بسم الله الرحمن الرحيم

هذه مقدمة لكتابي أداء المولدات الكهربائية
سائلا المولى عز وجل أن ينفع بها المختصين
في شتى المجالات ولا تنسونا من صالح الدعاء

مهندس صالح سعيد بوحليقة
محطة كهرباء الزويتينة الغازية - ليبيا
Email- zwuitina@yahoo.com

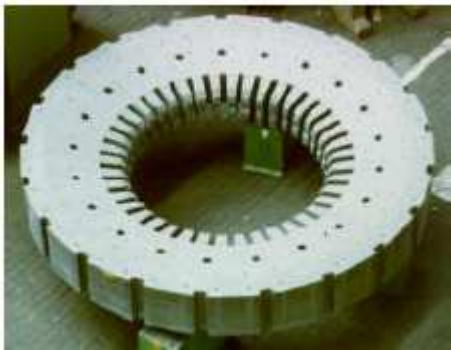
أداء المولدات الكهربائية

مقدمة

يتكون المولد الكهربائي من قلب حديدي يحتوى على الملفات الثابتة وعضو دوار يحتوى على الملفات المتحركة ويتم تدوير المولد إما بتربينة بخارية أو غازية أو مائية أو محرك ديزل .

القلب الحديدي يتكون القلب الحديدي من عدد كبير من شرائح الحديد التي يتم عزلها وتجميعها في كتلة واحدة لتكون الوسط الذي يمر من خلاله المجال المغناطيسي

الشكل التالي يوضح تجميع شرائح القلب الحديدي

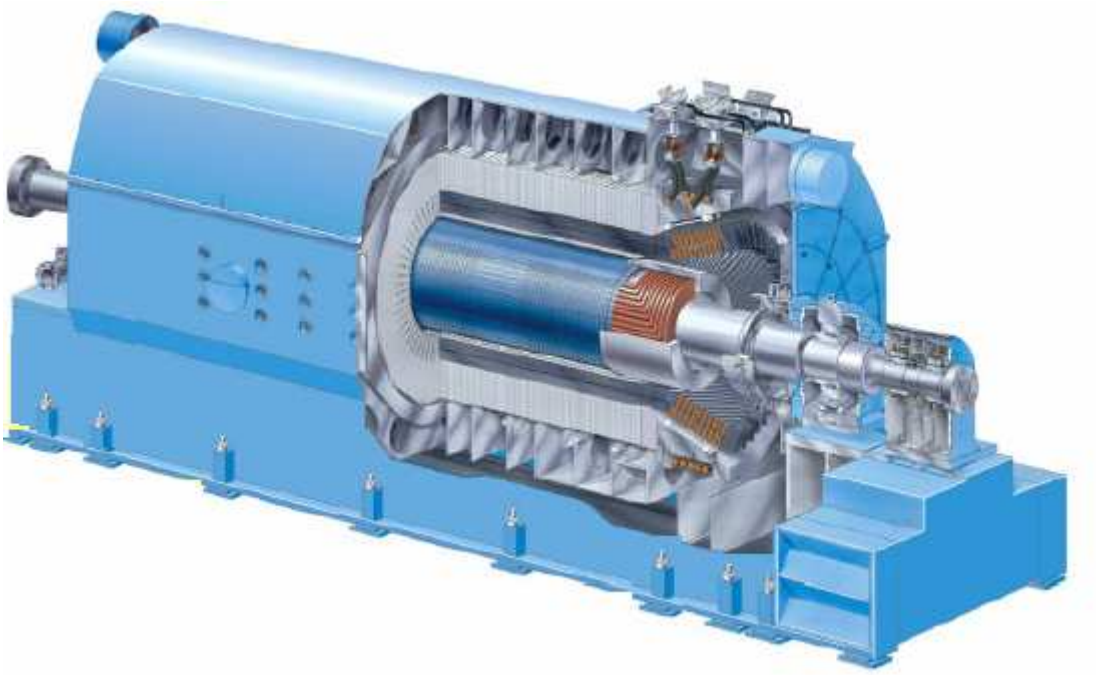


الملفات الثابتة للمولد تتكون من قضبان من النحاس يتم عزلها وتثبيتها داخل مجاري محفورة في القلب الحديدي ويتم ربطها مع بعضها البعض لتكون ثلاثة ملفات رئيسية ذات ست إطراف يتم ربط البدايات مع بعضها وتسمى النقطة المحايدة والنهايات تكون ثلاثة أطوار المولد

والشكل التالي يوضح الملفات بعد تثبيتها في القلب الحديدي

العمود الدوار يتكون أيضا من شرائح من الحديد يتم عزلها وتجميعها مع بعضها البعض وهي تحتوى على مجارى لتثبيت الملفات المتحركة الخاصة بإنتاج الفيض المغناطيسي

والشكل التالي يوضح المولد الكهربائي بجميع أجزاه

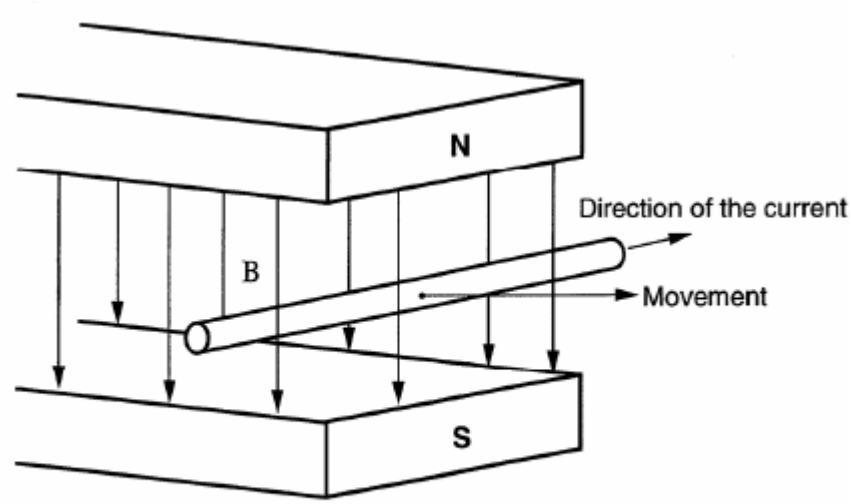


مبدأ عمل المولد الكهربائي:-

تعتبر الفكرة الأساسية في مبدأ عمل المولد هي قطع المجال المغناطيسي الناتج من الملفات المتحركة للملفات الثابتة في المولد حيث تتولد قوة دافعة كهربائي ويكون تركيز المجال المغناطيسي في الثغرة الهوائية التي بين العضو الدوار والملفات الثابتة وبما إن للمجال المغناطيسي قطبين شمالي وجنوبي وان قطع الملفات الثابتة تارتا بالقطب الشمالي وتارتا بالقطب الجنوبي فان القوة الدافعة الكهربائي وكذلك التيار يكونا متغيرين وهو ما يسمى بالتيار المتردد ومما تقدم لو تخيلنا إن المجال المغناطيسي عند دوران العضو الدوار ياخذ الأوضاع الآتية:-

- يكون المجال المغناطيسي في العضو الدوار موازى للملفات الثابتة فلا يقطعها ولا ينتج عن ذلك توليد قوة دافعة كهربائي
- يكون المجال المغناطيسي في العضو الدوار عمودي على الملفات الثابتة فيقطعها وينتج عن ذلك توليد قوة دافعة كهربائي بقيمة عظمى ويكون اتجاهها خارج من الملفات
- يكون المجال المغناطيسي في العضو الدوار موازى للملفات الثابتة مرة أخرى فلا يقطعها ولا ينتج عن ذلك توليد قوة دافعة كهربائي
- يكون المجال المغناطيسي في العضو الدوار عمودي على الملفات الثابتة مرة أخرى فيقطعها وينتج عن ذلك توليد قوة دافعة كهربائي بقيمة عظمى ويكون اتجاهها داخل إلى الملفات.

هذا بالنسبة لمولد أحادى الطور إما في المولد ثلاثي الطور فان هناك زاوية طور مابين كل ملف من الملفات الثلاثة بمعنى إن الجهود في الملفات الثلاثة متساوية في قيمتها العظمى ولكن الفارق هو إن الملف الأول يصل إلى قيمته العظمى أولا ثم بعد زاوية 120 درجة يصل الملف الثاني إلى قيمته العظمى ثم بعد زاوية 120 درجة من الملف الثاني يصل الملف الثالث إلى قيمته العظمى وهكذا



$$U_{ind} = B \cdot l \cdot v \cdot z \ (V)$$

الشكل أعلاه يوضح المولد في ابسط صوره حيث عند تحريك موصل بين قطبين مغناطيسيين فانه ينتج عن ذالك قوة دافعة كهربائية يمكن حسابها بالمعادلة المبينة أعلاه حيث

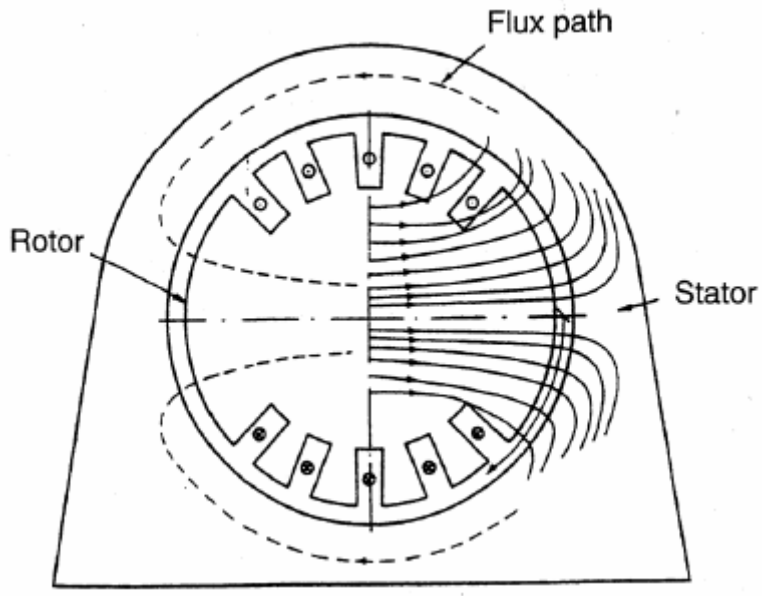
Uind القوة الدافعة الكهربائية

B كثافة الفيض المغناطيسي

I طول السلك

V سرعة السلك

Z عدد لفات السلك



الشكل أعلاه يوضح قطع ملفات المولد للفيض المغناطيسي المنتج في الملفات الثابتة حيث يمكن حساب تردد المولد بالعادلة التالية

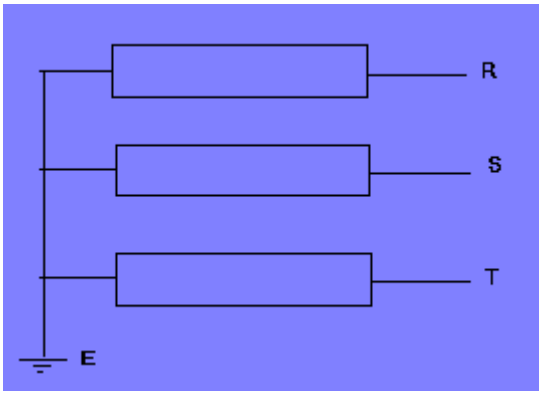
$$f = p \cdot \frac{n}{60}$$

حيث F تردد المولد

P عدد أزواج الأقطاب

N سرعة المولد

وفى جميع المولدات يتم توصيل الملفات الثابتة بتوصيلة نجمة اى إن يتم توصيل البداية لكل ملف من الملفات الثلاثة مع بعضها وتوصل بالأرض ويتم توصيل النهايات لكل ملف بالشبكة والشكل أدناه يوضح طريقة توصيل ملفات المولد



نظام التحريض

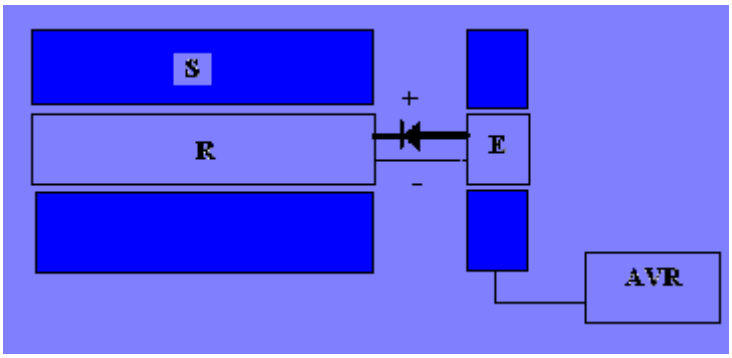
ووظيفته تغذية العضو الدوار بالتيار اللازم للإنتاج المجال المغناطيسي ويجد نوعين من أنواع التحريض للمولد

نظام التحريض الدوار

نظام التحريض الساكن

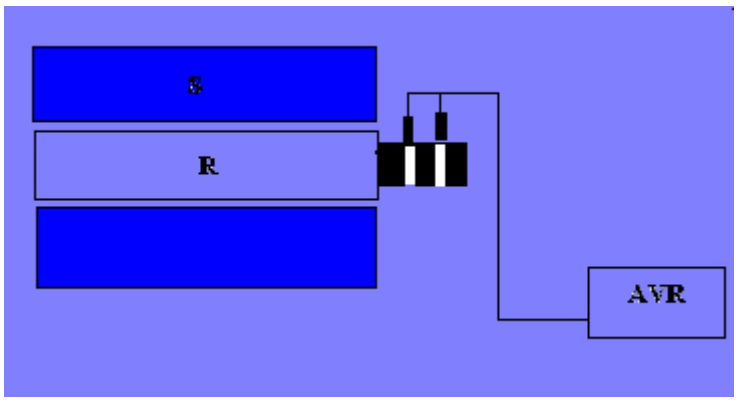
نظام التحريض الدوار وهو عبارة عن مولد صغير يتم تغذية الملفات الثابتة له بتيار مستمر فيقطع العضو الدوار المجال المغناطيسي المتولد في الملفات الثابتة فيتكون فيه ق.د.ك متغيرة فيتم تحويلها إلى تيار مستمر عن طريق موحدات ديودات يتم ربطها مع ملفات العضو الدوار للمولد عن طريق قضبان داخل العضو الدوار .

والشكل التالي يوضح نظام التحريض الدوار



نظام التحريض الساكن وفية يتم تغذية الملفات الثابتة للمولد بالتيار المستمر عن طريق فرش كربونية التي تلامس حلقات انزلاق يتم تثبيتها على العضو الدوار وهى مربوطة مع الملفات المتحركة للمولد

والشكل التالي يوضح نظام التحريض الساكن



AVR منظم الجهد الأوتوماتيكي:-

ووظيفته تنظيم الجهد على المولد وذالك لان الحمل على المولد متغير فانه عند رفع الحمل ينخفض الجهد على المولد وعند خفض الحمل على المولد يرتفع الجهد وذالك نظرا لزيادة أو انخفاض التيار الخارج من المولد ويتم التحكم في جهد المولد عن طريق رفع أو خفض تيار التحريض للمولد ويتم التحكم في تيار التحريض عن طريق حاسوب أو نظام التحكم الأكترونى PID حيث يتم توصيل محول جهد ومحول تيار إلى منظومة التحكم و يتم مرقبه جهد المولد وقياس زاوية الطور وزاوية الحمل للمولد عن طريق مقارنة التيار بالجهد وتعتمد حساسية واستقرار نظام التحكم في الجهد على نوع نظام التحريض تحريض دوار أو تحريض ساكن وحيث إن التحريض الساكن متصل مباشرا بالعضو الدوار للمولد فان استجابته تكون عالية مقارنتا بالتحريض الدوار وبالمقابل فان التحريض الدوار يكون ذو استقرار عالي وعادتا يكون لنظام التحكم قناتين الأولى اوتوميتكية والثانية يدوية حيث يتم التحكم في الجهد يدويا

القدرة الكهربائية الفعالة

تعرف القدرة الكهربائية بأنها معدل الشغل المبذول بالنسبة للزمن ويرمز لها بالرمز P وتسمى القدرة الفعالة

$$P = \sqrt{3}*V*I*\cos \Phi$$

ووحدتها الوات W ويعرف بأنه كمية الشغل المبذول مقداره واحد جول لفترة زمنية ثانية واحدة

$$Watt = joule / second$$

القدرة الظاهرية

وهى حاصل ضرب الجهد في التيار وتسمى بالقدرة الكلية ووحدتها VA

$$S = V*I$$

القدرة الكهربائية الغير فعالة

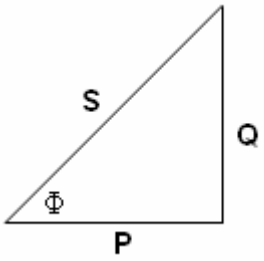
وهى الناتجة عن التيار الرد فعلى وهذا التيار ناتج عن مرور تيار متغير في ملف كهربائي أو مكثف كهربائي اى إن لوحظ عند توصيل ملف كهربائي بتيار متردد فان الملف يقوم بتحويل نصف الموجة الجيبية الأولى إلى مجال مغناطيسي ويقوم بإرجاع النصف الأخر إلى المصدر بصورة تيار رد فعلى ويكون عمودي على الجهد ويساوى $I \sin \Phi$ وتكون الزاوية بين الجهد والتيار في دوائر التوازي 90- درجة

وكذلك المكثف الكهربائي يقوم بتحويل نصف الموجة الجيبية الأولى إلى شحنة كهربائية ويقوم بإرجاع النصف الأخر إلى المصدر بصورة تيار رد فعلى ويكون عمودي على الجهد ويساوى $I \sin \Phi$ وتكون الزاوية بين الجهد والتيار في دوائر التوازي 90 درجة وهذه القدرة إما إن تكون خارجة من المولد أو داخلة إلى المولد اى إن إما إن تكون موجبة أو سالبة ووحدتها VAR وتساوى

$$Q = \sqrt{3}\, V^* I^* \sin \Phi$$

مثلث القدرة

مثلث القدرة وفيه يتم تحديد القدرة بجمبع انواعها فى اضلاعه الثلاث والزاوية بينهما كما هو موضح فى الشكل ادناه



معامل القدرة Power factor

يعرف معامل القدرة النسبة بين القدرة الفعالة والقدرة الظاهرية وهو يساوى $\cos \Phi$

$$\cos \Phi = S/P$$

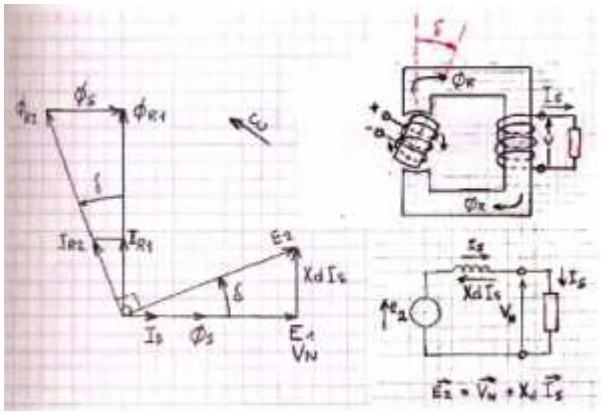
وكلما كانت قيمة معامل القدرة قريبة من الوحد صحيح اى إن تساوى القدرة الفعالة والقدرة الظاهرية كلما كانت كفاءة المولدات كبيرة

تأثير التيار المتردد على العناصر الكهربائية

في هذا الباب ندرس تأثير التيار المتردد على العناصر الكهربائية الثلاثة وهى المقاومة والملف والمكثف والتي تمثل الحمل المباشر في الشبكة الكهربائية لكي يتسنى لنا معرفة تأثير هذه الأحمال على استقرار الشبكات والمولدات الكهربائية

أولا المقاومة

تعتبر المقاومة الكهربائية ذات تأثير محايد عند توصيلها بالتيار المتردد اى إن الزاوية بين الجهد والتيار تساوى صفر كما هو موضح في الشكل أدناه



في الشكل أعلاه يتم ربط مقاومة كهربائية مع مولد أحادى الطور ومن الشكل أعلاه نلاحظ إن

E2 الجهد الكلى

Is تيار الملفات الثابتة للمولد

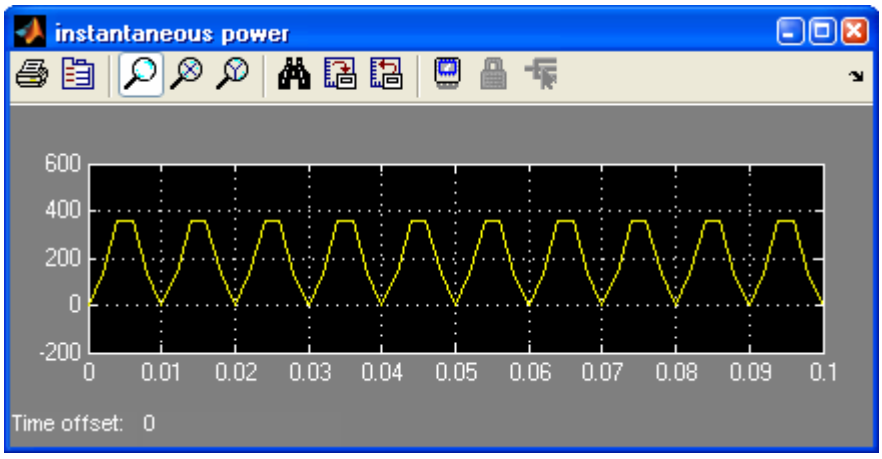
Vn الجهد على طرفي المقاومة

ΘR الفيض المغناطيسي المتحرك

Xd المفاعلة الحثية للمولد

ومن الشكل أعلاه نلاحظ إن الجهد والتيار ينطلقان من نقطة واحدة ويكون تيار الملفات المتحركة IR عمودي على جهد وتيار الملفات الثابتة

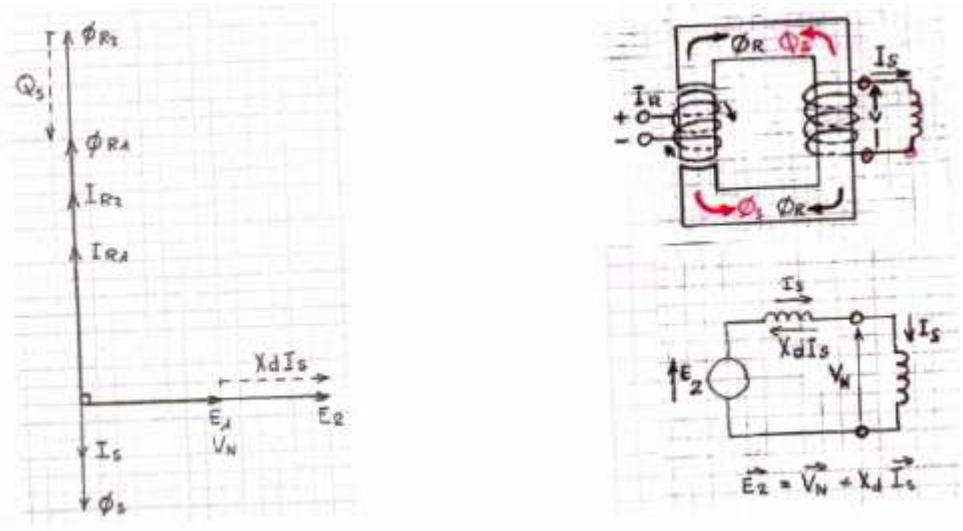
والجهد الكلى يساوى جهد المفاعلة الحثية للمولد زائد الجهد على طرفي المقاومة الكهربائية وفى هذه الحالة نستنتج إن تأثير المقاومة تأثير فعلى فقط وبالرجوع إلى مثلث القدرة نلاحظ إن زاوية القدرة Φ تساوى صفر وان القدرة الفعالة P تساوى القدرة الظاهرية S وبالتالي فان القدرة غير الفعالة Q تساوى صفر



الشكل أعلاه يبين تحليل تأثير التيار المتردد على المقاومة الكهربائية باستخدام برنامج متلاب حيث نلاحظ عند توصيل مقاوم كهربائية بقيمة 200 W فان القدرة الفعالة P تكون اكبر ما يمكن وان القدرة غير الفعالة تساوي صفر

ثانيا المفاعلة الحثية

عند توصيل ملف كهربائي بتيار متردد فان الملف يقوم بتحويل نصف الموجة الجيبية الأولى إلى مجال مغناطيسي ويقوم بإرجاع النصف الأخر إلى المصدر بصورة تيار غير فعال ويكون عمودي على الجهد وتكون الزاوية بين الجهد والتيار في دوائر التوازي 90- درجة كما هو موضح في الشكل أدناه



في الشكل أعلاه يتم ربط ملف كهربائية مع مولد أحادى الطور ومن الشكل أعلاه نلاحظ إن

E2 الجهد الكلى

Is تيار الملفات الثابتة للمولد

Vn الجهد على طرفي المقاومة

ΘR الفيض المغناطيسي للملفات المتحرك

Xd المفاعلة الحثية للمولد

Θs الفيض المغناطيسي للملفات الثابتة

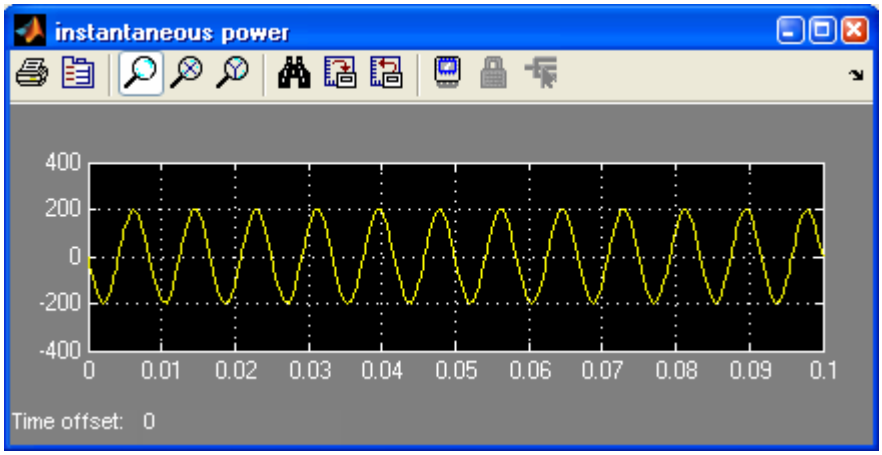
ومن الشكل أعلاه نلاحظ إن تيار الملفات المتحركة IR والفيض المغناطيسي للملفات المتحرك ΘR يكون عمودي على الجهد بزاوية 90 درجة وإن تيار الملفات الثابتة Is والفيض المغناطيسي للملفات الثابتة Θs عمودي على الجهد بزاوية 90- درجة وفى هذه الحالة الفيض المغناطيسي الكلي يساوي

$$\Theta = \Theta R - \Theta s$$

والجهد الكلى E يساوى جهد المفاعلة الحثية للمولد زائد الجهد على طرفي الملف الكهربائية وفى هذه الحالة نستنتج إن تأثير الملف الكهربائي تأثير غير فعال وبالرجوع إلى مثلث القدرة نلاحظ إن زاوية القدرة Φ تساوى - 90- درجة وان القدرة الفعالة P تساوى صفر وبالتالي فان القدرة غير الفعالة Q تساوى القدرة الظاهرية S حيث إن

$I \cos \Phi = 0 \quad \blacktriangleright P = 0$

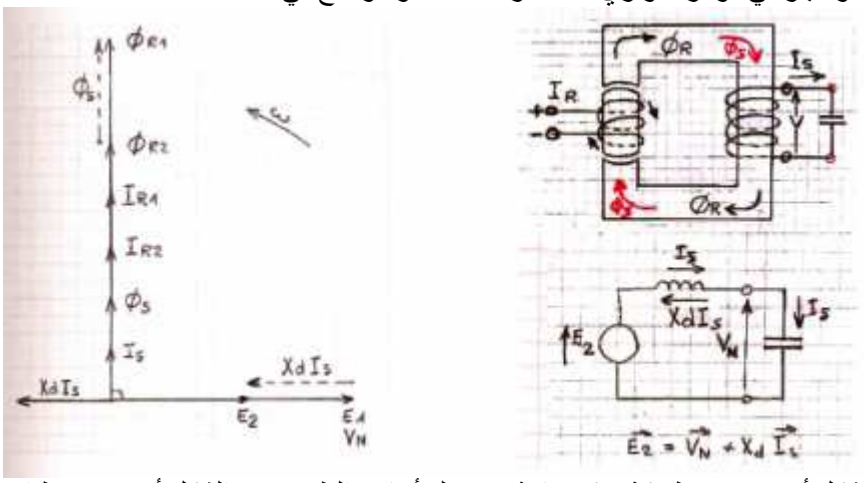
$I \sin \Phi = 1 \quad \blacktriangleright -Q = >$



الشكل أعلاه يبين تحليل تأثير التيار المتردد على الملف الكهربائية باستخدام برنامج متلاب وبإهمال قيمة المقاومة وتوصيل ملف كهربائية بقيمة 200 W فان القدرة الفعالة P تساوي صفر وان القدرة غير الفعالة Q 200W وبزاوية سالبة

ثالثا المكثف الكهربائي

عند توصيل المكثف الكهربائي بالتيار المتردد يقوم بتحويل نصف الموجة الجيبية الأولى إلى شحنة كهربائية ويقوم بإرجاع النصف الأخر إلى المصدر بصورة تيار رد فعلى ويكون عمودي على الجهد وتكون الزاوية بين الجهد والتيار في دوائر التوازي 90 درجة كما هو موضح في الشكل أدناه



في الشكل أعلاه يتم ربط مكثف كهربائية مع مولد أحادى الطور ومن الشكل أعلاه نلاحظ إن

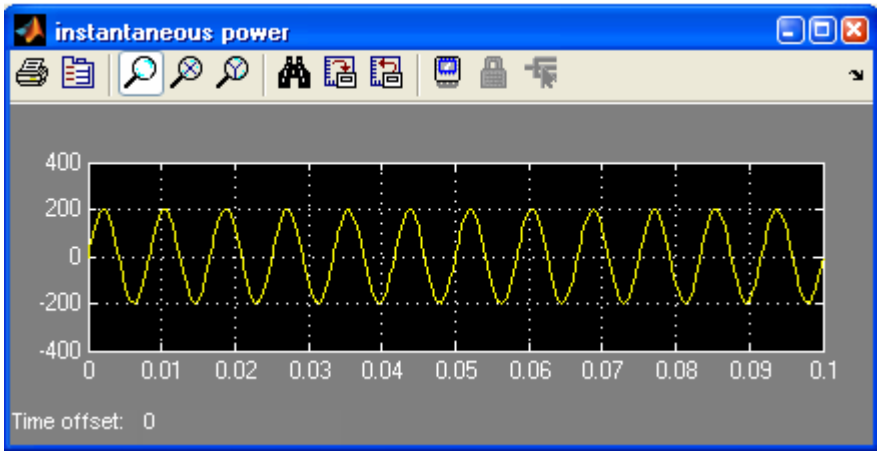
E2 الجهد الكلى
Is تيار الملفات الثابتة للمولد
Vn الجهد على طرفي المقاومة
ΘR الفيض المغناطيسي للملفات المتحرك
Xd المفاعلة الحثية للمولد
Θs الفيض المغناطيسي للملفات الثابتة

ومن الشكل أعلاه نلاحظ إن تيار الملفات المتحركة IR والفيض المغناطيسي للملفات المتحرك ΘR وكذالك تيار الملفات الثابتة Is والفيض المغناطيسي للملفات الثابتة Θs كلاهما عمودي على الجهد بزاوية 90 درجة وفى هذه الحالة الفيض المغناطيسي الكلي يساوي

$$\Theta = \Theta R + \Theta s$$

والجهد الكلى E يساوى جهد المفاعلة الحثية للمولد زائد الجهد على طرفي المكثف الكهربائية وفى هذه الحالة نستنتج إن تأثير المكثف الكهربائي تأثير غير فعال وبالرجوع إلى مثلث القدرة نلاحظ إن زاوية القدرة Φ تساوى 90 درجة وان القدرة الفعالة P تساوى صفر وبالتالي فان القدرة غير الفعالة Q تساوى القدرة الظاهرية S حيث إن

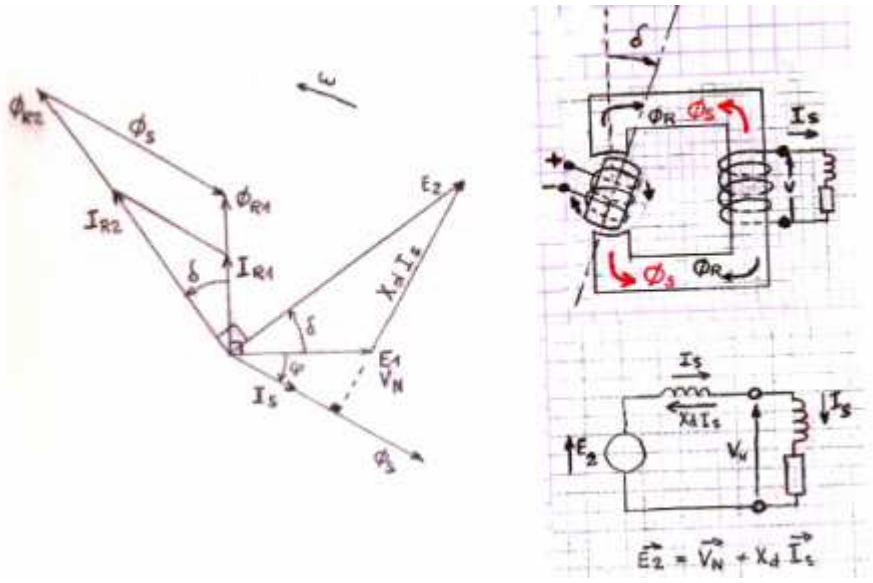
I cos Φ = 0 ► P = 0
I sin Φ = 1 ► Q = >



الشكل أعلاه يبين تحليل تأثير التيار المتردد على المكثف الكهربائية باستخدام برنامج متلاب وبإهمال قيمة المقاومة وتوصيل مكثف كهربائية بقيمة 200 W فان القدرة الفعالة P تساوي صفر وان القدرة غير الفعالة Q 200W وبزاوية موجبة

رابعا دائرة المقاومة والملف الكهربائي

هذه الحالة تعتبر الحالة الشائعة للأحمال الكهربائية على المولدات وهنا يتم المزج بين الأحمال الفعالة والغير فعالة وهى تنطبق أيضا على المكثف الكهربائي مع بعض الاختلافات حيث تكون قيمة القدرة الفعالة P وغير الفعالة Q معتمدة على مقدار الأحمال الفعالة وغير الفعالة وينعكس تأثيرها على زاوية الحمل Φ ومعامل القدرة PF كما هو موضح في الشكل أدناه



في الشكل أعلاه يتم ربط مقاومة وملف كهربائي مع مولد أحادى الطور ومن الشكل أعلاه نلاحظ إن
E2 الجهد الكلى
Is تيار الملفات الثابتة للمولد
Vn الجهد على طرفي الحمل
ΘR الفيض المغناطيسي للملفات المتحرك
Xd المفاعلة الحثية للمولد

Θs الفيض المغناطيسي للملفات الثابتة
Θ الزاوية مابين الجهد والتيار للملفات الثابتة
ℓ الزاوية مابين جهد الملفات الثابتة وجهد الملفات المتحركة
ومن الشكل أعلاه نلاحظ إن تيار الملفات المتحركة IR والفيض المغناطيسي للملفات المتحرك ΘR يكون عمودي على الجهد بزاوية 90 درجة وإن الزاوية بين الجهد E وتيار الملفات الثابتة Is والفيض المغناطيسي للملفات الثابتة Θs اقل من 45 درجة وهى محصلة تأثير الأحمال الفعالة وغير الفعالة أي بسبب تأثير المقاومة والملف الكهربائي جميعا
والجهد الكلى E يساوى جهد المفاعلة الحثية للمولد زائد الجهد على طرفي الحمل الكهربائي وفى هذه الحالة نستنتج إن تأثير الحمل الكهربائي تأثير فعال وغير فعال وبالرجوع إلى مثلث القدرة نلاحظ إن زاوية القدرة Φ تساوى اقل من 45 درجة ومعامل القدرة يساوى حوالي 0.8 وان قيمة القدرة الفعالة P تعتمد على مقدار الأحمال الفعالة وان قيمة القدرة غير الفعالة Q تعتمد على مقدار الأحمال غير الفعالة وان القدرة الظاهرية S تساوي

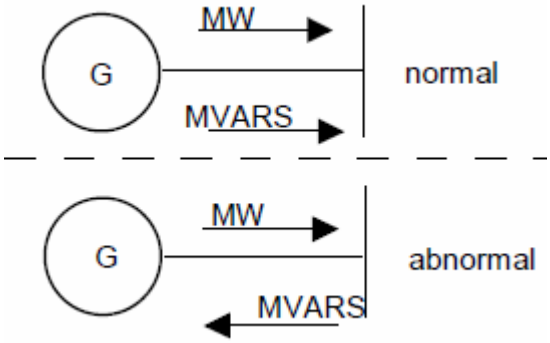
$S = \sqrt{P + Q}$

حيث إن

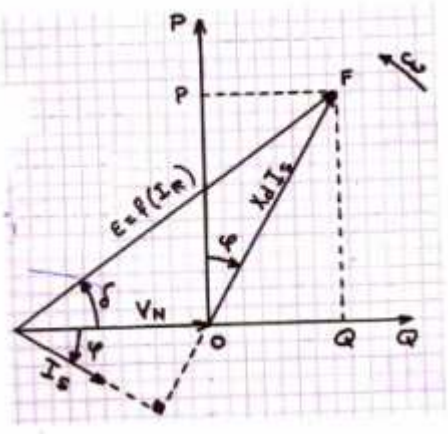
$I \cos \Phi \neq 0$ ► P = >
$I \sin \Phi \neq 0$ ► Q = >

منحنى أداء المولدات الكهربائية

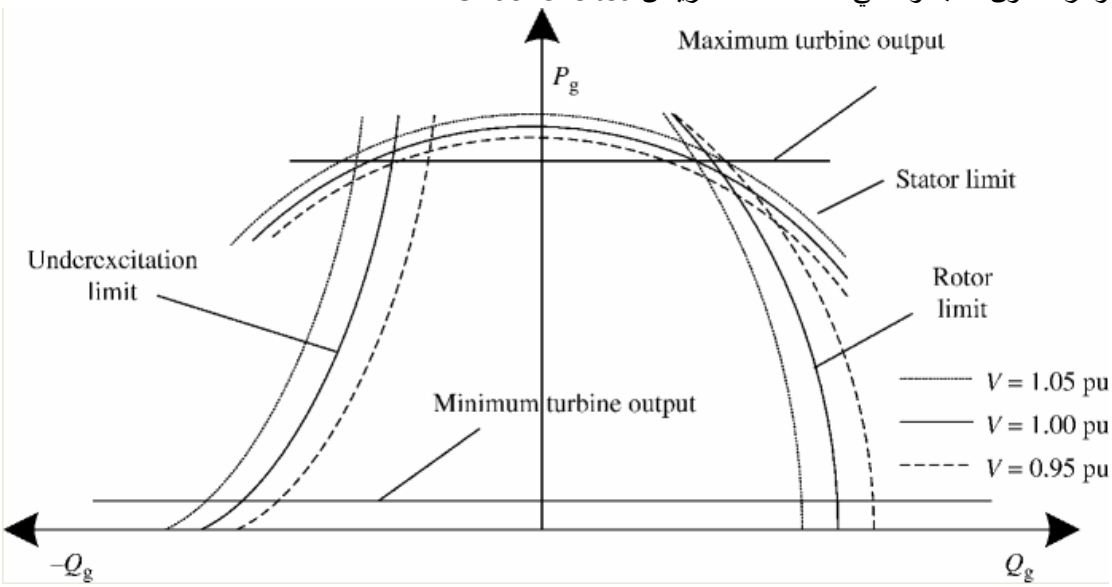
يعتبر أداء المولدات الكهربائية محصور في نطاق معين مبني على إحداثيات لقيم القدرة الفعالة والغير الفعالة حيث يمكن من خلاله معرفة قدرة المولد على إنتاج اكبر قدر من الطاقة وأيضا معرفة قدرة المولد على العمل في الظروف العادية والغير عادية



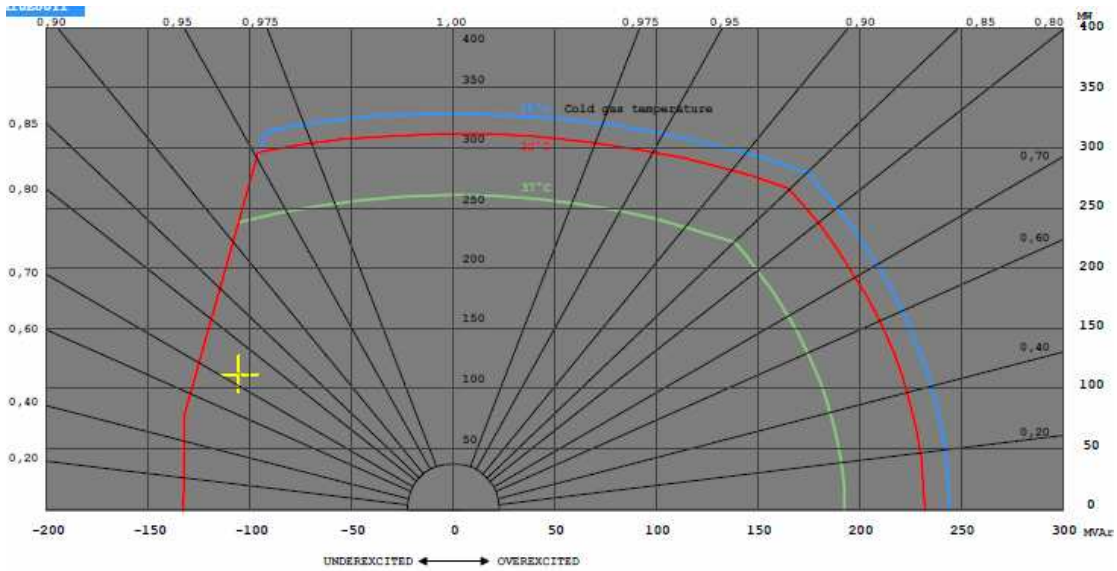
الشكل أعلاه يوضح ظروف العمل العادية والغير عادية للمولد الكهربائية حيث في ظروف العمل العادية يقوم المولد بإنتاج القدرة الفعالة وغير الفعالة وفى ظروف العمل الغير عادية يقوم المولد بإنتاج القدرة الفعالة واستهلاك القدرة غير الفعالة



الشكل أعلاه يبين منحنى أداء المولد للعناصر الكهربائية السابقة حيث نلاحظ إن القدرة الفعالة P تمثل الإحداثيات Y والقدرة غير الفعالة Q تمثل الإحداثيات X وتارتا تكون موجبة وتسمى حالة فوق التحريض Over excited وتارتا تكون سالبة وتسمي حالة تحت التحريض Under excited



الشكل أعلاه يبين منحنى أداء المولد بشي من التفصيل حيث نلاحظ إن جميع ثوابت المولد في المنحني تعتمد على قيمة الجهد على إطراف المولد فالخط العادي يمثل القيمة المثالية للجهد وهى 1 pu والخط المقطع يمثل انخفاض في الجهد بقيمة 0.95 pu والخط المنقط يمثل ارتفاع في الجهد بقيمة 1.05 pu وكل هذه التغيرات في الجهد توثر بالزيادة أو الانخفاض في اعلي قيمة لتيار الملفات الثابتة للمولد stator limit واعلي قيمة لتيار الملفات المتحركة للمولد rotor limit و توثر أيضا في اعلي قيمة لحالة فوق التحريض Over excited والتي تمثل يمين الشكل Qg وحالة تحت التحريض Under excited والتي تمثل يسار الشكل Qg-



الشكل أعلاه يوضح منحنى أداء المولد الذي يبين مقدرة المولد على إنتاج القدرة الفعالة وغير الفعالة في جميع الظروف حيث يتم تحديد منحنى القدرة على حسب حرارة هواء تبريد الملفات الثابتة للمولد والشكل أعلاه يبين منحنى أداء لمولد من نوع SIEMENS SG5 وبقدرة 315MVA نجد إن

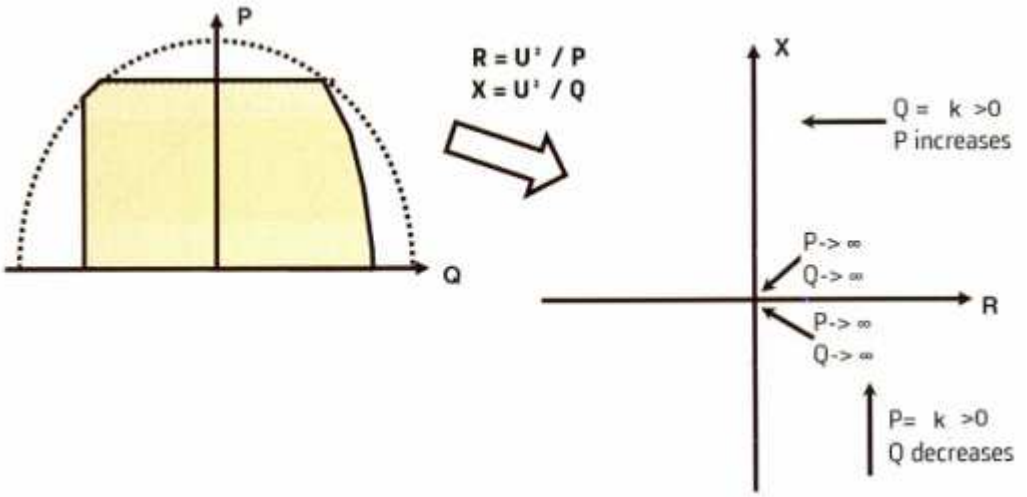
- الخط الأزرق يمثل منحنى القدرة عندما تكون حرارة هواء تبريد ملفات المولد عند 25C حيث يمكن للمولد إنتاج قدرة فعالة تصل إلى 315MW وقدرة غير فعالة من 247Mvar _ 135Mvar-
- الخط الأحمر يمثل منحنى القدرة عندما تكون حرارة هواء تبريد ملفات المولد عند 32C حيث يمكن للمولد إنتاج قدرة فعالة تصل إلى 305MW وقدرة غير فعالة من 230Mvar _ 135Mvar-

- الخط الأخضر يمثل منحنى القدرة عندما تكون حرارة هواء تبريد ملفات المولد عند 37C حيث يمكن للمولد إنتاج قدرة فعالة تصل إلى 255MW وقدرة غير فعالة من 190Mvar _ 135Mvar-

والجدير بالذكر إن حالة تحت التحريض Under excited تحدد عادتا بحوالي 0.4Pu من القدرة الإجمالية للمولد حيث بعد هذه القيمة يتحول المولد إلى محرك حثي وعندها يتم فصل المولد بالوقاية من فقد التحريض

منحنى أداء المولد X R

من المعروف انه يتم تمثيل منحني أداء المولد بمرجعية القدرة الفعالة والقدرة غير الفعالة ولكن إذا ما تم الرجوع إلى الأصل إلا وهو الممانعة فيمكن أيضا حساب القدرة المنتجة في المولد على إحداثيات المقاومة R والمفاعلة X كلا على حدا كما هو موضح في الشكل أدناه



الشكل أعلاه يبين تمثيل القدرة على إحداثيات X R حيث يمكن حساب القدرة المنتجة من المولد على إحداثيات الممانعة X R حيث قيمة المقاومة تساوي مربع جهد المولد مقسوم على القدرة الفعالة P وقيمة المفاعلة تساوي مربع جهد المولد مقسوم على القدرة غير الفعالة Q ولحساب ذالك نفرض إن

U = 10 KV
P = 100 MW
Q = 80 MVAR
Q = 10 MVAR
Q = -10MVAR

1- 100 MW 80 MVAR

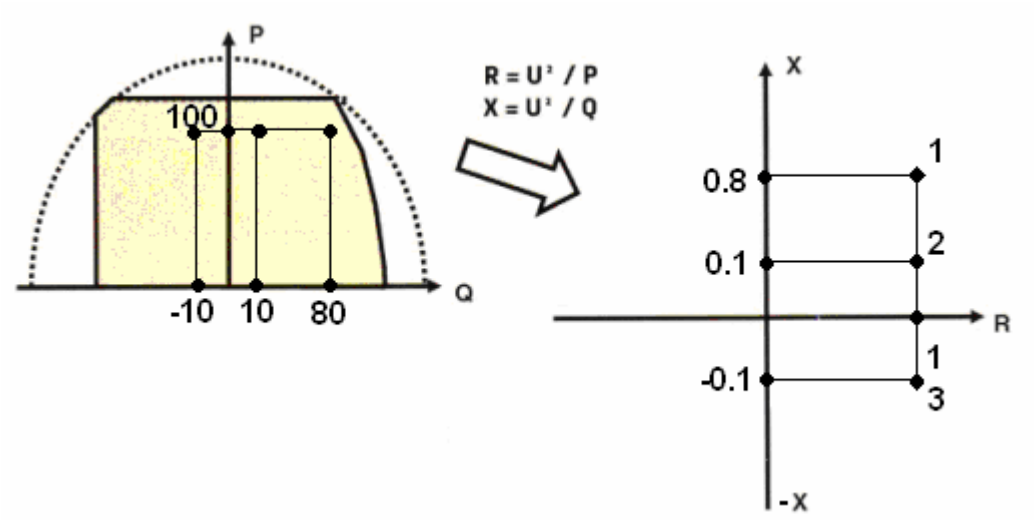
$R = U^2 / P$ = 10 * 10 / 100 = 1 Ω
$X = U^2 / Q$ = 10 * 10 / 80 = 0.8 Ω

2- 100 MW 10 MVAR

10 * 10 / 100 = 1 Ω
10 * 10 / 10 = 0.1 Ω

3- 100 MW -10 MVAR

10 * 10 / 100 = 1 Ω
10 * 10 / -10 = -0.1 Ω



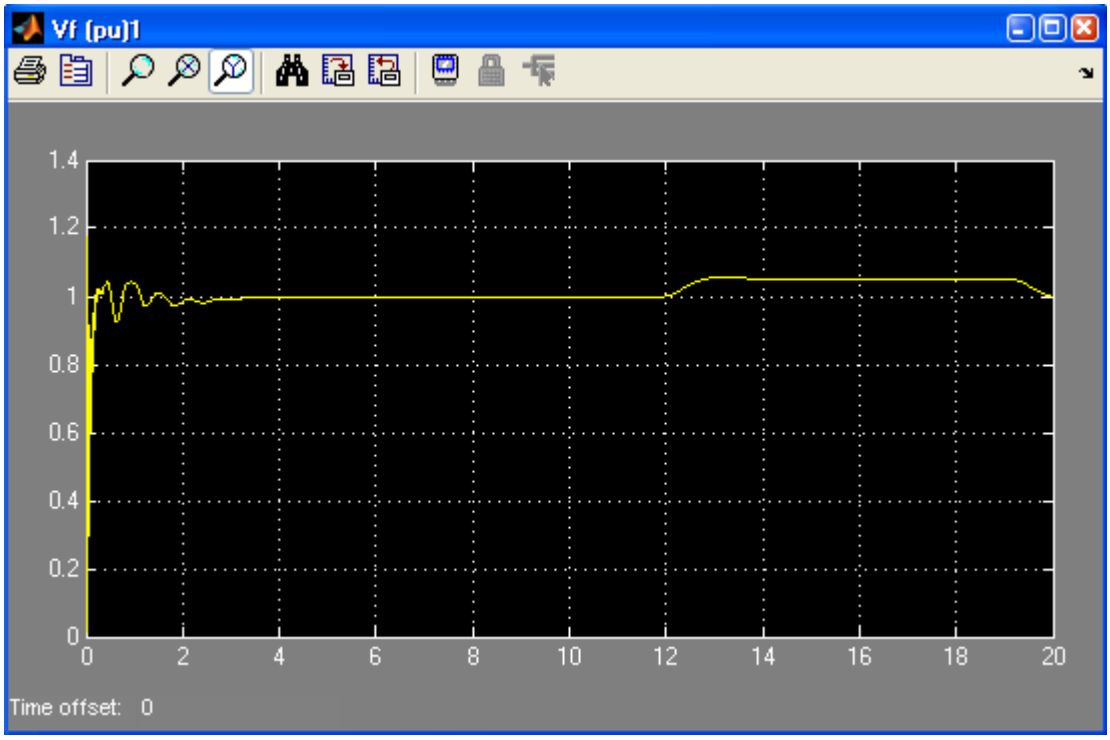
الشكل أعلاه يبين موقع الأحمال التي تم حسابها سابقا على منحني أداء المولد وإحداثيات X R
والجدير بالذكر انه يمكن تغيير الجهد على طرفي المولد وذالك لرفع أو خفض القدرة غير الفعالة Q حيث يرتبط الجهد بعلاقة طردية مع القدرة غير الفعالة كما هو موضح أدناه

التحكم في القدرة غير الفعالة Reactive power

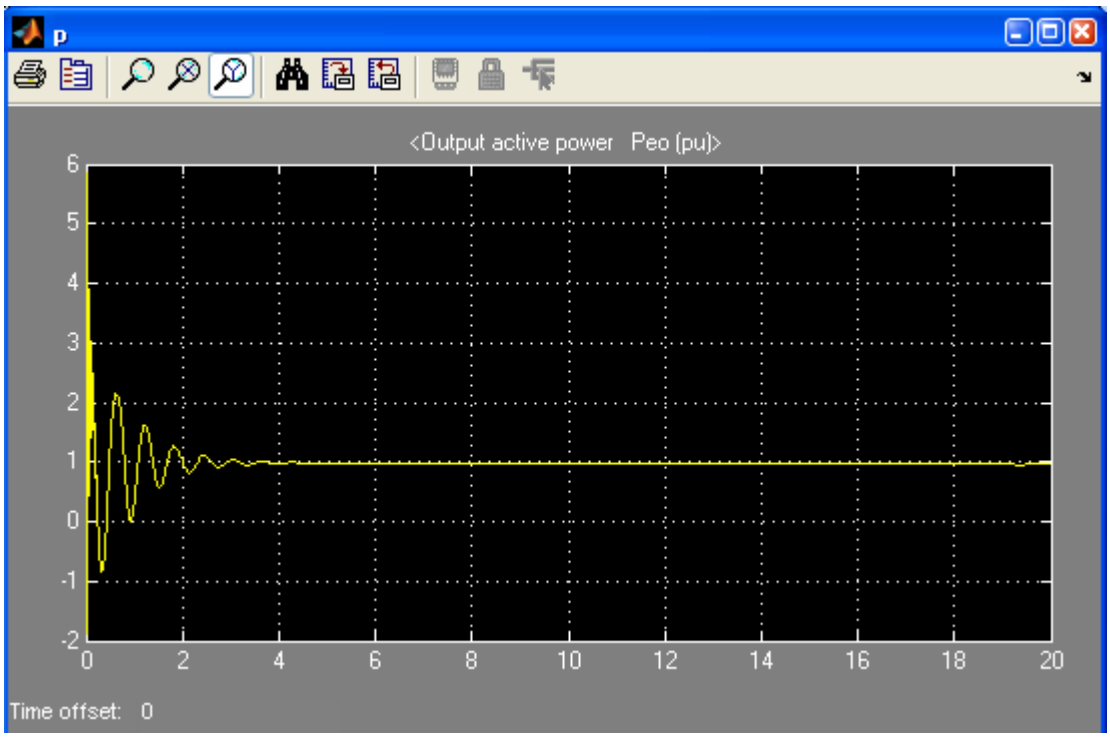
النتائج التالية تم الحصول عليها باستخدام برنامج متلاب حيث تم تصميم مجسم للتربينة ومولد موصول بشبكة كهربائية ذات موصفات الآتية

S = 10000MVA
Engine hydraulic turbine
Static excitation
Synchronize machine 200 MVA
V=13.5KV
Setup transformer 13.5KV-500KV

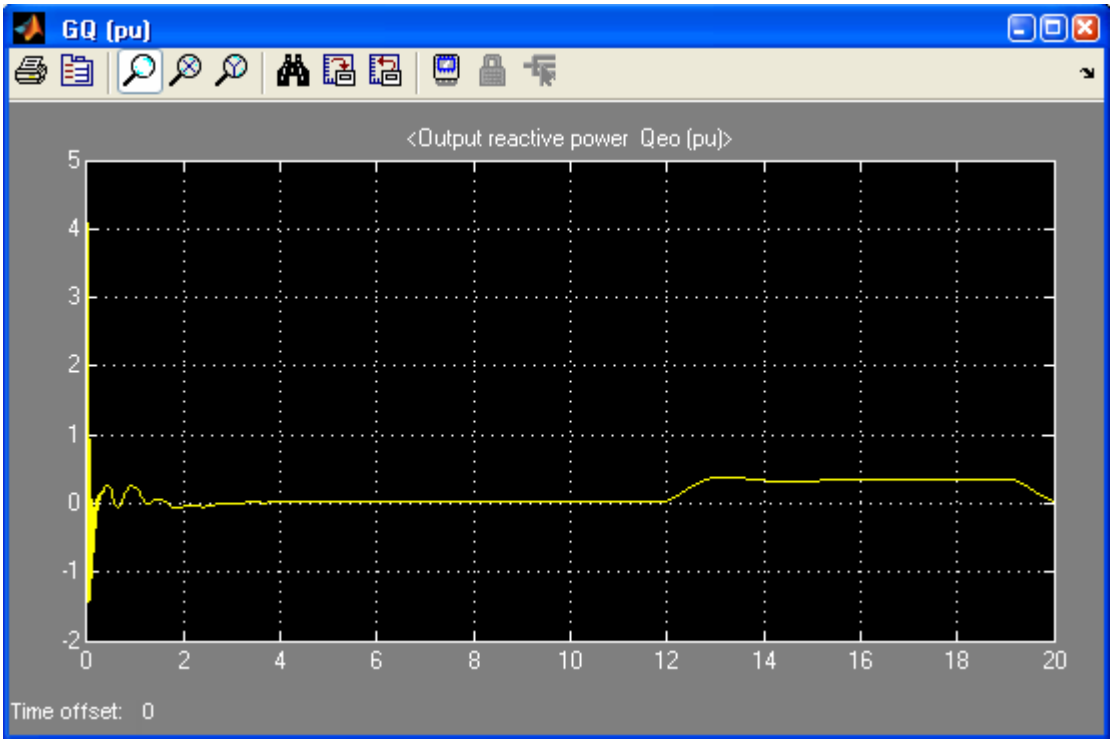
تم تشغيل المجسم لمدة 20s وعند زمن 12s تم رفع جهد المولد بمقدار 0.09Pu ولمدة 4s حيث نلاحظ ارتفاع الجهد على طرفي المولد وبالتالي ارتفاع القدرة غير الفعالة Q واستقرار القدرة الفعالة P وتغير زاوية الحمل والعكس صحيح
والجدير بالذكر إن حالة تحت التحريض Under excited وحالة فقد التحريض Loss of excitation تعتمد على قيمة الجهد على طرفي المولد من حيث الزيادة والنقصان كما تم شرحه سابقا



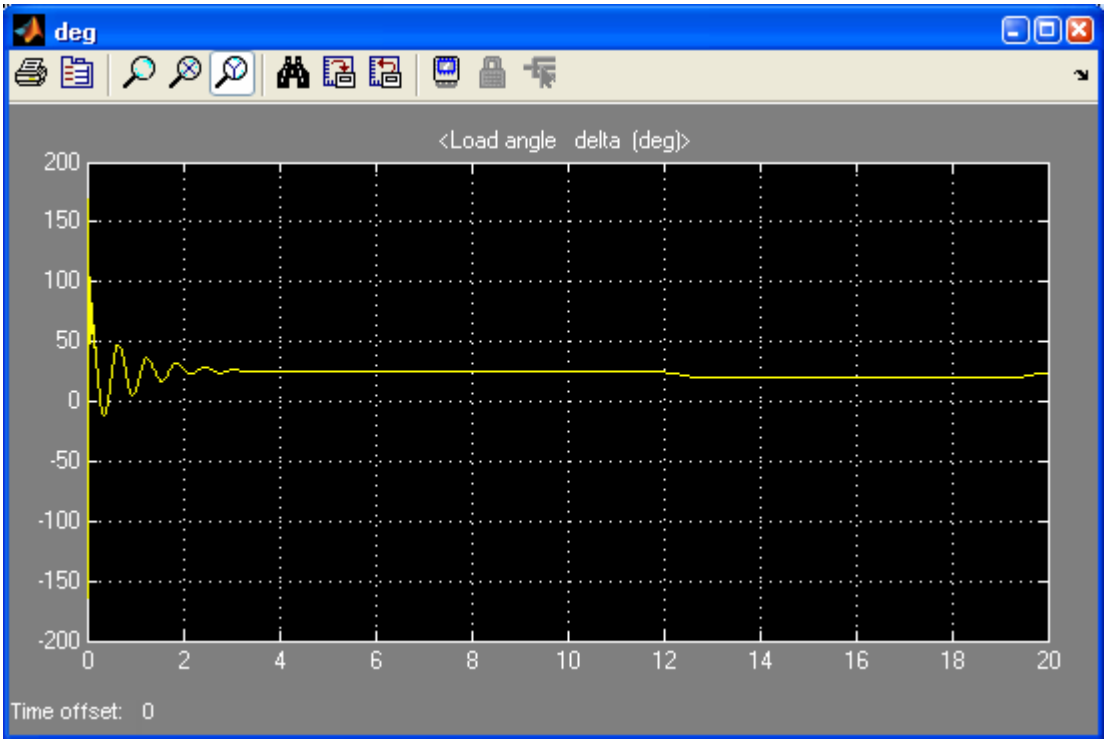
الشكل أعلاه يبين ارتفاع الجهد على المولد بمقدار 0.09Pu اى إن تم رفع الجهد من 13.5KV إلى 14.7KV



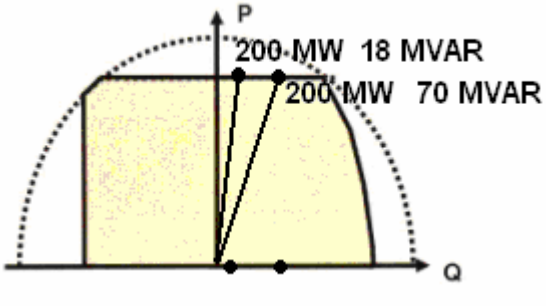
الشكل أعلاه يبين عدم تأثر القدرة الفعالة P بالتغير في الجهد على طرفي المولد



الشكل أعلاه يبين ارتفاع القدرة غير الفعالة Q من 0.09Pu إلى 0.35Pu اى إن ارتفاع القدرة غير الفعالة من 18 MVAR إلى 70 MVAR وذالك تبعا لرفع الجهد على طرفي المولد



الشكل أعلاه يبين انخفاض الفرق في زاوية الحمل بسبب رفع الجهد على طرفي المولد



الشكل أعلاه يبين التغير في القدرة غير الفعالة Q على منحني أداء المولد
ومما تقدم يمكن ملاحظة أهمية منحني أداء المولد في تحليل مدي استقرار الشبكات والتغير في الأحمال وحساب تدفق الحمل في الشبكات الكهربائية الصغيرة والكبيرة