مجلة جامعة تشرين للدراسات و البحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (27) العدد (2) 2005
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol. (27) No (2) 2005

الطريقة الرياضية لتحسين أداء عمل عناصر أجهزة الحماية الزاجلية

الدكتور زاهد بدور *

(قبل للنشر في 2005/7/18)

□ الملخّص □

يعرض هذا البحث طريقة جديدة لتحسين أداء عمل أجهزة الحماية الزاجلية، وذلك من أجل إمكانية زيادة سرعة عمل الحمايات وزيادة موثوقية أداء الشبكات الكهربائية، وذلك باستخدام نماذج رياضية تم الاعتماد عليها لصياغة أداء عمل الحمايات للعناصر الكهربائية الأكثر انتشاراً في شبكات التوزيع ذات التوتر المتوسط.

بينت النتائج إمكانية خفض درجة الانتقائية للحماية عن طريق حساب التابع w_C^* الذي يعبر عن فعالية البنى المختلفة لأجهزة الحماية وفقاً لمعيار الانتقائية الأمر الذي أدى إلى أفضلية زيادة دقة أداء عمل عناصر التأخير الزمني للحمايات حتى $\pm 0.025\text{sec}$ أو حتى $\pm 0.05\text{sec}$ بهدف خفض درجة الانتقائية إلى 0.2sec الأمر الذي يسمح بالحد من حجم الأعطال وزمن استعادة عناصر الشبكات في جميع أنواع القصر (S.C).

* مدرس في قسم هندسة الطاقة . كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية . جامعة تشرين . اللاذقية . سوريا.

مجلة جامعة تشرين للدراسات و البحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (27) العدد (2) 2005
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol. (27) No (2) 2005

Mathematical Method for Improving the Performance of Working of the Elements of the Relay Protection Devices

Dr. Zahed Baddour*

(Accepted 18/7/2005)

□ ABSTRACT □

This research presents a new method for improving the performance of working of the elements of relay protection devices that so as to increase the speed of the protection operation and the reliability of electrical nets performance by using mathematical models, upon which to depend for making the performance of working of the most widespread electrical distribution nets of medium voltage.

The results showed the possibility of reducing the selective degree of protection by computing the function w_c^* which expresses the different structure efficiency of the protection devices due to the selective standard. This case leads to the preference of increasing the performance precision of the operation of the time delay elements for the protections till ± 00.25 sec or till ± 0.05 sec, aiming to decrease the selective degree to 0.2sec, which in turn was allowed to reduce the defects volumes and the time of net words elements recovery in all kinds of shortening circuit (s.c).

* **Assistant Prof - Department Of Electrical Engineering– Faculty Of Mechanical & Electrical. Engineering – Tishreen University – Lattakia – Syria.**

مقدمة:

تقع الآلات الكهربائية وتجهيزات خطوط نقل الطاقة الكهربائية بشكل دائم تحت التوتر، ويسري فيها التيار الذي يتسبب في تسخينها، ولذلك يمكن أن تنشأ أعطال تؤدي إلى حدوث القصر(S.C).

تستخدم الحماية الزاجلية في منظومات الطاقة الكهربائية لتجنب حدوث الأعطال، أو للحد من الأضرار الناجمة عن حدوث الأعطال، ولذلك فإن من أهم وظائف هذه الحماية:

1- تبيان مكان نشوء القصر.

2- الفصل الآلي السريع لقواطع الجهاز المحمي أو للجزء المعطل من الشبكة عن باقي أجزاء الشبكة غير المعطل [1].

من أهم الشروط التي يجب أن يحققها نظام الحماية الزاجلية ما يلي: سرعة الاستجابة، الانتقائية، الحساسية، الموثوقية.

ويعتبر شرط الانتقائية من أهم الخصائص التي يجب أن يتمتع بها نظام الحماية، وتعرف الانتقائية بأنها إمكانية الحماية الزاجلية على إظهار مكان العطل وفصله من أقرب قاطع حصراً، ولذلك يتم استخدام مفهوم درجة الانتقائية التي كلما صغر كلما كان زمن فصل القصر أصغر ما يمكن.

الغاية من البحث:

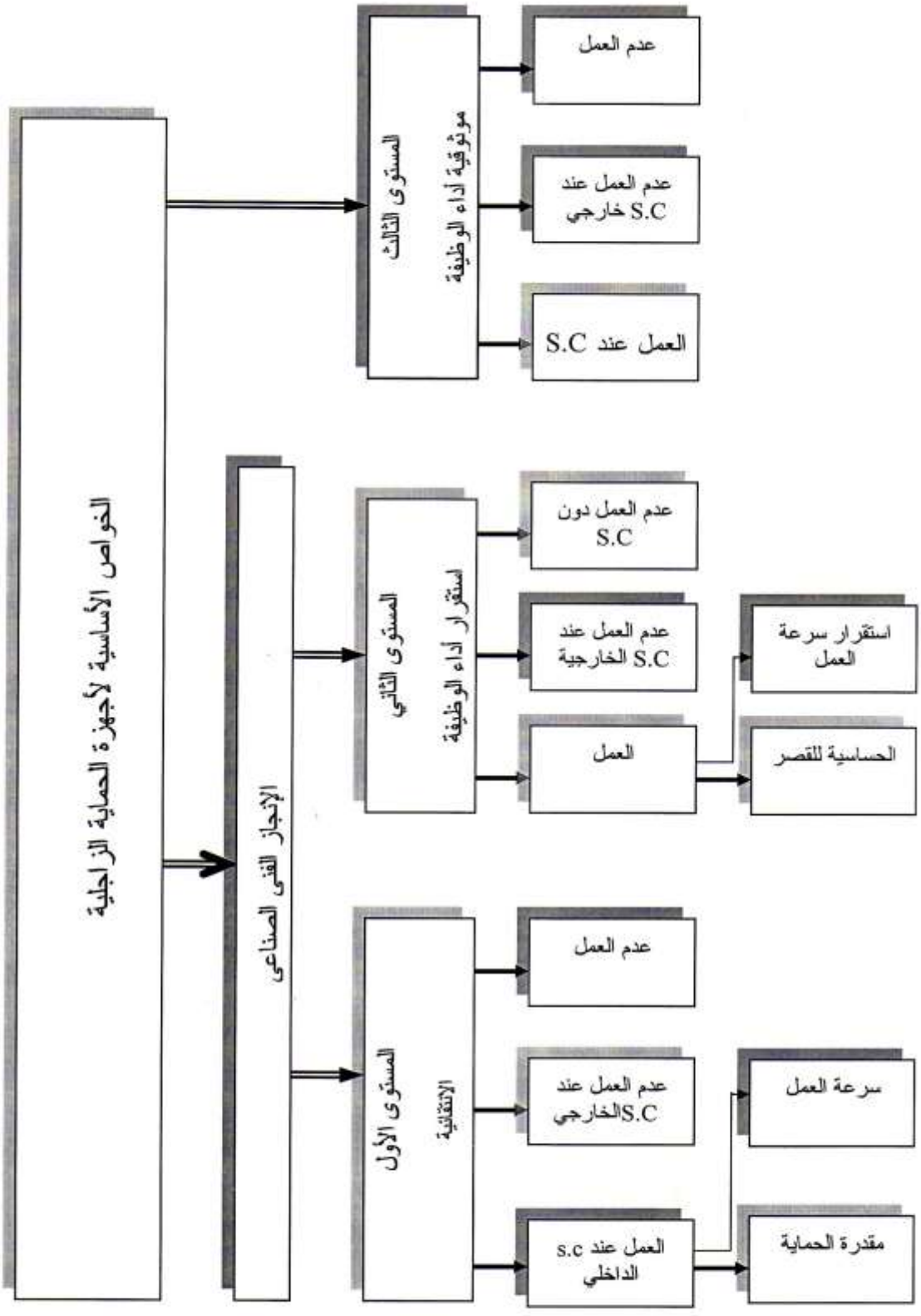
ينحصر هدف البحث في تحليل الوسائل والطرق المؤدية لتحسين أداء عمل عناصر أجهزة الحماية الزاجلية وذلك من خلال خفض درجة الانتقائية الأمر الذي يسمح بزيادة سرعة عمل الحماية وزيادة موثوقية أداء الشبكة الكهربائية.

الدراسة التحليلية للبحث:

تقع خصائص الحماية ضمن علاقة عشوائية معقدة تربط إحداها بالأخرى. ولهذا من المفضل تصنيفها من مواقع مختلفة. وعند ذلك يكون من المحبذ استخدام مفهوم فعالية الأداء والمقدرة على تنفيذ عدد محدد من الوظائف، يمتاز كل منها بفعالية حدية.

يوضح الشكل (1) البنية التفصيلية للخواص الأساسية لأجهزة الحماية الزاجلية [2]. إن الخاصية الأولى (عالية المستوى) من بين هذه الخواص هي خاصية الانتقائية للحماية ، وأما الثانية (متوسطة المستوى) فيمكن أن تسمى باستقرار أداء الوظيفة ، والثالثة (منخفضة المستوى) فهي الموثوقية في أداء الوظيفة. تشكل الخصائص ذات المستويات العليا والمتوسطة إنجازا فنيا صناعيا (فعالية) للحماية.

تعرف الانتقائية بالخاصية العليا للحماية التي تؤمن الفصل للعنصر المعطل فقط عند حدوث قصر وتعطي الانتقائية إمكانية استمرار التغذية الكهربائية عند وجود تغذية احتياطية للمستهلكين /للأحمال/. تتميز انتقائية عمل جهاز الحماية عند دارات القصر الداخلية بالمقدرة على الحماية وسرعة العمل.



الشكل (1) – الخواص الأساسية لأجهزة الحماية الزاجلية

وتتميز مقدرة الحماية بكونها خاصية حماية (دون حساب التأثير الاحتياطي) كل العنصر عند جميع أشكال القصر المعدنية المدروسة وأما سرعة العمل فهي خاصية هامة جدا للحماية عند عملها في ظروف دارات القصر الداخلية. ويتحدد هذا الفصل السريع للقصر:

- ❖ من استقرار العمل المتوازي للآلات (الشبكة) مما يعطي إمكانية زيادة مقدرة التمرير لخطوط النقل الكهربائية.
- ❖ يقلل تأثير انخفاض الجهد على عمل المستهلكين.
- ❖ يقلل حجم الأضرار للعنصر المصاب ، وهذا هام بشكل خاص للمحولات والمولدات ذات الاستطاعة العالية التي تكون غالية الثمن.
- ❖ يخفض احتمال الانتقال إلى الشكل الأكثر خطورة للقصر والمترافقة بزيادة تيار القصر وانخفاض الجهد في الشبكة.
- ❖ يزيد من فعالية عمل آليات إعادة الوصل الأوتوماتيكي.

تشير الاعتبارات المذكورة سابقا إلى أهمية شرط الفصل السريع للقصر في الشبكة الكهربائية.

تقسم الحمايات الزاجلية من حيث الانتقائية إلى قسمين أساسيين:

حمايات ذات انتقائية نسبية، وهي حمايات تعمل بشكل احتياطي عند حدوث قصر خارج منطقة الحماية، وهذه الحمايات تنفذ عادة بتأخير زمني، حمايات ذات انتقائية مطلقة، وهي حمايات تعمل عملاً أساسياً عند تعرض العنصر المحمي لأي نوع من أنواع القصر وهي تنفذ عادةً بدون تأخير زمني .

في نظام العمل الطبيعي، وفي حالات الأعطال خارج منطقة الحماية فإن استقرار الأداء للحماية يتحدد من خلال الاستقرار في عدم التشغيل، في حين أن الحساسية تتميز باستقرار العمل عند حدوث قصر داخل منطقة الحماية، حيث يعبر عنها من خلال عامل الحساسية Kr.

أما سرعة العمل فيميزها ثبات عمل الحماية زمنياً عند حدوث قصر داخل منطقة الحماية، وهذا الأمر يخص الحمايات ذات الانتقائية المطلقة.

وأخيراً فإن شرط الموثوقية يتعلق بعدم رفض الحماية للعمل (المحافظة المستمرة على مقدرة العمل) وطول عمر الخدمة ، وقابلية الإصلاح وبعض الخواص الأخرى.

من أهم المؤشرات المميزة لموثوقية عمل أجهزة الحماية هي عدد مرات التشغيل الخاطئ في العام والتي يعبر عنها من خلال مراقبة عدد مرات التشغيل الخاطئ لجهاز حماية واحد في العام. ويقصد بالتشغيل الخاطئ أحد الحالات التالية:

- ❖ حالات الرفض (أو عدم الاستجابة) في العمل عند حدوث الأعطال في منطقة عمل الحماية.
- ❖ حالات العمل غير الانتقائي (فصل الجسم المحمي عند حدوث عطل خارج منطقة عمل الحماية).
- ❖ حالات العمل الكاذب (الخاطئ) دون إعطاء إنذار (عدد حالات العمل غير الصحيح للحماية دون وجود حالة قصر أو في أنظمة العمل الطبيعي خلال زمن مناوبة الحماية).

عموماً يمكن صياغة أداء عمل الحمايات للعناصر الكهربائية ثلاثية الطور الأكثر انتشاراً في شبكات التوزيع ذات التوتر المتوسط لجميع حالات القصر بالاعتماد على النماذج الرياضية الآتية [3]:

$$F(t)=\begin{cases}\varphi(X_1^{H})<[K]X_1^{P}D^{\uparrow t(\varphi(X_1^{H}))}=Y(0)\\ \varphi(X_1^{ab})\geq[K]X_1^{P}D^{\uparrow t(\varphi(X_1^{ab}))}=Y(1)\end{cases} \qquad (1)$$

$$F(t)=\begin{Bmatrix}\varphi(X_1^H)<[K]X_1^P D^{\uparrow t}=Y(0)\\ \varphi(X_1^{ab})\geq[K]X_1^P D^{\uparrow t}=Y(1)\end{Bmatrix} \qquad (2)$$

$$F(t)=\begin{Bmatrix}\varphi(X_1^H)<[K]X_1^P(\tau,t)D^{\uparrow t(\varphi(X_1^H))}=Y(0)\\ \varphi(X_1^{ab})\geq[K]X_1^P(\tau,t)D^{\uparrow t(\varphi(X_1^{ab}))}=Y(1)\end{Bmatrix} \qquad (3)$$

$$F(t)=\begin{Bmatrix}\varphi(X_1^H)<[K]X_1^P(\tau,t)D^{\uparrow t}=Y(0)\\ \varphi(X_1^{ab})\geq[K]X_1^P(\tau,t)D^{\uparrow t}=Y(1)\end{Bmatrix} \qquad (4)$$

في المعادلات السابقة تعني الرموز ما يلي :

F(t) . تابع إعادة الوصل والقطع.

$\varphi\left(X_I^H\right)$. تابع تحويل التيارات الطورية للعناصر المحمية في نظام العمل الطبيعي.

$\varphi(X_1^{ab})$ – تابع تحويل التيارات الطورية للعناصر المحمية في نظام الأعطال.

[k] . عامل التعميم الذي يتضمن البارامترات التصميمية للحمايات وظروف استعمالها.

$$[K]=K_H.K_{CX}.K_P/K_B$$

حيث :

K_H و K_{CX} و K_P و K_B . عوامل الموثوقية ، والشكل والوصل (التشغيل) الذاتي ، والعودة على الترتيب.

X_1^P . قيم التيارات المحسوبة للحمولة التي من أجلها لا تعمل الحماية وعند ذلك :

$$X_1^P=f(S_{H.P.\max}/\sqrt{3}U)$$

$\tau=\{\tau_i\}$. تابع تأخير الشعاع x^p عند تغير مقدار الحمولة في تابع الزمن .

$D^{\uparrow}$. معالج التأخير.

$\left[\varphi\left(X_I^{ab}\right)\right]$. مقدار التأخير الزمني لعمل الحماية في تابع X^{ab}.

Y . إشارات الخرج للحماية.

نظام المعادلات (1) توافق ظروف أداء الحماية التيارية الأعظمية لعناصر شبكات التوزيع الكهربائية ذات التوتر المتوسط بتأخير زمني متعلق بتيار القصر ، أما المعادلات (2) فتوافق ظروف أداء الحماية التيارية الأعظمية بتأخير زمني لا يتعلق بتيار القصر. المعادلات (3) توافق ظروف أداء الحماية التيارية الأعظمية الموافقة للعناصر التي يتعلق فيها شعاع تيارات الحمولات بالتيارات الفعلية للحمولات بتأخير زمني يتعلق بتيار القصر. نظام المعادلات (4) مطابق تماماً للنموذج (3) لكن بتأخير زمني مستقل.

يتم تقييم فعالية الحمايات بالتيار الزائد عبر معيارين أساسيين : الحساسية، والانتقائية التي يمكن أن تنحاز باتجاه معايير الشكل الوظيفي (التابع) :

$$W_r^*=\min\{W(Kr\min[K])\} \qquad (5)$$

حيث : W_r^* . القيمة العظمى $\{w(Kr\min[K])\}$ وهذا يوافق القيمة العظمى للحساسية قدر الإمكان لاحتمالية جهاز الحماية في مجموعة قيم العلاقات :

$$K' = I^{(r)}_{s.c\ \min} / I_H$$

هذه العلاقة تعتبر كذلك مميزة للعنصر المحمي.

يتم الحكم على جهاز الحماية بأنه فعال في الحالات التي تحقق العلاقة :

$$K'_{\min} \geq (W_r^* = \min\{W(Kr\min[K])\} \quad (6)$$

يتعلق الثابت k بالخصائص التصميمية من جهة، وبطريقة إنشاء وتشكيل إشارات الدخل (التيارات) ، وهي من نوع التابع $\varphi(X^{ab})$ للأجهزة المحمية. ويتعلق أيضاً بخصائص أنظمة العمل للعناصر المحمية .

وفقاً لما سبق فإن الثابت k يعطى بالنسبة للحمايات بالتيار الزائد التي تستجيب للتيارات الطورية وفق العلاقة:

$$|K| = K_H.K_{CX}.K_P / K_B \quad (7)$$

بالنسبة للحمايات التيارية ذات مرشح التتابعين العكسي والمباشر التي تعمل على التيارات الطورية تكتب المعادلات بالشكل :

$$\varphi(\overline{X}_1{}^{ab}) = (|I_1| + K_\phi |I_2|)$$
$$[K] = (\sqrt{3}K_H / 4K_B).[1+1/(Z_2 / Z_1)] \quad (8)$$

حيث : Z_2/Z_1 . النسبة بين التتابع العكسي والمباشر للحمولة.

$K\phi$. ثابت الترشيح ($K\phi = 1$)

أما بالنسبة للحماية التيارية الأعظمية والحماية التفاضلية لقضبان تجميع محطات التحويل 66/20kv فيكون [6, 5, 4] :

$$|K| = (K_H.K_{CH}.K_P.\alpha) / K_B \quad (9)$$

حيث : α . عامل تعويض تيار الحمولة (عند تشغيل حمولة مركزة ذات استطاعة كبيرة:

($(\alpha \in \{0.1,....0.6\})$

وفق معيار الانتقائية فإن فعالية الحمايات التيارية تتعلق بعدد كبير من العوامل أهمها :

- ❖ أنظمة عمل الشبكة الكهربائية وتشكيل بارامتراتها.
- ❖ مميزات وأنواع المنصهرات وأجهزة الحماية في محطات التحويل الموصولة مع خطوط نقل الطاقة الكهربائية المحمية.
- ❖ شكل ودقة المميزات الزمنية لعمل أجهزة الحماية.
- ❖ مقدار درجات الانتقائية التابعة لزمن فصل القاطع ولنسبة خطأ عناصر التأخير الزمني وكذلك لأجهزة الحماية في القطاعات المجاورة [7].

من جهة ثانية فإنه ووفقاً لمعيار الانتقائية يمكن خفض نسبة الخطأ في عمل العناصر الزمنية للحمايات ذات عناصر التأخير الزمنية من نوع (Am/Sec) وذلك حتى قيم أصغرية ولجميع مجالات عوامل عدم الاستقرار (درجة الحرارة، الرطوبة، التقادم، ...) .

يمكن التعبير عن التأخير الزمني في جملة المعادلات من (1) إلى (4) بتوابع مختلفة للعلاقات $t_{cp}[\varphi(X_1^{ab})]$ أو للعلاقات $\varphi(X_1^{ab}) \equiv \{I_{s.ci}\ , I_i .....\}$ المتعلقة بمميزات وبارامترات العناصر المحمية.

وإن فعالية البنى المختلفة لأجهزة الحماية وفقا لمعيار الانتقائية يمكن أن يعبر عنها بالتابع W_c^*.

$$W_c^* = \min\left\{w_c[t_z^\phi(|t\pi m|, / t_n(n-u/, \Delta tc) - t_{B(n-1)}]\right\} \quad (10)$$

حيث :

$$t_{\pi} = |t_{\pi m}| = |t_{\pi(n-1)}| \in \{0.025;0.05,0.1\}, \Delta t_C \varepsilon \{0.2;0.3;0.4\}; t\pi_{(n-1)} = 0.1\text{sec}$$

t_z^{ϕ} . الزمن الحقيقي للاحتياط عند توافق العناصر المجاورة للحماية.

$t_{\pi m}$. النسبة العظمى للخطأ الإيجابي للحماية السابقة التي تؤخر الفصل.

$t_{\pi(n-1)}$. النسبة العظمى للخطأ السلبي للحماية المدروسة .

Δtc . درجة الانتقائية.

$t_{\pi(n-i)}$. الزمن الأعظمي لفصل القاطع للقسم (n-i) السابق لخط نقل القدرة المحمي.

وبالصيغة المنشورة تكون كما يلي :

$$t_z^{\phi} = \{[t_{n-1} + \Delta t_c) \pm t_{\pi m}] - ... - (t_{n-1} \pm t_{\pi(n-1)})\} - t_{B(n-1)} \qquad (11)$$

حيث: t_{π} . الزمن الأصغري للعمل للحماية ذات الرقم (n-i) وفقاً لظروف التوافق مع مميزات الحمايات في محطة التحويل الموصولة مع خطوط نقل القدرة المحمية وغيرها.

ومن الواضح أنه يمكن تحقيق أربع احتمالات لقيم التأخير الزمني مع الأخذ بالحسبان إشارات نسب الأخطاء للأجهزة الموصولة على التسلسل لعناصر التأخير الزمني لأجهزة الحماية.

$$\begin{aligned}
&1.\ t_{z1}^{\Phi} = \left((t_{cpn} + t_{\Pi n}) - (t_{cp(n-1)} + t_{P(n-1)}) + \Delta t_c\right) - t_{B(n-1)} \\
&2.\ t_{z2}^{\Phi} = \left((t_{cpn} - t_{\Pi n}) - (t_{cp(n-1)} - t_{P(n-1)}) + \Delta t_c\right) - t_{B(n-1)} \\
&3.\ t_{z3}^{\Phi} = \left((t_{c\,pn} - t_{\Pi n}) - (t_{cp(n-1)} + t_{P(n-1)}) + \Delta t_c\right) - t_{B(n-1)} \\
&4.\ t_{z4}^{\Phi} = \left((t_{cpn} + t_{\Pi n}) - (t_{cp(n-1)} - t_{P(n-1)}) + \Delta t_c\right) - t_{B(n-1)}
\end{aligned} \qquad (12)$$

الاحتمال الثالث (الأكثر سوءا) الذي يوافق 0.25 في قانون تجانس توزيع نسب أخطاء عناصر التأخير الزمني هو الاحتمال الحاسم لأنه عند ذلك يكون الاحتياط $t_z^{\Phi} = \min$ وهذا الاحتمال يتطابق مع العلاقة المشهورة لتحديد درجة الانتقائية [6].

ومن العلاقة (12) ينتج أنه في 75% من الحالات المدروسة يكون هناك احتياط في الانتقائية عند التوافق بين الأجزاء المجاورة للحمايات ، وهذا يعتبر خاصية إيجابية لاستخدام الاحتمال الثالث لحسابات التأخير الزمني لأجهزة الحماية المتجاورة.

في الجدول (1) نرى حسابات قيم التابع w_c^* وفقا للمعادلة (10) مع الأخذ بالحسبان المعادلات (12) عندما t_{n-1}=1sec و $t_{B(n-1)}$=0.1 sec.

نرى من الجدول أفضلية زيادة دقة عمل عناصر التأخير الزمني للحمايات حتى ± 0.025sec

أو حتى ± 0.05sec في القوانين ذات المرتبة 1-2 sec بهدف تخفيض درجة الانتقائية إلى 0.2 Sec.

جدول (1) يبين نتائج حساب التابع W_c^*

W_c^*	الزمن الحقيقي للاحتياط	درجة الانتقائية	نسبة الخطأ في عناصر الزمن
0.1	0.2	0.2	0.025
0.1	0.2		
0.05	0.15		

		0.25	0.15
	0.3	0.3	0.2
		0.3	0.2
		0.25	0.15
		0.35	0.25
	0.4	0.4	0.3
		0.4	0.3
		0.35	0.25
		0.45	0.35
0.05	0.2	0.2	0.1
		0.2	0.1
		0.1	0
		0.3	0.2
	0.3	0.3	0.2
		0.3	0.2
		0.2	0.1
		0.4	0.3
	0.4	0.4	0.3
		0.4	0.3
		0.3	0.2
		0.5	0.4
0.1	0.2	0.2	0.1
		0.2	0.1
		0	0.1
		0.4	0.3
	0.3	0.3	0.2
		0.3	0.2
		0.1	0
		0.5	0.4
	0.4	0.4	0.3
		0.4	0.3
		0.2	0.1
		0.6	0.5

وكما هو واضح من الجدول السابق فإنه عند $\Delta t_c = 0.2Sec$ يكون هناك احتياط كافٍ وجيد للانتقائية، وفي هذه الحالة فإن درجة دقة عمل عناصر التأخير الزمني تتراوح ضمن المجال من (2.5−5%) ، وهذا يمكن تحقيقه فنياً وصناعياً من خلال تنفيذ عناصر التأخير الزمني للحمايات اعتماداً على الأسس الرقمية الحديثة (Digital) .

أخيراً، يجب الإشارة إلى أن خفض درجة الانتقائية يسمح بزيادة سرعة عمل الحمايات وزيادة موثوقية أداء الشبكات الكهربائية مما يؤدي إلى خفض حجم الأعطال وزمن الإعادة لعناصر الشبكات في جميع أنواع القصر التي تتعرض لها الشبكة الكهربائية.

نتائج البحث:

1- تم خفض درجة الانتقائية للحمايات المدروسة لعناصر المنظومة الكهربائية بالاعتماد على النموذج الرياضي التحليلي لأداء عمل تلك الحماية، مما يسمح بزيادة سرعة عمل الحماية.

2- لتصميم أجهزة حماية زاجلية فعّالة لا بد من استخدام الحالات الرئيسة لنظرية تطوير الشبكة وهذا يتضمن:

- ❖ موضوعية توسيع أداء الشبكات الكهربائية.
- ❖ رفع فعالية الشبكات الكهربائية.

3- يوجد احتياط في الانتقائية في 75% من الحالات وهذا يعتبر خاصية إيجابية لاستخدام الاحتمال الثالث لحسابات التأخير الزمني لأجهزة الحماية المتجاورة.

المراجع:

1- د. طارق ابراهيم، د. علاء الدين حسام الدين، حماية نظم القدرة الكهربائية، 2002.

2- فيدوسييف آ .م. ، حماية نظم القدرة الكهربائية ، دار الطاقة للنشر ، موسكو . روسيا، 1992 (الكتاب باللغة الروسية).

3- سينيلنيكوف ف ، تحليل فعالية عمل أجهزة الحماية الزاجلية في الشبكات الكهربائية 10kv، موسكو – روسيا ، (الكتاب باللغة الروسية)، 1986 .

4- سينيلنيكوف ف ، فيلدمان ن ، دراسة طرق زيادة حساسية حمايات خطوط النقل Kv 10-6 ، 1987 (الكتاب باللغة الروسية).

5- فيلدمان ن. م ، زيادة سرعة عمل وانتقائية وحساسية الحمايات التيارية الأعظمية للخطوط 10kv ، موسكو . روسيا ، 1985 (الكتاب باللغة الروسية).

6- برونيكافا م. ي ، حماية أجهزة الطاقة الكهربائية ، موسكو . روسيا ، 1975 . (الكتاب باللغة الروسية).

7- فيدوسييف آ. م ، حماية نظم الطاقة الكهربائية ، دار الطاقة للنشر ، موسكو . روسيا، 1984 (الكتاب باللغة الروسية).