

## شبكات النقل الكهربائية

القصر الكهربائي في خطوط النقل الكهربائية

**الجدارة:****الأهداف:**

عندما تكمل هذه الوحدة تكون:

- ١- ملما بأنواع دوائر القصر المختلفة وأسبابها
- ٢- ملما بكيفية حساب تيار القصر ومقنن القصر لخطاً متماثل ثلاثي الأوجه
- ٣- ملما بتأثير كل من القصر وزمن الفصل على الشبكة

**مستوى الأداء المطلوب:**

**الوقت المتوقع للتدريب: ٣ ساعات**

**الوسائل المساعدة:**

استخدم التعليمات في هذه الوحدة.

**متطلبات الجدارة:**

يجب التدرب على جميع المهارات لأول مرة .

## ٤- ١: مقدمة

في وضع التشغيل العادي تعمل منظومة القوى عند جهد ثابت القيمة والتردد وتكون الجهود على الأوجه الثلاثة وكذلك التيارات متزنة، وتكون قيم التيارات في مختلف أجزاء المنظومة داخل حدود القيم المسموح بها للتشغيل الآمن. ولكن نظرا للانتشار الجغرافي الكبير لمنظومة القوى ولكون معظم مكوناتها موجودة في مساحات مكشوفة - كخطوط النقل والتوزيع التي تقطع مسافات طويلة في الصحاري وداخل المدن والقرى - فإنها تكون عرضة لحدوث أعطال أو أخطاء تؤدي إلى خلل ببعض شروط التشغيل الآمن أو بها جميعا. ولعل أكبر الأعطال خطرا وأشدّها تأثيرا ضارا على منظومة القوى هو حدوث دوائر قصر. والمقصود بدوائر القصر هو سلوك التيار مسلكا غير نظامي خارج الموصلات المعدة لسريانه كأن يجد مسارا مباشرا بين أحد الموصلات والأرض أو بين الموصلات نتيجة لانهايار العازل الذي يحكم سريان التيار داخل الموصلات أو سقوط جسم موصل بين الموصلات. ونتيجة للمقاومة الصغيرة جدا لدوائر القصر - تعتبر صفراً نظرا لصغرهما مقارنة بمعاوقات أجزاء المنظومة - فإن التيار الناتج عن حدوث دوائر القصر يكون كبيرا جدا وقد يصل إلى أكثر من عشرين ضعف التيار المقنن. وهذا التيار الكبير له آثار تدميرية خطيرة على أجزاء منظومة القوى نتيجة للارتفاع الشديد في درجة الحرارة وكذلك نتيجة للقوى الكهرومغناطيسية الكبيرة الناتجة عن تيار القصر.

ولأنه لا يمكن منع حدوث دوائر القصر فيجب إعداد التجهيزات الخاصة بحماية منظومة القوى بطريقة تمكنها من فصل تيارات القصر بطريقة آمنة. ومن هنا جاءت أهمية دراسة دوائر القصر الكهربائي حيث عن طريقها يمكن تحديد تيارات القصر في الأماكن المختلفة من منظومة القوى لتحديد سعة القطع اللازمة للقواطع التي سيتم تركيبها في الدوائر المختلفة لفصلها حالة حدوث خطأ بها. ولضبط مرحلات الحماية يلزم أيضا إجراء تحليل دوائر القصر عند كل نقطة من نقاط المنظومة. والجدير بالذكر هنا أن تحليل دوائر القصر الذي يتم لتحديد سعة القطع للقواطع يختلف عن ذلك الذي يتم لضبط تيار وزمن التشغيل للمرحلات، حيث يجب أن يكون القاطع قادرا على فصل أقصى تيار قصر ممكن حدوثه وبالتالي يتم حساب مقنن القطع للقاطع على أساس من أكبر تيار قصر، في حين أنه يجب ضبط المرحل بحيث يشعر بأقل تيار قصر ممكن حدوثه وبالتالي فإنه يتم إجراء التحليل مع فرض حدوث دائرة القصر عند أبعد مكان من موقع المرحل.

وفي هذه الوحدة سوف نستعرض الأسباب التي تؤدي إلى حدوث دوائر القصر في منظومات القوى، ونتعرف على المصادر التي تغذي دوائر القصر وعلى أنواع دوائر القصر المختلفة وإن كنا سنكتفي هنا بدراسة القصر المتمثل فقط. ولأن منظومة القوى تحتوي على كثير من المكونات وخصوصا المحولات

التي تفصل الشبكة إلى أجزاء ذات جهود مختلفة يصعب معها إجراء التحليل بطريقة مباشرة فسوف ندرس كيفية تمثيل مكونات المنظومة المختلفة بطريقة تسهل إجراء الحسابات وتتغلب على الصعوبات التي يسببها وجود المحولات ، حيث يتم تمثيل مكونات المنظومة بنظام الوحدة.

#### ٤ - ٢ : أسباب حدوث القصر في منظومات القوى

إن الأسباب التي تؤدي إلى حدوث دوائر القصر في الدوائر الكهربائية كثيرة منها ما هو خارجي ومنها ما هو نابع من منظومة القوى ذاتها ، وينشأ القصر الكهربائي عموماً عندما يجد التيار مساراً خارج الموصلات الكهربائية وذلك عندما يحدث تلامس مباشر - نتيجة انهيار العازل - بين الموصل والأرض أو موصلين مع بعضهما ومن أمثلة الأسباب الخارجية لدوائر القصر:

- الطيور والأفاعي عندما تسبب قصراً بين موصلات خطوط النقل أو بين أحد الموصلات وجسم البرج
  - اصطدام طائرة بخطوط النقل الهوائي
  - اصطدام سيارة بمحول أو عمود
  - الفئران عندما تأكل عازل الكابلات وتجعل الموصل مكشوفاً ملامساً للأرض أو عندما تدخل في لوحات التوزيع فتسبب توصيل أحد القضبان بجسم اللوحة أو توصيل قضيبين ببعضهما
  - سقوط شجرة على موصلات خط النقل
  - الأعمال التخريبية المتعمدة
  - الرياح الشديدة قد تسبب التواء أسلاك خط النقل وملامستها لبعضها
  - انقطاع أحد الموصلات تحت تأثير التحميل الميكانيكي الزائد نتيجة لتراكم ثلوج عليه وملامسته لموصل آخر أو لجسم البرج
  - صواعق البرق عندما تضرب خط النقل وتسبب ارتفاع الجهد بطريقة كبيرة تؤدي إلى انهيار عوازل خط النقل أو المحولات
- و الأسباب الداخلية تتلخص في انهيار عازل الموصلات في المولد أو المحول أو المحرك وتصبح هذه الموصلات كما لو كانت مكشوفة وتسبب في قصر إما بين لفتين لنفس الوجه أو بين لفات أحد الأوجه وجسم المولد أو المحول أو المحرك ، أو تسبب قصراً بين ملفات وجهين مختلفين.

## ٤- ٣ : مصادر دوائر القصر

أثناء حدوث القصر تمر تيارات كبيرة جداً نتيجة للمقاومة الصغيرة للشبكة أثناء حدوث القصر، وهذه التيارات تكون أكبر بكثير من تيار الحمل ولذا فإنه يتم إهمال جميع الأحمال الموجودة بالشبكة قبل حدوث الخطأ. والمصادر التي تقوم بتغذية تيار القصر هي:

## ٤- ٣- ١ : المولدات التزامنية

حيث إن هذه المولدات هي مصادر الجهد التي تغذي المنظومة في حالة التشغيل العادي، فعند حدوث القصر تستمر هذه المولدات في إمداد المنظومة بالجهد فتدفع بتيار كبير خلال دائرة القصر وذلك قبل أن تعمل أجهزة الحماية وأجهزة التحكم المختلفة. وفي اللحظات التي تلي حدوث القصر مباشرة يرتفع التيار بصورة كبيرة قبل أن تبدأ أجهزة التحكم في العمل لضبط قيمة الجهد فلذلك تكون القوة الدافعة للمولد ثابتة رغم ارتفاع التيار بهذه الصورة الكبيرة والسبب في ذلك يرجع إلى أنه عند حدوث الخطأ فإن قيمة ممانعة المولد تختلف عن قيمتها في وضع التشغيل العادي بسبب تغير قيمة المفاعلة الحثية له نتيجة التغيرات التي تطرأ على المجال المغناطيسي داخل المولد، حيث تنخفض مفاعلة المولد بثلاث مراحل هي:

## ممانعات المولد

١. مفاعلة دون الحالة العابرة (  $x_d''$  ) sub-transient reactance

وهي قيمة المفاعلة لحظة حدوث الخطأ، وهي صغيرة جداً حيث يكون تيار الخطأ في هذه اللحظات أكبر ما يمكن، وهذه القيمة هي التي تستخدم عند حساب تيار القصر.

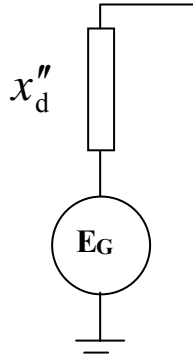
٢. مفاعلة الحالة العابرة (  $x_d'$  ) transient reactance

وهي قيمة المفاعلة بعد حدوث الخطأ بفترة زمنية قصيرة لا تتعدى بضع دورات، وهي أكبر من مفاعلة دون الحالة العابرة، وهذه القيمة تستخدم في دراسة اتزان المنظومة بعد إزالة الخطأ وعمل أجهزة التحكم.

٣. مفاعلة التزامن (  $x_s$  ) synchronous reactance

وهي قيمة المفاعلة في وضع التشغيل العادي أو بعد فترة طويلة من حدوث الخطأ، وتستخدم هذه المفاعلة في حساب أداء المولد في ظروف التشغيل العادية.

وتكون الدائرة المكافئة للمولد حالة حدوث خطأ عبارة عن جهد ثابت يساوي القوة الدافعة الكهربائية للمولد بالتوالي مع مفاعلة دون الحالة العابرة وتهمل المقاومة، كما هو موضح في شكل (٤ - ١) :



شكل (٤ - ١) الدائرة المكافئة للمولد

## ٤ - ٣ - ٢ : المحركات والمكثفات التزامنية

المكثف التزامني هو آلة تزامنية متصلة بالقضبان العمومية ولكنها لا تدار بمحرك أولي لتعمل كمولد ولا تغذي حملا ميكانيكيا للعمل كمحرك - وإن كان من الممكن تشغيل نفس الآلة كمحرك والاستفادة منها كمكثف تزامني - وإنما يتم تغذية أقطابها بتيار كبير يجعلها تدفع بقدرة غير فعالة إلى الشبكة أي إنها تعمل عمل المكثف ولذا يطلق عليها المكثف التزامني.

رغم أن المحركات والمكثفات التزامنية لا تدار بواسطة محرك أولي إلا أنه عند حدوث القصر ونتيجة للقصور الذاتي للأجزاء الدوارة في كل منهما والطاقة الميكانيكية المخزنة في هذه الأجزاء الدوارة يستمر كل من المحرك والمكثف التزامني في الدوران وتوليد جهد يقوم بتغذية دائرة القصر.

وفي حالة التشغيل العادي تتشابه الدائرة المكافئة للمحرك والمكثف التزامني مع الدائرة المكافئة للمولد إلا أن اتجاهات سريان القدرة في المولد تختلف عنها في المحرك والمكثف. وفي حسابات تيار القصر، لا تختلف الدائرة المكافئة للمحرك ولا للمكثف التزامني عن المولد في شيء، بل تكون الدائرة المكافئة للمولد هي نفسها للمحرك وللمكثف التزامني ولكن طبعا قد تختلف القيم العددية للجهد و للمعاوقة.

## ٤ - ٣ - ٣ : المحركات الحثية

للمحركات الحثية ذات القدرات الأكبر من ٥٠ حصان (50 hp) تكون الطاقة الميكانيكية المخزنة في العضو الدائر كافية لدفع المحرك لتوليد جهد يقوم بتغذية تيار القصر ويعامل معامل المولد التزامني من حيث الدائرة المكافئة. أما المحركات الأصغر من ذلك فيمكن إهمال مساهمتها في تغذية تيار القصر.

## ٤- ٣- ٤ : منظومة الإمداد

ومنظومة الإمداد تحتوي على مجموعة كبيرة من المولدات وشبكة نقل وتوزيع ذات مقاومة صغيرة، ويمكن النظر إلى منظومة الإمداد على أنها مصدر ذو جهد ثابت و ممانعة كهربية على التوالي في الغالب تكون صغيرة بدرجة كبيرة، ومثل هذه المنظومة تساهم في تغذية تيار القصر حيث إن جهدها يظل ثابتا حتى أثناء حدوث القصر.

## ٤- ٤ : النظام بالوحدة

في دراستك للآلات الكهربائية رأيت كيف أن المحول يقسم الدائرة الكهربائية إلى جزأين غير مرتبطين عن حساب طريق التوصيل حتى يمكن تطبيق قوانين كيرشوف للتيار والجهد، وإنما يرتبطان معا عن طريق الحث الكهرومغناطيسي و كل منهما له جهد مختلف عن الآخر. ولحساب أداء المحول كان لزاما نسبة معاملات أحد الجانبين إلى الجانب الآخر وإجراء الحساب في جانب واحد ثم للحصول على القيم الحقيقية للجانب الآخر نعيد القيم المحسوبة بنسب التحويل العكسية. ولعلك مازلت تذكر كم كانت هذه الحسابات مزعجة وخصوصا بما فيها من أعداد مركبة. والجهد ينقل بنسبة اللفات والتيار بعكس نسبة اللفات والمعاوقات بمربع نسبة اللفات و لو كان المحول ثلاثي الأوجه وكان أحد جانبيه متصلاً دلنا والآخر متصلاً نجمة، فما بالك عند العمل على منظومة قوى تحتوي على أكثر من محول بل ربما تصل إلى مئات أو آلاف المحولات!!! هل سيكون الأمر صعبا أم مستحيلا أم لا يجب أن نفكر في مثل هذا الأمر من البداية؟ الإجابة على السؤال الأخير طبعاً لا لن يكون صعباً ولا مستحيلاً ولن نشغل تفكيرنا بالمحولات قلت أو كثرت طالما أن هناك النظام بالوحدة.

ففي النظام بالوحدة يتم تمثيل معاوقات مكونات منظومة القوى كنسب من قيم إسنادية يتم تحديدها بطريقة تحقق المميزات الآتية:

١. في النظام بالوحدة لا تمثل المحولات مشكلة حيث إن قيم المعاوقات - مقدرة بالوحدة - تكون ثابتة بغض النظر عن الجهة التي تسند إليها في حين أنه عند تقدير المعاوقات بالأوم يلزم أن تنسب جميع المعاوقات إلى جهة واحدة أو جزء واحد من المنظومة.
٢. في النظام بالوحدة لا تؤثر كيفية توصيل المحولات على قيمة المعاوقة
٣. معاوقات الآلات الكهربائية تختلف اختلافا كبيرا إذا ما قيمت بالأوم تبعاً لحجمها أما في النظام بالوحدة فإنها تختلف في حدود ضيقة للغاية وعلى ذلك يمكن تقدير معاوقة آلة بمقارنتها بأخرى من نفس النوع بغض النظر عن الحجم.

٤. معاوقات الآلات الكهربائية تعطى عادة مقدرة بالوحدة على لوحة البيانات الاسمية للآلة مما يجعلها مهيأة للاستعمال بأخذ مقننات الآلة كقيم إسنادية.

وعموماً في معظم الحالات في حياتنا العامة تكون الأرقام الحقيقية غير ذات مدلول إلا إذا وضعت في صورة نسبة، فمثلاً إذا قلنا أن عدد الطلبة الناجحين في مادة الشبكات هو ٩٠ طالباً فسيتبادر إلى الذهن سؤال آخر، كم عدد الطلاب الذين أدوا الاختبار أو كم عدد الراسبين فيها؟ ولكن إذا قلنا إن نسبة الطلبة الناجحين في مادة الشبكات هي ٧٥٪ فهي أكثر دلالة لأنها في نفس الوقت تعطي فكرة عن عدد الذين لم يجتازوا الاختبار. وأول خطوة لتمثيل مكونات منظومة القوى بنظام الوحدة هي تحديد أو تعريف القيم النسبية.

#### ٤-٤ - ١: تعريف القيم النسبية

في الكثير من النظم يكون تحديد القيم الإسنادية مباشراً ففي مثال نتيجة الاختبار تم أخذ عدد الطلاب الذين أدوا الاختبار كقيمة إسنادية وإذا أردنا أن نحدد معدل النمو السكاني في المملكة أخذنا عدد السكان كقيمة إسنادية. والأمر في منظومة القوى يختلف بعض الشيء وذلك لأن:

- يلزم تحديد قيم إسنادية لأكثر من كمية كهربية وهي القدرة والجهد والتيار والمعاوقة
- هذه الكميات ليست مستقلة عن بعضها ولكن تربطها علاقات يجب أن تؤخذ في الاعتبار

عند تحديد القيم الإسنادية

و لتحديد القيم الإسنادية للكميات الكهربائية الأربعة ( القدرة والجهد والتيار و المعاوقة ) لا يمكن تحديد قيمة إسنادية لكل كمية بطريقة منفصلة عن البقية، ولكن يتم تحديد قيم إسنادية لاثنتين من هذه الكميات ثم حساب القيم الإسنادية للكميتين الأخريين من القيم المحددة. وعادة يتم تحديد القيمة الإسنادية للقدرة والجهد وحساب القيم الإسنادية للتيار والمقاومة. ويتم تحديد القيم الإسنادية لمنظومة القوى كالآتي:

يتم اختيار قيمة إسنادية للقدرة في الأوجه الثلاثة (total three phase power) وسوف نرمز لها بالرمز  $(MVA_b)$  لأنها عادة تكون مقدرة بالميجا فولت أمبير (١ ميجا فولت أمبير = ١٠٠٠ كيلو فولت أمبير = ١٠٠٠٠٠٠ فولت أمبير)، وهذه القيمة تكون ثابتة لجميع أجزاء المنظومة ولا تتأثر بوجود المحولات حيث إن المحولات لا تغير من قيمة القدرة. ويفضل اختيار قيمة إسنادية تتناسب مع مقننات عناصر منظومة القوى وإلا عادة ما تؤخذ  $MVA_b = 100 \text{ MVA}$ ، ويفضل أيضاً وضع هذه القيمة في مستطيل أعلى مخطط منظومة القوى لتوضيحها.



١. تحديد قيمة إسنادية لجهد الخط (line to line voltage) مقدرة بالكيلوفولت في أحد أجزاء المنظومة وسوف نرمز لها بالرمز ( $kV_b$ )، و الفواصل بين أجزاء المنظومة هي المحولات، ولذلك في حالة عدم وجود محولات تعتبر المنظومة جزءاً واحداً، أما كل محول فيضيف جزءاً آخر للمنظومة، فالمنظومة التي تحتوي على محولاً واحد تنقسم إلى جزأين والتي تحتوي على محولين تنقسم إلى ثلاثة أجزاء والتي بها ١١ محول تنقسم إلى ١٢ جزءاً، مع مراعاة أن المحولات المتصلة على التوازي تعد كأنها محول واحد. وبمجرد تحديد القيمة الإسنادية للجهد في أحد أجزاء المنظومة لا يكون لنا الخيار في تحديد القيم الإسنادية للجهد في باقي الأجزاء حيث إنه يتم حسابها من القيمة المحددة ونسب تحويل المحولات، حيث إنه يجب أن تكون القيم الإسنادية للجهد في جميع أجزاء المنظومة متناسبة مع نسبة تحويل المحولات (نسبة جهد الخط في المنظومات ثلاثية الأوجه وبذلك لا يكون لكيفية توصيل جانبي المحول أي تأثير على الحسابات). ويفضل أن توضع القيمة الإسنادية للجهد في كل من أجزاء المنظومة داخل شكل بيضاوي للوضوح وسهولة الوصول إلى القيم الإسنادية عند الحاجة إليها.

٢. تحسب القيمة الإسنادية للتيار ( $I_b$ ) مقدرة بالأمبير في كل من أجزاء المنظومة من القيمة الإسنادية للجهد في هذا الجزء والقيمة الإسنادية للقدرة. من العلاقة التالية:

$$I_b = \frac{MVA_b \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot kV_b} \quad (4.1)$$

٣. يتم حساب القيمة الإسنادية للمعاوقة ( $Z_b$ ) في أي من أجزاء المنظومة مقدرة بالأوم من العلاقة التالية:

$$Z_b = \frac{(kV_b)^2}{MVA_b} \quad (4.2)$$

في كثير من الأحيان تكون لدينا المعاوقة مقدرة بالوحدة على أساس قيم إسنادية معينة ونحتاج إلى تقدير نفس المعاوقة بالوحدة على أساس من قيم إسنادية أخرى، وكثيراً ما نواجه هذه الحالة مع المولدات والمحركات والمحولات والتي تكون معاوقاتها مقدرة بالوحدة باستخدام القدرة المقننة للآلة والجهد المقنن لها كقيم إسنادية و في الغالب يحدث اختلاف بين هذه القيم والقيم الإسنادية المحددة للمنظومة. ولإجراء التعديل على أساس القيم الإسنادية الجديدة نحتاج لحساب المقاومة الحقيقية للآلة مقدرة بالأوم ثم نقسمها على القيمة الإسنادية الجديدة. ولكن هذه العمليات يمكن اختصارها باستخدام العلاقة الآتية:

$$Z_{new} = Z_{old} \times \left( \frac{MVA_{new}}{MVA_{old}} \right) \left( \frac{kV_{old}}{kV_{new}} \right)^2 \quad (4.3)$$

حيث  $Z_{old}$  هي قيمة المعاوقة مقدرة بالوحدة على أساس القيم الإسنادية القديمة

$kV_{old}$  هي القيمة الإسنادية القديمة للجهد والتي عادة ما تكون هي الجهد المقنن للآلة

$MVA_{old}$  هي القيمة الإسنادية القديمة للقدرة والتي عادة ما تكون هي القدرة المقننة للآلة

$Z_{new}$  هي قيمة المعاوقة مقدرة بالوحدة على أساس القيم الإسنادية الجديدة

$kV_{new}$  هي القيمة الإسنادية الجديدة للجهد

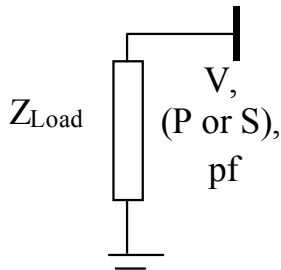
$MVA_{new}$  هي القيمة الإسنادية الجديدة للقدرة

وقد تعمدا كتابة هذه المعادلة بهذا الخط الكبير نظرا لأهميتها القصوى، لأن تمثيل أية منظومة حقيقية بنظام الوحدة لا يمكن أن يتم بدون استعمال هذه المعادلة لتعديل قيم معاوقات الآلات على أساس من القيم الإسنادية للمنظومة بدلا من قيمتها المحسوبة على أساس مقنناتها. وقبل التعامل مع منظومة كاملة وتمثيلها سنوضح أولا كيفية تمثيل عناصر منظومة القوى المختلفة.

#### ٤ - ٤ - ٢: تمثيل عناصر منظومة القوى

سبق أن أشرنا أنه لحساب تيار القصر في منظومة القوى نهمل جميع الأحمال الموجودة قبل حدوث الخطأ ونهمل كذلك المقاومات الموجودة وجميع أفرع التوازي يتم أيضا إهمالها ونفرض أن جهود جميع مصادر تغذية القصر متساوية وتساوي الوحدة. وفي ضوء هذه الفروض سوف نرى الآن كيف يتم تمثيل عناصر منظومة القوى.

#### تمثيل الأحمال



يمثل الحمل بمعاوقة كما هو موضح بشكل (٤ - ٢). ويكفي لتحديد معاوقة الحمل معرفة القدرة التي يستهلكها هذا الحمل عندما يعمل عند جهد معين وكذلك معامل القدرة له. ويتم حساب معاوقة الحمل كالآتي:

شكل ٤ - ٢ تمثيل الحمل

$$Z_L = \frac{V^2}{S} \angle \pm \cos^{-1}(pf) = \frac{V^2 \cdot pf}{P} \angle \pm \cos^{-1}(pf) \quad \Omega$$

حيث (V) هو جهد الحمل بالفولت، S هي القدرة الظاهرية للحمل بالفولت أمبير، و P هي القدرة

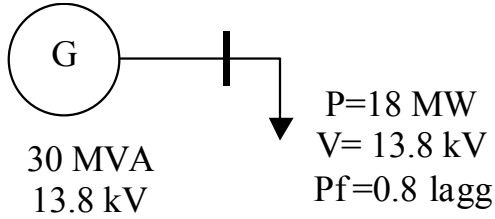
الفعالة للحمل بالوات، و pf معامل القدرة للحمل. وتؤخذ الإشارة الموجبة لزواية المعاوقة إذا كان معامل

القدرة متأخرا و تؤخذ الإشارة السالبة في حالة معامل القدرة المتقدم.

## تمثيل المولد

كما وضعنا سابقا يتم تمثيل المولد كما في شكل (٤ - ١) بمصدر جهد بالتوالي مع معاوقة تساوي مفاعلة الحالة دون العابرة، وكذلك المحركات والمكثفات التزامنية والمحركات الحثية. والآن سنورد مثالا على كيفية تمثيل كل من المولد والحمل بنظام الوحدة.

## مثال (٤ - ١)



شكل (٤ - ٣)

شكل (٤ - ٣) يوضح مخطط منظومة قوى مبسطة مكونة من مولد وحمل بياناتهما كما هو موضح على الرسم فإذا كانت مقاومة المولد ٢ أوم ومفاعلته ١٠ أوم. ارسم مخطط المعاوقة لهذه المنظومة مع تقدير كافة المعاوقات بالوحدة معتبرا القيم الإسنادية للقدرة والجهد مساوية لمقننات المولد

## الحل

القيمة الإسنادية للقدرة وهي ثابتة للمولد والحمل

$$MVA_b = 30 \text{ MVA}$$

القيمة الإسنادية للجهد هي نفسها للمولد والحمل لأنهما غير مفصولين بمحول

$$kV_b = 13.8 \text{ kV}$$

معاوقة الحمل:

$$Z_L = \frac{V^2 \cdot pf}{P} \angle \pm \cos^{-1}(pf) = \frac{(13.8)^2 \times 0.8}{18} \angle \cos^{-1}(0.8) \\ = 8.464 \angle 36.87^\circ = 6.7712 + j5.0784 \Omega$$

القيمة الإسنادية للمعاوقة

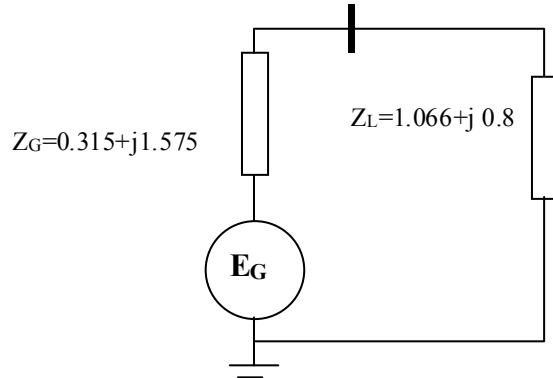
$$Z_b = \frac{(kV_b)^2}{MVA_b} = \frac{(13.8)^2}{30} = 6.348 \Omega$$

وتكون قيم المعاوقات مقدرة بالوحدة مساوية لخارج قسمة المعاوقة مقدرة بالأوم على القيمة الإسنادية للمعاوقة، فتكون:

$$Z_G = \frac{2 + j10}{6.348} = 0.315 + j1.575 \text{ pu}$$

$$Z_L = \frac{6.7712 + j5.0784}{6.348} = 1.0667 + j0.8 \text{ pu}$$

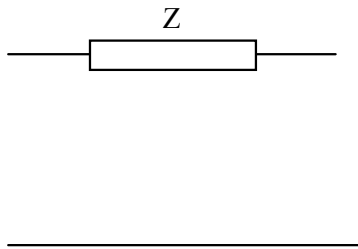
والرمز (pu) يعني وحدة، ومخطط المعاوقة لهذه المنظومة موضح في شكل (٤ - ٤) .



شكل (٤ - ٤) مخطط المعاوقة للمنظومة

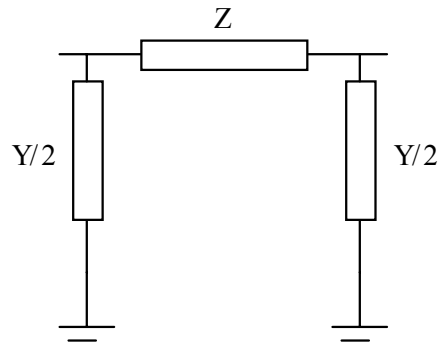
### تمثيل الخطوط

لدراسة أداء المنظومة في الحالة المستقرة يتم تمثيل الخط بدائرة  $\pi$  المكافئة حيث تقسم سعة الخط إلى نصفين يوضع أحدهما في بداية الخط والآخر في نهايته (شكل ٤ - ٥ - أ). وهذا التمثيل بالإضافة إلى أنه يقرب أداء الخط بدقة مقبولة فإنه لا يضيف نقاطا nodes جديدة إلى الدائرة المكافئة لمنظومة القوى كما هو الحال في حالة تمثيله بدائرة T و بالتالي لا يزيد في أعباء الحسابات للمنظومة. وفي دراسة القصر تهمل سعة الخط ويمثل بمعاوقة على التوالي فقط (شكل ٤ - ٥ - ب) وتقدر معاوقة الخط بالوحدة وذلك بقسمة المعاوقة مقدرة بالأوم على القيمة الإسنادية للمعاوقة في دائرة الخط.



(ب) تمثيل خط النقل

لدراسات القصر



(أ) تمثيل خط النقل بدائرة  $\pi$

شكل (٤ - ٥) تمثيل خط النقل

## تمثيل المحول

يتم تمثيل المحول بمعاوقة على التوالي - بإهمال دائرة التوازي الممثلة لتيار اللاحمل - كما في حالة خط النقل وتكون الدائرة المكافئة للمحول مماثلة تماما للدائرة المكافئة لخط النقل (شكل ٤ - ٥ ب) وأيضا يتم تقدير المعاوقة بالوحدة وكما ذكرنا أن قيمة معاوقة المحول لا تعتمد على أي جانب تمت نسبتها مع مراعاة أنه يوجد قيمة إسنادية للجهد لكل جانب من جانبي المحول تختلف عن نظيرتها في الجانب الآخر، وسنوضح هذه المزية لنظام الوحدة بمثال.

## مثال (٤ - ٢)

محول 13.8/1.38 KV قدرته المقننة 30 MVA ، وكانت معاوقة ملفات الجهد العالي  $Z_1 = 1.25 + j 2 \Omega$  ومعاوقة ملفات الجهد المنخفض  $Z_2 = 0.0175 + j 0.02 \Omega$ . احسب المعاوقة الكلية للمحول مقدرة بالوحدة مرة بنسبة المعاوقات إلى ناحية الجهد العالي وثانية بنسبتها إلى الجهد المنخفض و ثالثة بدون نسبة أي ببقاء مقاومة كل جانب مكانها.

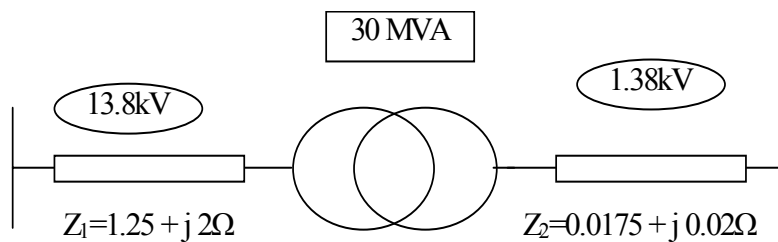
## الحل

شكل (٤ - ٦) يوضح مخطط المحول ومعاوقاته وعلى الرسم أيضا تم وضع القيم الإسنادية للقدرة والجهود على جانبي المحول. وقد تم اختيار القيمة الإسنادية للقدرة مساوية للقدرة المقننة للمحول طالما أنه ليس هناك عناصر أخرى فهي أنسب قيمة. أي إن  $MVA_b = 30 MVA$

والقيمة الإسنادية للجهد في جانب الجهد العالي أخذت مساوية لجهد المحول أيضا.  $KV_{b1} = 13.8 kV$ . أما القيمة الإسنادية للجهد في جانب الجهد المنخفض فتم حسابها باستخدام نسبة جهود المحول كالآتي:

$$KV_{b2} = KV_{b1} \times \frac{V_2}{V_1} = 13.8 \times \frac{1.38}{13.8} = 1.38 kV$$

والقيمة الإسنادية للقدرة موضوعة داخل مستطيل وهي ثابتة لجانبي المحول، في حين أن القيم الإسنادية للجهد لكل جانب موضوعة داخل شكل بيضاوي كل في الجانب الخاص بها.



شكل (٤ - ٦) مخطط المحول ومعاوقاته

والآن لنحسب القيم الإسنادية للمعاوقة على جانبي المحول بالنسبة لجانب الجهد العالي:

$$Z_{b1} = \frac{(kV_{b1})^2}{MVA_b} = \frac{(13.8)^2}{30} = 6.348 \Omega$$

وبالنسبة لجانب الجهد المنخفض:

$$Z_{b2} = \frac{(kV_{b2})^2}{MVA_b} = \frac{(1.38)^2}{30} = 0.06348 \Omega$$

أ: نسبة المعاوقات إلى جانب الجهد العالي

$$\begin{aligned} Z_{eq} &= Z_1 + Z'_2 = Z_1 + Z_2 \times \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^2 \\ &= 1.25 + j2 + (0.0175 + j0.02) \left( \frac{13.8}{1.38} \right)^2 = 1.25 + j2 + 1.75 + j2 = 3 + j4 \Omega \end{aligned}$$

وتكون معاوقة المحول مقدرة بالوحدة ( $Z_{pu}$ ):

$$Z_{pu} = \frac{Z_{eq}}{Z_{b1}} = \frac{3 + j4}{6.348} = 0.4726 + j0.63 \text{ pu}$$

ب : نسبة المعاوقات إلى جانب الجهد المنخفض

$$\begin{aligned} Z_{eq} &= Z_2 + Z'_1 = Z_2 + Z_1 \times \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^2 \\ &= 0.0175 + j0.02 + (1.25 + j2) \left( \frac{1.38}{13.8} \right)^2 = 0.0175 + j0.02 + 1.25 + j2 = 0.03 + j0.04 \Omega \end{aligned}$$

وتكون معاوقة المحول مقدرة بالوحدة ( $Z_{pu}$ ):

$$Z_{pu} = \frac{Z_{eq}}{Z_{b2}} = \frac{0.03 + j0.04}{0.06348} = 0.4726 + j0.63 \text{ pu}$$

وواضح أنها نفس القيمة التي حصلنا عليها في (أ). والآن سنقوم بحساب معاوقة كل جانب

بالوحدة ثم نوجد المعاوقة المكافئة للمحول مقدرة بالوحدة

ج : بدون نسبة المعاوقات

نحسب معاوقة الجهد العالي بالوحدة

$$Z_{1pu} = \frac{Z_1}{Z_{b1}} = \frac{1.25 + j2}{6.348} = 0.1969 + j0.315 \text{ pu}$$

نحسب معاوقة الجهد المنخفض بالوحدة

$$Z_{2pu} = \frac{Z_2}{Z_{b2}} = \frac{0.0175 + j0.02}{0.06348} = 0.2757 + j0.315 \text{ pu}$$

وتكون المعاوقة الكلية للمحول مقدرة بالوحدة :

$$\begin{aligned} Z_{pu} &= Z_{1pu} + Z_{2pu} = 0.1969 + j0.315 \text{ pu} + (0.2757 + j0.315) \\ &= 0.4726 + j0.63 \text{ pu} \end{aligned}$$

وهي نفس القيمة التي حصلنا عليها في الحالتين السابقتين. ولعله من الواضح الآن أن تقدير المعاوقات بالوحدة لا يتأثر بوجود المحولات.

#### ٤- ٥ : أنواع القصر الكهربائي:

أنواع دوائر القصر التي يمكن أن تحدث في منظومة القوى هي:

##### أ. القصر المتماثل ثلاثي الأوجه symmetrical three phase fault

وفيه تكون الأوجه الثلاثة مقصورة معا كما في شكل (٤- ٧- أ) ولذلك تكون التيارات في الأوجه الثلاثة متماثلة ، ويستوي في هذه الحالة اتصال الأوجه الثلاثة بالأرض وعدم اتصالهم بها. وهذا النوع هو الأقل حدوثا ولكنه أشد دوائر القصر خطرا على منظومة القوى حيث يكون تيار القصر أكبر منه في باقي حالات القصر ولذلك يتم استخدام تيار القصر في هذه الحالة لتحديد مقننات القواطع.

##### ب. القصر خط – أرض single line to ground fault

وفي هذا النوع يحدث اتصال بين وجه والأرض كما في شكل (٤- ٧- ب) وهو الأكثر حدوثا في منظومات القوى وأكثر ما يحدث في خطوط النقل، والتيار الناتج عن هذا القصر يكون هو الأقل في معظم الحالات، ويكون التيار في الوجه الذي حدث عليه القصر كبيراً في حين يكون التيار في الوجهين الآخرين صفرًا ولذلك تكون المنظومة في حالة عدم اتزان unbalance كبير في الجهد وفي التيار.

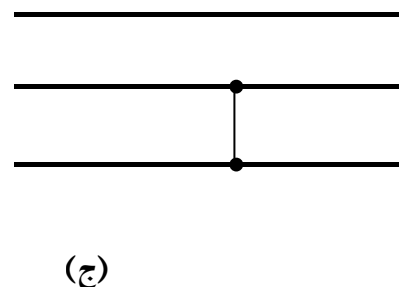
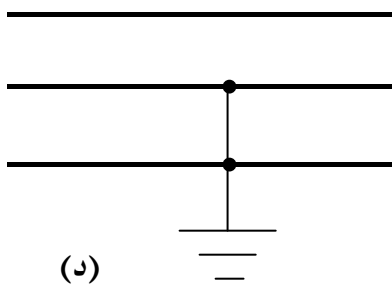
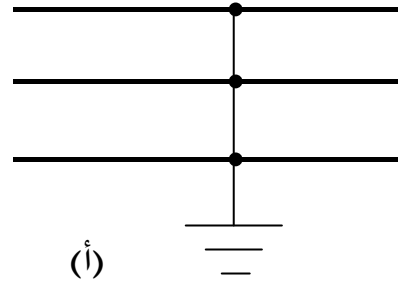
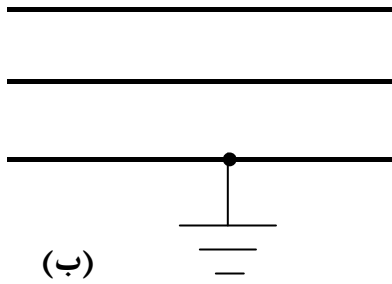
##### ج. القصر خط – خط line to line fault

وهذا النوع موضح في شكل (٤- ٧- ج) حيث يحدث اتصال بين خطين بعيدا عن الأرض وهو أيضا خطأ غير متماثل لأن الأوجه الثلاثة ليست معرضة لنفس الظروف، فهنا نجد أن خطين اتصلا

فأصبح جهد كل منهما مساوياً لجهد الآخر و التيار في أحدهما مساو ومعاكس للتيار في الآخر في حين أن الخط السليم تياره صفر وجهده مختلف عن الآخرين .

#### د. القصر خطين – أرض double line to ground fault

وكما هو موضح في شكل (٤ - ٧ - د) اتصال بين خطين مع الأرض وهو أيضاً خطأ غير متماثل لنفس السبب وهو أن الأوجه الثلاثة ليست معرضة لنفس الظروف، وهنا فإن جهد الخطين المتصلين بالأرض يصبح صفراً ويكون تيار القصر المار إلى الأرض هو مجموع تيار القصر في كل من الخطين.



شكل (٤ - ٧) أنواع دوائر القصر على منظومة القوى

وكما أوضحنا أنه فيما عدا الخطأ ثلاثي الأوجه فجميع الأخطاء الباقية غير متماثلة و عدم التماثل ليس نتيجة لعدم تماثل التيارات والجهود فحسب ولكن لعدم تماثل الأوجه الثلاثة للشبكة نفسها، وبالتالي لا يمكن تحليل هذه الأخطاء بإجراء الحسابات لوجه واحد كما نفعل في حسابات الأداء في الظروف العادية أو لحساب تيار القصر في حالة الخطأ المتماثل، بل يلزم هنا إيجاد دوائر التتابع الموجب



والسالب والصفري للشبكة وتوصيلها معا بطريقة تعتمد على نوع الخطأ للحصول على المركبات المتماثلة لتيار القصر. وفي هذا المقرر سنكتفي بحساب تيار القصر المتماثل ثلاثي الأوجه فقط ولن نتعرض لحساب تيار القصر غير المتماثل.

#### ٤- ٦ : حساب تيار القصر لخطأ متماثل ثلاثي الأوجه

لحساب تيار القصر لخطأ متماثل ثلاثي الأوجه عند نقطة معينة في منظومة القوى يكفي تمثيل وجه واحد فقط وإجراء الحسابات له وما يحدث في هذا الوجه هو نفسه ما يحدث في الوجهين الآخرين ولكن مع إزاحة في زاوية الطور مقدارها  $120^\circ$  درجة بين كل وجه والآخر. وإذا بدأنا بمخطط الخط الواحد لمنظومة القوى فإن خطوات حساب تيار القصر تتمثل في الآتي:

١. تحديد قيمة إسنادية للقدرة للمنظومة وقيمة إسنادية في أحد أجزاء المنظومة وحساب القيم الإسنادية للجهد في باقي أجزاء المنظومة باستخدام نسب تحويل المحولات، ومن ثم تقدير قيم معاوقات عناصر المنظومة بالوحدة على أساس هذه القيم الإسنادية.

٢. نرسم مخطط المعاوقة للمنظومة في حالة حدوث الخطأ، ولتنفيذ ذلك بسهولة، نرسم خطاً أفقياً يمثل الأرض (G) وخطاً آخر مواز له ويبعد عنه مسافة كافية يمثل النقطة التي حدث عندها الخطأ (F).

٣. نبدأ بتوصيل الدائرة المكافئة لمصدر من مصادر تغذية الخطأ بخط الأرض ثم الدوائر المكافئة للعناصر المتصلة بهذا المصدر وتشكل مساراً متصلاً حتى نقطة الخطأ ونكرر هذا لجميع المسارات الممكنة لتغذية الخطأ عن طريق هذا المصدر.

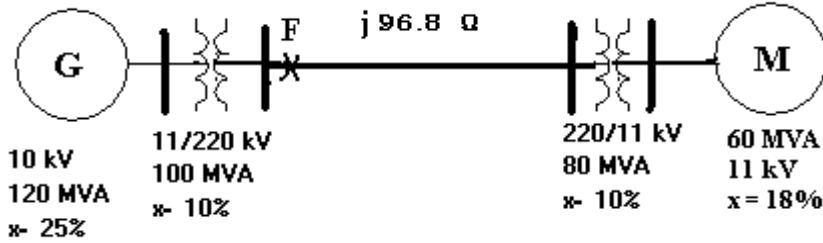
٤. نكرر الخطوة ٣ لجميع مصادر تغذية تيار القصر وبعد الانتهاء نبدأ في اختصار الدائرة الكهربائية الناتجة، حيث نبدأ بتوصيل القوى الدافعة لجميع المصادر على التوازي والاستعاضة عنها بقوة دافعة كهربية وحيدة تساوي الوحدة، ثم نبدأ في اختصار المعاوقات إلى معاوقة واحدة.

٥. بعد اختصار المعاوقات تصبح الدائرة عبارة عن مصدر جهد واحد بالتوالي مع معاوقة واحدة حيث تعرف هذه الدائرة بدائرة التتابع الموجب، ويكون تيار الخطأ عبارة عن خارج قسمة جهد المصدر على قيمة المعاوقة. ولنرى كيف يتم ذلك بمثال على منظومة قوى.

مثال (٤ - ٣):

لنظومة القوى الموضحة بالشكل التالي احسب تيار القصر إذا حدث خطأ متماثل ثلاثي الأوجه عند النقطة F في بداية خط النقل من ناحية المولد بفرض أن القوة الدافعة الكهربائية لكل من المولد والمحرك قبل حدوث الخطأ كانت مساوية  $10kV$ ، بيانات جميع مكونات المنظومة موجودة على الرسم.

اعتبر القيمة الإسنادية في دائرة المولد هي 100MVA للقدرة، و 10kV للجهد. احسب توزيع تيار القصر في كل جزء من أجزاء المنظومة مقدرا بالوحدة وبالأمتير.



شكل (٤ - ٨ - أ) بيانات منظومة القوى

### الحل

نظرا للاختلاف في مقننات مكونات منظومة القوى فإنه سيلزم تعديل قيم المعاوقات على أساس القيم الإسنادية المحددة.

فالقيمة الإسنادية للقدرة هي  $MVA_b = 100 \text{ MVA}$  وقد أعدنا رسم مخطط المنظومة ووضع القيمة الإسنادية في مستطيل أعلى مخطط المنظومة وهذه هي القيمة الإسنادية للقدرة لكل أجزاء المنظومة وليس لدائرة المولد فقط.

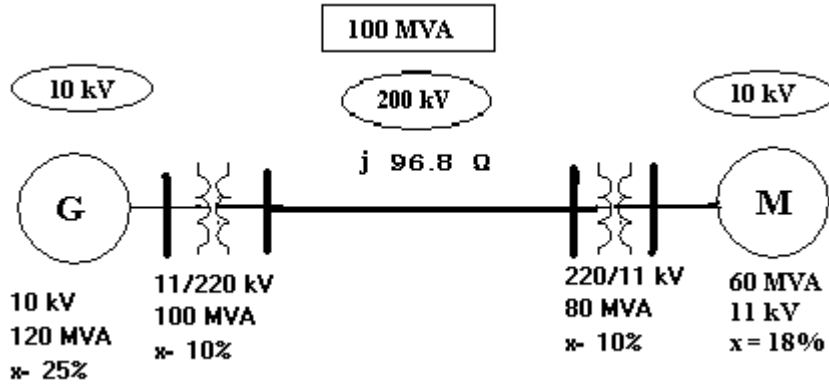
والقيمة الإسنادية للجهد في دائرة خط النقل = القيمة الإسنادية للجهد في دائرة المولد \* نسبة تحويل المحول الأول

$$kV_b (\text{خط النقل في دائرة}) = 10 \times \frac{220}{11} = 200 \text{ kV}$$

والقيمة الإسنادية للجهد في دائرة المحرك = القيمة الإسنادية للجهد في دائرة خط النقل \* نسبة تحويل المحول الثاني

$$kV_b (\text{المحرك في دائرة}) = 200 \times \frac{11}{220} = 10 \text{ kV}$$

وهذه القيم موضحة على مخطط المنظومة داخل شكل بيضاوي أعلى كل جزء من شكل .



شكل (٤ - ٨ - ب) البيانات المعدلة لمنظومة القوى

وبالنظر إلى الشكل ومقارنة القيم الإسنادية بمقننات أجزاء المنظومة نجد اختلافا مما يستوجب

تعديل قيم معاوقات عناصر المنظومة طبقا للقيم الإسنادية الجديدة.

معاوقة المولد:

$$Z_{G_{new}} = Z_{G_{old}} \times \left( \frac{MVA_{new}}{MVA_{old}} \right) \left( \frac{kV_{old}}{kV_{new}} \right)^2 = j 0.25 \times \frac{100}{120} \times \left( \frac{10}{10} \right)^2$$

$$\therefore Z_G = j 0.2083 \text{ pu}$$

معاوقة المحول الأول:

للمحول جانبيين لكل منهما جهده المقنن ويقع كل منهما في دائرة لها قيمة إسنادية للجهد تختلف عن الأخرى، فيجب مراعاة أننا إذا اعتبرنا  $kV_{old}$  هي الجهد المنخفض للمحول كان لزاما أن نعتبر القيمة الإسنادية ناحية الجهد المنخفض على أنها  $kV_{new}$  وإلا حدث خطأ كبير في الحساب، فلهذا المحول سنعمل ناحية الجهد المنخفض وللمحول الثاني سنعمل ناحية الجهد العالي للتوضيح فقط مع التأكيد على أن لنا مطلق الحرية في اختيار أي من جانبي المحول.

$$Z_{T1_{new}} = Z_{T1_{old}} \times \left( \frac{MVA_{new}}{MVA_{old}} \right) \left( \frac{kV_{old}}{kV_{new}} \right)^2 = j 0.1 \times \frac{100}{100} \times \left( \frac{11}{10} \right)^2$$

$$\therefore Z_{T1} = j 0.121 \text{ pu}$$

خط النقل:

حيث إن معاوقة خط النقل معطاة بالأوم سيلزم حساب القيمة الإسنادية للمعاوقة في دائرة خط النقل أولا

$$Z_b = \frac{(kV_b)^2}{MVA_b} = \frac{(200)^2}{100} = 400 \Omega$$

وتكون معاوقة خط النقل مقدرة بالوحدة

$$Z_{TLpu} = \frac{Z_{TL\Omega}}{Z_b} = \frac{j96.8}{400} = j0.242 \text{ pu}$$

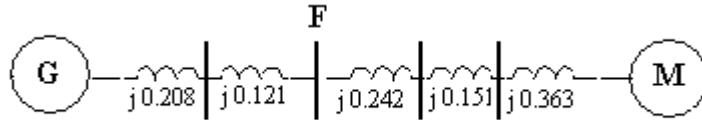
بالنسبة للمحول الثاني:

$$Z_{new} = Z_{old} \times \left( \frac{MVA_{new}}{MVA_{old}} \right) \left( \frac{kV_{old}}{kV_{new}} \right)^2 = j0.1 \times \frac{100}{80} \times \left( \frac{220}{200} \right)^2 = j0.1513 \text{ pu}$$

معاوقة المحرك :

$$Z_{new} = Z_{old} \times \left( \frac{MVA_{new}}{MVA_{old}} \right) \left( \frac{kV_{old}}{kV_{new}} \right)^2 = j0.18 \times \frac{100}{60} \times \left( \frac{11}{10} \right)^2 = j0.363 \text{ pu}$$

والشكل التالي يوضح مخطط المعاوقة للمنظومة بعد تعديل قيم المعاوقات على أساس القيم الإسنادية الجديدة

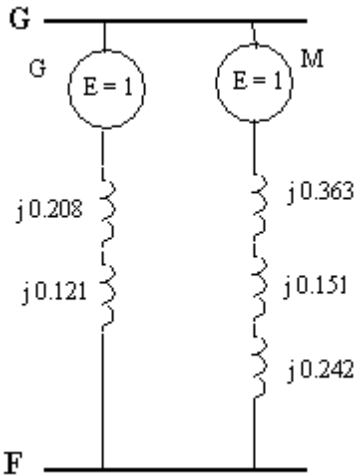


شكل (٤ - ٨ ج) البيانات النهائية لمنظومة القوى

ورغم أن هذه المنظومة بسيطة ويمكن إيجاد تيار الخطأ بطريقة مباشرة بقسمة القوة الدافعة للمولد على المعاوقة بينه وبين نقطة الخطأ وكذلك بالنسبة للمحرك ولكن سوف نجري الخطوات المتبعة بصفة عامة سواء كانت المنظومة بسيطة أم لا لتوضيح هذه الخطوات.

ولحساب تيار القصر عند النقطة F:

قيمة الجهد المحددة لكل من المولد والمحرك هي 10kV ويجب تحويلها إلى قيمة بالوحدة لأن جميع الكميات الكهربائية يجب أن تكون مقدرة بالوحدة



$$E_{Gpu} = \frac{E_{Gkv}}{kV_b} = \frac{10}{10} = 1pu,$$

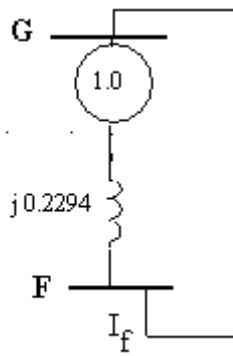
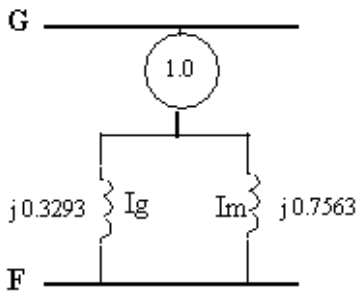
$$E_{Mpu} = \frac{E_{Mkv}}{kV_b} = \frac{10}{10} = 1pu$$

نرسم الدائرة المكافئة لمنظومة القوى في حالة حدوث الخطأ

- كما هو موضح بالرسم المقابل، رسمنا خطأ يمثل الأرض G وآخر يمثل نقطة الخطأ F

- مصادر تغذية الخطأ هي المولد والمحرك، ولذلك بدأنا بالمولد ورسمنا مسارات تغذية الخطأ منه (في هذه الحالة مسار واحد فقط الذي يضم المولد والمحول الأول) وفعلنا نفس الشيء للمحرك وله أيضا مسار واحد يشمل المحرك والمحول الثاني وخط

## النقل



نبسط هذه الدائرة المكافئة و أولى خطوات التبسيط هو الاستعاضة عن جميع مصادر الجهد في الدائرة بمصدر وحيد كما هو موضح بالرسم المقابل، وكذلك نوجد المقاومة المكافئة لكل فرع من أفرع الدائرة، ونصل إلى معاوقتين على التوازي تكون المعاوقة المكافئة لهما:

$$Z_{eq} = \frac{j0.3293 \times j0.7563}{j0.3293 + j0.7563} = j0.2294 \text{ pu}$$

وبهذا نكون حصلنا على دائرة التتابع الموجب لمنظومة القوى لخطأ عند F في أبسط صورها أي مصدر جهد مع معاوقة على التوالي وقد اصطلح على تسمية المعاوقة المكافئة لدائرة التتابع الموجب  $X_1$ ، وذلك لأن المقاومة مهملة وحيث إن الخطأ حصل عند F تكون المقاومة بينها وبين الأرض مساوية للصفر ولذلك نكمل الدائرة بتوصيل نقطة الخطأ بالأرض.

شكل (٤ - ٩) الدائرة المكافئة

لمنظومة القوى

حساب تيار القصر الكلي ( $I_f$ )

من دائرة التتابع الموجب التي حصلنا عليها يكون:

$$I_f = \frac{E}{X_1} = \frac{1.0}{0.2294} = 4.359 \text{ pu}$$

و لأن الخطأ حدث في دائرة خط النقل، فإن القيمة الحقيقية لتيار القصر تساوي حاصل ضرب قيمة تيار القصر بالوحدة و القيمة الإسنادية للتيار في دائرة خط النقل.

ولذلك نحسب القيمة الإسنادية للتيار في دائرة خط النقل

$$I_b = \frac{MVA_b \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot kV_b} = \frac{100 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 200} = 288.675 \text{ A}$$

القيمة الحقيقية لتيار القصر

$$I_f = I_{fpu} \times I_b = 4.359 \times 288.675$$

$$I_f = 1258.33 \text{ A}$$

ولإيجاد تيار القصر في كل من المولد والمحرك نستخدم قانون تجزيء التيار بين معاوقتين على التوازي.

تيار المولد:

$$I_g = 4.359 \frac{j0.7563}{j0.7563 + j0.3293} = 3.037 \text{ pu}$$

القيمة الإسنادية للتيار في دائرة المولد

$$I_b = \frac{MVA_b \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot kV_b} = \frac{100 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 10} = 5773.5 \text{ A}$$

القيمة الحقيقية لتيار القصر في المولد

$$I_g = I_{g_{pu}} \times I_b = 3.037 \times 5773.5$$

$$I_g = 17534 \text{ A}$$

تيار المحرك:

$$I_m = 4.359 \frac{j0.3293}{j0.7563 + j0.3293} = 1.322 \text{ pu}$$

القيمة الإسنادية للتيار في دائرة المحرك

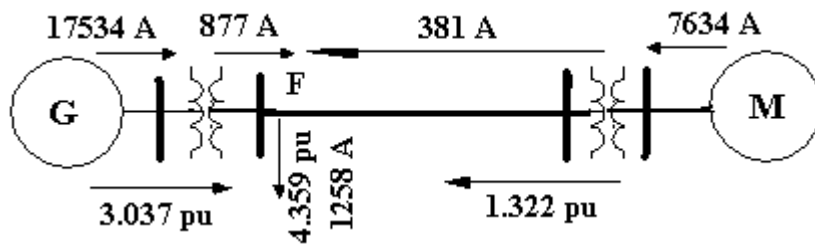
$$I_b = \frac{MVA_b \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot kV_b} = \frac{100 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 10} = 5773.5 \text{ A}$$

القيمة الحقيقية لتيار القصر في المحرك

$$I_m = I_{m_{pu}} \times I_b = 1.322 \times 5773.5$$

$$I_m = 7634 \text{ A}$$

والشكل التالي يبين مخطط المنظومة موقعا عليه توزيع تيارات القصر في أجزاء المنظومة وقيم التيارات مقدرة بكل من الوحدة والأمبير



شكل (٤- ١٠) تيارات القصر في أجزاء منظومة القوى

#### ٤- ٧ : حساب مقنن القصر لخطأ متماثل ثلاثي الأوجه

يتم حساب مقننات القصر لتحديد ساعات القطع المطلوبة للقواطع التي ستقوم بحماية منظومة القوى ضد أخطار القصر، ولأن تيار القصر يكون أكبر ما يمكن في حالة الخطأ المتماثل ثلاثي الأوجه فإنه يتم حساب سعة القصر على أساس تيار القصر لخطأ متماثل ثلاثي الأوجه. ولأن القواطع تكون متصلة على القضبان العمومية للمحطات التي تحتوي هذه القواطع فإن سعة القاطع تحسب على أساس

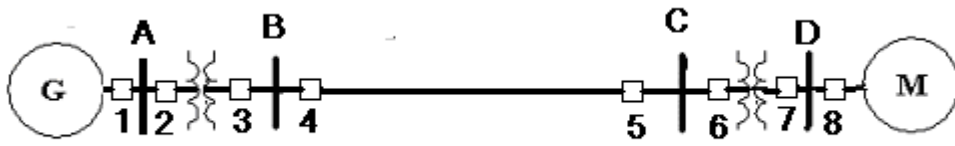
مقنن القصر لخطاً ثلاثي الأوجه على القضبان العمومية المتصل عليها القاطع. ويتم حساب مقنن القصر من المعادلة الآتية:

$$MVA_{sc} = \sqrt{3} \cdot kV_r \times I_{sc} \times 10^{-3}$$

حيث :  $kV_r$  هو الجهد المقنن للقضبان العمومية المتصل عليها القاطع مقدراً بالكيلو فولت .

$I_{sc}$  هو تيار القصر لخطاً متماثل ثلاثي الأوجه على نفس القضبان العمومية مقدراً بالأمبير .

$MVA_{sc}$  هي مقنن القصر عند القضبان .



شكل (٤ - ١١) منظومة القوى مع تحديد القواطع

ففي الشكل (٤ - ١١) يمثل نفس النظام الموجود في شكل (٤ - ١٠) مع تحديد القواطع ، ولحساب مقنن القصر للقواطع 1 , 2 نحسب تيار القصر لخطاً متماثل عند القضبان العمومية A وكذلك للقواطع 3 , 4 نحسب تيار القصر لخطاً متماثل عند القضبان العمومية B وللقواطع 5 , 6 نحسب تيار القصر لخطاً متماثل عند القضبان العمومية C وللقواطع 7 , 8 نحسب تيار القصر لخطاً متماثل عند القضبان العمومية D.

#### مثال (٤ - ٤)

احسب مقنن القصر للقواطع 3,4 في شكل (٤ - ١١). استخدم نتائج حسابات تيار القصر في المثال السابق.

الحل:

بمقارنة بسيطة للشكلين (٤ - ١١) ، (٤ - ١٠) نستنتج أن نقطة F في شكل (٤ - ١٠) يمكن اعتبارها هي نفسها القضبان العمومية B وذلك لأننا فرضنا أن الخطأ وقع في بداية خط النقل من ناحية المولد وبداية خط النقل هي نفسها القضبان العمومية المتصل بها خط النقل ألا وهي B أي أن قيمة تيار القصر عند القضبان B هي نفسها قيمة تيار القصر عند النقطة F في المثال السابق.

ويكون لدينا:

$$I_{sc} = 1258 \text{ A}$$

يساوي الجهد المقنن للمحول المتصل بهذه القضبان ( $kV_r = 220 \text{ kV}$ )

وتكون سعة القصر:

$$MVA_{sc} = \sqrt{3} \cdot kV_r \times I_{sc} \times 10^{-3} = \sqrt{3} \times 220 \times 1258 \times 10^{-3}$$

$$\therefore MVA_{sc} = 479.36 \text{ MVA}$$

وبالطبع لن تجد قاطعاً له سعة قطع تساوي القيمة المحسوبة بالضبط وذلك لأنه يتم تصنيع هذه القواطع بسعات قياسية وقد يكون أقرب سعة قياسية لمقنن القصر الذي تم حسابه هو 500MVA ولذلك عند اختيار سعة القاطع نأخذ هذه القيمة القياسية وليست المحسوبة.

#### ٤ - ٨ : تأثير القصر وزمن الفصل على الشبكة:

لكي نتصور مدى تأثير تيار القصر على الشبكة هناك عدة نقاط بسيطة يجب أن نستحضرها:

١. تيار القصر أكبر من تيار التشغيل العادي والذي تم تصميم و تركيب عناصر الشبكة على

تحمله بعشرات المرات

٢. الطاقة الحرارية الناتجة عن التيار الكهربائي تتناسب مع حاصل ضرب مربع القيمة الفعالة لشدة

التيار والزمن

٣. القوة الكهرومغناطيسية الناتجة بين موصلات تحمل تيار تتناسب مع حاصل ضرب قيم التيارات

في الموصلات.

ومن هذه النقاط الثلاثة يمكن تحديد تأثير تيار القصر في الآتي:

- التسخين الزائد لعناصر منظومات القوى التي يمر بها تيار القصر كالمحولات والمولدات والكابلات والخطوط والذي يصل إلى مئات المرات مقدار التسخين الناتج في حالات التشغيل العادي والذي يؤدي حتما إلى تدمير عوازل الكابلات والمحولات والمولدات وإلى انصهار الموصلات نفسها إذا استمر القصر لزمن طويل.

- القوى الكهرومغناطيسية بين الموصلات تكون أضعافا كثيرة للقيمة التي تم تصميم هذه الموصلات لتحملها وخصوصا القضبان العمومية وأدوات تثبيتها تكون أكبر تأثرا بهذه القوى.

بالإضافة إلى هذه التأثيرات يحدث شيء آخر ويكون خطيرا جدا إذا تأخر زمن الفصل، فمن المعلوم أنه أثناء القصر تنخفض الجهود في الشبكة بدرجة كبيرة مما يؤدي إلى أن تكون القدرة الكهربائية المنقولة عبر الشبكة أقل بكثير من القدرة الميكانيكية الداخلة للمولدات. في مثل هذه الحالة تبدأ سرعة المولد الواقع تحت تأثير القصر في التسارع نتيجة لأن القدرة الميكانيكية الداخلة له أكبر من الخارجة و شيئا فشيئا إن لم يتم فصل الخطأ قبل زمن يعرف بزمن الفصل الحرج يخرج المولد عن العمل بالتزامن مع المولدات الأخرى وتستمر سرعته في الزيادة بشكل كبير إلى أن يتم فصله بواسطة أجهزة الحماية ضد



زيادة السرعة. وبعد خروج المولد الأول من الخدمة وفي حالة استمرار القصر تتداعى المولدات الباقية واحدا تلو الآخر حتى يحدث إظلام كامل ويلزم استعادة الشبكة من جديد.

#### ٤- ٩ : الممانعات الصناعية

كما شرحنا باختصار في الجزء السابق الآثار التدميرية للقصر إذا تأخر فصله، ورأينا أن هذه الآثار تحدث كنتيجة مباشرة لتيارات القصر الكبيرة جدا، وتكون تيارات القصر كبيرة نظرا لكون ممانعة الشبكة في حالة القصر تكون صغيرة، ولذلك يلزم أحيانا إضافة ممانعات صناعية للحد من تيارات القصر. وأشهر هذه الممانعات هي الممانعات التي تضاف بين نقطة التعادل للمولد والأرض وكذلك تلك التي تضاف إلى خطوط النقل إما بالتوازي أو بالتوالي.

#### ٤- ٩- ١ : ممانعات المولد

تضاف الممانعات بين نقطة التعادل والمولد للحد من تيار القصر وخصوصا تيارات القصر الأرضية. وذلك لأنه في حالة المولد تكون ممانعة التتابع الصفري أصغر من ممانعة التتابع الموجب ولذلك فإنه إذا حدث خطأ أرضي على أطراف المولد يكون تيار القصر أكبر منه في حالة القصر المتماثل ولذلك تضاف الممانعة للحد من هذا التيار، وهذه الممانعة لا تؤثر بحال في مقدار تيار القصر للخطأ المتماثل وإنما تقلل تيارات القصر للأخطاء المتصلة بالأرض. وهذه الممانعة قد تكون مفاعلة حثية أو مقاومة.

#### ٤- ٩- ٢ : ممانعات المغذيات

تضاف الممانعات للمغذيات بعدة طرق ولأسباب مختلفة. فتضاف مفاعلات سعوية على التوازي لتحسين الجهد وتعويض القدرة غير الفعالة، وقد تضاف نفس المفاعلات السعوية على التوالي لتعويض ممانعة المغذي وتحسين أدائه ولزيادة قدرة الشبكة على نقل القدرة (زيادة حدود الاستقرار لمنظومة القوي). وقد تضاف مقاومات أو مفاعلات حثية للتأريض بهدف الحد من تيار القصر. وكذلك يمكن استخدام تجميعات من المكثفات والملفات بغرض تعويض الحمل load compensation والهدف منه جعل الأحمال على الأوجه الثلاثة متزنة، أو ملف مع مكثف مع نظام للتحكم في سريان القدرة عبر الخطوط والمغذيات في الشبكة.

فيما يعرف بأنظمة النقل المرنة للتيار المتغير. Flexible AC Transmission Systems FACTS.