



PSC 2007

98-F-CAP-904

هماهنگی بهینه رله های اضافه جریان و دیستانس در شبکه های قدرت با استفاده از الگوریتم ژنتیک

جواد ساده

حبیب رجبی مشهدی

مهدی رجائی

گروه برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
با همکاری دفتر تحقیقات و استانداردهای شرکت برق منطقه ای خراسان

واژه های کلیدی: الگوریتم ژنتیک، رله اضافه جریان، رله دیستانس، ضریب تنظیم زمانی

نتایج نشان می دهد که هماهنگی بین رله های مختلف بنحو مطلوب صورت گرفته است.

چکیده: امروزه در شبکه های حلقوی بهم پیوسته و بزرگ، هماهنگی رله های اضافه جریان امری مهم بوده و وجود رله های دیستانس در کنار رله های اضافه جریان، ضمن بالا بردن حفاظت شبکه کار هماهنگی را پیچیده خواهد کرد. در این مقاله به منظور هماهنگی بهینه رله های اضافه جریان از مدل غیر خطی که در آن اثر جریان تنظیم رله ها نیز در نظر گرفته شده است استفاده می شود. در اغلب مطالعاتی که در این زمینه صورت گرفته است، معمولاً زمان عملکرد رله به صورت خطی و متناسب با کمیت ضریب تنظیم زمانی رله (TMS) در نظر گرفته می شود. روش بهینه سازی انتخاب شده برای حل مساله هماهنگی بهینه رله ها، الگوریتم ژنتیک می باشد. غیر خطی و غیر محدب بودن مساله بهینه سازی مورد مطالعه، دلیل اصلی این انتخاب می باشد. از طرفی دیگر این الگوریتم محدود به ابعاد شبکه نمی باشد. بررسی های صورت گرفته بر روی

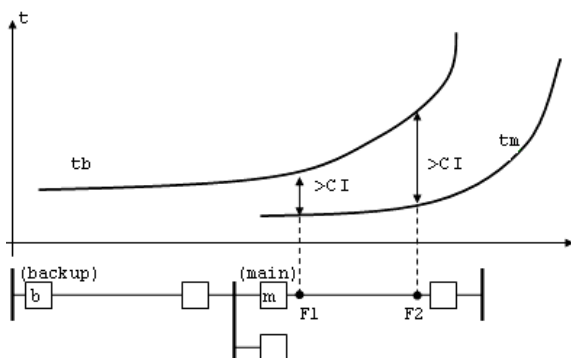
۱- مقدمه

از رله های اضافه جریان و دیستانس برای حفاظت خطوط انتقال انرژی و توزیع استفاده می گردد. در شبکه های توزیع از رله های اضافه جریان هم به عنوان رله اصلی و هم بعنوان رله پشتیبان استفاده می شود. در شبکه های حلقوی بهم پیوسته و بزرگ، هماهنگی کردن رله های اضافه جریان کار پیچیده ای بوده که امروزه با استفاده از کامپیوتر این امر به سادگی محقق می شود. مرجع [۱] مربوط به این موضوع می باشد. مرجع [۲] به مساله مربوط به هماهنگی رله های دیستانس با استفاده از کامپیوتر پرداخته است. کاربرد رله های دیستانس در خطوط انتقال بوده زیرا حفاظت در این خطوط از حساسیت بیشتری برخوردار است. معمولاً در خطوط انتقال از رله دیستانس

۲- هماهنگ کردن رله های اضافه جریان

برای هماهنگ کردن رله های اضافه جریان از برنامه های پخش بار و اتصال کوتاه برای تعیین جریان تنظیم رله ها و جریان عبوری از رله ها در زمان وقوع خطا می توان استفاده کرد. در این مقاله ابتدا از برنامه اتصال کوتاه برای تعیین جریان خطای عبوری از رله ها استفاده گردیده، و سپس از برنامه الگوریتم ژنتیک برای تعیین جریان تنظیم رله های اضافه جریان استفاده شده است. در واقع برای بهینه کردن هماهنگی رله های اضافه جریان مساله بصورت غیر خطی حل گردیده است.

طبق منحنی های شکل ۱، چنانچه رله های اضافه جریان دارای مشخصات متفاوتی باشند باید رله ها حداقل در دو نقطه تنظیم شوند ($F1, F2$).



شکل ۱: هماهنگ کردن رله های اضافه جریان

بنابراین مراحل هماهنگ کردن رله های اضافه جریان به ترتیب زیر صورت می گیرد:

۱-۲- استفاده از برنامه پخش بار و برنامه اتصال

کوتاه

از برنامه پخش بار برای بدست آوردن جریان تنظیم رله ها استفاده می گردد. معمولاً "برای رله های همجهت با جریان خط، ضریب ۱/۱۵٪ و برای رله هایی که همجهت نیستند به اندازه جریان خط، جریان تنظیم رله ها در نظر گرفته می شود. این قاعده کلی در یک شبکه پیچیده، برای تمام رله ها صدق نمی کند، زیرا رله های نزدیک به

بعنوان رله اصلی یا پشتیبان و از رله اضافه جریان فقط بعنوان پشتیبان استفاده می شود. هماهنگ کردن رله های اضافه جریان و دیستانس به منظور عملکرد صحیح برای یک شبکه گسترده از اهمیت ویژه ای برخوردار است [۳]. مرجع [۴] به محاسبه بهینه زون دوّم رله های دیستانس، در یک برنامه حفاظتی ترکیبی با رله های اضافه جریان پرداخته است. استفاده از سیستم های هوش مصنوعی در امر هماهنگی رله های اضافه جریان، موضوعی است که اخیراً مورد استفاده قرار گرفته است بعنوان مثال در مرجع [۵] یک روش هماهنگی بهینه رله های اضافه جریان با استفاده از الگوریتم ژنتیک تشریح شده است.

در این مقاله از رله های اضافه جریان و دیستانس هم بعنوان رله اصلی و هم بعنوان رله پشتیبان استفاده گردیده است. که با استفاده از الگوریتم ژنتیک هماهنگی بین این رله ها (این دو نوع رله) صورت گرفته است. دلیل بکاربردن رله اضافه جریان در کنار رله دیستانس و استفاده از الگوریتم ژنتیک در هماهنگی آنها بخاطر ویژگیهای زیر می باشد:

الف- نقاطی در شبکه انتقال وجود دارد که اگر خطایی در این نقاط اتفاق بیافتد از دید رله های پشتیبان مخفی می ماند مانند اتفاق افتادن خطا در نزدیک باس باری که سمت دیگر آن به باس تولید وصل باشد.

ب- چند لایه حفاظت برقرار می شود. در صورت وقوع خطا ابتدا رله دیستانس خط اصلی عمل نموده و در صورت عمل نکردن این رله، رله اضافه جریان خط اصلی عمل می کند و باز در صورت عمل نکردن این دو رله ابتدا رله دیستانس پشتیبان و در نهایت رله اضافه جریان پشتیبان عمل خواهد کرد.

ج- از طرفی با بکار بردن الگوریتم ژنتیک بعنوان ابزار هماهنگی، می توان قیدهای مربوط به هماهنگی رله ها را بصورت ساده ای اعمال نمود.

زمان عملکرد رله پشتیبان در صورت بروز: t_{opb}

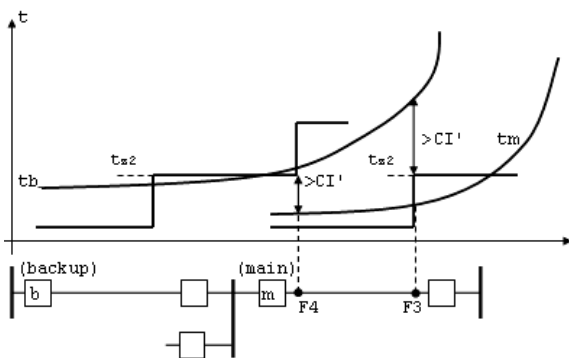
خطا در جلوی رله اصلی (نقطه F1، شکل ۱)

فاصله هماهنگی: CI

۳- هماهنگ کردن رله های اضافه جریان و دیستانس

در زمانیکه شبکه با رله های اضافه جریان محافظت می شود عمل حفاظت هر خط توسط رله اصلی و پشتیبان آن خط صورت می گیرد. با قرار گرفتن رله های دیستانس در کنار رله های اضافه جریان، حفاظت شبکه بالا می رود، بدین صورت که در صورت وقوع خطا ابتدا رله دیستانس، خط عمل کرده و در صورت عمل نکردن رله دیستانس، نوبت به رله اضافه جریان خط می رسد. در صورت عمل نکردن این رله، رله دیستانس پشتیبان و در نهایت رله اضافه جریان پشتیبان عمل خواهد کرد. با قرار گرفتن رله های دیستانس در کنار رله های اضافه جریان، برای برقراری توالی حفاظت ذکر شده باید دو قید دیگر را، با توجه به شکل (۴) به قید های برنامه اضافه کرد: $t_b(F3) - t_{Z2}$

$$t_{Z2} - t_m(F4) \geq CI' \quad (5)$$



شکل ۲: هماهنگ کردن رله های دیستانس و اضافه جریان

۴- فرمولبندی برای الگوریتم ژنتیک

در ابتدا طول کروموزوم در نظر گرفته شده برای مساله هماهنگی رله های اضافه جریان، دو برابر تعداد رله ها در نظر گرفته شده است (برای هر رله دو متغیر، I_{set} و TMS). سپس با قرار گرفتن رله های دیستانس در کنار رله های اضافه جریان طول کروموزوم به تعداد رله های

باسهای تولید، که در جهت مخالف جریان خروجی باس تولید قرار دارند معمولاً در بیشترین رنج ممکن تنظیم شده و زمانیکه خطایی در جلوی رله اصلی این رله ها اتفاق می افتد جریان خطا از جریان تنظیم کمتر بوده و منجر به عمل نکردن رله پشتیبان می شود. بنابراین باید جریان تنظیم اینگونه رله ها را خارج از قاعده کلی ذکر شده در نظر گرفت. در این مقاله جریان تنظیم رله ها نیز بعنوان متغیر طراحی به همراه TMS رله ها در نظر گرفته شده، و با استفاده از الگوریتم ژنتیک مساله حل گردیده است. که استفاده از این الگوریتم باعث مرتفع شدن مشکل ذکر شده گردید.

۲-۲- مشخص کردن جفت رله های اصلی و پشتیبان

جهت تنظیم ضریب زمانی رله ها، لازم است قیود هماهنگی بین رله های اصلی و پشتیبان رعایت گردد. در این مقاله برای جفت رله اصلی ($main$) و پشتیبان ($backup$) ماکزیمم جریان اتصال کوتاه، به ازاء خطا در محل رله اصلی (نقطه F1 شکل ۱) برای محاسبه قیود هماهنگی در نظر گرفته شده است.

۲-۳- مشخص کردن تابع هدف و قیود

تابع هدف، مینیمم کردن مجموع زمان عملکرد رله های اضافه جریان می باشد.

$$\sum_{i=1}^{14} t_{opi} = \sum w_i TMS_i \quad (1)$$

$$t_{opi} = f(TMS_i, I_{set_i}) = \frac{3TMS_i}{\log_{10} \frac{I_{sci}}{I_{set_i}}}$$

I_{sci} : جریان اتصال کوتاه عبوری از رله i ام

I_{set_i} : جریان تنظیم رله i ام

TMS_i : ضریب تنظیم زمانی رله i ام

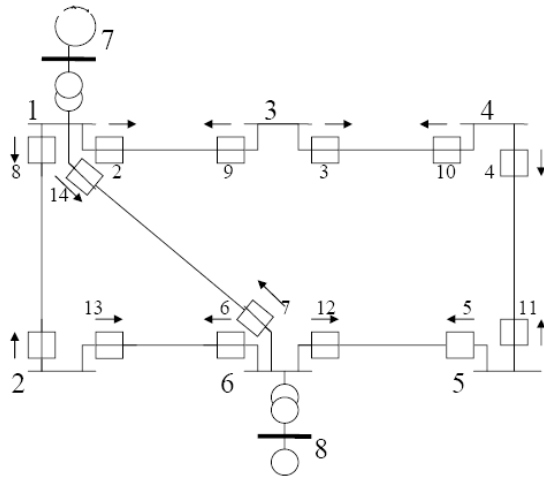
قیود:

$$TMS_{min} \leq TMS_i \leq TMS_{max} \quad (2)$$

$$t_{opb}(F1) - t_{opm}(F1) \geq CI \quad (3)$$

زمان عملکرد رله اصلی در صورت بروز: t_{opm}

خطا در جلوی رله اصلی (نقطه F1، شکل ۱)



شکل ۳: شبکه مورد مطالعه

۶- نتایج

جدول ۱ مقادیر بدست آمده از برنامه پخش بار (LF) و الگوریتم ژنتیک (GA) برای جریان تنظیم رله ها، زمانیکه در شبکه فقط از رله اضافه جریان استفاده شده باشد را نشان می دهد نکته قابل توجه در این قسمت اینست که همه رله ها از برنامه پخش بار، جریان تنظیم آنها بدست نمی آید. بعضی از رله ها بخاطر موقعیت خاصی که در شبکه دارند جریان تنظیم آنها باید بطور مستقل تنظیم شود. بعنوان مثال رله های ۵ و ۹ که پشتیبان رله های به ترتیب ۶، ۷ و ۸ و ۱۴ (رله های اصلی) می باشند، بخاطر اینکه نزدیک باس ژنراتور می باشند بیشترین جریان از آنها عبور می کند. و زمانیکه یک خطا در جلوی رله های اصلی این دو رله اتفاق می افتد، جریان عبوری از آنها کمتر از جریان تنظیم رله بوده و بنابراین رله ها Pick up نمی کنند، لذا باید این رله ها را روی کمترین جریان تنظیم ممکن تنظیم نمود.

شناختن این نوع رله ها و بدست آوردن جریان تنظیم آنها پروسه زمانبر می باشد اما با بکار بردن GA این مشکل برطرف می شود. بعنوان مثال از برنامه پخش بار، جریان تنظیم رله های ۵ و ۹ به ترتیب ۱ و ۲.۵ آمپر بدست آمده است که با این مقادیر جواب بهینه برای هماهنگی رله ها بدست نمی آید، در صورتیکه بخاطر همان نکته ای که در بالا اشاره شد جریان تنظیم این دو رله در حالت

اضافه جریان کاهش یافته است. در واقع در این مرحله جریان تنظیم رله های اضافه جریان که از مرحله اول (هماهنگی رله های اضافه جریان) بدست آمده ثابت در نظر گرفته شده است. با استفاده از برنامه Genetic Algorithm Tool مربوط به Toolboxes نرم افزار MATLAB و با استفاده از توابع و مشخصات زیر مساله حل گردیده است.

تابع Fitness:

$$Fitness = \sum_{i=1}^n t_{op_i} + \alpha_1 \sum_{j=1}^k \left(t_{opm_j}(F1) - t_{opb_j}(F1) + CI \right)^2 + \alpha_2 \sum_{j=1}^k \left(t_{Z2} - t_{b_j}(F3) + CI \right)^2 + \alpha_3 \sum_{j=1}^k \left(t_{m_j}(F4) - t_{Z2} + CI \right)^2$$

n: تعداد رله های اضافه جریان

k: تعداد جفت رله های اصلی

و پشتیبان

تنظیمات و پارامترهای Genetic Algorithm Tool در

حل مساله به شکل تجربی در نظر گرفته شده است.

ضرائب $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ به ترتیب قیود (۳)، (۴) و (۵) را در تابع Fitness اعمال می کنند. در صورت برقرار بودن شرط هر کدام، این ضرائب صفر بوده در غیر اینصورت دارای مقدار ۱۰ می باشند.

۵- شبکه مورد مطالعه

شبکه شکل ۳ که دارای ۸ باس و ۹ شاخه بوده، مورد بررسی قرار می گیرد. در باس ۴ اتصالی به شبکه های دیگر وجود دارد که با قدرت اتصال کوتاه 400MVA مدل شده است. اطلاعات مربوط به این شبکه در مرجع [۷] وجود دارد.

جدول ۲: تنظیمات رله های اضافه جریان

TMS	Iset
0.1000	0.78
0.2024	1.29
0.2740	0.56
0.1165	0.669
0.1000	0.50
0.1582	0.69
0.5402	0.58
0.1398	1.14
0.1000	0.55
0.1000	0.73
0.1501	0.65
0.2041	0.70
0.1692	0.55
0.1262	0.80

جدول ۳ جواب نهایی مربوط به TMS رله های اضافه جریان را در شرائطی که رله های دیستانس نیز در شبکه وجود دارند را نشان می دهد. در این مرحله دو قید (۴) و (۵) نیز به برنامه اضافه شده است. نکته قابل ذکر در اینجا اینست که جریان تنظیم رله های اضافه جریان برابر با مقادیر جدول ۱ (Iset(GA)) در نظر گرفته شده است. یادآور می شود که جریان تنظیم Iset(GA) جدول ۱، همان مقادیر Iset جدول ۲ بوده که با تب تنظیم رله ها هماهنگ شده است.

جدول ۳: تنظیم نهایی رله های اضافه جریان

Fitness=19.80

CI=0.2	CI=0.5	tz2=0.6
relay no.	TMS	
1	0.1517	
2	0.1648	
3	0.2019	
4	0.1886	
5	0.1000	
6	0.2585	
7	0.2702	
8	0.2639	
9	0.1000	
10	0.1000	
11	0.2456	
12	0.1759	
13	0.1738	
14	0.2433	

پشتیبانی از جریان خطا بیشتر بوده و رله ها عمل نمی کنند. در صورتیکه باید هر دو رله روی 0.5 یا 0.6 آمپر تنظیم می شدند (کمترین جریان تنظیم ممکن مربوط به تب تنظیم رله ها).

جدول ۱: جریان تنظیم رله های اضافه جریان

CT	ratio	Iset(GA)	Iset(LF)	relay no.
1		240.0	0.8000	0.5000
2		240.0	1.5000	2.5000
3		160.0	0.6000	1.5000
4		240.0	0.6000	0.5000
5		240.0	0.5000	1.0000
6		240.0	0.8000	0.5000
7		160.0	0.6000	0.5000
8		240.0	1.0000	0.5000
9		160.0	0.6000	2.5000
10		240.0	0.8000	1.0000
11		240.0	0.6000	0.5000
12		240.0	0.8000	2.0000
13		240.0	0.6000	0.5000
14		160.0	0.8000	0.5000

اما زمانیکه بدست آوردن جریان تنظیم رله ها به GA واگذار گردید اگر به نتایج بدست آمده در جدول ۵ دقت کنید جریان تنظیم این دو رله برای رله 5، 0.5 و برای رله 6، 0.6 آمپر بدست آمده است، این نکته یکی از مزایای GA در بکارگیری تنظیم رله ها می باشد. لازم به ذکر است که تب تنظیم رله ها 0.5، 0.6، 0.8، 1.0، 1.5، 2.0 و 2.5 در نظر گرفته شده است. در جدول ۲، نتایج بدست آمده برای TMS و Iset رله های اضافه جریان را، در شرائطی که فقط از رله های اضافه جریان در شبکه استفاده گردیده است را مشاهده می کنید. در واقع مساله هماهنگی رله ها به صورت یک مساله غیر خطی مدلسازی و توسط GA حل شده است.

در این مقاله نحوه تنظیم رله های اضافه جریان و رله های دیستانس، با بکار بردن الگوریتم ژنتیک بررسی گردید. با استفاده از این الگوریتم می توان شرائط دلخواه بر روی متغیرها اعمال نمود، تا نتیجه مطلوب بدست آید. بعنوان مثال می توان جریان تنظیم رله های اضافه جریان را نیز به همراه TMS رله ها، به عنوان متغیر در نظر گرفت و با اعمال چهار شرط ذکر شده که برای هماهنگی رله ها لازم است و همچنین اعمال شرط محدود بودن جریان تنظیم رله ها به مقادیر تپ تنظیم رله ها، اولاً" به جواب بهینه دست یافت و ثانیاً" پروسه بدست آوردن جریان تنظیم رله ها با برنامه پخش بار که بدلیل بعضی شرائط، مانند موقعیت یک رله در شبکه (رله ۵ و رله ۹) بسیار زمانبر است را حذف نمود و ثالثاً" با تعریف هر شرط مورد نظر در تابع Fitness به هدف تعیین شده رسید.

مراجع

- [1] سعید سلامت شریف، علی محمد رنجبر، "هم آهنگی رله های جریان زیاد و اتصال زمین با کامپیوتر"، نشریه علمی و فنی برق، شماره ۲، سال ۱۳۶۷.
- [2] علیمحمد رنجبر، محمدرضا رکوعی، "هماهنگی رله های دیستانس با کامپیوتر"، نشریه علمی و فنی برق، شماره ۴، سال ۱۳۶۸.
- [3] حسین عسگریان ایبانه، "هماهنگی ترکیب رله های جریان زیاد و دیستانس"، نشریه علمی و فنی برق، شماره ۴، سال ۱۳۶۸.
- [4] Luis G. Perez and Alberto J. Urdaneta, "Optimal Computation of Distance Relays Second Zone Timing in a Mixed Protection Scheme With Directional Overcurrent Relays", IEEE Transactions on power delivery, VOL.16, No. 3, July 2001.
- [5] Farzad Razavi, Hossein Askarian Abyaneh, Majid Al-Dabbagh, Reza Mohammadi and Hossein Torkaman, "A new comprehensive genetic algorithm method for optimal overcurrent relays coordination", Electric Power Systems Research to be published, 2007.
- [6] Luis G. Perez and Alberto J. Urdaneta, "Optimal coordination of directional overcurrent relays considering definite time backup relaying", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 14, No.4, October 1995.
- [7] Antonio S. Braga and Joao Tome Saraiva, "Coordination of overcurrent directional relays in meshed networks using the simplex method", IEEE 1996.
- [8] Alberto J. Urdaneta, Ramon Nadira and Luis G. Perez Jimenez, "Optimal coordination of directional overcurrent relays in interconnected power system", IEEE Transactions on Power Delivery, Volume 3, No. 3, July 1988.
- [9] C.W. So and K.K. Li, "Overcurrent relay coordination by evolutionary programming", *Electr. Power Syst. Res.* 53 (2000), pp. 83–90.
- [10] Hossein Kazemi Kargar, Hossein Askarian Abyaneh, Vivian Ohis and Matin Meshkin, "Pre-processing of the optimal coordination of overcurrent relays", *Electric Power Systems Research* 75 (2005) 34–141.
- [11] H.H. Zeineldin, E.F. El-Saadany and M.M.A. Salama, "Optimal coordination of overcurrent relays using a modified particle swarm optimization", *Electric Power Systems Research* 76 (2006) 988–995.
- [12] A.Y. Abdelaziz, H.E.A. Talaat, A.I. Nosseir, Ammar A. Hajjar b, "An adaptive protection scheme for optimal coordination of overcurrent relays", *Electric Power Systems Research* 61 (2002) 1–9.
- [13] Dinesh Birla, Rudra Prakash Maheshwari, Hari Om Gupta, "Time-Overcurrent Relay Coordination: A Review", *International Journal of Emerging Electric Power Systems*, Volume 2, Issue 2 2005 Article 1039.
- [14] Arturo Conde Enr'iquez, Ernesto V'azquez Mart'inez, "Enhanced time overcurrent coordination", *Electric Power Systems Research* 76 (2006) 457–465.