الباب الثاني

المولد التزامني

1.2 مقدمة:

إن أكثر من98% من الطاقة الكهربائية المنتجة في العالم يتم توليدها باستخدام الماكينة التزامنية فهي الأكثر إستخداماً لغرض تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية، كما أنها تستخدم كمولد تزامني تستخدم أيضاً كمحرك تزامني وقد إكتسبت هذه التسمية (التزامنية) بسبب التزامن أو التوافق التام بين سرعة دوران المجال المغناطيسي والعضو الدوار ولذلك سميت بالآلة التزامنية أو التوافقية.

2.2 تركيب المولد التزامني :

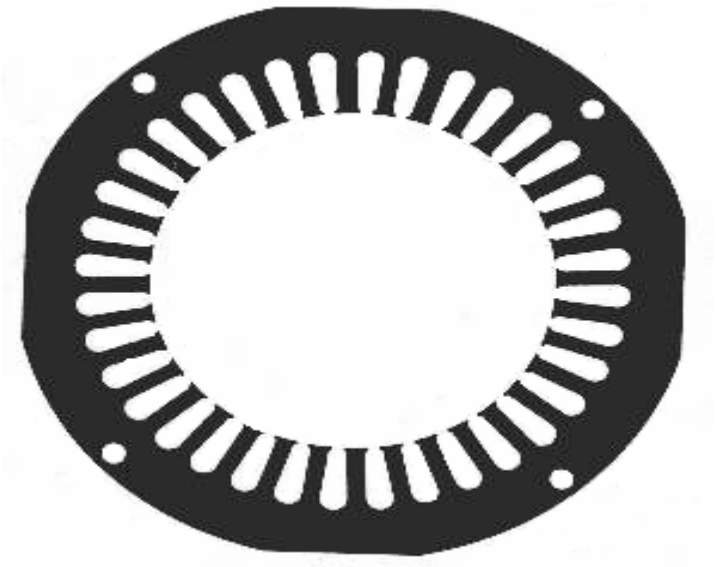
تتركب الآلة التزامنية من عضوين وهما العضو الثابت والعضو الدوار أحدهما يحمل ملفات إنتاج الطاقة الكهربائية ويسمى المنتج(armature) والأخر يحمل ملفات المجال المغناطيسي ،ويفضل أن تكون ملفات المنتج مركبة على العضو الثابت وملفات المجال المغناطيسي مركبة على العضو الدوار وذلك للأسباب الآتية :

- التيار المسحوب من الآلة كبير لذا يفضل أن يؤخذ مباشرةً وليس عن طريق حلقات إنزلاق .
- التخلص من حلقات الإنزلاق أو تقليلها إلى 2 بدلاً من 6 حلقات .
- سهولة تبريد ملفات المنتج عندما تكون ثابتة .
- حماية ملفات المنتج من قوة الطرد المركزية بسبب وزنها الكبير .

1.2.2 العضو الثابت :

يتكون العضو الثابت من شرائح متراصة من الحديد المغناطيسي ومعزولة عن بعضها بعازل كهربائي بحيث تكون مع بعضها جسماً أسطوانياً محفور بداخلة عدد من المجاري وذلك لتركيب الملفاتكما موضح بالشكل(1.2).

الهدف من تصنيع العضو الثابت بهذهالطريقة هو تقليل حرارة الحديد الناتجة من التيارات الدوامية التي تكونت بسبب تعرض الحديد للمجال المغناطيسي المتغير داخل المولد ، كما أنة يوجد عادة في المولدات الكبيرة فتحات تهوية بين الشرائح في العضو الثابت يعد إكتمال تصنيع العضو الثابت بهذ ه الطريقة يتم تقسيمه إلي العدد المطلوب من الأقطاب وتقسم المجاري في كل قطب على الأوج ه الثلاثة ثم بعد ذلك يتم تركيب ملفات كل وج هفي المجاري الخاصة بهتحت كل قطب بحيث يفصل بين كل وج ه وأخر 120 درجة كهربائية وفي نهاية عملية اللف يكون قد تم تركيب ثلاثة ملفات في العضو الثابت لكل ملف طرفان هذه الأطراف الستة يتم تغذية العضو الثابت من خلالها بعد توصيلها إما على شكل نجمة أو دلتا.



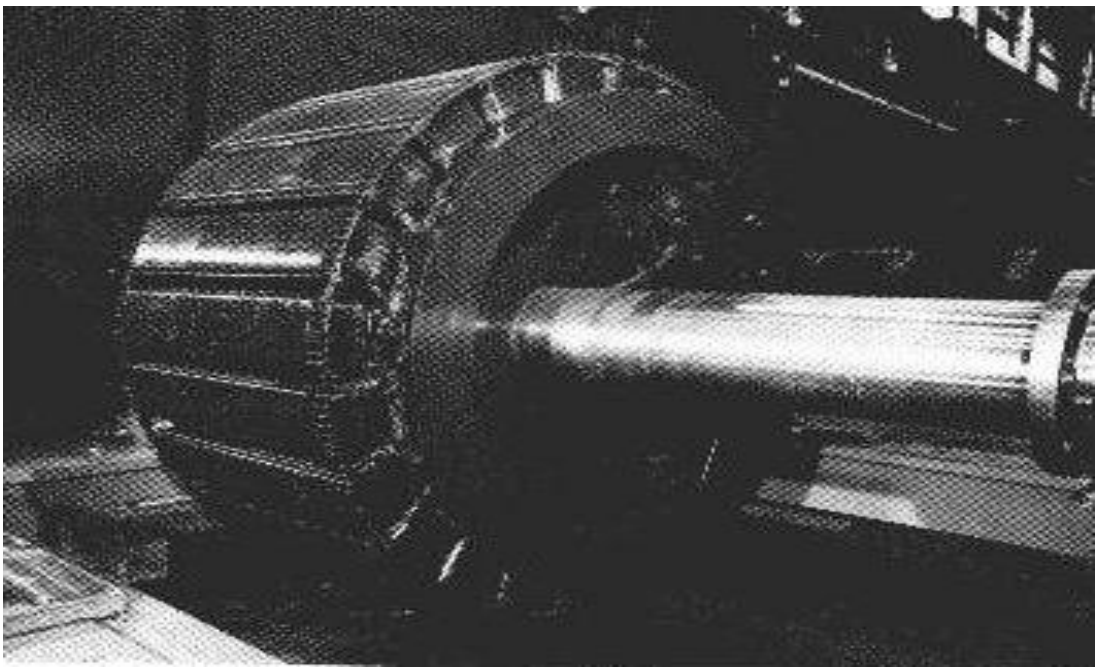
شكل (1.2)يوضح شريحة عضو ثابت

2.2.2 العضو الدوار:

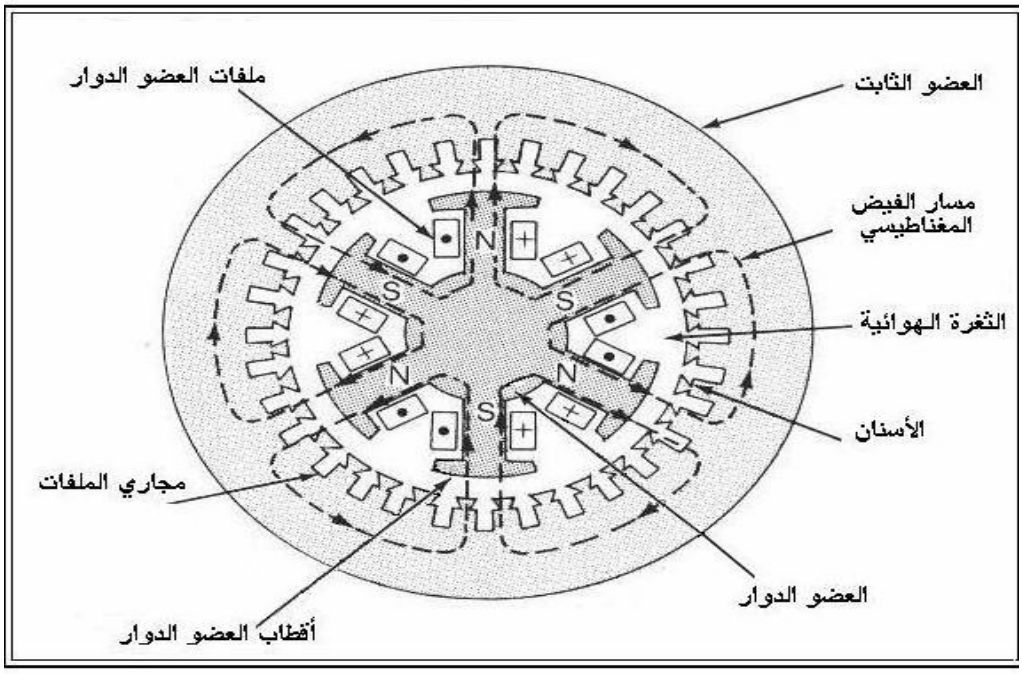
العضو الدوار يحمل ملفات المجال المغناطيسي ويغذى بتيار مستمر عن طريق حلقتي إنزلاق حيث أن التيار المار في ملفات العضو الدوار تيار مستمر لذا لايلزم تصنيع العضو الدوارعلي شكلشرائح حديدية بل يصنع من حديد مصمت وذلك لعدم وجود تيارات دوامية في هذه الحالة ؛أما فياللف يحمل كل قطب ملف واحد ثم توصل ملفات الأقطاب على التوالي وفي النهاية يخرج طرفانإلي حلقتي الإنزلاق لتغذية الملفات بالتيار المستمر ،وهناك نوعان من العضو الدوار هما :

- **عضو دوار ذو أقطاب بارزة :**

يستخدم العضو الدوار ذو الأقطاب البارزةمع الآلات التزامنية ذات السرعات المنخفضة مثل الآلات المركبة على مساقط الميا هلأن سرعتها تقل عن 1000 دورة في الدقيقة والشكل(2.2)و(2.3) يوضحآلة تزامنية ذات عضو دوار ذو أقطاب بارزة



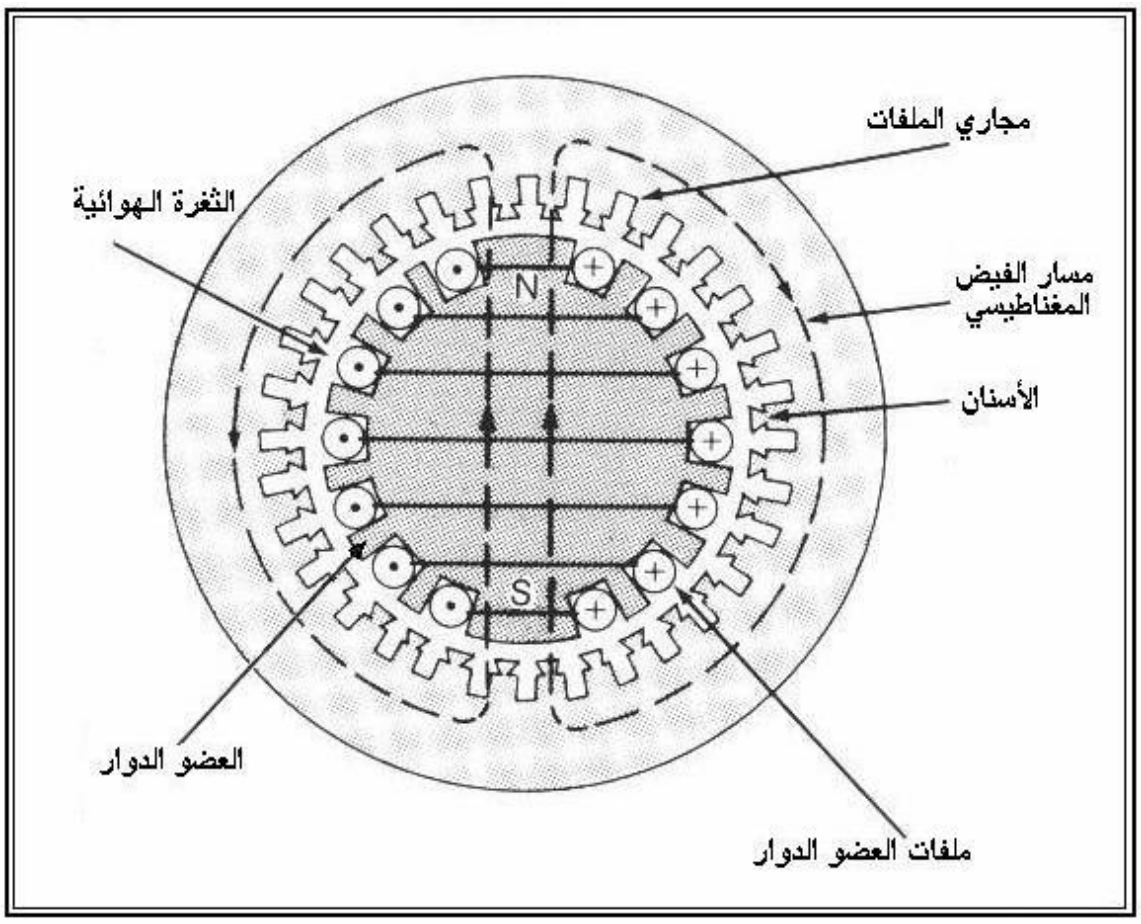
شكل (2.2) يوضح عضو دوار ذو أقطاب بارزه



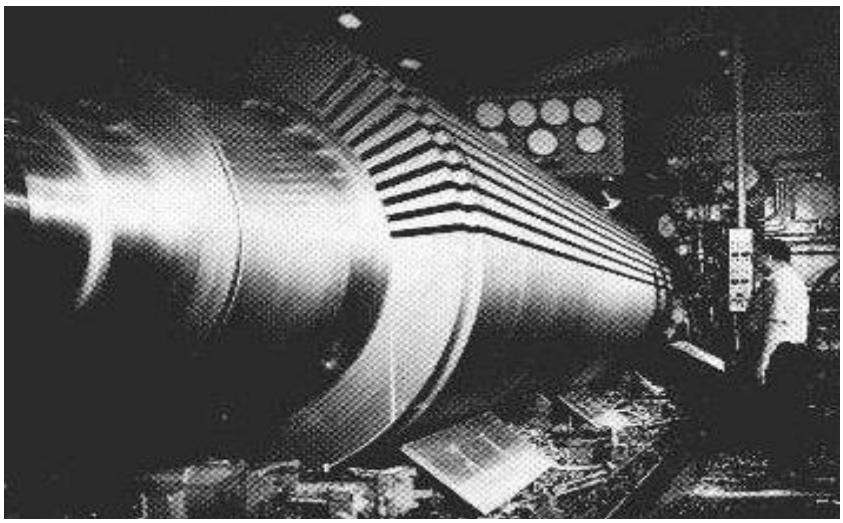
شكل (3.2) يوضح مولد تزامني ذو عضو دوار ذو أقطاب بارزة

- **عضو دوار أسطواني :**

يستخدم مع الآلات التزامنية ذات السرعات العالية التي تدار بواسطة توربينات بخارية أوغازية والشكل (4.2) يوضح عضو دوار أسطواني ، ويجب أن يكون عدد أقطاب العضو الدوار مساوياً لعدد أقطاب العضو الثابت والشكل(5.2)يوضحآلة تزامنية ذات عضو دوار أسطواني.هذا النوع مستخدم في المحطة والذي يدار بالتوربينات البخارية .



شكل (4.2) يوضح مولد تزامني ذو عضو دوار أسطواني



شكل (5.2) يوضح عضو دوار أسطواني

3.2 كيفية عمل المولد التزامني:

في البدء يدار العضو الدوار للآلة التزامنية بواسطة وسيلة تدوير مناسبة(توربينة بخاريةأوغازية أو مائية – محرك ديزل) وعندما تصل سرعة العضو الدوار إلى السرعة التزامنية يتم تغذية ملفات العضو الدوار بالتيارالمستمر بواسطة مثير مركب على نفس العمود يسمى Exciterأوعن طريق حلقتي إنزلاق إن كانمن 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 قوه دافعة كهربائية متناوبة طبقاً لمبدأ الحث الكهرومغناطيسي . هذه القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في المنتج (العضو الثابت)ستكون قوة دافعة كهربائية ثلاثية الأوج هـ بين كل وج هـ وآخر زاوية فراغية قدرها 120 درجة وذلك لأن العضو الثابت يحمل ثلاث ملفات بين كل ملف وأخر زاوية فراغية قدرها 120 درجة، وتعتمد كمية القوة الدافعة الكهربائية على شدة المجال المغناطيسي وسرعة العضو الدوار ،بحيث أن سرعة العضو الدوار يجب أن تكون ثابتة للحصول على تردد ثابت ،لذا فإن الخيار الوحيد للتحكم بمقدار القوة الدافعة الكهربائية هوالتحكم بشدة المجال المغناطيسي وذلك بتغيير قيمة التيار المستمر الداخل إلى ملفات العضو الدوار.تردد القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في المنتج يعتمد على سرعة العضو الدوار وعدد الأقطاب ويحسب من المعادلة (1.2):

$$F = \frac{N * P}{120} \qquad (1.2)$$

اما القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في ملفات المنتج لكل وج هـ فتعطي من المعادلة (1.2):

$$E_{ph} = \sqrt{2}.\pi.f.\emptyset.T_{ph}.K_w \qquad (2.2)$$

حيثأن:

f≡التردد

ϕ ≡ شدة الفيض المغناطيسي .

T_{ph}≡اللفات في كل وجه

K_w≡معامل اللف.

4.2 الدائرة المكافئة للمولد التزامني :

إن الجهد المتولد في ملفات E_{ph} والمعطى بالمعادلة(2.2) يعتبر هو الجهد الداخليللمولد ولايظهر على أطراف المنتج إلا في حالة عدم مرور تيار في ملفات المنتج (حالة عدم التحميل)،أما في حالة تحميل المولد فإنهسيظهر جهد آخر مختلف على أطراف المنتج يسمى الجهد الخارجي V_{ph}.يوجد عدد من العوامل التي تسبب الأختلاف بين E_{ph} وV_{ph} عند التحميل وهي:

- تشوه الفيض المغناطيسي في الثغرة الهوائية بسبب مرور تيارات في ملفات المنتج بظاهرة رد فعل المنتج ReactionArmature.
- وجود مقاومة لملفات المنتج.
- وجود ممانعة حثية ذاتية لملفات المنتج .

5.2 ردفعل المنتج :

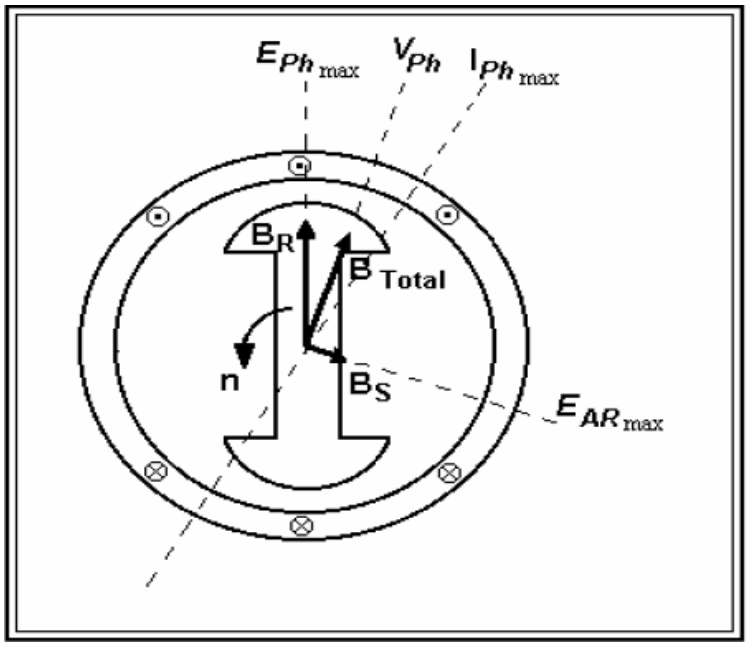
عند تحميل الآلة التزامنية سيمر في كل وج هـمن أوج هـالعضو الثابت تيار كهربائي ،وحيث إن ملفات العضو الثابت رتبت بحيث يفصل بين كل وجهـوأخر زاوية فراغية مقدارها 120 درجة فإن التيارات المارة في الأوجهـ سيفصل بين كل تيار وأخر زاوية طور مقدارها 120درجةونتيجة لمرور هذهالتيارات مجتمعة

بهذهالصفة سيتولد مجال مغناطيسي دوار في العضو الثابت يدور بنفس سرعة وإتجاه المجال المغناطيسى الدوار الناتج من ملفات العضو الدوار ،هذا المجال المغناطيسى الجديد هو رد فعل المنتج كنتيجة لمرور تيارات كهربائية في ملفاته أثناء التحميل .

المجال المغناطيسى المؤثر في الثغرة الهوائية هو محصلة المجالين المتولدين من العضو الدوار والعضو الثابت ،وكما أن المجال المغناطيسي المتولد من العضو الدوار سينتج جهداً فى ملفات العضو الثابت هو E_{ph}،كذلك المجال المغناطيسي الناتجبسبب رد فعل المنتج سينتج جهداً في ملفات العضو الثابت هو E_{AR}ولذا فإن الجهد الذي سيظهر علي أطراف المولد V_{Ph} والذي يمثل بالمعادله(4.2)هو محصلة هذين الجهدين او لنقل هو الجهد المتولد بسبب محصلة الفيض المغناطيسي في الثغرة الهوائية B_{Total}والذي يمثل بالمعادله(3.2).

$$B_{total}=B_R+B_S \qquad (3.2)$$

$$V_{ph}=E_{ph}+E_{AR} \qquad (4.2)$$



شكل (6.2)يوضح المجالات المغناطيسية المؤثرة في المولد التزامني أثناء التحميل

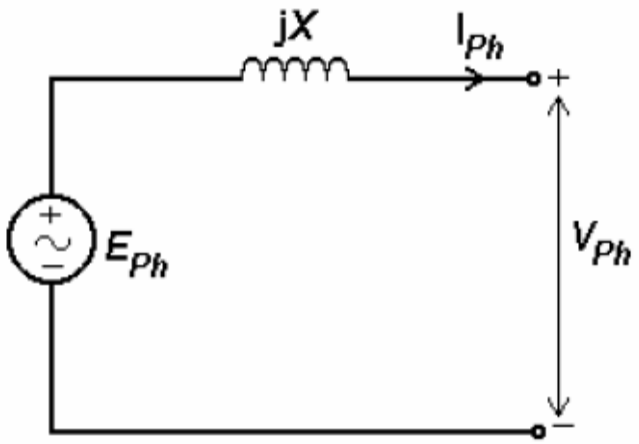
في الشكل (6.2) نجد أن التيار I_{PH} انتج بسبب تحميل الآلة بحمل حثي وذلك لأنهمختلف عن الجهد E بزاوية ما ، هذا التيار بدورة أوجد المجال المغناطيسي B_S الذي بدوره أنتج جهداً في ملفات المنتج هو E $_{Ph}$ هذاالجهد E_{Ph}، الناتج بسبب رد فعل المنتج يتناسب طردياً مع التيار المسبب له كما أنه مختلف عنه بزاوية قدرها 90 درجة، وبناءً عليه نستطيع أن نعبر عن هذا الجهد المتولد بسبب رد فعل المنتج بالمعادلة (5.2):

$$E_{AR} = -jXI_{Ph} \qquad (5.2)$$

نحصل على المعادلة (6.2) بتعويض المعادلة (5.2) في المعادلة(4.2)

$$V_{PH} = E_{ph} - JX\,I_{PH} \qquad (6.2)$$

المعادلة(6.2)تمثلها بالشكل (7.2):



شكل(7.2)يوضح دائرة رد فعل المنتج

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

بالإضافة إلي تأثير رد فعل المنتج أيضاً هناك تأثير للمقاومة والمفاعلة الحثية الذاتية لملفات المنتج فإذا إعتبرنا أن ملفات المنتج هي R_A والمفاعلة الحثية الذاتية لملفات المنتج هي X_A ، فإن جهد أطراف المولد بالمعادلة (7.2) :

$$V_{Ph} = E_{Ph} - J\,XI_{Ph} \quad JX_A I_{Ph} - R_A I_{Ph} \qquad (7.2)$$

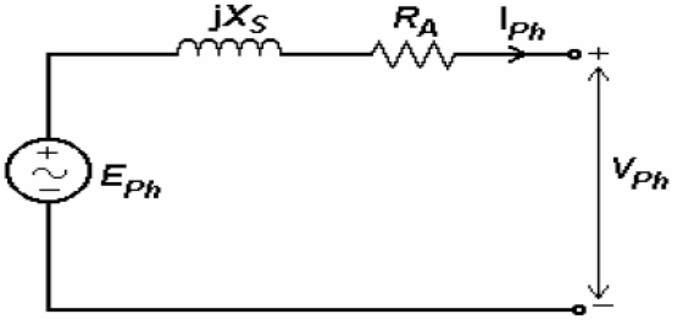
من أجل تبسيط المعادلة (7.2) يمكننا دمج المفاعلةالحثية الذاتية لملفات المنتج(X_A) مع المفاعلة الحثية التي تمثل رد فعل المنتج(X) لتصبح مفاعله حثية واحدة تسمى المفاعلة التزامنية (X_S)

$$X_S = X + X_A \qquad (8.2)$$

وبالتالي تصبح معادلة أطراف المولد كما بالمعادلة(9.2) :

$$V_{Ph} = E_{ph} - JX_S I_{Ph} - R_A I_{Ph} \qquad (9.2)$$

المعادلة (9.2)هي المعادلة النهائية التي يحسب منها جهد أطراف المولد لكل وج هـ ،ومن المعادلة (9.2) يمكننا أن نرسم الدائرة المكافئة للآلة التزامنية كما هو موضح في الشكل (8.2) مع ملاحظة أنها تمثل وجهـ واحد فقط من أوجهـ المنتج وذلك للتشابه التام بين الأوجهـ الثلاثة .



الشكل (8.2) دائرة المكافئة للمولد التزامني

كما أنه يمكن تبسيط هذه الدائرة وذلك بإهمال مقاومة ملفات المنتج نظراً لقلتها مقارنة بالمفاعلة التزامنية خصوصاً في الالات الكبيرة فتصبح الدائرة المكافئة التقريبية كما هو موضح في الشكل (7.2).

وفي هذه الحالة يحسب جهد الاطراف لكل وجهكما بالمعادلة(10.2) :

$$V_{Ph} = E_{Ph} - JX_S I_{Ph} \qquad (10.2)$$