آلات التيار المتردد

المولدات التزامنية ثلاثية الأوجه

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

الجدارة: الإلمام الشامل بتركيب وأساسيات تشغيل وأداء المولدات التزامنية ثلاثية الأوجه

الأهداف: عندما يكمل المتدرب هذه الوحدة يكون بإذن الله قد تمكن من تحقيق الأهداف والمهارات التالية:

الإلمام بأنواع وتركيب الآلات التزامنية.

١. الإلمام بنظرية عمل المولدات التزامنية.
٢. الإلمام بكيفية ضبط جهد وتردد المولدات التزامنية.
٣. إجراء الحسابات الفنية المتعلقة بتشغيل المولدات التزامنية ثلاثية الأوجه.
٤. إجراء الاختبارات الروتينية على المولدات التزامنية ثلاثية الأوجه.
٥. تحديد عناصر الدائرة المكافئة للمولدات التزامنية.
٦. حساب القدرة والعزم والكفاءة للمولدات التزامنية.
٧. حساب معامل تنظيم الجهد للمولدات التزامنية.
٨. إجراء عملية ربط للمولد التزامني في الشبكة العامة.
٩. استنتاج وفهم المنحنيات المميزة لهذه المولدات.
١٠. رسم المخطط الاتجاهي وكيفية استخدامه للتحكم في هذه المولدات.

الوقت المتوقع للتدريب: 20 ساعة

الوسائل المساعدة: التجارب العملية رقم ٨ و رقم ٩ في الوحدة التدريبية الرابعة من هذه الحقيبة

متطلبات الجدارة: يجب أن يكون المتدرب قد أتم دراسة الوحدة التدريبية الأولى في هذه الحقيبة (المحركات الحثية ثلاثية الأوجه)

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

هـذه الوحـدة مقسـمة إلى فصـلين، كـل فصـل يخـتص بموضـوع أو أكثـر حـول المولـدات التزامنية ثلاثية الأوجه وهي:

الفصل الأول : التركيب ونظرية العمل و الدائرة المكافئة و المنحنيات المميزة

الفصل الثاني: القدرة والعزم و التشغيل المتوازي

وفي نهاية الفصل الثاني أدرج عدد من الأمثلة الحسابية المحلولة حلاً مفصلاً بالإضافة إلى مجموعة من الأسئلة والتمارين التي أدرجت في نهاية كل فصل والتي تم اختيارها بعناية لتكن بمثابة قياس لفهم و استيعاب المتدرب لهذا الفصل.

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

الوحدة الثانية : المولدات التزامنية ثلاثية الأوجه

الفصل الأول : التركيب و نظرية العمل و الدائرة المكافئة و المنحنيات المُمَيِّزة

تمهيد

أن أكثر من ٩٨٪ من الطاقة الكهربائية المنتجة في العالم يتم توليدها باستخدام الآلة التزامنية فهي الأكثر استخداماً لغرض تحويل الطاقة الميكانيكية إلى كهربائية ، والآلة التزامنية كما أنها تستخدم كمولد تزامني تستخدم أيضاً كمحرك تزامني «كما سيأتي في الوحدة القادمة » وقد اكتسبت هذه التسمية (التزامنية) بسبب التزامن أو التوافق التام بين سرعة دوران المجال المغناطيسي و العضو الدوار ولذلك تسمى بالآلة التزامنية أو التوافقية.

تركيب الآلة التزامنية ثلاثية الأوجه

كأي آلة كهربائية تتركب الآلة التزامنية Synchronous Machine من عضوين : عضو ثابت وعضو دوار أحدهما يحمل ملفات إنتاج الطاقة الكهربائية ويسمى المنتج Armature والآخر يحمل ملفات المجال المغناطيسي ، ويفضل أن تكون ملفات إنتاج الطاقة الكهربائية مركبة على العضو الثابت بينما تكون ملفات المجال المغناطيسي مركبة على العضو الدوار وذلك لعدة أسباب أهمها ما يلي:

١- التيار المسحوب من الآلة كبير لذا يفضل أن يؤخذ مباشرةً وليس عن طريق حلقات انزلاق
٢- التخلص من حلقات الانزلاق أو تقليلها إلى (٢) بدلاً من (٦) حلقات
٣- سهولة تبريد ملفات إنتاج الطاقة الكهربائية عندما تكون ثابتة
٤- حماية ملفات إنتاج الطاقة الكهربائية من قوة الطرد المركزية بسبب وزنها الكبير

لذا فإننا في دراستنا لهذه الآلة سنختار العضو الثابت لحمل ملفات إنتاج الطاقة الكهربائية بينما ملفات المجال المغناطيسي ستكون من نصيب العضو الدوار.

العضو الثابت:

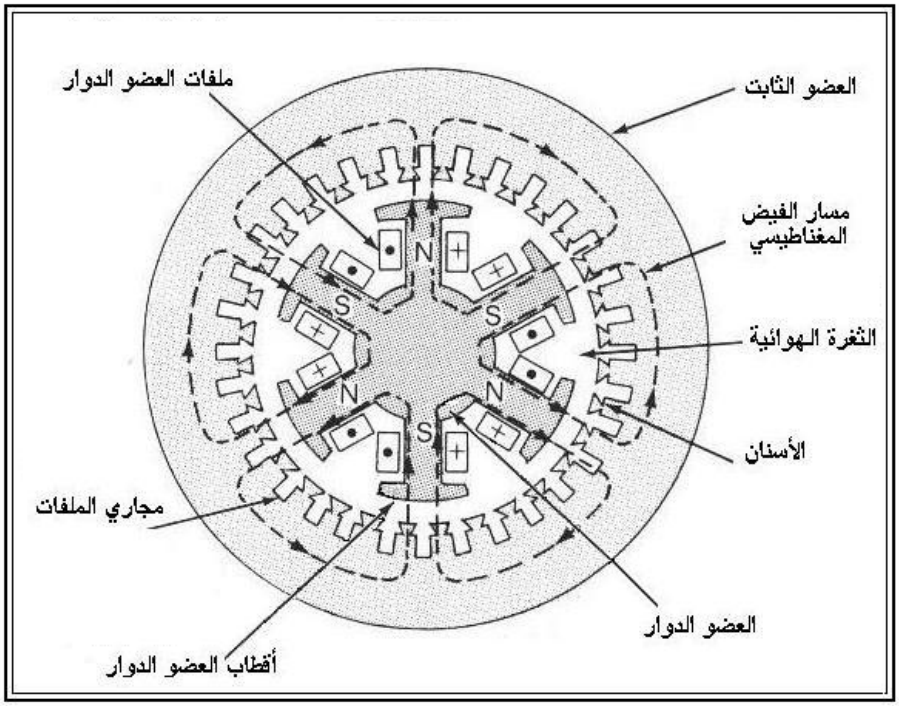
العضو الثابت يكون مشابهاً تماماً للعضو الثابت في المحرك الحثي ثلاثي الأوجه من حيث التركيب وطريقة اللف بحيث يخرج في النهاية ستة أطراف يمكن توصيلها على شكل نجمة أو دلتا. للتفاصيل يراجع تركيب العضو الثابت للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه في الوحدة الأولى.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

العضو الدوار:

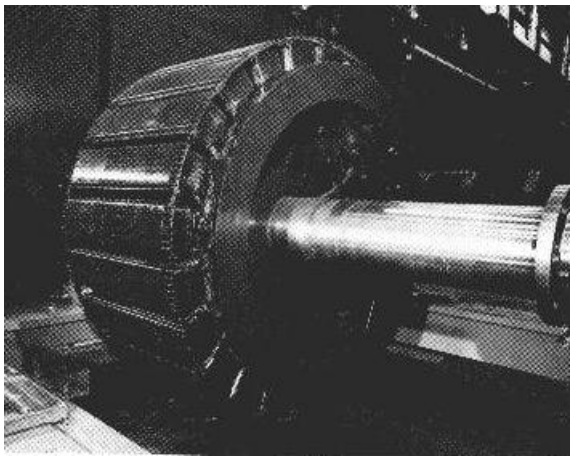
العضو الدوار يحمل ملفات المجال المغناطيسي ويغذى بتيار مستمر عن طريق حلقتي انزلاق وحيث إن التيار المار في ملفات العضو الدوار تيار مستمر لذا لا يلزم تصنيع العضو الدوار على شكل شرائح حديدية بل يصنع من حديد مصمت وذلك لعدم وجود تيارات دوامية في هذه الحالة ،أما طريقة اللف فهي مشابهة لطريقة لف أقطاب العضو الثابت في آلات التيار المستمر بحيث يحمل كل قطب ملفاً واحداً ثم توصل ملفات الأقطاب على التوالي وفي النهاية يخرج طرفان إلى حلقتي الانزلاق لتغذية الملفات بالتيار المستمر. وهناك نوعان من العضو الدوار هما:

١- عضو دوار ذو أقطاب بارزة Salient Pole Rotor يستخدم مع الآلات التزامنية ذات السرعات المنخفضة مثل الآلات المركبة على مساقط المياه و ذلك لأن سرعتها عادةً تقل عن 1000 لفة في الدقيقة انظر الشكل رقم (١- ٢) والشكل رقم (٢- ٢).



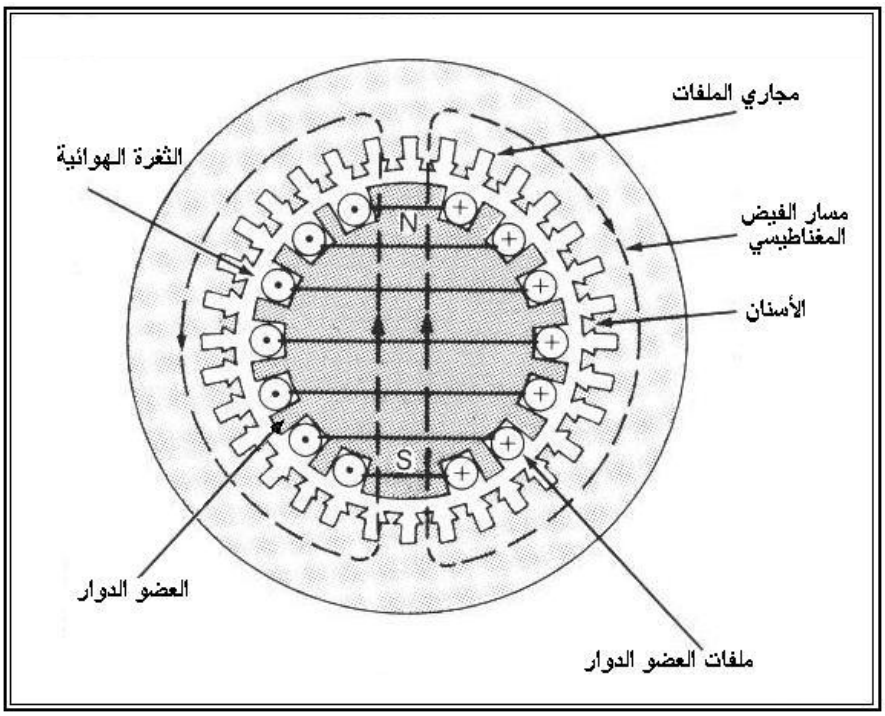
الشكل رقم ١- ٢: آلة تزامنية ذات عضو دوار ذي أقطاب بارزة

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



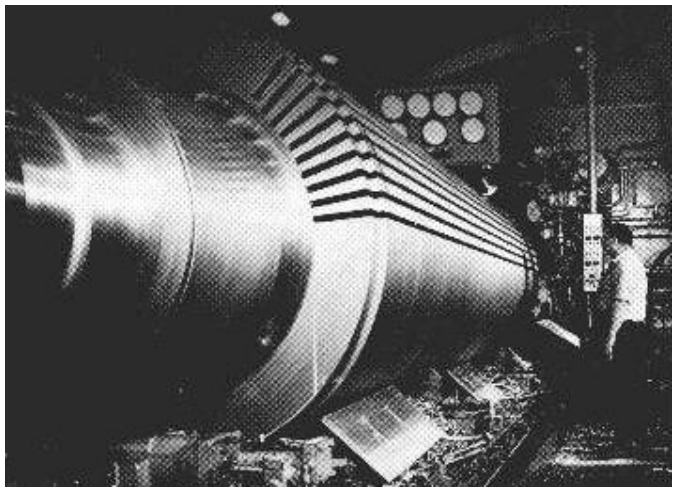
الشكل رقم ٢- ٢ : عضو دوار ذو أقطاب بارزة

٢- عضو دوار أسطوانـي Cylindrical Rotor و يستخدم في الآلات التزامنية ذات السرعات العالية التي تدار بواسطة توربينات غازية أو بخارية حيث تكون السرعة إما 1500 أو 1800 أو 3000 أو 3600 لفة في الدقيقة حسب التردد المطلوب وعدد الأقطاب. ويلاحظ أنه يجب أن يكون عدد أقطاب العضو الدوار مساوياً لعدد الأقطاب في العضو الثابت ، انظر الشكل رقم (٣- ٢) والشكل رقم (٤- ٢).



الشكل رقم ٣- ٢ : آلة تزامنية ذات عضو دوار أسطواني

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



شكل رقم ٤- ٢ : عضو دوار أسطواني

كيفية عمل المولد التزامني

في البدء يدار العضو الدوار للآلة التزامنية بواسطة وسيلة تدوير مناسبة (محرك ديزل أو توربينة غازية أو بخارية أو مائية) وعندما تصل سرعة العضو الدوار إلى السرعة التزامنية يتم تغذية ملفات العضو الدوار بالتيار المستمر بواسطة مولد خاص مركب على نفس العمود يسمى المثير Exciter أو عن طريق حلقتي انزلاق إن كان من مولد خارجي ، وبالتالي ينتج في الثغرة الهوائية مجال مغناطيسي دوار يدور بنفس سرعة العضو الدوار (السرعة التزامنية) ولذلك سميت هذه الآلة بالآلة التزامنية.

هذا المجال المغناطيسي الدوار سيقطع ملفات العضو الثابت ويولد فيها قوة دافعة كهربائية متناوبة طبقاً لمبدأ الحث الكهرومغناطيسي. هذه القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في المنتج (العضو الثابت) ستكون قوة دافعة كهربائية ثلاثية الأوجه بين كل وجه وآخر ١٢٠ درجة وذلك لأن العضو الثابت يحمل ثلاثة ملفات بين كل ملف وآخر زاوية فراغية قدرها ١٢٠ درجة ، وتعتمد كمية القوة الدافعة الكهربائية على شدة المجال المغناطيسي وسرعة العضو الدوار ، وحيث إن سرعة العضو الدوار يجب أن تكون ثابتة للحصول على تردد ثابت ، لذا فإن الخيار الوحيد للتحكم بمقدار القوة الدافعة الكهربائية هو التحكم في شدة المجال المغناطيسي وذلك بتغيير قيمة التيار المستمر الداخل إلى ملفات العضو الدوار و تردد القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في المنتج يعتمد على سرعة العضو الدوار وعدد الأقطاب ويحسب من المعادلة التالية:

$$f = \frac{n \cdot P}{120}$$ المعادلة (1 - 2)

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

أما القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في ملفات المنتج لكل وجه فتعطى من المعادلة التالية:

$$E_{ph} = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot f \cdot \phi \cdot T_{ph} \cdot k_W \qquad (2-2)$$ المعادلة

حيث:

f : التردد

ϕ : شدة الفيض المغناطيسي

T_{ph} : عدد اللفات في كل وجه

k_W : معامل اللف (< 1)

الدائرة المكافئة للآلة التزامنية

إن وجود ثغرة هوائية غير منتظمة في الآلة التزامنية ذات الأقطاب البارزة سيضفي بعض التعقيد على الدائرة المكافئة للآلة التزامنية لذا فإننا هنا سنفترض أن الثغرة الهوائية منتظمة أي أننا سنستخدم نموذج الآلة التزامنية ذات العضو الدوار الأسطواني ، كما أن هذا الافتراض يعطي نتائج مقبولة في حالة الآلة التزامنية ذات الأقطاب البارزة عندما تعمل في حالة الاستقرار steady state. إن الجهد المتولد في ملفات المنتج E_{ph} والمعطى بالمعادلة (٢- ٢) يعتبر الجهد الداخلي للمولد ولا يظهر على أطراف المنتج إلا في حالة عدم مرور تيار في ملفات المنتج (حالة عدم التحمل) ، أما في حالة تحميل المولد فإنه سيظهر جهد آخر مختلف على أطراف المنتج يسمى الجهد الخارجي V_{ph}.

لماذا الجهد الخارجي لا يساوي الجهد الداخلي في حالة التحميل وما العلاقة بينهما ؟

الإجابة على هذا السؤال تقود إلى استنتاج نموذج للدائرة المكافئة للمولد التزامني.

يوجد عدد من العوامل التي تسبب الاختلاف بين E_{ph} و V_{ph} عند التحميل أهمها ما يلي:

١- تشوه الفيض المغناطيسي في الثغرة الهوائية بسبب مرور تيارات في ملفات المنتج وهو ما يسمى بظاهرة رد فعل المنتج Armature Reaction .

٢- وجود مقاومة لملفات المنتج .

٣- وجود ممانعة حثية ذاتية لملفات المنتج .

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

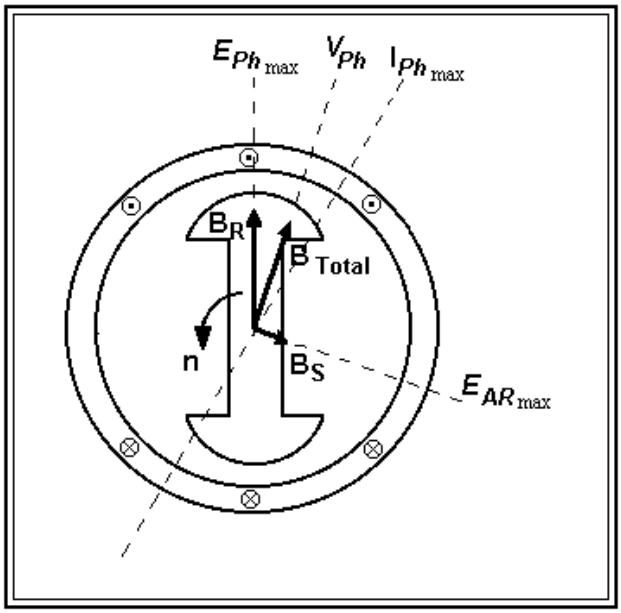
ما هو رد فعل المنتج ؟

عند تحميل الآلة التزامنية سيمر في كل وجه من أوجه العضو الثابت تيار كهربائي، وحيث إن ملفات العضو الثابت رتبت بحيث يفصل بين كل وجه وآخر زاوية فراغية مقدارها ١٢٠ درجة فإن التيارات المارة في هذه الأوجه ستفصل بين كل تيار وآخر زاوية طور مقدارها ١٢٠ درجة، ونتيجة لمرور هذه التيارات مجتمعة بهذه الصفة سيتولد مجال مغناطيسي دوار في العضو الثابت يدور بنفس سرعة واتجاه المجال المغناطيسي الدوار الناتج من ملفات العضو الدوار، هذا المجال المغناطيسي الجديد هو رد فعل المنتج كنتيجة لمرور تيارات كهربائية في ملفاته أثناء التحميل.

إذن: المجال المغناطيسي المؤثر في الثغرة الهوائية هو محصلة المجالين المتولدين من العضو الدوار و العضو الثابت ، وكما أن المجال المغناطيسي المتولد من العضو الدوار سينتج جهداً في ملفات العضو الثابت هو E_{ph} ، كذلك المجال المغناطيسي الناتج بسبب رد فعل المنتج سينتج جهداً في ملفات العضو الثابت هو E_{AR} ، ولذا فإن الجهد الذي سيظهر على أطراف المولد V_{ph} هو محصلة هذين الجهدين أو لنقل هو الجهد المتولد بسبب محصلة الفيض المغناطيسي في الثغرة الهوائية B_{Total}، انظر الشكل (٥- ٢).

$$B_{Total} = B_R + B_S \qquad (3-2)$$ المعادلة

$$V_{ph} = E_{ph} + E_{AR} \qquad (4-2)$$ المعادلة



الشكل رقم ٥- ٢ : المجالات المغناطيسية المؤثرة في المولد التزامني أثناء التحميل

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

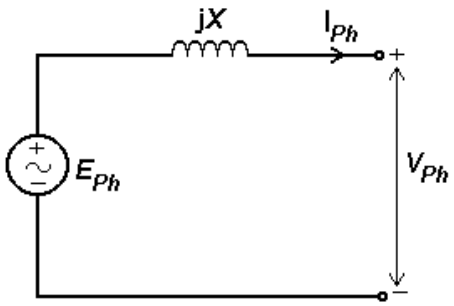
في الشكل (٥- ٢) نجد أن التيار I_{Ph} نتج بسبب تحميل الآلة بحمل حثي وذلك لأنه متخلف عن الجهد E_{Ph} بزاوية ما ، هذا التيار بدوره أَوْجَدَ المجال المغناطيسي B_S الذي بدوره أنتج جهداً في ملفات المنتج هو E_{AR}، هذا الجهد E_{AR} الناتج بسبب رد فعل المنتج يتناسب طردياً مع التيار المسبب له كما أنه متخلف عنه بزاوية قدرها ٩٠ درجة ، وبناءً عليه نستطيع أن نعبر عن هذا الجهد المتولد بسبب رد فعل المنتج بما يلي:

$$E_{AR} = -jXI_{Ph} \qquad \text{المعادلة } (5-2)$$

وبعد التعويض في المعادلة (٤- ٢) نجد أن :

$$V_{Ph} = E_{Ph} - jXI_{Ph} \qquad \text{المعادلة } (6-2)$$

المعادلة (٦- ٢) يمكن أن نمثلها بالدائرة التالية:



الشكل رقم ٦- ٢ : دائرة تمثيل المعادلة (٦- ٢)

إذن : الجهد المتولد بسبب رد فعل المنتج يمكن التعبير عنه بمحاثة موصلة على التوالي مع مصدر الجهد الداخلي.

بالإضافة إلى تأثير رد فعل المنتج أيضا هناك تأثير للمقاومة و ممانعة التسرب الحثية لملفات المنتج. فإذا اعتبرنا أن مقاومة ملفات المنتج هي R_A و ممانعة التسرب الحثية لملفات المنتج هي X_A ، فإن جهد أطراف المولد يصبح كما يلي:

$$V_{Ph} = E_{Ph} - jXI_{Ph} - jX_AI_{Ph} - R_AI_{Ph} \qquad \text{المعادلة } (7-2)$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

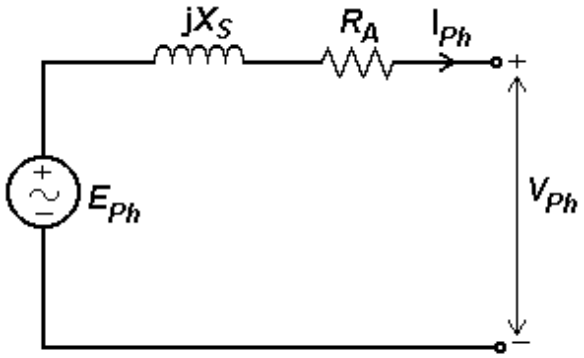
من أجل تبسيط المعادلة (٧- ٢) يمكننا دمج ممانعة التسرب الحثية للملفات المنتج (X_A) مع الممانعة الحثية التي تمثل رد فعل المنتج (X) لتصبح ممانعة حثية واحدة تسمى الممانعة التزامنية (X_S).

$$X_S = X + X_A \qquad (8-2)$$ المعادلة

وبالتالي يصبح جهد أطراف المولد كما يلي:

$$V_{Ph} = E_{Ph} - jX_S I_{Ph} - R_A I_{Ph} \qquad (9-2)$$ المعادلة

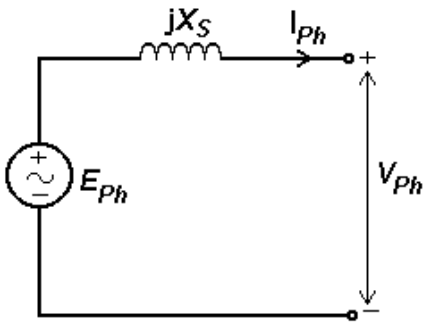
المعادلة (٩- ٢) هي المعادلة النهائية التي يحسب منها جهد أطراف المولد لكل وجه ، من هذه المعادلة يمكننا أن نرسم الدائرة المكافئة للآلة التزامنية كما هو موضح في الشكل (٧- ٢) مع ملاحظة أنها تمثل وجه واحد فقط من أوجه المنتج وذلك للتشابه التام بين الأوجه الثلاثة.



الشكل رقم ٧- ٢ : الدائرة المكافئة للآلة التزامنية

الشكل (٧- ٢) يمثل الدائرة المكافئة النهائية للآلة التزامنية ذات العضو الدوار الأسطواني ، كما أنه يمكن تبسيط هذه الدائرة وذلك بإهمال مقاومة ملفات المنتج نظراً لقلتها مقارنةً بالممانعة التزامنية خصوصاً في الآلات الكبيرة فتصبح الدائرة المكافئة التقريبية كما هو موضح في الشكل(٨- ٢).

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



الشكل رقم ٨- ٢ : الدائرة المكافئة التقريبية

وفي هذه الحالة يحسب جهد الأطراف لكل وجه كما يلي:

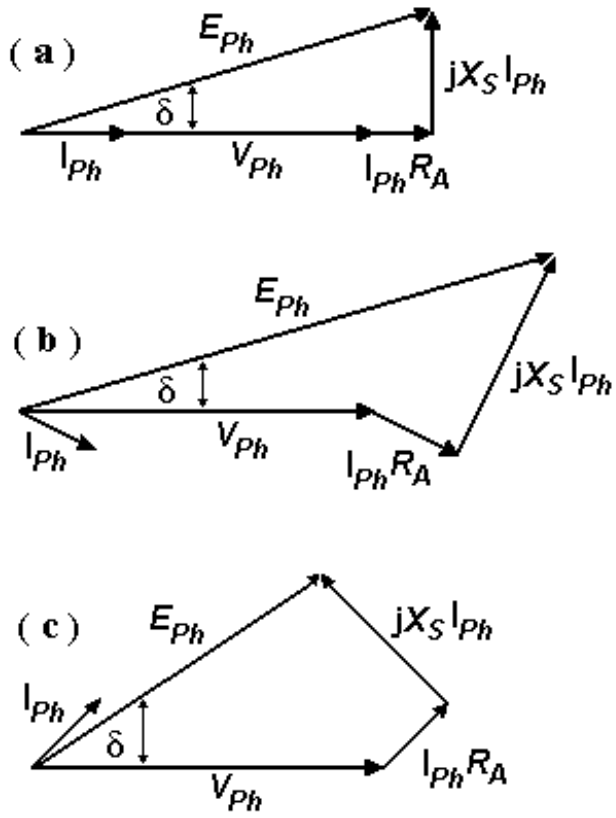
$$V_{Ph} = E_{Ph} - jX_S I_{Ph} \qquad (10-2)$$ المعادلة

المخطط الاتجاهي للآلة التزامنية

بما أن الجهود والتيارات المتولدة في الآلة التزامنية هي كميات اتجاهية (ذات مقدار وزاوية) لذلك يستحسن رسم هذه الكميات مع بعضها البعض بشكل اتجاهي لنحصل على ما يسمى بالمخطط الاتجاهي Phasor Diagram للآلة التزامنية. هذا المخطط الاتجاهي يعتبر أداةً هامةً جداً بالنسبة للآلة التزامنية لأنه بواسطته يسهل فهم ودراسة وتحليل أداء الآلة التزامنية ، فمثلاً الشكل رقم (٩- ٢) يوضح المخطط الاتجاهي المصاحب للمعادلة رقم (٩- ٢) في ثلاث حالات تحميل للآلة التزامنية (حمل مادي أو حمل حثي أو حمل سعوي) ، ويلاحظ أن جهد الأطراف يعتبر مرجع جميع القيم في المخطط الاتجاهي وهو أيضا محصلة جميع الجهود داخل الآلة وهذا مطابق تماماً للدائرة المكافئة في الشكل رقم (٧- ٢).

حاول القيام برسم المخطط الاتجاهي المصاحب للدائرة المكافئة في الشكل رقم (٨- ٢) في حالات التحميل الثلاث.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



الشكل رقم ٩- ٢ : المخطط الاتجاهي للآلة التزامنية عندما يكون معامل القدرة واحداً (a) و عندما يكون معامل القدرة متخلفاً (b) و عندما يكون معامل القدرة متقدما (c)

اختبارات الآلة التزامنية

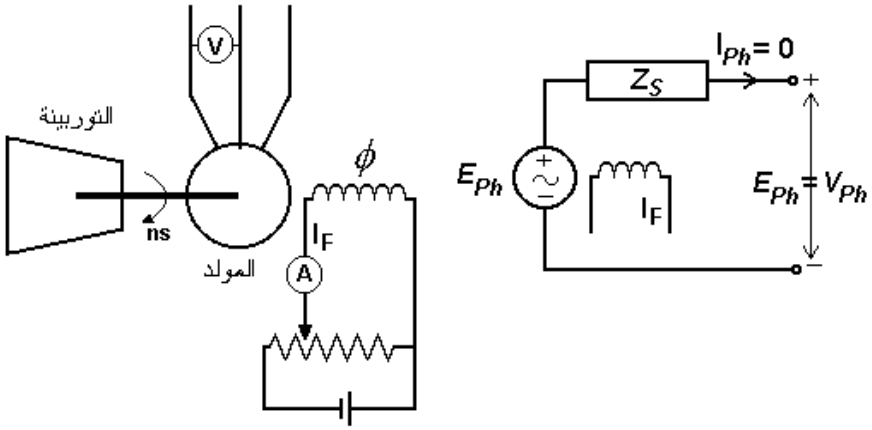
الآلة التزامنية كغيرها من الآلات يجرى عليها الاختباران الشهيران (اختبار عدم الحمل واختبار القصر) وذلك لتحديد المنحنيات المُمَيِّزة للآلة وحساب عناصر الدائرة المكافئة.

أولاً: اختبار عدم الحمل (الدائرة المفتوحة Open Circuit)

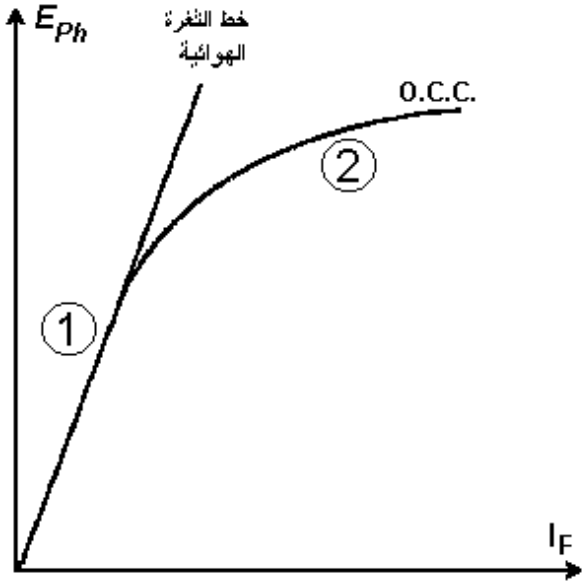
في هذا الاختبار تترك أطراف المنتج مفتوحة وتدار الآلة حتى تصل إلى سرعتها التزامنية ومن ثم يزاد تيار المجال تدريجياً ابتداءً من الصفر، هذه الزيادة في تيار المجال تؤدي إلى زيادة الفيض المغناطيسي و بالتالي زيادة الجهد المتولد على أطراف المنتج المفتوحة وتسجل قيم التيار والجهد في جدول ثم ترسم العلاقة بينهما كما هو موضح في الشكل رقم (١١- ٢) ، هذه العلاقة تسمى

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

منحنـى المغنطـة Magnetization Curve أو منحنـى الـدائرة المفتوحـة المُمَيِّـز Open Circuit Characteristic (O.C.C) راجع الأشكال (١٠- ٢) و (١١- ٢)



الشكل رقم ١٠- ٢ : الآلة التزامنية أثناء اختبار عدم الحمل



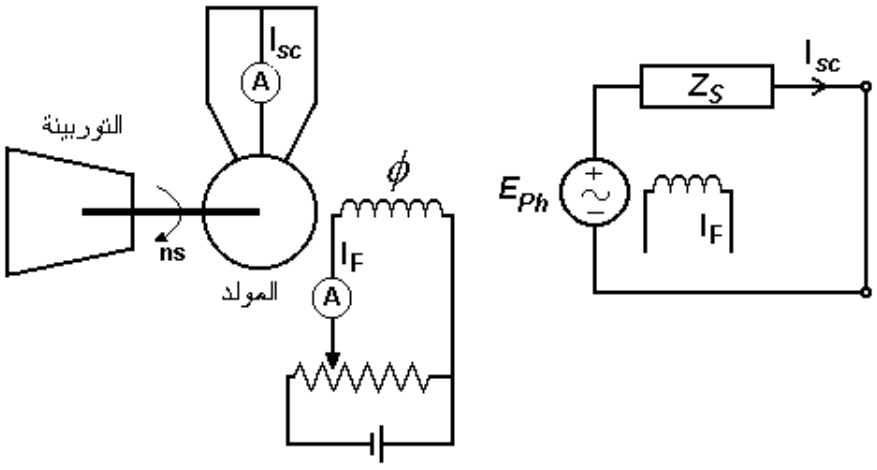
الشكل رقم ١١- ٢ : منحنى الدائرة المفتوحة للآلة التزامنية

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

يلاحظ من المنحنى السابق أنه ينقسم إلى منطقتين واضحتين في المنطقة رقم (١) الفيض المغناطيسي منخفض ولذا فإن ممانعة الحديد تكون صغيرة جداً وهذا يعني أن الممانعة الموجودة هي ممانعة الهواء فقط وهذا يؤدي إلى أن الجهد يتغير تغيراً خطياً مع تيار المجال في هذه المنطقة و امتداد المنحنى في هذه المنطقة هو الخط الفاصل بين المنطقتين و يسمى خط الثغرة الهوائية و في المنطقة رقم (٢) يزداد الفيض المغناطيسي مما يؤدي إلى زيادة ممانعة الحديد ـ أي أن الحديد بدأ يصل إلى حالة التشبع ـ مما يؤدي إلى تناقص معدل الارتفاع في جهد أطراف المنتج مقابل تيار المجال كما هو ملاحظ من المنحنى.

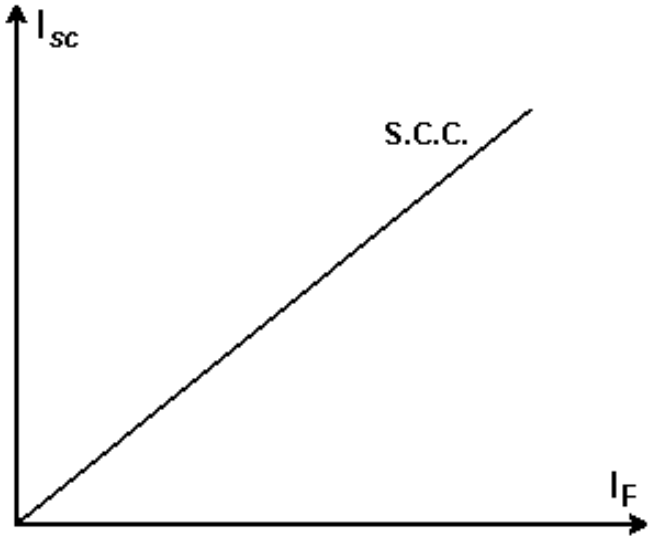
ثانياً: اختبار القصر Short Circuit Test:

في هذا الاختبار تقصر أطراف المنتج الثلاثة مع بعضها البعض وتدار الآلة حتى تصل إلى السرعة التزامنية ثم يزاد تيار المجال تدريجياً وتسجل قيمة تيار المنتج وقيمة تيار المجال المقابلة في جدول ثم ترسم العلاقة بينهما كما هو موضح في الشكل رقم (١٣- ٢) ، هذه العلاقة تسمى منحنى القصر المُمَيِّز Short Circuit Characteristic (S.C.C) ويجب أن لا يترك تيار القصر يزداد عن القيمة المقننة لتيار الحمل الكامل ، راجع الأشكال (١٢- ٢) و (١٣- ٢).



الشكل رقم ١٢- ٢: الآلة التزامنية أثناء اختبار الدائرة المقصورة

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



الشكل رقم ١٣- ٢ : منحنى الدائرة المقصورة للآلة التزامنية

حساب الممانعة التزامنية باستخدام منحنيي الدائرة المفتوحة (O.C.C) والقصر (S.C.C).

يمكن حساب الممانعة التزامنية (X_S) للآلة التزامنية باستخدام منحنى الدائرة المفتوحة (O.C.C) ومنحنى الدائرة المقصورة (S.C.C) كما يلي:

١- عند كل قيمة من قيم تيار المجال (I_F) تحسب (Z_S) من المعادلة التالية:

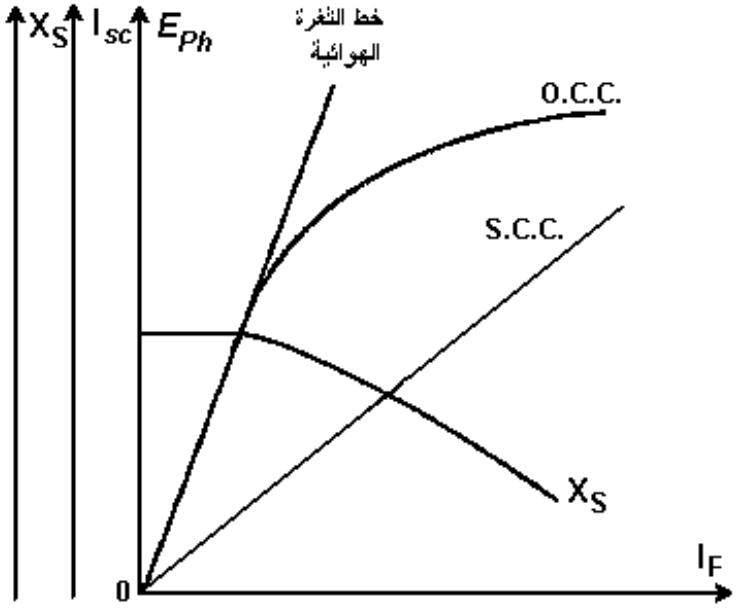
$$Z_S = \frac{E_{Ph}}{I_{SC}} \qquad I_F \text{ is constant}$$

٢- تحسب (X_S) من المعادلة التالية:

$$X_S = \sqrt{Z_S^2 - R_A^2} \qquad \text{المعادلة } (11-2)$$

حيث R_A هي مقاومة ملفات المنتج ويمكن قياسها مباشرة باستخدام الأوميتر.

يمكن أيضاً أن ترسم العلاقة بين I_F، X_S كما هو موضح في الشكل رقم (١٤- ٢) ، ويلاحظ أن قيمة X_S تكون ثابتة في منطقة التغير الخطي لمنحنى الدائرة المفتوحة(O.C.C) وتقل كلما زادت الممانعة المغناطيسية للحديد.



الشكل رقم ١٤- ٢: الممانعة التزامنية للآلة التزامنية بدلالة تيار المجال

معامل تنظيم الجهد

يعتبر معامل تنظيم الجهد Voltage Regulation من المعاملات الهامة في الآلة التزامنية وذلك لأنه يعطي فكرة واضحة عن مدى التغير الذي يحدث في قيمة الجهد على أطراف الآلة عند تحميل الآلة أو عندما تتغير الأحمال بشكل كبير ، كما أنه يعتبر مؤشراً جيداً للدلالة على المولد الأفضل عند المقارنة بين المولدات. ويعرف بأنه التغير في جهد الأطراف من حالة عدم الحمل إلى حالة الحمل الكامل منسوباً إلى قيمة الجهد في حالة الحمل الكامل.

ويعبر عنه رياضياً كما يلي:

$$VR = \frac{E_{Ph} - V_{Ph}}{V_{Ph}} \times 100 \qquad (12 - 2)$$ المعادلة

وهناك عدة طرق تستخدم لتعيين معامل تنظيم الجهد تعتمد على نوعيه البيانات المتوفرة عن الآلة والتي تكون عادةً إما نتائج اختبارات أجريت على الآلة أو بيانات التصميم.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

أسئلة وتمارين

١- ممَّ اكتسبت الآلة التزامنية تسميتها؟

٢- كيف يمكن التحكم في مقدار القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في ملفات المنتج؟

٣- هل من المناسب زيادة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في ملفات المنتج عن طريق زيادة سرعة الدوران؟

٤- كيف يمكن التحكم في تردد الآلة التزامنية؟

٥- ما لمقصود برد فعل المنتج؟

٦- ما الممانعة التزامنية؟

٧- ارسم الدائرة المكافئة التقريبية للآلة التزامنية ، واذكر الأساس الذي تم عليه التقريب؟

٨- ارسم المخطط الاتجاهي للآلة التزامنية المصاحب للدائرة المكافئة التقريبية في حالة كون معامل القدرة مساو للواحد ومتخلف ومتقدم

٩- ما المقصود بالتشبع المغناطيسي في الحديد؟

١٠- إلى أي مدى يمكن زيادة تيار المجال في اختباري عدم الحمل و الدائرة المقصورة؟

١١- ما معامل تنظيم الجهد؟

١٢- ما أهمية معرفة معامل تنظيم الجهد للمولد؟

١٣- أيهما أفضل للمولد أن يكون معامل تنظيم جهده كبيراً أم صغيراً ؟

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الفصل الثاني : القدرة والعزم – التشغيل المتوازي

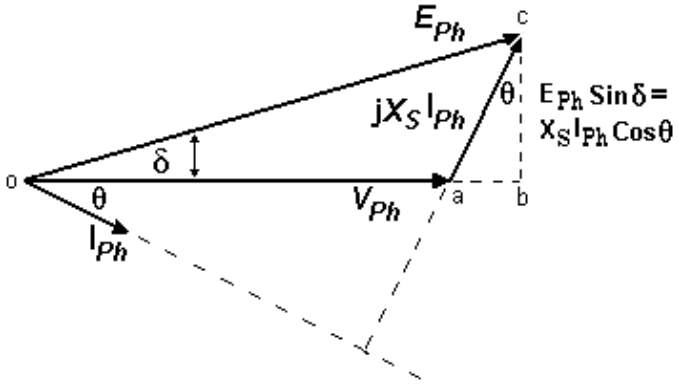
القدرة والعزم في الآلة التزامنية

القدرة الفعالة الخارجة من المولد التزامني تعطى من المعادلة التالية:

$$P = 3V_{Ph} I_{Ph} Cos\theta \qquad (13-2) \text{ المعادلة}$$

حيث: θ هي الزاوية بين الجهد والتيار وجيب تمامها هو معامل القدرة

إذا أهملنا مقاومة ملفات المنتج R_A وذلك لصغر قيمتها عندما تقارن بالممانعة التزامنية X_S كما في الشكل (٨- ٢) فإننا نستطيع إيجاد معادلة مهمة جداً لحساب القدرة الخارجة من الآلة التزامنية. لكي نوجد هذه المعادلة نستعين بالمخطط الاتجاهي المعبر عن هذه الحالة والموضح في الشكل (١٥- ٢)



الشكل رقم ١٥- ٢: المخطط الاتجاهي للمولد التزامني في حالة إهمال R_A

نلاحظ في المخطط الاتجاهي أعلاه أن المستقيم bc يمكن أن يعبر عنه بـ ($E_{Ph}Sin\delta$) أو بـ($X_S I_{Ph} Cos\theta$) وذلك لكونه ضلعاً مشتركاً في المثلثين abc وobc وبالتالي فإن:

$$I_{Ph} Cos\ \theta = \frac{E_{Ph} Sin\ \delta}{X_S}$$

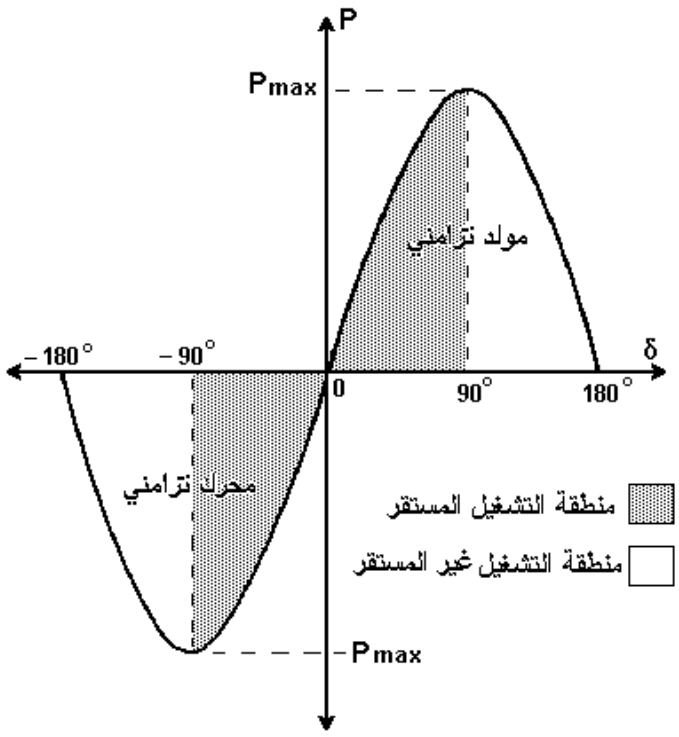
وبعد التعويض في المعادلة (١٣- ٢) تصبح معادلة القدرة كما يلي:

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$$P = \frac{3V_{Ph}E_{Ph}Sin\,\delta}{X_S} \qquad (14 - 2)$$ المعادلة

معادلة القدرة (١٤- ٢) يمكن أن نرسم منها العلاقة بين P و δ كما هو موضح في الشكل (١٦- ٢) ، العلاقة (١٤- ٢) توضح أن القدرة الخارجة من المولد التزامني تعتمد على الزاوية δ بين E_{Ph} و V_{Ph} ، هذه الزاوية δ تسمى زاوية الحمل Load angle أو زاوية العزم Torque angle ، كما يلاحظ أيضا أن أكبر قدره يمكن أن تؤخذ من المولد نظرياً عندما تكون قيمة الزاوية δ تسعون درجة ، أي أن (Sinδ=1) وبالتالي:

$$P_{max} = \frac{3V_{Ph}E_{Ph}}{X_S} \qquad (15 - 2)$$ المعادلة



الشكل رقم ١٦- ٢ : القدرة في الآلة التزامنية بدلالة زاوية الحمل δ

منطقة التشغيل الآمن أو المستقر للآلة التزامنية عندما تكون (δ < 90) في حالة التشغيل كمولد أو عندما تكون (δ > 90-) في حالة التشغيل كمحرك كما هو موضح في الشكل (١٦- ٢).

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

العزم المتولد داخل الآلة التزامنية يمكن إيجاده من المعادلة(١٤- ٢) بعد قسمتها على السرعة الزاوية للعضو الدوار كما يلي:

$$T = \frac{3V_{Ph}E_{Ph}Sin\,\delta}{\omega_m X_S} \qquad (16 - 2)$$ المعادلة

تشغيل المولدات التزامنية على التوازي

من النادر جداً أن يوجد مولد وحيد يغذي حملاً مستقلاً ماعدا حالات خاصة كالمولدات المعدة لأعمال الطوارئ. عادةً يوجد في كثير من التطبيقات أكثر من مولد مربوطة على التوازي مع بعضها البعض لإمداد الأحمال بالقدرة المطلوبة، وأقرب مثال على ذلك نجده في أي منطقة من مناطق المملكة حيث يوجد العشرات من المولدات التزامنية في أماكن مختلفة مربوطة مع بعضها البعض على التوازي لتغذية تلك المنطقة بما تحتاجه من القدرة الكهربائية.

إذن : لماذا يفضل ربط المولدات التزامنية مع بعضها على التوازي؟

هناك مميزات عديدة لتشغيل المولدات على التوازي أهمها ما يلي:

١- المولدات المربوطة على التوازي تستطيع أن تغذي أحمال أكبر من الحملاً الذي يغذيه مولد واحد.

٢- وجود عدة مولدات مربوطة على التوازي يزيد موثوقية النظام ، لأنه في حالة تعطل أي مولد فإن المولدات الأخرى تتقاسم حصة ذلك المولد.

٣- وجود عدة مولدات مربوطة على التوازي يسمح بإجراء أعمال الصيانة لمولد أو أكثر دون قطع القدرة عن الأحمال.

٤- وجود عدة مولدات صغيرة مربوطة على التوازي أكبر كفاءة من مولد وحيد مكافئ لها خصوصاً عندما تكون الأحمال صغيرة.

ومن أجل ربط المولدات على التوازي يجب أن يتحقق عدد من الشروط هي كما يلي:

١- القيمة الفعالة (rms value) لجهد الأطراف في كلا المولدين يجب أن تتساوى.

٢- التردد يجب أن يكون متساوياً في كلا المولدين

٣- تتابع الأطوار لكلا المولدين يجب أن يكون هو نفسه إما ABC أو ACB

٤- يجب أن تكون الجهود في نفس الطور (زاوية الطور للوجه a متساوية في كلا المولدين)

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

وعند تحقق هذه الشروط يمكن توصيل المولدين على التوازي بأمان ، أما عند توصيل المولدين عند عدم تحقق شرط أو أكثر من هذه الشروط فإن ذلك يؤدي إلى حدوث أضرار كبيرة قد تؤدي إلى تلف ملفات المولد بسبب مرور تيار كبير فيها أو يؤدي إلى كسر العمود .بسبب تحوله إلى محرك يدور باتجاه معاكس لدوران التوربينة.

توصيل المولدات التزامنية إلى قضبان لا نهائية

إن عملية توصيل المولد التزامني إلى قضبان لا نهائية Infinite bus bars تعتبر عملية مشابهة لتوصيل المولد التزامني على التوازي مع مولد آخر كبير جداً وذلك لأن القضبان اللانهائي يعتبر كأنه مولد ذو قدره غير محدودة ، ولإتمام هذه العملية يجب أن تتحقق الشروط السابقة قبل عملية التوصيل، وللتأكد من تحقق تلك الشروط تجرى عملية التزامن. وعملية التزامن هذه تجرى بعدة طرق نذكر منها طريقتين:

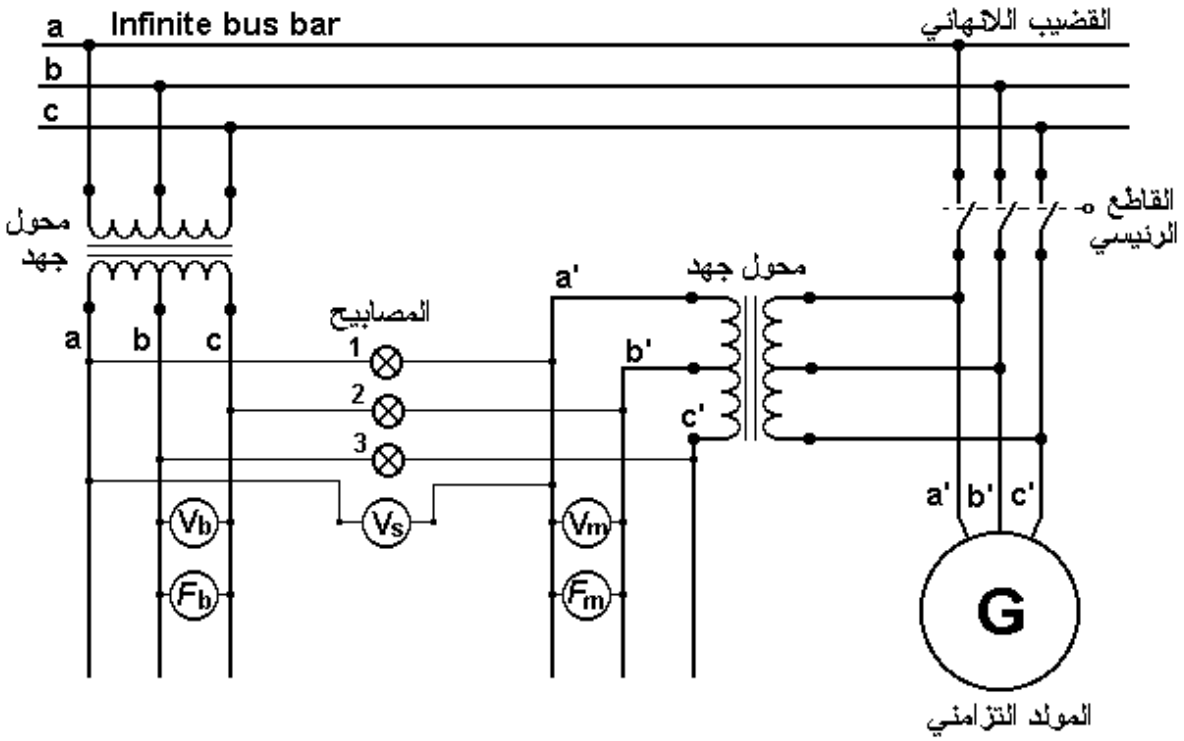
١- طريقة المصابيح المضيئة

في هذه الطريقة توصل ثلاث لمبات بين الآلة والقضبان اللانهائية كما هو موضح في الشكل رقم (١٧- ٢) بحيث توصل الأولى بين الخطين a و a' والثانية بين الخطين b و c' والثالثة بين الخطين c، b' كما يوصل ثلاثة أجهزة فولتميتر: Vs بين الوجهين a و a' و Vm لقياس جهد المولد و Vb لقياس جهد القضبان اللانهائي ، كذلك يتم توصيل جهازين لقياس تردد المولد والقضبان اللانهائي كما هو موضح في الشكل (١٧- ٢) ، وبهذه الطريقة يمكن التأكد من تحقق شروط التزامن الأربعة كما يلي:

١- لكي يتحقق الشرط الأول يجب أن تتساوى قراءة أجهزة قياس الجهد (Vm = Vb)
٢- لكي يتحقق الشرط الثاني يجب أن تتساوى قراءة أجهزة قياس التردد (Fm = Fb)
٣- الشرط الثالث يتحقق عندما يكون انطفاء واشتعال المصابيح بشكل منتظم

٤- الشرط الرابع يتحقق عندما يكون فرق الجهد بين وجهين متماثلين في الآلة والقضيب مساوياً للصفر (Vs = 0) .

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



الشكل رقم ١٧- ٢ : عملية التزامن بطريقة المصابيح المضيئة

أما عملية التزامن فيتم إجراؤها كما يلي:

١- يرفع جهد أطراف المولد حتى يصبح مساوياً لجهد القضيب (Vm = Vb) وذلك بزيادة تيار المجال تدريجياً

٢- يضبط تردد المولد بحيث يكون قريباً من تردد القضيب وذلك بزيادة سرعة الدوران

٣- عند محاولة ضبط سرعة الدوران يحدث إحدى حالتين بالنسبة للمصابيح ، الحالة الأولى: جميع المصابيح تضيء وتنطفئ بشكل عشوائي و هذا يعني أن شرط تتابع الأطوار للمولد و القضبان مختلف وعندها يجب المبادلة بين أي طرفين من أطراف المولد من أجل عكس تتابع أطوار المولد وبعدها نلاحظ أن إضاءة المصابيح أصبحت بشكل منتظم ومتتابع. الحالة الثانية : جميع المصابيح تضاء وتنطفيء بشكل منتظم ومتتابع و هذا يعني أن تتابع الأطوار للمولد والقضيب اللانهائي متماثل.

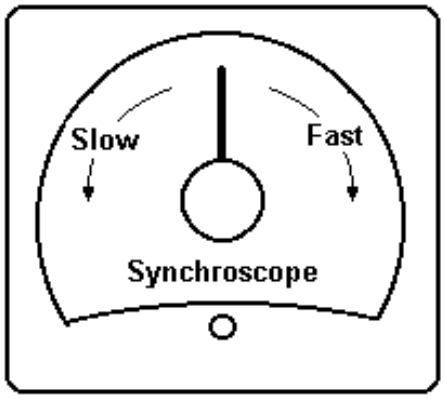
٤- إذا تحققت الحالة الثانية يتبقى ضبط التردد وذلك عن طريق التحكم في السرعة التزامنية للآلة، ويتضح ذلك في سرعة تتابع الإضاءة فإذا زادت سرعة تتابع إضاءة المصابيح يلزم زيادة أو تقليل سرعة المولد بحيث يكون تتابع إضاءة المصابيح بطيئاً قدر الإمكان وفي اللحظة التي يكون فيها (Vs = 0) أو المصباح الأول منطفئاً بينما الثاني والثالث مضاءان يكون الشرط الرابع قد تحقق ،

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

في هذه اللحظة تكون الآلة في لحظة تزامن مع القضيب اللانهائي وعندها يمكن إغلاق القاطع الرئيس بأمان.

٢- باستخدام جهاز التزامن

جهاز التزامن (Synchroscope) يستخدم للتأكد من أن جهد المولد في نفس الطور مع جهد القضبان اللانهائية وأن لهما نفس التردد، أي أنه يعتبر بديلاً للمصابيح في الشكل (١٧- ٢) ، و هو عبارة عن محرك حثي يتعرض لمجالين مغناطيسيين الأول من القضبان اللانهائية والآخر من المولد التزامني و العضو الدوار مركب عليه مؤشر يتحرك باتجاه عقارب الساعة وعكس عقارب الساعة يعتمد على تردد المولد التزامني أهو أعلى أم أقل من تردد القضبان اللانهائية، و عندما يقف المؤشر بشكل عمودي (في مكان الساعة 12) فهذا يعني أن جهد المولد في نفس الطور مع جهد القضبان اللانهائي عند هذه الحالة يمكن توصيل المولد التزامني بالقضبان اللانهائية بأمان عن طريق القاطع الرئيسي.



الشكل رقم ١٨- ٢ : جهاز التزامن

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

أمثلة محلولة :

مثال (١- ٢):

مولد تزامني ذو أربعة أقطاب ملفاته موصلة على شكل دلتا ، جهد الأطراف له 480 V والتردد 60 Hz، منحنى الدائرة المفتوحة له موضح في الشكل(١٩- ٢) ، الممانعة التزامنية له 0.1 Ω ومقاومة ملفات المنتج 0.015 Ω ، عند الحمل الكامل يعطي تياراً قدره 1200 A عند معامل قدره 0.8 متخلفاً ، فإذا كانت مفاقيد الاحتكاك 40 kw و المفاقيد الحديدية 30 kw عند الحمل الكامل أحسب ما يلي:

أ) احسب سرعة العضو الدوار

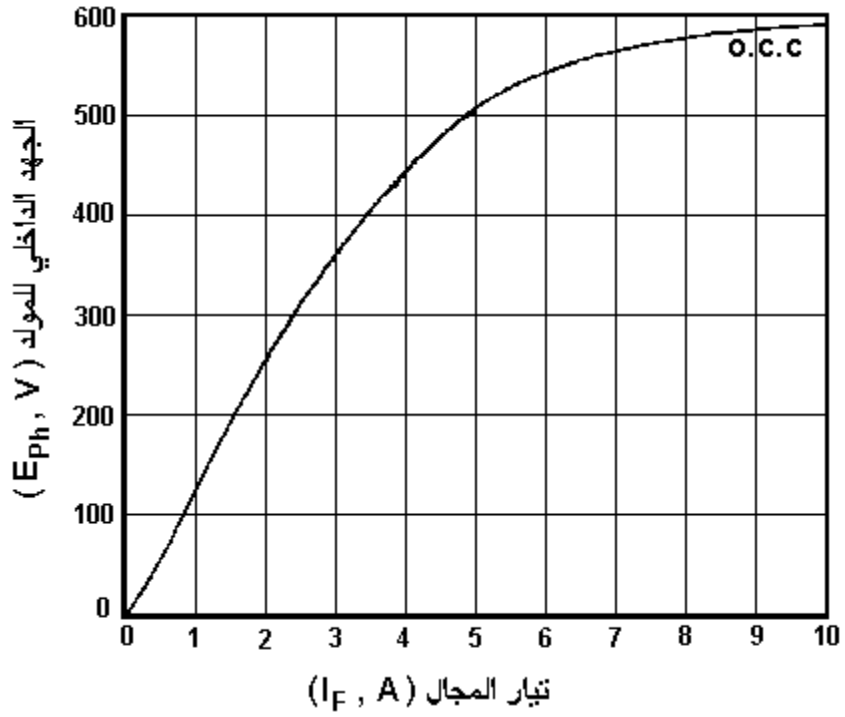
ب) كم يجب أن يكون تيار المجال لكي يكون جهد الأطراف 480 V بدون حمل

جـ) إذا كان المولد يغذي حملاً بتيار قدره 1200 A عند معامل قدرة 0.8 متخلفاً ، كم يجب أن يكون تيار المجال لكي يحافظ على جهد الأطراف عند 480 V

د) احسب كفاءة المولد

هـ) إذا فصل الحمل عن المولد فجأة ، ماذا سيحدث لجهد الأطراف؟

و) افترض أن المولد يغذي حملاً بتيار قدره 1200 A عند معامل قدره 0.8 متقدماً ، كم يجب أن يكون تيار المجال لكي يبقى جهد الأطراف عند 480 V



الشكل رقم ١٩- ٢ : منحنى الدائرة المفتوحة للمولد(مثال ١- ٢)

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الحـــل:

بما أن ملفات المولد موصلة على شكل دلتا

إذن : $V_{Ph} = V_{Line}$ & $I_{Ph} = \frac{I_{Line}}{\sqrt{3}}$

أ) من المعادلة رقم (١- ٢)

$$n = \frac{120\ f}{P} = \frac{120 \times 60}{4} = 1800 \quad \text{rpm}$$

ب) عند عدم الحمل $I_{Ph} = 0$ وبالتالي فإن $V_{Ph} = E_{Ph}$

وبعد الرجوع إلى منحنى الدائرة المفتوحة للمولد في الشكل(١٩- ٢) نجد أن تيار المجال المقابل هو 4.5 A

جـ) عندما يكون المولد يغذي الحمل بتيار قدره 1200 A عند معامل قدره 0.8 متخلفاً فهذا يعني أن :

$$I_{Ph} = \frac{1200}{\sqrt{3}} = 692.8 \quad \text{A}$$

ومتخلف عن الجهد بزاوية طور هي:

$$\theta = \text{Cos}^{-1}(0.8) = 36.87^{o}$$

وبتطبيق المعادلة (٩- ٢) يمكننا إيجاد الجهد الداخلي E_{Ph} كما يلي:

$$\begin{aligned} E_{Ph} &= V_{Ph} + R_A I_{Ph} + jX_S I_{Ph} \\ &= 480\ \angle 0 + (0.015)(692.8\angle -36.87) \\ &\quad + (j0.1)(692.8\angle -36.87) \\ &= 480\ \angle 0 + 10.39\angle -36.87 + 69.28\angle 53.13 \\ &= 529.9 + j49.2 = 532\angle 5.3 \quad \text{V} \end{aligned}$$

إذن: لكي يبقى جهد الأطراف V_{Ph} عند 480 V يجب أن نضبط الجهد الداخلي E_{Ph} عند 532 V ولكي يتحقق ذلك يجب زيادة تيار المجال I_F إلى 5.7 A طبقاً لمنحنى الدائرة المفتوحة للمولد الموضح في الشكل رقم (١٩- ٢)

د) لحساب الكفاءة يجب حساب القدرة الخارجة والداخلة والمفقودة كما يلي:

القدرة الخارجة من المولد:

$$\begin{aligned} P_{out} &= \sqrt{3} V_L I_L PF \\ &= \sqrt{3} \times 480 \times 1200 \times 0.8 = 798 \quad \text{kw} \end{aligned}$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

القدرة الداخلة إلى المولد:

$$P_{inp} = P_{out} + P_{Cu1} + P_{Core} + P_F$$

المفاقيد النحاسية في ملفات المنتج P_{Cu1} تحسب كما يلي:

$$P_{Cu1} = 3I_{Ph}^2 R_A$$
$$= 3(692.8)^2(0.015) = 21.6 \text{ kw}$$

إذن:

$$P_{inp} = 798 + 21.6 + 30 + 40 = 889.6 \quad \text{kw}$$

إذن كفاءة المولد هي:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{inp}} \times 100 = \frac{798}{889.6} \times 100 = 89.7\ \%$$

هـ) إذا فصل الحمل بشكل مفاجئ عن المولد يعني أن التيار سيصبح صفراً وهذا يعني أن ($E_{Ph}=V_{Ph}$) طبقاً للمعادلة (٩- ٢) ، وإذا لم يعاد ضبط تيار المجال فإن جهد الأطراف سيرتفع إلى قيمة الجهد الداخلي أي أن (V_{Ph}= 532 V)

و) يعاد حساب E_{Ph} كما في الفقرة (جـ) مع الأخذ في الاعتبار تغير إشارة زاوية التيار لأنه أصبح متقدماً على الجهد كما يلي:

$$E_{Ph} = V_{Ph} + R_A I_{Ph} + jX_S I_{Ph}$$
$$= 480\angle 0 + (0.015)(692.8\angle 36.87)$$
$$+ (j0.1)(692.8\angle 36.87)$$
$$= 480\angle 0 + 10.39\angle 36.87 + 69.28\angle 126.87$$
$$= 446.7 + j61.7 = 451\angle 7.9 \quad \text{V}$$

إذن: لكي يبقى جهد الأطراف V_{Ph} عند 480 V عندما يكون معامل القدرة 0.8 متقدماً يجب أن يضبط الجهد الداخلي E_{Ph} عند 451 V وذلك بضبط تيار المجال عند 4.1 A

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

مثال (٢- ٢):

مولد تزامني ذو ستة أقطاب ملفاته موصلة على شكل نجمة جهد الأطراف له 480 V عند تردد 60 Hz ، الممانعة التزامنية 1Ω لكل وجه و مقاومة ملفات المنتج مهملة ، تيار الحمل الكامل له 60 A عند معامل قدره 0.8 متخلفاً ، مفاقيد الاحتكاك 1.5 kw والمفاقيد الحديدية 1 kw عند الحمل الكامل ، و بماأن مقاومة ملفات المنتج مهملة افترض أن المفاقيد النحاسية في ملفات المنتج مهملة أيضا ، تيار المجال ضبط بحيث يكون جهد الأطراف 480 V عند عدم الحمل. احسب ما يلي:

أ) سرعة دوران هذا المولد

ب) احسب جهد الأطراف عند الحمل الكامل في الحالات التالية:

١- معامل القدرة 0.8 متخلفاً

٢- معامل القدرة 1.0

٣- معامل القدرة 0.8 متقدماً

جـ) كفاءة المحرك عند الحمل الكامل إذا كان معامل القدرة 0.8 متخلفاً

د) العزم الداخل إلى المولد

هـ) معامل تنظيم الجهد في حالات التحميل الثلاث المذكورة في الفقرة (ب)

الحـل:

أ) من المعادلة رقم (١- ٢)

$$n = \frac{120\ f}{P} = \frac{120 \times 60}{6} = 1200 \quad \text{rpm}$$

ب) لحساب جهد الأطراف عند تحميل المولد يستحسن استخدام المخطط الاتجاهي لذلك بدلاً من استخدام المعادلة (٩- ٢) لأنها في هذه الحالة ستحتوي على مجهولين هما زاوية الجهد الداخلي (δ) بالإضافة إلى جهد الأطراف V_{Ph}

بما أن ملفات المولد موصلة على شكل نجمة

إذن : $V_{Ph} = \frac{V_{Line}}{\sqrt{3}}$ & $I_{Ph} = I_{Line}$

عند عدم الحمل:

$$V_{Ph} = E_{Ph} = \frac{480}{\sqrt{3}} = 277 \quad \text{V}$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الحالة (١) :

عند تحميل المولد بالحمل الكامل (60 A) عند معامل قدره 0.8 متخلفاً فإن المخطط الاتجاهي لهذه الحالة سيكون مشابهاً للمخطط الموضح في الشكل(٢٠- ٢) الحالة(١)

بماأن معامل القدرة متخلف ، إذن التيار سيكون متخلفاً عن الجهد بزاوية θ

$$\theta = \text{Cos}^{-1}(0.8) = 36.87^{o}$$

في هذا المخطط الاتجاهي جهد الأطراف V_{Ph} مجهول و E_{Ph} يساوي 277 V

بالرجوع إلى المخطط الاتجاهي وباعتبار المثلث القائم الزاوية oab يمكن حساب جهد الأطراف كما يلي:

$$E_{Ph}^2 = (V_{Ph} + X_S I_{Ph} Sin\theta)^2 + (X_S I_{Ph} Cos\theta)^2$$
$$(277)^2 = (V_{Ph} + 1.0 \times 60 \times Sin36.87)^2 + (1.0 \times 60 \times Cos36.87)^2$$
$$76729 = (V_{Ph} + 36)^2 + 2304$$
$$74425 = (V_{Ph} + 36)^2$$
$$272.8 = V_{Ph} + 36$$
$$V_{Ph} = 236.8 \quad V$$

وحيث إن ملفات المولد موصلة على شكل نجمة فإن:

$$V_{Line} = \sqrt{3} V_{Ph} = \sqrt{3} \times 236.8 = 410 \quad V$$

الحالة (٢) :

عند تحميل المولد بالحمل الكامل (60 A) عند معامل قدره واحد فإن المخطط الاتجاهي لهذه الحالة سيكون مشابهاً للمخطط الموضح في الشكل(٢٠- ٢) الحالة (٢)

في هذه الحالة سيكون التيار في نفس الطور مع جهد الأطراف ، بالرجوع إلى المخطط الاتجاهي وباعتبار المثلث القائم الزاوية oab يمكن حساب جهد الأطراف كما يلي:

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$$E_{Ph}^2 = V_{Ph}^2 + (X_S I_{Ph})^2$$
$$(277)^2 = V_{Ph}^2 + (1.0 \times 60)^2$$
$$76729 = V_{Ph}^2 + 3600$$
$$V_{Ph}^2 = 76729 - 3600$$
$$V_{Ph} = 270.4 \quad V$$

وحيث إن ملفات المولد موصلة على شكل نجمة فإن:

$$V_{Line} = \sqrt{3} V_{Ph} = \sqrt{3} \times 270.4 = 468.4 \quad V$$

الحالة (٣) :

عند تحميل المولد بالحمل الكامل (60 A) عند معامل قدره 0.8 متقدماً فإن المخطط الاتجاهي لهذه الحالة سيكون مشابهاً للمخطط الموضح في الشكل(٢٠- ٢) الحالة (٣)

وبماأن معامل القدرة متقدم ، إذن التيار سيكون متقدماً عن الجهد بزاوية θ

$$\theta = \text{Cos}^{-1}(0.8) = 36.87^{o}$$

في هذا المخطط الاتجاهي جهد الأطراف V_{Ph} مجهول و E_{Ph} يساوي 277 V

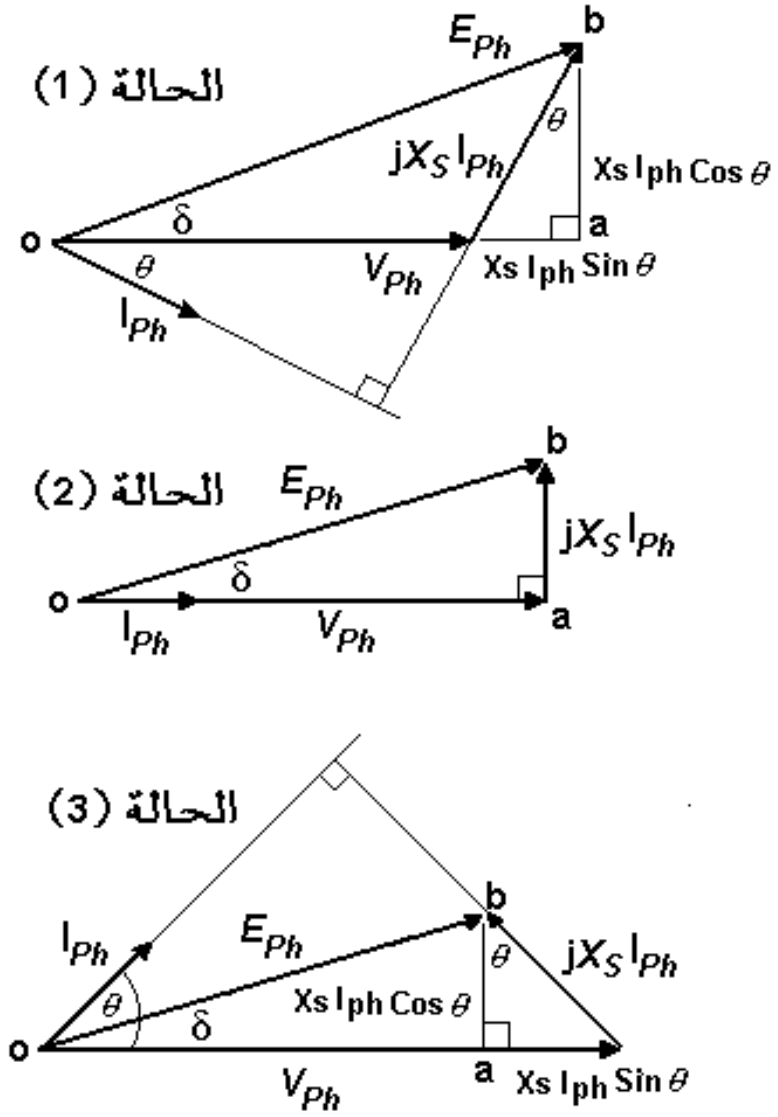
بالرجوع إلى المخطط الاتجاهي وباعتبار المثلث القائم الزاوية oab يمكن حساب جهد الأطراف كما يلي:

$$E_{Ph}^2 = (V_{Ph} - X_S I_{Ph} Sin\,\theta)^2 + (X_S I_{Ph} Cos\,\theta)^2$$
$$(277)^2 = (V_{Ph} - 1.0 \times 60 \times Sin\,36.87)^2 + (1.0 \times 60 \times Cos\,36.87)^2$$
$$76729 = (V_{Ph} - 36)^2 + 2304$$
$$74425 = (V_{Ph} - 36)^2$$
$$272.8 = V_{Ph} - 36$$
$$V_{Ph} = 308.8 \quad V$$

وحيث إن ملفات المولد موصلة على شكل نجمة فإن:

$$V_{Line} = \sqrt{3} V_{Ph} = \sqrt{3} \times 308.8 = 535 \quad V$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



الشكل رقم ٢٠- ٢ : المخطط الاتجاهي للمولد التزامني في حالات تحميل مختلفة (المثال ٢- ٢)

ج) لحساب الكفاءة يجب حساب القدرة الخارجة والداخلة والمفقودة كما يلي:

القدرة الخارجة من المولد عند الحمل الكامل (60 A) و معامل قدره 0.8 متخلفاً

$$P_{out} = \sqrt{3}\, V_L I_L PF$$
$$= \sqrt{3} \times 410 \times 60 \times 0.8 = 34.1 \quad \text{kw}$$

القدرة الداخلة إلى المولد:

$$P_{inp} = P_{out} + P_{Cu1} + P_{Core} + P_F$$

المفاقيد النحاسية في ملفات المنتج P_{Cu1} مهملة بسبب إهمال مقاومة ملفات العضو الثابت

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

إذن:

$$P_{inp} = 34.1 + 0 + 1.0 + 1.5 = 36.6 \quad \text{kw}$$

إذن كفاءة المولد هي:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{inp}} \times 100 = \frac{34.1}{36.6} \times 100 = 93.2\ \%$$

د) العزم الداخل إلى المولد يحسب كما يلي:

$$T_{inp} = \frac{P_{inp}}{\omega_m}$$

$$\omega_m = \frac{n\,2\pi}{60} = \frac{1200 \times 2\pi}{60} = 125.7 \quad \text{rad/sec}$$

$$T_{inp} = \frac{36.6 \times 10^3}{125.7} = 191.2 \quad \text{N} \cdot \text{m}$$

هـ) معامل تنظيم الجهد للمولد يمكن حسابه باستخدام المعادلة(١٢- ٢) للحالات الثلاث كما يلي:

$$VR = \frac{E_{Ph} - V_{Ph}}{V_{Ph}} \times 100$$

الحالة (١) :

$$VR = \frac{480 - 410}{410} \times 100 = 17.1\ \%$$

الحالة (٢) :

$$VR = \frac{480 - 468}{468} \times 100 = 2.6\ \%$$

الحالة (٣) :

$$VR = \frac{480 - 535}{535} \times 100 = -10.3\ \%$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

أسئلة وتمارين

١- لماذا يفضل ربط المولدات التزامنية على التوازي؟
٢- ما شروط ربط المولدات التزامنية على التوازي؟
٣- ما مخاطر توصيل المولد التزامني على التوازي مع عدم تحقق شرط أو أكثر من شروط التزامن؟
٤- ما لمقصود بالقضيب اللانهائي؟
٥- بعد توصيل المولد بالقضيب اللانهائي ، هل يمكن التحكم في سرعة المولد؟
٦- بعد توصيل المولد بالقضيب اللانهائي، هل القدرة تنتقل من المولد إلى القضيب أو العكس؟
٧- متى تفقد الآلة التزامن؟

٨- مولد تزامني ثلاثي الأوجه 10 MW ملفاته موصلة على شكل نجمة ،جهد أطرافه 11 kV والتردد 60 Hz ،ممانعته التزامنية 0.66 Ω ومقاومة ملفات المنتج 0.1 Ω ، احسب الجهد الداخلي E_{Ph} عند الحمل الكامل و معامل قدره 0.85 متخلفاً

٩- مولد تزامني ثلاثي الأوجه 180 kVA ملفاته موصلة على شكل دلتا ، جهد الأطرافة له 220 V والتردد 50 Hz ،ممانعته التزامنية 0.07 Ω و مقاومة ملفات المنتج 0.016 Ω ، احسب الجهد الداخلي E_{Ph} عند الحمل الكامل و معامل قدره :
أ) 0.72 متخلفاً ، ب) 0.72 متقدماً ، جـ) مساوياً للواحد

١٠- مولد تزامني ذو قطبين ملفاته موصلة على شكل نجمة ، جهد الأطراف له 2300 V والتردد 60 Hz، اختبار الدائرة المفتوحة له أعطى القراءات الموضحة في الجدول التالي:

E_{Ph}	600	1200	1800	2230	2520	2700	2800	2850
I_F	1	2	3	4	5	6	7	8

ممانعته التزامنية 1.1 Ω ومقاومة ملفات المنتج 0.15 Ω ، عند الحمل الكامل يعطي تياراً قدره 250 A عند معامل قدره 0.8 متخلفاً ، فإذا كانت مفاقيد الاحتكاك 24 kw و المفاقيد الحديدية 18 kw عند الحمل الكامل ، أجب ما يلي:

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

أ) ارسم منحنى الدائرة المفتوحة للمولد

ب) كم يجب أن يكون تيار المجال لكي يكون جهد الأطراف 2300 V بدون حمل

جـ) إذا كان المولد يغذي حملاً بتيار قدره 250 A عند معامل قدره 0.85 متخلفاً ، كم يجب أن يكون تيار المجال لكي يحافظ على جهد الأطراف عند 2300 V

د) احسب القدرة الداخلة إلى المولد

هـ) افترض أن المولد يغذي حملاً بتيار قدره 250 A عند معامل قدره 0.8 متقدماً ، كم يجب أن يكون تيار المجال لكي يبقى جهد الأطراف عند 2300 V

١١- مولد تزامني ذو أربعة أقطاب ملفاته موصلة على شكل دلتا جهد ألأطرافه 280 V عند تردد 60 Hz ، الممانعة التزامنية 1.05 Ω لكل وجه و مقاومة ملفات المنتج مهملة ، تيار حمله الكامل 100 A عند معامل قدره 0.78 متخلفاً و مفاقيد الاحتكاك 1.75 kw والمفاقيد الحديدية 1.2 kw عند الحمل الكامل و تيار المجال ضبط بحيث يكون جهد الأطراف 280 V عند عدم الحمل . احسب ما يلي:

أ) سرعة دوران هذا المولد

ب) جهد الأطراف عند الحمل الكامل في الحالات التالية:

١- معامل القدرة 0.78 متخلف

٢- معامل القدرة 1.0

٣- معامل القدرة 0.78 متقدم

جـ) كفاءة المحرك عند الحمل الكامل إذا كان معامل القدرة 0.78 متخلفاً

د) العزم الداخل إلى المولد

هـ) معامل تنظيم الجهد في حالات التحميل الثلاث المذكورة في الفقرة (ب)

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM