدار شود و حتی جریان به وضعیت عادی بر نگردد. بطور مثال برای بار ترکیبی در صورتی که مدت اتصالی ۰/۴ یا ۰/۲ ثانیه باشد جریان ناپایدار می‌گردد اما اگر مدت اتصالی ۰/۱ ثانیه باشد.

حالت‌های زیر مطالعه شده‌اند. مطالعات نشان می‌دهند که در هر حالت، پس از رفع اتصالی مدت زمانی طول می‌کشد تا جریان به حالت پایدار قبل از اتصالی برگردد. مدت زمان برگشت جریان به حالت پایدار طبیعی به عنوان یک شاخص مد نظر قرار گرفته است. در صورت افزایش شدید جریان و عدم برگشت به حالت قبل از اتصالی، به عنوان وضعیت ناپایدار اعلام گردیده است. خلاصه اثر نوع و مدت اتصالی بر جریان در جدول (۲) نشان داده شده است.

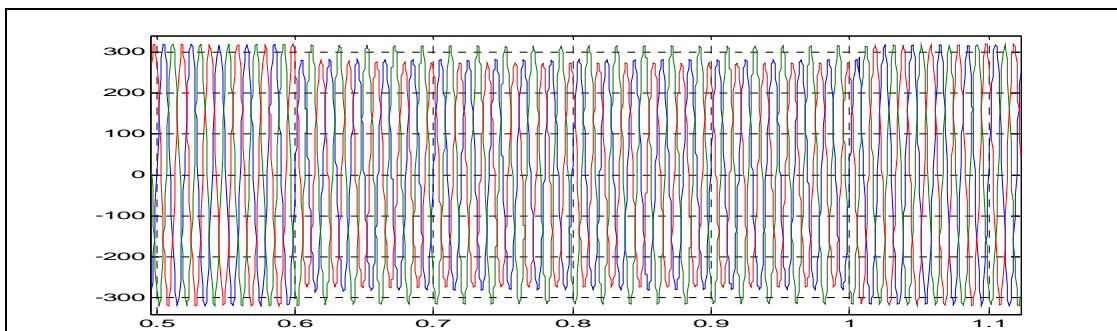
- اتصالی تک فاز مدت اتصالی ۴۰۰، ۲۰۰ و ۱۰۰ میلی ثانیه
- اتصالی دو فاز مدت اتصالی ۴۰۰، ۲۰۰ و ۱۰۰ میلی ثانیه
- اتصالی سه فاز مدت اتصالی ۴۰۰، ۲۰۰ و ۱۰۰ میلی ثانیه

الف (اتصالی تک فاز): برای اتصال زمین تک فاز، با طول مدت اتصالی ۴۰۰ یا ۲۰۰ یا ۱۰۰ میلی ثانیه، جریان برای هر دو نوع بار (موتوری و ترکیبی) افزایش می‌یابد. لیکن در همه حالت‌ها بلافاصله پس از رفع اتصالی جریان به حالت قبل از اتصالی بر می‌گردد. بنابر این، این حالت بر رله‌های جریان زیاد فیدر مجاور تأثیر بسیار کمی داشته و معمولاً باعث عملکرد اشتباه رله نمی‌شود.

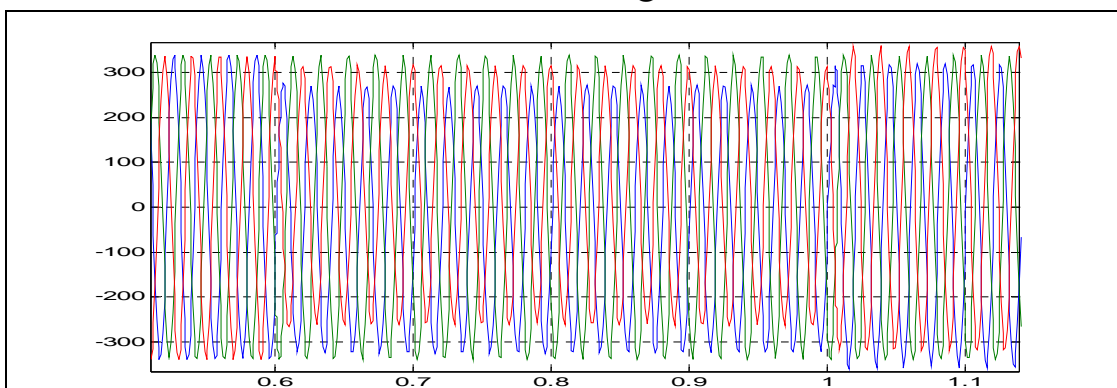
ب (اتصال دو فاز): در صورت بروز اتصالی دو فاز یا اتصال دو فاز به زمین، جریان افزایش پیدا می‌کند و افزایش جریان نسبت به حالت اتصالی تک فاز افزایش بیشتری پیدا می‌کند. چون نامتعادلی ولتاژ شدیدتر شده است. ضمن اینکه پس از رفع اتصالی، مدتی طول می‌کشد تا جریان به وضعیت عادی قبل از اتصالی بر گردد. بطور مثال برای بار ترکیبی، در صورتی که مدت اتصالی ۰/۴ ثانیه باشد جریان ۰/۱ ثانیه پس از رفع اتصالی به حالت عادی بر می‌گردد. لذا این حالت می‌تواند بر رله‌ها تأثیر گذارد.

پ (اتصال سه فاز): در صورت بروز اتصال زمین سه فاز، جریان در حین اتصالی افزایش زیادی پیدا می‌کند. ضمن اینکه پس از رفع اتصالی، احتمال دارد جریان ناپایدار شود و حتی جریان به وضعیت عادی بر نگردد. بطور مثال برای بار ترکیبی در صورتی که مدت اتصالی ۰/۴ یا ۰/۲ ثانیه باشد جریان

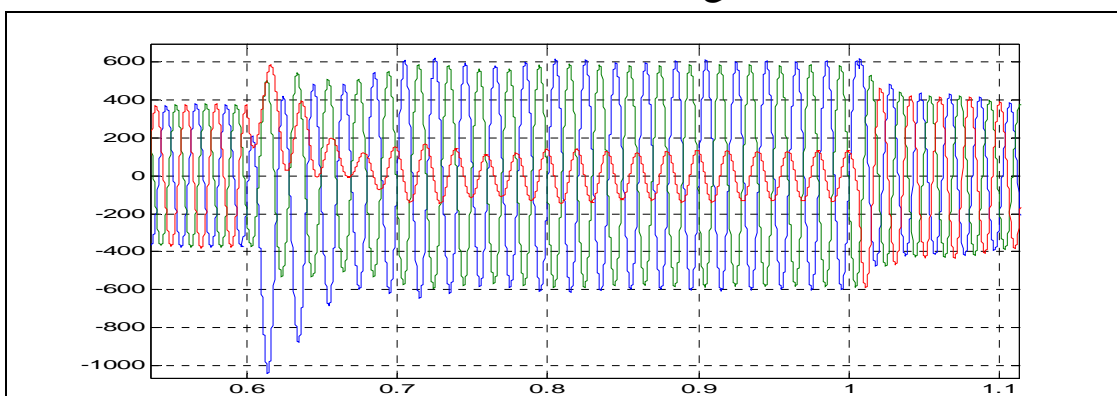
بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق



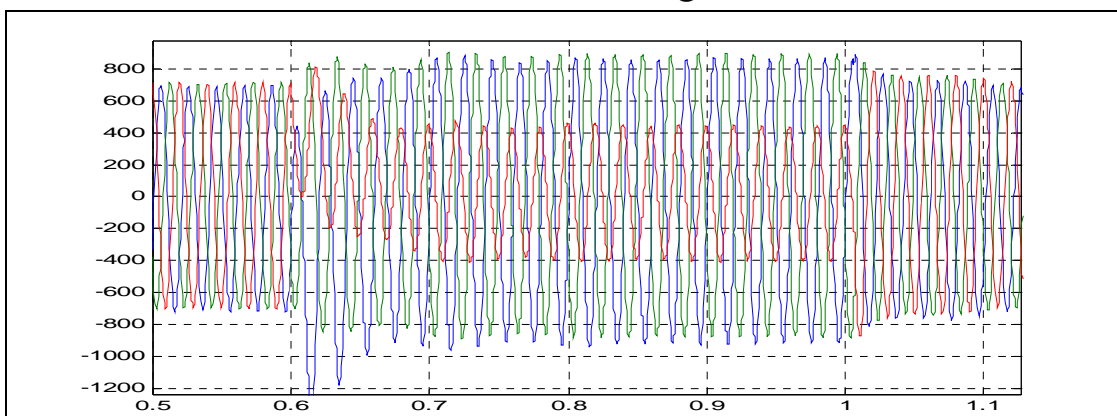
شکل (۴) - شکل موج ولتاژ فیدر فشار ضعیف مورد بررسی



شکل (۵) - شکل موج جریان فیدر مورد بررسی (برای بار امیدانس ثابت)



شکل (۶) - شکل موج جریان فیدر مورد بررسی (برای بار موتوری)



شکل (۷) - شکل موج جریان فیدر مورد بررسی (برای بار موتوری - امیدانسی)

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

نشان می‌دهد که این سه فیدر بارشان بیش از ۵۰٪ ظرفیت نامی ترانسفورماتور جریان مربوطه بوده است. فیدرهایی که بارشان کمتر از ۵۰٪ ظرفیت نامی ترانسفورماتور جریان مربوطه بوده قطع نشده اند.

جریان ۰/۱۵ ثانیه پس از رفع اتصالی به حالت عادی بر می‌گردد. لذا، این حالت نیز بر رله‌ها تأثیر می‌گذارد. با توجه به مطالعات فوق اثر سرعت قطع اتصالی بخوبی نمایان می‌گردد.

۲-۴- نوع بار ایستگاه‌های نمونه مورد بررسی

با توجه به استفاده وسیع از موتورهای القائی، کمپرسورها و تجهیزات سرمایشی و کولر گازی، نوع بار فیدرهای مورد مطالعه ترکیبی از بار امپدانسی - موتوری (توان ثابت) می‌باشد. نوع بار بستگی به نوع منطقه جغرافیایی داشته ولی درصد ترکیب بار متفاوت می‌باشد. در مناطق با آب و هوای معتدل، ترکیب بار به نحوی است که سهم بار امپدانسی بیشتر است و ضریب توان بین ۰/۹۵ تا ۰/۹۸ می‌باشد. در مناطق گرمسیری و صنعتی، سهم بار موتوری بیشتر بوده و ضریب توان بین ۰/۸۷ تا ۰/۹۳ می‌باشد [۹].

جدول (۲) - زمان برگشت جریان به حالت قبل از اتصالی

نوع بار	مدت بروز اتصالی (s)	مدت زمان برگشت جریان به قبل از اتصالی بر حسب (s) برای اتصالی		
		۱ فاز	۲ فاز	۳ فاز
بار موتوری	۰/۴	۰	۰/۴	ناپایدار
	۰/۲	۰	۰/۱	ناپایدار
	۰/۱	۰	۰/۰۵	۰/۳
بار ترکیبی	۰/۴	۰	۰/۱	ناپایدار
	۰/۲	۰	۰/۰۲	ناپایدار
	۰/۱	۰	۰/۰۱	۰/۱۵

جدول ۳ - اثر تغییر ولتاژ بر بار ایستگاه‌های نمونه

شماره پست	پست اول		پست دوم	
	۱۰	۱۲	۱۳	۱۴
تپ	۱۰	۱۲	۱۳	۱۴
ولتاژ (kV)	۲۰/۵	۲۰/۸۶	۲۰/۴	۲۰/۶۵
بار اکتیو (MW)	۱۰/۰۸	۱۰/۱۶	۱۱/۸۹	۱۱/۹۲
بار راکتیو (MVar)	۱/۵۵۸	۱/۸۸۵	۵/۲۱	۵/۵۱
آمپر (A)	۵۱۷	۵۱۰	۶۶۴	۶۵۵
PF بدون خازن	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۸۵	۰/۸۵
خازن (MVar)	۲/۴	۲/۴	۲/۴	۲/۴
تغییر MW	۱/۰۰۷۹	۱/۰۰۲۵		
تغییر MVar	۱/۲۰۹۹	۱/۱۵۷۶		
تغییر V	۱/۰۱۷۶	۱/۰۱۲۴		

جدول (۳) آمار اندازه‌گیری بار دو ایستگاه نمونه را نشان می‌دهد. هدف از این بررسی، اثر تغییر ولتاژ بر تغییر توان و جریان و تعیین نوع بار بوده است. چنانکه از جدول (۳) مشاهده می‌شود برای ایستگاه اول، با افزایش (۱/۱۷۶٪) ولتاژ، توان حقیقی اندکی (۰/۷۹٪) افزایش

بنابر این با توجه به نتایج شبیه‌سازی و بررسی حوادث رخ داده، مشخص شده است که بر اثر اتصالی در شبکه یک فرورفتگی ولتاژ نامتعادل ایجاد می‌شود. در حالت اتصالی تک فاز این فرورفتگی ولتاژ معمولاً باعث عملکرد اشتباه رله نمی‌شود ولی عموماً در اتصالی‌های دو و سه فاز در صورت انتخاب نامناسب منحنی مشخصه رله جریان زیاد و طولانی شدن زمان رفع خطا، باعث عملکرد اشتباه رله می‌شود.

۴- مطالعه شبکه نمونه

۴-۱- نتایج بررسی حوادث

بررسی چندین مورد حادثه صحت شبیه‌سازی صورت گرفته را تأیید می‌کند. یعنی اتصالی از در یک فیدر فشار متوسط در ایستگاه شماره ۱، باعث ایجاد فرورفتگی ولتاژ در سطح ولتاژ فوق توزیع (۶۳ kV) گردیده است. این فرورفتگی ولتاژ نامتعادل باعث افزایش جریان فیدرهای خروجی ایستگاه ۶۳ kV پست شماره ۲ گردیده است. افزایش حدود ۸۰ درصدی جریان فیدرهای پست ۲، منجر به قطع فیدرهای پربار با عملکرد رله جریان زیاد تأخیری شده است. بررسی‌ها

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

- برای بارهای توان ثابت موتوری و بارهای ترکیبی در صورتیکه نسبت بار موتوری بیشتر از ۵۰٪ کل بار باشد، استفاده از منحنی خیلی خیلی معکوس.

- همچنین چون تنظیم رله‌ها با توجه به جریان نامی فیدر و ظرفیت نامی ترانسفورماتور جریان صورت می‌گیرد، بهتر است نسبت تبدیل ترانسفورماتور فیدر به گونه‌ای انتخاب گردد که در اوج بار، میزان جریان بار از ۵۰٪ ظرفیت ترانسفورماتور جریان فراتر نرود.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، اثر نوع بار، نوع اتصال و مدت زمان رفع اتصالی بر عملکرد رله جریان زیاد بررسی شد. مطالعات نشان می‌دهند که مدت زمان رفع خطا (به‌خصوص برای اتصالاتی های دو فاز و سه فاز) تأثیر فراوانی در پایداری شبکه دارد. در صورتیکه خطا خیلی سریع از شبکه جدا شود شبکه بصورت پایدار باقی خواهد ماند. اما هرچه سرعت رفع خطا و جدا سازی اتصالی از شبکه کندتر باشد به همان نسبت احتمال پایدار ماندن شبکه کمتر خواهد گردید.

پایدار ماندن شبکه به پارامترهای زیادی بستگی دارد. از پارامترهایی که تأثیر فراوانی بر پایداری دارند درصد ترکیب نوع بار، وضعیت شبکه (سطح اتصال زمین، سطح اتصال کوتاه، ضعف شبکه و فرورفتگی ولتاژ در حین اتصالی و عدم تعادل آن) و مدت زمان رفع اتصالی و منحنی مشخصه رله می‌باشد.

اجرای روش پیشنهادی برای هماهنگی رله‌های جریان زیاد دو ایستگاه نمونه باعث حل مشکلات بالا شده است.

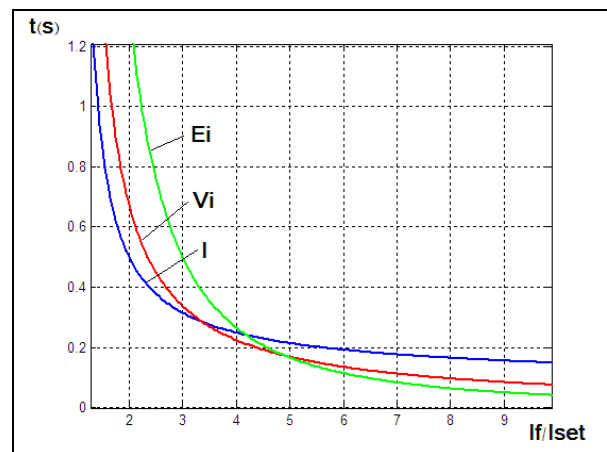
مراجع:

- [1] B. R. Williams, W. R. Schmus, and D. C. Dawson, **Transmission Voltage Recovery Delayed by Stalled Air Conditioner Compressors**, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 7, No. 3, August 1992.
- [2] D. Jackson, **Sympathetic Tripping on Distribution Feeders**, Proceedings of the 46th Annual Conference for Protective Relay Engineers, Texas A&M University, College Station, TX, April 1993.

می‌یابد. ولی توان رآکتیو افزایش نسبتاً زیادی (۲۰/۹۹٪) پیدا می‌کند. از طرف دیگر با افزایش ولتاژ، میزان جریان نیز کمی کاهش یافته است. این تأیید می‌کند که نوع بار، ترکیبی از بار توان ثابت (موتوری) و امپدانس ثابت است. البته میزان بار موتوری بیشتر است.

۳-۴- انتخاب منحنی مشخصه رله با توجه به نوع بار

با توجه به مطالعات انجام شده بالا، روشن است که علت عملکرد نامناسب رله‌های حفاظتی این است که اولاً در جریان‌های زیاد اتصالی رله با تأخیر عمل می‌نماید و در جریان‌های حدود ۲-۳ برابر جریان نامی (در حین فرورفتگی ولتاژ) رله زود عمل می‌کند. بنابراین اگر رله به گونه‌ای تنظیم گردد که بتواند برای جریانهای خیلی زیاد (بیشتر از ۴ برابر جریان نامی) سریعتر و برای جریانهای کوچکتر (حدود ۲-۳ برابر جریان نامی) با تأخیر بیشتری عمل نماید این مشکل بر طرف خواهد گردید. این کار با انتخاب مناسب منحنی مشخصه بر آورده می‌شود (شکل (۶)).



شکل (۶) - منحنی‌های قطع رله طبق IEC

لذا روش انتخاب منحنی مشخصه به شرح زیر پیشنهاد می‌گردد.

- برای بار امپدانس ثابت استفاده از منحنی معکوس استاندارد.
- برای بار ترکیبی (امپدانسی بعلاوه موتوری) در صورتیکه ترکیب بار موتوری کمتر از ۵۰٪ کل بار باشد، استفاده از منحنی خیلی معکوس یا خیلی خیلی معکوس.

[3] A. Guzmán, J. Roberts, D. Hou, **.New Ground Directional Element Operates Reliably for Changing System Conditions.**, Proceedings of the 23rd Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, WA, October 1996.

[4] K. Behrendt, **.Relay-to-Relay Digital Communication for Line Protection and Control.**, Proceedings of the 23rd Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, WA, October 1996.

[5] O. Mirza, **.A Novel Approach to Handle the Cold Load Pickup Problem.**, Proceedings of the 22nd Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, WA, October 1995.

[6] L. Kumpulainen and K. Kauhaniemi, **“Distributed Generation and Reclosing Coordination”**, NORDAC 2004 – Nordic Distribution and Asset Management Conference, Espoo, Finland, August 2004

[7]- Heavey, P.R.; **”A tutorial for distribution protective relay applications”**, Protective Relay Engineers, 2005 58th Annual Conference for 5-7 April 2005 Page(s):169 – 188

[8] K. Mäki, S. Repo and P. Järventausta, **“Impacts of Distributed Generation on Earth Fault Protection in Distribution Systems with Isolated Neutral”**, CIRED International Conference on Electricity Distribution, Vienna, Austria, May 2007, Paper no. 0107

[۹] – آمار بار و انرژی، دیسپاچینگ بوشهر – شرکت برق منطقه ای فارس – ۱۳۸۷

ضمیمه (اطلاعات شبیه سازی):

$X/R = 2.72$ ، $S = 100 \text{ Mva}$ ، 63 Kv : Z_s و V_s

$R = 0.004 \text{ pu}$ ، $X = 0.06 \text{ pu}$ ، Y_{gd1} ، $63/20 \text{ kV}$: ST

500 A ، 20 kV : ET

$R = 0.005 \text{ pu}$ ، $X = 0.02 \text{ pu}$ ، $D1yg$ ، $20/0.4 \text{ kV}$: DT

1487 Rpm ، 50 Hz ، 400 V ، 160 kW : M

400 V ، 50 kVAr ، 160 kW : ZL