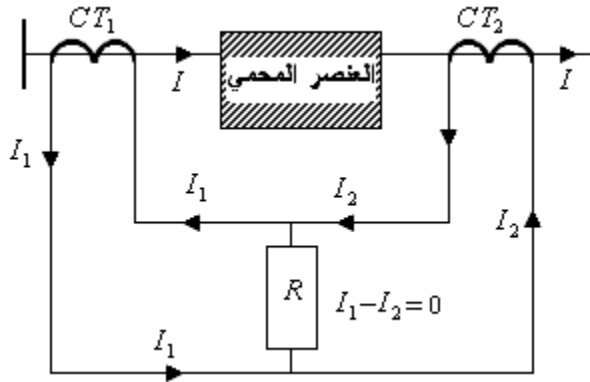


الفصل الثامن

الحماية التفاضلية

١-٨ مقدمة :

إن استخدام زواجل زيادة التيار جميعها لا يفي بشروط الحماية اللازمة في منظومة القدرة الكهربائية . فقد لاحظنا أن زمن الفصل يزيد دائماً باتجاه المصدر بغض النظر عن طريقة التدرج المستخدمة (التدرج الزمني - التدرج التياراتي ... إلخ)، وهذا بدوره قد يشكل خطراً على محطات التوليد ، وكذلك على محطات التحويل ، وبالتالي يؤثر بشكل مباشر على استقرار الشبكة ، لذلك تستخدم طريقة الحماية التفاضلية لحماية المولدات والمحولات والمحركات وقضبان التجميع ، وتعتمد في عملها على الفرق الشعاعي لقيمتين كهربائيتين أو أكثر . وللزواجل أشكال وأنواع عديدة ، وذلك بالاعتماد على نوع العنصر المحمي .



الشكل (١-٨) الدارة الأساسية لمجموعة الحماية التفاضلية

٢-٨ نظرية عمل الحماية التفاضلية :

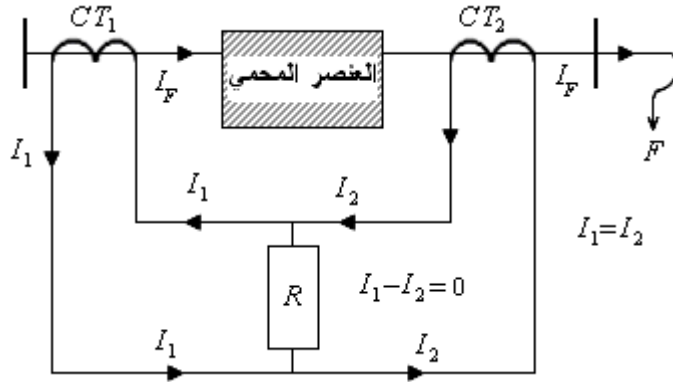
تهدف الزواجل التفاضلية إلى القيام بمقارنة مقدارين كهربائيين من النوع نفسه ، ويتكونان عادة من تيارين كهربائيين ، وتعتمد نظرية عمل هذه الزواجل على مبدأ ميرز برايس - Merz Price . ويبين الشكل (١-٨) دارة وصل الزاغل التفاضلي إلى دارة الجهاز المحمي عبر محولات القياس التيارية التي تسمى بالحماية التفاضلية الطولانية . إن مجال الحماية لذلك الزاغل

والممتد بين محولات القياس التيارية المركبة في النهايتين لا يضم العنصر المحمي فقط بل يضم النواقل الواصلة لذلك الجهاز مع محولات القياس التيارية أيضاً. ويمكن أن يكون العنصر المحمي خط نقل قصير، أو محولة، أو مولدة، أو قضيب تجميع.

وببساطة، إذا كان التيار الداخل إلى العنصر المحمي يساوي التيار الخارج منه، فإن هذا يعني عدم وجود عطل في مجال الحماية والحماية لا تعمل، أما إذا كان فرق بين التيار الداخل والتيار الخارج فإن ذلك يدل على وجود عطل والحماية في هذه الحالة تعمل لفصل تيار العطل بأسرع ما يمكن. ولفهم هذه الدارة لابد من مناقشة الحالات الآتية:

آ- حالة حدوث عطل خارجي :

كما هو في الشكل (٢-٨)، نلاحظ إذا حدث عطل خارج مجال الحماية فإن الزاغل لا يعمل لكون التيار الذي يمر في الزاغل يساوي الصفر، أي $(I_1 - I_2 = 0)$ ، وأن تيارات الثانوي سوف تدور بين محولات التيار حسب اتجاهات الأسهم المبينة في الشكل (٢-٨)،



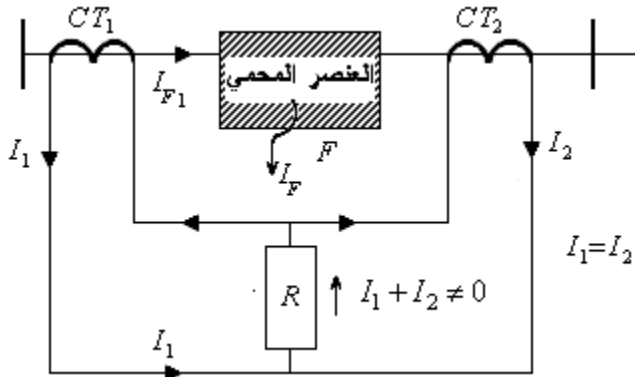
الشكل (٢-٨) الحماية التفاضلية عند حدوث عطل خارجي أو حمولة

وبالتالي لا يمر تيار في الزاغل التفاضلي ولا يعمل، ولكن حقيقةً نجد أن التيار المار في الزاغل يساوي في هذه الحالة إلى فرق تيارات المغنطة المارة في محولات التيار CT_1 و CT_2 ، والنتيجة عن الفيض المغناطيسي المتسرب بالمحولات، حتى لو استخدمنا محولات تيار متشابهة تماماً من حيث التيار ونسبة التحويل والشركة الصانعة، فإننا لا نضمن أن يكون لهما تيارات المغنطة نفسها. وبمعنى آخر، فإنه من الناحية العلمية سيكون هناك فرق في الخواص المغناطيسية

للمحولات ، هذا الفرق مهما كان طفيفاً سيؤدي إلى عدم اتزان في عمل الزاغل لاسيما نتيجة الأعطال خارج مجال الحماية . وتمائل هذه الحالة حالة العمل الطبيعي لدارة الحماية والتي يكون فيها محصلة التيار المار في ملف الزاغل مساوياً إلى الصفر.

ب- حالة حدوث عطل داخلي :

عند حدوث عطل داخل مجال الحماية ، فإن التيار المار في ملف الزاغل لا يساوي الصفر، ويساوي إلى $(I_1 + I_2 \neq 0)$ ، انظر الشكل (٣-٨)، أي يمر تيار في ملف الزاغل ، وبالتالي تغلق التماسات الخاصة به فتعمل على فصل قاطعي التيار على جانبي منطقة مجال الحماية .



الشكل (٣-٨) الحماية التفاضلية عند حدوث عطل داخلي في النقطة F

في الزواجل الكهرومغناطيسية ينشأ من التيارين I_1, I_2 عزم إجهاد على الحافظة المثبت عليها نقاط التلامس . ففي الأعطال الخارجية يكون العزمان في اتجاهين متعاكسين ، أما في الأعطال الداخلية فيكون العزمان في اتجاه واحد وتشكل عزمًا موجباً يعمل على إغلاق نقاط التماسات التي بدورها تؤدي إلى فصل قاطعي التيار على طرفي الجهاز المحمي ، وبالتالي فإن التيار المار في الزاغل $I_R = I_1 + I_2$ والحماية التفاضلية بهذه الحالة تتأثر بكامل التيار المار في دارة القصر وتمتلك حاسية عالية، وعامل الحاسية يعطى بالعلاقة الآتية:

$$K_S = \frac{I_{Fmin}}{I_{C.Z}}$$

حيث I_{Fmin} : القيمة الأصغر لتيار القصر على الخط المحمي .

$I_{C.Z}$: تيار تشغيل الحماية التفاضلية .

ولهذا النوع من الزواجل عدة مساوئ هي :

تُعد من الزواجل غير المستقرة ، ويمكن أن تعمل في حالات عدم اتزان التيارات الناتجة من اختلاف مميزات محولات التيار (مثل الخطأ في نسبة التحويل ، والخطأ في زاوية الطور)، سواء في الحالات الطبيعية أو العابرة ، وهذه تتطلب قيمة عالية لتعبير التيار ، ولحل هذه المشكلة ، يتم إضافة مقاومات استقرار في دارة الحماية ومقاومات اتزان في الدارات الثانوية لمحولات التيار .

وتستخدم مقاومات الاستقرار للحصول على استقرار الزاغل عند حدوث أعطال خارجية ، وبفرض أن أحد محولي التيار كان في حالة تشبع مغناطيسي ، عندها يُعبّر عن تيار الزاغل بالعلاقة الآتية :

$$I_R = I_{t.f} \left(\frac{R_A}{R_B} \right) \quad (8.1)$$

حيث $I_{t.f}$: التيار المار في أثناء حدوث عطل خارج منطقة الحماية .

R_A : مقاومة محول التيار مع مقاومة أسلاك التوصيل في الزاغل .

R_B : مقاومة الاستقرار .

من المعادلة (8.1)، إذا زدنا قيمة R_B فإنه يمكن تقليل قيمة التيار المار بالزاغل I_R . أما مقاومات الاتزان فتضاف إلى الملف الثانوي لمحولات التيار بحيث يتم توصيل الزاغل لكي يعطى هبوطاً في التوتر متساوياً على طرفي الزاغل ، وبالتالي يجب وضع الزاغل في المركز بين محولتي التيار .

ومن عيوب هذا النوع :

١- وجود فرق في أطوال أسلاك توصيل الزاغل :

من الصعب تحقيق هبوط توتر متساوٍ على طرفي الزاغل بسبب اختلاف في أطوال أسلاك التوصيل وبعد مكان توضع زاغل الحماية التفاضلية من موضع تساوي التوتر .

٢- اختلاف نسب تحويل محولات التيار :

خلال الأعطال يحدث خطأ في نسب التحويل في محولات التيار وذلك بسبب :

- اختلاف خصائص محولات التيار لاختلاف الدارة المغناطيسية وحالات التشبع.

- عدم تساوي مركبات التيار المستمر DC بتيارات القصر.

٣- التشبع المغناطيسي لنواة محولات التيار عند حدوث حالات القصر :

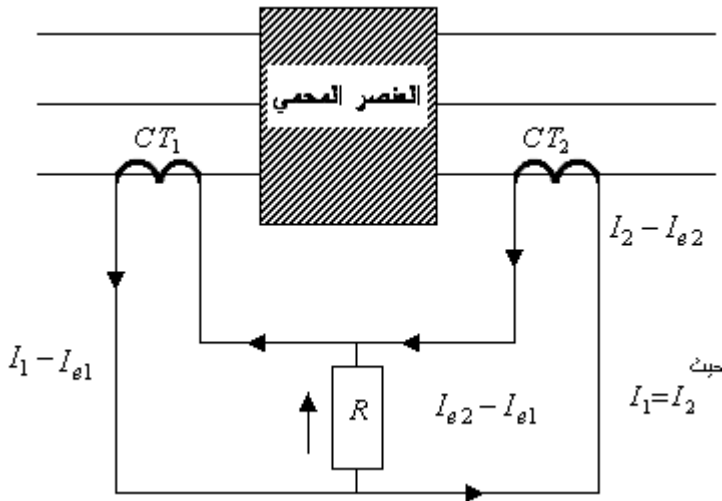
بالنتيجة ، يمكن أن يعمل الزاغل التفاضلي في حالة الأعطال الخارجية ، وبالتالي يفقد

الزاغل الصفة الانتقائية عند حدوث الأعطال . ويبين الشكل (٨-٤) توصيلات الحماية

التفاضلية موضعاً عليها الفرق بين تيارات المغنطة الناتجة عن محولات التيار $(I_{e2} - I_{e1})$.

ولمنع عمل الزاغل عند هذا التيار يجب تعبير الزاغل على قيمة أعلى من القيمة العظمى

لهذا التيار خلال المحولات الاسمية أو العطل الخارجي .



الشكل (٨-٤) توصيلات الحماية التفاضلية موضعاً تيارات المغنطة $(I_{e2} - I_{e1})$

وللتخلص من المساوئ السابقة يفضل استخدام الزواجل التفاضلية المئوية .

٣-٨ الزواجل التفاضلية المئوية :

الهدف الأساسي لهذه الزواجل هو التغلب على ظاهرة التشغيل الخاطئ لزاغل تفاضلي

سابق في حالة الأعطال الخارجية، وذلك نتيجة اختلاف نسبة التحويل لمحولة التيار عند مرور

التيارات الكبيرة .

يستعمل هذا النوع من الزواجل بشكل كبير لحماية المحولات والمولدات وقضبان التجميع

، وتعمل بمبدأ زواجل التيار الزائد (توازن التيار)، ولكن التوصيل يتم بدارة تفاضلية . ويبين

الشكل (٥-٨) دائرة الزاغل التفاضلي المنوي ذي ملفين ، يسمى الملف الأول ملف التشغيل بعدد لفات N_0 ، يوصل هذا الملف إلى منتصف الملف الثاني الذي يسمى بملف الإعاقة أو بملف المقاوم ، عدد لفاته N_r . فعند حدوث عطل خارجي ، أي خارج مجال الحماية ، لا يمر تيار ضمن الملف N_0 . ولكن عدم تطابق نسب تحويل محولات التيار بشكل دقيق يؤدي إلى مرور تيار ضمن الملف N_0 ، ويسبب عملها عندما يزداد عن حد معين يدعى نسبة التعيير (التشغيل/المقاوم)، وإن قوة التشغيل وقوة الإعاقة للزاغل تعطى بالعلاقتين :

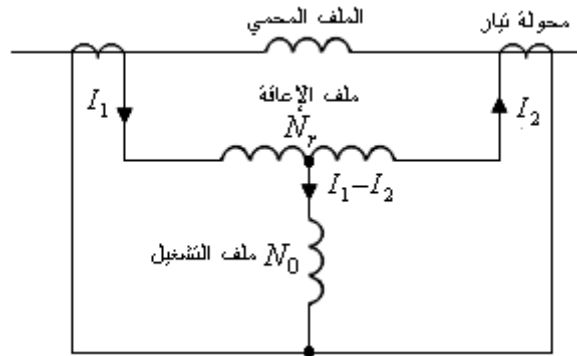
- قوة تشغيل الزاغل ، وتساوي :

$$(I_1 - I_2) \cdot N_0 \cdot K$$

- قوة إعاقة الزاغل ، وتساوي :

$$K_S + \left(\frac{I_1 + I_2}{2}\right) \cdot N_r \cdot K$$

حيث K_S : ثابت يعبر عن قوة مقاومة النابض .



الشكل (٥-٨) دائرة الزاغل التفاضلي المنوي

عند نقطة التوازن ، وبإهمال تأثير النابض يكون :

$$(I_1 - I_2) \cdot N_0 \cdot K = \left(\frac{I_1 + I_2}{2}\right) \cdot N_r \cdot K$$

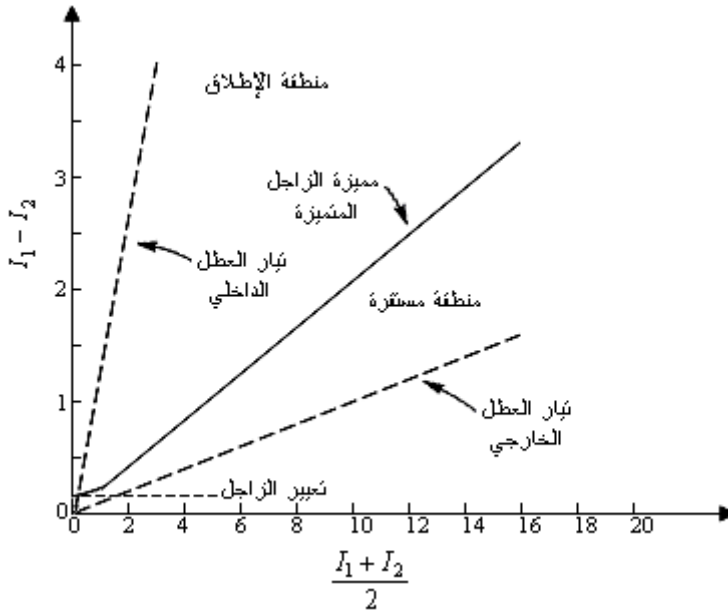
$$\frac{(I_1 - I_2) \cdot K}{\left(\frac{I_1 + I_2}{2}\right) \cdot K} = \frac{N_r}{N_0}$$

$$\frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2} = \frac{N_r}{N_0} \quad (8.2)$$

وتعطي المعادلة (8.2) مميزة عمل الزواجل ، وهي عبارة عن خط مستقيم يمر من المبدأ ، وميله يساوي إلى النسبة $\frac{N_r}{N_0}$ ، وهي نسبة ثابتة تمثل ميل المنحني ، ونسميها نسبة مميزة الزواجل .

يبين الشكل (٦-٨) مميزة عمل الزواجل التفاضلي المثوي عند الأعطال الداخلية والخارجية ، ومنه نلاحظ قيمة تعبير أصغري للإطلاق ، وذلك عند الأخذ بالاعتبار تأثير النابض عندما

$$\frac{I_1 + I_2}{2} = 0 \quad \text{يكون :}$$

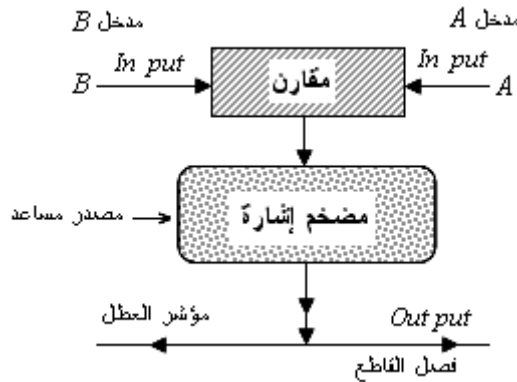


الشكل (٦-٨) مميزة عمل الزواجل التفاضلي المثوي عند الأعطال الداخلية والخارجية

٤-٨ الزواجل التفاضلية الإلكترونية :

يطبق في هذه الزواجل المبدأ العام للزواجل التفاضلية والتي تقوم بمقارنة طويلة وزاوية التيار الداخل والخارج إلى منطقة الحماية المحددة في المجال الواقع بين محولات التيار . ومن أهم

مميزات هذه الزواجل إمكانية تعبير التيار للأعطال الداخلية على نسبة تعبير تقع بين $(10-100)\%$ من التيار الاسمي ، وزمن التشغيل يتراوح بين $[25-100]m sec$ ، وذلك بالاعتماد على طولية التيار ونوع الزاغل ، إذ تكون نسبة الزاغل بين $(5-50)\%$. ويوضح الشكل (٧-٨) مخططاً صندوقياً لزاغل تفاضلي مؤوي ، تيار التشغيل $(I_1 - I_2)$ ، وتيار الإعاقة $(I_1 + I_2)$ ، حيث تتم تغذية التيارات بعد تقويمها إلى مقارنات للطويلة عن طريق محولات تيار مساعدة . يتألف المخطط الصندوقي من إشارتي دخل A, B ، تمثلان تيار التشغيل $I_{op} = I_1 - I_2$ ، وتيار الإعاقة $I_r = I_1 + I_2$. يوصل مقارن الطويلة إلى مضخم ، والخرج يعطي أمر الإطلاق (فصل) ، أو الإشارة عن العطل .



الشكل (٧-٨) مخطط صندوقي لزاغل تفاضلي مؤوي

١٦-٨ أمثلة محلولة :

مثال (١) :

أ- في المنظومة الكهربائية المبينة في الشكل (٨-٣٠) ، يتم استخدام الزاغل التفاضلي

لحماية المحولة . إذا تم تعبير هذا الزاغل على $I_S = 10[A]$ ، والمطلوب :

أثبت هل تحقق شرط عملها من أجل الأعطال ثلاثية الطور في F_1 و F_2 ؟

ب- لرفع موثوقية عمل نظام الحماية ، تم استبدال زاغل بالحاكمة التفاضلية السابقة ،

زاغل تفاضلي مؤوي يمتلك مميزات العمل الآتية: $(10 - 15 - 20 - 30)\%$ مثلاً .

والمطلوب :

اختيار المميّزة المناسبة والتي تحقق شروط عمل الزاغل التفاضلي من الأعطال

السابقة في F_1 و F_2 .

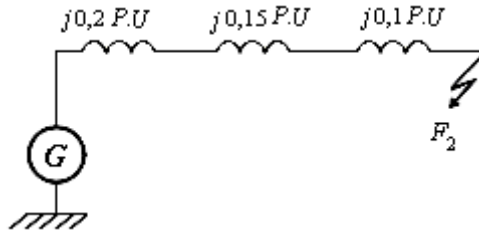
الحل :

آ- نوجد تيار الأساس عند الجهد المنخفض ، وعند الجهد المرتفع :

$$I_{b_1} = \frac{100 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 13,8} = 4183 \text{ [A]}$$

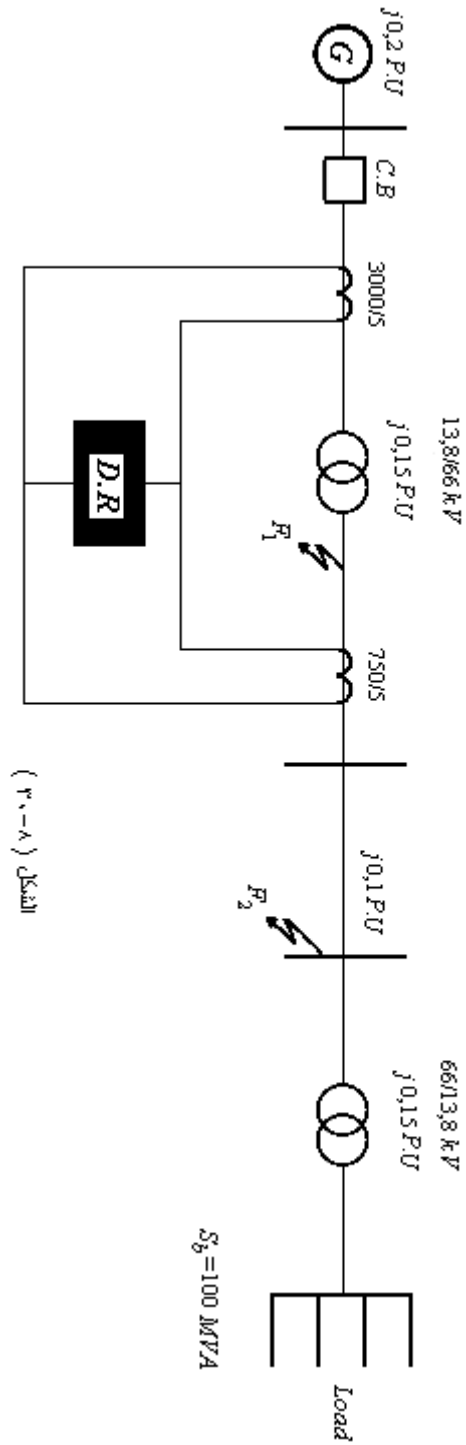
$$I_{b_2} = \frac{100 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 66} = 874 \text{ [A]}$$

- حالة العطل في F_2



$$Z_f = 0,2 + 0,15 + 0,1 = 0,45 \text{ [P.U]}$$

$$I_f = \frac{1}{0,45} = 2,222 \text{ [P.U]}$$



$$(الابتدائي) I_1 = I_f = 2,222 \times 4183 = 9295 \text{ [A]}$$

$$(الثانوي) I_{R_1} = 9295 \times \frac{5}{3000} = 15,5 [A]$$

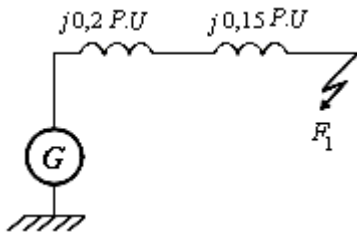
$$(الابتدائي) I_2 = 2,222 \times 874 = 1940 [A]$$

$$(الثانوي) I_{R_2} = 1940 \times \frac{5}{750} = 12,93 [A]$$

التيار المار في الزاغل التفاضلي عند العطل الخارجي :

$$I_d = I_{R_1} - I_{R_2} = 15,5 - 12,93 = 2,56 [A]$$

- حالة العطل الداخلي في F_1 :



$$Z_{f_1} = 0,2 + 0,15 = 0,35 [P.U]$$

$$I_{f_1} = \frac{1}{0,35} = 2,85 [P.U]$$

$$I_{f_1} = 2,85 \times 4185 = 11951,4 [A]$$

$$I_{R_1} = 11951,4 \times \frac{5}{3000} = 19,9 [A] ; I_{R_2} = 0$$

$$I_d = I_{R_1} + I_{R_2} = 19,9 [A]$$

وبما أن تيار تعبير الزاغل التفاضلي $I_S = 10[A]$ ، فإن شروط عمل الحماية التفاضلية

محقة ، لأن تيار التعبير يجب أن يكون :

$$2,57[A] < I_S < 19,9 [A]$$

ب- مميزات عمل الزاغل التفاضلي المؤي هي :

$$tg \varphi_1 = 10 \% \Rightarrow \varphi_1 = 5,7^\circ$$

$$tg \varphi_2 = 15 \% \Rightarrow \varphi_1 = 8,5^\circ$$

$$tg \varphi_3 = 20 \% \Rightarrow \varphi_1 = 11,3^\circ$$

$$tg \varphi_4 = 30 \% \Rightarrow \varphi_1 = 16,69^\circ$$

- العطل الخارجي :

$$I_1 = 15,5[A] ; I_2 = 12,93[A]$$

$$M = \operatorname{tg} \varphi = \frac{I_1 - I_2}{\frac{I_1 + I_2}{2}} = \frac{2,56}{14,21} = 0,180 \Rightarrow \varphi = 10,21^\circ$$

- العطل الداخلي :

$$I_1 = 19,9[A] ; I_2 = 0[A]$$

$$M = \operatorname{tg} \varphi = \frac{I_1 - I_2}{\frac{I_1 + I_2}{2}} = \frac{19,9 - 0}{\frac{19,9 + 0}{2}} = 2 \Rightarrow \varphi = 63,4^\circ$$

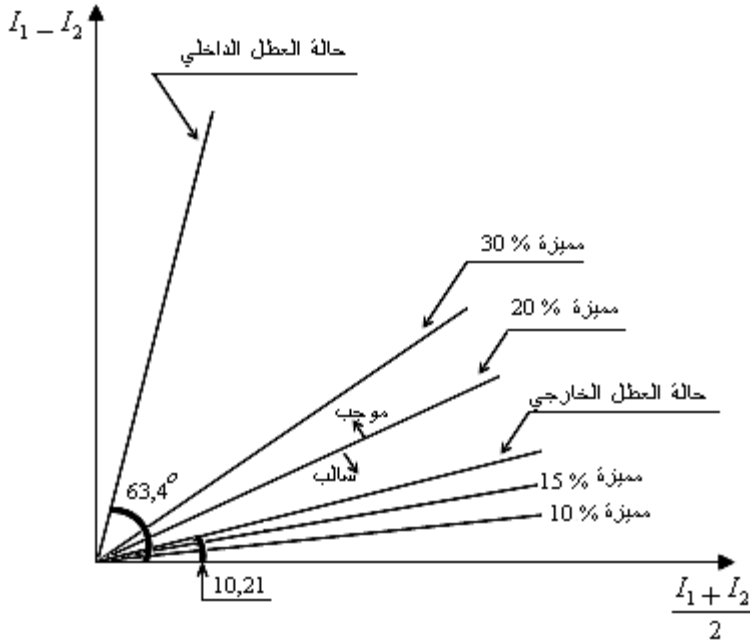
ويبين الشكل (٨-٣١) مميزة عمل الزاغل التفاضلي المثوي .

نلاحظ مما سبق أن المميّزة المناسبة والتي تحقق شرط عمل الحماية من الأعطال F_1 و

F_2 هي :

20 % أو 30 %

نختار مميّزة الـ 20 % لتأمين انتقائية أفضل .



الشكل (٨-٣١)