الفصل السابع

الحماية المسافية

٧-١ مقدمـة :

عندما يكون طول الخط المراد حمايته طويلاً فإن الحماية بوساطة أسلاك البيلوت تصبح مكلفة وغير اقتصادية، ويكون التأخير الزمني غير مناسبٍ لحماية التيار الزائد ، إذ تتم الحماية في هذه الحالة باستخدام الحماية المسافية . ويوجد عدة أنواع من هذه الحمايات تستخدم بشكل أساسي لحماية خطوط التوتر العالي .

فإذا كانت ممانعة الجزء المراد حمايته (Z_L) فإن التيار المار خلال الجزء المراد حمايته إلى منطقة العطل يؤدي إلى توترٍ يساوي ($V = I.Z_L$) . فإذا قمنا بمقارنة التوتر مع التيار في الحماية المسافية ، وتعيير الحماية ، بحيث تعطي أمر الفصل عندما يكون ($V < I.Z$) . وعادةً فإن الحماية المسافية تقيس الممانعة ($\frac{V}{I} = Z$)، وتتناسب مع طول الخط (L). والحماية المسافية هي الحماية التي يكون فيها زمن العمل تابعاً إلى بُعد مكان تركيب الزاجل المسافي عن مكان العطل .

ويمكن أن نعبّر بشكل عام عن زمن العمل (t) للزاجل المسافي بالعلاقة الآتية :

$$t = F(Z)$$

حيث Z : القيمة التي ينسبها الزاجل المسافي في مكان العطل .

I : التيار المار فيها .

V : التوتر في تلك النقطة من الشبكة .

في الخطوط الهوائية تعطى $Z = F(L)$ ، حيث (Z) تتناسب مع المسافة (L) المحددة بين الزاجل ومكان العطل ، لذلك تسمى بالحماية المسافية .

توجد إمكانية لتعيير الحماية لتعطي أمر الفصل عندما يكون العطل ضمن المنطقة المحمية، ويُعد تأمين الانتقائية في الحماية المسافية أسهل مما هو عليه في حماية زيادة التيار.

٧-٢ مكونات الحماية المسافية ومبدأ عملها :

تتكون الحماية المسافية التي تدعى أحياناً بالحماية المقاومة (وتسمى كذلك بسبب تناسب الطول المحمي مع المقاومة)، حسب العلاقة :

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

مما يلي :

١- محول تيار، ٢- محول توتر، ٣- زاجل مسافي (حاكمة) والذي يحتوي على ملف تشغيل وملف مقاوم .

يعتمد تركيب الحماية المسافية على أسس كهروميكانيكية وكهرومغناطيسية ، ويوجد تطوير حديث على هذه الحمايات يعتمد على استخدام أجهزة أنصاف النواقل والترانزستورات والحماية الرقمية .

ولهذه الزواجل أنواع مختلفة منها :

زواجل الممانعة ، وزواجل المفاعلة ، وزواجل موه ، وزواجل المقاومة ، وزواجل مميزة رباعية الأضلاع ... إلخ .

- مبدأ عمل الحماية المسافية :

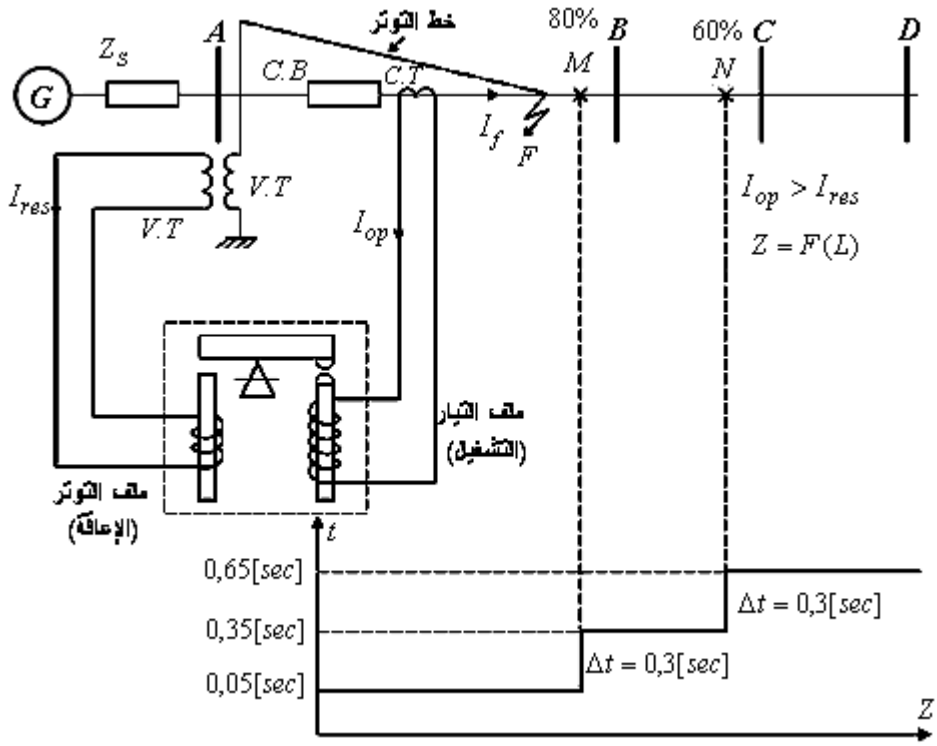
يعتمد مبدأ عمل الحماية المسافية على كميتي تشغيل ، إحداهما التوتر المأخوذ من محول التوتر والمسلط على ملف التوتر، والأخرى التيار الذي يغذي ملف التيار من محولة التيار.

يبين الشكل (٧-١) زاجل ممانعة بسيط كهرومغناطيسي من نوع الميزان المتوازن ، فعند حدوث عطل (F) على الخط (AB) يرتفع تيار العطل وينخفض الجهد عند موضع العطل إذ تيار العطل يساوي :

$$I_f = \frac{E}{Z_f + Z_S} \qquad (7.1)$$

حيث Z_f : ممانعة الخط من نظام الحماية إلى نقطة العمل .

Z_S : ممانعة المصدر (النظام).



الشكل (٧-١) زاجل مسافة من نوع الممانعة يعتمد على الميزان المتوازن

إن قيمة التوتر في مكان محولة التوتر يعتمد على المسافة بين مكان العطل ومحولة التوتر، فكلما كان مكان العطل أقرب ، كان التوتر أقل . وكلما كان العطل بعيداً يكون التوتر أكبر. وبفرض أن مقاومة العطل ثابتة ، فإن قيم V/I المقاسة جميعها في مكان الزاجل تعتمد على المسافة بين الزاجل والعطل ، وعلى ذلك سمي هذا النظام بالحماية المسافية .

وفي الشكل (٧-١)، وعند حدوث العطل في النقطة (F)، فإن ممانعة الخط Z_f في مكان العطل وحتى الزاجل تعرف بالمعادلة الآتية :

$$Z_f = \frac{V_f}{I_f} \Rightarrow V_f = I_f . Z_f = \frac{E . Z_f}{Z_f + Z_S} \qquad (7.2)$$

يقوم الزاجل المسافي بمقارنة قيمة التوتر V_f والتيار المار I_f ، ويسمى التيار الذي يدخل الزاجل من خلال محولة التيار بتيار التشغيل I_{op} ، ويسمى التيار الذي يدخل الزاجل المسافي من خلال محولة التوتر بتيار الإعاقة I_{res} ، ويعمل الزاجل عندما يكون تيار التشغيل أكبر من تيار الإعاقة (الكبح)، أي : $I_{op} > I_{res}$.

وكما هو معروف عند حدوث قصر في نقطة ما ، يصبح التوتر في تلك النقطة مساوياً للصفر تقريباً ، وبالوقت نفسه يزداد التيار بشكل كبير.

أما التوتر على محولة التوتر فيتحدد بناءً على بُعد نقطة العطل ويكون التوتر قليلاً، أي (I_{res} قليل جداً) عندما تقترب نقطة العطل من نظام الحماية ، ويصبح توتر محولة التوتر كبيراً أي (I_{res} كبير) عندما تقع نقطة العطل في مكان بعيد عن نظام الحماية . وتبعاً لذلك تحدد منطقة الحماية إذ نحسب المنطقة على أساس تساوي تيار التشغيل I_{op} مع تيار الإعاقة I_{res} عند نهاية المنطقة المحمية .

فلو فرضنا أن دارة الحماية تمثل الخط (AB) كما هو مبين في الشكل (٧-١)، فإن أي عطل داخل (AB) يؤدي إلى أنه يصبح تيار التشغيل أكبر من تيار الإعاقة، أي $I_{op} > I_{res}$ فتعمل دارة الحماية ، وكل عطل خارج (AB) يؤدي إلى أن يصبح تيار الإعاقة أكبر من تيار التشغيل ، أي $I_{op} < I_{res}$ ، وعندها لا تعمل دارة الحماية ، وبما أن محولة التوتر ومحولة التيار لها نسبة خطأ معينة فإن الدراسات الخاصة بتصميم دارة الحماية تحتوي على نسبة خطأ معينة ، ولهذا السبب ، ولتلافي هذا الخطأ في التصميم يجب أن تعيّر دارة الحماية بحيث تعمل بشكل فوري وسريع بحدود $(80-90)\%$ من المنطقة المحمية ، ويرمز لهذه المرحلة بالمرحلة الأولى .

أما المرحلة الثانية ، فيجب أن تعيّر لكي تؤمن الحماية لبقية الخط (AB) إضافة إلى جزء من الخط (BC) بحيث تغطي حوالي $(30-60)\%$ من الخط (BC). وتعمل المرحلة الثانية كالآتي :

في حالة حدوث عطل بين النقطتين (M , N) تدخل مقاومة إضافية على التوالي في دارة الإعاقة، وبذلك ينخفض تيار الإعاقة بحيث يصبح أقل من تيار التشغيل ، أي :

$$I_{op} > I_{res}$$

وبذلك يعمل نظام الحماية .

وهكذا بالنسبة إلى المراحل الأخرى : الثالثة والرابعة والخامسة . وأخيراً تُعد الحماية المسافية حماية أساسية دائمة .

٧-٣ زواجل المسافة من نوع الممانعة :

بمعرفة التيار I والتوتر V في مكان تطبيق الزاجل ، يمكن لهذا الزاجل أن يقيس ممانعة العطل من الزاجل ، وبما أن التيار I يولد عزم التشغيل ، والتوتر V يولد عزم إعاقة ، يمكن التعبير عن معادلة العزم كالآتي :

$$T = K_1.I^2 - K_2.V^2 - K_S \qquad (7.3)$$

حيث T : العزم المؤثر. K_1 : ثابت عزم التشغيل .

$K_1.I^2$: عزم التشغيل . K_2 : ثابت عزم الإعاقة .

$K_2.V^2$: عزم الإعاقة . K_S : ثابت تأثير نابض التحكم .

وعند نقطة العمل فإن $T = 0$ ، وتصبح المعادلة (7.3) بالشكل الآتي :

$$K_2.V^2 = K_1.I^2 - K_S$$

نقسم طرفي المعادلة على $K_2.I^2$:

$$\frac{V^2}{I^2} = \frac{K_1}{K_2} - \frac{K_S}{K_2.I^2}$$

$$Z^2 = \frac{K_1}{K_2} - \frac{K_S}{K_2.I^2}$$

حيث : $Z^2 = \frac{V^2}{I^2}$.

$$Z = \sqrt{\frac{K_1}{K_2} - \frac{K_S}{K_2.I^2}}$$

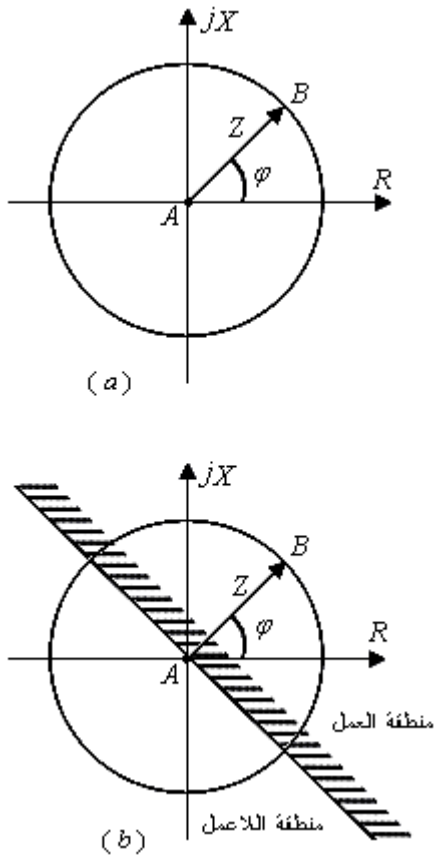
ومع إهمال تأثير النابض $K_S = 0$ ، يكون :

$$Z = \frac{V}{I} = \sqrt{\frac{K_1}{K_2}} = const \qquad (7.4)$$

ومن المعادلة (7.4) يمكن رسم مميزات التشغيل للزاجل المسافي على المحاور الإحداثية $R - jX$ ، والتي تبين أن النسبة بين V و I ثابتة وتعطي نصف قطر دائرة مركزها نقطة الأصل ، ويعمل الزاجل عندما تكون ممانعة الخط أقل من Z ، أي داخل الدائرة ، وإن Z تمثل

ممانعة المنطقة المحمية ، وعمل الزاجل لا يعتمد على قيمة الزاوية بين التوتر والتيار، ويُعد هذا الزاجل غير اتجاهي ، الشكل (٧-٢ a).

ومن الممكن استخدام وحدة اتجاهية مع زاجل الممانعة ، وفي هذه الحالة فإن منطقة تشغيل الزاجل ستمثل الجزء المظلل من الشكل (٧-٢ b).



الشكل (٧-٢)

ويمكن نسب الممانعة $Z = \frac{V}{I}$ إلى الطرف الثانوي Z_n وتحدد أكبر قسم يمكن حمايته من خط النقل Z_L ، إذ إن أية ممانعة أكبر من Z_n يكون العزم الناتج سالباً ، بينما أية ممانعة تقع ضمن الدائرة يكون العزم موجباً ويطلق الزاجل ويغلق تماساته معطياً إشارة إلى القاطع الآلي مبيناً حدوث عطل يبعد مسافة Z_f عن الزاجل وضمن منطقة الحماية .

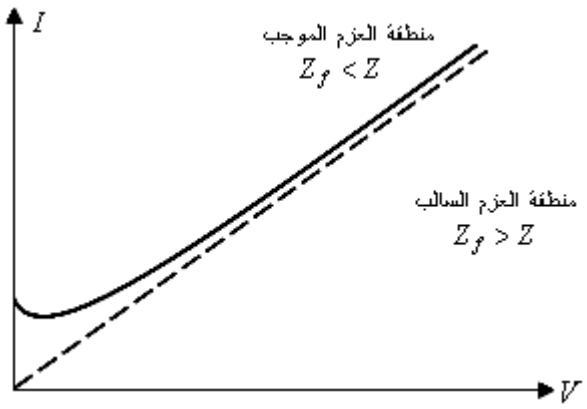
وتعطى Z_n بالعلاقة الآتية :

$$Z_n = Z_L \frac{c.t.R}{v.t.R} \qquad (7.5)$$

حيث $c.t.R$: نسبة تحويل محولة التيار.

$V.t.R$: نسبة تحويل محولة التوتر.

نستنتج مما سبق أن الزاجل المسافي يعمل إذا كانت النسبة $\frac{V}{I}$ أقل من قيمة معينة Z والتي تساوي $\sqrt{\frac{K_1}{K_2}}$ ، بينما إذا كانت Z أكبر من $\sqrt{\frac{K_1}{K_2}}$ فإن الزاجل لا يعمل ، وتبعاً لذلك إن مميزة العمل كتابع للتوتر والتيار موضحة في الشكل (٧-٣) مع تأثير النابض على المميزة بشكل بسيط عند القيم الصغيرة للتيار، ولكن الخط المنقط يُعد مميزة العمل الذي يوضح قيمة ثابتة للمعادلة Z حسب العلاقة (7.4) .



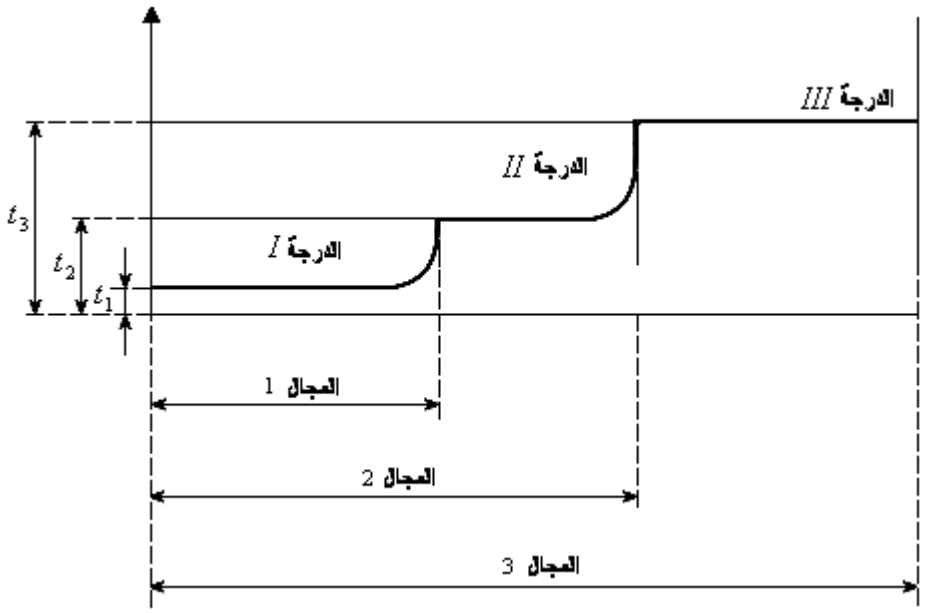
الشكل (٧-٣) مميزة العمل لزاجل الممانعة

وبالتالي ، فإن الزاجل المسافي يكون حساساً بالنسبة بين التوتر والتيار لمكان توضع نقطة العطل .

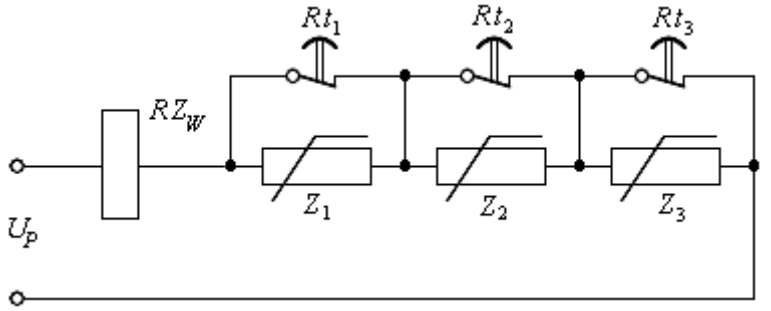
٧-٤ المميزات الزمنية للزواجل المسافية من نوع الممانعة :

يجب على الزواجل المسافية إعطاء أمر لفتح القاطع بعد مرور زمن تابع إلى القيمة المقيسة لممانعة دارة القصر. ويبين الشكل (٧-٤) المنحنيات النموذجية لزمن العمل للحماية

بالنسبة إلى قيمة الممانعة المقيسة التي تسمى بالمميزة المتدرجة، والمؤلفة من عدة قطع أفقية، والمسماة بالدرجات (I,II,III)، ويعرف مسقط هذه الدرجات على محور الممانعة بالمجالات تتألف هذه المميزة عادة من ثلاث درجات زمنية، والتي يوافقها ثلاثة مجالات وثلاثة أزمنة (t_1,t_2,t_3). ونستطيع الحصول على المميزة المبينة في الشكل (٧-٤) عن طريق التعامل المشترك بين عنصر القياس لذلك الزاجل مع العنصر الزمني الذي يقوم خلال فترات زمنية محددة بالوصل بطريقة قفزية للممانعات ، وذلك بالتسلسل مع الوشائع التوترية لعنصر القياس كما هو مبين في الشكل (٧-٥)، الذي يوضح دارة ربط العنصر الزمني مع عنصر القياس لزاجل المسافة من نوع الممانعة .



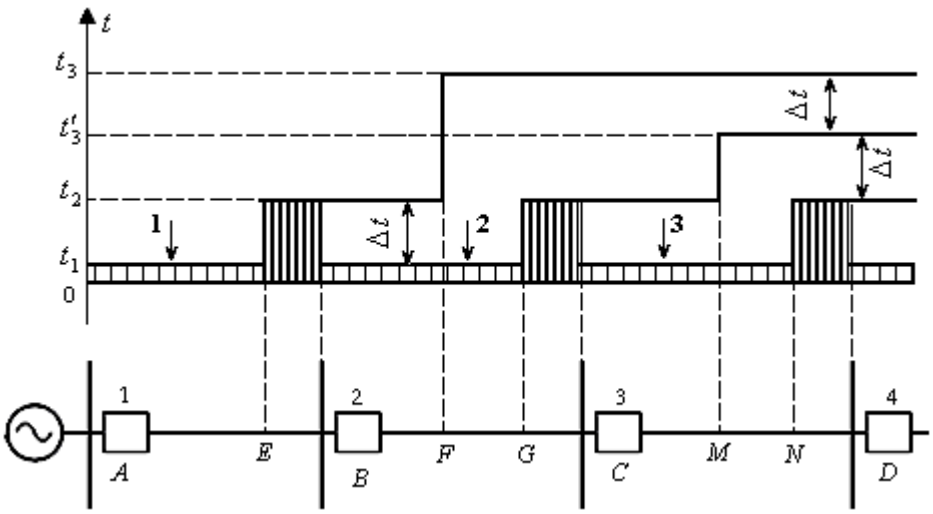
الشكل (٧-٤) المميزة الزمنية المتدرجة للزواجل المسافية



الشكل (٧-٥) دارة عنصر القياس لزاجل المسافة مع العنصر الزمني

ولإيضاح الفائدة من شكل المميزة الزمنية المتدرجة والمبينة في الشكل (٧-٤)، نقوم بدراسة وتحليل الخط الشعاعي المبين في الشكل (٧-٦) والمؤلف من عدة مناطق محمية بوساطة زواجل مسافية ذات مميزة متدرجة، تعمل هذه الزواجل المسافية على التحكم بالقواطع الواقعة على المخارج لمختلف محطات التوزيع ، ومن الشكل (٧-٦) يمكن ببساطة تحديد أزمنة عمل مختلف الزواجل المسافية في حالة حدوث دارة قصر في مختلف نقاط الشبكة ، ففي حالة حدوث دارة قصر في الشبكة تتحرض الزواجل المسافية كافة والتي يسري عبرها تيار القصر، إلا أنه يعمل فقط ذلك الزاجل المسافي الذي يقيس أصغر مسافة للقصر والذي سيكون زمن فصله أصغر من أزمنة الزواجل المتبقية كافة .

وبعد فصل دارة القصر يعود ما تبقى من الزواجل المسافية إلى الوضع الطبيعي ، ففي حالة فشل الزاجل المسافي الواقع بأقرب ما يمكن من نقطة القصر لأسباب ما، فإن الفصل سيقوم به أقرب زاجل من جهة المنبع المغذي وهو الزاجل الذي يشكل حماية احتياطية للقطعة التي حدثت فيها دارة القصر المذكورة ، ويبين الشكل (٧-٦) أزمنة عمل الزواجل الزمنية التي تشكل حماية أساسية والحمايات الاحتياطية مع التأخير الزمني لكلٍ منها .

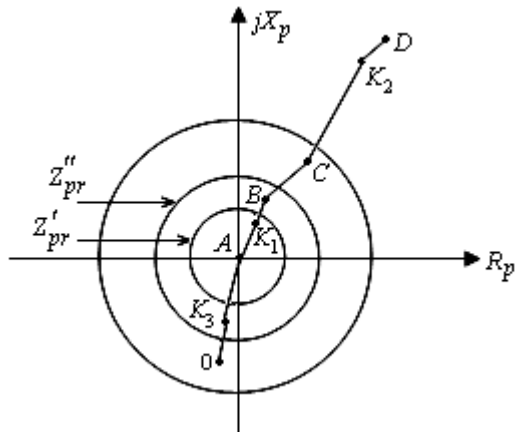


الشكل (٧-٦) مخطط تدرج أزمنة عمل الحمايات المسافية

في الشبكة الشعاعية

ويمكن تحديد عمل الزواجل المسافية المركبة في الشبكة الشعاعية المبينة في الشكل (٧-٦) بطريقة سهلة من خلال رسم الممانعات في المستوي العقدي $R - jX$ لمناطق الخطوط الشعاعية والمرئية كافة من خلال تلك الزواجل .

ويبين الشكل (٧-٧) مخطط الممانعة لمناطق الخطوط الشعاعية التي استخدمت فيها الحماية المسافية ، وقد تم وضع إحداثيات القطع AB, BC, CD اعتباراً من مركز مجموعة الإحداثيات وبطول مساوٍ للمقاييس المعتمدة لطول الممانعات لتلك القطع . كما تم رسم القطعة $0A$ في الربع الثالث والمساوية لممانعة الشبكة من جهة المنبع المغذي ، وبالتالي حصلنا على خط منكسر $0ABCD$ الذي يعبر عن عامل الشبكة .



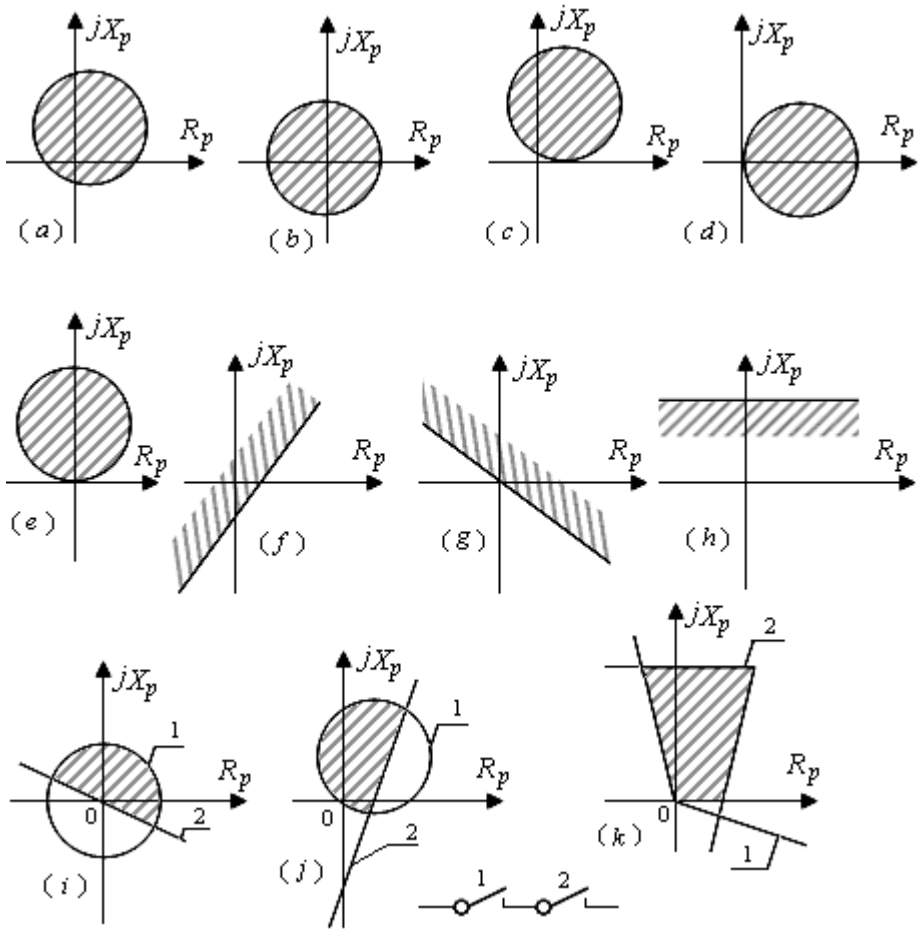
الشكل (٧-٧) مخطط الممانعة لقطع الخطوط الشعاعية
التي استخدمت فيها حماية مسافية

- مثال على ذلك :

إذا كان القصر يقع في أول منطقة (أي في النقطة K_1) فإن الزاجل سيعمل بزمن سريع ويقوم بفصل العطل بسرعة ، إذ يوافق أول درجة زمنية ، أما في حالة القصر في نقطة القصر K_2 الواقعة في الربع الأول فسيحدث عمل الزاجل A بعد مرور زمن موافق إلى الدرجة الزمنية الرابعة ، إذا لم تعمل قبله الزواجل الأخرى الواقعة بمسافات أقرب إلى نقطة القصر K_2 (مثلاً الزاجل C أو الزاجل B ، وهكذا ...).

٧-٥ أشكال وأنواع مميزات أجهزة الحماية المسافية :

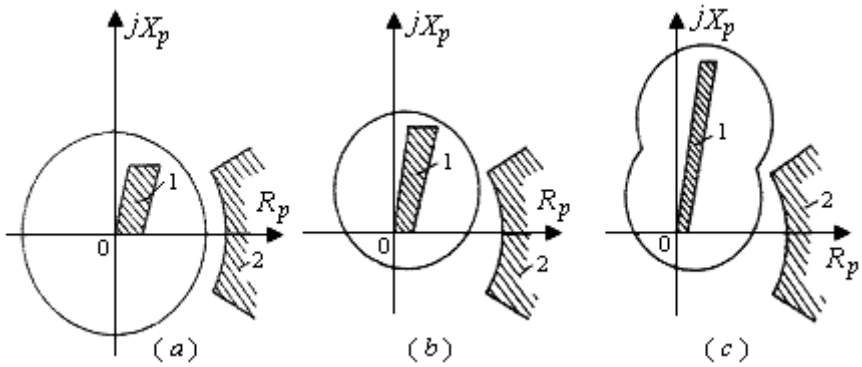
لقد أعطيت على الشكل (٧-٨) العديد من الخصائص والمميزات لزواجل الممانعة في مستوي الممانعة العقدي $R - jX$ بحيث تمت الإشارة إلى مجال عمل الزواجل بالقسم المهشر.



الشكل (٧-٨) مميزات زواجل الممانعة في المستوى العقدي

تتصف المميزات المبينة في الأشكال المارة من مركز الإحداثيات بالميزة الاتجاهية ، ولقد تم الحصول على هذه المميزات بوساطة المقارنات بالمطال ، وبالطور (الزاوية). أما المميزات الموضحة في الأشكال (i, j, k) من الشكل (٧-٨) فلقد تم الحصول عليها باستخدام زاجلي ممانعة وصلت تماساتها بالتسلسل ، إذ حصلنا على الأشكال (i, j) باستخدام زاجل يمتلك

المميزة الدائرية مع زاجل بمميزة خط مستقيم ، أما الشكل المبين في المخطط (k) فتم الحصول عليه باستخدام زاجلين يمتلك كل منهما مميزة على شكل مستقيمين منطلقين من نقطة مشتركة . ويبين الشكل (٧-٩) عدة نماذج من مميزات الإقلاع للعنصر الإقلاعي ، على المستوي العقدي $R - jX$ مبيناً عمل الزاجل مع مجال القصر ومجال التحميل .



الشكل (٧-٩) مميزات الإقلاع للعنصر الإقلاعي على المستوى العقدي $R - jX$

1- مجال القصر

2- مجال التحميل

٧-٦ مميزات ومساوئ الحماية المسافية :

آ- المميزات :

١- تتمتع هذه الحماية بانتقائية عالية للشبكات الكهربائية جميعها (شعاعية ، حلقية، مركبة).

٢- تأخير زمني بسيط .

٣-تؤمن استقرارية للشبكة الكهربائية إذ يتم فصل الأعطال بصورة بسيطة .

٤- حساسية عالية لتيارات القصر.

ب- المساوئ : أما مساوئ هذه الحماية فهي معقدة في التركيب ومكلفة الثمن .

٧-٧ مكونات الزاجل المسافي :

يتألف الزاجل المسافي من ستة عناصر هي :

١- **عنصر الإقلاع :** لهذا العنصر وظيفة هامة جداً إذ يقرر حدوث القصر في الشبكة ، مشيراً إلى نوع دارة القصر، وكذلك يمكن أن نختار من أنواع التوتر والتيار المتواجدة تحت تصرفه – الأكثر تلاؤماً – ثم يقدمه إلى عنصر القياس ، وكذلك إلى عنصر الاتجاه في حال تواجده ، هذا إضافة إلى أنه يقوم بإقلاع العنصر الزمني .

٢- **عنصر القياس :** يقوم هذا العنصر بقياس الممانعة المرئية من مرابط دخله .

٣- **العنصر الزمني :** مهمة هذا العنصر قياس القيمة الزمنية المحددة لعمل الزواجل تبعاً إلى نتيجة قياس الممانعة بوساطة عنصر القياس .

٤- **عنصر الاتجاه :** وهو الذي يمنع عمل الزاجل في حالة كان اتجاه استطاعة القصر إلى قضبان التجميع في محطة التوزيع .

٥- **عنصر الخرج الوسيط :** وهو الذي يقوم بإرسال الأمر من العنصر القياسي لفتح القاطع .

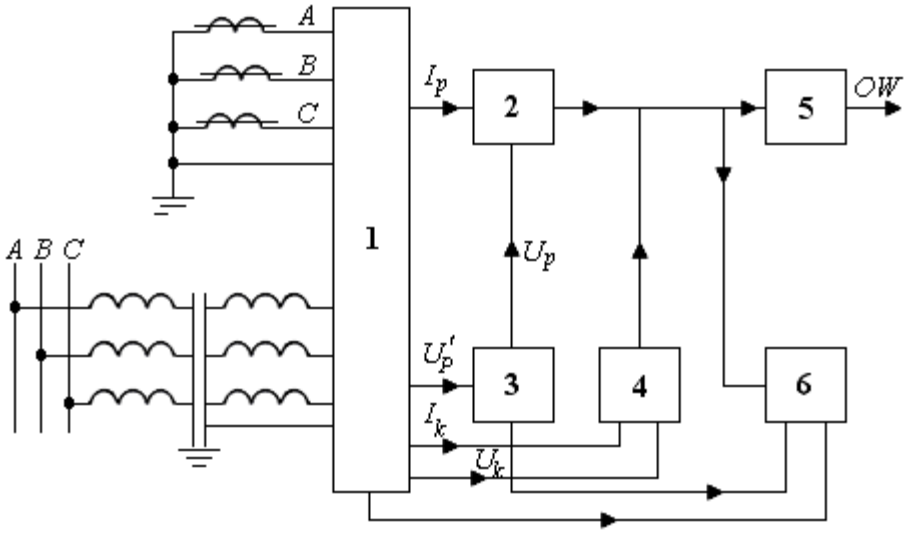
٦- **عنصر الإشارة :** وهو الذي يستخدم للتأشير بالطريقة المرئية عن عمل الزواجل مع ما أمر به الزاجل عن نوع القصر والزمن الذي استغرقه عمل الزاجل .

إضافة إلى عناصر الزاجل المسافي السابقة ، يمكن أن تكون مجهزةً بعنصر إضافي ، مثلاً: عنصر منع تأرجحي ، وعنصر للعمل المشترك مع تجهيزات اتصال التردد العالي ، وعنصر العمل المشترك مع مجموعة إعادة الإغلاق الذاتي (*SPZ*). ويبين الشكل (٧-١٠) الدارة المختصرة لعمل الحماية المسافية .

- مبدأ عمل الدارة :

عند حدوث دارة قصر في الشبكة يعمل أولاً عنصر الإقلاع (1) الذي يعطي عنصر القياس (2) التيارات المناسبة ، ويعطي عنصر الاتجاه (4) التوترات المناسبة ، وفي الوقت نفسه يقلع العنصر الزمني (3)، الذي يقوم مع مرور الزمن بالوصل القفزي لممانعات متزايدة على التسلسل مع الوشائع التوترية لعنصر القياس في الزاجل .

وعند عمل عنصر القياس سيرسل بوساطة عنصر الخرج (5) نبضة لفتح القاطع الذي تتحكم به ملامسات الزاجل الاتجاهي . أما عنصر الإشارة (6) فهو موجه من قبل عنصر الإقلاع (1)، والمساعد (2)، والزمني (3).



الشكل (٧-١٠) دارة العمل للحماية المسافية

٧-٨ زواجل الممانعة لحماية خطوط النقل :

يضبط زاجل الممانعة على قيمة تساوي ممانعة الخط Z ، وتكون مميزة الزاجل عبارة عن دائرة نصف قطرها Z ، ومحيطها هو المحل الهندسي لأبعد نقطة عن الخط ، ومركزها هو مبدأ الإحداثيات .

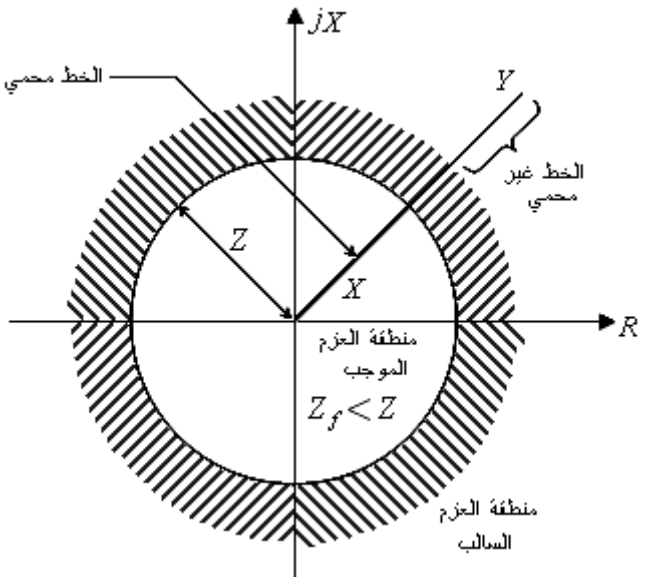
ومن عيوب هذه الزواجل :

١- إنه زاجل غير اتجاهي ، أي يكون مسؤولاً عن الأعطال على جانبي محور التيار والتوتر، وبالتالي لا يميز بين الأعطال على الخط (أي على يمين محولات التيار والتوتر والأعطال على يسار محولات التيار والتوتر)، ويعمل مادامت قيمة الممانعة أقل من قيمة تساوي Z .

٢- يتأثر الزاجل بمقاومة القوس الكهربائي .

٣- يتأثر الزاجل بتأرجح القدرة للشبكة الكهربائية .

ويبين الشكل (٧-١١) المحل الهندسي لزاجل الممانعة Z ، إذ يعمل هذا الزاجل عندما تكون ممانعة العطل $Z > Z_f$ فقط .



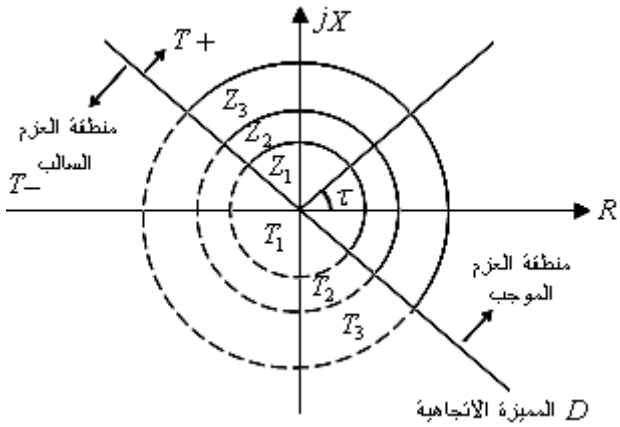
الشكل (٧-١١) المحل الهندسي لزواجل الممانعة Z

ولحماية خط النقل يستعمل زاجل ممانعة مسافية أحادي الطور مؤلف من وحدة اتجاهية أحادية الطور، وثلاث وحدات ممانعة (سريعة)، ووحدة زمنية مع زواجل مساعدة للإشارة وتماسات العمل . وتسمى وحدات الممانعة بـ Z_3 , Z_2 , Z_1 ، ومميزة العمل لهذه الوحدات تعيّر بشكل مستقل ، انظر الشكل (٧-١٢)، ومنه نلاحظ أن Z_1 تمثل الدائرة الصغرى ، و Z_3 تمثل الدائرة الكبرى ، وبينهما الدائرة Z_2 ، وإن أية قيمة للممانعة Z تقع ضمن الدائرة الصغرى Z_1 تسبب عمل وحدات الممانعة الثلاثة Z_3 , Z_2 , Z_1 .

ويسبب عمل Z_1 والزاجل الاتجاهي D عمل القاطع الآلي CB بشكل مباشر، وفصله بزمن محدد T_1 صغير جداً، وإن أية قيمة للممانعة Z تقع ضمن Z_2 وخارج Z_1 تؤدي إلى عمل القاطع الآلي CB ، وفصله بزمن T_2 يساوي $T_1 + \Delta T$.

وإن أية قيمة للممانعة Z تقع ضمن Z_3 وخارج Z_1 و Z_2 تؤدي إلى عمل القاطع الآلي CB وفصله بزمن T_3 والذي يساوي $T_2 + \Delta T$.

يبين الشكل (٧-١٢) العلاقة بين مميزة العمل للزاجل الاتجاهي D ، ومميزة العمل للزاجل المسافي على محاور $R - jX$ نفسها ، وبما أن الزاجل الاتجاهي لا يسمح للعمل إلا في مجال العزم الموجب ، يكون الجزء المنقط غير فعال من المميزة .



الشكل (٧-١٢) مميزة العمل لزواجل المسافة

من نوع الممانعة على المحاور $R-jX$

لدراسة مميزة العمل للزاجل الاتجاهي المبينة في الشكل (٧-١٢) الممثلة بخط مستقيم، وبعد إهمال تأثير النابض (عزم الكبح) فإن معادلة العزم للزاجل هي :

$$T = K_1.V.I.cos(Q-\tau) \qquad (7.6)$$

حيث V : التوتر المطبق على ملف التوتر للزاجل .

I : التيار المار بملف التيار للزاجل .

Q : الزاوية بين I و V .

τ : زاوية العزم الأعظمي .

وعندما $T = 0$:

$$K_1.V.I.cos(Q-\tau) = 0$$

وبالتالي فإن :

$$cos\,(Q-\tau) = 0 \quad ; \quad (Q-\tau) = 90^o$$

أي إن : $$Q = \tau + 90^o$$

الآن إذا أخذنا تأثير النابض فإن معادلة العزم للزاجل الاتجاهي تكون :

$$T = K_1.V.I.cos(Q-\tau) - K_2 \qquad (7.7)$$

عندما $T = 0$:

$$K_1.V.I.cos(Q-\tau)-K_2$$

نعوض :

$$I=\frac{V}{Z} \;\Rightarrow\; K_1\,\frac{V.V}{Z}\,cos\,(Q-\tau)-K_2$$

نقسم طرفي المعادلة على K_1 نحصل :

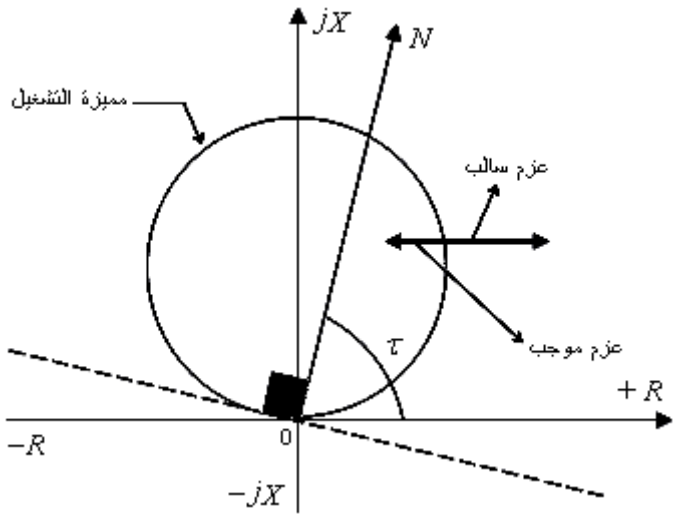
$$\frac{V^2}{Z}\;cos(Q-\tau)=\frac{K_2}{K_1}$$

ومنه فإن :

$$Z=\frac{K_1}{K_2}.V^2.cos\,(Q-\tau) \qquad (7.8)$$

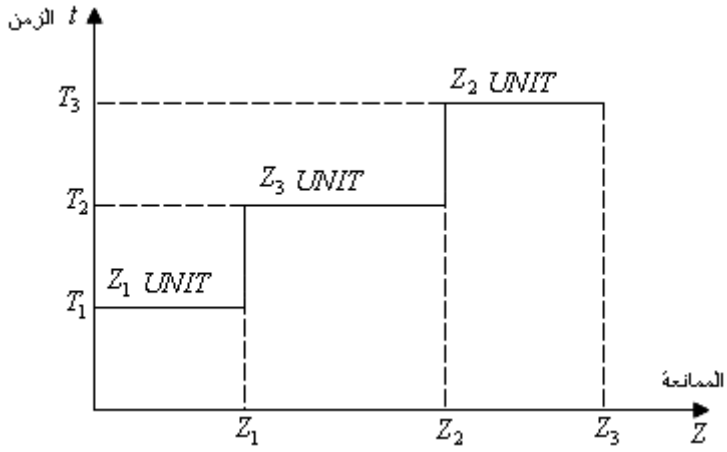
تعطي المعادلة (7.8) عدداً كبيراً من الدوائر، إذ تمثل كل دائرة قيمة معينة للتوتر ، ويوضح الشكل (٧-١٣) دائرة واحدة لقيمة محددة للتوتر بقيم τ نفسها .

وحسب الشكل (٧-١٣) يمكن إهمال بعض القيم لـ Q التي تعطي قيماً سالبة لـ Z ، مراكز هذه الدوائر تقع على الخط المستقيم من 0 إلى N بزاوية العزم الأعظمي τ ، وقطر كل دائرة منها يتناسب مع مربع التوتر V^2 .



الشكل (٧-١٣) مميزة الزاجل الاتجاهي من أجل قيمة واحدة للتوتر

ويوضح الشكل (٧-١٤) مميزة زمن التشغيل مع الممانعة والتي تدعى مميزة (الزمن – ممانعة)، إذ تستخدم هذه المميزة لحماية خطوط النقل .



الشكل (٧-١٤) مميزة زمن التشغيل مع الممانعة

٧-٩ زواجل المسافة من نوع المفاعلة :

مميزة هذه الزواجل عبارة عن خط مستقيم يوازي المحور R وعلى بُعد ثابت X ، وتكون X هي مفاعلة الخط من نقطة العطل حتى مكان تركيب الزاجل .

وتتكون وحدة قياس المفاعلة من جزأين هما :

- عنصر حماية ضد ازدياد التيار نحصل منه على عزم موجب .
- عنصر اتجاهي يقدم عزماً موجباً أو سالباً، وذلك حسب الزاوية بين التوتر والتيار.

تعطى معادلة عزم التشغيل بالعلاقة الآتية :

$$T = K_1.I^2 - K_2.V.I.\cos(Q-\tau) - K_S \qquad (7.9)$$

حيث V : التوتر المطبق على ملف التوتر.

I : التيار المار بملف التيار.

Q : الزاوية بين I و V .

T : زاوية العزم الأعظمي .

K_S : ثابت يمثل العزم الناتج عن مقاومة النابض .

وللحصول على أقصى عزم تكون فيه الزاوية $\tau = 90^o$ تكون معادلة العزم كالآتي :

$$T = K_1.I^2 - K_2.V.I.sin.Q - K_S \qquad (7.10)$$

وعند نقطة التوازن $T = 0$ نحصل على حالة بداية عمل الزاجل ، وتصبح المعادلة (7.10) على الشكل الآتي :

$$K_1.I^2 = K_2.V.I.sin.Q + K_S$$

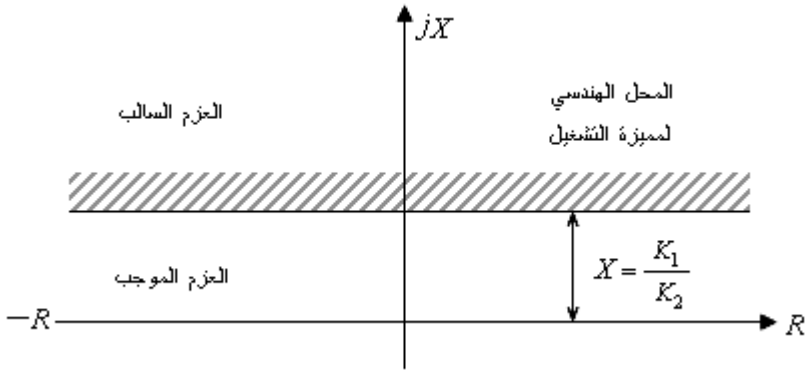
$$K_1 = K_2(\frac{V}{I}).sin.Q + (\frac{K_S}{I^2})$$

$$(\frac{V}{I}).sin.Q = Z.sin.Q = X = (\frac{K_1}{K_2}) - (\frac{K_S}{K_2.I^2}) \qquad (7.11)$$

إذا اعتبرنا $K_S = 0$ ، فإن :

$$X = \frac{K_1}{K_2} = cons \qquad (7.12)$$

ومنه نحصل على مميزة عمل زاجل المفاعلة على شكل خط مستقيم يوازي المحور R وتعطى مميزة عمل هذه الزواجل بالممانعات التي لها مركبة ثابتة لـ X . ويوضح الشكل (٧-١٥) مميزة العمل لزاجل المفاعلة ، ومنه نحصل على عزم تشغيل موجب للنقاط جميعها التي تقع أسفل المحل الهندسي لمميزة التشغيل للزاجل . وفي أية نقطة تقع تحت المميزة في القسم الموجب والسالب ، و R تكون في القسم الموجب للعزم ، أي إن الزاجل يعمل .



الشكل (٧-١٥) مميزة العمل لزاجل المفاعلة

٧-١٠ استخدام زواجل المفاعلة لحماية خطوط النقل :

تستخدم زواجل المفاعلة لحماية خطوط النقل ، ويدعى هذا النوع من الزواجل بزاجل اتجاهي بعزم مقاوم للتوتر. وفي هذه الحالة يخضع الزاجل لمعادلة عزم التشغيل الآتية :

$$T = K_1.V.I.\cos(Q-\tau) - K_2.V^2 - K_S \qquad (7.13)$$

حيث Q : زاوية أقصى عزم تشغيل .

K_S : ثابت يتعلق بالنابض .

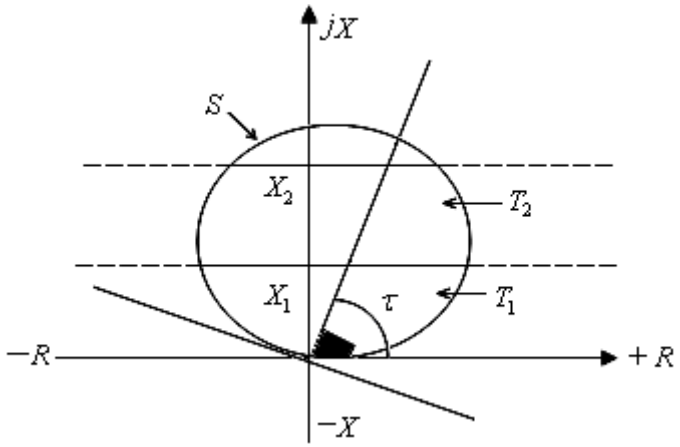
وتكون حالة بداية التشغيل مع إهمال K_S ، وعند $T = 0$ ، فإن المعادلة (7.13) تصبح على الشكل الآتي :

$$K_2.V^2 = K_1.V.I.\cos(Q-\tau)$$

نقسم طرفي المعادلة على $K_2.V.I$:

$$Z = (\frac{K_1}{K_2}).\cos(Q-\tau) \qquad (7.14)$$

تمثل المعادلة (7.14) حالة زاجل المفاعلة المقيد بتوتر إعاقة ، وهي تكافئ المعادلة (7.8) مع اختلاف عدم وجود V^2، وهذا يدل على أن الزاجل له مميزة واحدة فقط وهي دائرة قطرها مستقل عن التوتر أو التيار.



الشكل (٧-١٦) مميزات العمل لزاجل المسافة من نوع المفاعلة لحماية خط النقل

ويبين الشكل (٧-١٦) مميزة العمل لزاجل المسافة من نوع المفاعلة لحماية خط النقل والمؤلفة من وحدات مختلفة لزواجل المفاعلة X_1, X_2 التي تمثل المنطقة الأولى والثانية من الحماية ، والوحدة الاتجاهية S تمثل مهمتين : الأولى تمثل عنصراً اتجاهياً ، والثانية تمثل المرحلة الثالثة من قياس المسافة مع تميز اتجاهي .

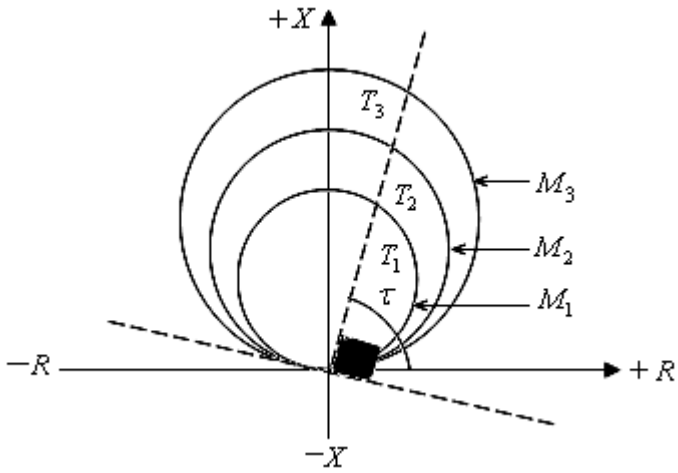
٧-١١ زواجل موه المسافية :

يستخدم هذا النوع لحماية خط النقل ، وتكون مميزة العمل عنصر بداية يطبق في زاجل المفاعلة المسافية . وزواجل موه لا تتطلب وحدة اتجاهية D ، لأنها من النوع الاتجاهي وتتطلب زواجل موه الآتي .

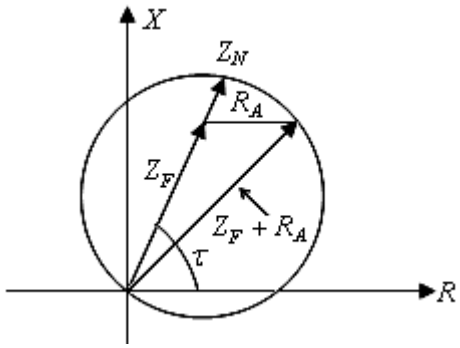
١- ثلاث وحدات موه (M_1, M_2, M_3) ، أحادية الطور لحماية خط النقل .

٢- ثلاث وحدات زمنية (T_1, T_2, T_3) .

ويبين الشكل (٧-١٧) مميزة العمل لثلاث وحدات أحادية الطور لحماية خط النقل . ويبين الشكل (٧-١٨) تأثير القوس الكهربائي على مميزة زواجل موه . وتكون الممانعة المطبقة على الزاجل $(R_F + R_A)$ ، حيث R_A : مقاومة القوس ، Z_F : الممانعة المطبقة على الزاجل في نقطة العطل F . وتكون $(Z_F + R_A)$ أقل من Z_N (ممانعة خط النقل المحمي) كما هو مبين في الشكل (٧-١٨). وعندما تكون ممانعة العطل أكبر من Z_N ، يظهر العطل خارج منطقة الحماية ، ولا يعمل الزاجل .



الشكل (٧-١٧) مميزات العمل لزواجل المسافة من نوع موه



الشكل (٧-١٨) تأثير مقاومة القوس على عمل زواجل موه

ويسبب عطل ثلاثي الطور القريب من زواجل موه الاتجاهية بعض المشاكل ، وذلك لأن التوتر سوف ينخفض إلى قيمة يكون العزم عندها غير كافٍ لتشغيل الزاجل ، ولحل هذه المشكلة نستخدم زواجل موه المعدلة من المركز بحيث تفصل أي عطل على أطراف خط النقل، وتدعى زواجل موه المعدلة .

٧-١٦ أمثلة محلولة :

مثال (١) : في المنظومة الكهربائية المبينة في الشكل (٧-٢٩)، تستخدم حمايات مسافية نوع الممانعة في A , B لحماية الشبكة ، **والمطلوب** :

آ- ارسم على محاور $(Z\,,t)$ مناطق الحماية حيث :

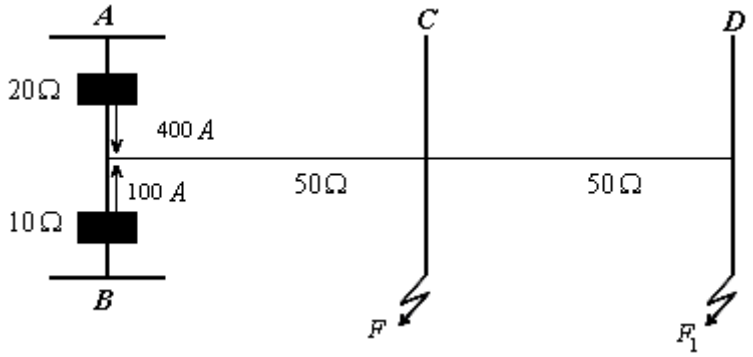
$$Z_1 = 80\,\%Z_{AB} \quad ; \quad Z_2 = 150\,\%Z_{AB} \; ; \; Z_3 = 350\,\%Z_{AB} \; ;$$
$$V.t = 110000\,/110 \quad ; \quad c.t = 500\,/\,5 \; ;$$
$$t_1 = 0{,}1\,[sec] \quad ; \quad t_2 = 0{,}5\,[sec]$$

ب- أوجد قيمة الممانعة المقيسة بالزاجل B للعطل F ، وهل يفصل الزاجل B العطل F قبل الزاجل A ؟ وهل يمكن قياس مكان العطل بوساطة الزاجل A ؟

ج- هل يمكن فصل العطل F_1 بوساطة الزاجلين A , B ، وكيف يتم ذلك ؟

د- ارسم محاور $(R - j\,X)$ مناطق الحماية للزاجلين A , B .

ملاحظة: افترض توزيع التيار نفسه في حالة العطلين $F - F_1$ كما هو مبين في الشكل .



الشكل (٧-٢٩)

الحل : آ-

$$Z_1 = 80\,\% Z_{AB} = 0{,}8 \times (20+10) = 24\ [\Omega]$$
$$Z_2 = 150\,\% Z_{AB} = 1{,}5 \times (30) = 45\ [\Omega]$$
$$Z_3 = 350\,\% Z_{AB} = 3{,}5 \times (30) = 105\ [\Omega]$$

بنسب هذه القيم إلى الطرف الثانوي :

$$Z_1' = Z_1 \frac{n_1}{n_V} = 24 \times \frac{100}{1000} = 2{,}4\ [\Omega]$$

$$Z_2' = Z_2 \frac{n_1}{n_V} = 45 \times \frac{100}{1000} = 4{,}5\ [\Omega]$$

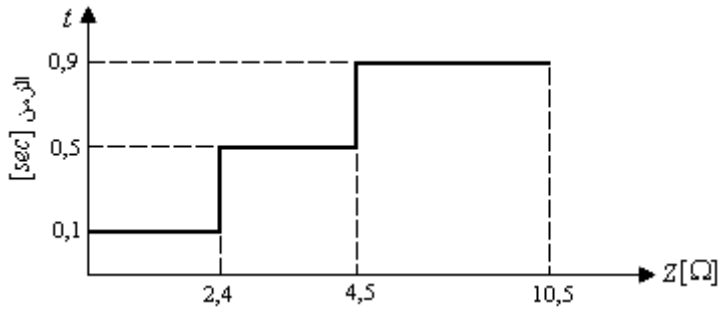
$$Z_3' = Z_3 \frac{n_1}{n_V} = 105 \times \frac{100}{1000} = 10{,}5\ [\Omega]$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 0{,}5 - 0{,}1 = 0{,}4\ [sec]$$
$$t_3 = t_2 + \Delta t = 0{,}5 + 0{,}4 = 0{,}9\ [sec]$$

نرسم محاور (Z, t) مناطق الحماية كما هو مبين في الشكل (٧-٣٠) .

ب- الممانعة المقيسة من الزاجل B عند العطل F :

$$Z_B = \frac{V_B}{I_B} = \frac{10 \times (100) + 500 \times (50)}{100} = \frac{26000}{100} = 260\ [\Omega]$$



الشكل (٧-٣٠)

الممانعة التي يراها الزاجل B :

$$Z'_B = 260 \times \frac{100}{1000} = 26 \ [\Omega]$$

$$Z_A = \frac{V_A}{I_A} = \frac{400 \times (20) + 500 \times (50)}{400} = 82{,}5 \ [\Omega]$$

الممانعة التي يراها الزاجل A :

$$Z'_A = 82{,}5 \times \frac{100}{1000} = 8{,}25 \ [\Omega]$$

نلاحظ أن Z'_B عند العطل F تقع خارج المنطقة الثالثة ، أما Z'_A فتقع ضمن المنطقة الثالثة وتقوم الحماية (A) بفصل العطل F بوساطة الدرجة الثالثة . أما الزاجلة B فلا تستطيع فصل العطل في هذه الحالة .

ج- عند العطل F_1 :

$$Z_{BF_1} = \frac{V_B}{I_B} = \frac{100 \times 10 + 500 \times 100}{100} = 510 \ [\Omega]$$

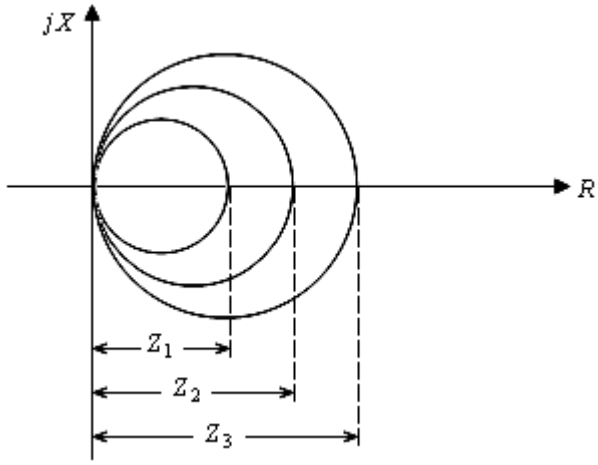
$$Z'_{BF_1} = 510 \times \frac{100}{1000} = 51 \ [\Omega]$$

$$Z_{AF_1} = \frac{V_A}{I_A} = \frac{400 \times 20 + 500 \times 100}{400} = 145 \ [\Omega]$$

$$Z'_{AF_1} = 145 \times \frac{100}{1000} = 14{,}5 \ [\Omega]$$

نلاحظ أن العطل F_1 لا يمكن فصله بوساطة الزاجلين A , B لأنهما يقعان خارج منطقة الحماية ، ولكي نتمكن من فصل العطل نقترح إضافة درجة رابعة لكل زاجل مسافي .

د- نرسم مناطق الحماية للزاجلين A , B على المحاور ($R - j\,X$)، كما هو مبين في الشكل (٧-٣١) .



الشكل (٧-٣١)