

Otimização do Tempo de Operação dos Relés de Sobrecorrente Através do Algoritmo dos Lobos Cinzentos

Gabrieli P. Pizzolato*, Eduardo M. dos Santos**, Arian R. Fagundes**, Jefferson O. dos Santos**, Humberto Hasselein**

*Universidade Federal do Pampa, Brasil (Tel: (55)99718-2577; e-mail: gabipp01@gmail.com)

**Universidade Federal do Pampa, Brasil

Abstract: Relays have the function of identifying defects, locating them precisely and alerting the operation of the system to trigger the opening of circuit breakers, in order to isolate the defect, ensuring selectivity. Overcurrent relays can be used as primary protection and backup protection, in several types of power system. However, one of the problems arising from the use of these relays concerns their coordination, which aims to obtain the optimal configuration of operation, so that the smallest number of consumers is left without the supply of electricity in the case of their operation. In this context, optimization techniques are applied through heuristic algorithms. The methodology used in this work to optimize the coordination time of the relays is the Grey Wolf heuristic. For the tested case, the proposed methodology was successful in coordinating the relays in non-linear programming, maintaining the selectivity of the protection system, respecting the adjustments and restrictions imposed on the problem.

Resumo: Relés têm a função de identificar os defeitos, localizá-los de maneira precisa e alertar a operação do sistema para acionar a abertura de disjuntores, de modo a isolar o defeito, garantido seletividade. Relés de sobrecorrente podem ser utilizados como proteção principal ou proteção de retaguarda, em diversos tipos de sistema de potência. Entretanto, um dos problemas decorrentes da utilização desses relés diz respeito a sua coordenação, que visa obter a configuração ótima de atuação, a fim de que o menor número de consumidores fique sem o fornecimento de energia elétrica no caso de sua atuação. Nesse contexto, são aplicadas técnicas de otimização através de algoritmos heurísticos. A metodologia utilizada neste trabalho para otimizar o tempo de coordenação dos relés é a heurística dos Lobos Cinzentos. Para o caso testado, a metodologia proposta obteve sucesso ao realizar a coordenação dos relés na programação não linear, mantendo a seletividade do sistema de proteção, respeitando os ajustes e as restrições impostas ao problema.

Keywords: coordination, heuristics, overcurrent relay, optimization.

Palavras-chaves: coordenação, heurísticas, relé de sobrecorrente, otimização.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda de energia elétrica fomenta o desenvolvimento de investimentos tecnológicos e financeiros para todo o Sistema Elétrico de Potência (SEP), que engloba os segmentos de geração, transmissão e distribuição de energia. Com isso, a proteção do sistema torna-se fundamental, a fim de assegurar o menor número de consumidores sem energia no menor intervalo de tempo possível em caso de falta ou contingência.

Os esquemas de proteção basicamente são comandados por relés, os quais garantem segurança e robustez do SEP. Basicamente, relés têm por função identificar os defeitos, localizá-los precisamente e alertar a operação do sistema através do disparo de alarmes e sinalizações, para posterior abertura de disjuntores, de modo a isolar o circuito defeituoso.

Relés de sobrecorrente (RSs) assumem o papel de monitorar o sistema através de variações nos níveis de corrente. Esses relés, podem ser utilizados como proteção principal ou primária, ou também, como proteção de retaguarda (*back-up*). Sendo assim, o relé principal atua como o primeiro mecanismo de proteção contra falhas no sistema e o relé de retaguarda deve operar somente se o primeiro falhar.

Um dos problemas decorrentes da utilização dos relés de sobrecorrente diz respeito a sua coordenação, que visa obter a configuração ótima de atuação, de modo que as faltas sejam extintas rapidamente em qualquer que seja o local de sua ocorrência. Além de coordenado, o sistema deve ser seletivo, afetando o menor número de consumidores no desligamento do sistema.

Em relação a otimização do tempo de operação dos relés, dois são os ajustes que necessitam ser otimizados: a configuração do multiplicador de tempo (TMS) e a

configuração do múltiplo de corrente (MC). Logo, a otimização da coordenação dos RSs é definida como um problema de minimização do tempo de operação dos relés sob condições de seletividade (Urdaneta, Nadira e Jimenez, 1998).

A problemática da coordenação é elaborada estabelecendo uma função objetivo e um conjunto de restrições correspondentes, podendo ser resolvida como um problema de programação linear (PL), considerando apenas uma variável (TMS ou MC), e, também, como um problema não linear (PNL), no qual TMS e MC são as variáveis.

O problema de coordenação dos relés já teve diversas técnicas de otimização propostas para sua resolução. Métodos clássicos como o Simplex de acordo com Perez e Urdaneta (2001) e Bedekar, Bhide e Kale (2010), o Dual Simplex no trabalho de Chaitanya, Rohit e Swathika (2017) e o Algoritmo Genético em Abyaneh, Kamangar, Razavi e Chabanloo (2008) e Rawat, Kale e Gokhale (2016) já foram utilizados para a solução do problema. Já o mesmo algoritmo proposto para a resolução do problema pode ser visto em Korashy et al. (2018), trabalho no qual a metodologia obteve resultados satisfatórios quando comparada a demais heurísticas. Em Jamal (2018), foi utilizada uma variação aprimorada do GWO para o problema de coordenação.

Nesse contexto, este trabalho propõe a resolução do problema de coordenação dos relés de sobrecorrente através do algoritmo heurístico de otimização dos Lobos Cinzentos. O problema foi formulado para um sistema teste de acordo com a programação não linear, os resultados encontrados foram comparados com a literatura a fim da validação dos mesmos.

2. RELÉ DE SOBRECORRENTE

Os RSs atuam no SEP como sensores, monitorando frequentemente os níveis de corrente elétrica, comandando a abertura de disjuntores quando sujeitos à condições anormais de curtos-circuitos ou sobrecargas.

A atuação desses dispositivos pode ser de maneira instantânea ou temporizada. Na atuação instantânea, o relé é sensibilizado quando um valor de corrente maior que seu ajuste é detectada. Já na atuação temporizada, além do ajuste de corrente o relé conta com o ajuste de tempo. Nesse caso, o relé irá atuar somente se o valor de sobrecorrente persistir por um tempo maior que o definido.

Entretanto, o problema da coordenação é dado com o uso de relés de sobrecorrente de tempo inverso, os quais possuem seu tempo de atuação relacionado com o valor da corrente de curto-circuito. Conforme pode ser observado em (1), o tempo de operação do relé e a corrente de curto-circuito (I_{cc}) são grandezas inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior a magnitude da corrente, menor é o tempo que o relé levará para atuar.

Ainda, segundo a Norma IEC (2009), em (1), é apresentado o tempo de atuação do RS de tempo inverso, onde: A , B , C e L são coeficientes relacionados a cada tipo de curva da família IEC, com seus valores expostos na Tabela 1. Como o RS é

conectado ao secundário do transformador de corrente (TC), a equação é ponderada pela RTC , que representa a relação de transformação do mesmo.

$$t_{relé} = TMS \left(\frac{A}{\left(\frac{ICC}{RTC \cdot MC} \right)^C - B} + L \right) \quad (1)$$

Tabela 1. Coeficientes de acordo com as Famílias de Curvas.

Tipo de Curva	A	B	C	L
Inversa	0,14	1	0,02	0
Moderada Inversa	0,05	1	0,04	0
Muito Inversa	13,5	1	1	0
Extremamente Inversa	80	1	2	0

Contudo, os RSs instantâneos e temporizados não são inerentes à direcionalidade da corrente, ou seja, as medições oriundas dos TCs não indicam à direção do fluxo de potência das correntes de falta. Dessa forma, surge a necessidade, em alguns casos, da utilização do relé de sobrecorrente direcional (RSD), tornando mais seguro e robusto o sistema de proteção.

Em algumas aplicações não é necessária a instalação de um relé direcional, como no caso dos sistemas radiais no qual o sentido da corrente é previamente conhecido. No entanto, em sistemas do tipo anel, por exemplo, é de fundamental importância o acoplamento do RSD.

Os RSDs apresentam as mesmas funções dos relés já citados. Porém, estes atuam apenas se a corrente de falta percorrer um sentido previamente estipulado. Por conseguinte, evita-se a atuação indevida do sistema de proteção.

3. ALGORITMO DOS LOBOS CINZENTOS

O algoritmo heurístico dos lobos cinzentos, do inglês *Grey Wolf Optimizer* (GWO), é uma técnica de otimização proposta em Mirjalili, Mirjalili e Lewis (2014), trabalho no qual podem ser encontrados maiores detalhes sobre a referida heurística.

Foi observado que os lobos cinzentos possuem uma divisão singular em sua matilha, a qual obedece uma hierarquia, conforme a Fig. 1. Os líderes da matilha são os lobos alfa, também chamados lobos dominantes. Eles são os principais responsáveis pelas tomadas de decisões, como: local de dormir, hora de acordar, caçada, entre outras. Embora seja o principal responsável pelas decisões, o lobo alfa não é necessariamente o lobo mais forte da matilha, mostrando que o discernimento do lobo é mais importante que sua força.

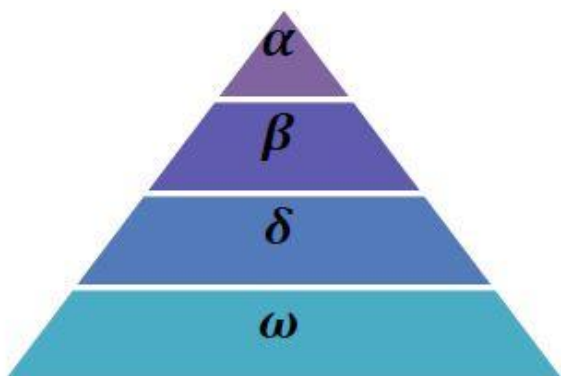


Fig. 1 Divisões dos Lobos Cinzentos (Mirjalili, Mirjalili e Lewis, 2014).

Já no nível beta é formado por lobos subordinados aos alfas, constituindo o segundo nível da hierarquia. Os lobos beta têm por função auxiliar os líderes nas decisões. Ainda, são os possíveis sucessores dos alfa, caso algum lobo superior venha a falecer ou ficar doente.

Os lobos delta não exercem nenhuma função específica na hierarquia, podendo ser: escoteiros, sentinelas, anciãos, caçadores ou guardas. Por fim, o nível mais baixo da divisão é o ômega. Nesta classe, os lobos exercem a função de espião, são os últimos a se alimentarem e devem se submeter a todos os lobos dominantes.

Além disso, foi observado que os lobos cinzentos têm a capacidade de reconhecer a localização das presas e cercá-las. O algoritmo dos lobos funciona de modo que a caça é guiada pelos lobos alfa, podendo os beta e delta participarem da caça ocasionalmente. Já os lobos ômega apenas seguem os demais lobos.

Com isso, a melhor posição do agente de busca é a do alfa, seguida por beta e delta. Portanto, salvam-se as três melhores soluções obtidas até o momento, obrigando todos os outros agentes de pesquisa, incluindo o ômega, a atualizarem suas posições de acordo com os melhores agentes de pesquisa. Vale ressaltar que, como a pesquisa é abstrata no espaço, não se tem ideia da localização da presa, que é o ponto ótimo do problema.

No Algoritmo 1, está exposto, em forma de pseudocódigo, o funcionamento do GWO.

4. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

A atuação dos relés deve ocorrer o mais rápido possível, sendo o relé mais próximo do defeito o primeiro a operar, reduzindo assim o número de desconexões e consumidores sem o fornecimento de energia. Deste modo, a coordenação é uma estratégia na qual, para qualquer corrente de curto-circuito, há um intervalo de tempo no sentido do relé principal para os relés de retaguarda, que garante assim a seletividade no desligamento do sistema (Blackburn e Domin, 2014).

Algoritmo 1 – Pseudocódigo GWO.

```

1: Inicializa a população dos lobos cinzas  $X_i$  ( $i=1, 2, 3, \dots, n$ )
2: Inicializa  $a$ ,  $A$  e  $C$ 
3: Calcula a função fitness de cada agente de busca
4:  $X_\alpha =$  melhor agente de busca
5:  $X_\beta =$  segundo melhor agente de busca
6:  $X_\delta =$  terceiro melhor agente de busca
7: enquanto ( $t <$  Máximo número de iterações)
8:   para cada agente de pesquisa
9:     Atualiza a posição do agente atual
10:  fim
11:  Atualiza  $a$ ,  $A$  e  $C$ 
12:  Calcula a função fitness de todos os agentes de busca
13:  Atualiza  $X_\alpha$ ,  $X_\beta$  e  $X_\delta$ 
14:   $t = t + 1$ 
15: fim
16: Retorna  $X_\alpha$ 

```

Vale ressaltar que a atuação da proteção de retaguarda não é a operação desejada. No entanto, é necessária caso a principal venha a falhar. Com isso, o tempo de coordenação é um importante parâmetro na coordenação dos relés.

Nesse contexto, visa-se obter a minimização do tempo de operação dos relés otimizando os parâmetros referentes ao múltiplo de tempo e ao múltiplo de corrente. Assim, formula-se o problema de coordenação dos relés, modelando uma função objetivo e as condições de contorno do problema.

De acordo com Rawat, Kale e Gokhale (2016), no sistema radial de duas barras mostrado na Fig. 2, para uma falta F na linha após o barramento B, o relé RB da barra B deve operar primeiro. O relé RA (proteção principal da barra A) tem a função de servir como proteção de retaguarda nesta situação.

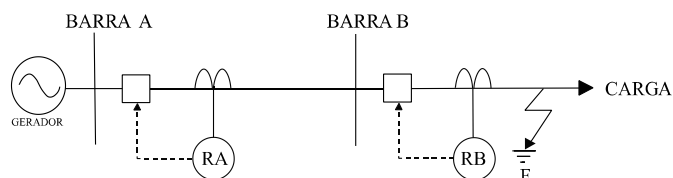


Fig. 2 Zonas de Proteção no Sistema Radial de Duas Barras.

A seguir, são expostas as equações que modelam matematicamente o problema de otimização dos RSts, incluindo a função objetivo e as condições de restrição.

4.1 Função Objetivo

A função objetivo, ou função custo, descreve o parâmetro que se busca otimizar no problema. Este parâmetro é o somatório do tempo de operação individual de cada relé, garantindo que a proteção do SEP irá operar o mais rápido possível, sem infringir as restrições impostas ao problema.

Logo, a função custo do problema pode ser calculada de acordo com (2), m indica o número total de relés que são proteção do trecho, n representa o número de faltas, $t_{i,j}$ é o tempo de atuação do relé primário R_i para uma falta na zona

de proteção j e, por fim, k é o índice dado ao nível da falta considerada. Ainda, o tempo de operação individual de cada relé fica resumido por (3), assumindo os dados da família de curva inversa.

$$z = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m t_{i,j}^k \quad (2)$$

$$t_{i,j}^k = TMS_i \left(\frac{0,14}{\left(\frac{ICC_{Ri}^k}{RTC_i \cdot MC_i} \right)^{0,02} - 1} \right) \quad (3)$$

4.2 Condições de Restrição

Definida a função que objetiva o problema, devem-se estabelecer condições de restrição, a fim de que os valores mínimos de tempo sejam encontrados dentro de níveis adequados para o sistema.

4.2.1 Critério de Coordenação e Seletividade

Para que exista coordenação, deve-se respeitar o intervalo de coordenação (Δt) entre as curvas de proteção principal e de retaguarda. A coordenação dos relés é realizada em pares. Logo, os tempos de dois relés sucessivos para proteção do mesmo trecho devem satisfazer a condição do intervalo mínimo de tempo de coordenação (CTI), a qual é dada por (4) e (5).

$$\Delta t \geq CTI \quad (4)$$

$$t_{retaguarda}^k - t_{principal}^k \geq CTI \quad (5)$$

Em (5), $t_{retaguarda}^k$ é o tempo de atuação do relé de proteção de retaguarda e $t_{principal}^k$ é o tempo de atuação do relé principal.

4.2.2 Limites nos Ajustes do Relé

Essas condições de restrições são extremamente necessárias para garantir a operação padrão do circuito onde os relés são instalados.

O limite nos ajustes do relé está relacionado com a capacidade do dispositivo utilizado, sendo uma característica de fabricação do mesmo, a qual pode ser encontrada no manual técnico do fabricante. De acordo com (6) e (7), pode-se adotar os valores mínimos e máximos para o múltiplo de tempo e o múltiplo de corrente, respectivamente.

Ainda em (7), o MC deve ser ajustado para assegurar que seu valor seja menor que a magnitude da corrente de falta mínima e maior que a corrente máxima de carga prevista para o relé em questão.

$$TMS_i^{min} \leq TMS_i \leq TMS_i^{max} \quad (6)$$

$$MC_i^{min} \leq MC_i \leq MC_i^{max} \quad (7)$$

4.2.3 Limites no Tempo de Operação

Embora o objetivo da otimização seja minimizar o tempo de operação dos relés, a operação dos mesmos exige um tempo mínimo para iniciar a operação. O tempo mínimo de operação é denominado *delay* e tem seus limites expostos em (8).

Vale ressaltar que o *delay* não deve compreender um tempo muito longo, a fim de que não sejam causados danos irreversíveis aos equipamentos conectados no sistema elétrico.

$$t_{ij}^{min} \leq t_{i,j}^k \leq t_{ij}^{max} \quad (8)$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O sistema teste utilizado para a formulação e validação dos resultados, é um sistema radial de distribuição, contendo 4 barras e 4 relés de sobrecorrente, conforme pode ser visualizado na Fig. 3. O referido sistema pode ser observado com maiores detalhes em Madhumitha et al. (2015).

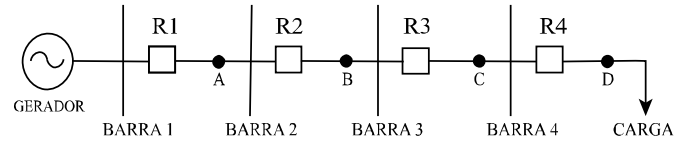


Fig. 3 Sistema Teste Proposto para Resolução do Problema de Coordenação.

Para a elaboração do problema, foi considerada o tipo de programação não linear, ou seja, TMS e MC são variáveis do problema. Além disso, são considerados curtos-circuitos trifásicos entre todas as barras e após a barra 4, com seus valores expostos na Tabela 2.

Tabela 2. Níveis de Corrente de Curto-Circuito para o Sistema Teste Proposto.

Falta	Prot. Primária	Prot. Retaguarda	ICC PRIMÁRIA [A]
A	R1	-	596,96
B	R2	R1	482,08
C	R3	R2	291,04
D	R4	R3	269,6

Todos os relés considerados para a elaboração do problema são do tipo digitais e a família de curvas adotada é a inversa. A RTC considerada é de 200:5 e a fonte de tensão do sistema é de 66 kV e 100 MVA. Logo, a função objetivo do problema é expressa por (9).

Cada relé possui o seu ajuste de TMS e MC logo, a programação conta com 8 variáveis de decisão, representadas por x , em (9), x_1 a x_4 representam o múltiplo do tempo e x_5 a x_8 , o múltiplo da corrente.

$$z = \sum_{i=1}^4 \left(\frac{0,14 \cdot x_i}{\left(\frac{ICC_{Ri,k}}{200} \right)^{0,02} - 1} \right) \quad (9)$$

Além das variáveis de decisão, o problema conta com as equações de restrição. Os limites para as incógnitas do problema são expostos em (10) e (11). Além disso, o tempo mínimo considerado foi de 0,2 s. Esse intervalo foi adotado a fim de evitar que os relés operem indevidamente para eventos temporários. Por fim, o intervalo mínimo de coordenação utilizado na formulação do problema é de 0,57 s, conforme as características de operação dos relés. Com isso, são expostas as condições de restrição do sistema teste.

$$0,01 \leq TMS_i \leq 1 \quad (10)$$

$$0,5 \leq MC_i \leq 2,5 \quad (11)$$

$$0,2 \leq t_{i,j}^k \quad (12)$$

$$0,57 \leq \Delta t \quad (13)$$

Vale ressaltar que, para título de comparação e validação dos resultados, os valores utilizados para formular a função objetivo, bem como as restrições do problema são idênticas ao proposto por Madhumitha et al. (2015).

O algoritmo de otimização foi implementado no *software* MATLAB®, nele foram realizadas todas as simulações. A heurística conta com 20 agentes de busca, sendo considerado um erro de 1×10^{-6} entre a diferença da melhor posição anterior, com a melhor posição atual, e foram realizadas 500 iterações. Se o critério do erro não for atendido, o algoritmo realiza novas 500 iterações, até encontrar um erro inferior ao estipulado.

Com isso, são apresentados, na Tabela 3, os resultados encontrados com o GWO, para o sistema teste apresentado. Apontando que o algoritmo realizou 1000 iterações até obedecer ao critério do erro e o tempo de execução do mesmo foi de 1,7573 s.

Ao observar a Tabela 3, é notório que nenhuma condição de restrição foi violada, resultando em valores confiáveis para a resolução do problema de coordenação proposto. Além disso, o algoritmo foi calibrado para assegurar que nenhuma das variáveis (TMS e MC) tivesse seus limites inferiores e superiores violados.

Na Tabela 4, é apresentado um comparativo entre o GWO, com os algoritmos de Evolução Diferencial (DE), Algoritmo Genético (GA) e Dual Simplex (DS) implementados para o mesmo sistema teste. Vale ressaltar, que os algoritmos com os quais o GWO foi comparado foram solucionados através da PL, ou seja, apenas TMS é variável do problema, enquanto para o GWO as variáveis são TMS e MC.

Tabela 3. Tempo de Atuação dos Relés para o Sistema Teste Proposto.

Relé Principal	Relé Retaguarda	GWO		
		T _{PRIM.} [s]	T _{TRETAG.} [s]	Δt [s]
R1	-	1,2190	-	-
R2	R1	0,8645	1,4356	0,5711
R3	R2	0,7312	1,3026	0,5714
R4	R3	0,2009	0,7709	0,5701
z [s]	3,0157			

Tabela 4. Comparação dos Resultados para o Sistema Teste Proposto.

Método	Trabalho	z [s]
DE-PL	Chaitanya, Rohit e Swathika (2017)	4,3294
GA-PL	Madhumitha et al. (2015)	3,4305
DS-PL	Madhumitha et al. (2015)	3,3971
GWO-PNL	Os Autores	3,0157

Fica notório que o GWO obteve resultados melhores para o mesmo sistema teste do que os algoritmos comparados, mostrando que a técnica é promissora, uma vez que nenhuma restrição foi violada e o critério de erro utilizado é pequeno.

6. CONCLUSÕES

Com a elaboração deste trabalho, verificou-se a utilização do algoritmo dos Lobos Cinzentos aplicado para resolver o problema de coordenação dos relés de sobrecorrente. Foi analisado um sistema teste radial e o problema foi desenvolvido a partir de técnicas da programação não linear.

A heurística proposta obteve resultados melhores aos encontrados na literatura para o mesmo sistema teste, obtendo assim sucesso ao realizar a coordenação ótima dos relés instalados no sistema. Vale ressaltar que a otimização através do algoritmo dos lobos obedeceu todas as restrições impostas ao problema, mantendo a coordenação e seletividade no desligamento do sistema.

Os resultados encontrados mostram que a metodologia é promissora, encontrando soluções de qualidade quando comparadas aos resultados disponíveis na literatura.

REFERÊNCIAS

- Abyaneh, H. A., Kamangar, S. S. H., Razavi, F., and Chabanloo, R. M. (2008). *A new genetic algorithm method for optimal coordination of overcurrent relays in a mixed protection scheme with distance relays*. In 2008 43rd International Universities Power Engineering Conference (pp. 1-5). IEEE.

- Bedekar, P. P., Bhide, S. R., and Kale, V. S. (2010). *Optimum coordination of overcurrent relay timing using simplex method*. Electric Power Components and Systems, 38(10), 1175-1193.
- Blackburn, J. L., and Domin, T. J. (2014). *Protective relaying: principles and applications*. CRC press.
- Chaitanya, A. V. K., Rohit, J., and Swathika, O. G. (2017). *Optimum coordination of overcurrent relays in distribution systems using differential evolution and dual simplex methods*. In 2017 International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC) (pp. 212-215). IEEE.
- International Electrotechnical Commission (2009). IEC 60255-151:2009: *Measuring relays and protection equipment - Part 151: Functional requirements for over/under current protection*. 1 ed.
- Jamal, N. Z., Sulaiman, M. H., Aliman, O., and Mustaffa, Z. (2018). *Optimal Overcurrent Relays Coordination using an Improved Grey Wolf Optimizer*. International Journal of Advanced Computer Science and Applications. Vol. 9, (pp.117-125).
- Korashy, A., Kamel, S., Youssef, A. R., and Jurado, F. (2018). *Solving optimal coordination of direction overcurrent relays problem using grey wolf optimization (GWO) algorithm*. In 2018 Twentieth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON) (pp. 621-625). IEEE.
- Madhumitha, R., Sharma, P., Mewara, D., Swathika, O. G., and Hemamalini, S. (2015). *Optimum coordination of overcurrent relays using dual simplex and genetic algorithms*. In 2015 International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN) (pp. 1544-1547). IEEE.
- Mirjalili, S.; Mirjalili, S. M.; Lewis. (2014) A. *Grey Wolf Optimizer*. Advances In Engineering Software, v. 69, p.46-61, 2014.
- Perez, L. G., and Urdaneta, A. J. (2001). Optimal computation of distance relays second zone timing in a mixed protection scheme with directional overcurrent relays. IEEE Transactions on Power Delivery, 16(3), 385-388.
- Rawat, R., Kale, V. S., and Gokhale, S. S. (2016). *Application of nature inspired metaheuristic techniques to overcurrent relay coordination*. In 2016 Future Technologies Conference (FTC) (pp. 130-136). IEEE.
- Rawat, R., Kale, V. S., and Gokhale, S. S. (2016). *Application of nature inspired metaheuristic techniques to overcurrent relay coordination*. In 2016 Future Technologies Conference (FTC) (pp. 130-136). IEEE.
- Urdaneta, A. J., Nadira, R., and Jimenez, L. P. (1988). *Optimal coordination of directional overcurrent relays in interconnected power systems*. IEEE Transactions on Power Delivery, 903-911.