الفصل السادس

الزواجل الاتجاهية

٦-١ مقدمــة :

تستخدم الحمايات الاتجاهية في أنظمة القدرة والشبكات الكهربائية التي تتغذى من مصدرين ، أو في الشبكات الحلقية ، أو الخطوط ثنائية الدارة المتوازية والمغذاة من اتجاه واحد أو من اتجاهين معاً . وليس من الضروري استخدام هذه الحمايات في الشبكات الشعاعية المفردة والمغذاة من مصدر واحد .

ويعتمد مبدأ عمل الحماية الاتجاهية على الاستجابة لسريان التيار باتجاه واحد محدد ، ولا تستجيب لسريان التيار بالاتجاه المعاكس مهما كانت قيمته .

لا يتطلب من الحماية الاتجاهية أية دقة في قيمة التيار أو الاستطاعة (استطاعة القصر) بل على العكس ، إذ غالباً ما يتم التخلي عن ذلك الشرط لصالح تكبير الحساسية والموثوقية في العمل .

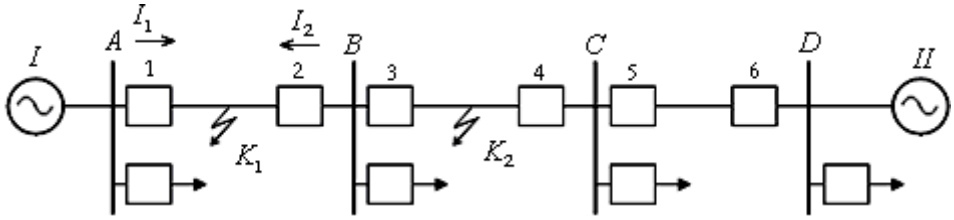
يستخدم في تقنية الحماية الزاجلية غالباً زواجل اتجاهية أحادية الطور، أي مجهزة من مجموعة قياس واحدة يدخل إليها التوترات والتيارات المختارة بشكل مناسب من المجموعات ثلاثية الطور.

يمكن أن يعتمد بناء الزواجل الاتجاهية على أسس متعددة ، فقد انتشر كثيراً استخدام الزواجل التحريضية ذات القلب رباعي الأقطاب والتي تعمل على بضعة مقارنات طورية مغذاة بالتوتر والتيار، كما يستخدم نوع آخر من الزواجل الاتجاهية تسمى الكهرومغناطيسية (الكهروديناميكية)، وأخيراً انتشر استخدام زواجل الحماية الاتجاهية الساكنة . وهناك عدة أنواع لهذه الزواجل ، فبعضها يعتمد على استخدام بللورات هول أو استخدام جسر توحيد . وفي زواجل الحماية الاتجاهية الساكنة يمكن استخدام مقارنات الزاوية أو مقارنات المطال ، مع مراعاة اختيار المداخل المناسبة .

٦-٢ مبدأ العمل ، والعناصر الأساسية للحماية الاتجاهية :

من غير الممكن ، في حالة الشبكات الشعاعية ذات التغذية من الطرفين ، وكذلك في الشبكات الحلقية والتي فيها منبع أو منبعين للتغذية ، تأمين انتقائية عن طريق استخدام الحماية الأعظمية للتيار ذات التعيير المتدرج للتأخير الزمني . إلا أنه يمكن أن تستخدم هذه للتعبير فقط في تلك الحالات التي لا يتغير فيها اتجاه استطاعة القصر في القطع كافة بالشبكة المحمية عند تغير مكان نقطة القصر، ويكون هذا الشرط عادة محققاً في الشبكات الشعاعية ، بينما لا يتحقق في الشبكات المغذاة من طرفين ، والتي يمكن فيها أن يتعرض اتجاه استطاعة القصر إلى التغيير تبعاً إلى مكان توضع القصر.

ويبين الشكل (٦-١) شبكة كهربائية ذات تغذية من طرفين I و II ، مزودة بحماية أعظمية للتيارات عند قواطع الخطوط . وسوف ندرس سلوك الحماية الأعظمية للتيار الموضوعة عند الخطوط الخارجية من محطة التحويل B في أثناء حدوث دارة قصر في النقطتين K_1 و K_2 .



الشكل (٦-١) خط مغذى من جهتين

لندرس الشبكة المبينة في الشكل (٦-١) :

- عند حدوث دارة قصر في النقطة K_1 يسري من المنبعين I و II تيارات دارة القصر I_1 و I_2 تؤدي إلى عمل الحمايات رقم (1) و(2) وفصل القطعة المعطلة AB مع تأمين استمرارية التغذية للمستهلكين عند قضبان التوزيع A و B ، ويجب ألاّ تعمل الحماية رقم (3) إذ عندها يؤدي عملها إلى انقطاع التغذية عن قضبان التوزيع B من المنبع II . وبغية منع الحماية (3) من العمل ، يجب أن تكون معيرة على زمن عمل أكبر من زمن عمل الحماية رقم (2)، أي يجب أن يكون محققاً الشرط الآتي :

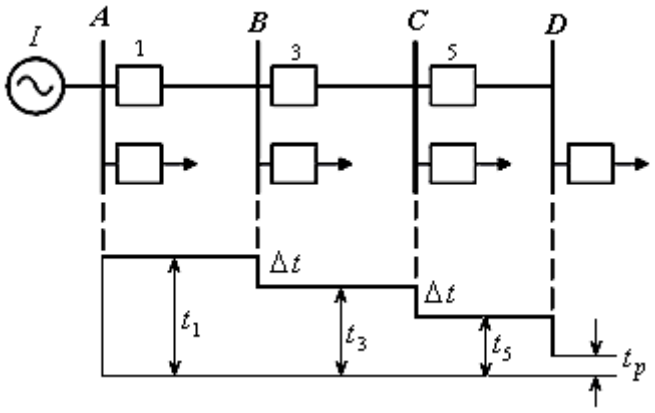
$$t_{op2} \langle t_{op3} \qquad (6.1)$$

– عند حدوث دارة قصر في النقطة K_2 يتم فصل الحمايات رقم (3) و(4) ولا ينصح بفصل الحماية رقم (2)، وبالتالي فإن زمن عمل الحماية رقم (2) يجب ن يكون أكبر من زمن عمل الحماية رقم (3)، أي تحقق الشرط الآتي :

$$t_{op2} \rangle t_{op3} \qquad (6.2)$$

ومن الواضح أنه لا يمكن تحقيق الشرطين في المعادلتين (1.1) و(1.2)، لأن كلاً منهما يناقض الآخر، ويمكن إزالة هذا التناقض عن طريق إضافة العنصر الاتجاهي إلى الحماية ذات التيار الأعظمي والتي تعتمد على مراقبة اتجاه استطاعة القصر. ويتم ذلك بتحليل الشبكة من منابع التغذية I و II مع تحديد أزمنة عمل الحمايات المركبة على بداية قضبان التوزيع ، مستخدمين قاعدة تدرج الأزمنة للحمايات من التيار الزائد (الأعظمي).

ويبين الشكل (٦–٢) تحليل الشبكة عند التغذية من المنبع I فقط ، مع تحديد الفواصل الزمنية للحمايات 5 , 3 , 1 .



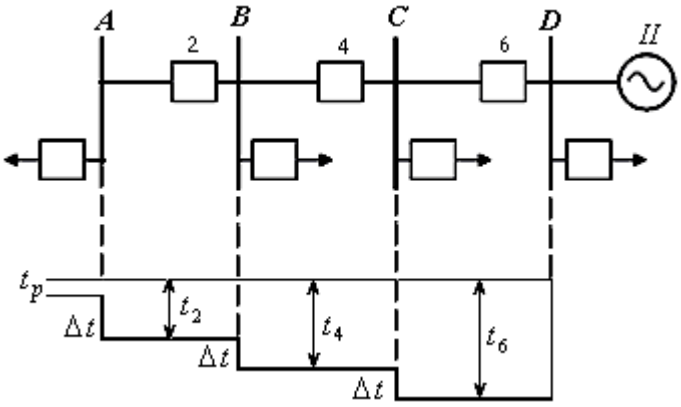
الشكل (٦–٢)

حيث :

t_p : زمن فصل القاطع عند قضيب التجميع D ، وهو صغير جداً .

أما في حالة التغذية من المنبع II فنقوم بتحليل الشبكة كما هو مبين في الشكل (٦–٣)، وتحديد الفواصل الزمنية للحمايات 6 , 4 , 2 .

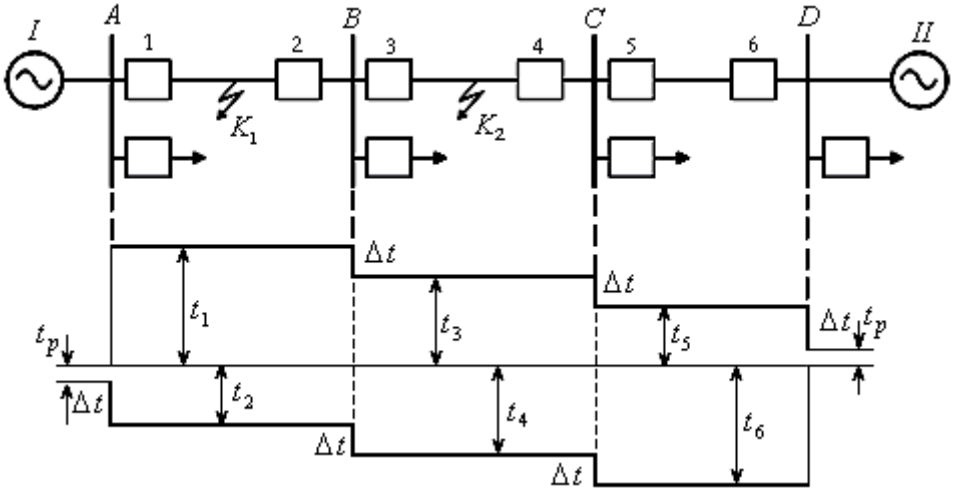
ويجب بعد ذلك تجميع الشبكة كما في الشكل (٦-٤)، بحيث يعمل كلا المنبعين في وقت واحد ، ومن ثم نختبر انتقائية عمل الحمايات في حالة توضع دارات القصر في عدة أماكن ، وبعدها نحدد الحمايات التي يجب تجهيزها بعنصر اتجاهي .



الشكل (٦-٣)

حيث :

t_p : زمن فصل القاطع عند قضيب التجميع A ، وهو صغير جداً .



الشكل (٦-٤)

نلاحظ من الشكل (٦-٤) أنه ليس من الضروري تجهيز الحمايات جميعها بعناصر اتجاهية ، وبالتالي ليس من الضروري استخدام عناصر اتجاهية للحمايات التي يكون زمن عملها

أكبر من زمن عمل أي من الحمايات في المحطة نفسها والمتفرعة عنها . ففي حالة الخط المغذى من مصدرين II و I كما هو مبين في الشكل (٦-٤)، يجب التجهيز بالعنصر الاتجاهي لإحدى الحمايتين (2) أو(3)، وإحدى الحمايتين (4) أو(5)، مع اختيار حمايات بتأخير زمني أصغر. وفي الحالة التي تحتوي فيها كلتا الحمايتين (2-3 أو 4-5) التأخير الزمني نفسه ، عندها يجب أن يجهز كل منها بعنصر اتجاهي .

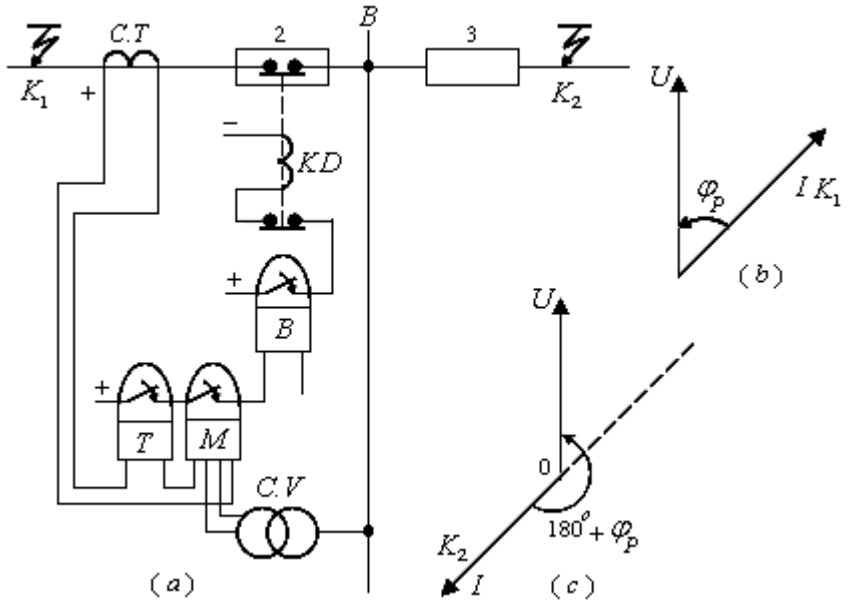
وباستخدام تعيير الحمايات وفقاً لقاعدة التعاكس للأزمنة المتدرجة ، وكذلك إكمال بعض الحمايات بعناصر اتجاهية ، يمكن أن نحصل على انتقائية عالية بفصل أي عطل في الشبكات المغذاة من مصدرين أو من عدة مصادر.

ويبين الشكل (٦-٥) مخطط الخط الواحد للحماية الاتجاهية والتي تحتوي على ثلاثة عناصر رئيسة وهي :

١- عنصر الإقلاع (زاجل تيار T).

٢- عنصر تحديد اتجاه الاستطاعة (زاجل لاستطاعة محددة بالاتجاه M).

٣- عنصر التأخير الزمني (زاجلة زمنية B).



الشكل (٦-٥)

ولقد انتشر استعمال زواجل الاستطاعة الاتجاهية بشكل واسع ، ومن الممكن كذلك تحديد عزم الدوران لهذا الزاجل حسب القانون الآتي :

$$T = K.u.I\cos(\varphi_P + d)$$

ومن الممكن أن تعمل الحماية المبينة في الشكل (٦-٥) فقط في الحالة التي تعمل فيها العناصر الثلاثة ويعمل زاجل الاستطاعة الاتجاهية في الحالة التي يكون فيها عزم الدوران إيجابياً، وتحدد إشارة عزم الدوران (T) في حالة القيم الإيجابية لـ (U و I) بحسب قيمة الزاوية ($\cos\varphi_P$)، أي تتعلق إشارة (T) بقيمة الزاوية (φ_P). وكما تتعلق قيمة (T) بالقيم (U و I) والزاوية بينها المطبقة على الزاجل .

وسوف نحلل سلوك الحماية المركبة عند القاطع (2) في أثناء حدوث دارة قصر في النقطتين (K_1 و K_2). ففي حالة دارة القصر في النقطة K_1 حيث اتجاه استطاعة دارة القصر في الحماية (2) من نواقل التغذية العامة باتجاه الخط ، سوف تكون الزاوية الكائنة بين التوتر والتيار المطبقين على زاجل الاستطاعة الاتجاهي ذات قيمة φ_P كما هو مبين في المخطط الشعاعي في الشكل (٦-٥ b). وإذا اعتبرنا في هذه الحماية أن (T) في الزاجل موجب ، فإن زاجل الاستطاعة الاتجاهي يمكنه أن يعمل ويغلق تماساته .

وفي حالة دارة القصر عند النقطة K_2 فإن استطاعة دارة القصر المارة عبر الحماية الموجودة في القاطع (2) سوف تتجه من الخط وباتجاه نواقل التغذية العامة ، أي سوف يتغير طور التيار بمقدار (180^o) ، الشكل (٦-٥ c)، وهذا يؤدي إلى تغير إشارة عزم الدوران ، وذلك لأن :

$$\cos(180^o + \varphi_P) = -\cos\varphi_P$$

وبهذه الصورة تعمل الحماية ذات الاتجاه المحدد فقط في الحالة التي تبلغ فيها قيمة التيار إلى الحد اللازم لتشغيل عنصر الإقلاع (الزاجلة T)، وعندها يكون تيار دارة القصر متجهاً من نواقل التغذية العامة باتجاه الخط .

مثال (١) : في الشبكة المبينة في الشكل (٦-٦)، حدث عطل في النقطة K_1 ، والمطلوب :

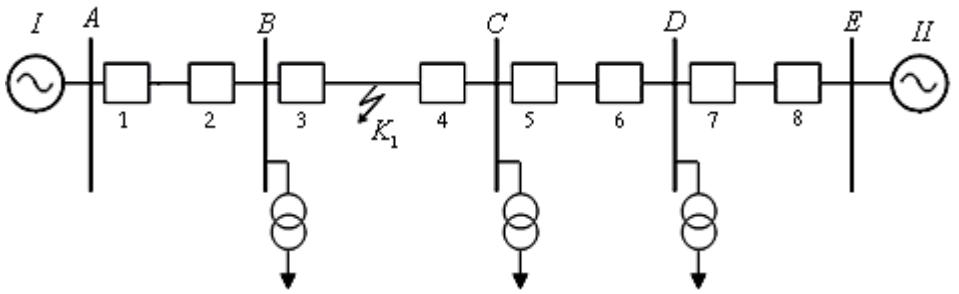
اذكر مع التوضيح بالرسم والشرح الزواجل التي يجب أن تعمل في الحالات الآتية :

١- عند استخدام مبدأ التدرج الزمني في زواجل التيار لحماية الخطوط .

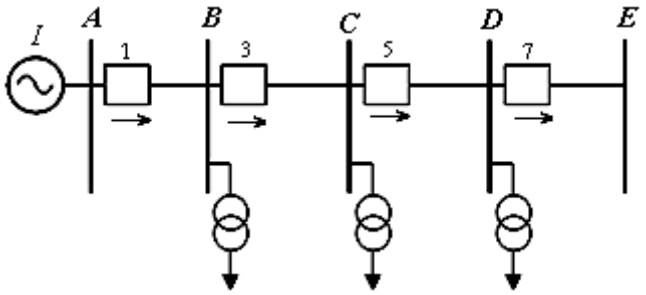
٢- عند استخدام زواجل زيادة التيار الاتجاهية .

الحل :

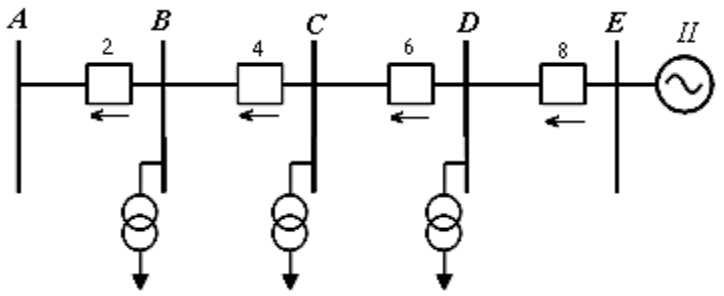
أولاً- نقوم بتحليل الشبكة المبينة في الشكل (٦-٦) إذ تصبح كما هي مبينة في الشكل (٦-٧) ، والشكل (٦-٨).



الشكل (٦-٦) شبكة كهربائية مغذاة من مصدرين



الشكل (٦-٧) الشبكة مغذاة من الطرف I فقط



الشكل (٦-٨) الشبكة مغذاة من الطرف II فقط

نحسب الفواصل الزمنية للحمايات المفردة من (1) حتى (7)، وبفرض أن الزاجل رقم (7) سريع يمكن احتساب التأخير الزمني له صفراً $t_7 = 0$ ، وباستخدام الخطوة الزمنية $\Delta t = 0{,}5[sec]$ نجد :

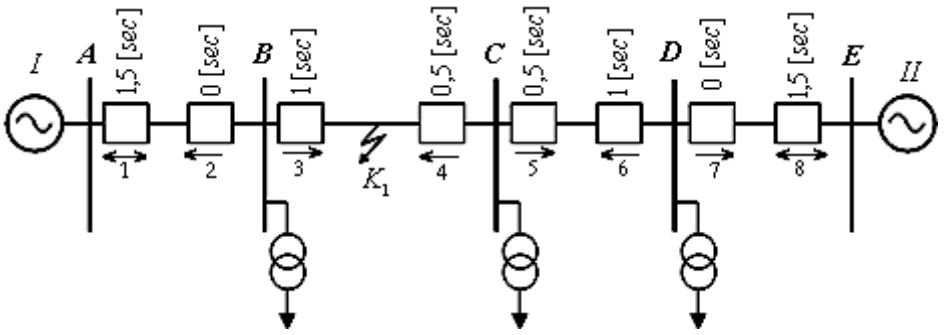
$$t_1 = t_3 + \Delta t = 1 + 0{,}5 = 1{,}5\ [sec]\ ;$$
$$t_3 = t_5 + \Delta t = 0{,}5 + 0{,}5 = 1\ [sec]\ ;$$
$$t_5 = t_7 + \Delta t = 0 + 0{,}5 = 0{,}5\ [sec]$$

نحسب الفواصل الزمنية للحمايات المزدوجة من (2) حتى (8)، وبشكل مشابه للحالة السابقة، وبفرض أن الزاجل رقم (2) سريع يمكن احتساب التأخير الزمني له صفراً ، أي :

$t_2 = 0\ [sec]$ ، وبالتالي فإن :

$$t_4 = t_2 + \Delta t = 0 + 0{,}5 = 0{,}5\ [sec]\ ;$$
$$t_6 = t_4 + \Delta t = 0{,}5 + 0{,}5 = 1\ [sec]\ ;$$
$$t_8 = t_6 + \Delta t = 1 + 0{,}5 = 1{,}5\ [sec]$$

ثانياً– نجمع الشبكة ونضع الفواصل الزمنية عليها كما هو مبين في الشكل (٦–٩) .



الشكل (٦–٩) الشكل النهائي للشبكة

ثالثاً– ندرس الحالات الآتية .

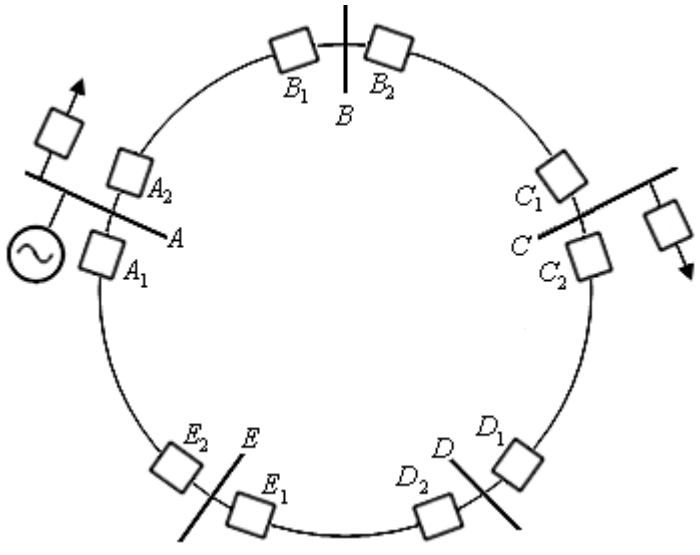
١– عند حدوث عطل في النقطة K_1 ، فإن الزواجل على يسار القضيب B ، وعلى يمين القضيب D ، تفصل قواطعها بشكل آني ، وبالتالي تعزل منطقة العمل وتصبح الأحمال المغذاة من القضبان B, C, D خارج الخدمة ، ومنه نلاحظ أن استخدام مبدأ التدرج الزمني في زواجل زيادة التيار لحماية الخطوط المغذاة من الطرفين لم يؤدِ الغاية المطلوبة ، وتظهر ضرورة استخدام زواجل زيادة التيار الاتجاهية والتي تأخذ بالاعتبار اتجاه التيار عند الفصل .

٢- يوضح الشكل (٦-٩) استخدام زواجل زيادة التيار الاتجاهية مع التعيير الزمني لكل منها، إذ تشير الأسهم جانب كل زاجل إلى اتجاه الفصل . ويلاحظ عدم الحاجة لاستخدام الزواجل الاتجاهية عند مصادر التغذية. وعند حدوث العطل في النقطة K_1 فإن الزاجل المركب على يمين القضيب B يفصل بعد زمن قدره $1[sec]$ ، والزاجل المركب على يسار C يفصل بعد زمن قدره $0,5[sec]$ ، وتصبح المنطقة بين القاطعين المفصولين معزولة عن التغذية الكهربائية مع الحفاظ على باقي المناطق السليمة في الخدمة .

والزاجل على يسار B والمعير على $0[sec]$ لا يفصل بالرغم من صغر زمن فصله، لأن اتجاه تيار فصله يكون باتجاهٍ معاكسٍ للزاجل المركب على يمين B ، وهذا الكلام ينطبق على باقي الزواجل .

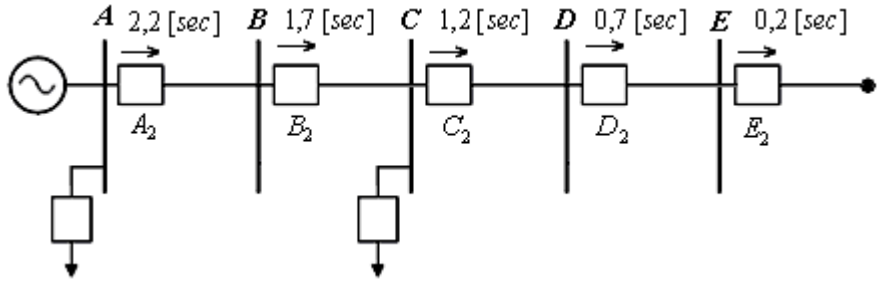
٦-٣ حماية الخطوط الحلقية المغذاة من مصدر واحد :

يبين الشكل (٦-١٠) شبكة كهربائية حلقية مغذاة من مصدر واحد ، ويمكن حمايتها باستخدام زواجل التيار الزائد مع العناصر الاتجاهية . إن الصفة المميزة لهذه المجموعات هي وجود منبع واحد فقط مغذٍ لشبكة حلقية واحدة أو أكثر، إلا أن هذه الحلقات الشبكية تكون مغذاة جميعها مباشرة من ذلك المنبع .



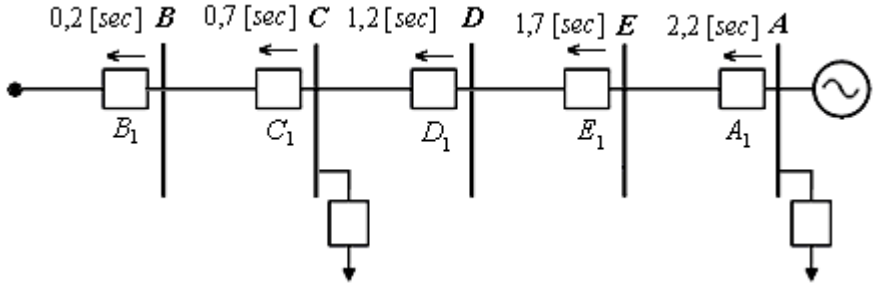
الشكل (٦-١٠) حماية شبكة تغذية حلقية

ومن أجل تحديد أزمنة عمل الحمايات في الحلقة الشبكية ، يجب فتح تلك الحلقة في النقطة A_1 و A_2 ، ومن ثم نحدد للخطوط الشعاعية التي نحصل عليها بهذه الطريقة تدرج الأمهال الزمني لعمل الحمايات (A_2 , B_2 , C_2 , D_2 , E_2)، كما هو موضح في الشكل (٦-١١) الذي يبين مركبة التغذية الشعاعية من اليسار إلى اليمين بعد فرض أن التأخير الزمني $t_{E_2} = 0,2\ [sec]$ ، والخطوة الانتقائية $\Delta t = 0,5\ [sec]$.



الشكل (٦-١١) مركبة التغذية الشعاعية من اليسار إلى اليمين

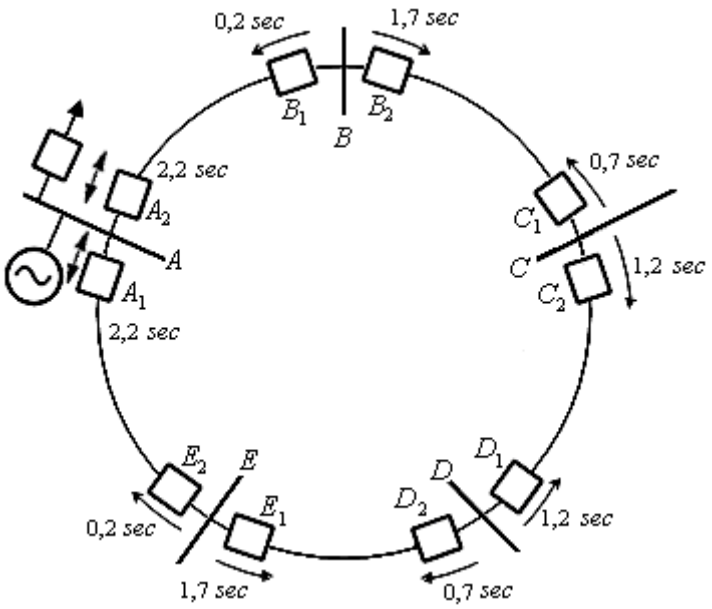
أما الشكل (٦-١٢) فيبين الخط الشعاعي الذي يمثل تدرج الأمهال الزمني لعمل الحمايات (B_1 , C_1 , D_1 , E_1 , A_1) من اليمين إلى اليسار بعد فرض أن $t_{B_1} = 0,2\ [sec]$ ، والخطوة الانتقائية $\Delta t = 0,5\ [sec]$.



الشكل (٦-١٢) مركبة التغذية الشعاعية من اليمين إلى اليسار

نلاحظ من الشكلين (٦-١١) و(٦-١٢) الفواصل الزمنية لأجهزة الحماية ، إذ تشير الأسهم المتوضعة على جانب عمل الزاجل إلى اتجاه الفصل .

ويبين الشكل (٦-١٣) تجميع الشكلين (٦-١١) و(٦-١٢)، ومنه نلاحظ عند المنبع A أن الاستطاعة تسري باتجاه واحد (من المحطة)، لذا لا حاجة لاستخدام زواجل اتجاهية عند A_1 , A_2 ، أما في الزواجل المستخدمة في النقاط الأخرى من الشبكة فيركب في كل محطة زاجلان لهما اتجاهان متعاكسان ، ويمكن أن يكون لكل منهما تأخير زمني مختلف .



الشكل (٦-١٣) خطة التدرج لشبكة خلفية مغذاة من مصدر واحد

الشكل (٦-٢٠)

٦-١٠ الزواجل الاتجاهية المتناوبة :

شرحنا سابقاً مبدأ عمل ومميزة الزواجل الاتجاهية التحريضية المتناوبة ، وذلك عن طريق تحديد اتجاه سريان التيار في الشبكة الكهربائية . بقياس قيمة الزاوية بين التيار I وبين قيمة مرجعية أخرى وليكن التوتر V . وتتم هذه المقارنة عن طريق اختبار قيمة المرجع وزاوية العزم الأعظمي τ .

٦-١٠-١ زواجل الاستطاعة الاتجاهية :

تعمل هذه الزواجل من خلال مراقبة سريان الاستطاعة ، وتختلف عن الحماية من الدارات القصيرة . توصل هذه الزواجل بحيث يكون توتر الشبكة هو المرجع ، والتيار يشكل مميزة الزاجل عند العزم الأعظمي من أجل حمولة لها عامل استطاعة يساوي الواحد . وفي هذه

الحالة يستطيع الزاجل أن يعمل من أجل سريان الاستطاعة في اتجاه واحد فقط ، ولا يعمل في الاتجاه المعاكس لسريان الاستطاعة .

يحتوي زاجل الاستطاعة الاتجاهي على ملف تيار، وملف توتر، ويعتمد تشغيله على عزم الدوران ، فإذا كان موجباً تغلق نقاط التلامس ونحصل على إشارة خرج ، وإذا كان عزم الدوران سالباً لا يمكن الحصول على إشارة خرج ، ولا يعمل الزاجل .

في المنظومة الثلاثية الطور المتوازنة يستعمل زاجل واحد فقط لحمايتها ، بشرط أن يكون توتر المرجع متفقاً بالزاوية مع التيار لأي طور من الأطوار الثلاثة للحمولة بعامل استطاعة يساوي الواحد ، أي $cos\,\varphi = 1$.

أما إذا كانت الحمولة غير متوازنة للمنظومة ثلاثية الطور، فإن زاجل واحد أحادي الطور يكون غير كافٍ . ولا بد من استخدام زاجل واحد ثلاثي الطور، أو ثلاثة زواجل أحادية الطور، بحيث يجمع عزم كل زاجل ويطبق على تماسات واحدة .

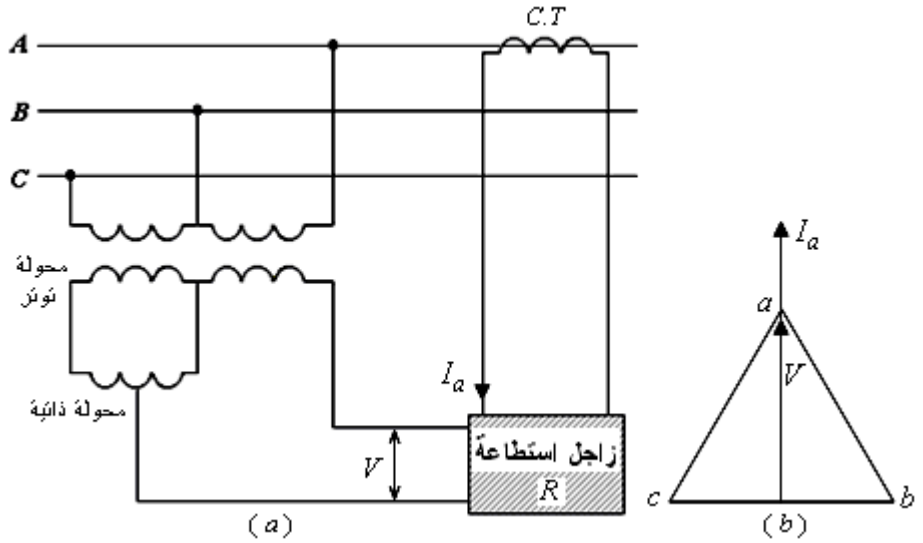
ولهذه الزواجل مميزات تأخير زمني لمنع تشغيلها خلال انعكاس الاستطاعة عند الدارات القصيرة ، أو خلال الحالات العابرة السريعة .

ويبين الشكل (٦-٢٧) توصيلات زاجل الاستطاعة مع المخطط الشعاعي ، ومن الشكل نلاحظ أن توتر المرجع V متفق مع تيار الطور I_a .

٦-١٠-٢ زاجل الحماية ضد زيادة التيار الاتجاهي :

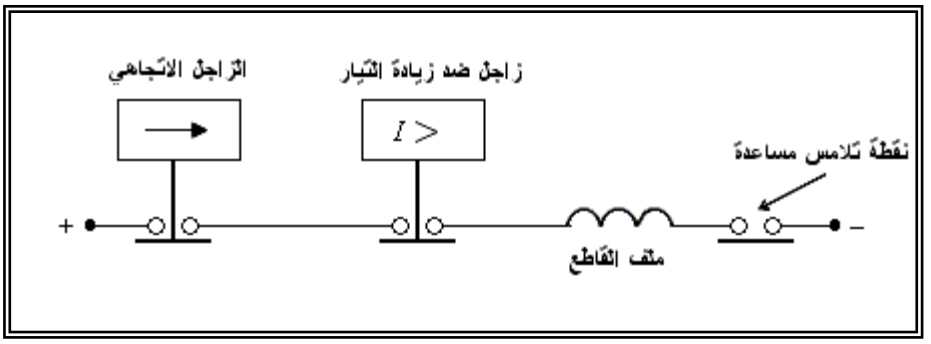
يتكون هذا الزاجل من عنصر حماية ضد التيار، وعنصر حماية اتجاهي ، ويتم توصيل نقطتي التلامس لهما على التسلسل ، وذلك من أجل تشغيل ملف القاطع . ويبين الشكل (٦-٢٨) دارة زاجل الحماية ضد زيادة التيار الاتجاهي . ويكون عنصر الحماية الاتجاهية عبارة عن زاجل استطاعة اتجاهية ، أما عنصر الحماية ضد زيادة التيار فهو عبارة عن زاجل زيادة شدة التيار مزود بعنصر التأخير الزمني . ويعمل عنصر زيادة التيار بعد عمل عنصر الحماية الاتجاهية .

وبمعنى آخر، يجب أن يحدث أولاً انعكاس اتجاه حتى يعمل العنصر الاتجاهي ، ثم بعد ذلك يستكمل مسار التيار في عنصر زيادة التيار.



الشكل (٦-٢٧) : a- توصيلات زاجل الاستطاعة

b- المخطط الشعاعي

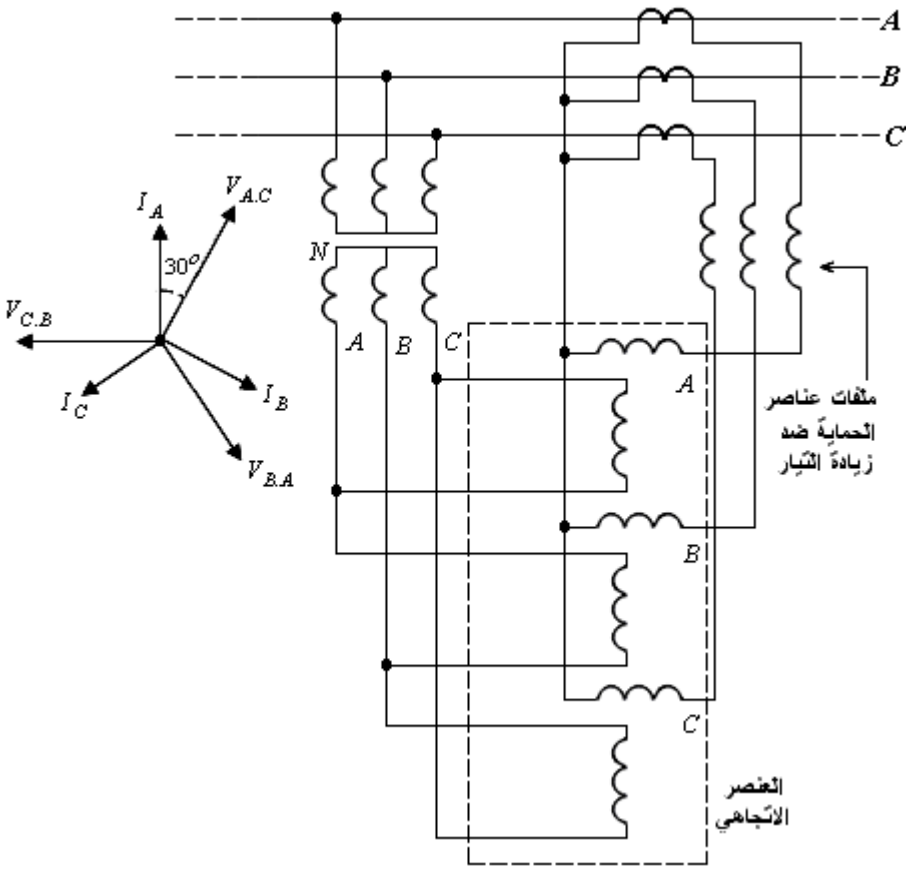


الشكل (٦-٢٨) دارة زاجل الحماية ضد زيادة التيار الاتجاهي

٦-١٠-٣ الزواجل الاتجاهية للحماية من دارات القصر :

تتألف دارة الحماية هذه من ثلاثة زواجل اتجاهية ، زاجل واحد لكل طور، موصلة بطرفين هما التوصيلة 90^o ، والتوصيلة 30^o ، ويلاحظ في التوصيلة 90^o احتواء ملف التوتر على المقاومة R التعويضية وذلك للحصول على فيض ملف التوتر متقدماً بزاوية 45^o .

ويبين الشكل (٦-٢٩) التوصيلات للمنظومة الثلاثية الطور مع الزواجل A,B,C ، مع المخطط الشعاعي للتيارات والتوترات لتوصيلة الزاجل 30^o .



الشكل (٦-٢٩) طريقة توصيل زاجل الحماية ضد زيادة التيار الاتجاهي

(التوصيلة 30^o)

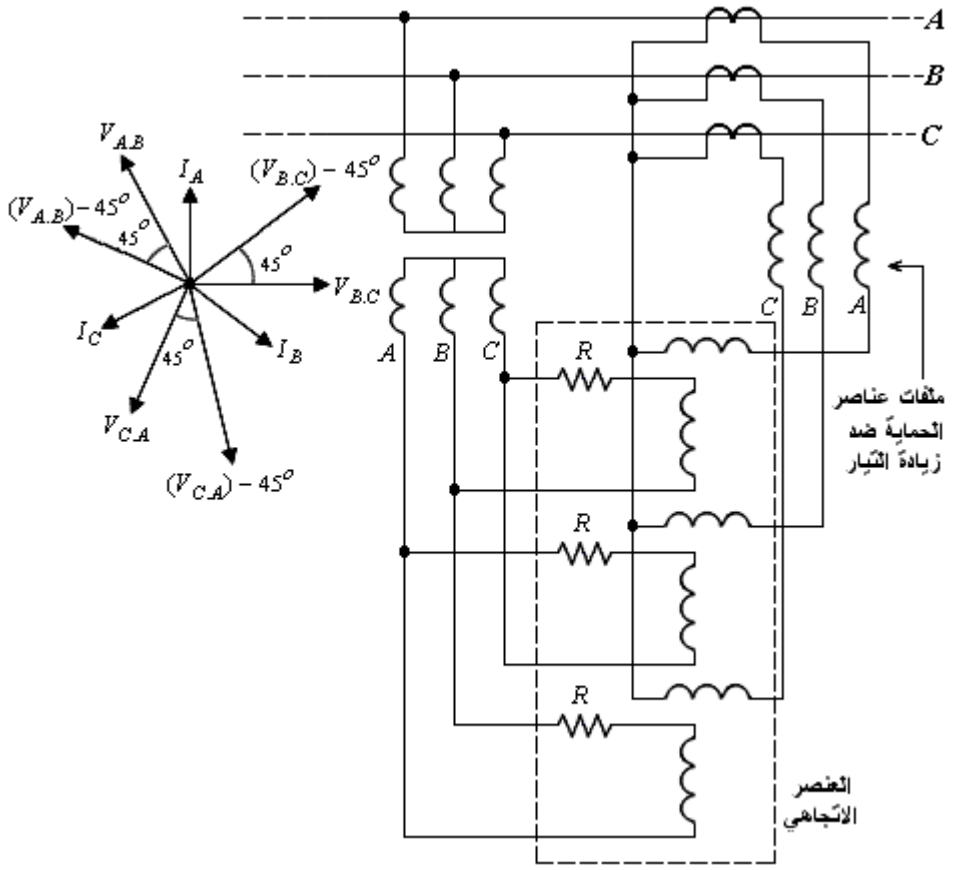
مع المخطط الشعاعي للتيارات والتوترات

وتعمل هذه الزواجل بعزمٍ غير كافٍ ، لأن التوتر المغذي صغير، وذلك عند العطل القريب من الزاجل ، أو عامل استطاعة صغير حسب شروط العطل .

وللتأكد من وجود عزم كاف ودائم ، يزود كل زاجل بتيار من الطور الموافق ، والتوتر بين طورين ، ونحصل على العزم الأعظمي عندما يكون الفرق بالصفحة بين التيار المطبق والتوتر مساوياً إلى الصفر. ويوصل الزاجل كما هو مبين في الشكل (٦-٢٩) بحيث يغذي زاجل الطور A بالتيار I_A والتوتر V_{AC}، بينما يغذى زاجل الطور B بالتيار I_B والتوتر V_{BC}، أما زاجل الطور C فيغذى I_C والتوتر V_{CB} . وبما أن الزاجل غير معدل من أجل زاوية الطور، فإن العزم الأعظمي يحدث عندما يكون $cos\,\varphi = 0{,}866$.

ولتقديم عمل جيد مع عزم أكبر للزاجل ، يمكن استبدال التوصيلة 30^o بالتوصيلة 90^o بحيث يكون العزم الأعظمي عندما يتقدم التيار عن التوتر بزاوية 45^o . فمن أجل ذلك يتم توصيل الزاجل للطور A بالتيار I_A والتوتر V_{BC} ، بينما يغذى زاجل الطور B بالتيار I_B والتوتر V_{AC}، أما زاجل الطور C فيتغذى بالتيار I_C والتوتر V_{BA}. ويبين الشكل (٦-٣٠) هذه التوصيلات مع المخطط الشعاعي للتيارات والتوترات . وبهذه التوصيلات ، ومهما كان نوع العطل (أرضي – أو بين الأطوار) فإن الزاوية التي تقع بين التيار والتوتر من طرف الزاجل سوف تكون أصغر من 90^o .

إن هذه التوصيلة تحافظ على توتر المرجع لأنواع الأعطال كافة ما عدا العطل الثلاثي الطور القريب من الزاجل ، لأن التوتر يكون شبه معدوم . كما أن العزم المطبق على هذا الزاجل بالنسبة للأعطال الأرضية يكون أفضل من التوصيلة 30^o ، والسبب عدم انخفاض قيمة التوتر المطبق على كل زاجل . ويمكن القول : إن التوصيلة 90^o تكون أفضل من التوصيلة 30^o للأعطال الثلاثية الطور بسبب عامل الاستطاعة الذي يكون أقرب إلى $cos\,\varphi = 0{,}707$ متأخر، ويستخدم هذا الزاجل مع زواجل زيادة التيار لحماية خطوط النقل . وبالنسبة للأعطال الأرضية يضاف زاجل أحادي الطور مع الاعتماد على العلاقة بين التيار والتوتر، والتي تؤثر على عمل الزاجل ، والتي تتأثر فقط بالأعطال الأرضية .



الشكل (٦-٣٠) طريقة توصيل زاجل الحماية ضد زيادة التيار الاتجاهي
(التوصيلة 90^o) مع المخطط الشعاعي للتيارات والتوترات

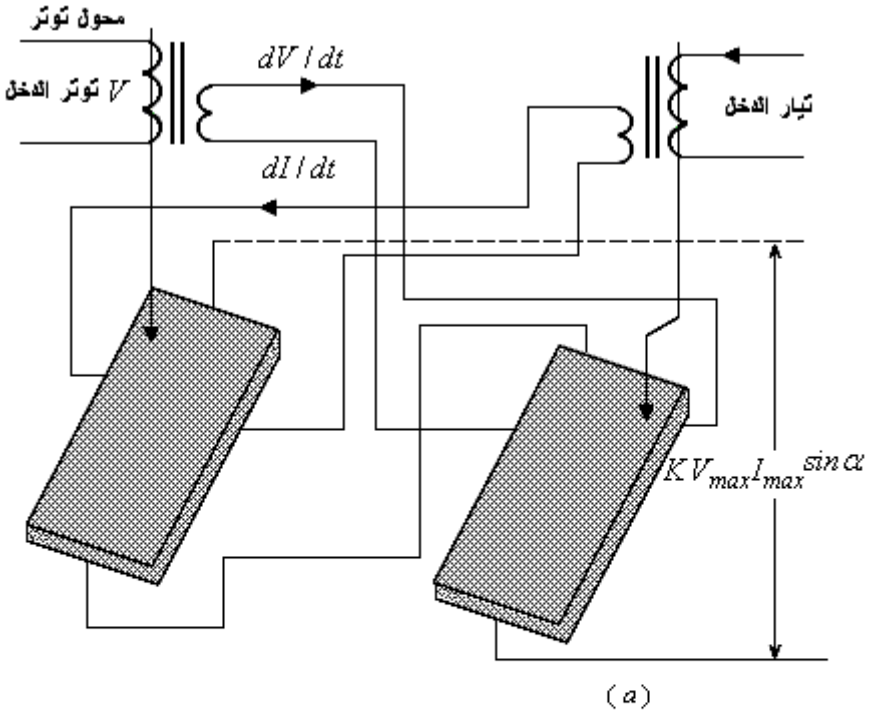
٦-١١ زواجل الحماية الاتجاهية الساكنة :

في زواجل الحماية الاتجاهية الساكنة يستخدم مقارنات بالزاوية أو بالمطال ، ويفضل استخدام مقارنات الزاوية . وفيما يلي بعض أنواع هذه الزواجل .

٦-١١-١ زاجل اتجاهي مستخدماً بلورات هول :

يتألف هذا الزاجل من بلورتين موصولتين كما هو مبين في الشكل (٦-٣١ a). وتعطي إشارة إشارتي الدخل V و I بالعلاقتين الآتيتين :

$$V = V_{max} \sin \omega t$$
$$I = I_{max} \sin(\omega t + \alpha)$$



الشكل (٦-٣١) زاجل اتجاهي ساكن باستخدام بلورات (هول)

ويعتمد مبدأ عمل هذا الزاجل على تحويل التوتر V إلى $\frac{dV}{dt}$، وتحويل التيار I إلى $\frac{dI}{dt}$ يجب أن يطبق على دخل البلورة الأولى إشارتا $(V, \frac{dI}{\partial t})$، وعلى دخل البلورة الثانية إشارتا $(I , \frac{dV}{\partial t})$، أما توتر الخرج فهو عبارة عن الفرق بين توتري خرج البلورتين الأولى والثانية ، ويعطى بالعلاقة الآتية :

$$V_0 = V\,\frac{dI}{\partial t} - I\,\frac{dV}{\partial t}$$

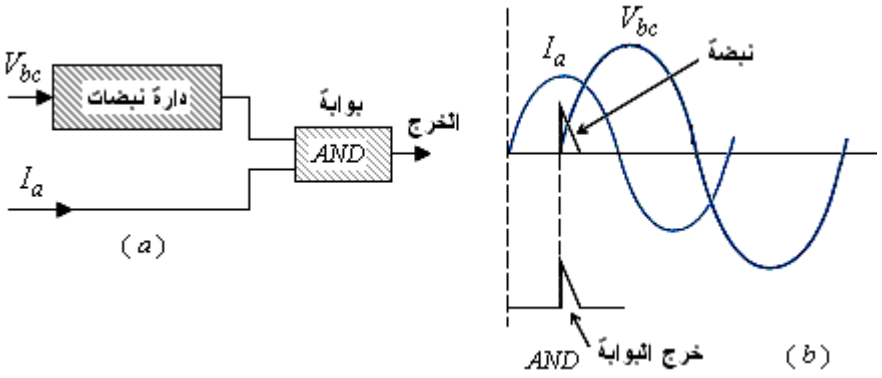
وبعد التعويض عن قيمة كلٍ من V و I ، والمفاضلة ، نحصل على المعادلة الآتية :

$$V_0 = \omega I_{max} V_{max} \sin\alpha$$

وتتميز هذه التوصيلة بعدم احتواء توتر الخرج على التوافقية الزوجية للتردد . وعند توصيل هذا الزاجل على الطور A يكون التيار المار I_a ، أما التوتر فيكون V_a (أي التوتر بين الطور A ونقطة الحيادي)، وعند التشغيل الطبيعي يكون توتر الخرج صغيراً جداً ، أي $V_0 \approx 0$. أما عند حدوث عطل فإن I_a يتأخر بزاوية قدرها 90^o ، ونحصل في هذه الحالة على أقصى توتر للخرج ، الشكل (٦-٣١ b)، بينما نحصل على عدم تشغيل للزاجل عندما يكون I_a متقدماً على V_a . ويمكن إضافة عنصر إزاحة الزاوية للسماح للزاجل العمل في حالة معامل استطاعة متقدم .

٦-١١-٢ زاجل اتجاهي باستخدام مقارن جيبي خطي :

يتغذى هذا الزاجل من التيار I_a ومن التوتر V_{bc}، بحيث يسلط التوتر V_{bc} على دارة نبضات للحصول على نبضة لحظة تقاطع موجة التوتر V_{bc} مع محور الزمن t ، ثم يتم مقارنة النبضة مع تيار العطل بوساطة بوابة AND ، ونحصل على خرج من البوابة AND عندما يكون التيار I_a متقدماً عن التوتر V_{bc} بزاوية قدرها α وتتراوح بين $(0-180^o)$ ويبين الشكل (٦-٣٢) دارة المقارنة (A) ودارة الموجات (B) .

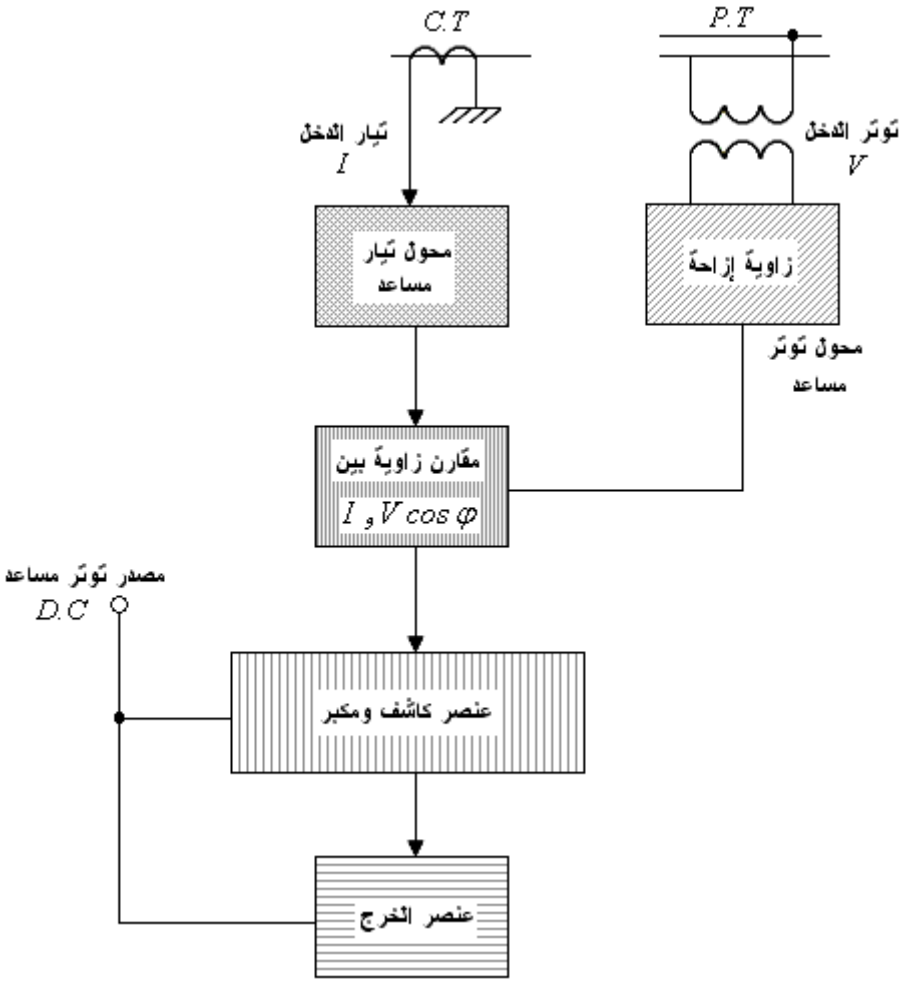


الشكل (٦-٣٢) زاجل اتجاهي باستخدام مقارن جيبي

وفي حال كان تيار الدخل I_a وتوتر الدخل V_a، فإن الزاوية بين I_a و V_a يجب أن تكون بحدود ($-90^o \div +90^o$) حتى نحصل على خرج من البوابة *AND* ، ويعرف المقارن في هذه الحالة بأنه مقارن الزاوية 90^o .

٦-١١-٣ زاجل الحماية ضد زيادة التيار الاتجاهي الساكن :

يبين الشكل (٦-٣٣) زاجل حماية ضد زيادة التيار الاتجاهي الساكن ، حيث يطبق



الشكل (٦-٣٣) زاجل حماية

ضد زيادة التيار الاتجاهي الساكن

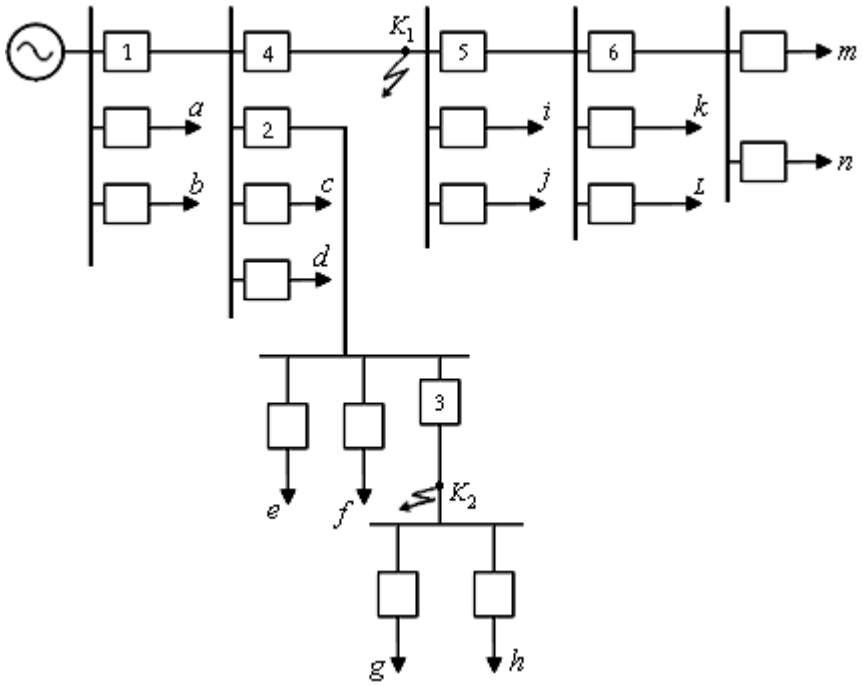
التوتر على عنصر إزاحة الزاوية ومحول توتر مساعد ، ومن خلالها نحصل على قيمة $V.\cos\varphi$ يطبق على عنصر المقارن وتقارن مع قيمة التيار I الناتج من محولة التيار المساعدة ، أي تتم المقارنة بالزاوية بين المركبتين $V.\cos\varphi$ و I ، ونحصل منه على خرج يطبق على عنصر كاشف ومكبر، ومن ثم تطبق الإشارة على عنصر خرج . وعند الحاجة إلى تأخير زمني يضاف إلى الدارة مؤقت زمني . وبفرض أن زاوية الزاجل α تساوي الزاوية بين التوتر والتيار φ ، وعندها نحصل على أكبر حساسية ممكنة . وهذا يعني أن الزاجل يعمل عندما يكون التيار المطبق I أكبر من تيار التعيير I_S ، وبالتالي فإن :

$$I.\cos(\varphi-\alpha) \geq I_S$$

٦-١٢ أمثلة محلولة وغير محلولة :

أولاً – أمثلة محلولة :

مثال (١) : لدينا منظومة كهربائية $35[kV]$ ، والمبينة في الشكل (٦-٣٤)، تم تجهيزها بحماية بالتيار الزائد ذات المميزة المستقلة.



الشكل (٦-٣٤)

والمطلوب :

آ- تحديد الفواصل الزمنية للحمايات : $t_1 , t_2 , t_3 , t_4 , t_5 , t_6$

علماً أن الخطوة الانتقائية $\Delta t = 0,5[sec]$ ، وأن تيار عمل حماية الخطوط الخارجية من المحطات موضح في الجدول (٦-٢)، وذلك من أجل ثلاث حالات مختلفة . (الزمن محسوب بالثانية) .

الجدول (٦-٢)

رقم الأحمال	T_a	T_b	T_c	T_d	T_e	T_f	T_g	T_h	T_j	T_i	T_k	T_L	T_m	T_n
A	1	1	0,5	2,5	0,5	1	0	0	1	1,5	0,5	1	0,5	1,5
B	1,5	2	2	1,5	1	2,5	1	1,5	1	1,5	1	1,5	1	0,5
C	4	1	3	1	2	1	1	1,5	0,5	2	1	1	0,5	1

الحل : ندرس الحالة A فقط ، والباقي على نمطها .

$$t_6 = T_m + \Delta t = 0,5 + 0,5 = 1[sec]$$
$$t_6 = T_n + \Delta t = 1,5 + 0,5 = 2[sec]$$

نختار : $\boxed{t_6 = 2[sec]}$

$$t_5 = t_6 + \Delta t = 2 + 0,5 = 2,5[sec]$$
$$t_5 = T_L + \Delta t = 1 + 0,5 = 1,5[sec]$$
$$t_5 = T_k + \Delta t = 0,5 + 0,5 = 1[sec]$$

نختار : $\boxed{t_5 = 2,5[sec]}$

$$t_4 = t_5 + \Delta t = 2,5 + 0,5 = 3[sec]$$
$$t_4 = t_j + \Delta t = 1 + 0,5 = 1,5[sec]$$
$$t_4 = t_i + \Delta t = 1,5 + 0,5 = 2[sec]$$

نختار : $\boxed{t_4 = 3[sec]}$

$$t_3 = t_g + \Delta t = 0 + 0,5 = 0,5[sec]$$
$$t_3 = t_h + \Delta t = 0 + 0,5 = 0,5[sec]$$

نختار : $\boxed{t_3 = 0,5[sec]}$

$$t_2 = t_3 + \Delta t = 0{,}5 + 0{,}5 = 1[sec]$$
$$t_2 = t_e + \Delta t = 0{,}5 + 0{,}5 = 1[sec]$$
$$t_2 = t_f + \Delta t = 1 + 0{,}5 = 1{,}5[sec]$$

نختار : $\boxed{t_2 = 1{,}5[sec]}$

$$t_1 = t_4 + \Delta t = 3 + 0{,}5 = 3{,}5[sec]$$
$$t_1 = t_2 + \Delta t = 1{,}5 + 0{,}5 = 2[sec]$$
$$t_1 = t_c + \Delta t = 0{,}5 + 0{,}5 = 1[sec]$$
$$t_1 = t_d + \Delta t = 2{,}5 + 0{,}5 = 3[sec]$$

نختار : $\boxed{t_1 = 3{,}5[sec]}$

ب- الإجابة عن الأسئلة الآتية :

س١- كيف يمكن التخلص من القصر الكهربائي في النقطتين K_1 و K_2 ؟

- لكي نتخلص من العطل K_1 : يجب أن تعمل الريليه (4) أو (1) .
- ولكي نتخلص من العطل K_2 : يجب أن تعمل الريليهات (3) و(2) و(1) لفصل العطل .

س٢- إذا نقص زمن عمل الريليه (1) بمقدار نصف ثانية ، فماذا يحدث ؟

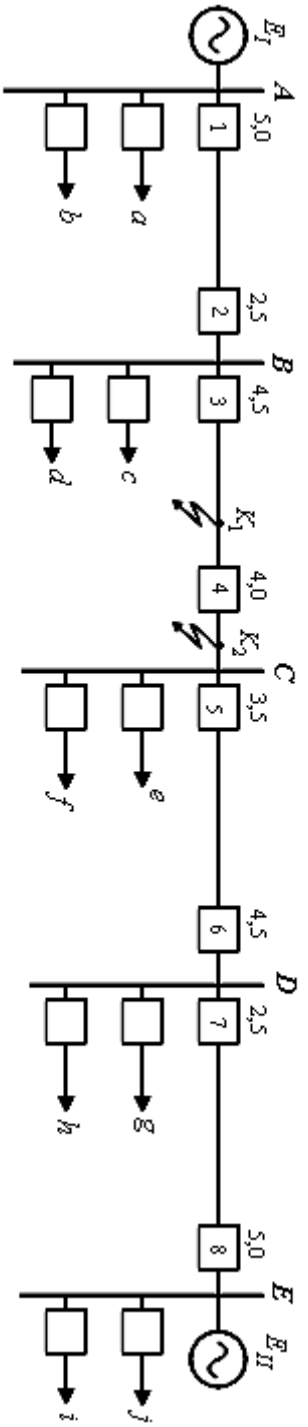
- إن زمن $t_1 = 3{,}5[sec]$ يصبح $t_1 = 3[sec]$ ، وهو زمن عمل الريليه t_4 نفسه ، فيكون عدم انتقائية .

س٣- ماذا يحدث إذا أضيف زمن (0,5) ثانية إلى الحماية رقم (6) ورقم (3) ؟

- عند الحماية رقم (3) : لا يحدث شيء .
- وعند الحماية رقم (6) : يحدث عدم انتقائية مع الحماية رقم (5) .

مثال (٢) : لدينا منظومة كهربائية شعاعية ذات تغذية مزدوجة كما في الشكل (٦-٣٥). تم بتجهيزها بالحماية بالتيار الزائد ذي الميزة المستقلة ، **والمطلوب** :

آ- تحديد الفواصل الزمنية من t_1 حتى t_8 لمجموعة الحماية وفق الترقيم المشار على المخطط في الشكل (٦-٣٥) .



الزمن [sec]

الشكل (٦ – ٣٥)

ب- تحديد مجموعات الحماية التي تتطلب تجهيزها بالعنصر الاتجاهي ريليهات استطاعة، علماً أن منابع القدرة مجهزة بحماية سريعة جداً، وأن الخطوة الانتقائية $\Delta t = 0,5[sec]$ والفواصل الزمنية للخطوط الخارجية من محطات التحويل محددة في الجدول (٦-٣) ومحسوبة بالثواني .

الجدول (٦-٣)

T_a	T_b	T_c	T_d	T_e	T_f	T_g	T_h	T_j	T_i
1,5	2	3,5	1,5	4	2,5	3	1	2	1,5

الحل :

١- نقسم إلى مجموعتين : الأولى : 7 , 5 , 3 , 1 ، والثانية : 8 , 6 , 4 , 2

- المجموعة الأولى :

$$t_7 = T_j + \Delta t = 2 + 0,5 = 2,5[sec]$$
$$t_7 = T_i + \Delta t = 1,5 + 0,5 = 2[sec]$$

نختار : $\boxed{t_7 = 2,5[sec]}$

$$t_5 = t_7 + 0,5 = 2,5 + 0,5 = 3[sec]$$
$$t_5 = T_g + \Delta t = 3 + 0,5 = 3,5[sec]$$
$$t_5 = T_h + \Delta t = 1 + 0,5 = 1,5[sec]$$

نختار : $\boxed{t_5 = 3,5[sec]}$

$$t_3 = t_5 + \Delta t = 3,5 + 0,5 = 4[sec]$$
$$t_3 = T_e + \Delta t = 4 + 0,5 = 4,5[sec]$$
$$t_3 = T_f + \Delta t = 2,5 + 0,5 = 3[sec]$$

نختار : $\boxed{t_3 = 4,5[sec]}$

$$t_1 = t_3 + \Delta t = 4,5 + 0,5 = 5[sec]$$
$$t_1 = T_c + \Delta t = 3,5 + 0,5 = 4[sec]$$
$$t_1 = T_d + \Delta t = 1,5 + 0,5 = 2[sec]$$

نختار : $\boxed{t_1 = 5[sec]}$

- المجموعة الثانية :

$$t_2 = t_a + \Delta t = 1{,}5 + 0{,}5 = 2[sec]$$
$$t_2 = t_b + \Delta t = 2 + 0{,}5 = 2{,}5[sec]$$

نختار : $\boxed{t_2 = 2{,}5[sec]}$

$$t_4 = t_2 + \Delta t = 2{,}5 + 0{,}5 = 3[sec]$$
$$t_4 = t_c + \Delta t = 3{,}5 + 0{,}5 = 4[sec]$$
$$t_4 = t_d + \Delta t = 1{,}5 + 0{,}5 = 2[sec]$$

نختار : $\boxed{t_4 = 4[sec]}$

$$t_6 = t_4 + \Delta t = 4 + 0{,}5 = 4{,}5[sec]$$
$$t_6 = t_e + \Delta t = 4 + 0{,}5 = 4{,}5[sec]$$
$$t_6 = t_f + \Delta t = 2{,}5 + 0{,}5 = 3[sec]$$

نختار : $\boxed{t_6 = 4{,}5[sec]}$

$$t_8 = t_6 + 0{,}5 = 4{,}5 + 0{,}5 = 5[sec]$$
$$t_8 = t_g + 0{,}5 = 3 + 0{,}5 = 3{,}5[sec]$$
$$t_8 = t_h + \Delta t = 1 + 0{,}5 = 1{,}5[sec]$$

نختار : $\boxed{t_8 = 5[sec]}$

ج- الإجابة عن الأسئلة الآتية :

س١- كيف يمكن التخلص من القصر الكهربائي في النقطتين K_1 و K_2 ؟

- في K_1 : نتخلص من القصر بفصل القاطع (3 – 4) .
- وفي K_2 : نتخلص من القصر بفصل القاطع (3 – 6) .

س٢- مجموعات الحماية التي تقلع ريلياتها الزمنية عند القصر في النقطة K_1 ؟

- تقلع الريليات الزمنية الآتية : (1 – 3 – 4 – 6 – 8) .

س٣- مجموعات الحماية التي تقلع ريلياتها الزمنية عند القصر في النقطة K_2 ؟

- تقلع الريليات الزمنية الآتية : (1 – 3 – 6 – 8) .

س٤- النتائج السلبية التي تبديها مجموعات الحماية للشبكة الكهربائية المبينة في الشكل (٦-٣٥) فيما إذا نقص الفاصل الزمني بمقدار $0,5[sec]$ لمجموعات الحماية الآتية :

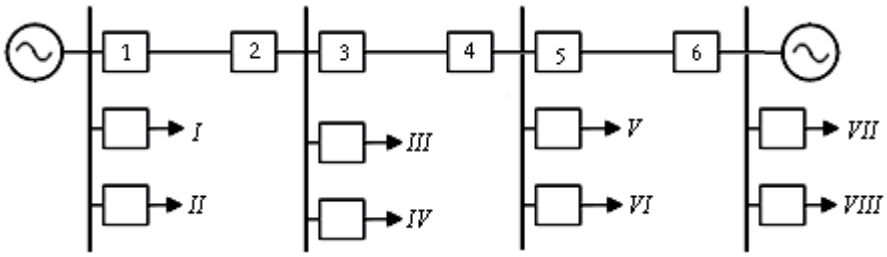
A- المجموعة رقم (4) ، B- المجموعة رقم (6)

س٥- النتائج السلبية التي تبديها مجموعات الحماية للشبكة الكهربائية المبينة في لشكل (٦-٣٥) فيما إذا ازداد الفاصل الزمني بمقدار $0,5[sec]$ لمجموعات الحماية الآتية :

A- المجموعة رقم (2) ، B- المجموعة رقم (4)

مثال (٣) : لدينا منظومة كهربائية مبينة في الشكل (٦-٣٦) ، تم تجهيزها بالحماية بالتيار زائد الاتجاهية ذي تأخير زمني وفق أرقام مجموعات الحماية :

من t_1 إلى t_6 ، وكذلك من t_I إلى t_{VIII}



الشكل (٦-٣٦) منظومة كهربائية ذات منبعي تغذية

والمطلوب :

آ- تحديد شروط اختيار التأخير الزمني t_3 لمجموعة الحماية رقم (3) في الحالتين الآتيتين :

A- عند وجود عنصر اتجاهي (ريليه استطاعة) .

B- عند عدم وجود عنصر اتجاهي (ريليه استطاعة) .

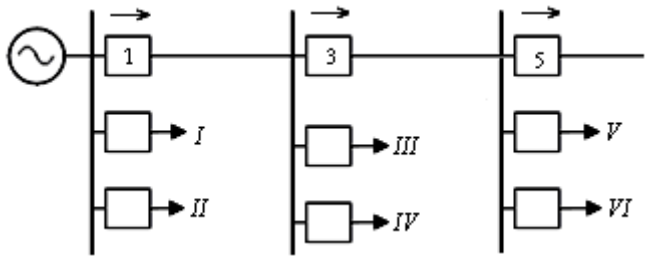
ب- تحديد الحالات التي تجعلنا نضيف عنصراً اتجاهياً للحماية رقم (1) .

ج- تحديد الحالات التي تفرض التأخير الزمني t_1 للحماية رقم (1) أن يكون أصغر من التأخير الزمني t_2 للحماية رقم (2) .

د- تحديد الشروط التي بواسطتها يمكن الاستغناء عن العنصر الاتجاهي في الحمايتين (3) و(4) .

الحل :

آ- نقوم بفتح الشبكة بحيث تصبح حسب الشكل (٦-٣٧) :



الشكل (٦-٣٧)

A- نختار التأخير الزمني t_3 بحيث يحقق الشروط الآتية :

$$t_3 \geq t_V + \Delta t$$
$$t_3 \geq t_{VI} + \Delta t$$
$$t_3 \geq t_5 + \Delta t$$

B- عند عدم وجود العنصر الاتجاهي (ريليه استطاعة)، وبالعودة إلى الشكل (٦-٣٦) نختار التأخير الزمني t_3 بحيث يحقق الشروط الآتية :

$$t_3 \geq t_5 + \Delta t$$
$$t_3 \geq t_V + \Delta t$$
$$t_3 \geq t_{VI} + \Delta t$$
$$t_3 \geq t_2 + \Delta t$$
$$t_3 \geq t_{III} + \Delta t$$
$$t_3 \geq t_{IV} + \Delta t$$

ب- يجب إضافة العنصر الاتجاهي ، عندها يكون :

$$t_1 \leq t_{II} \quad ; \quad t_1 \leq t_I$$

ج- $t_1 < t_2$ في الحالة التي يكون فيها التأخير الزمني لأي مخرج من الخطوط الخارجية I أو II أكبر من أكبر تأخير زمني من الأزمنة t_3 و t_{III} و t_{IV} ، ومجموعة الحماية رقم (1) مجهزة بالعنصر الاتجاهي .

د- عندما يكون $t_3 = t_4$.

مثال (٤) : في المنظومة الكهربائية المبينة في الشكل (٦-٣٨) ، والمطلوب :

أوجد تيار التعيير لكل من زواجل التيار الزائد (1,2,3) وذلك للأعطال ثلاثية الطور F_1, F_2, F_3 . حيث كل قيم الممانعات معطاة لأساس واحد :

$$V_f = 1[P.U] \;;\; K_S = (1-3,5) \;;\; I_S = 4K_S \;;\; S_b = 100[MVA]$$

الحل : نحسب تيار الأساس في جهة الطرف المنخفض والطرف المرتفع :

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3}\,U_b} = \frac{100\times10^3}{\sqrt{3}\times13,8} = 4183 \;[A]$$

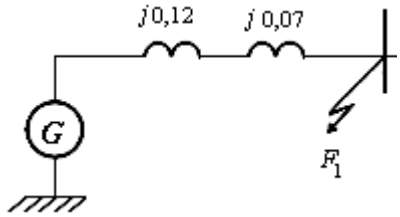
$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3}\,U_b} = \frac{100\times10^3}{\sqrt{3}\times66} = 874 \;[A]$$

١- ندرس العطل F_1 :

$$Z_{f1} = 0,12 + 0,07 = 0,19 \;[P.U]$$

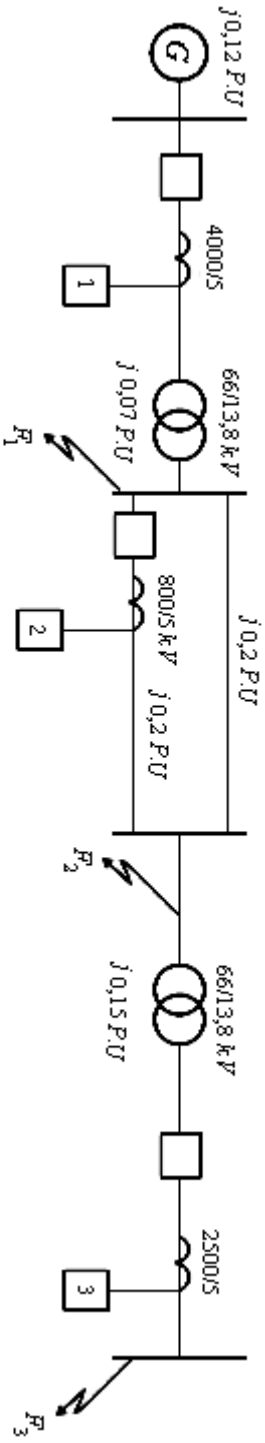
$$I_{f1} = \frac{1}{0,19} = 5,26 \;[P.U]$$

$$I_1 = I_{f1} = 5,26 \;[P.U]$$



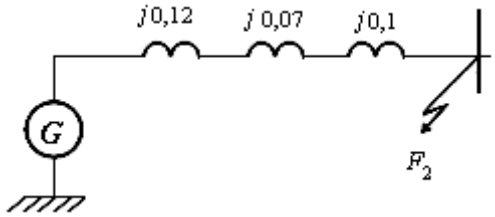
$$I_1 = 5,26\times4183 = 22002,5 \;[A]$$

$$I_{R_1} = 22002,5\times\frac{5}{4000} = 27,5 \;[A]$$


j0,12 P.U
G
4000/5
1
j 0,07 P.U
66/13,8 kV
R1
800/5 kV
j 0,2 P.U
2
j 0,2 P.U
j 0,2 P.U
R2
66/13,8 kV
j 0,15 P.U
2500/5
3
R3

الشكل (٦-٣٨)

٢- ندرس العطل F_2 :



$$Z_{f2} = 0,12 + 0,07 + 0,1 = 0,29 \ [P.U]$$

$$I_{f2} = \frac{1}{0,29} = 3,45 \ [P.U]$$

التيار المار في الزاجل رقم (1) :

$$I_1 = I_{f_2} = 3,45 \times 4183 = 14424 \ [A]$$

$$I_{R_1} = 14424 \times \frac{5}{4000} = 18 \ [A]$$

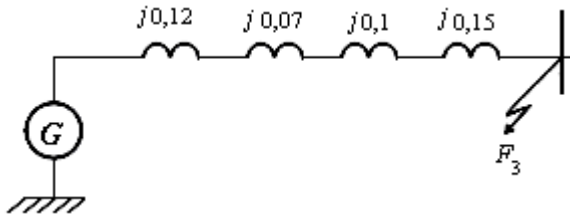
التيار المار في الزاجل رقم (2) :

$$I_2 = \frac{I_{f_2}}{2} = \frac{3,45}{2} = 1,725 \ [P.U]$$

$$I_2 = 1,725 \times 874 = 1507,6 \ [A]$$

$$I_{R_2} = 1507,6 \times \frac{5}{800} = 9,42 \ [A]$$

٣- ندرس العطل F_3 :



$$Z_{f_3} = 0,12 + 0,07 + 0,1 + 0,15 = 0,44 \ [P.U]$$

$$I_{f_3} = \frac{1}{0,44} = 2,27 \ [P.U]$$

$$I_{f3} = I_1 = I_3 = 2{,}27 \times 4183 = 9507 \ [A]$$

$$I_{R_1} = 9507 \times \frac{5}{4000} = 11{,}88 \ [A]$$

$$I_{R_3} = 9507 \times \frac{5}{2500} = 19 \ [A]$$

$$I_2 = \frac{I_{f3}}{2} = \frac{2{,}27}{2} = 1{,}135 \ [P.U]$$

$$I_2 = 1{,}135 \times 874 = 992 \ [A]$$

$$I_{R_2} = 992 \times \frac{5}{800} = 6{,}2 \ [A]$$

نضع النتائج في الجدول (٦-٤). ومن الجدول نناقش النتائج :

الجدول (٦-٤)

F_3	F_2	F_1	العطل / الزاجل
11,88	18	27,5	R_1
6,2	9,42	0	R_2
19	0	0	R_3

- تعيير الزاجل رقم (1) على $11[A]$ ، ولنتحقق من معطيات المسألة :

$$I_{S_1} = 4K_S \ \Rightarrow 11 = 4K_S \ \Rightarrow K_S = \frac{11}{4} = 2{,}75$$

وهي ضمن القيم المسموحة .

- تعيير الزاجل رقم (2) على $6[A]$ ، ولنتحقق من معطيات المسألة :

$$I_{S_2} = 4K_S \ \Rightarrow 6 = 4K_S \ \Rightarrow K_S = \frac{6}{4} = 1{,}5$$

وهي ضمن القيم المسموحة .

– تعيير الزاجل رقم (3) على $18[A]$ ، ولنتحقق من معطيات المسألة :

$$I_{S_3} = 4K_S \;\Rightarrow 18 = 4K_S \;\Rightarrow\; K_S = \frac{18}{4} = 4{,}5$$

وهي خارج القيم المسموحة .

وبالتالي لا يمكن تعيير الزاجل رقم (3) على $18[A]$ لأنه خارج مجال عمل الريليه ، على الرغم من أنه يحقق الانتقائية .

ونوجد تيار التعيير المناسب على الشكل الآتي :

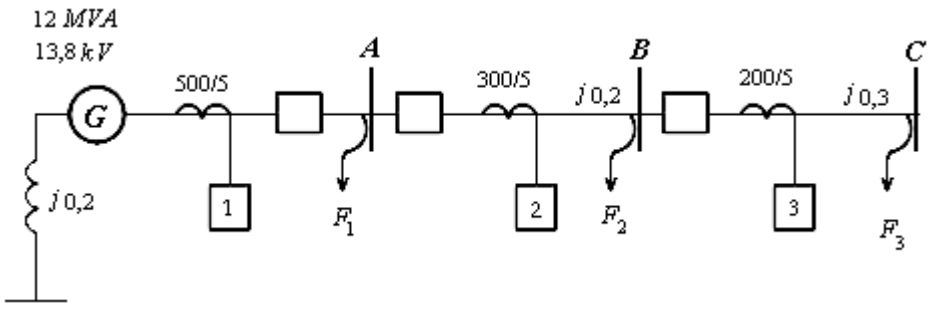
$$I_{S_3} = 3{,}5 \times 4 = 14 \;[A]$$

مثال (٥) : لدينا الشبكة المبينة في الشكل (٦–٣٩)، حيث الأعطال ثلاثية الطور.

وبفرض مجال التعيير :

$$K_S = (0{,}5-3) \;;\; I_S = 4.K_S \;;\; I_{SI} = (2-20).I_S$$

والمطلوب : أوجد التعيير المناسب للزواجل السابقة (تعيير التيار والزمن) .



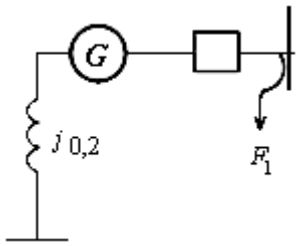
الشكل (٦–٣٩)

الحل :

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3}\,U_b} = \frac{12 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 13{,}8 \times 10^3} = 500 \;[A]$$

١– حالة العطل F_1 :

$$Z_{f1} = j\,0{,}2$$



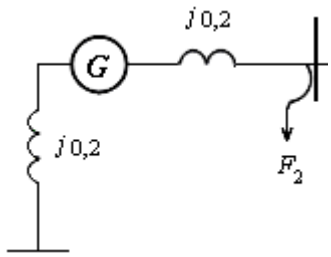
$$I_{f1} = \frac{U_f}{Z_f} = \frac{1}{j\,0{,}2} = 5\ [P.U\,]$$

$$I_{f1} = 5 \times 500 = 2500\ [A]$$

$$n_1 = \frac{500}{5} = 100$$

$$I_{R_1} = 2500 \times \frac{5}{500} = 25\ [A]$$

٢- حالة العطل F_2 :



$$Z_{f2} = j\,0{,}4$$

$$I_{f2} = \frac{1}{j\,0{,}4} = 2{,}5\ [P.U\,]$$

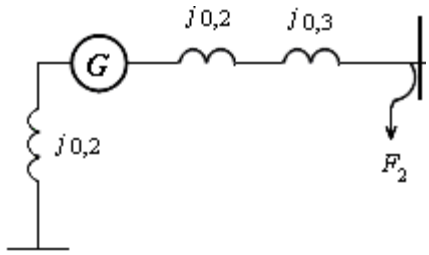
$$I_{f2} = 2{,}5 \times 500 = 1250\ [A]$$

$$n_2 = \frac{300}{5} = 60$$

$$I_{R_2} = 1250 \times \frac{5}{300} = 20{,}8\ [A]$$

$$I_{R_1} = 1250 \times \frac{5}{500} = 12{,}5\,[A]$$

٣- حالة العطل F_3 :



$$Z_{f3} = j(0,2+0,2+0,3) = j7$$

$$I_{f3} = \frac{1}{j0,7} = 1,43 \ [P.U]$$

$$I_{f3} = 1,43 \times 500 = 714,3 \ [A]$$

$$n_3 = \frac{200}{5} = 40$$

$$I_{R_1} = 714,3 \times \frac{5}{500} = 7,14 \ [A] \ ; \ \ I_{R_2} = 714,3 \times \frac{5}{300} = 11,9 [A]$$

$$I_{R_3} = 714,3 \times \frac{5}{200} = 17,86 \ [A]$$

وننظم جدولاً ، ونقسم على نسبة تحويل كل زاجل حسب محولته .

الجدول (٦-٥)

العطل / الزاجل	f_1	f_2	f_3	نسبة التحويل
1	$\frac{2500}{100}=25$	$\frac{1250}{100}=12,5$	$\frac{714,3}{100}=7,14$	100
2	—	$\frac{1250}{60}=20,8$	$\frac{714,3}{60}=11,9$	60
3	—	—	$\frac{714,3}{40}=17,86$	40

٤- تعيير التيار:

آ- الزاجل رقم 1 (أصغر تيار 7,14 ، وأكبر تيار 25) :

- من أجل [A] 7,14 : نختار $K_S = 1,5$

$$I_S = 4.K_S = 4\times1,5 = 6[A] \quad ; \quad 6 < 7,14$$

- يفصل آنياً من أجل [A] 25 :

$$I_{SI} = K_{SI}.I_S = 4\times6 = 24[A] \quad ; \quad 24 < 25$$

ب- الزاجل رقم 2 (أصغر تيار 11,9 ، وأكبر تيار 20,8) :

- من أجل [A] 11,9 : نختار $K_S = 2$

$$I_S = 4.K_S = 4\times2 = 8[A] \quad ; \quad 8 < 11,9$$

- يفصل آنياً من أجل [A] 20,8 :

$$I_{S_2} = K_S.I_S = 2\times8 = 16[A] \quad ; \quad 16 < 20,8$$

ج- الزاجل رقم 3 (أصغر وأكبر تيار عطل 17,86) :

نختار : $K_S = 2$

$$I_S = 4.K_S = 4\times2 = 8[A]$$

- يفصل آنياً :

$$I_{S_3} = K_S.I_S = 2\times8 = 16[A] \quad ; \quad 16 < 17,86$$

٥- تعيير الزمن :

- الزاجل رقم (3) يفصل آنياً من أجل [A] 17,86 ، وبزمن قدره $t = 0,05$ [sec] .

- الزاجل رقم (2) يفصل آنياً من أجل [A] 20,8 ، وبزمن قدره $t = 0,05$ [sec] .

وبتأخير زمني Δt من أجل [A] 11,9 ، حيث :

$$= 0,5\ [sec]\ \Delta t$$

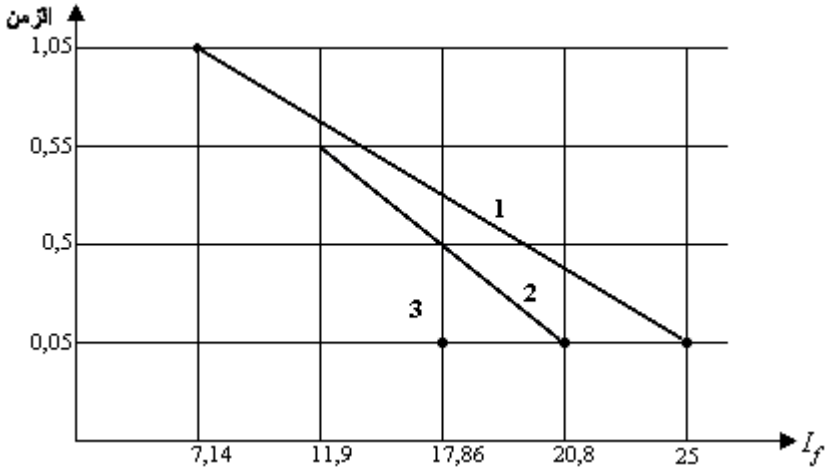
$$t = 0,5 + 0,05 = 0,55[sec]$$

- الزاجل رقم (1) يفصل آنياً من أجل [A] 25 ، وبزمن قدره $t = 0,05$ [sec] .

وبتأخير زمني Δt من أجل [A] 7,14 ، وحيث Δt [sec] 0,5 =:

$$t = 0,55 + 0,5 = 1,05[sec]$$

ويبين الشكل (٦-٤٠) تغيرات التيارات المارة في الزواجل مع الزمن .



الشكل (٦-٤٠)

ثانياً – أمثلة غير محلولة :

مثال (١) : في المنظومة الكهربائية المبينة في الشكل (٦-٤١) .

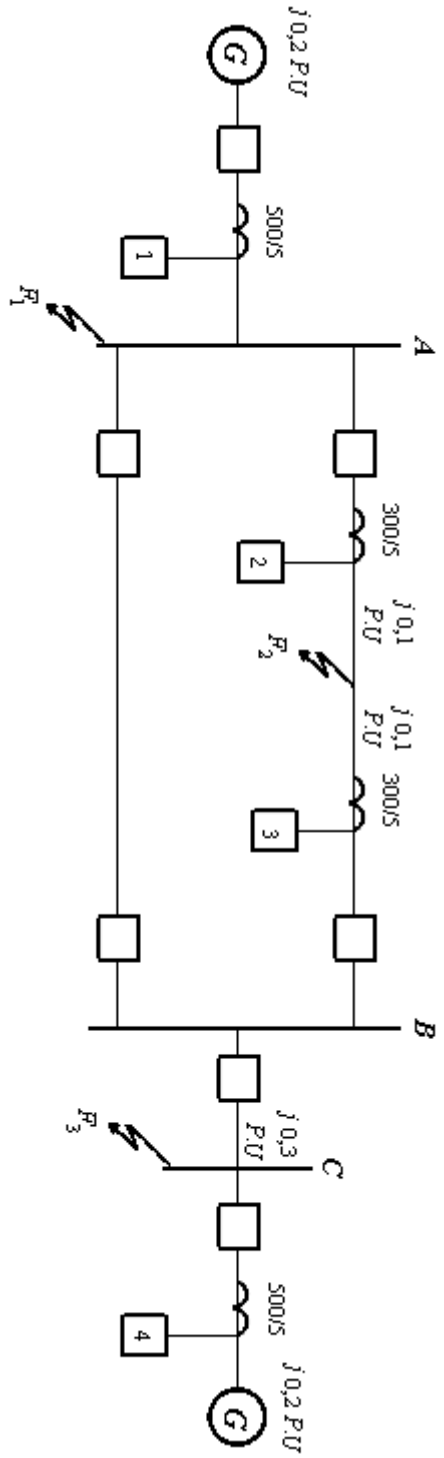
والمطلوب :

آ- أوجد التيار لكل من زواجل التيار الزائد $(1,2,3,4)$، وذلك لكل حالة عطلٌ ثلاثي الطور في النقاط :

$$F_3 \text{ ، } F_2 \text{ ، } F_1$$

ب- أوجد تيار التعيير I_S المناسب لكل زاجل ، ثم رتب القيم في جدول مناسب ، حيث :

$$K_S = (0{,}5-2) \;\; ; \;\; I_b = 500\ [A] \;\; ; \;\; I_S = 4.K_S$$


j 0,2 P.U
G
500/5
1
F1
A
300/5
2
j 0,1 P.U
F2
j 0,1 P.U
300/5
3
B
F3
j 0,3 P.U
C
500/5
4
j 0,2 P.U
G

الشكل (٦-٤١)