بسم الله الرحمن الرحيم

هذه مقدمة لكتابي نظم القدرة 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

مقدمة

تعتبر أنظمة القدرة الكهربائية من أصعب الأنظمة في العصر الحديث حيث يصعب فهمها وتحليلها والتحكم فيها وذالك لأنها تحتوى على كم هائل من الشبكات الرئيسية والفرعية ومحطات الإنتاج ومراكز الأحمال المختلفة الكبيرة منها والصغير ورغم أنها مترامية الإطراف إلا أنها متماسكة ومترابطة بحيث تجد أقصاها يتأثر تأثير كامل بأدناها بأتفه الأسباب

وأيضا من صعوبة أنظمة القدرة إن مصانع الطاقة لاتوجد بها مخازن للإنتاج حيث كل ماهو منتج يستهلك في الحال وان الإنتاج متوقف على الاستهلاك حيث يتطلب مراقبة وتحكم دقيق في عملية إنتاج الطاقة وتدفقها واستهلكها ومما يجعل العملية أصعب إن الاستهلاك دائم التغيير لذا يجب مراقبة الشبكة باستمرار خاصا وان هناك عقبات كثيرة تحيط بأنظمة القدرة الكهربائية مثل حالة الطقس والظروف الاقتصادية وغيرها

ولكي يتم فهم ذالك وتحليله وحسابه يجب إيجاد وسيلة لتيم من خلالها تطبيق جميع الظروف التي تواجه المعدة والآلة المحركة في الشبكة الكهربائية ومن أفضل الوسائل على الإطلاق هي لغة البرمجة الفنية MATLAB والتي تتميز بسهولة استخدامها ومرونتها وتعدد وظائفها لذا شاع انتشارها بأسرع من جميع برنامج التحليل الأخرى مثل NEPLAN و PTL وبرنامج UNTRL F الخاص بشركة ABB وغيرها

وأيضا من مميزاتها أنها يمكن تصميم وربط دوائر تحكم إلى مع دوائر كهربائية بكل سهولة ولان هذه اللغة شائعة الاستخدام سوف ابد بإذن الله في شرح الشبكة الكهربائية دون العكوف على شرح لغة البرمجة وطريقة استخدامها ولعل ذالك ميسرا في شبكات الانترنت

وللعلم إن أهم العقبات التي تواجه الشبكات الكهربائية تكون عادتا في محطات الإنتاج أو شبكات النقل وهى التي تؤثر تأثير مباشر في استقرار الشبكة ونظرا لان المولد الكهربائي هو المصدر الرئيسي للطاقة الكهربائية وهو الأداء التي ستواجه جل المشاكل على الشبكة سنقوم بتطبيق هذه المشاكل على جميع أنواع المولدات حيث سنستخدم المولدات ذات التحريض الدوار والساكن ولفهم أنواع المولدات يمكن الرجوع إلى كتابي المولدات الكهربائية على الرابط http://www.kutub.info/library/list.php?cat=13

وسيتم تقسيم الكتاب كالأتي:-

- ربط مولد مع شبكة كهربائية يتم تحريض المولد بطريقة التحريض الساكن
- ربط مولد مع شبكة كهربائية يتم تحريض المولد بطريقة التحريض الدوار AC
- ربط مولد مع شبكة كهربائية يتم تحريض المولد بطريقة التحريض الدوار DC
- ربط مولدين مع شبكة كهربائية تفصل بينهما مسافة 700km
- ربط شبكتين كهربائيتين تفصل بينهما مسافة 400km
- ربط مولد مع حمل متغير

وسوف يتم إنشاء الله تقسيم الكتاب إلى أجزاء حسب التسلسل أعلاه

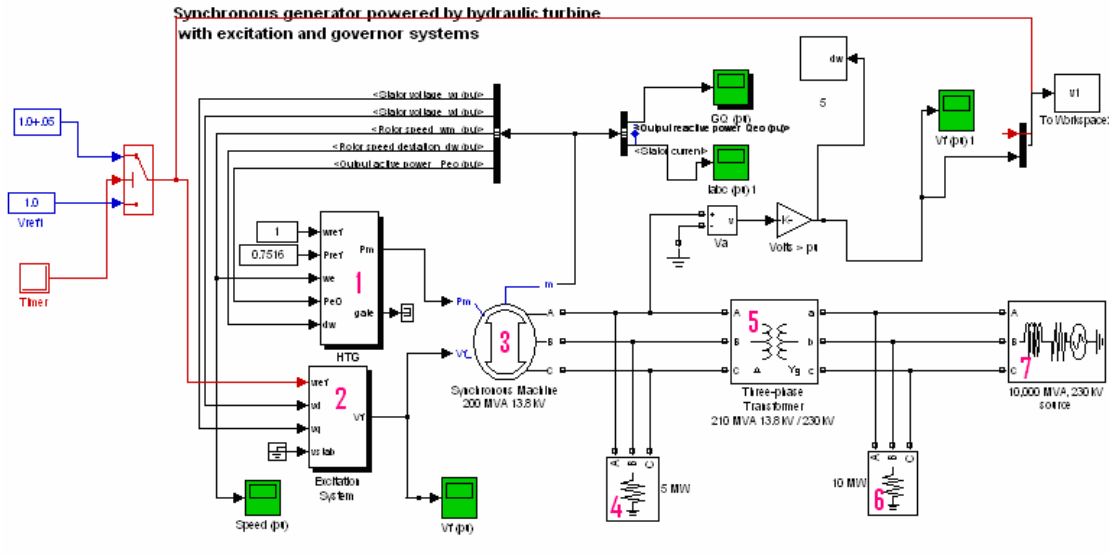
وللعلم إن القيم ليست دقيقة ولكن اقرب إلى الواقع في اغلب الأحيان وفى جميع محاور الدراسة ونتائجها

الجزء الأول

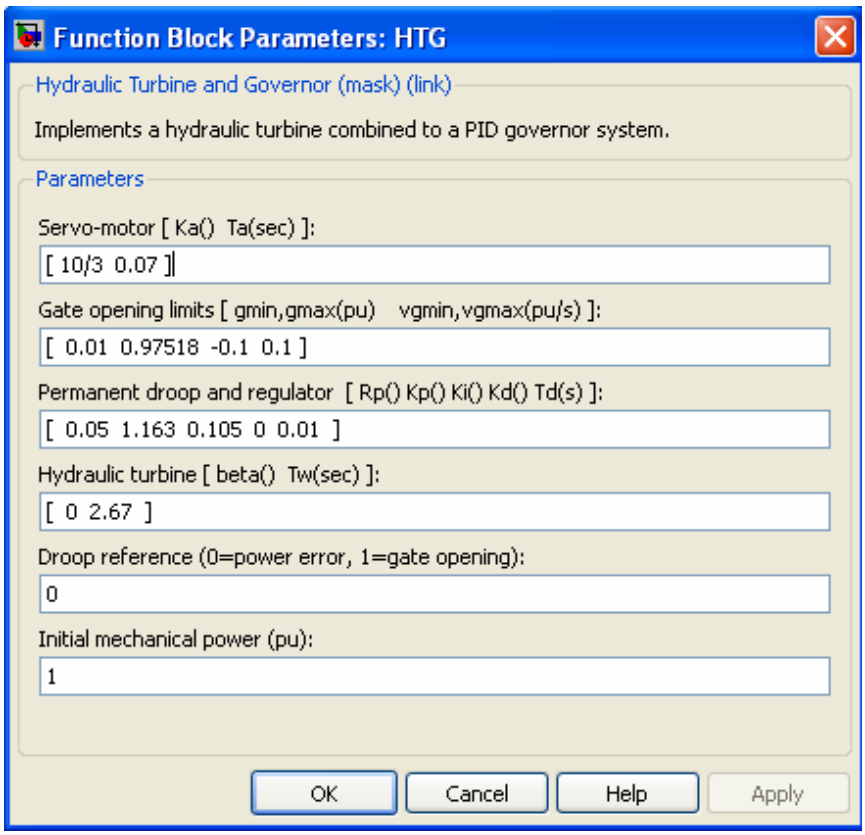
ربط مولد مع شبكة كهربائية يتم تحريض المولد بطريقة التحريض الساكن

الشكل أدناه يوضح الشبكة الكهربائية بعد تصميمها حيث تتكون من

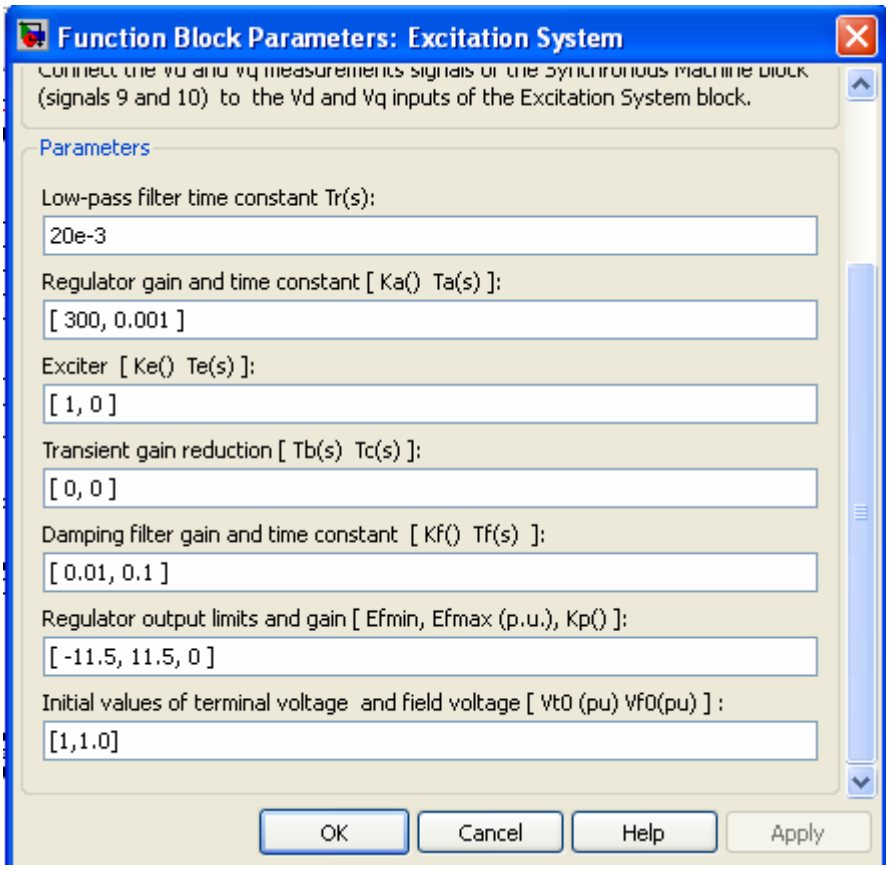
1. الآلة المحركة للمولد والتي تتمثل في التربينة المائية
2. منظومة تحريض المولد EXCITER
3. المولد الكهربائي SYNCRONAIZ MACHIN
4. حمل داخل محطة التوليد بقيمة 5MW
5. محول رافع للجهد لرفع جهد المولد من 13.5KV إلى 230KV
6. حمل بعد محطة التوليد بقيمة 10MW
7. الشبكة الكهربائية باجمالى أحمال 10000MW



الشكل أدناه يبين موصفات وثوابت التربينة المائية المستخدمة في تدوير المولد



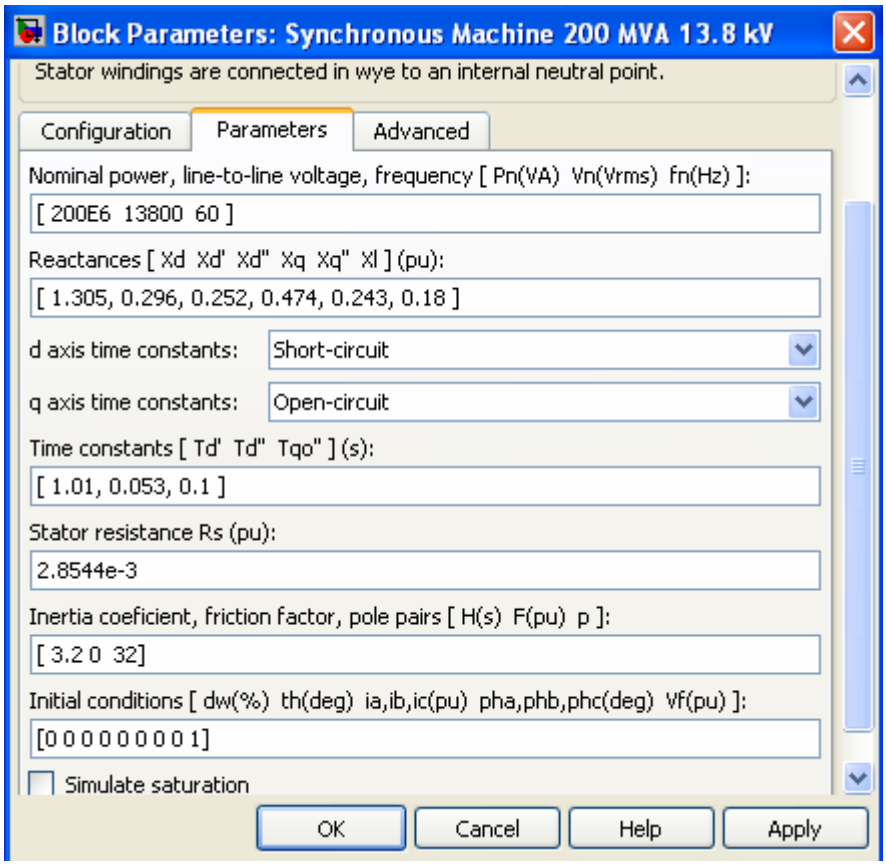
الشكل أدناه يبين ثوابت وقيم تعديل منظومة التحريض للمولد



ولأهمية المنظومة يجب شرح بعض الرموز والثوابت

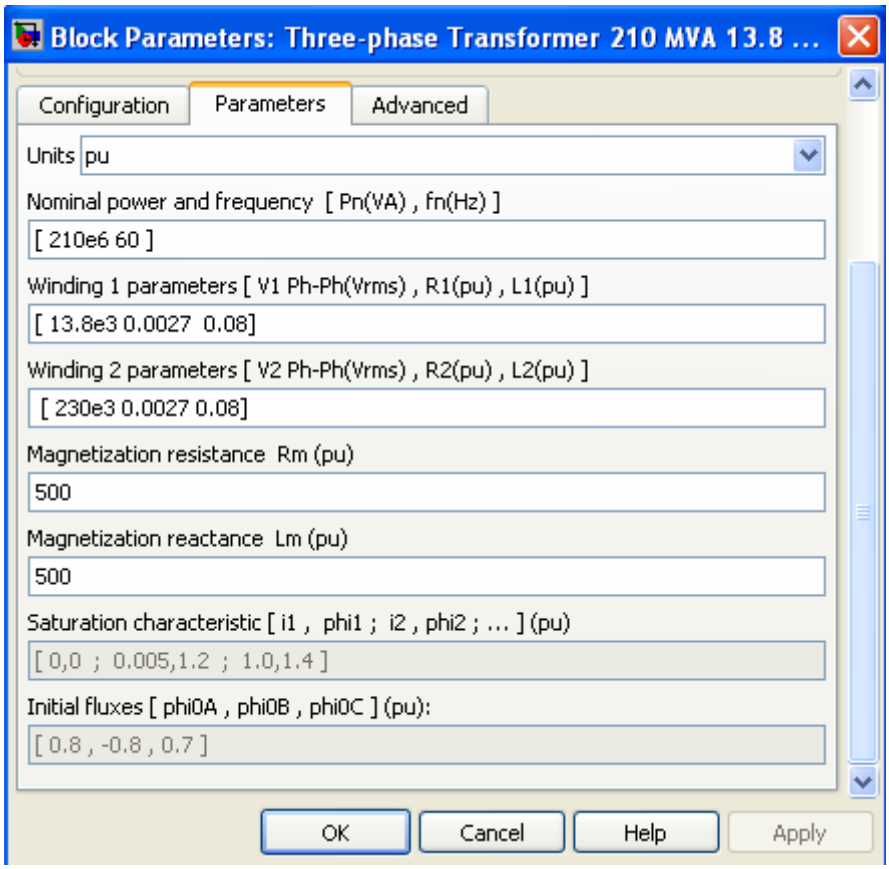
Tr ثابت الزمن لمحول قياس الخاص بقياس جهد المولد
Ka قيمة المتحكم في المنظومة gain
Ta ثابت الزمن للمتحكم في المنظومة
Ke قيمة المحرض
Te ثابت الزمن للمحرض
Tb ثابت الزمن لمرشح زاوية الحمل
Tc ثابت الزمن لمرشح زاوية الحمل
Kf قيمة التحكم في الإشارة العكسية feedback
Tf ثابت الزمن للتحكم في الإشارة العكسية feedback
Efmin اقل قيمة للتحكم في الجهد
Efmax اعلي قيمة للتحكم في الجهد
KP قيمة المتحكم التناسبى للمنظومة
Vt0 القيمة المرجعية للجهد المولد
Vf0 القيمة المرجعية للجهد التحريض

الشكل أدناه يبين موصفات وثوابت المولد الكهربائي



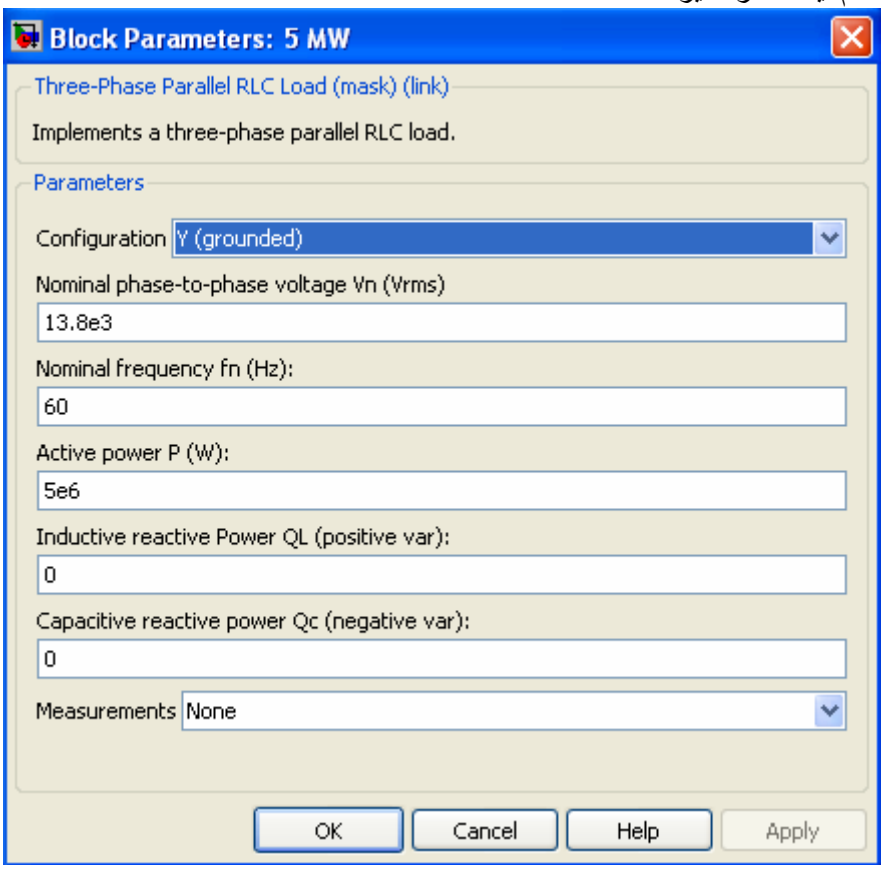
Pn	القدرة المقننة للمولد
Vn	الجهد المقنن للمولد
Fn	التردد المقنن للمولد
Xd	المفاعلة الحثية للمولد عند استمرار دائرة القصر
Xd’	المفاعلة الحثية للمولد عند انتقال دائرة القصر
Xd”	المفاعلة الحثية للمولد عند بداية دائرة القصر
Xq	المفاعلة الحثية للمولد في حالة استمرار الدائرة المفتوحة
Xq”	المفاعلة الحثية للمولد في حالة بدية الدائرة المفتوحة
Xl	قيمة الحث المفقود
Td	ثابت الزمن عند استمرار دائرة القصر
Td”	ثابت الزمن عند بداية دائرة القصر
Tq0”	ثابت الزمن عند بداية الدائرة المفتوحة

الشكل أدناه يبين موصفات وثوابت المحول الكهربائي

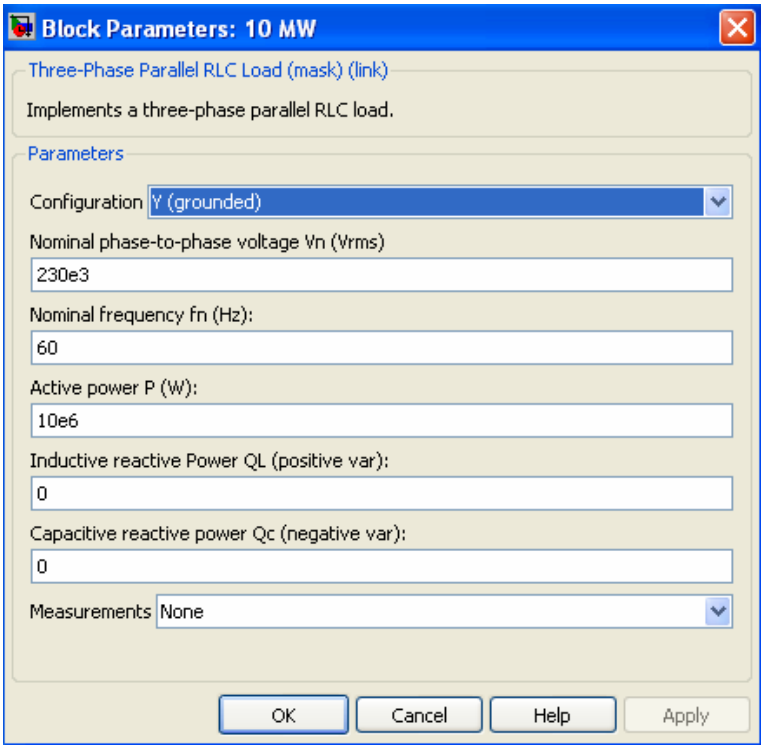


Pn	القدرة المقننة للمحول
Fn	التردد المقنن للمحول
V1	جهد الملفات الابتدائية
R1	قيمة مقاومة الملفات الابتدائية
L1	قيمة الحث المفقود للملفات الابتدائية
V2	جهد الملفات الثانوي
R2	قيمة مقاومة الملفات الثانوي
L2	قيمة الحث المفقود للملفات الثانوي
Rm	قيمة المقاومة المغناطيسية
Lm	قيمة المفاعلة المغناطيسية

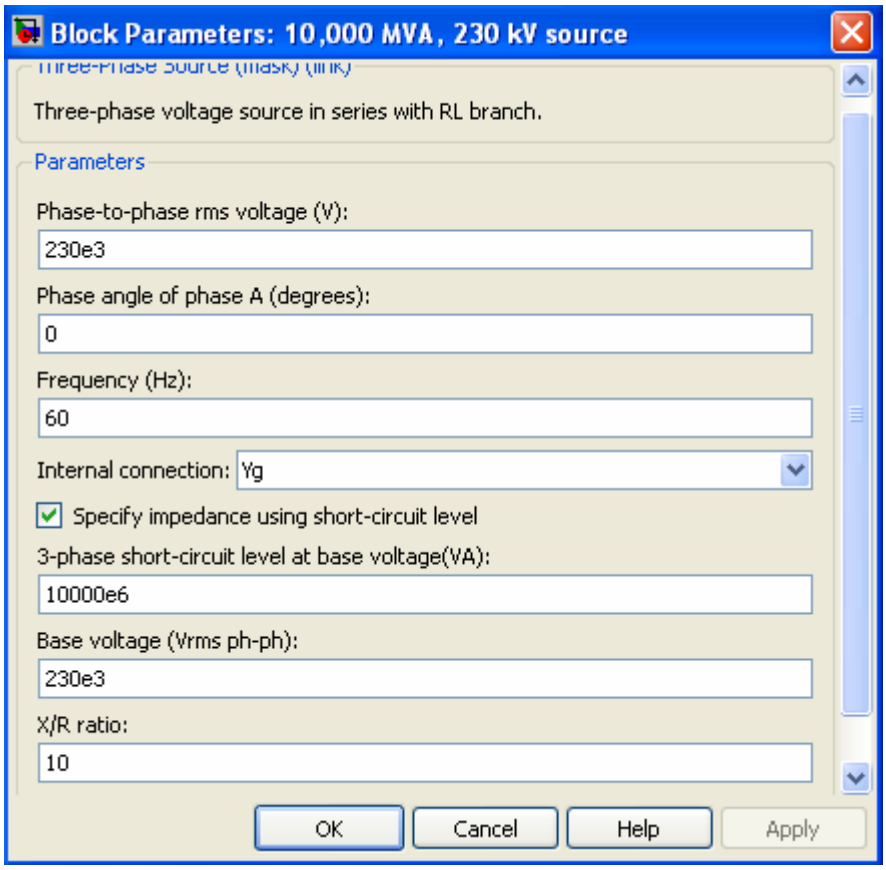
الشكل أدناه يبين نافذة تعديل الحمل الداخلي للمحطة
وفيها نلاحظ إن تم تعديل توصيلة الحمل نجمة ومؤرض ثم قيمة جهد الحمل ثم قيمة تردد الحمل ثم قيمة القدرة الفعالة للحمل ثم قيمة القدرة غير الفعالة للحمل



الشكل أدناه يبين نافذة تعديل الحمل خارج المحطة
وفيها نلاحظ إن تم تعديل توصيلة الحمل نجمة ومؤرض ثم قيمة جهد الحمل ثم قيمة تردد الحمل ثم قيمة القدرة الفعالة للحمل ثم قيمة القدرة غير الفعالة للحمل



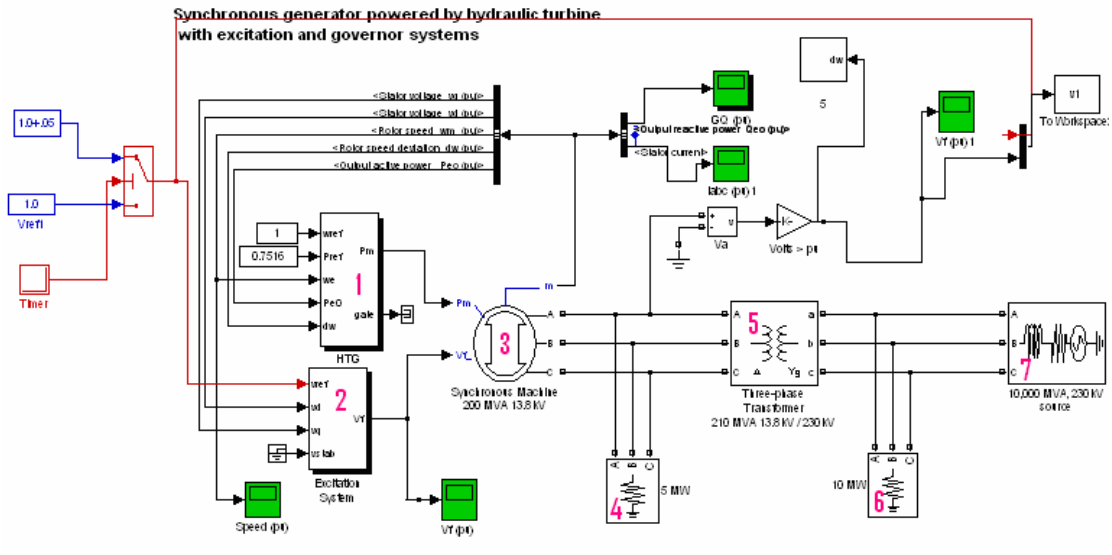
الشكل أدناه يبين نافذه تعديل موصفات وثوابت الشبكة المربوطة مع المحطة



ملاحظة

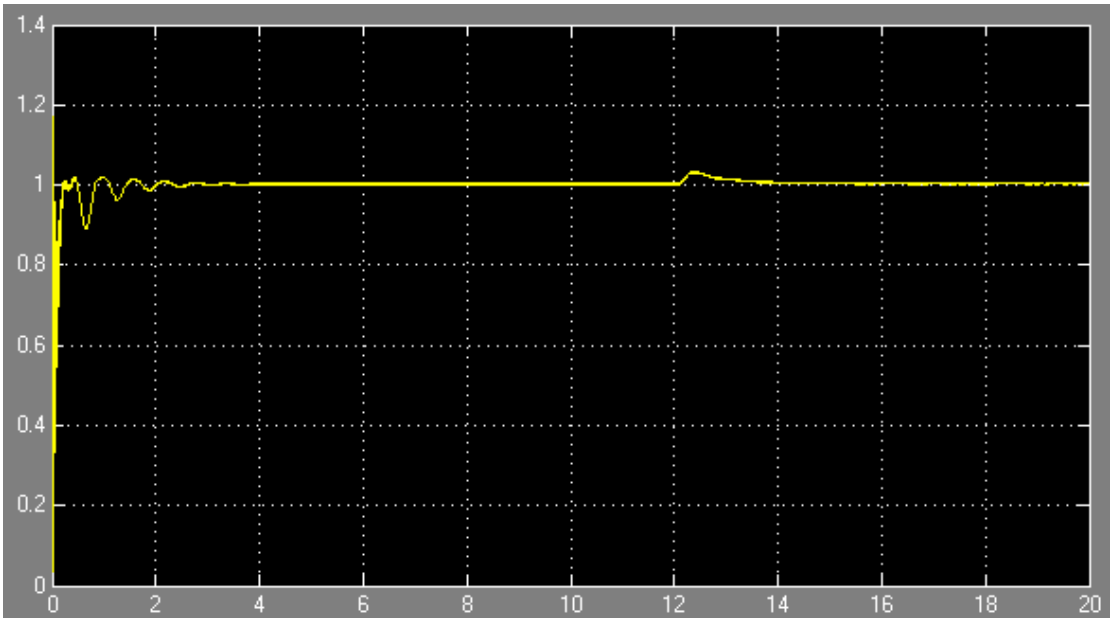
جميع القيم أعلاه يمكن إيجادها في كتيب المواصفات الخاص بالمعدة أو بالرجوع إلى المواصفات العالمية IEEE

أولا التحكم في الجهد

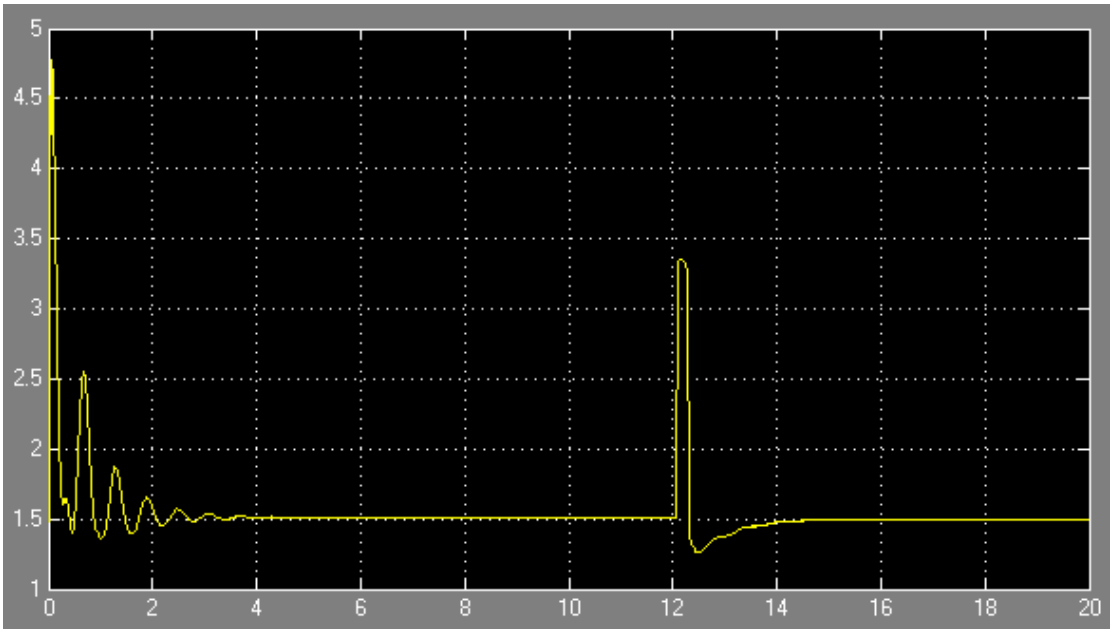


☜استقرار الجهد

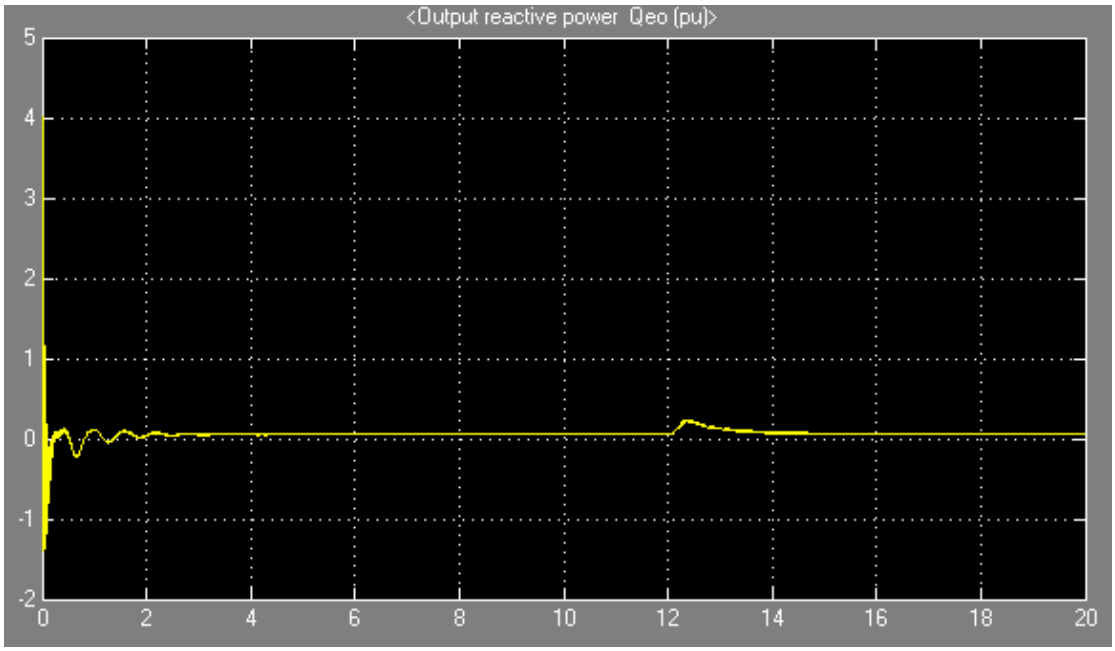
في المثال أعلاه تم تشغيل المنظومة لمدة 20s وعند زمن 12.1s تم رفع جهد المولد بمقدار 0.05Pu ولمدة 0.2s والغرض من التجربة هي اختبار مدى استجابة منظومة التحكم في الجهد للمولد ومدى استقرار القدرة على إطراف المولد



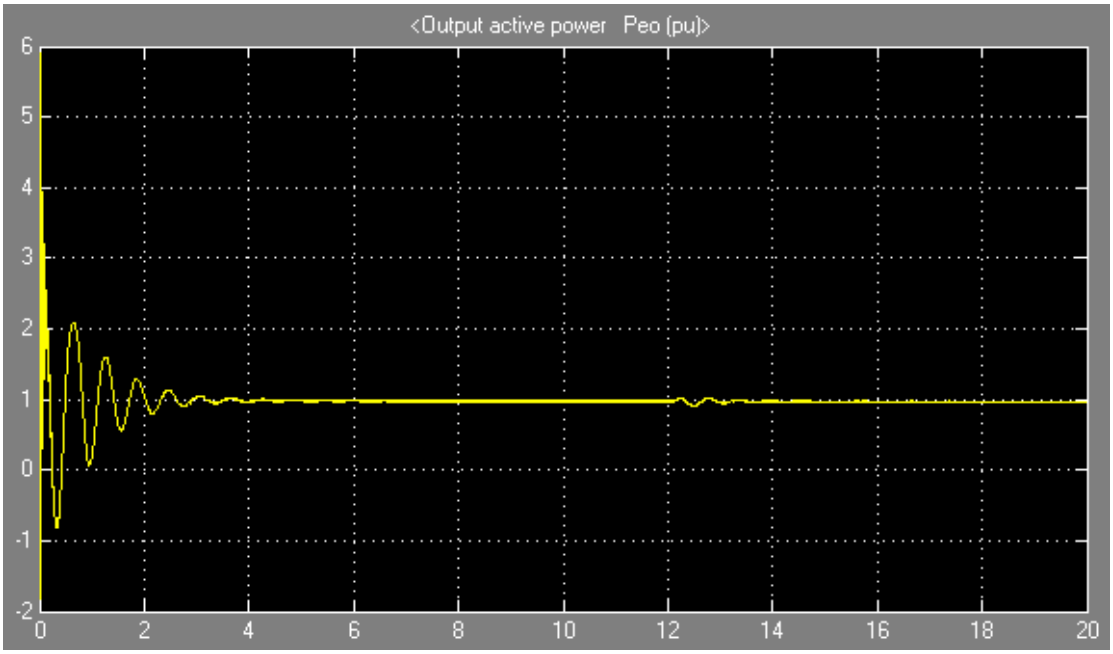
كما نلاحظ في الشكل أعلاه إن جهد المولد استقر بعد 2s من تشغيل المنظومة وبعد رفع الجهد أيضا تم إرجاع الجهد إلى الوضع الطبيعي بعد 0.8s



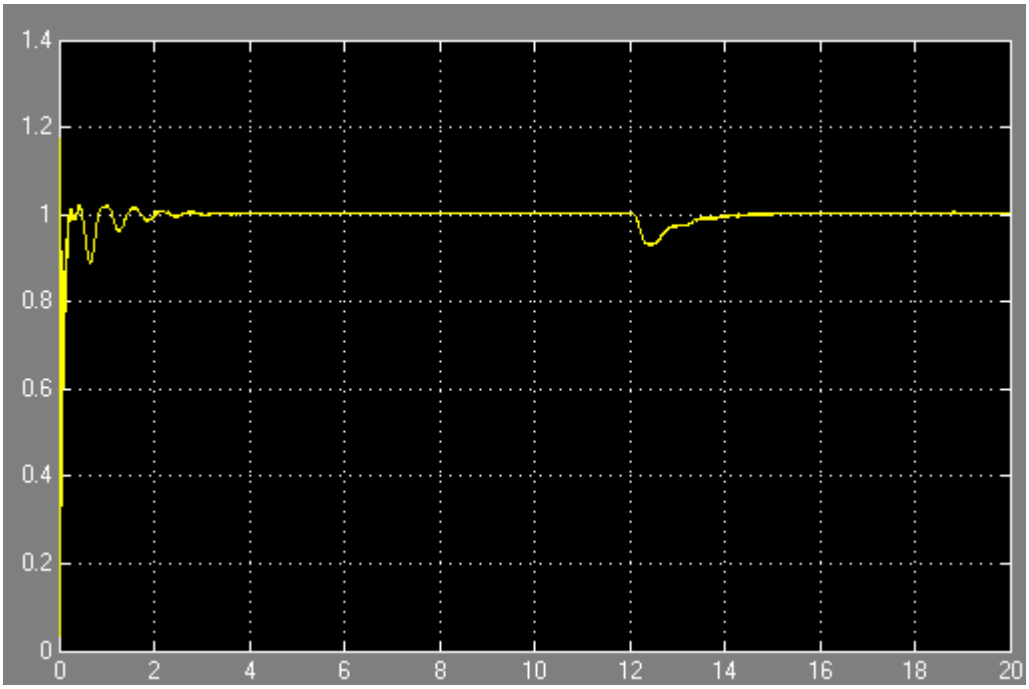
الشكل أعلاه يبين قيمة إشارة التحكم في الجهد والصادرة من المتحكم من نوع PID الخاص بمنظومة التحكم في الجهد AVR حيث تم زيادة إشارة المتحكم إلى 1.7Pu عند بدية المشكلة



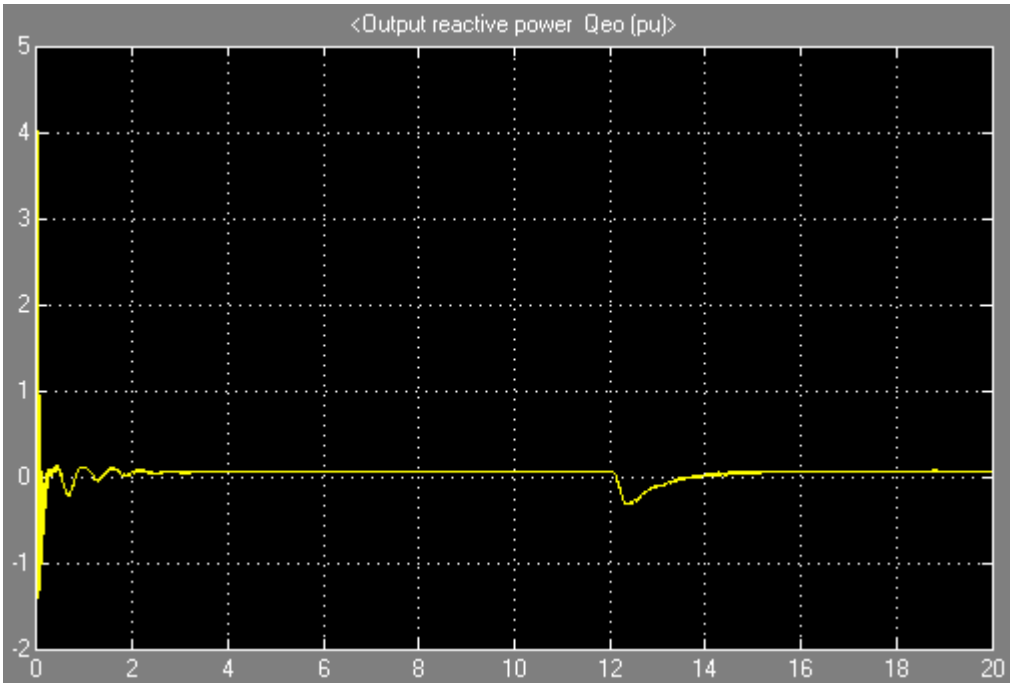
في الشكل أعلاه نلاحظ ارتفاع القدرة غير الفعالة بارتفاع الجهد على إطراف المولد



في الشكل أعلاه نلاحظ حدوث تأرجح بسيط للقدرة الفعالة على إطراف المولد عند ارتفاع الجهد



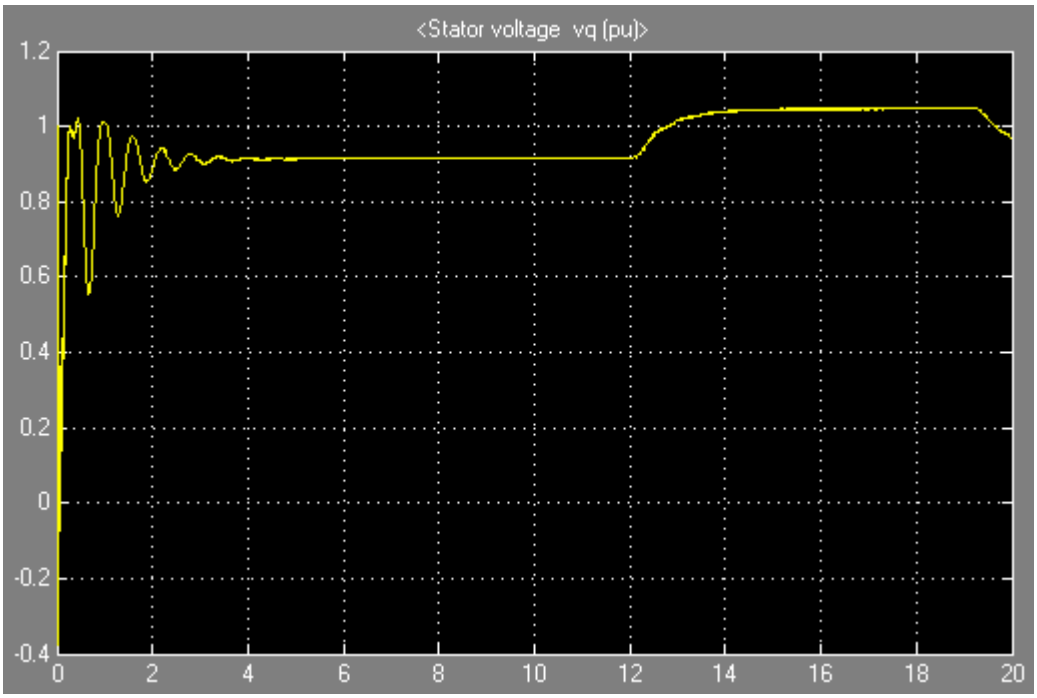
في المثال أعلاه تم تشغيل المنظومة لمدة 20s وعند زمن 12.1s تم خفض جهد المولد بمقدار 0.05Pu ولمدة 0.2s والغرض من التجربة هي اختبار مدى استجابة منظومة التحكم في الجهد للمولد ومدى استقرار القدرة على إطراف المولد



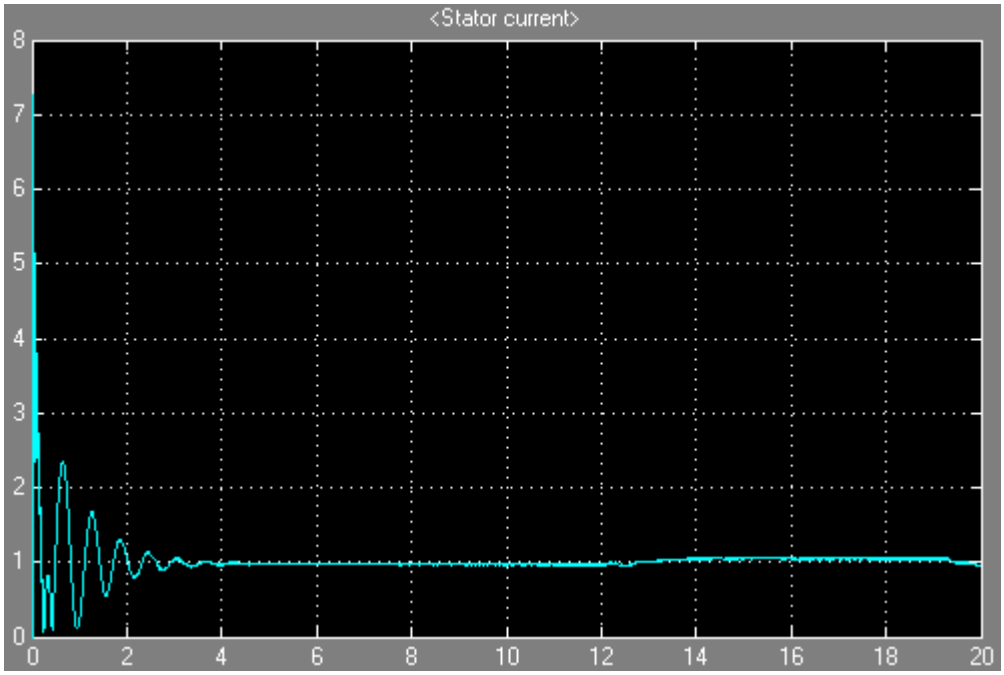
الشكل أعلاه يبين مدى تغيير القدرة غير الفعالة Q بتغير الجهد على إطراف المولد

☜حالة عمل المولد فوق التحريض over exciter

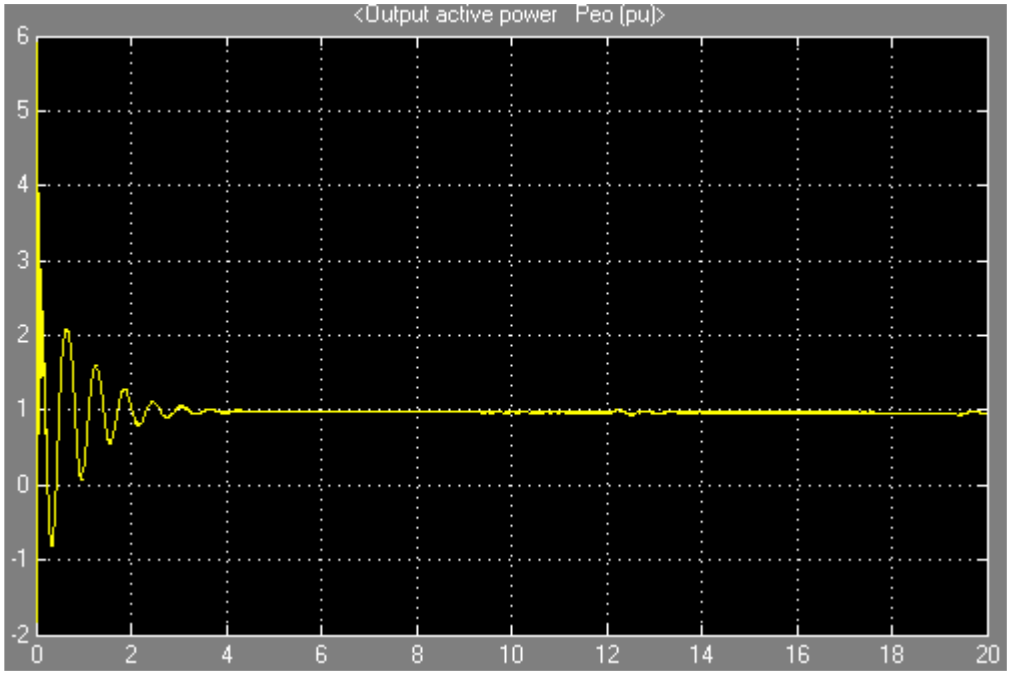
في المثال أعلاه تم تشغيل المنظومة لمدة 20s وعند زمن 12.1s تم رفع جهد المولد بمقدار 0.15Pu والغرض من التجربة هي اختبار عمل المولد فوق التحريض over exciter ومدى استجابة منظومة التحكم في الجهد للمولد ومدى استقرار القدرة على إطراف المولد



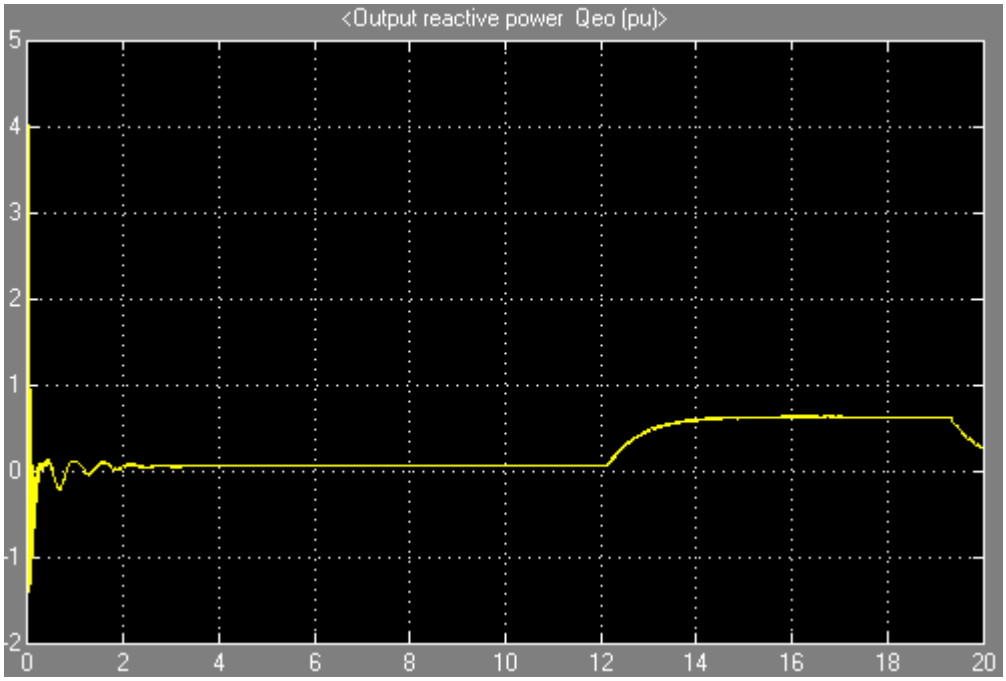
الشكل أعلاه يبين قيمة جهد المولد حيث يتم زيادة جهد المولد بمقدار 0.1Pu كما نلاحظ إن استجابة منظومة التحكم في الجهد AVR كانت سريعة حيث تم الزيادة في حوالي 1s



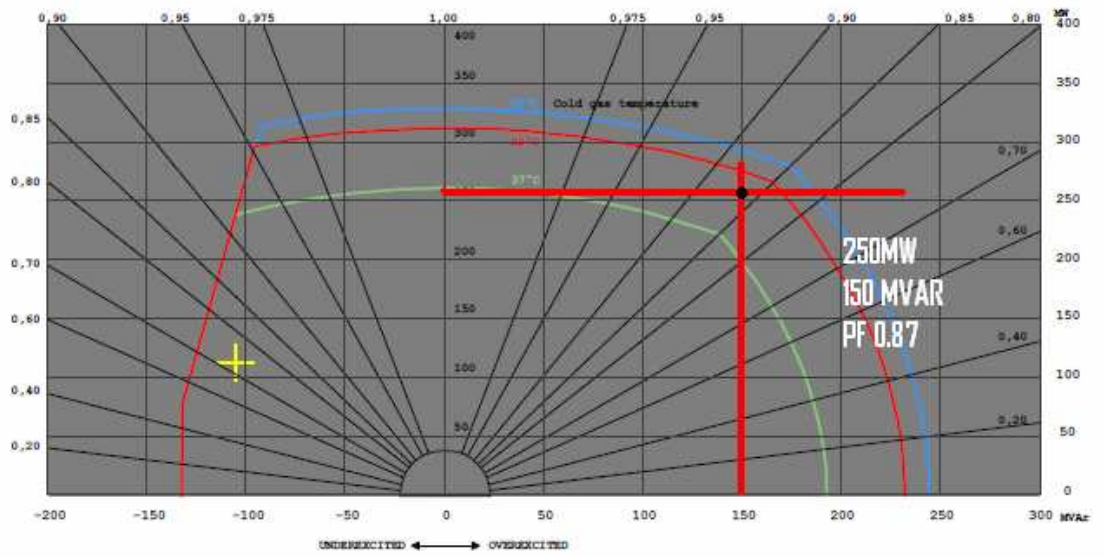
الشكل أعلاه يبين قيمة تيار المولد حيث نلاحظ إن عند زيادة الجهد زاد التيار ليصل إلى 1.1Pu نظرا لزيادة القدرة غير الفعالة Q



الشكل أعلاه يبين قيمة القدرة الفعالة P حيث نلاحظ حدوث تأرجح بسيط



الشكل أعلاه يبين ارتفاع قيمة القدرة غير الفعالة Q عند ارتفاع جهد المولد لتصل إلى 0.6Pu مما يجعل المولد يعمل في منطقة فوق التحريض over exciter وفى هذه الحالة يكون معامل القدرة Power factor = 0.87 كما هو موضح أدناه



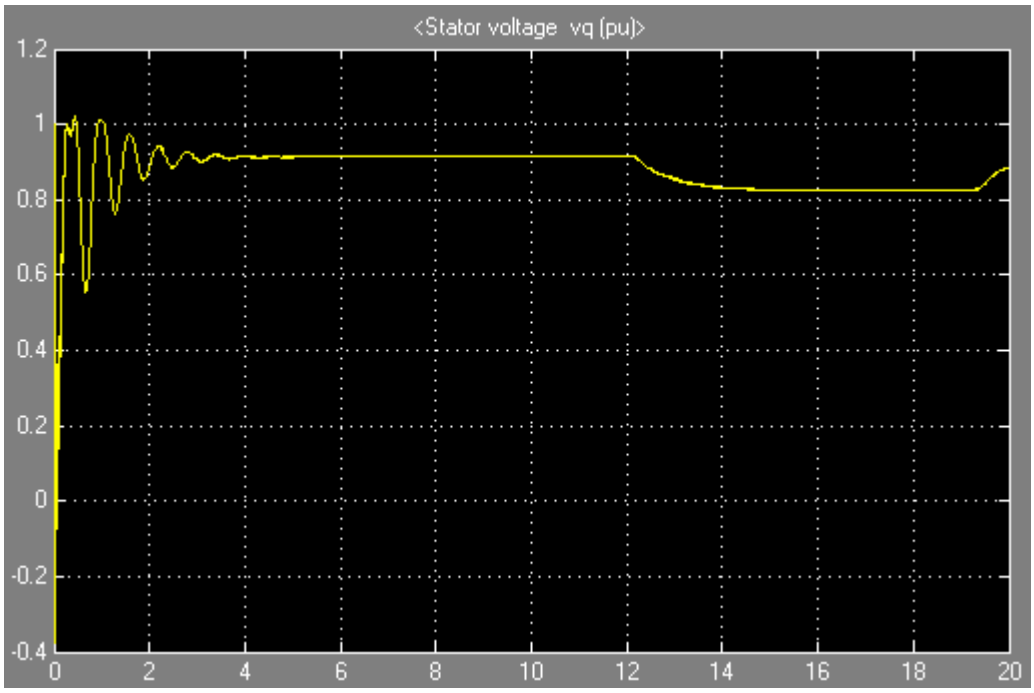
كما هو موضح أعلاه على منحنى أداء المولد إن المولد يعمل في منطقة فوق التحريض عند حمل 250MW وقدرة غير فعالة حوالي 150Mvar+

والجدير بالذكر إن منحنى أداء المولد يبين مقدرة المولد على إنتاج القدرة الفعالة وغير الفعالة في جميع الظروف حيث يتم تحديد منحنى القدرة على حسب حرارة هواء تبريد ملفات المولد وبالرجوع إلى الشكل أعلاه الذي يوضح منحنى أداء لمولد من نوع SIEMENS SG5 وبقدرة 315MVA نجد إن

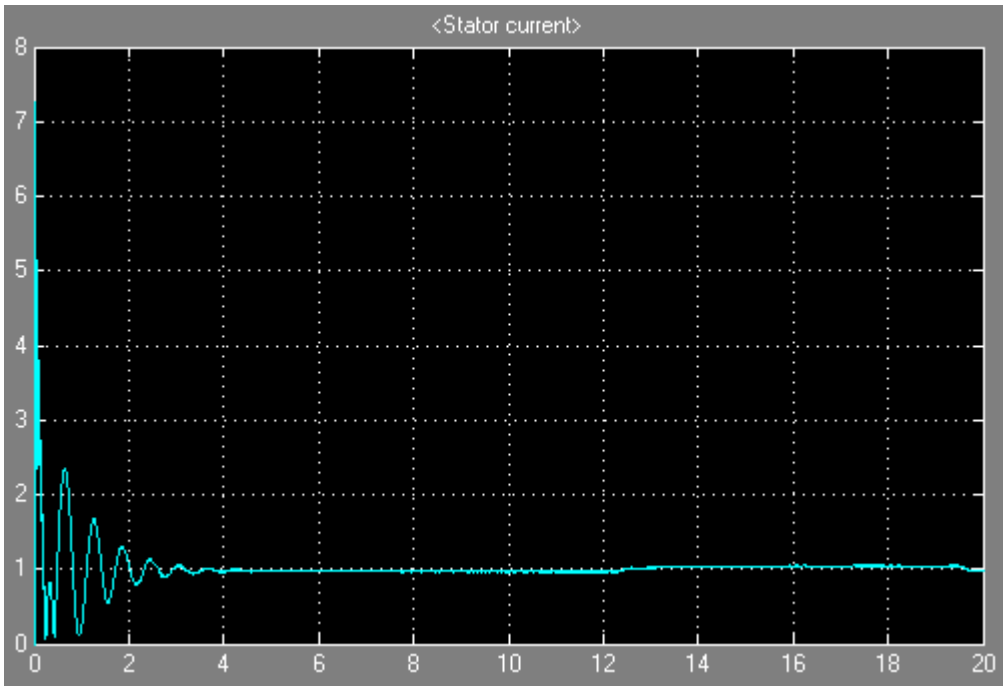
- الخط الأزرق يمثل منحنى القدرة عندما تكون حرارة هواء تبريد ملفات المولد عند 25C حيث يمكن للمولد إنتاج قدرة فعالة تصل إلى 315MW وقدرة غير فعالة من 135Mvar_247Mvar-
- الخط الأحمر يمثل منحنى القدرة عندما تكون حرارة هواء تبريد ملفات المولد عند 32C حيث يمكن للمولد إنتاج قدرة فعالة تصل إلى 305MW وقدرة غير فعالة من 135Mvar_230Mvar-
- 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 135Mvar_190Mvar-

☜حالة عمل المولد تحت التحريض under exciter

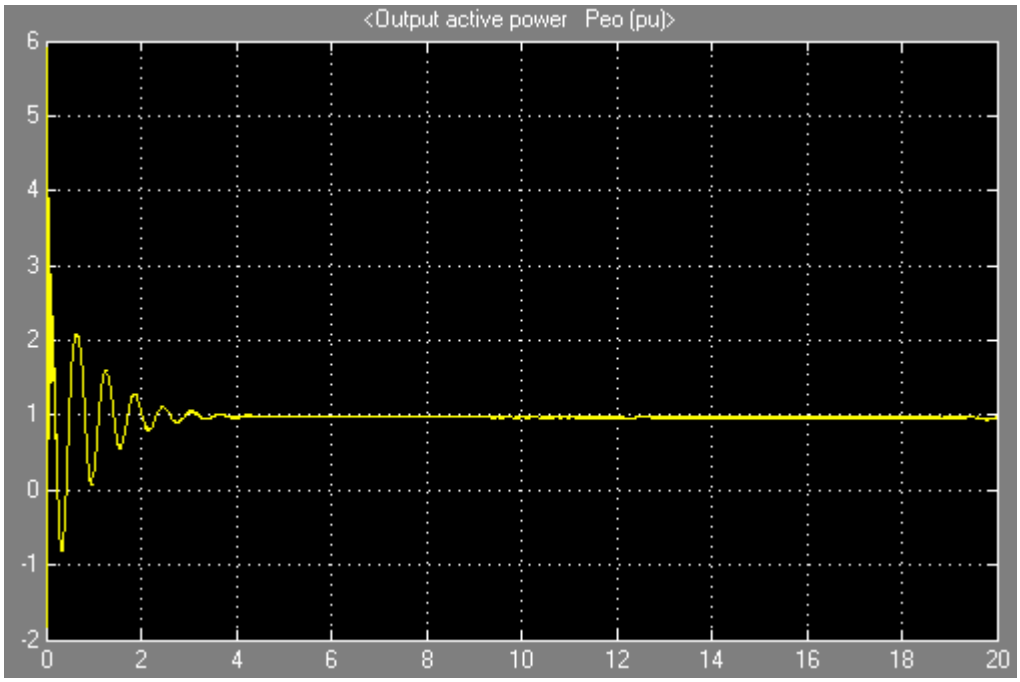
في المثال أعلاه تم تشغيل المنظومة لمدة 20s وعند زمن 12.1s تم خفض جهد المولد بمقدار 0.05Pu والغرض من التجربة هي اختبار عمل المولد فوق التحريضunder exciter ومدى استجابة منظومة التحكم في الجهد للمولد ومدى استقرار القدرة على إطراف المولد



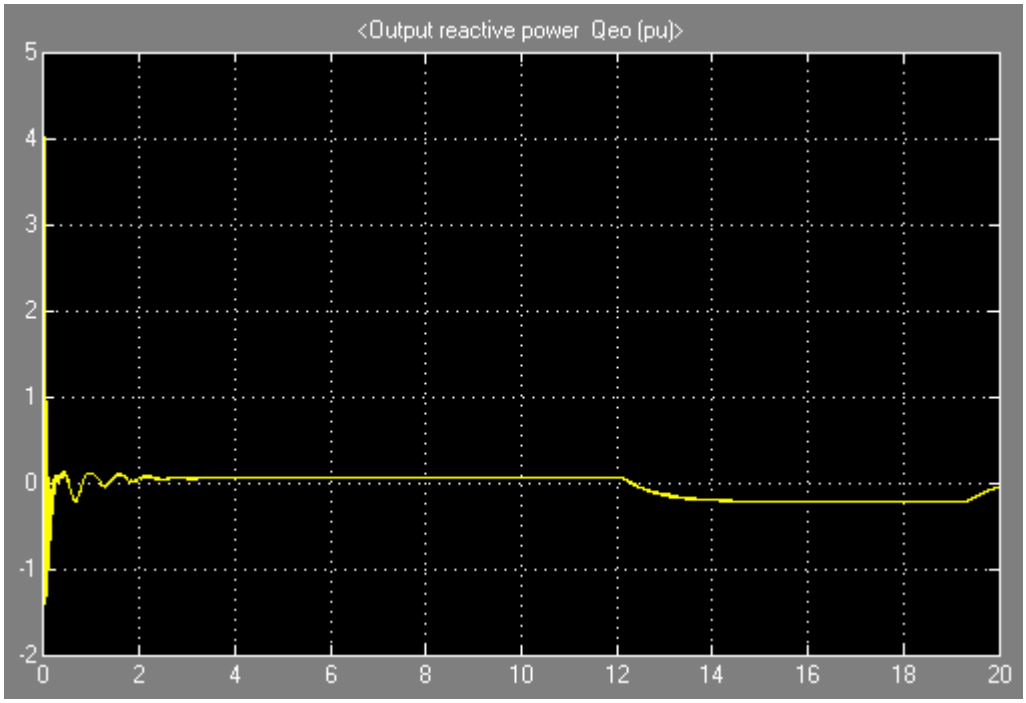
الشكل أعلاه يبين قيمة جهد المولد حيث انخفض جهد المولد بمقدار 0.95Pu كما نلاحظ إن استجابة منظومة التحكم في الجهد AVR كانت سريعة حيث تم تخفيض الجهد في حوالي 1s



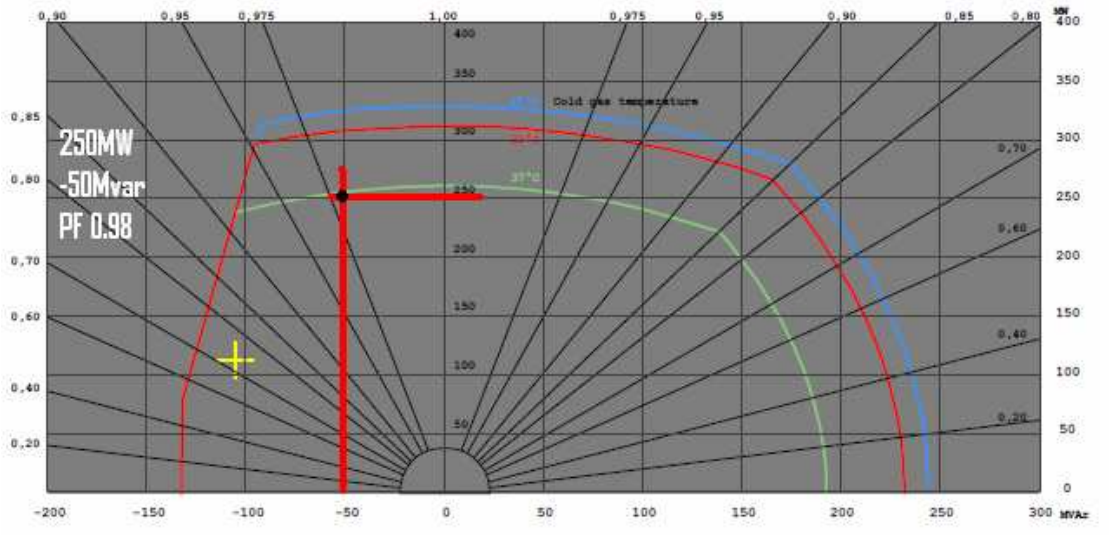
الشكل أعلاه يبين قيمة تيار المولد حيث نلاحظ إن عند انخفاض الجهد زاد التيار ليصل إلى 1.1Pu نظرا لاستهلاك القدرة غير الفعالة Q



الشكل أعلاه يبين قيمة القدرة الفعالة P حيث نلاحظ حدوث تأرجح بسيط



الشكل أعلاه يبين انخفاض قيمة القدرة غير الفعالة Q عند انخفاض جهد المولد لتصل إلى Q=-0.2 مما يجعل المولد يعمل في منطقة تحت التحريض under exciter وفى هذه الحالة يكون معامل القدرة Power factor = 0.98 كما هو موضح أدناه



كما هو موضح أعلاه على منحنى أداء المولد إن المولد يعمل في منطقة تحت التحريض عند حمل 250MW وقدرة غير فعالة حوالي -50Mvar

الخلاصة

نستنتج مما سبق إن منظومة التحكم في الجهد هي عنصر فعال في التحكم في الشبكات الكهربائية حيث من خلالها يتم السيطرة على استقرار الشبكة لذا حضيه باهتمام المصممين في الشركات الكبرى وبتنافس كبير في تطوير وتحسين أداءها ومن هذا المنطلق تم اختراع وتصميم منظومة تثبيت نظام القدرة power system stabilizer والتي تعمل مع منظومة التحكم في الجهد AVR كما سيأتي شرحها

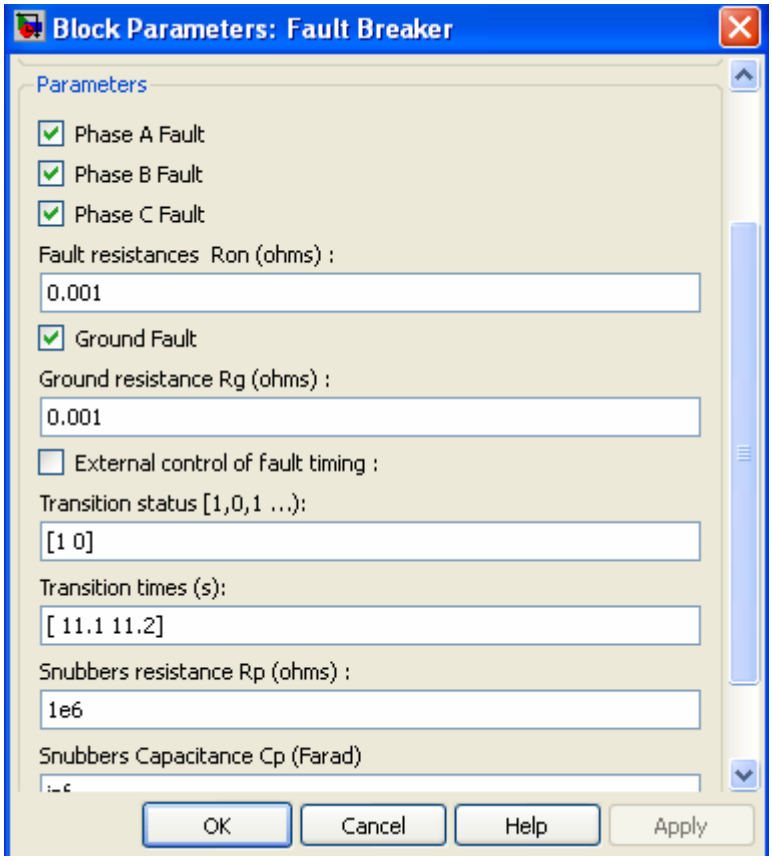
وأيضا يمكن توظيف منظومة التحكم في الجهد AVR للتحكم في القدرة غير الفعالة في الشبكة وذالك برفع وخفض جهد المولد فى نطاق 0.025Pu_0.025-

ونظرا لان ارتفاع وانخفاض الجهد يشكل خطر مباشر على المولد يتم عادتا حماية المولد من انخفاض وارتفاع الجهد في حدود 65-70% لانخفاض الجهد و 126-145% لارتفاع الجهد

كما تم تطوير أساليب من شانها تحديد حدود للقيم التي تتحكم في المنظومة مثل تحديد حد اعلي وادني لقيمة التحكم في الجهد Control limit وحد اعلي وادني لقيمة تيار التحريض Excitation current limit وقيمة حالة تحت التحريض under excitation limit وكل هذه القيم يمكن تحديدها بالرجوع إلى منحني أداء المولد أو منحنى V الخاص بالمولد

ثانيا اختبار دائرة القصر

في المثال أعلاه يتم إضافة عطل دائرة قصر ثلاثي الطور عند شبكة الجهد العالي 230KV بالمواصفات التالية



نوع العطل ثلاثي الأطوار

Ron مقاومة العطل بين الأطوار

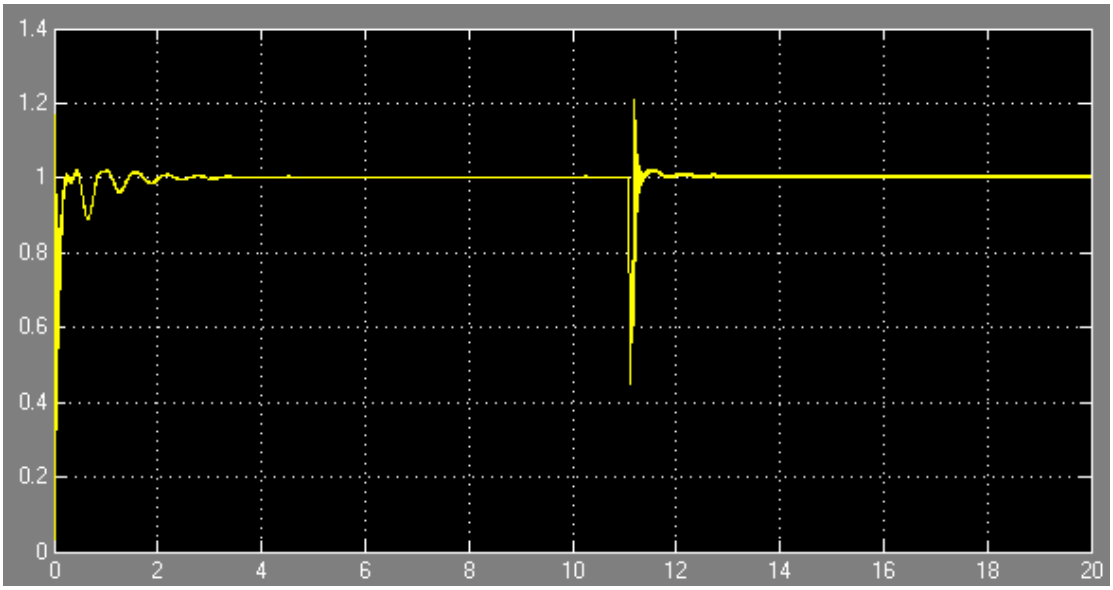
Rg مقاومة العطل مع الارض

☜نوع العطل طور مع الارض

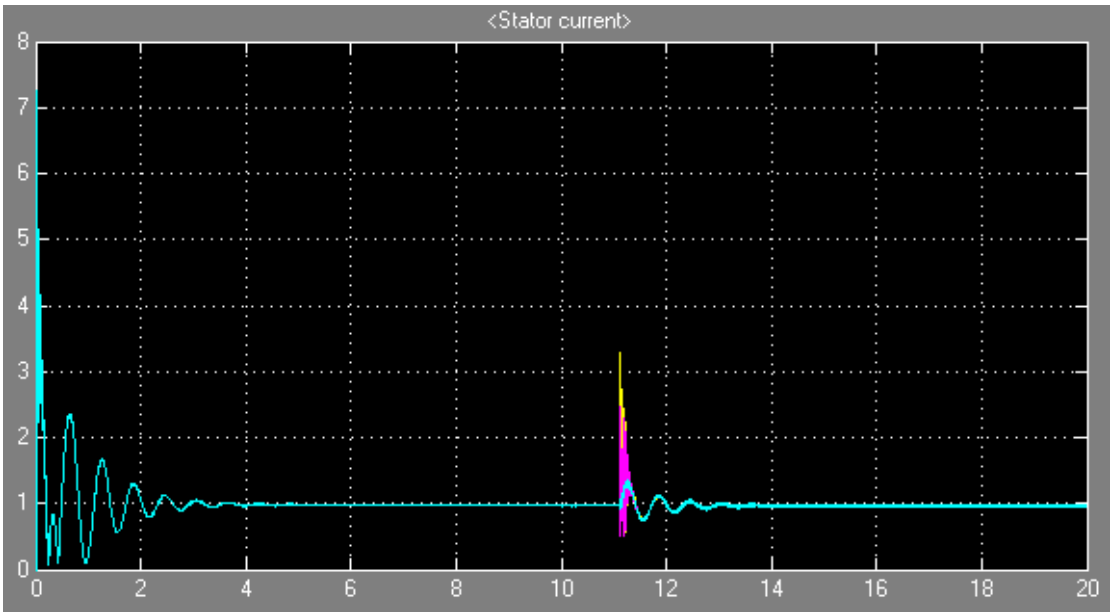
تعتبر أعطال دائرة القصر طور مع الارض من أكثر الأعطال انتشارا وحدوثا في الشبكات الكهربائية على حسب إحصائيات معهد CEGB والتي أجريت سنة 1967 والجدول التالي يبين نتائج الإحصائية

نوع العطل	النسبة المئوية
عطل قصر دائرة بين طور والأرض	65-70%
عطل قصر دائرة بين طورين والأرض	10-20%
عطل قصر دائرة بين طورين	10-15%
عطل قصر دائرة ثلاثي الأطوار	5%

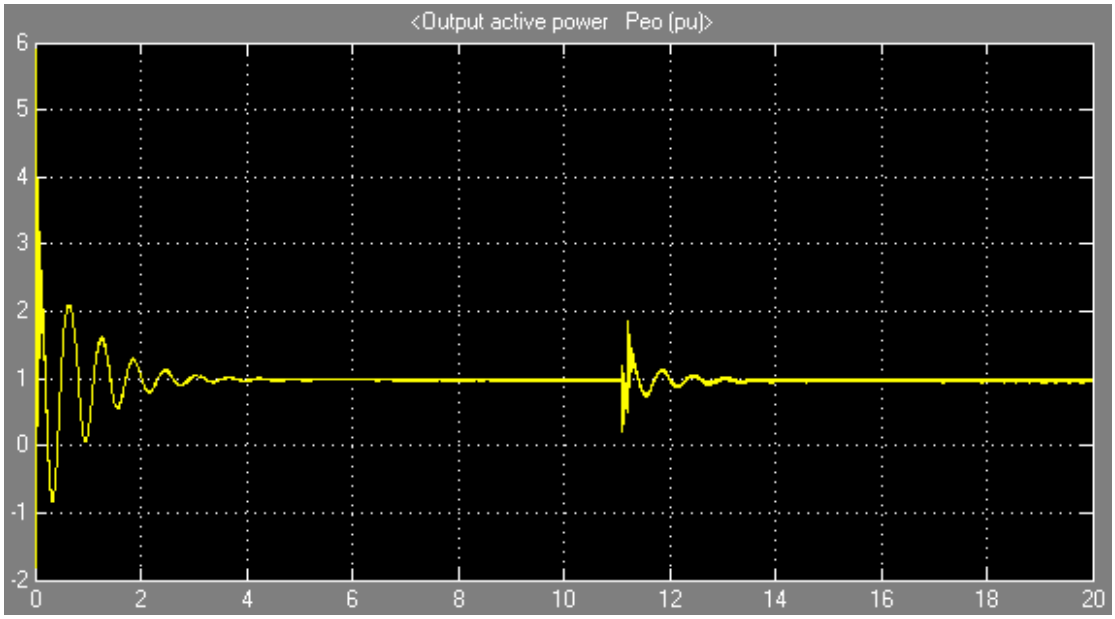
وفى هذا المثال يتم تشغيل المنظومة لمدة 20s وعند زمن 11.1s تم تطبيق العطل ولمدة 0.1s والغرض من التجربة هي اختبار مدى استجابة منظومة التحكم في الجهد ومعرفة قيمة تيار القصر ومدى استقرار القدرة على إطراف لمولد



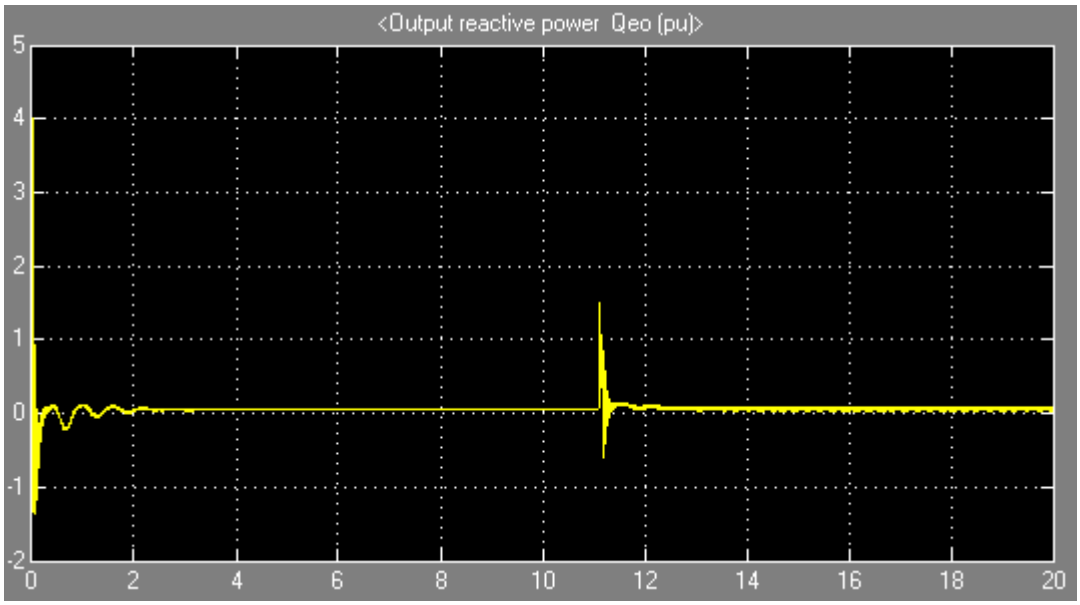
الشكل أعلاه يبين مدى تاثر الجهد بالعطل حيث انخفض الجهد على المولد إلى 0.45Pu بمعنى إن قيمة جهد المولد انخفضت من 13.5KV إلى 6KV في زمن 0.1s مع حدوث ارتفاع في الجهد بعد اختفاء العطل يصل إلى 1.2Pu



الشكل أعلاه يبين قيمة تيار القصر حيث ارتفع التيار في الملفات الثابتة للمولد إلى 3.3Pu وذالك على الطور الذي حدث فيه العطل



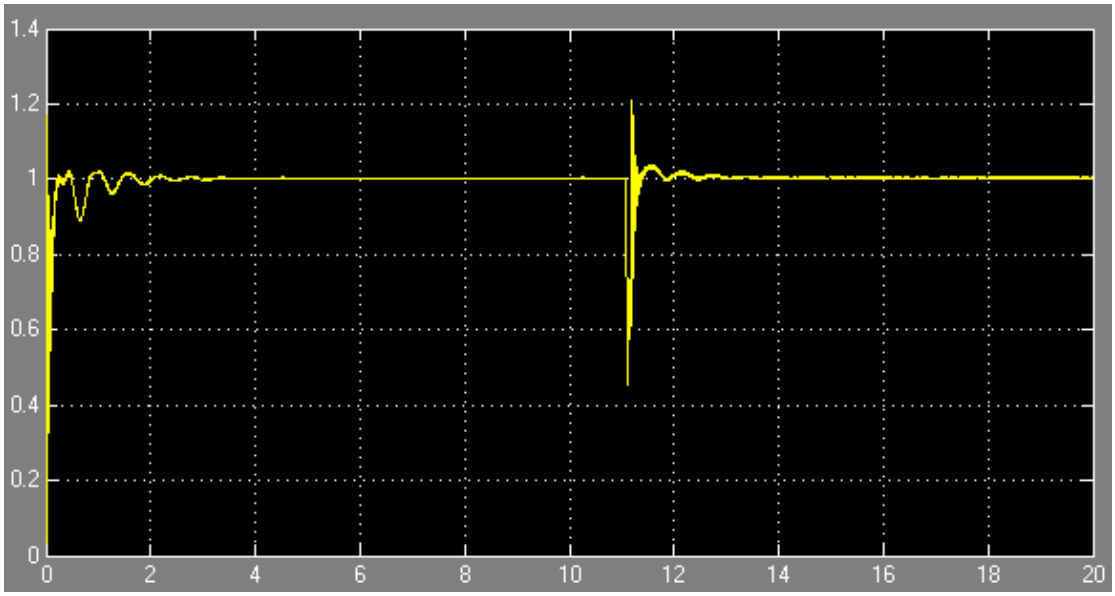
الشكل أعلاه يبين مدى تأرجح القدرة الفعالة P على المولد



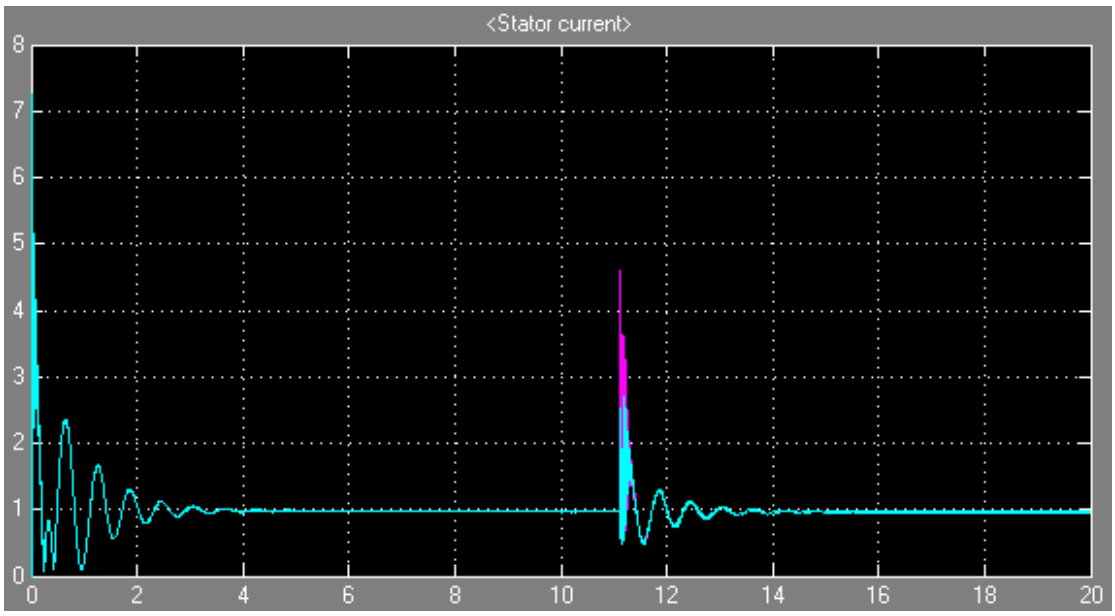
الشكل أعلاه يبين مدى تأرجح القدرة غير الفعالة Q حيث ارتفعت إلى 1.5Pu وعند اختفاء العطل انخفضت إلى -0.6Pu

☜نوع العطل طورين مع الارض

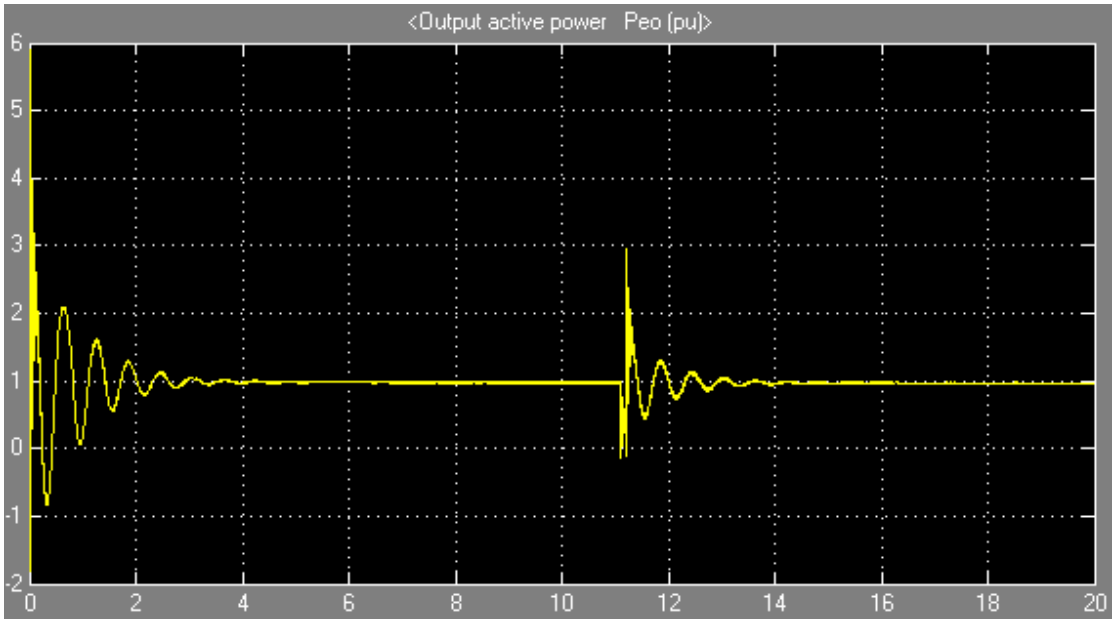
يتم تشغيل المنظومة لمدة 20s وعند زمن 11.1s تم تطبيق العطل ولمدة 0.1s والغرض من التجربة هي اختبار مدى استجابة منظومة التحكم في الجهد ومعرفة قيمة تيار القصر ومدى استقرار القدرة على إطراف لمولد



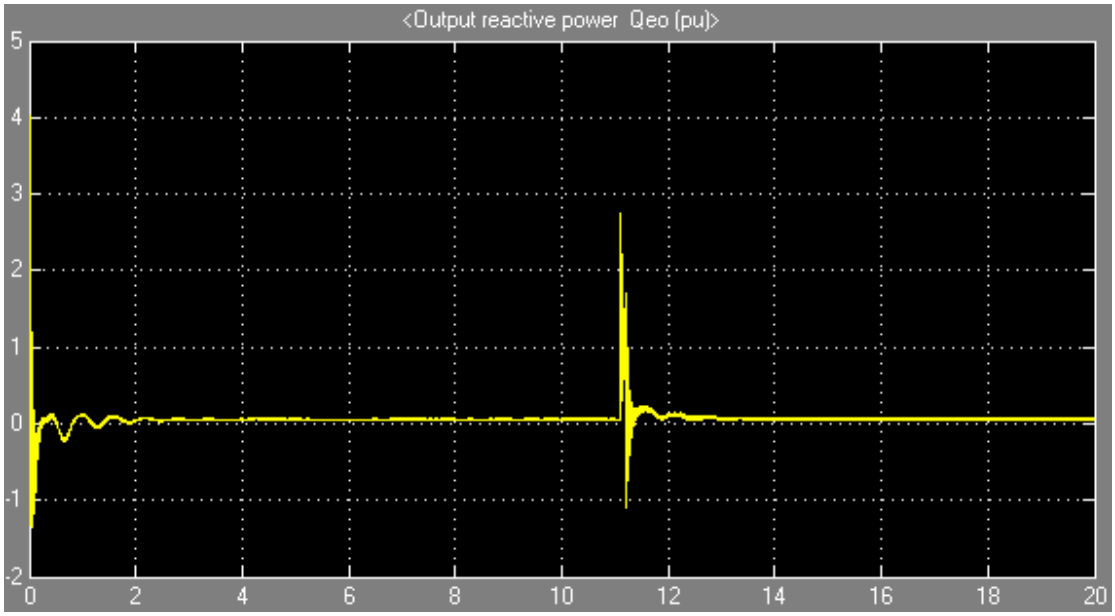
الشكل أعلاه يبين انخفاض الجهد بنفس مقدار المثال السابق



الشكل أعلاه يبين قيمة تيار القصر حيث ارتفع التيار في الملفات الثابتة للمولد إلى 4.6Pu وذالك على الطورين الذي حدثا فيهما العطل وهذه القيمة تعتبر كبيرة جدا نظرا لقرب العطل من المولد وفى هذه الإثناء يتم فصل المولد من الشبكة عن طريق نظام الوقاية الكهربائية



الشكل أعلاه يبين تأرجح القدرة الفعالة P على المولد ما بين 0.1Pu- إلى 2.9Pu ولا يتم استقرار القدرة إلا بعد 3s من حدوث العطل

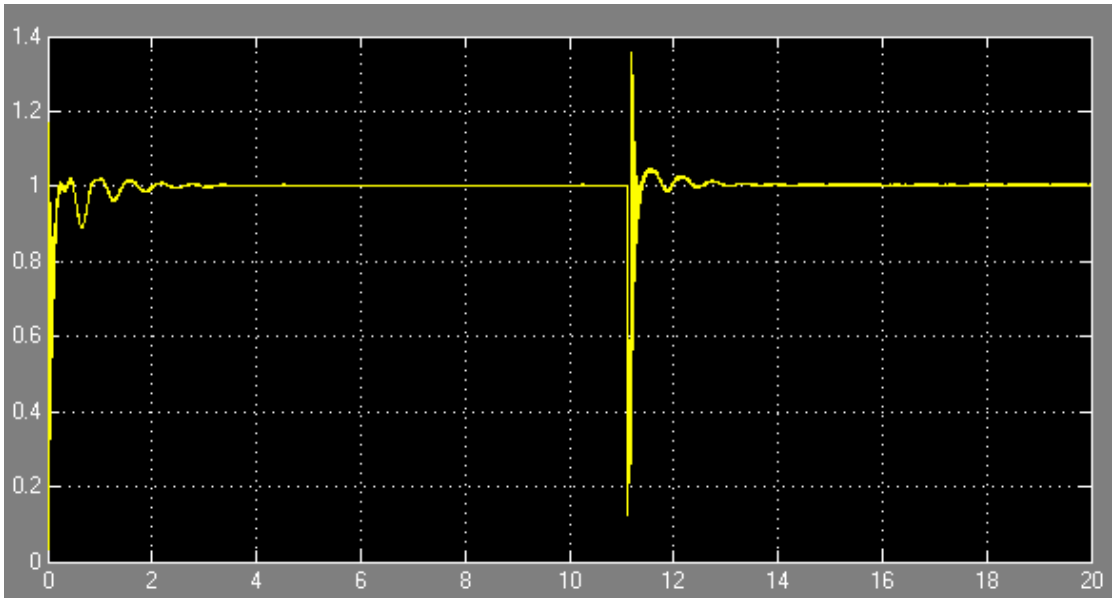


الشكل أعلاه يبين تأرجح القدرة غير الفعالة Q على المولد ما بين 1.1Pu- إلى 2.7Pu

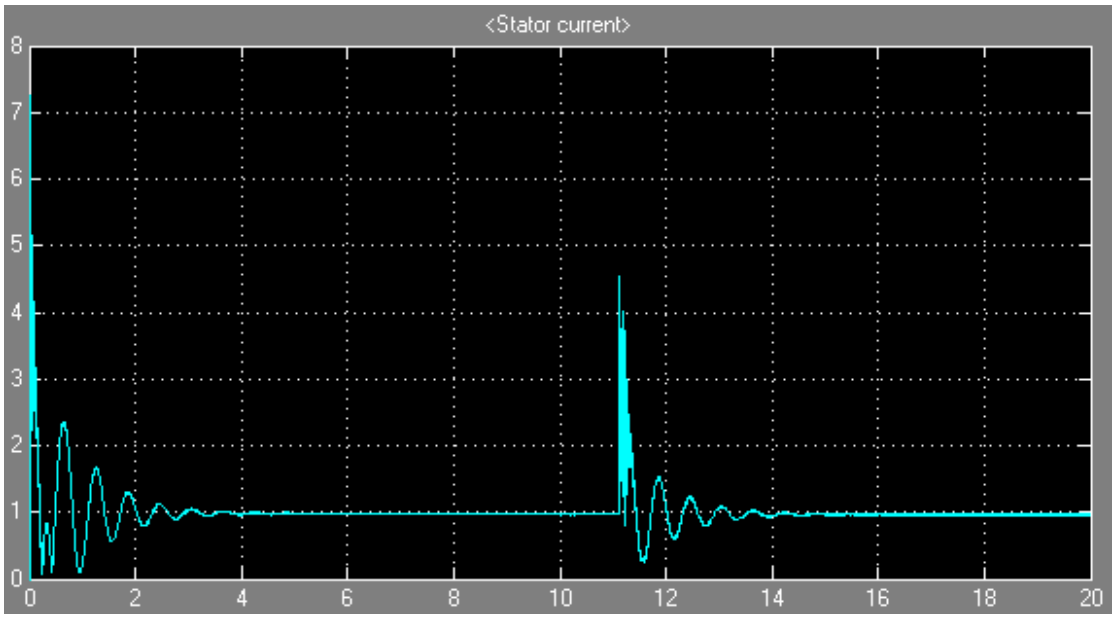
☜نوع العطل ثلاثي الطور مع الارض

وهو من الأعطال المتماثلة والتي يكون فيها تيار العطل متساوي تقريبا بالمقارنة مع الأعطال الأخرى ولكن عادتا يكون تيار العطل اكبر ما يمكن كما سيأتي

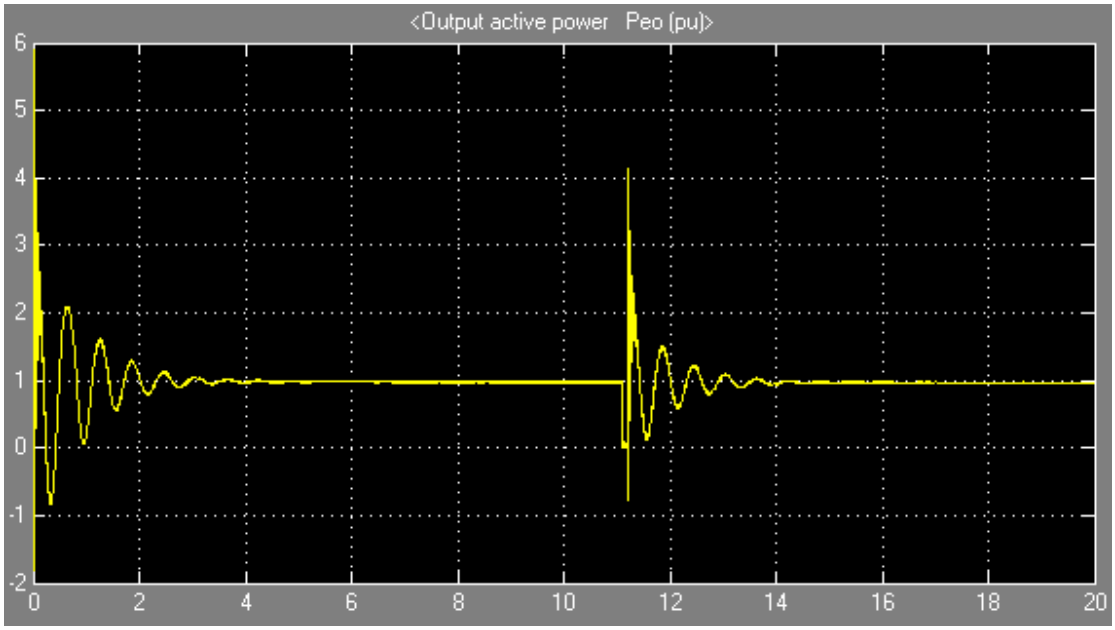
ويتم تشغيل المنظومة لمدة 20s وعند زمن 11.1s تم تطبيق العطل ولمدة 0.1s والغرض من التجربة هي اختبار مدى استجابة منظومة التحكم في الجهد ومعرفة قيمة تيار القصر ومدى استقرار القدرة على إطراف لمولد



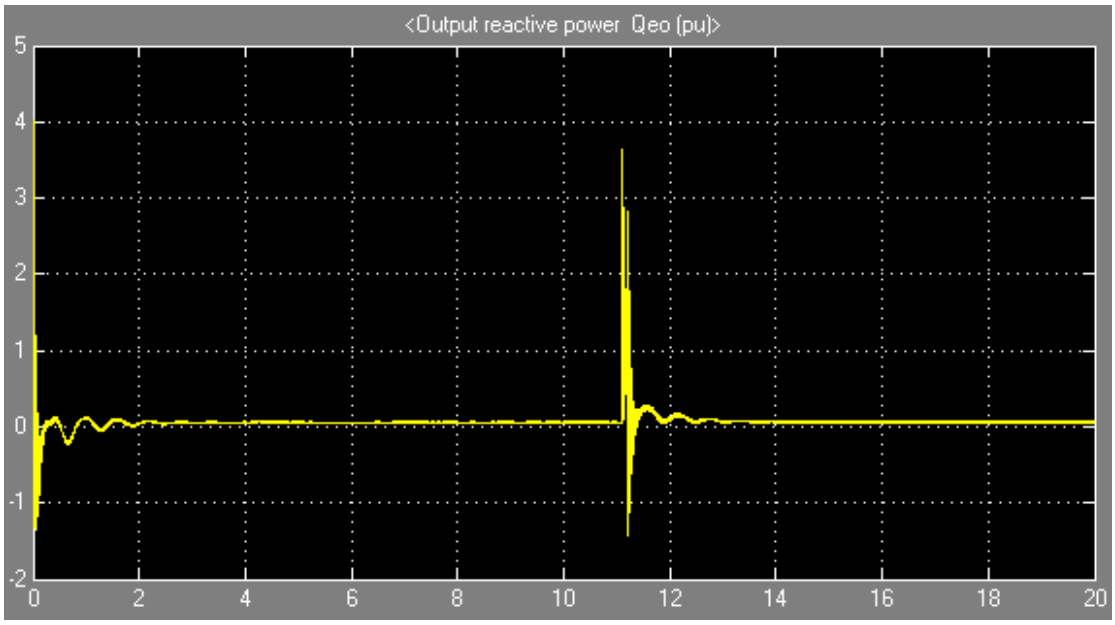
الشكل أعلاه يبين إن قيمة الجهد على إطراف المولد وصلت إلى الصفر تقريبا ثم عند اختفاء العطل بعد 0.1s وصلت قيمة الجهد إلى 1.37Pu وهذا يبين الفرق الكبير بين هذا العطل والأعطال السابقة



الشكل أعلاه يبين قيمة تيار العطل حيث ارتفع التيار في الملفات الثابتة للمولد إلى 4.6Pu وذالك على جميع الأطوار ولهذا السبب تم ملاحظ الانخفاض الكبير في الجهد على إطراف المولد كما نلاحظ تأرجح كبير لقيمة التيار بعد اختفاء العطل



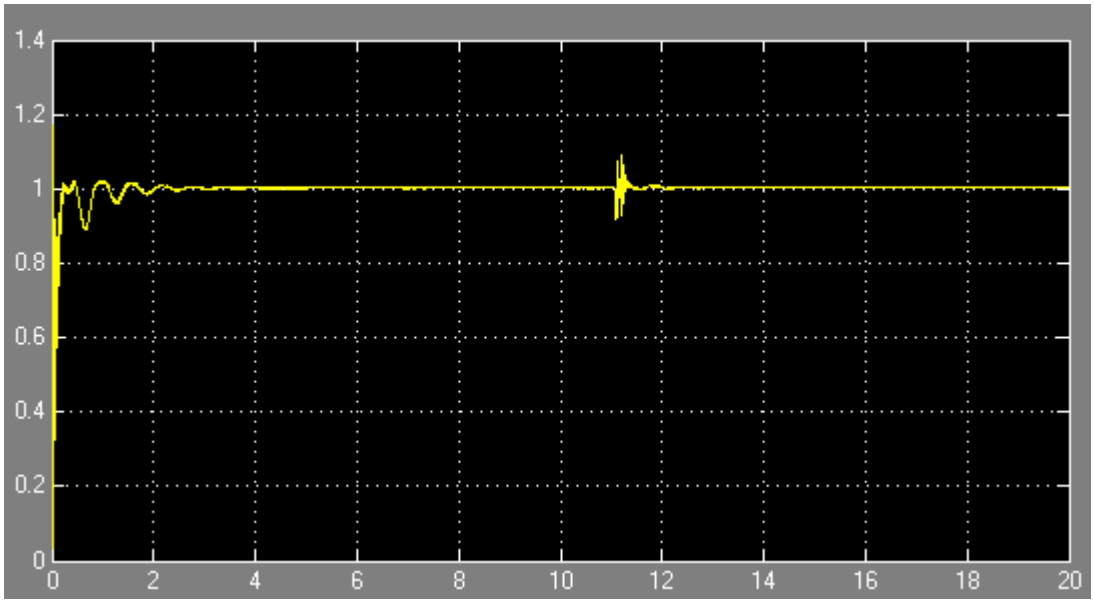
الشكل أعلاه يبين تأرجح كبير جدا في القدرة الفعالة حيث تصل قيمة القدرة بعد اختفاء العطل إلى 4.1Pu



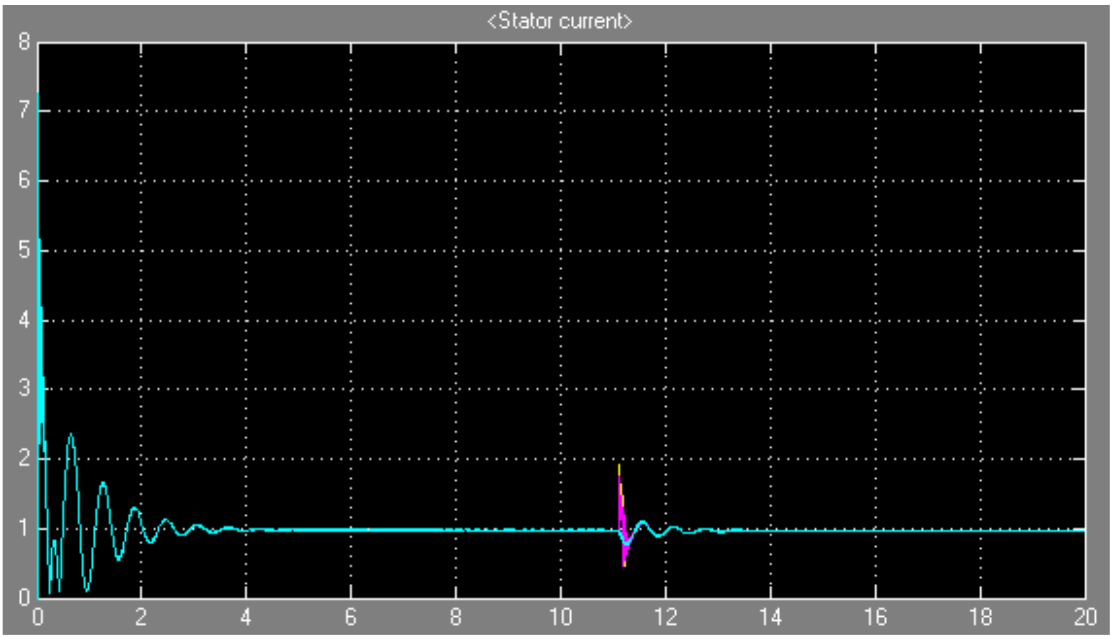
الشكل أعلاه يبين تأرجح القدرة غير الفعالة Q على المولد ما بين 1.5Pu- إلى 3.6Pu

☜نوع العطل طور مع الارض بمقاومة قيمتها 12Ω

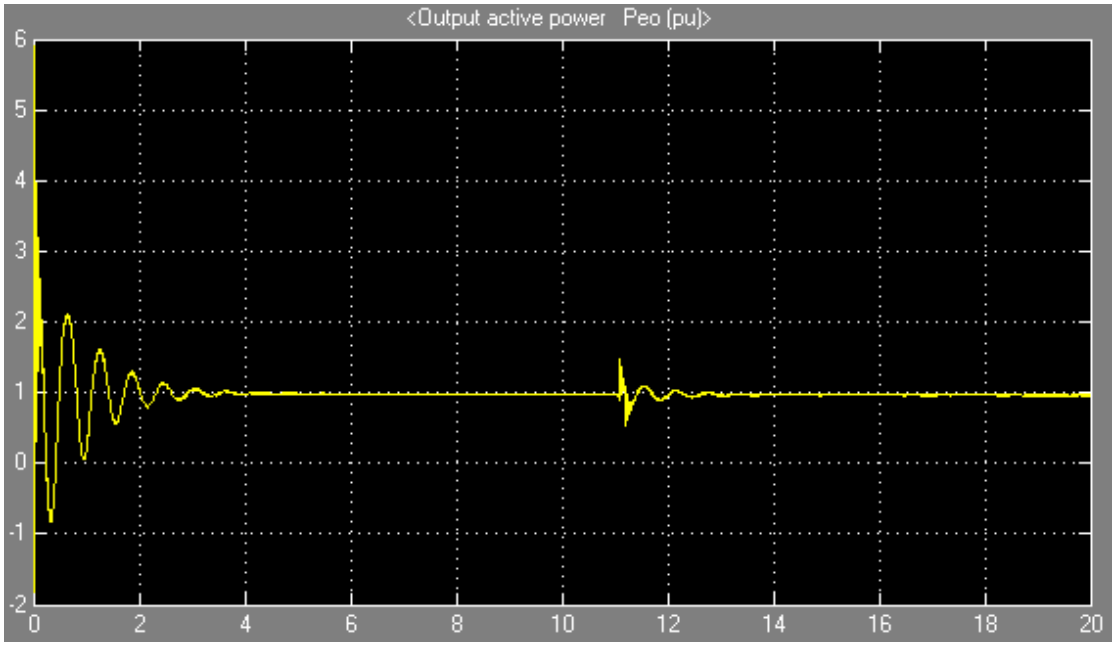
هذا النوع من الأعطال يحدث بكثرة في الشبكات الكهربائية حيث يتم اتصال طور مع الارض بواسطة شي ما مثل شجرة أو اتساخ العوازل الكهربائية بالأتربة والرطوبة أو بواسطة حيوان بحيث يكون ذو مقاومة اعلي من مقاومة الارض



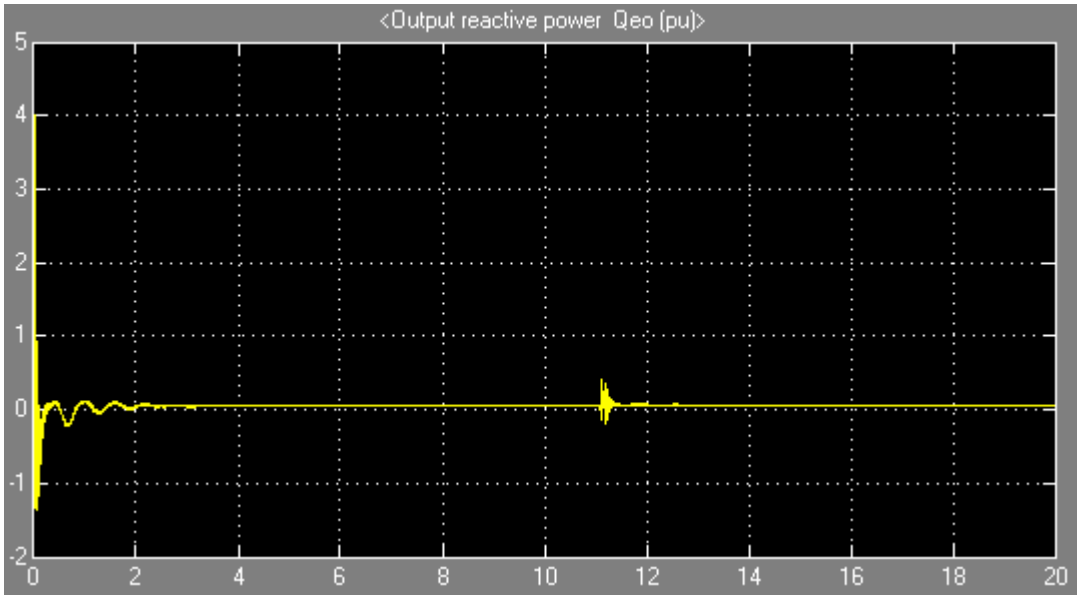
الشكل أعلاه يبين تأثر جهد المولد تأثير بسيط بالعطل يتلاشي باختفاء العطل



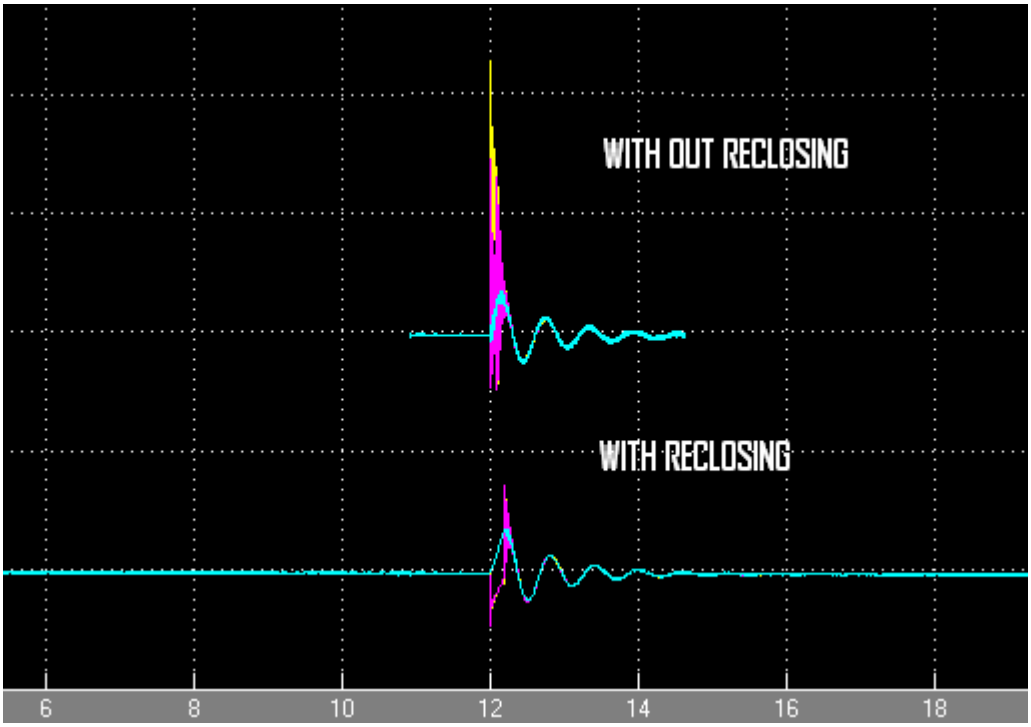
الشكل أعلاه يبين قيمة تيار العطل حيث تصل قيمة التيار إلى 1.8Pu مع تأرجح بسيط للتيار وان زمن ارتفاع التيار بسيط جدا ولهذا السبب يتم الحماية من هذه الأعطال عن طريق فصل الطور الذي يحدث فيه العطل فقط وتوصيله في زمن مسموح بهي من 0.1s إلى 0.5s حيث نلاحظ إن زمن العطل كان تقريبا 0.3s



الشكل أعلاه يبين تأرجح بسيط في القدرة الفعالة P مع استقرار سريع للقدرة بعد اختفاء العطل



الشكل أعلاه يبين تأرجح بسيط جدا للقدرة غير الفعالة Q



الشكل أعلاه يبين الفرق بين تيارين العطل عند استخدام حماية فصل وتوصيل الطور RECLOSING للحماية من الخطاء الأرضي في الشبكات الكهربائية للطور الواحد حيث نلاحظ إن الفرق كبير جدا من حيث ارتفاع وتأرجح التيار في الطور الذي حدث بهي العطل
كما نلاحظ إن تيار الخطاء الارضي في حالة عدم استخدام الحماية وصل إلى 3.3Pu إما في حالة استخدام الحماية نلاحظ إن تيار الخطاء الأرضي وصل إلى 1.7Pu

الخلاصة

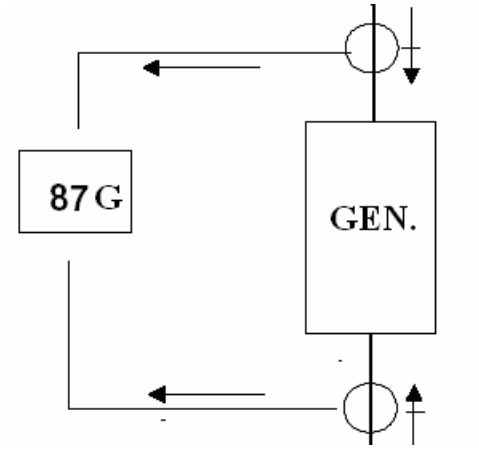
ومما سبق نستنتج إن التيار الناجم عن دائرة القصر يمكن إن يسبب في تلف المعدة وذالك بسبب تضاعف قيمته لذا اهتمت الشركات المصنعة بتطوير أجهزة الوقاية الكهربائية حيث تم الأخذ في الاعتبار الحساسية والدقة والموثوقية لأداء وظائفها دون التأثير على استقرار الشبكات الكهربائية
وأيضا يمكن ملاحظة إن التيار الناجم عن عطل الخطاء الأرضي اقل من التيار في الأعطال الأخرى لذالك يتم عادتا تعديل مرحلات الوقاية من الخطاء الأرضي بتأخير زمني يصل إلى 2s في اغلب الأحيان

ملاحظة

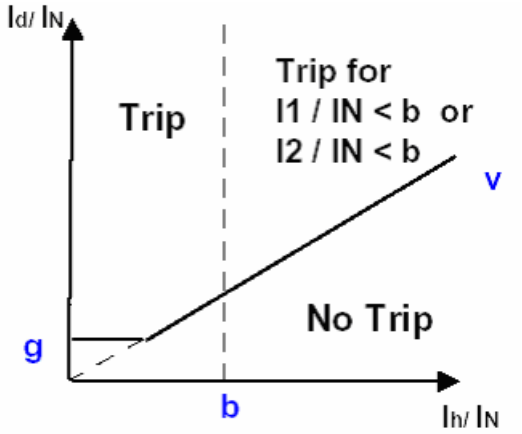
تم إهمال عطل دائرة قصر بين طورين وثلاثي الطور نظرا لتشابههما بمثيلاتها من حيث قيمة تيار القصر والتأثير في الشبكة
ويتم حماية المولد من جميع هذه الأعطال بالطرق الآتية

الحماية التفاضلية Diffraction protection

وفيها يتم تفاضل أو مقارنة التيار على طرفي المولد حيث في الظروف العادية يكون التيار على طرفي المولد متساوي وكلاهما في عكس اتجاه الأخر وحيث إن كل قوتين متساويتين في المقدار ومتضادات في الأتجاه حاصل جمعن يساوى صفر فان التيار الناتج عنهما يساوى صفر .
وفى حالة حدوث عطل داخل المولد يكون التيار الناتج على طرفي مكان العطل حاصل جمع التيارين وبالتالي يتم تشغيل مرحل الحماية وعزل المولد من الشبكة



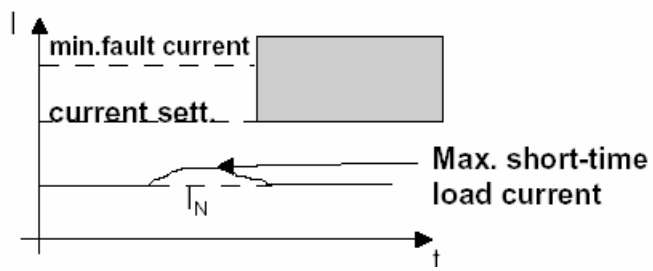
وفى نظام الحماية الرقمي يتم تعديل الوقاية التفاضلية على أساس ثلاثة متغيرات وهى
المتغير **g** وهى اقل قيمة لتيار تشغيل الحماية وتكون القيمة الافتراضية للمتغير 0.1 IN حيث إذا كان الفرق بين التيارين اكبر من أو تساوى 0.1 من التيار المقنن للمولد يتم تشغيل الحماية
المتغير **b** لتحديد منطقة تشغيل الحماية وتكون القيمة الافتراضية للمتغير 1.5
المتغير **v** لتحديد منحنى تشغيل الحماية للأعطال الخارجية وتكون القيمة الافتراضية للمتغير 0.25



وفى الشكل أعلاه نلاحظ منحنى تشغيل الحماية حيث لأيتم تشغيل الحماية خارج المتغير b والمحنى v إلا إذا كانت قيمة I1/IN اكبر من b أو قيمة I2/IN اكبر من b
حيث I1 قيمة تيار محول التيار الأول
و I2 قيمة تيار محول التيار الثاني
ويستخدم هذا النوع من الحماية في حماية جميع المعدات الكهربائية مثل المولدات والمحولات والمحركات الكهربائية الخ

الحماية من زيادة التيار Over current

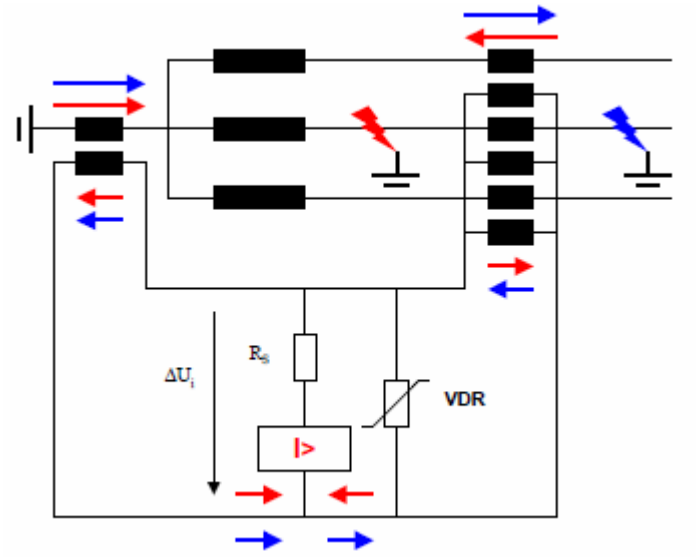
حيث يتم تحديد قيمة تيار الفصل للمرحل عند حوالي 130% من التيار المقنن للمولد مع تأخير زمني يتراوح من 1.5 إلى 2 ثانية ويكون المرحل عادتا مدمج مع مرحل للوقاية من انخفاض الجهد ويتم تحديد قيمة المرحل عند 80% من جهد المولد مع تأخير زمني يتراوح من 1.5 إلى 2 ثانية



الحماية من الخطاء الأرضي Ground fault protection

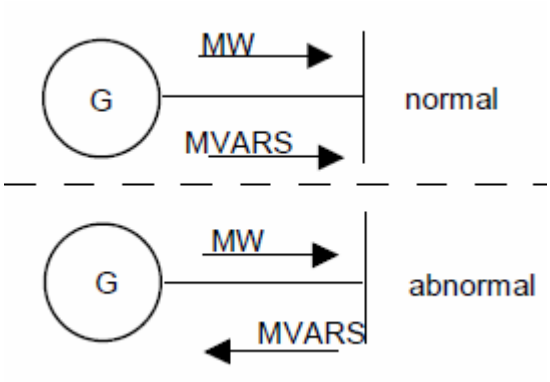
يتم حماية المولد من الخطاء الأرضي عن طريق مقارنة التيار الخارج من المولد مع تيار النقطة المتعادلة Neuter point

كما هو موضح في الشكل أدناه يتم مقارنة التيار بين خرج المولد ونقطة التعادل حيث في الأعطال الخارجية لأيتم تشغيل الحماية نظرا لمرور التيار في نفس الاتجاه كما هو موضح بالسهم الأزرق إما في الأعطال الداخلية يتم تشغيل الحماية نظرا لتعاكس اتجاه التيار كما هو موضح بالسهم الأحمر



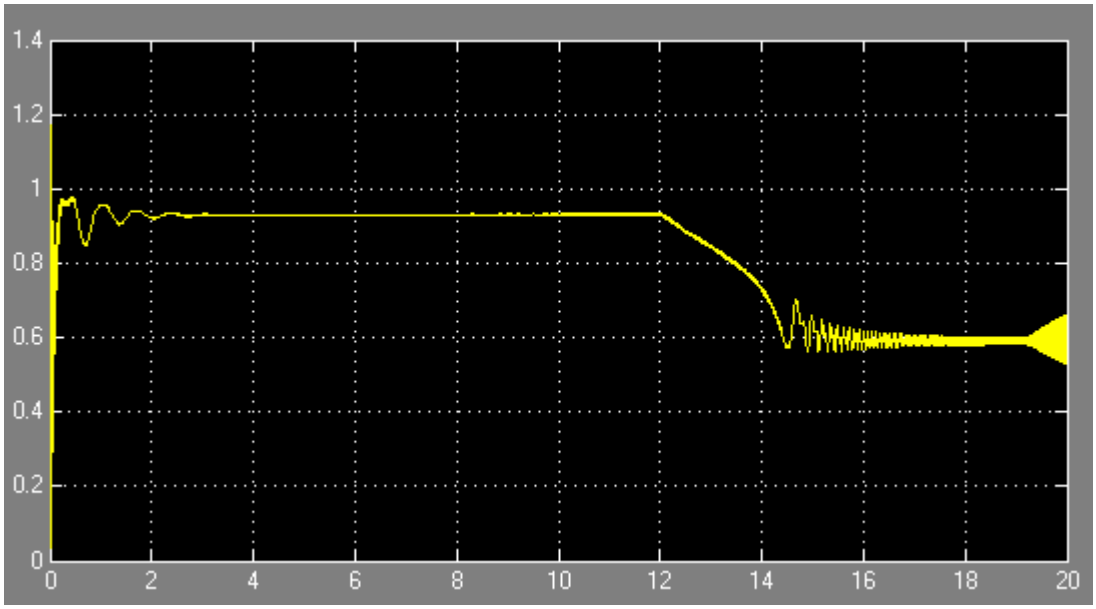
ثالثا فقد التحريض Loss of excitation

من أهم أسباب فصل المولد عن الشبكة الكهربائية هي فقد التحريض في المولد والذي يتم بسبب حدوث عطل في منظومة التحكم في الجهد أو في المحرض وكما سيأتي نلاحظ انه يمكن للمولد إن يعمل بعد فقد التحريض ولكن في ظروف غير عادية حيث يتسبب في جعل المولد محرك حثي وأيضا يزيد من التيارات الدوامية في المولد Eddy current ويزيد من حرارة العضو الدوار للمولد Rotor ولعل من أهم أسباب الوقاية من فقد التحريض هو زيادة الحمل على المولد بتيار غير فعال Reactive current عالي جدا

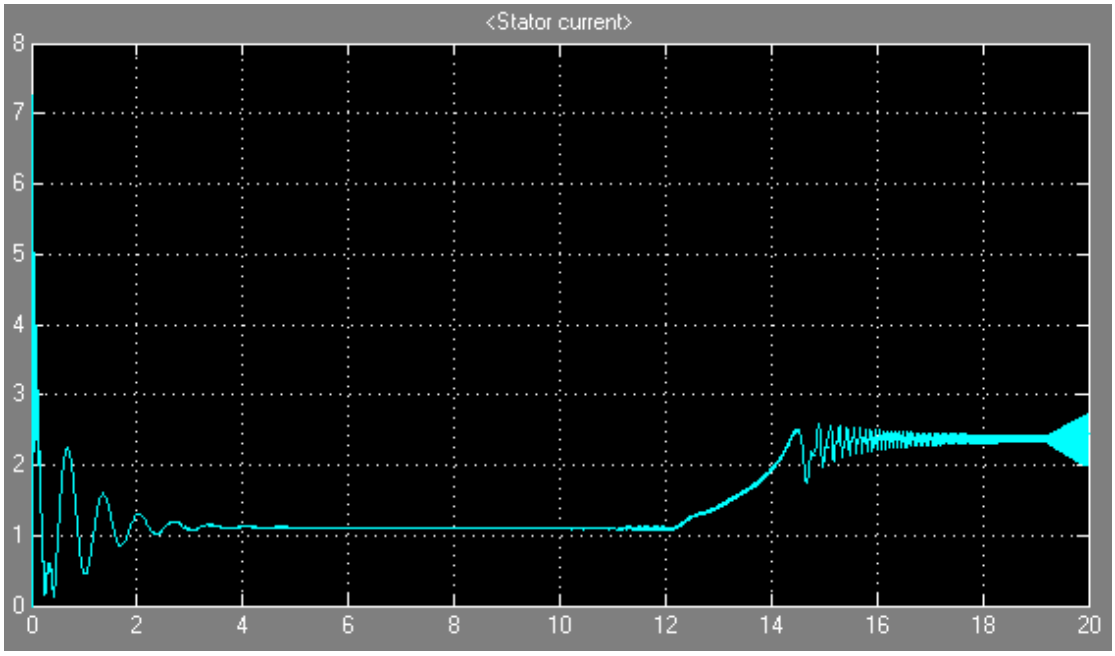


الشكل أعلاه يبين الحالة العادية لعمل المولد على الشبكة وهى إنتاج قدرة فعالة وغير فعالة والحالة الغير عادية حيث ينتج المولد قدرة فعالة ويستهل قدرة غير فعالة

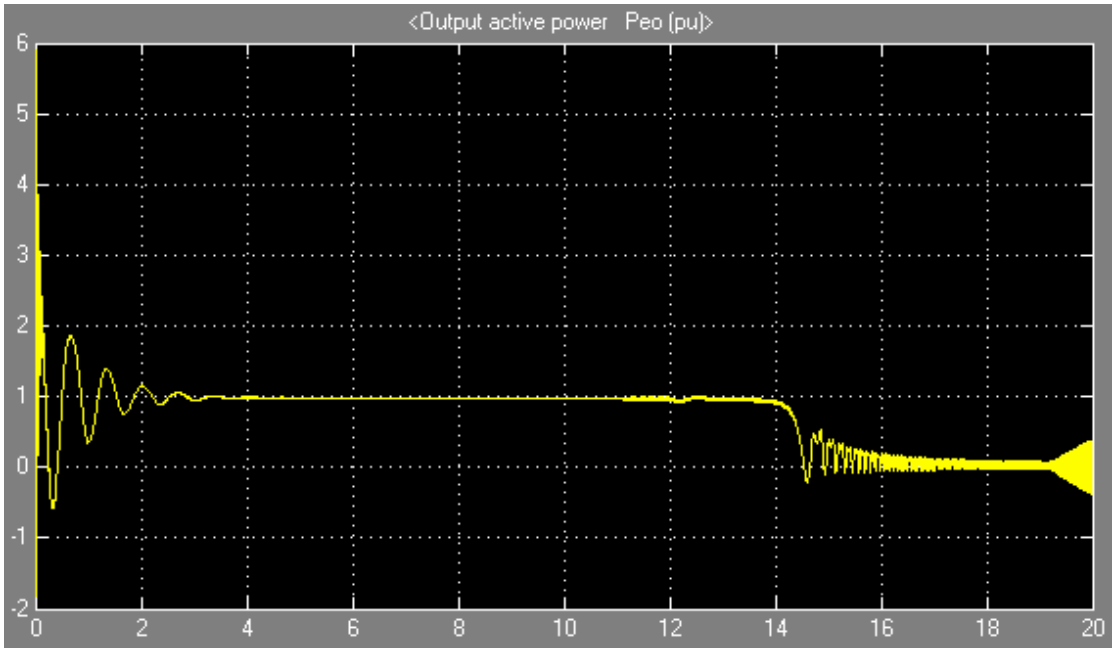
ويتم تشغيل المنظومة لمدة 20s وعند زمن 12.1s تم فصل منظومة تحريض المولد ولمدة 8s والغرض من التجربة هي معرفة الظروف التي تحيط بالمولد عند فصل المنظومة



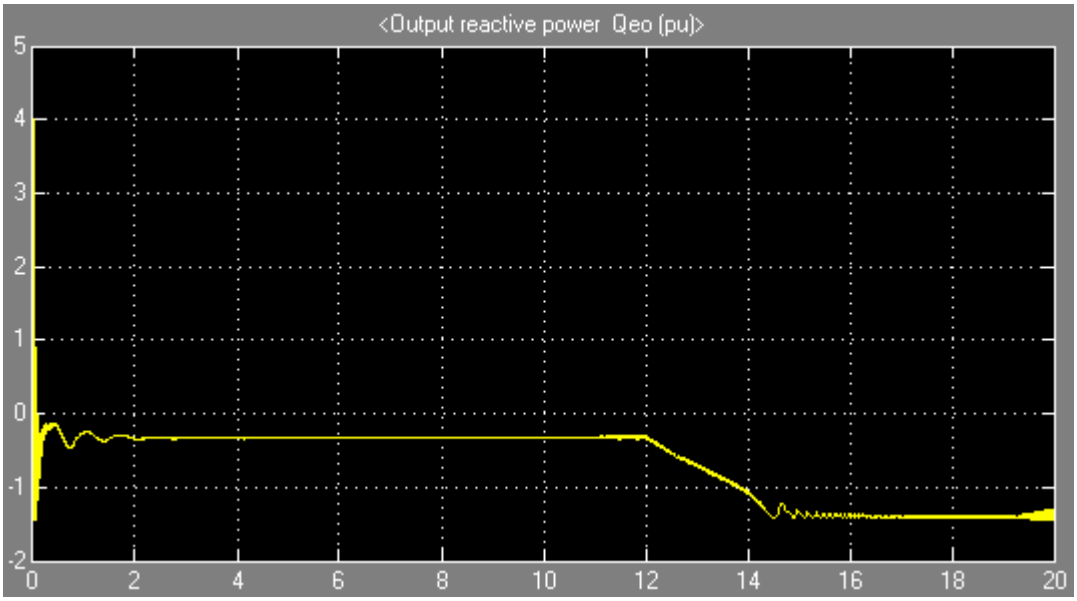
الشكل أعلاه يبين قيمة جهد المولد حيث نلاحظ إن قيمة الجهد انخفضت إلى 0.6Pu بعد فصل منظومة التحريض وذالك ناتج عن انخفاض تيار التحريض الذي حصل علية المولد بواسطة عملية الحث المغناطيسي الناتج من تيار الملفات الثابتة للمولد كما نلاحظ تأرجح في قيمة جهد المولد



الشكل أعلاه يبين قيمة تيار الملفات الثابتة للمولد حيث نلاحظ إن قيمة التيار زادة إلى 2.4Pu ثم بدأت بالتأرجح عند هذه القيمة وهذا التيار هو تيار غير فعال ينتج عنه ارتفاع شديد في درجة حرارة ملفات المولد (زيادة الحمل على المولد)



الشكل أعلاه يبين قيمة القدرة الفعالة P حيث نلاحظ إن قيمة القدرة هبطت إلى مادون الصفر ثم بدأت بالتأرجح عند قيمة 0.1Pu



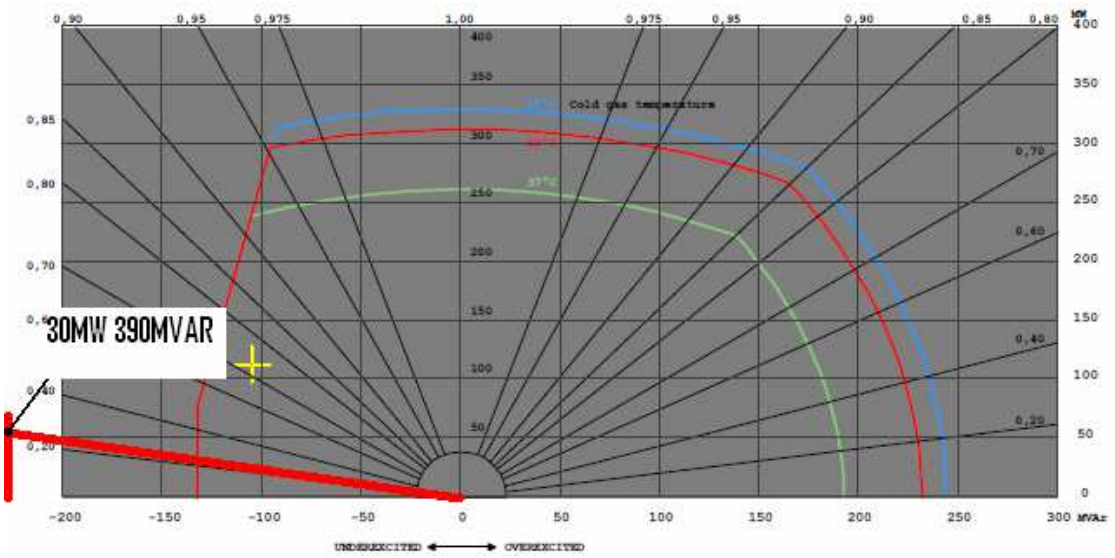
الشكل أعلاه يبين قيمة القدرة غير الفعالة Q حيث نلاحظ أن قيمة القدرة انخفضت إلى 1.3Pu- ثم بدأت بالتأرجح عند هذه القيمة

ويمكن حساب قيم القدرة كلاتي

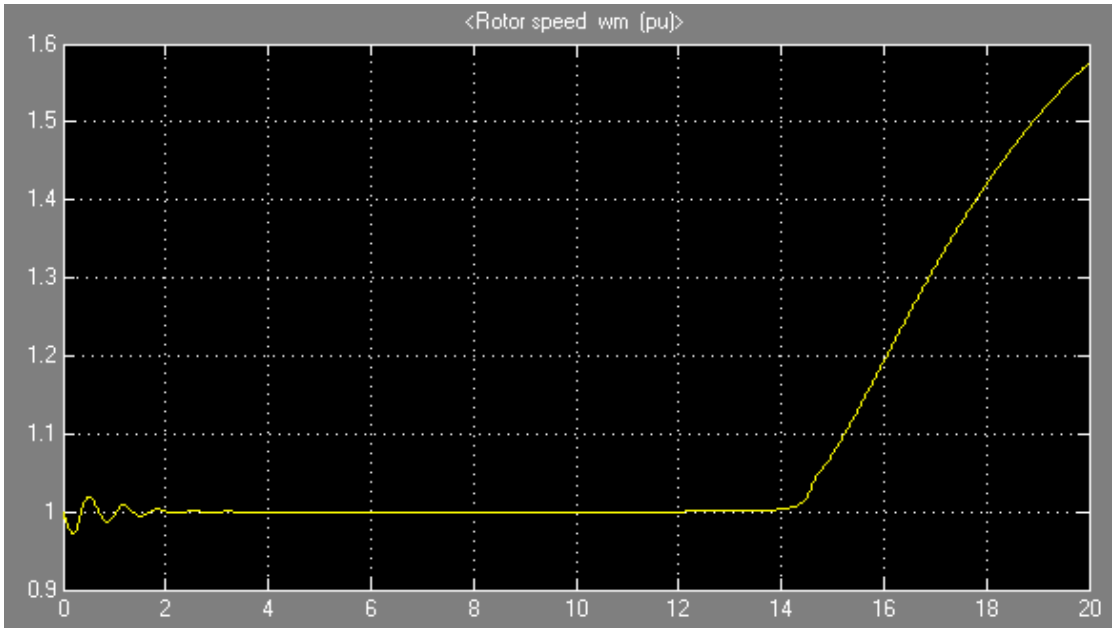
S = 300 MVA P = 0.1 * 300 = 30 MW

Q = -1.3 * 300 = -390 MVAR PF = -0.2

ويمكن توضيح ذالك على منحنى أداء المولد Capability Curve



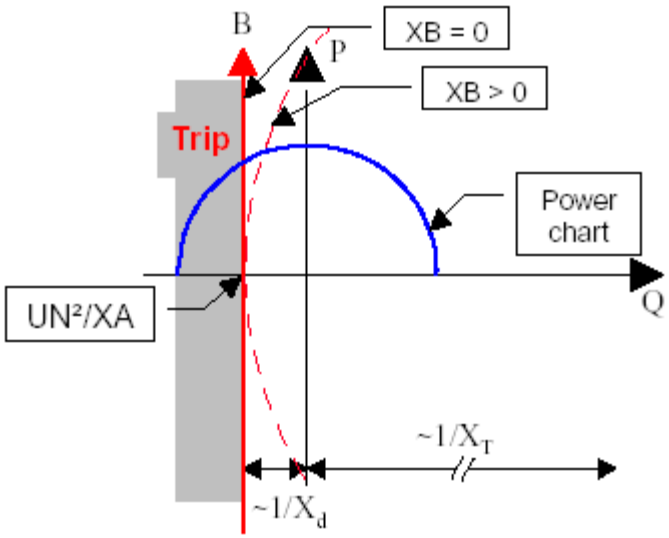
كما هو موضح أعلاه على منحنى أداء المولد إن المولد يعمل خارج منطقة تحت التحريض Underexcited للقدرة غير الفعالة وهو ما يجعل المولد يعمل كمحرك حثي



الشكل أعلاه يبين ارتفاع سرعة عمود المولد نظرا لاختلاف قدرة المولد وقدرة الآلة المحركة للمولد وهو مشابه لاختبار Load rejection الذي يتم من خلال فتح القاطع الكهربائي للمولد عندما يكون حمل المولد 100% لذا تعتبر حالة فقد التحريض في المولد سبب من أسباب حدوث حالة زيادة السرعة over speed للآلة المحركة

الخلاصة

إن تأثير العطل يمكن إن يشكل خطر على المولد والآلة المحركة Engine وان تغيير قيمة القدرة غير الفعالة كبير جدا لذا يتم تحسس العطل في أجهزة الوقاية عن طريق جهد التحريض Ve وقيمة القدرة غير الفعالة Q ومع تأخير زمني يصل إلى 1.5s

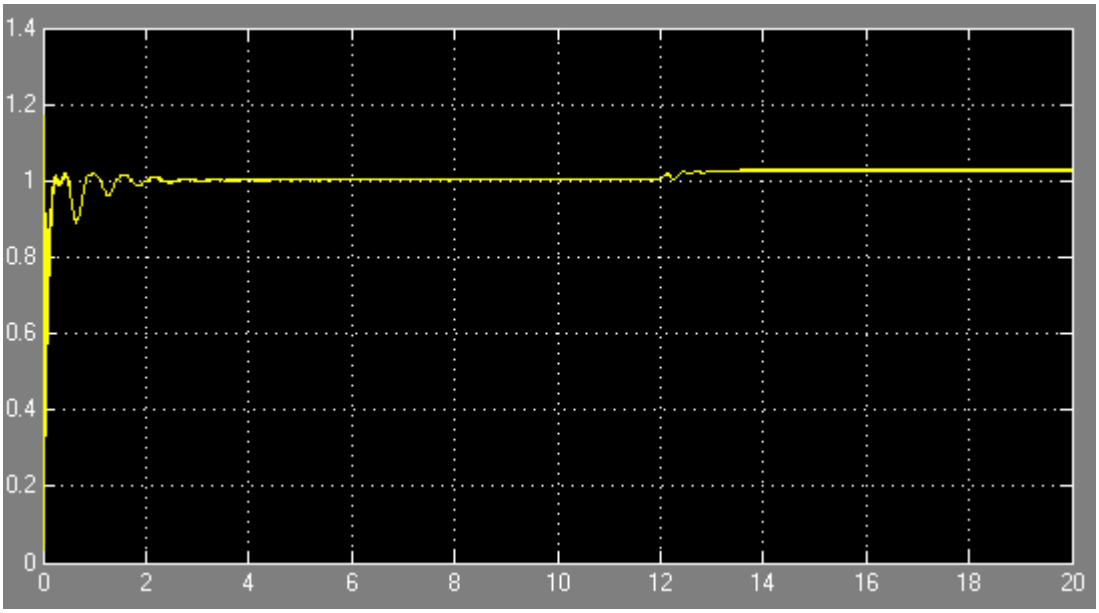


الشكل أعلاه يبين منحني أداء المولد حيث نلاحظ منطقة حماية المولد من فقد التحريض ما بعد الخط الأحمر والتي تحدد بقيمة القدرة غير الفعالة وتكون عادتا عند 0.4Pu- اى عند قيمة 130Mvar- في المثال السابق

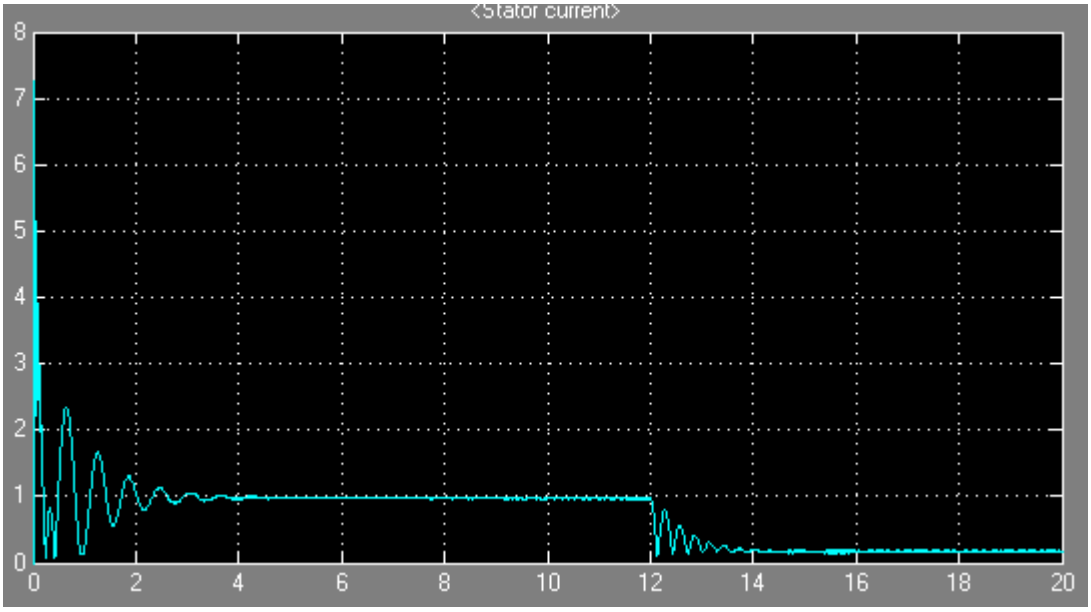
رابعا انعكاس القدرة Reverse power

انعكاس القدرة ينتج عن فقد عزم التدوير من الآلة المحركة Engine مثل تربينة بخارية أو غازية أو مائية مع حدوث عطل في القاطع الكهربائي للمولد حيث في هذه الحالة يعمل المولد كمحرك والذي قد يتسبب في أضرار للآلة المحركة

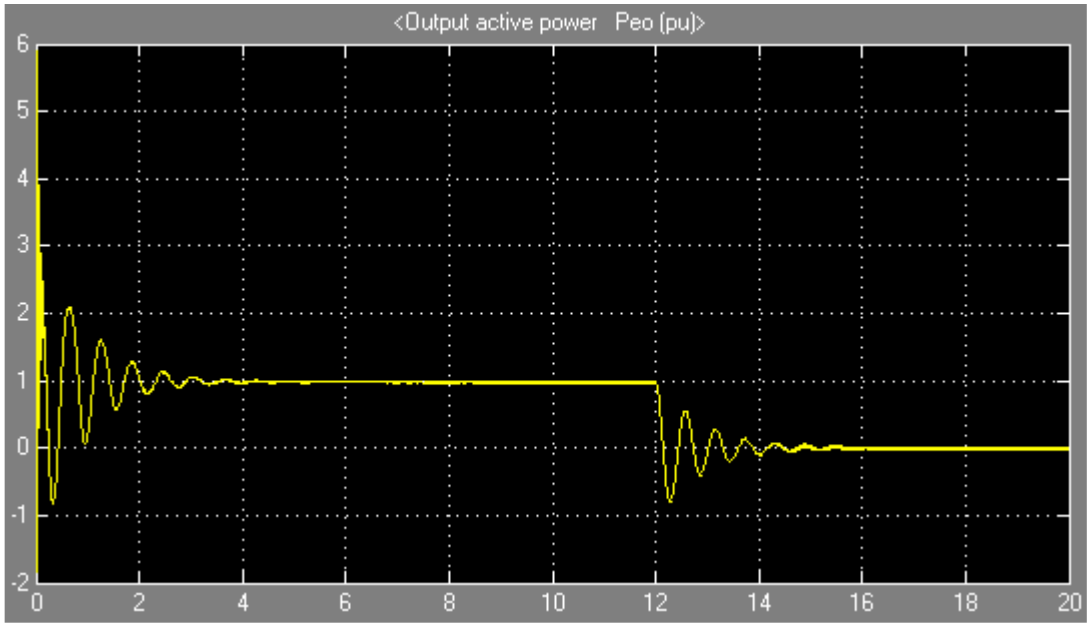
ويتم تشغيل المنظومة لمدة 20s وعند زمن 12.1s تم إيقاف عمل الآلة المحركة Hydro turbine ولمدة 8s والغرض من التجربة هي معرفة الظروف التي تحيط بالمولد في هذه الحالة



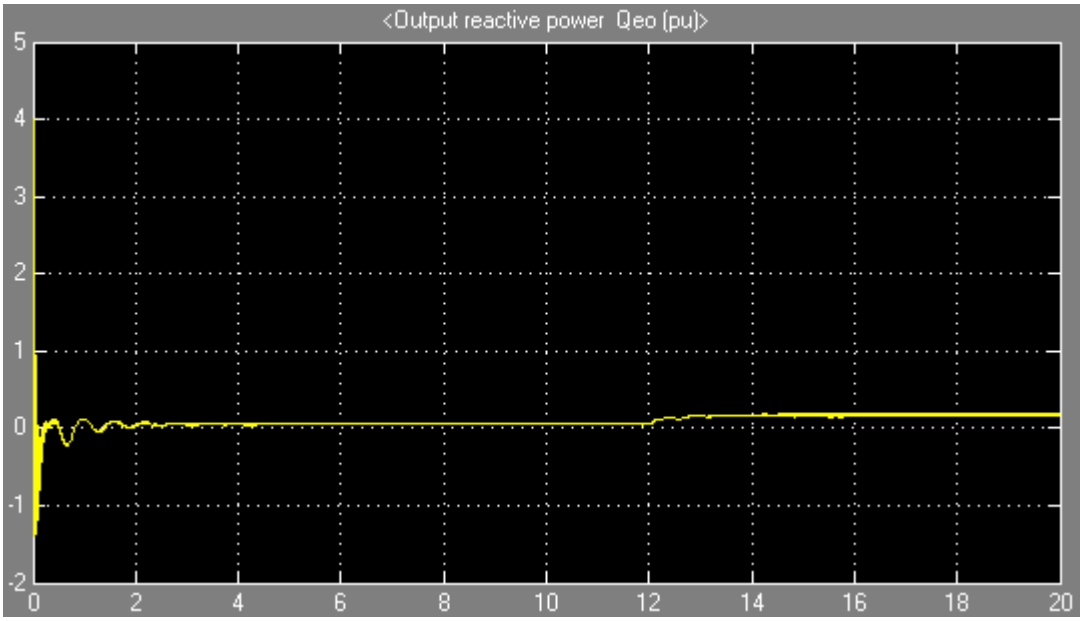
الشكل أعلاه يبين ارتفاع جهد المولد ارتفاع بسيط جدا



الشكل أعلاه يبين انخفاض تيار المولد إلى اقل ما يمكن حتى يصل إلى 0.15Pu وهو تيار تثبيت سرعة المولد



الشكل أعلاه يبين تأرجح القدرة الفعالة للمولد وانخفاضها إلى اقل من الصفر



الشكل أعلاه يبين ارتفاع القدرة غير الفعالة بفعل تغير حالة المولد من مولد إلى محرك

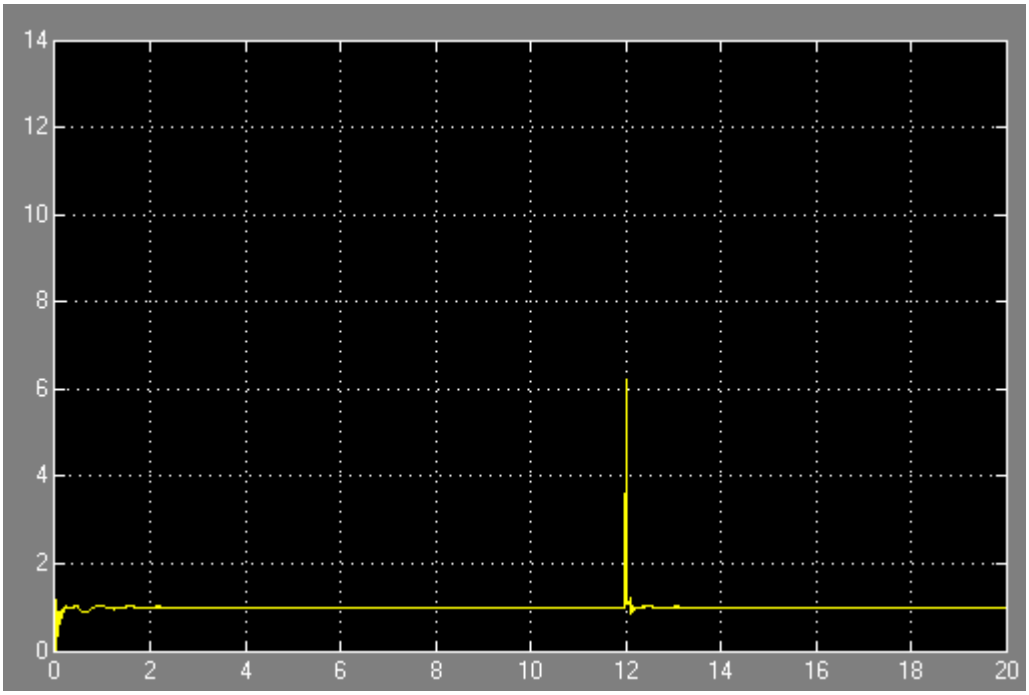
الخلاصة

إن انعكاس القدرة يشكل خطر على الآلة المحركة بالدرجة الأولى ويتم الحماية من انعكاس القدرة بتحديد قيمة القدرة للمرحل عند 3%Pn- من قدرة المولد

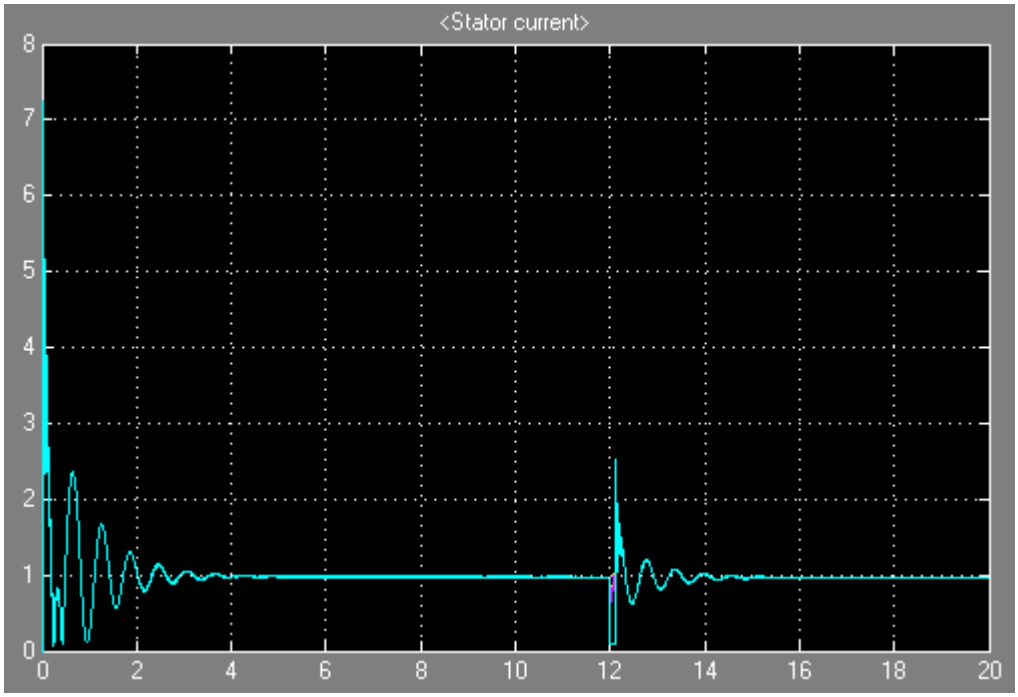
خامسا عدم اتزان الحمل Unbalanced load

يحدث عدم اتزان الحمل في حالة حدوث دائرة مفتوحة في خطوط النقل أو السكاكين أو القواطع الكهربائية وله تأثير مباشر في المولد حيث ينتج عنه حالة التتابع السالبة Negative phase sequence وأيضا يسبب حث على العمود الدوار للمولد Rotor مما يتسبب في تسخنه في وقت قصير جدا الذي يؤدى إلى حدوث نقر ساخنة في العمود hot spot

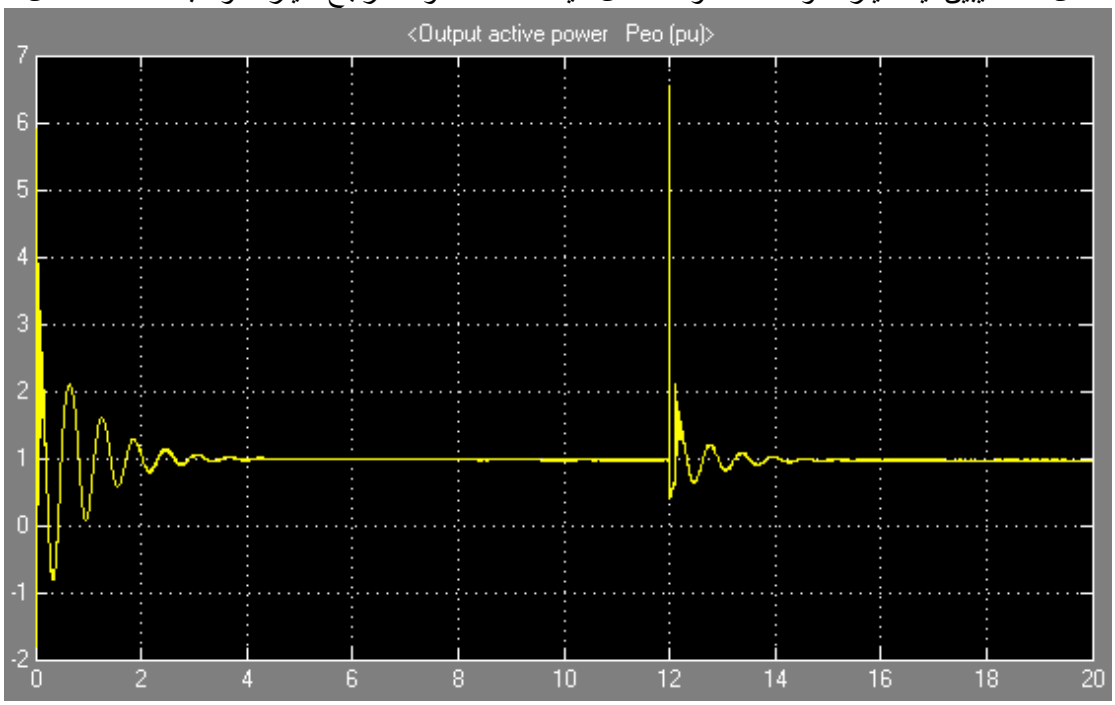
ويتم تشغيل المنظومة لمدة 20s وعند زمن 12s تم فصل احدى الأطوار في الشبكة بالقرب من المولد ولمدة 0.3s والغرض من التجربة هي معرفة الظروف التي تحيط بالمولد في هذه الحالة



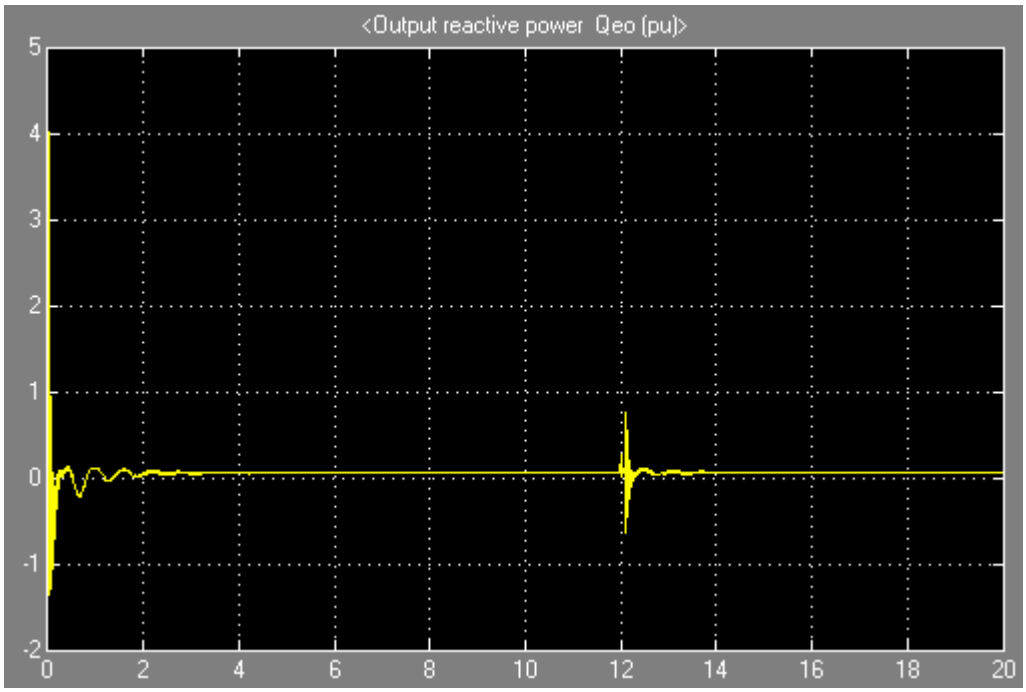
الشكل أعلاه يبين قيمة جهد المولد عند حدوث العطل حيث نلاحظ ارتفاع كبير في قيمة الجهد في لحظة حدوث العطل



الشكل أعلاه يبين قيمة تيار المولد عند حدوث العطل حيث نلاحظ حدوث تأرجح للتيار المولد بعد اختفاء العطل



الشكل أعلاه يبين ارتفاع كبير في قيمة القدرة الفعالة للمولد وتأرجح في القدرة بعد اختفاء العطل



الشكل أعلاه يبين ارتفاع وانخفاض قيمة القدرة غير الفعالة اثنا وبعد العطل

الخلاصة

إن حالة عدم اتزان الحمل في الشبكة هي حالة غير اعتيادية وهى تشكل مخاطر على المولد وان كان يمكن تشغيل المولد في قيم صغيرة جدا من هذه الحالة حيث يمكن السماح بمقدار يصل إلى 8% من تيار المقنن للمولد ويتم حماية المولد من عدم اتزان الحمل بواسطة مراقبة تيار حالة التتابع السلبي Negative phase sequence والذي يرمز له بالرمز I2 حيث يتم تعديل المرحل كالأتي

I2 = I2 max/In * In/In CT

حيث I2 max اعلي قيمة المسموح بها لتيار عدم اتزان الحمل
In التيار المقنن للمولد
In CT التيار المقنن لمحول التيار من جهة الملف الابتدائي

وفى المولدات الكبيرة مثل المستخدم في المثال السابق نستطيع حساب I2 كلاتي

8% In I2 max
9728 A In
12000 A In CT

I2 = 778.24/9728*9728/12000 = 6.5%

يتم تعديل المرحل عند هذه القيمة وبتأخير زمني يصل إلى 8s

سادسا منظومة تثبيت نظام القدرة Power System Stabilizer PSS

تعتبر منظومة تثبيت القدرة الكهربائية للمولد من المنظومات المتطورة وعالية الدقة حيث يتم مراقبة القدرة الكهربائية للمولد وعند حدوث اى عطل خارجي في الشبكة يؤدى إلى تأرجح قدرة المولد يتم تثبيت القدرة وذالك بالتحكم في جهد التحريض Uf الخاص بتحريض المولد حيث لوحظ وجود علاقة تناسبية بين العزم الكهربائي للمولد Te وجهد التحريض Uf ومن الناحية النظرية نجد إن

Ta = Te – Tm

حيث Te العزم الكهربائي
Tm العزم الميكانيكي للتربينة
Ta عزم التعجيل

وعند عمل المولد بالسرعة المقننة Rated Speed نجد إن

Pa = Pe – Pm

حيث Pe القدرة الكهربائي
Pm القدرة الميكانيكي للتربينة
Pa قدرة التعجيل

وهنا يمكن القول بان Te = Pe نجد إن

$$Pe(fo) = Te(fo) = \frac{Uf \cdot U\infty_{bus}}{Xd(fo) + Xe} \cdot \sin\delta + \frac{U\infty_{bus} \cdot [Xd(fo) - Xq(fo)]}{2 \cdot [Xd(fo) + Xe] \cdot [Xq(fo) + Xe]} \cdot \sin(2 \cdot \delta)$$

ومن المعادلة أعلاه نجد إن القدرة الكهربائية للمولد Pe تساوى العزم الكهربائي للمولد Te وحيث إن القدرة الكهربائية Pe تتناسب مع جهد التحريض Uf من هذا المنطلق يتم التحكم في تثبيت القدرة الكهربائية للمولد بتغيير قيمة جهد التحريض للمحرض Uf وتعتمد استجابة المنظومة على قدرة المولد ومدى تغير المفاعلة للمولد Xd ومفاعله الشبكة Xe

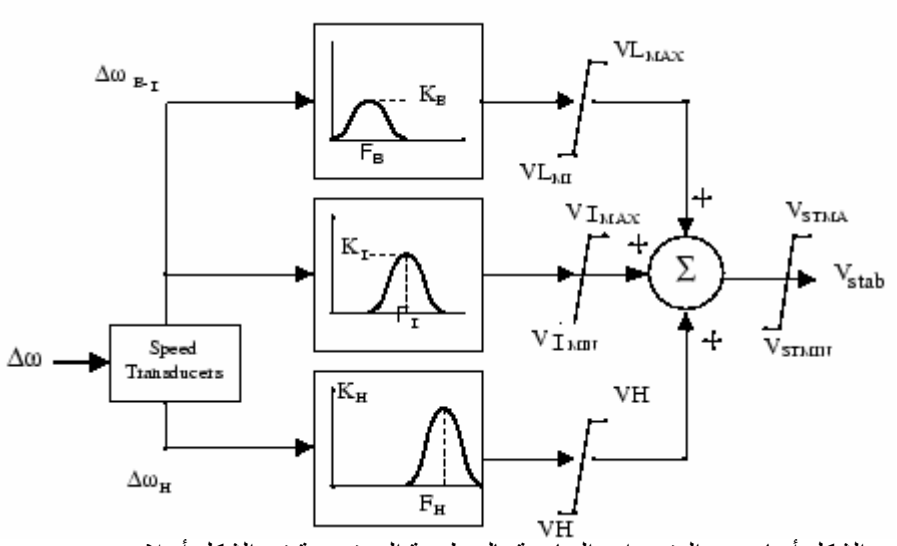
وفى هذه المثال سوف نستخدم نوعين من أنواع PSS

النوع الأول Multi band Power System Stabilizer

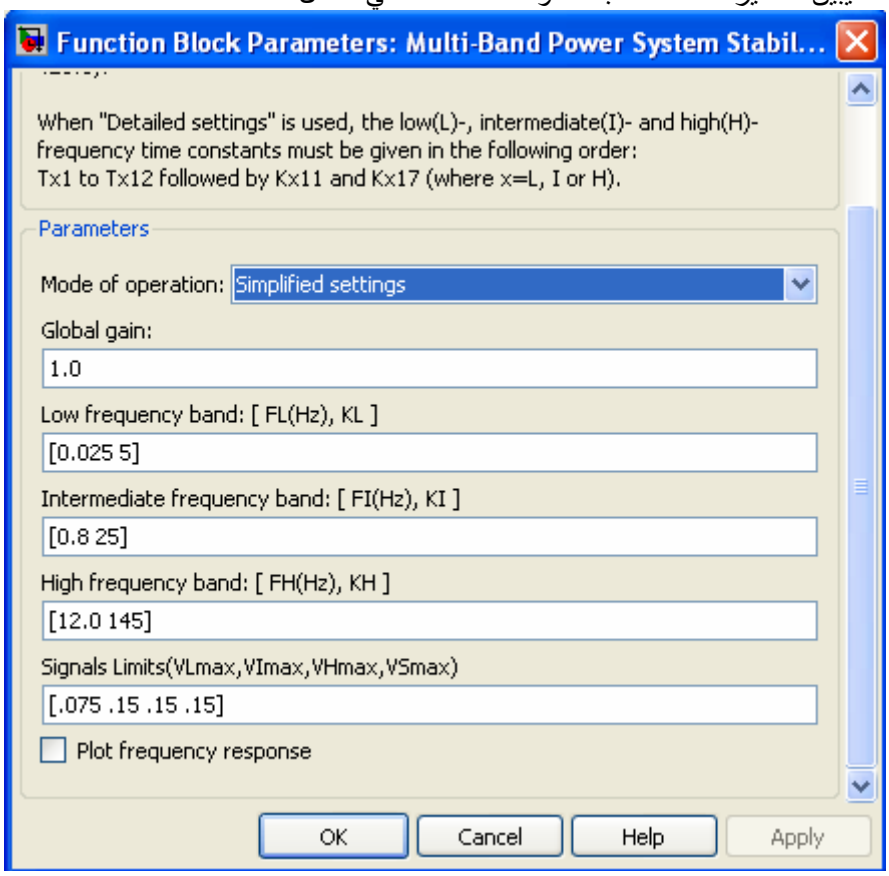
وفيه يتم المراقبة عن طريق قيمة التردد التي يتم من خلالها اكتشاف عدم استقرار القدرة في الشبكة الكهربائية حيث يتم تقسيمها إلى أربع حالات رئيسية

- حالة تذبذب بين محطة التوليد والشبكة وتتراوح ترددها مابين 0.8-4 HZ
- حالة تذبذب بين مولدين داخل محطة التوليد ويصل ترددها إلى 1 HZ
- حالة تذبذب بين محطتين للتوليد وتتراوح ترددها مابين 0.2-0.8 HZ
- حالة تذبذب عام في الشبكة الكهربائية ويصل ترددها إلى 0.2 HZ

والشكل أدناه يبين طريقة عمل المنظومة حيث يتم تعديل المنظومة على أساس ثلاثة متغيرات لقيمة التذبذب, تذبذب قليل ويرمز له KB وتذبذب متوسط ويرمز له KI وتذبذب عالي ويرمز له KH



والشكل أدناه يبين المتغيرات الخاصة بالمنظومة المستخدمة في الشكل أعلاه

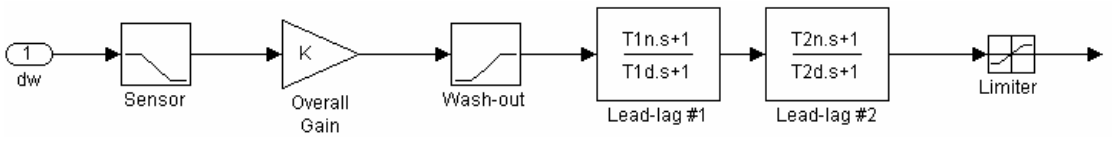


في المثال أعلاه يتم تشغيل المنظومة لمدة 20s وعند زمن 11.1s تم تطبيق عطل من نوع طورين مع الارض ولمدة 0.1s والغرض من التجربة هي اختبار مدى استجابة منظومة التحكم في الجهد المدعومة بمنظومة تثبيت القدرة PSS ومدى استقرار القدرة على إطراف لمولد

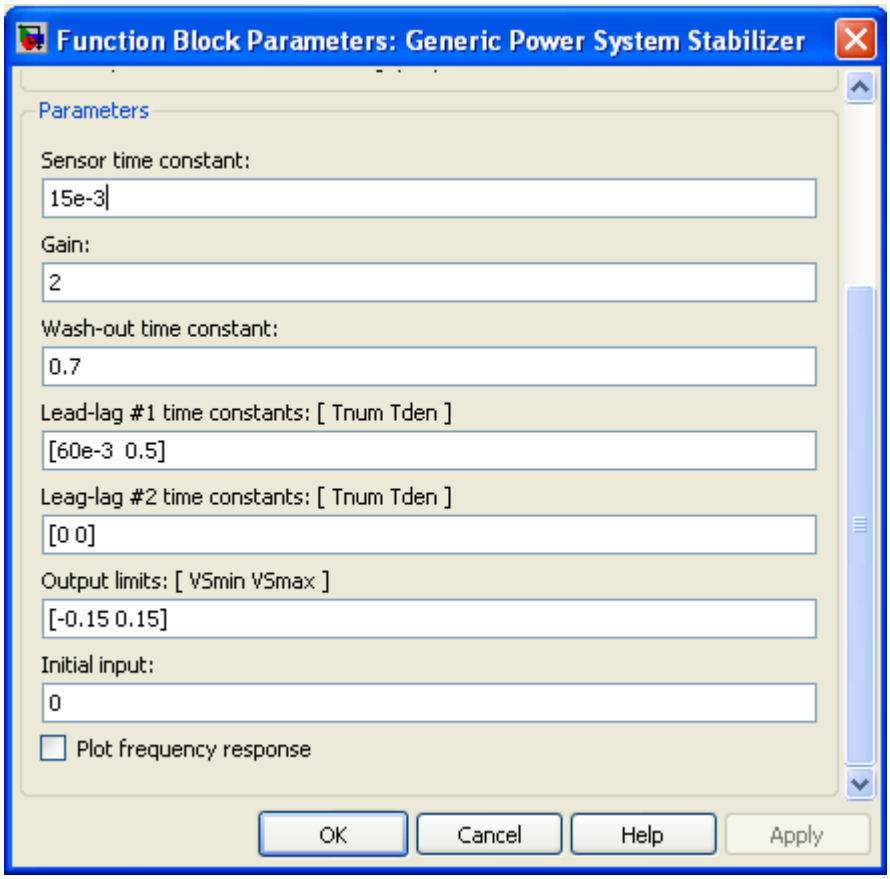
الشكل أعلاه يبين قيمة القدرة الفعالة عند حدوث حالة قصر دائرة بين طورين والأرض حيث نلاحظ الفرق في تأرجح القدرة عند استخدام وعدم استخدام منظومة PSS ونلاحظ إن الفرق بينهما حوالي ثلاثة ثواني إلى إن يتم استقرار القدرة والجدير بالذكر إن أكثر فاعلية للمنظومة تكون عند حدوث حالة Power swimming

النوع الثاني Generic Power System Stabilizer (Kundur)

وفيه يتم مراقبة تذبذب القدرة عن طريق الفرق بين قدرة الآلة المحركة Pm وقدرة المولد الكهربائي Pe والشكل أدناه يبين طريقة عمل المنظومة

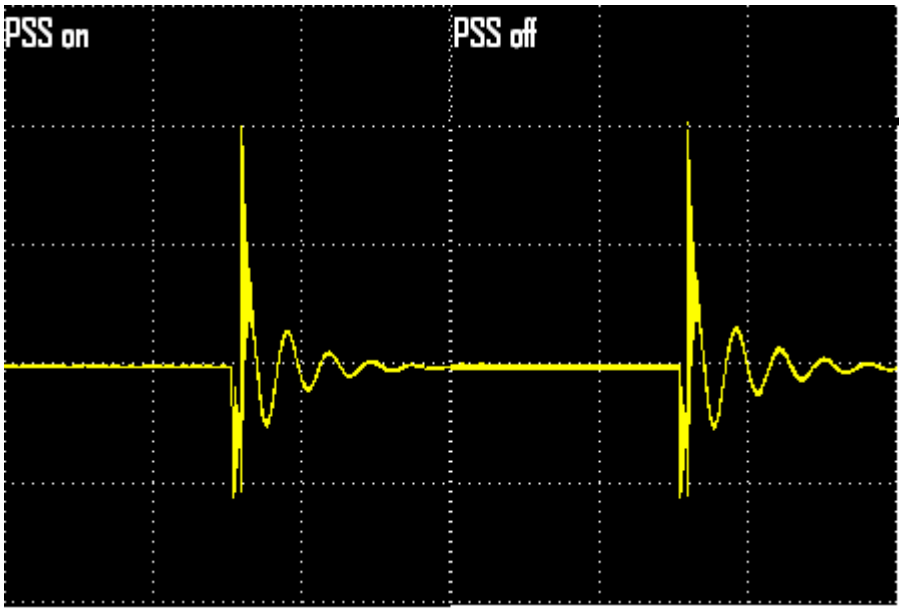


وتعتمد حساسية المنظومة على قيم التعديل الخاصة بثابت الزمن ل Lead lag #1 و Lead lag #2



الشكل أعلاه يبين نافذه المتغيرات الخاصة بالمنظومة

في المثال أعلاه يتم تشغيل المنظومة لمدة 20s وعند زمن 11.1s تم تطبيق عطل من نوع طورين مع الارض ولمدة 0.1s والغرض من التجربة هي اختبار مدى استجابة منظومة التحكم في الجهد المدعومة بمنظومة تثبيت القدرة PSS ومدى استقرار القدرة على إطراف لمولد

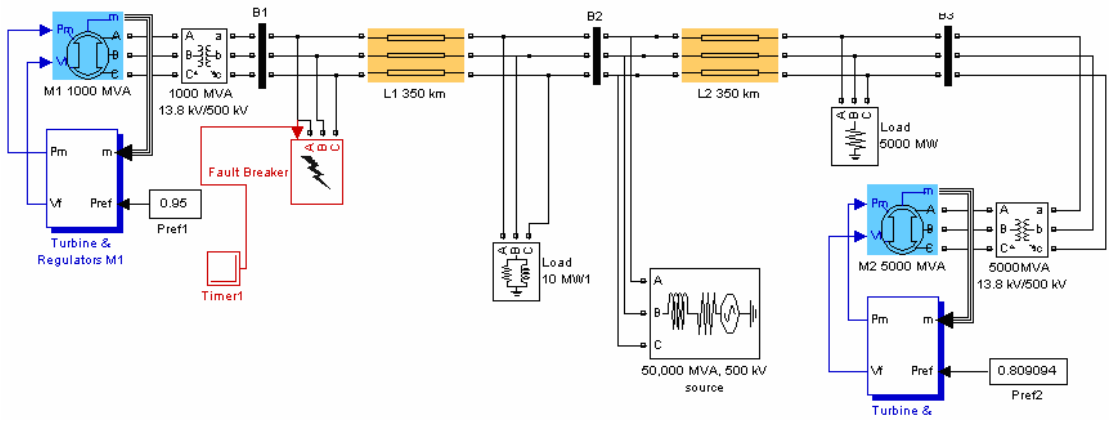


الشكل أعلاه يبين قيمة القدرة الفعالة عند حدوث حالة قصر دائرة بين طورين والأرض حيث نلاحظ الفرق في تأرجح القدرة عند استخدام وعدم استخدام منظومة PSS ونلاحظ إن الفرق بينهما حوالي خمس ثواني إلى إن يتم استقرار القدرة

الجزء الثاني

ربط مولدين مع شبكة كهربائية

لاشك إن مجموعة المولدات المستخدمة في الشبكة الكهربائية هي الأساس الذي يبني علية استقرار الشبكة وحيث إن المولدات تكون عادتا مختلفة الأنواع والأحمال إلا إن هناك بعض الخصائص التي يجب إن تكون مشتركة في جميع المولدات لتحقيق هذا الهدف مثل حد هبوط الجهد under voltage limit وحد حالة تحت التحريض under exciter limit وقيمة التحكم في هبوط الحمل load droop



الشكل أعلاه يبين مكونات الشبكة الكهربائية المستخدمة حيث تتكون من محطتين M1,M2 المحطة **M1** تحتوى على مولد بالمواصفات التالية

S = 1000MVA
Engine hydraulic turbine
Static excitation
Multi band Power System Stabilizer
V=13.5KV
Setup transformer 13.5KV-500KV **B1**

وشبكة كهربائية بالمواصفات التالية

Over head line L1 350km **B2**
Over head line L2 350km
Source 50000MVA 500KV
Load 10MW +3MVAR
Load 5000MW

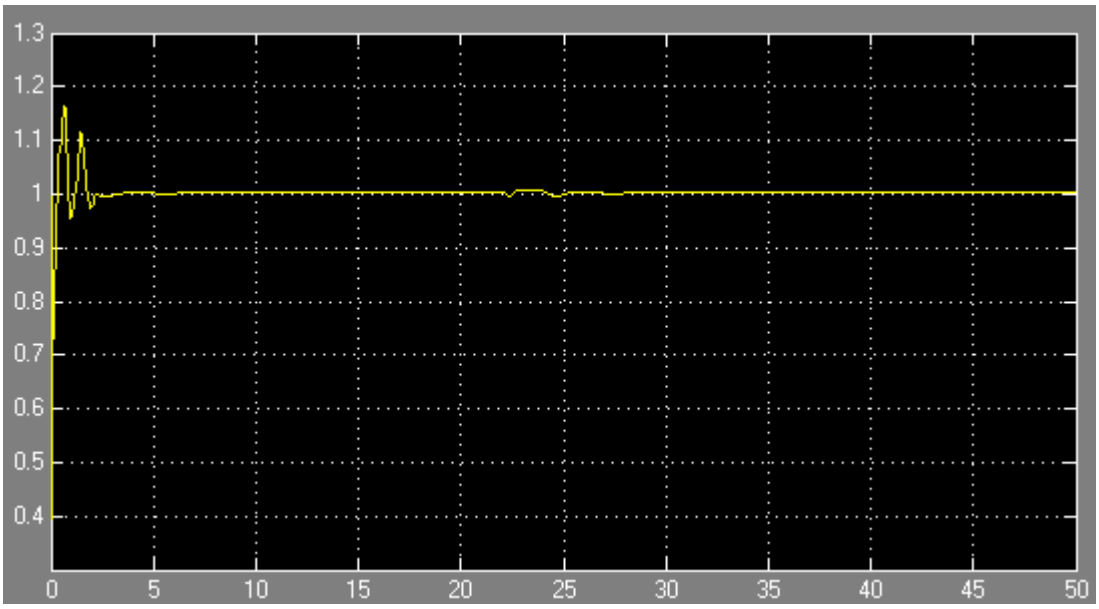
ومحطة **M2** تحتوى على مولد بالموصفات التالية

S = 5000MVA
Engine hydraulic turbine
Static excitation
Multi band Power System Stabilizer
V=13.5KV
Setup transformer 13.5KV-500KV **B3**

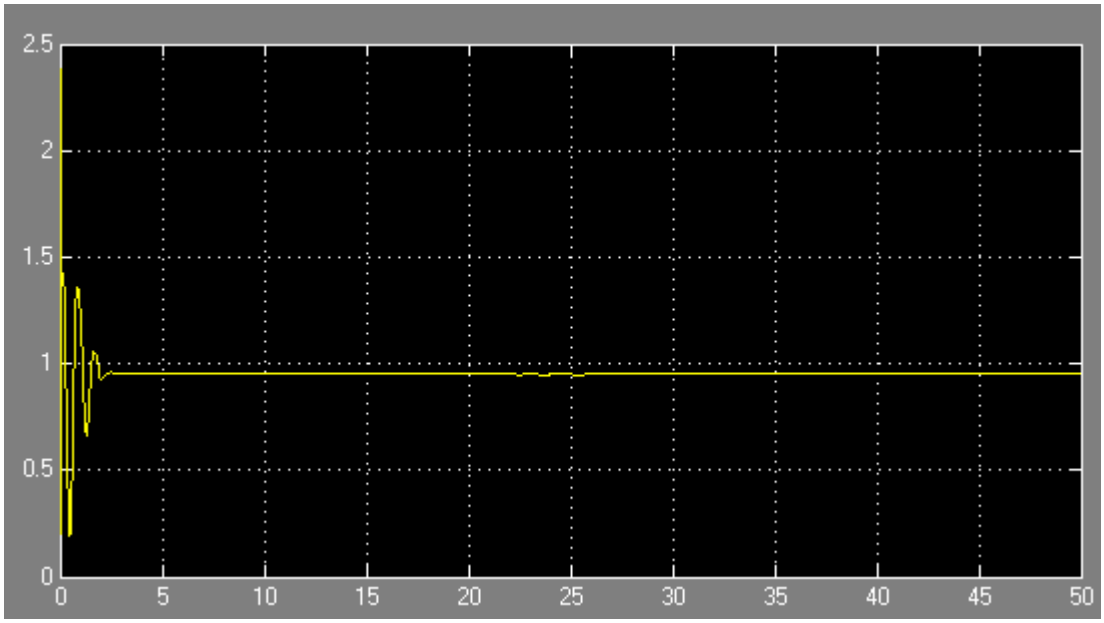
اى إن المسافة بين المحطتين 700km مع وجود قضيب توزيع في منتصف المسافة B2

أولا التحكم في الجهد

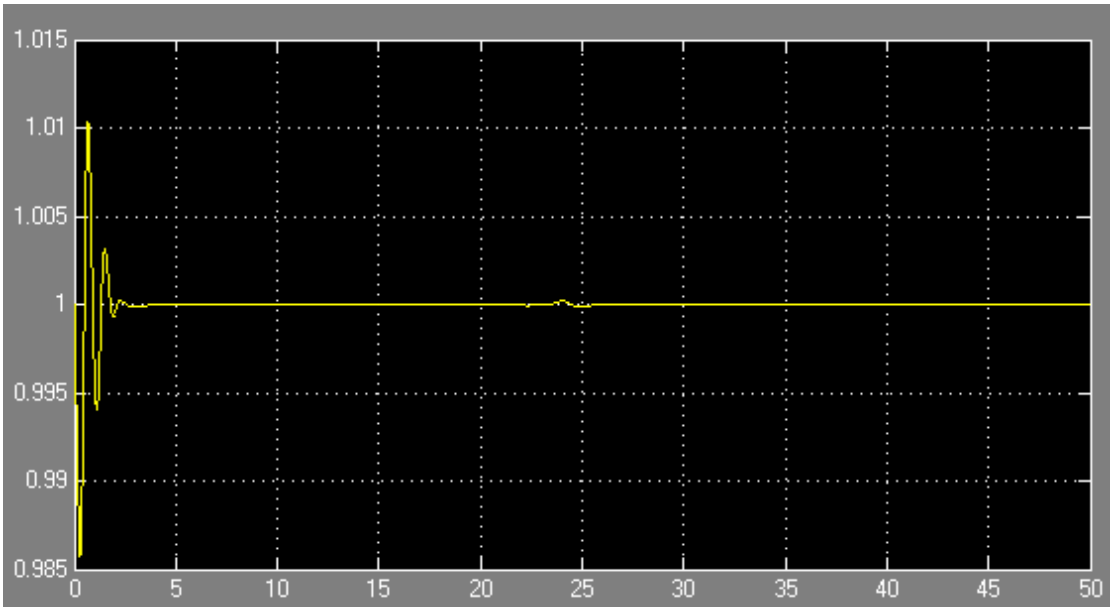
بما إن المسافة كبيرة جدا بين المحطتين فان تأثير انخفاض وارتفاع الجهد بينهما سيكون ضئيل جدا نظرا لان القيمة المسموح بها لانخفاض وارتفاع الجهد صغيرة نسبيا وذالك لحفظ توازن الشبكة
وفى المثال التالي تم تشغيل الشبكة الموضحة في الشكل أعلاه لمدة 50s وعند زمن 22s تم رفع الجهد في المحطة M2 إلى 0.3Pu ولمدة 0.2s والغرض من الاختبار معرفة تأثر الجهد بين المحطتين



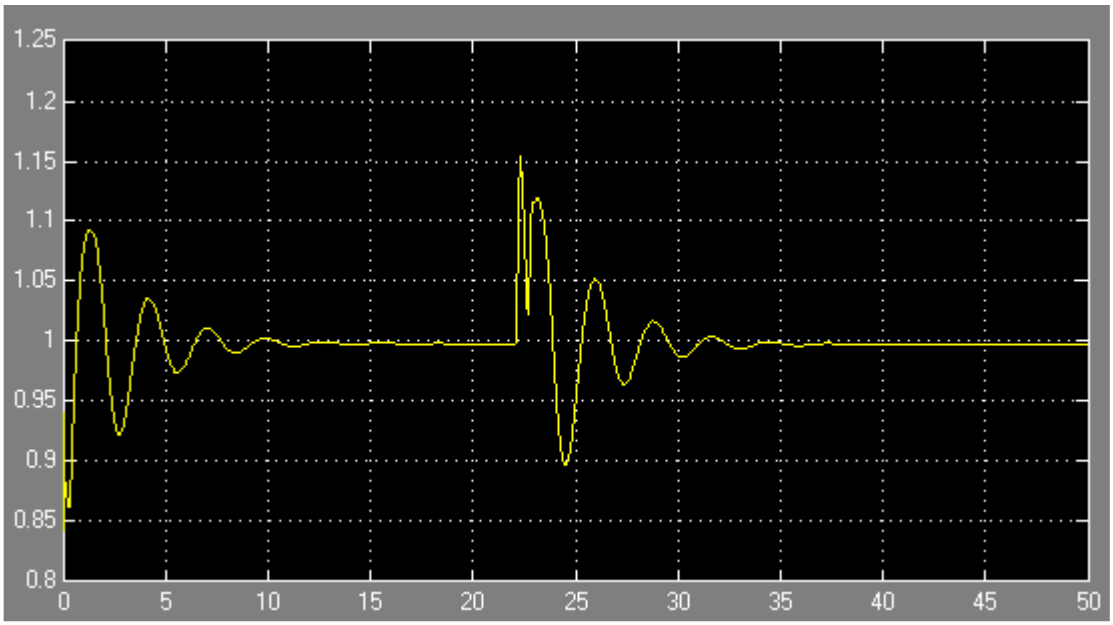
الشكل أعلاه يبين قيمة الجهد على طرفي المولد للمحطة M1 حيث نلاحظ تأثير بسيط على قيمة جهد المولد عند رفع الجهد على مولد المحطة M2



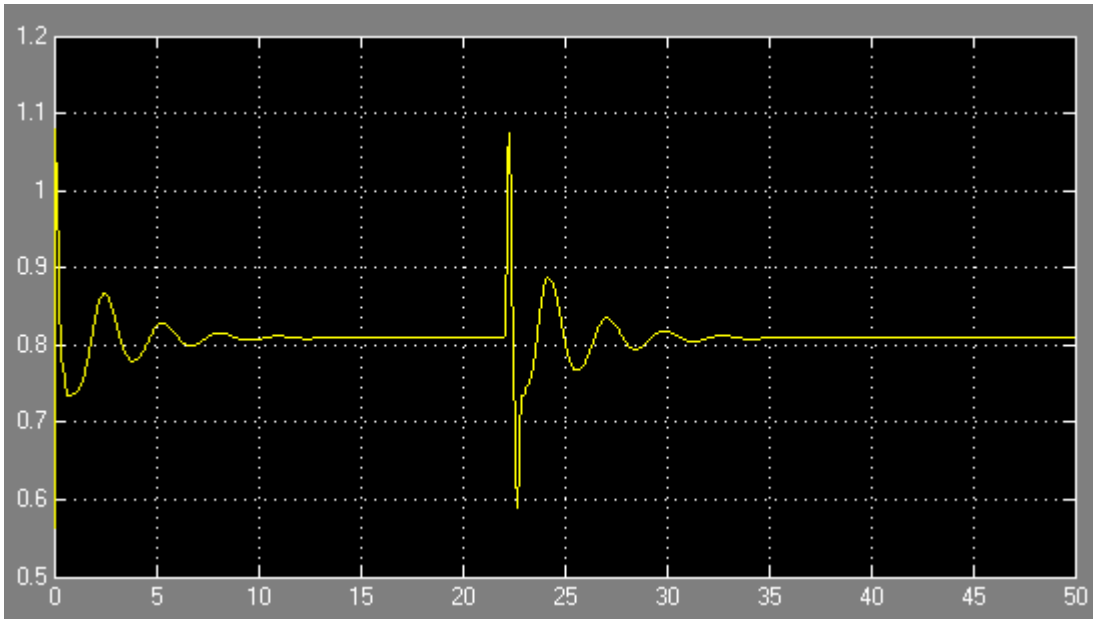
الشكل أعلاه يبين قيمة القدرة الفعالة على طرفي المولد للمحطة M1 حيث نلاحظ تأثير بسيط على قيمة قدرة المولد عند رفع الجهد على مولد المحطة M2



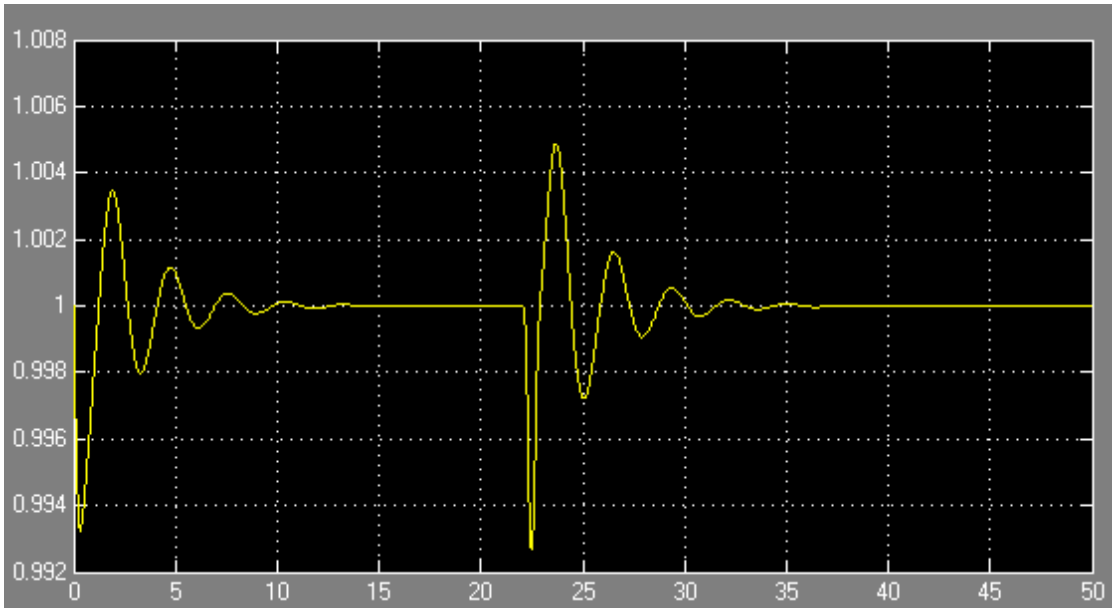
الشكل أعلاه يبين قيمة تردد المولد للمحطة M1 حيث نلاحظ تأثير بسيط على قيمة تردد المولد عند رفع الجهد على مولد المحطة M2



الشكل أعلاه يبين قيمة الجهد على طرفي المولد للمحطة M2 حيث نلاحظ ارتفاع وتذبذب كبير في قيمة جهد المولد يصل إلى 1.15Pu ثم ينخفض إلى 0.9Pu ولا يتم استقرار المولد إلا بعد 10s من رفع الجهد



الشكل أعلاه يبين قيمة القدرة الفعالة للمولد في المحطة M2 حيث نلاحظ حدوث تذبذب للقدرة ومن ثم استقرار سريع بعد 7s من رفع الجهد وهنا يأتي تأثير منظومة PSS

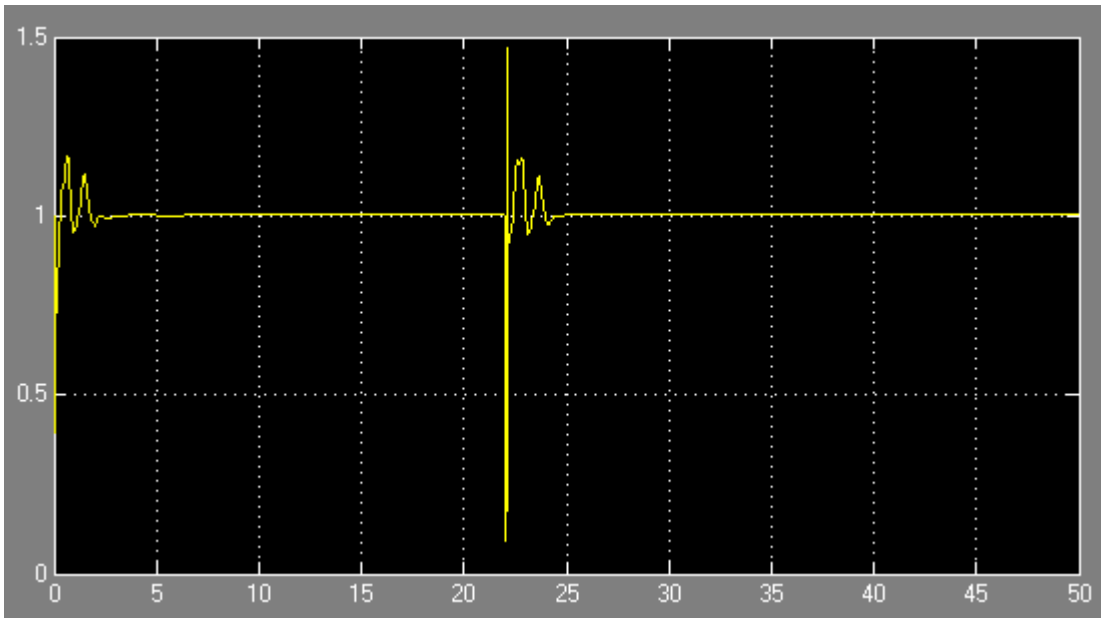


الشكل أعلاه يبين تردد المولد في المحطة M2 حيث نلاحظ حدوث تذبذب في قيمة التردد مابين 49.7HZ إلى 50.2HZ

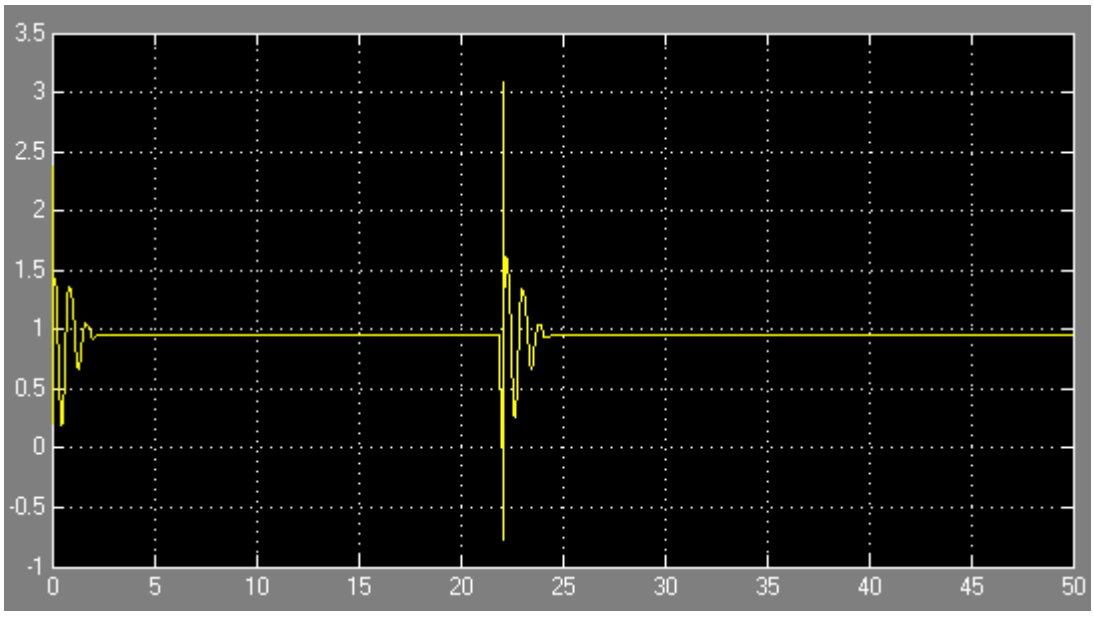
ثانيا اختبار دائرة القصر Short circuit

☜عطل ثلاثي الطور قرب المحطة M1

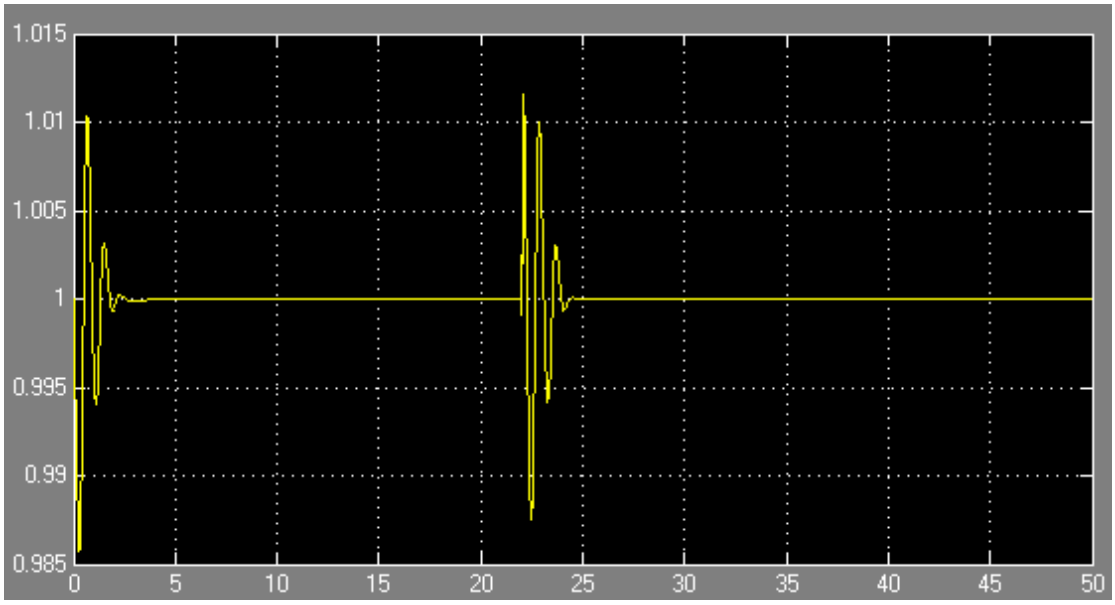
في المثال التالي تم تشغيل الشبكة الموضحة في الشكل أعلاه لمدة 50s وعند زمن 22s تم عمل عطل ثلاثي الطور Three phase short circuit بالقرب من المحطة M1 ولمدة 0.2s والغرض من الاختبار معرفة تأثر العطل على المحطتين



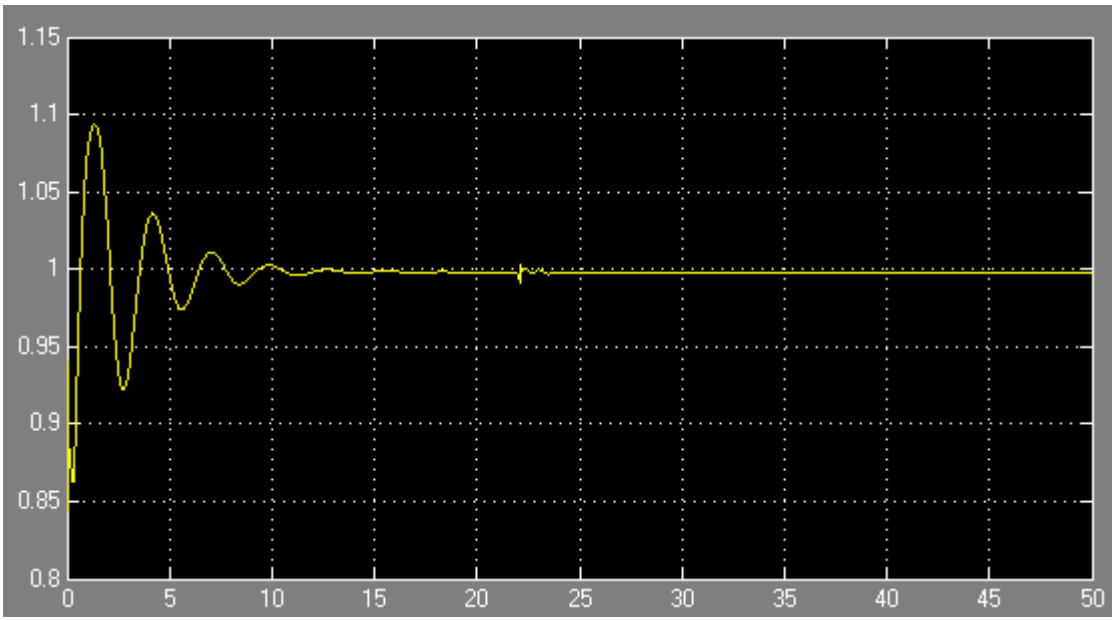
الشكل أعلاه يبين قيمة الجهد على طرفي المولد للمحطة M1 حيث نلاحظ انخفاض كبير في قيمة الجهد عند حدوث العطل ومن ثم استقرار سريع لقيمة الجهد بعد اختفاء العطل



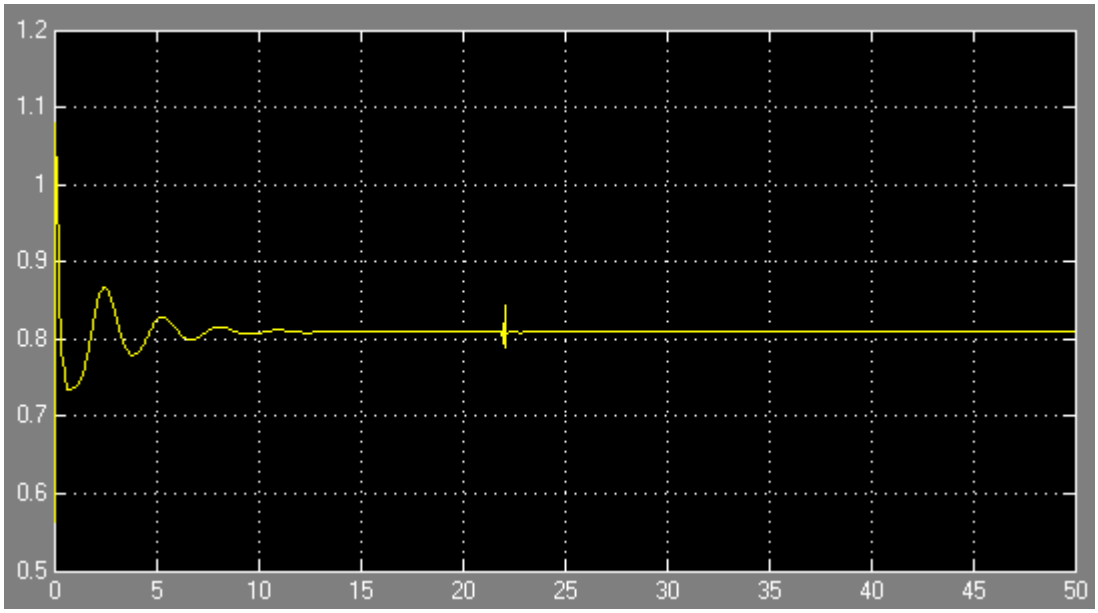
الشكل أعلاه يبين قيمة القدرة الفعالة للمولد في المحطة M1 حيث نلاحظ تذبذب كبير في قيمة القدرة عند حدوث العطل ومن ثم استقرار سريع بعد اختفاء العطل



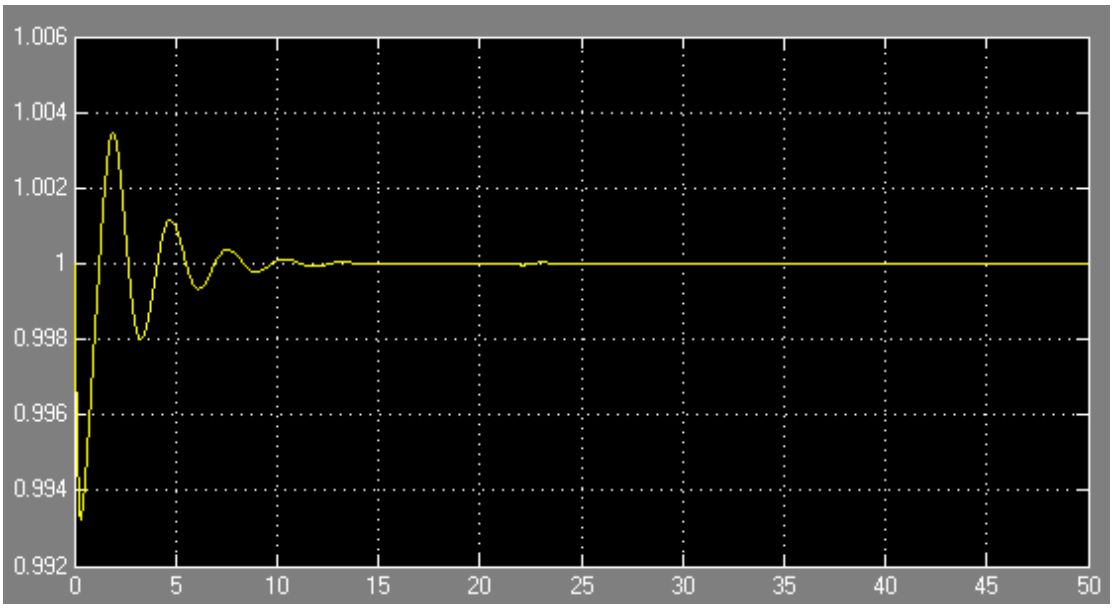
الشكل أعلاه يبين قيمة تردد المولد للمحطة M1 حيث نلاحظ تذبذب كبير في قيمة التردد عند حدوث العطل يتراوح ما بين 49.5HZ إلى 50.5HZ ومن ثم استقرار سريع لقيمة الجهد بعد اختفاء العطل



الشكل أعلاه يبين قيمة الجهد على طرفي المولد للمحطة M2 حيث نلاحظ تذبذب بسيط في قيمة الجهد عند حدوث العطل قرب المحطة M1 وذالك رغم بعد المسافة بين المحطتين



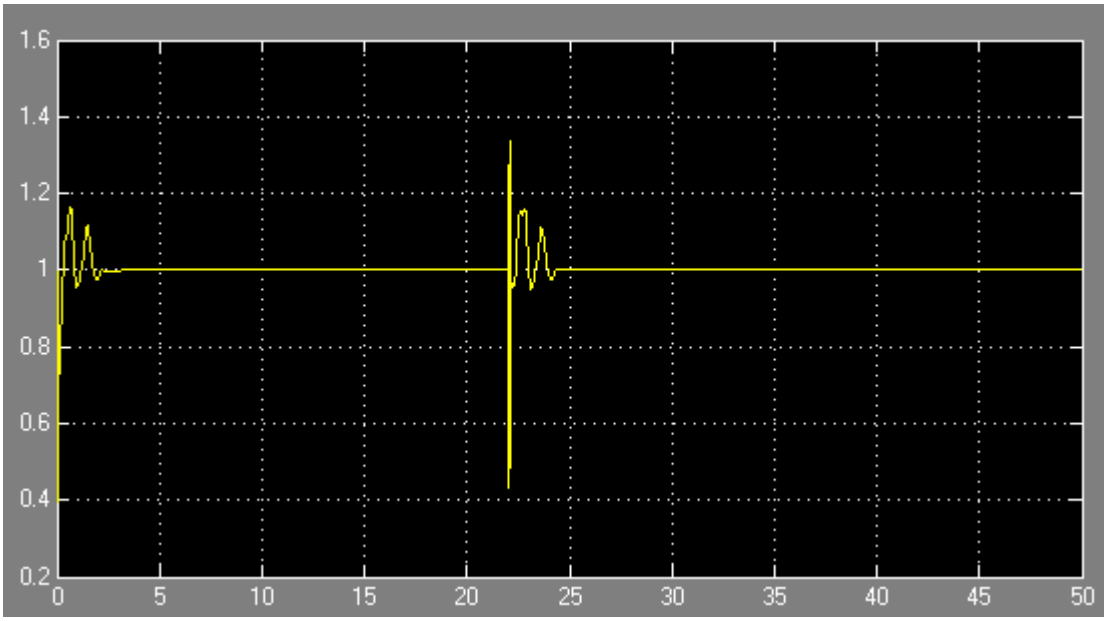
الشكل أعلاه يبين قيمة القدرة الفعالة للمولد المحطة M2 حيث نلاحظ تأثير واضح في قيمة القدرة عند حدوث العطل قرب المحطة M1



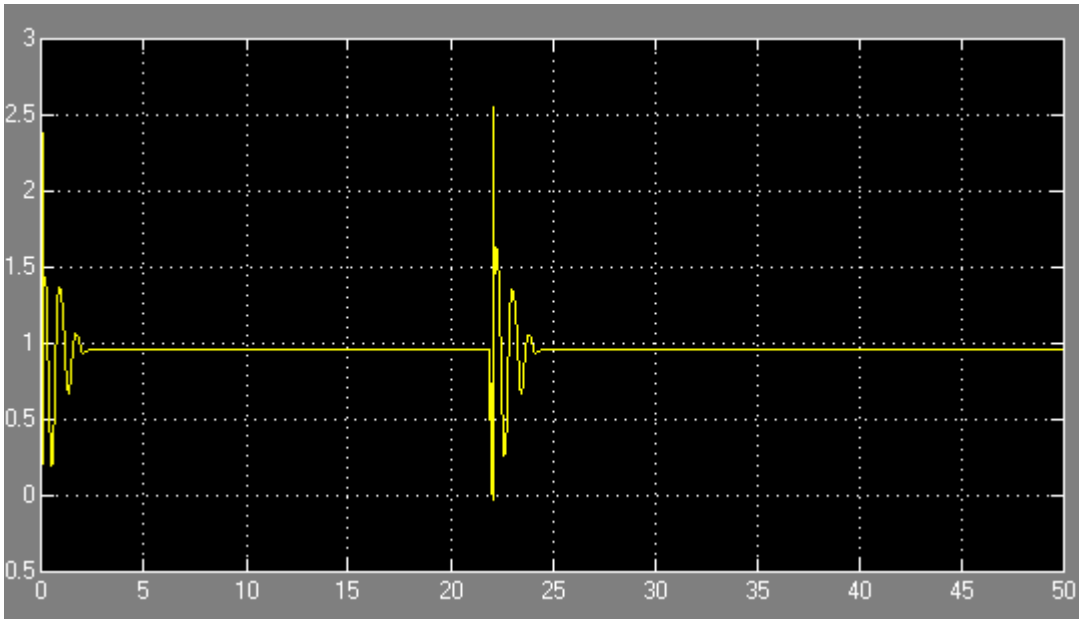
الشكل أعلاه يبين قيمة تردد المولد للمحطة M2 حيث نلاحظ عدم تأثر التردد عند حدوث العطل

☜عطل في منتصف المسافة عند B2

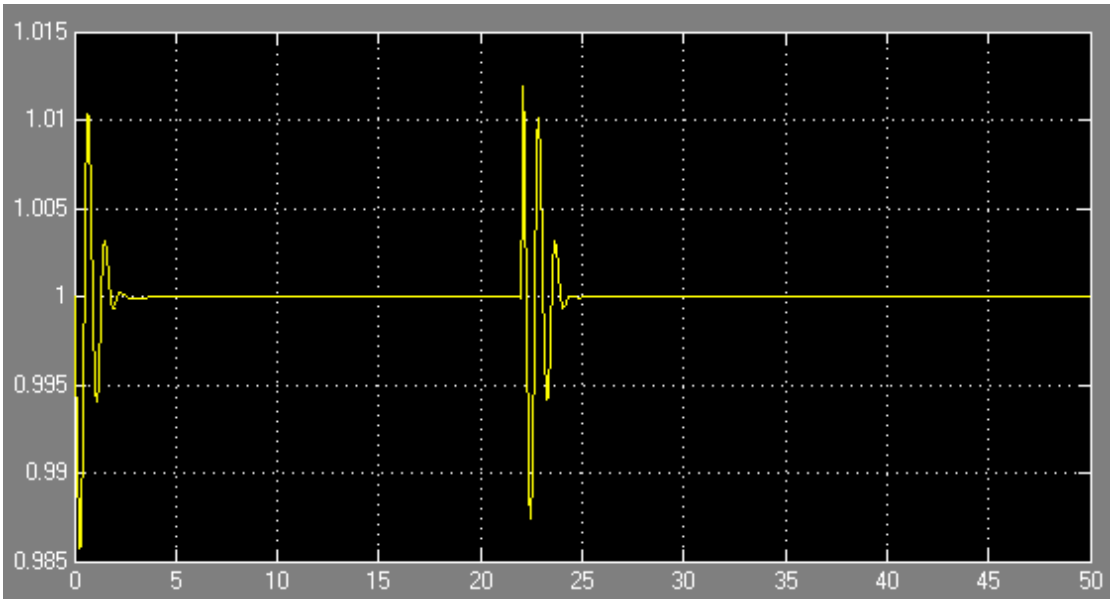
في المثال التالي تم تشغيل الشبكة الموضحة في الشكل أعلاه لمدة 50s وعند زمن 22s تم عمل عطل ثلاثي الطور Three phase short circuit بالقرب من قضيب التوزيع Bus bar B2 ولمدة 0.2s والغرض من الاختبار معرفة تأثر العطل على المحطتين



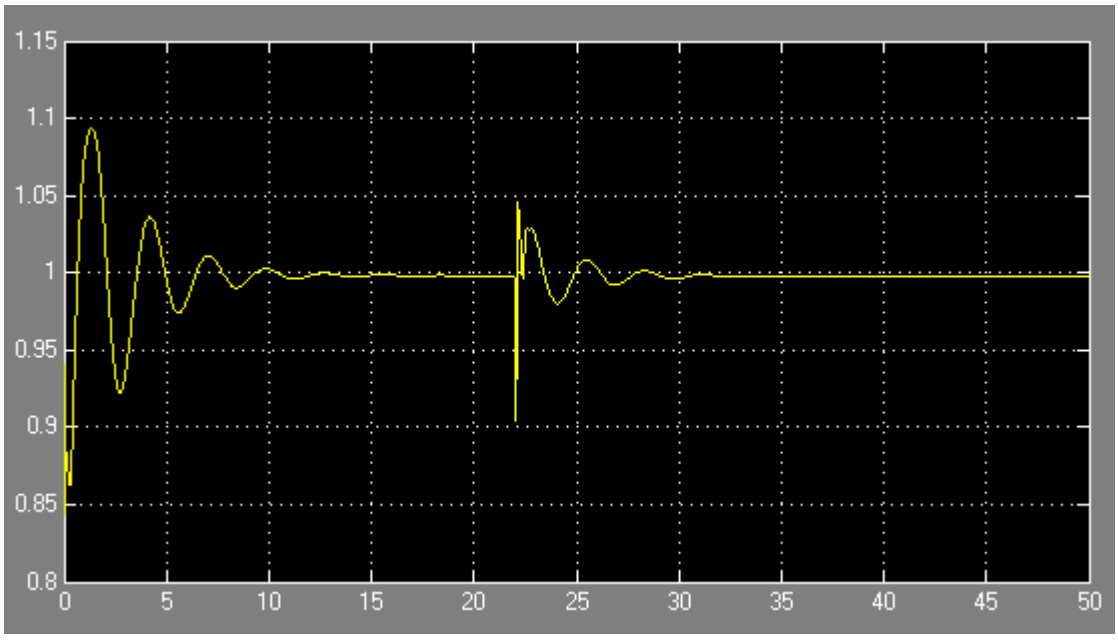
الشكل أعلاه يبين قيمة الجهد على طرفي المولد للمحطة M1 حيث نلاحظ انخفاض كبير في قيمة الجهد عند حدوث العطل ومن ثم استقرار سريع لقيمة الجهد بعد اختفاء العطل



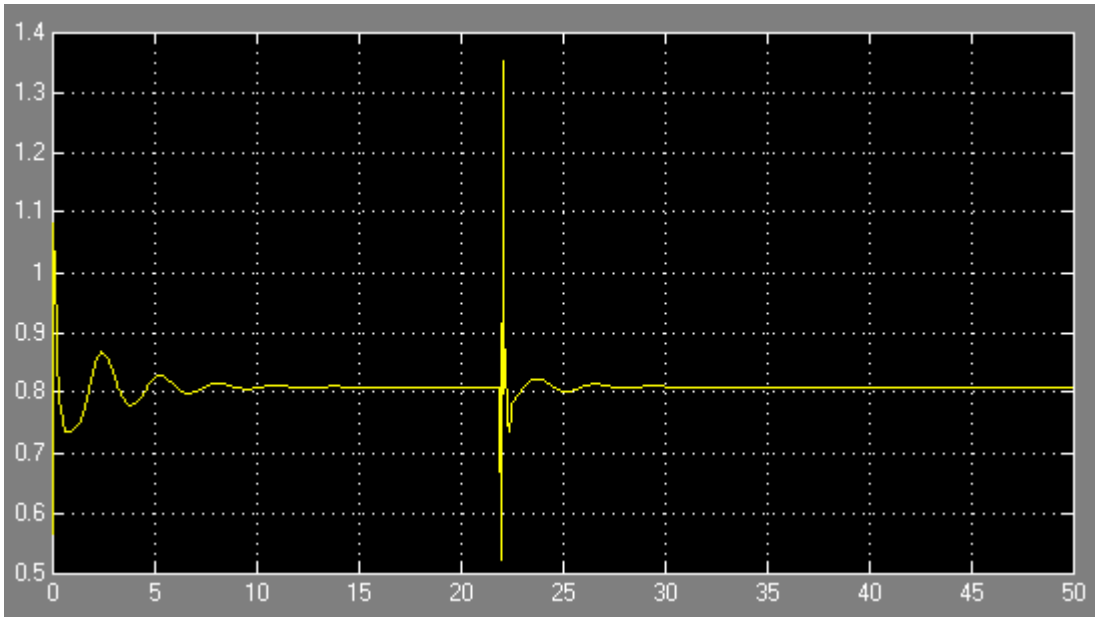
الشكل أعلاه يبين قيمة القدرة الفعالة للمولد في المحطة M1 حيث نلاحظ تذبذب كبير في قيمة القدرة عند حدوث العطل ومن ثم استقرار سريع بعد اختفاء العطل وأيضا نلاحظ إن ارتفاع وانخفاض القدرة كان اقل من الاختبار السابق عندما كان العطل بالقرب من المحطة



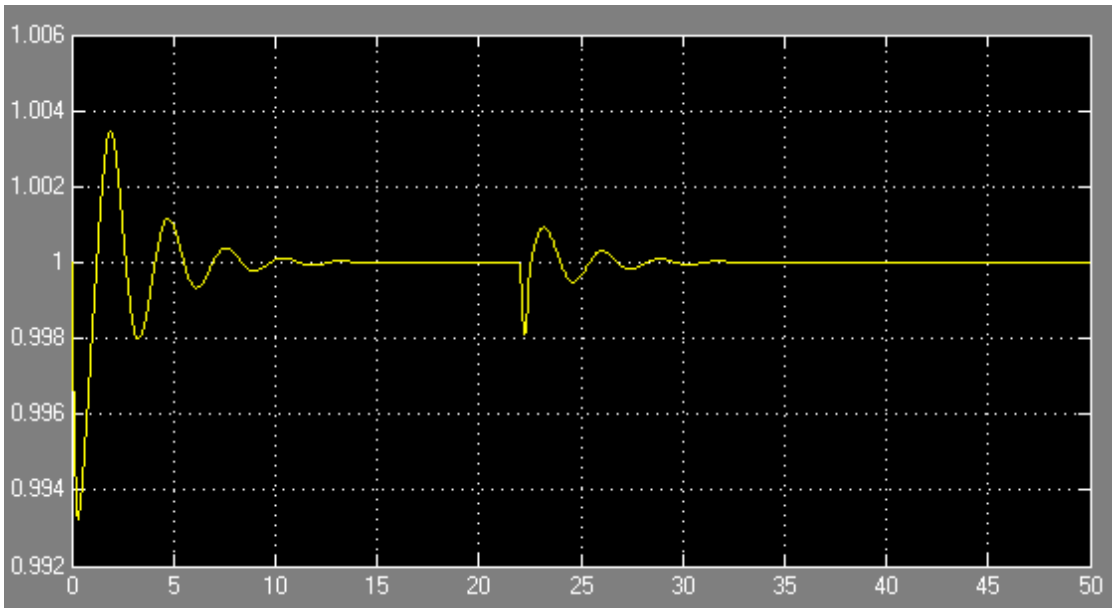
الشكل أعلاه يبين قيمة تردد المولد للمحطة M1 حيث نلاحظ تذبذب كبير في قيمة التردد عند حدوث العطل يتراوح ما بين 49.5HZ إلى 50.4HZ ومن ثم استقرار سريع لقيمة الجهد بعد اختفاء العطل ومن الملاحظ إن التأرجح كان اكبر من الحالة السابقة نظرا لتأثر المحطة الأخرى بالعطل



الشكل أعلاه يبين قيمة الجهد على طرفي المولد للمحطة M2 حيث نلاحظ حدوث تذبذب كبير في قيمة الجهد عند حدوث العطل وذالك بسبب قرب العطل بمسافة اقل من المثال السابق



الشكل أعلاه يبين قيمة القدرة الفعالة لمولد المحطة M2 حيث نلاحظ تذبذب كبير في قيمة القدرة يتراوح مابين 1.35Pu و 0.53Pu عند حدوث العطل ثم استقرار سريع بعد اختفاء العطل مع العلم إن تأثر المولد هنا اكبر من تأثر المولد في المحطة M1 نظرا لان قدرة المولد M2 تساوى 5 أضعاف قدرة المولد M1

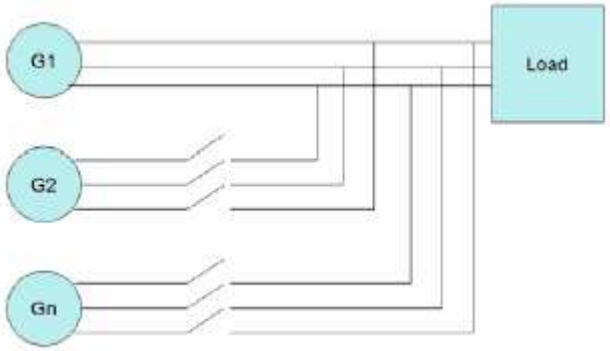


الشكل أعلاه يبين قيمة تردد المولد للمحطة M2 حيث نلاحظ تأرجح في قيمة التردد عند حدوث العطل وأيضا إن تأثير التردد اقل من تأثر التردد في المولد M1 نظرا لاختلاف القدرة

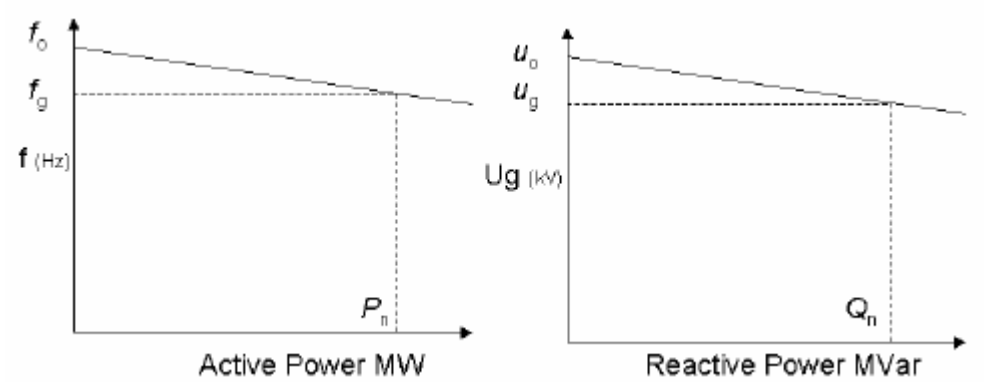
الجزء الثالث

ربط مولدين على التوازي مع شبكة كهربائية

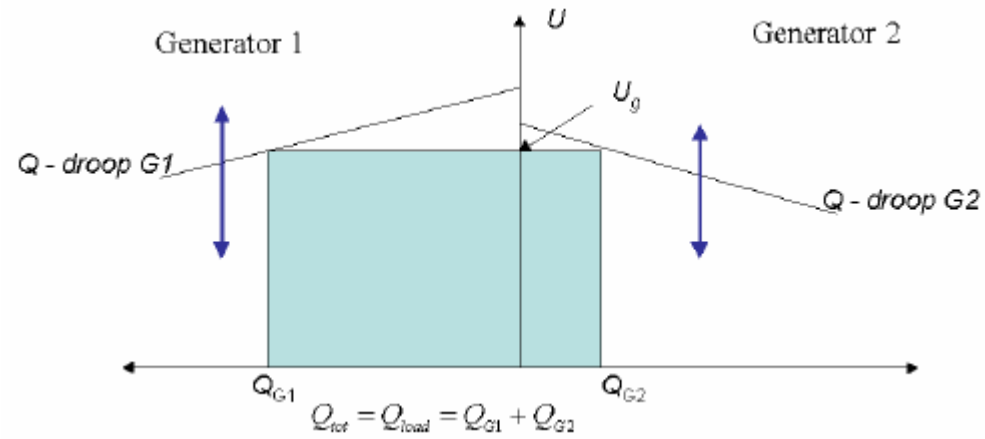
يوجد عادتا قى محطات الإنتاج عدد من المولدات مربوطة بالتوازي على قضيب توزيع واحد مما يجعل تأثيرهم مع بعض اكبر من حيث استقرار الجهد والتحكم في القدرة غير الفعالة



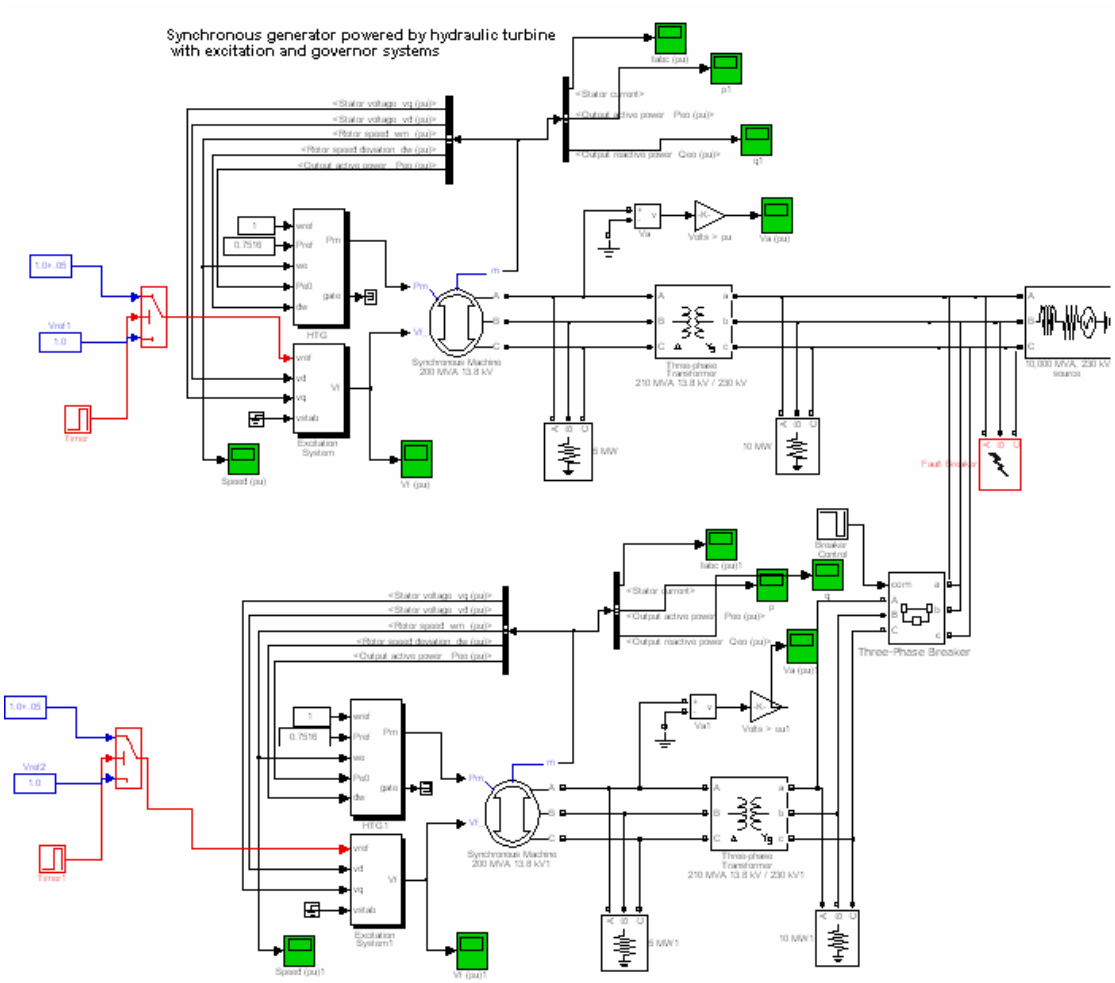
الشكل أعلاه يبين ربط المولدات في محطات الإنتاج على التوازي



الشكل أعلاه يبين علاقة القدرة غير الفعالة مع الجهد والقدرة الفعالة مع التردد حيث يمكن التحكم في القدرة غير الفعالة بتغيير الجهد ويمكن تثبيت التردد بزيادة وتخفيض القدرة الفعالة في الشبكة



الشكل أعلاه يبين استهلاك القدرة غير الفعالة في مولدين مربوطين على التوازي حيث نلاحظ إن المولد الأول G1 يستهلاك قدرة غير فعالة أكثر من المولد الثاني G2 وذالك نظرا لاختلاف قيمة الجهد بينهما كما يوضح إن القدرة غير الفعالة الكلية تساوى مجموع القدرة غير الفعالة للمولدين



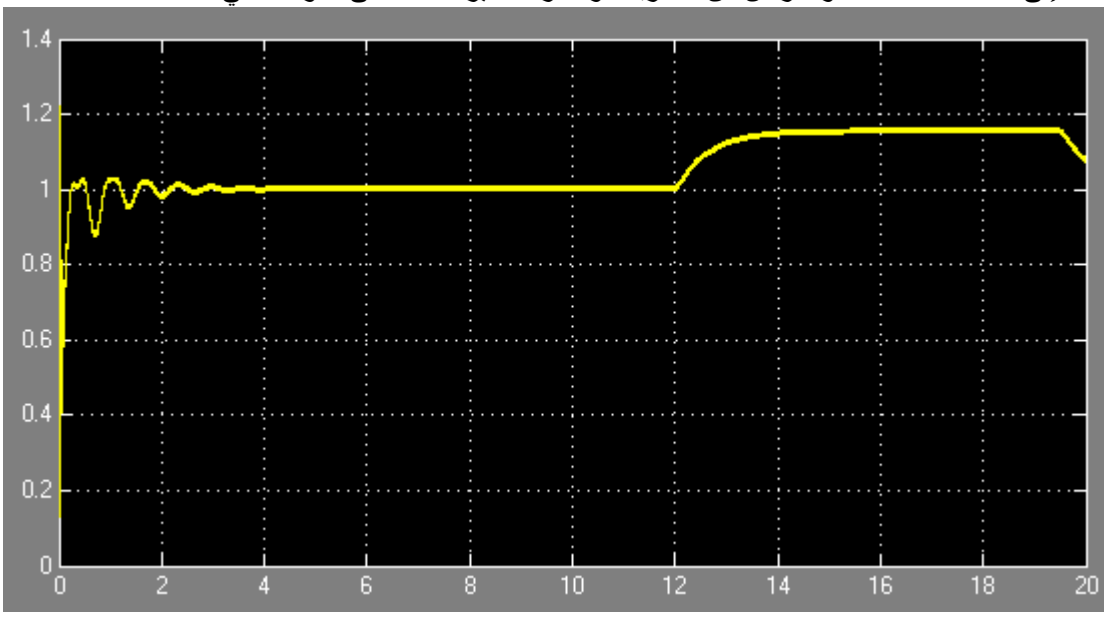
الشكل أعلاه يبين مكونات الشبكة ومولدين مربوطين على التوازي

ملاحظة

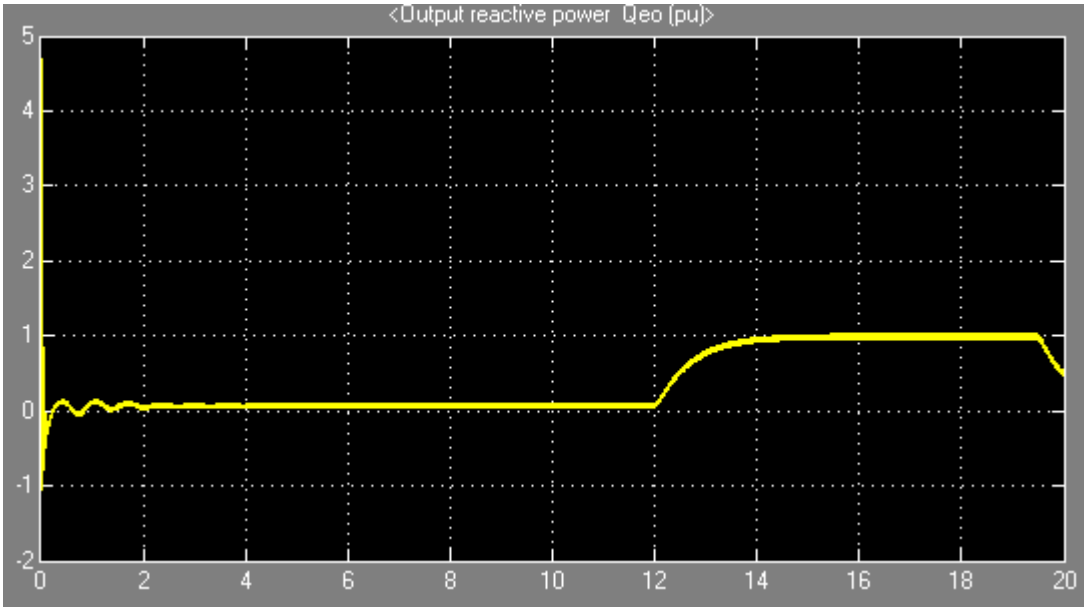
موصفات التربينة والمولد نفس مواصفات التربينة والمولد والشبكة في مثال الجزء الأول

أولا حالة فوق التحريض over excitation

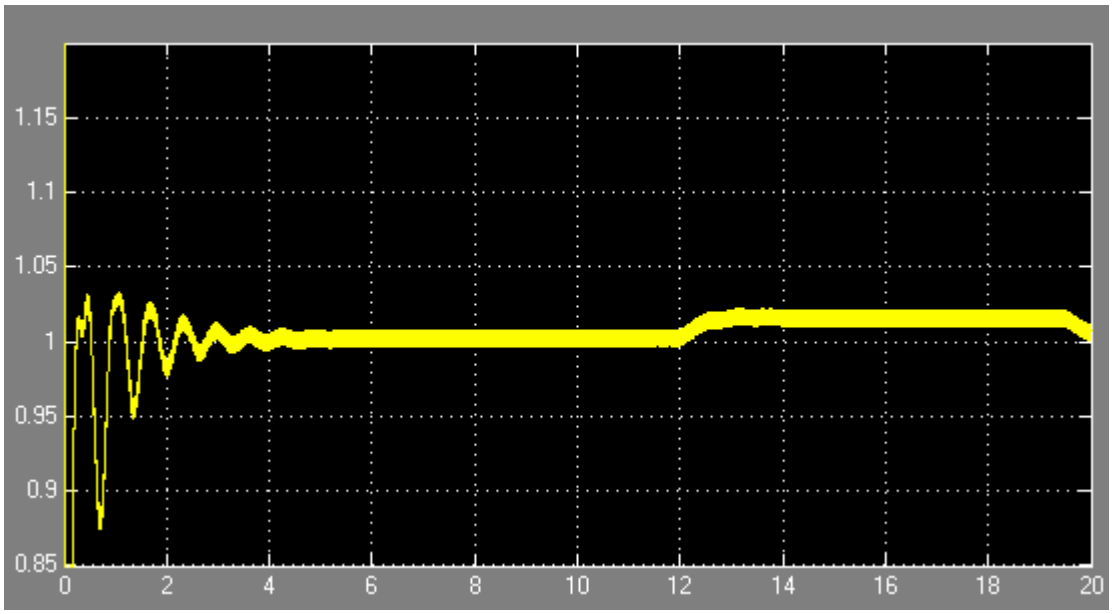
في المثال التالي تم تشغيل الشبكة الموضحة في الشكل أعلاه لمدة 20s وعند زمن 12s تم رفع جهد المولد الأول G1 إلى 1.15Pu لمدة 8s والغرض من التجربة هو معرفة تأثير الحالة على المولد الثاني



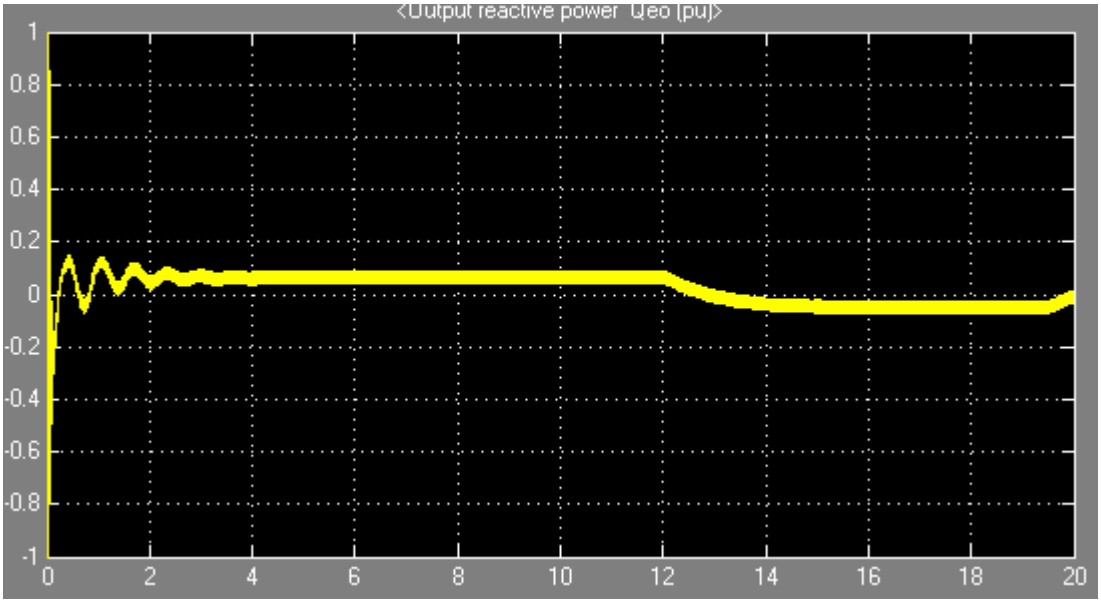
الشكل أعلاه يبين قيمة الجهد عند المولد الأول G1 حيث تم رفع الجهد إلى 1.15Pu



الشكل أعلاه يبين ارتفاع قيمة القدرة غير الفعالة بعد رفع الجهد على المولد الأول G1 حيث نلاحظ إن قيمة القدرة غير الفعالة تساوى 1Pu



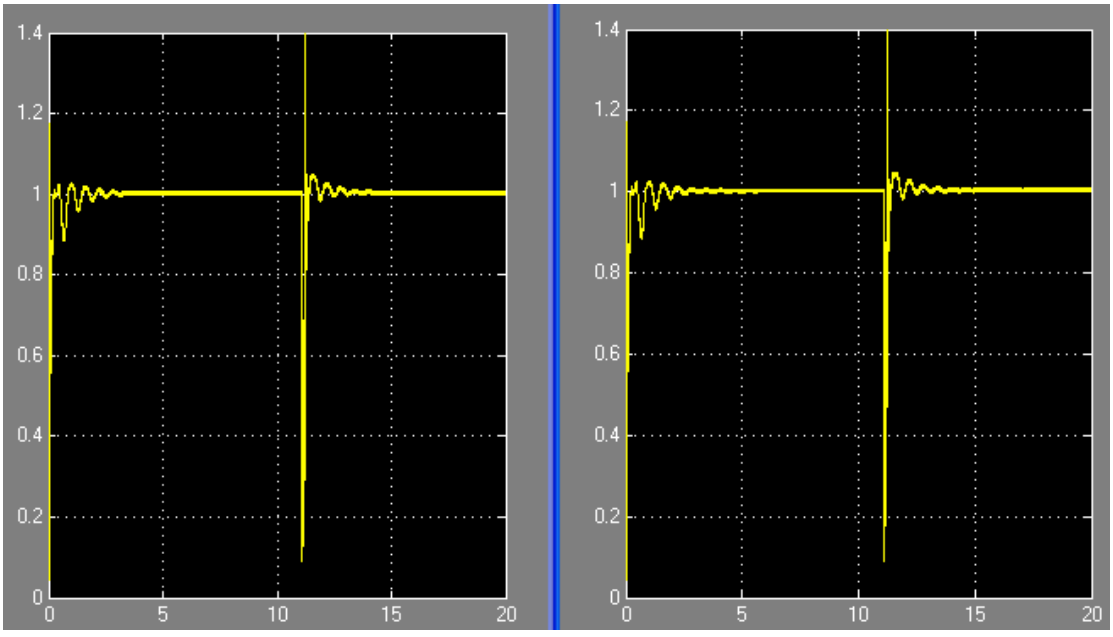
الشكل أعلاه يبين قيمة جهد المولد الثاني G2 حيث نلاحظ ارتفاع الجهد ليصل إلى 1.03 تبعا لارتفاع الجهد على المولد الأول G1



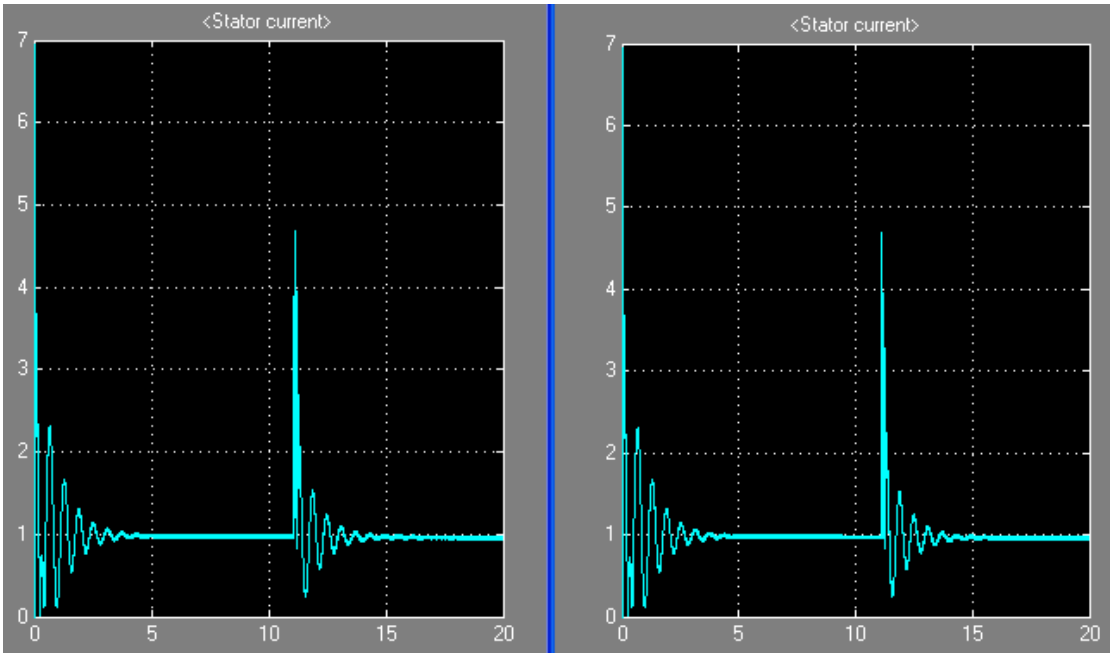
الشكل أعلاه يبين قيمة القدرة غير الفعالة للمولد الثاني G2 حيث نلاحظ تغير قيمة القدرة من 0.1Pu إلى -0.09Pu تبعا لارتفاع القدرة في المولد الأول G1 وهنا نلاحظ حدوث حالة تعويض للقدرة غير الفعالة في الشبكة انظر المخطط أعلاه الذي يوضع إنتاج واستهلاك القدرة غير الفعالة وحاصل جمعهما في مولدين

ثانيا اختبار دائرة القصر Short circuit

كما هو موضح في الشكل أعلاه تم إضافة عطل دائرة قصر ثلاثي الطور Three phase short circuit على قضيب التوزيع الذي يربط المولدين وتم تشغيل الشبكة لمدة 20s وعند زمن 12s تم تطبيق العطل لمدة 0.1s والغرض من التجربة هو معرفة تأثير العطل على المولدين



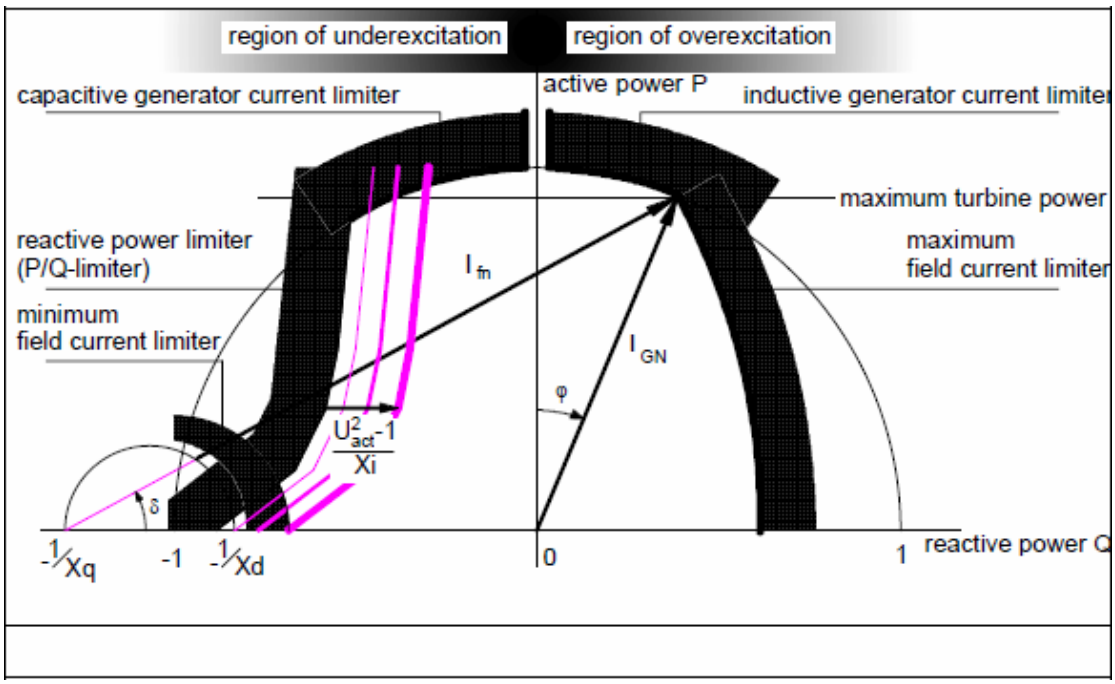
الشكل أعلاه يبين جهد المولد الأول G1 على اليسار وجهد المولد الثاني G2 على اليمين حيث نلاحظ إن تأثير العطل متساوي على المولدين



الشكل أعلاه يبين تيار العطل للمولد الأول G1 على اليسار وتيار العطل للمولد الثاني G2 على اليمين حيث نلاحظ إن تأثير العطل متساوي تقريبا على المولدين

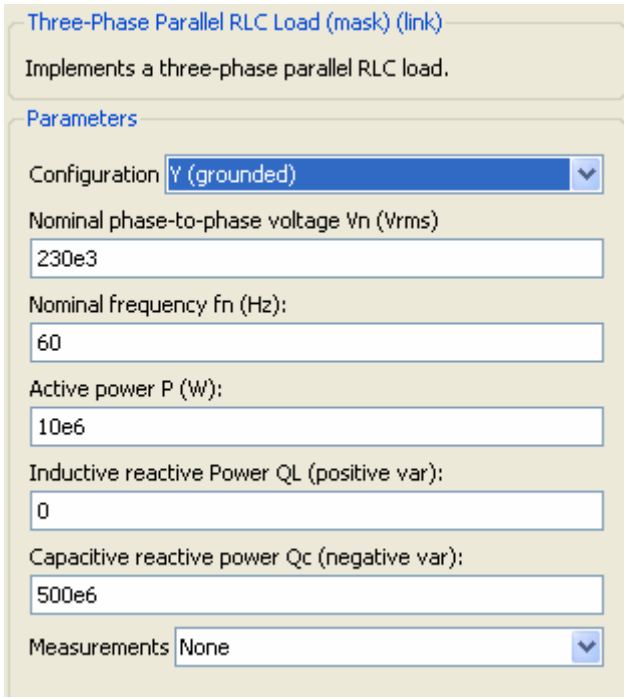
ثالثا اختبار الأحمال السعوية والحثية Inductive & Capacitive reactive power

من المعروف إن زيادة الأحمال الحثية في الشبكة تقوم بخفض الجهد وإنتاج القدرة غير الفعالة وزيادة الأحمال السعوية تقوم بزيادة الجهد واستهلاك القدرة غير الفعالة لذالك يتم تحسين معامل القدرة Power factor عن طريق ربط مكثفات في المصانع التي تستخدم عدد كبير من المحركات الكهربائية والشكل أدناه يبين منحني أداء المولد موضح عليه منطقة التشغيل في حالة الأحمال الحثية ومنطقة التشغيل في حالة الأحمال السعوية

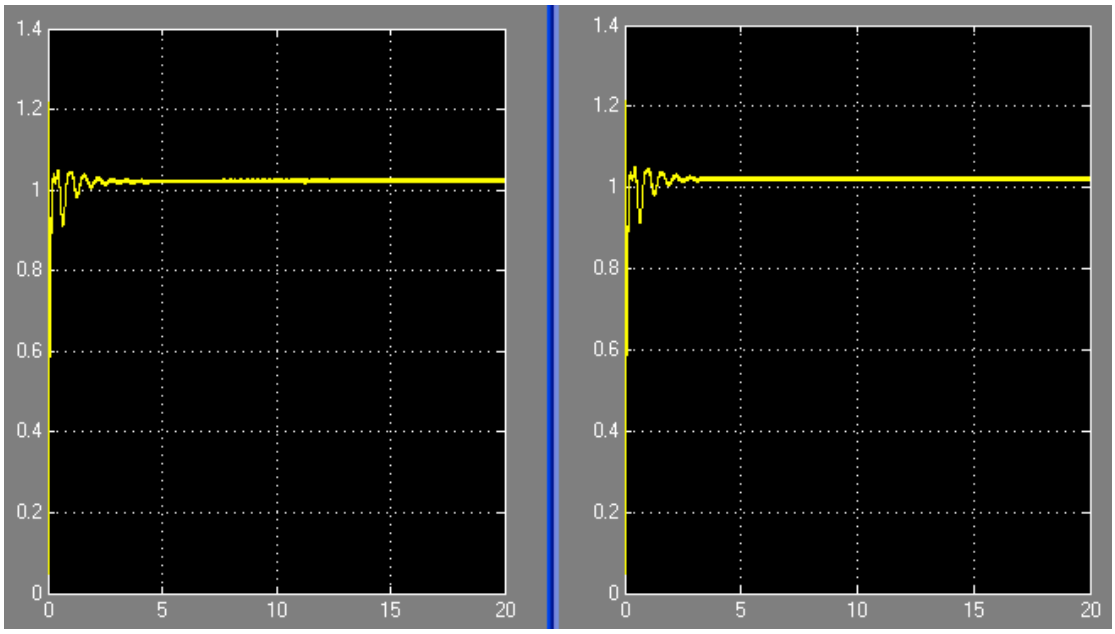


الحمل السعوي Capacitive reactive power

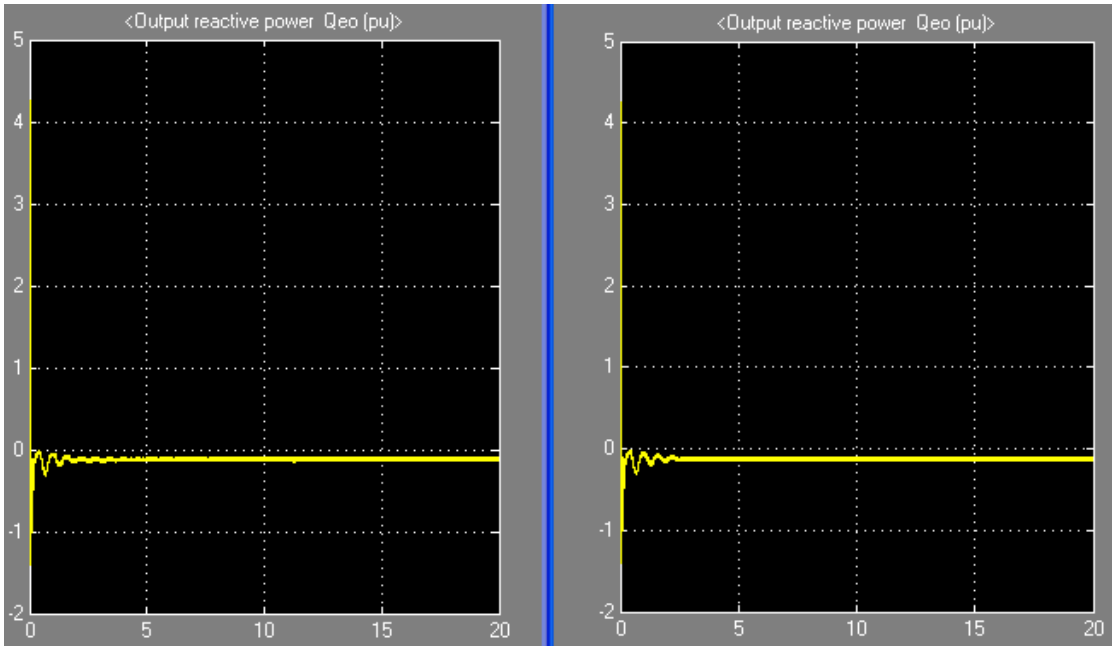
الشكل أدناه يبين نافذة تعديل الحمل خارج المحطة وفيها نلاحظ إن تم تعديل توصيلة الحمل نجمة ومؤرض ثم قيمة جهد الحمل 230KV ثم قيمة تردد الحمل 60HZ ثم قيمة القدرة الفعالة 10MW ثم قيمة القدرة غير الفعالة -500MVAR



كما هو موضح في الشكل أعلاه تم زيادة الحمل السعوي capacitive reactive power بقيمة -500Mvar على المولدين وتم تشغيل الشبكة لمدة 20s الغرض من التجربة هو معرفة تأثير الحمل على المولدين



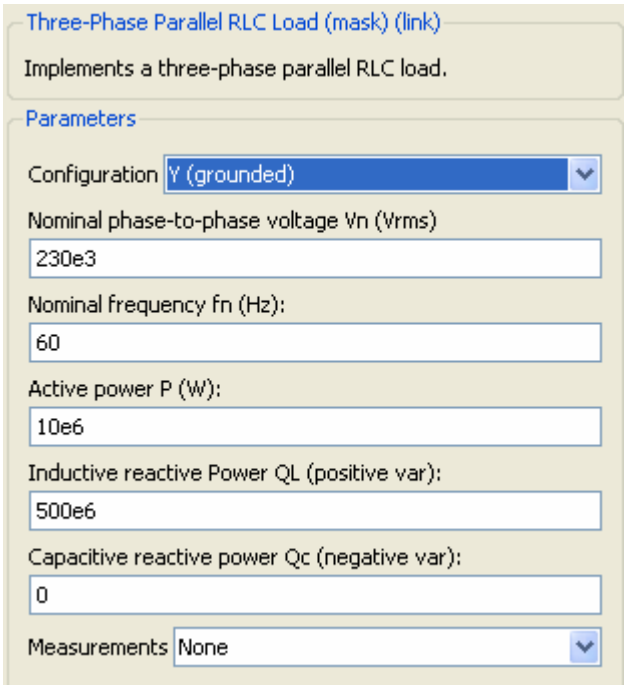
الشكل أعلاه يبين قيمة جهد المولد الأول G1 على اليمين وجهد المولد الثاني G2 على اليسار حيث نلاحظ إن جهد المولدين زادا ليصل إلى 1.02Pu عند زيادة الحمل السعوي



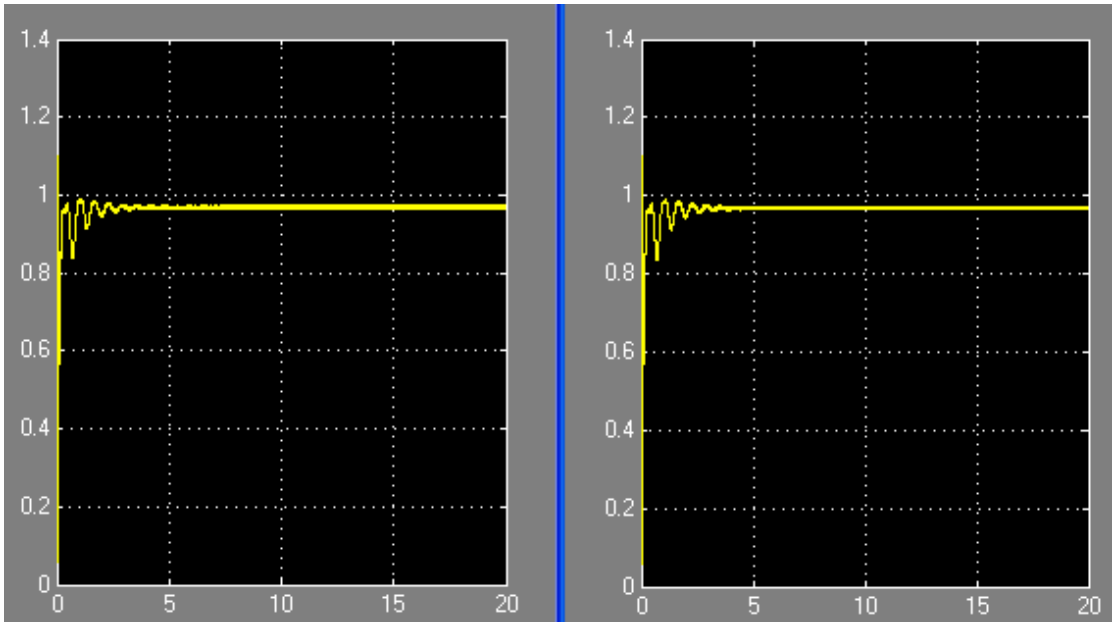
الشكل أعلاه يبين قيمة القدرة غير الفعالة للمولد الأول G1 على اليمين القدرة غير الفعالة للمولد الثاني G2 على اليسار حيث نلاحظ زيادة القدرة غير الفعالة لتصل إلى -0.13Pu عند زيادة الحمل السعوي

الحمل ألحثي Inductive reactive power

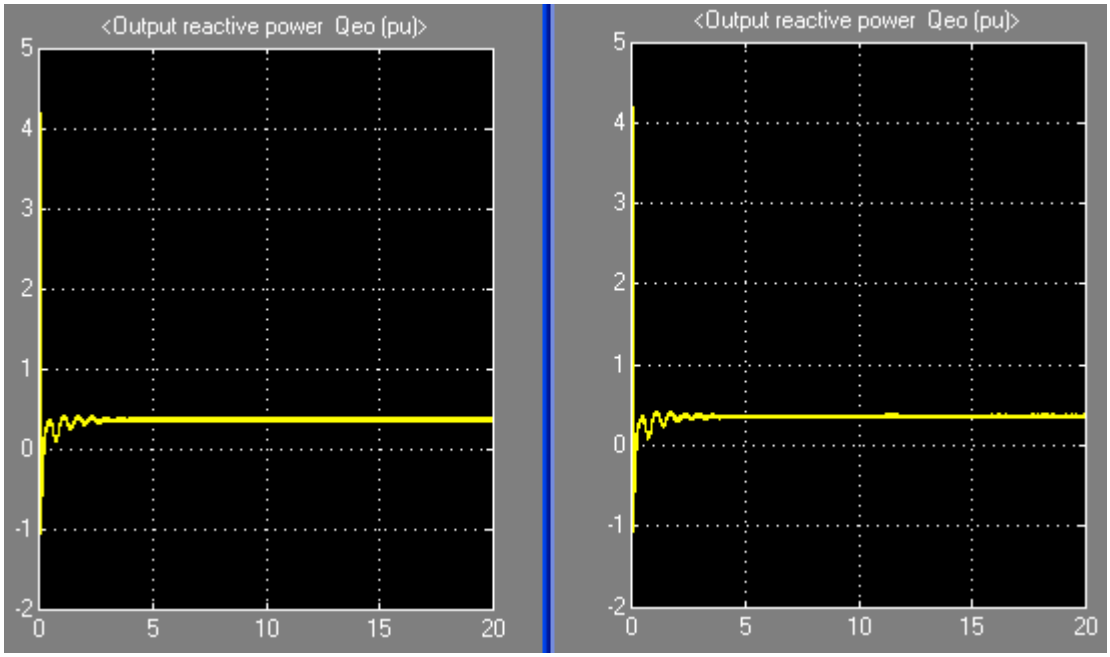
الشكل أدناه يبين نافذة تعديل الحمل خارج المحطة وفيها نلاحظ إن تم تعديل توصيلة الحمل نجمة ومؤرض ثم قيمة جهد الحمل 230KV ثم قيمة تردد الحمل 60HZ ثم قيمة القدرة الفعالة 10MW ثم قيمة القدرة غير الفعالة 500MVAR



كما هو موضح في الشكل أعلاه تم زيادة الحمل ألحثي Inductive reactive power بقيمة 500Mvar على المولدين وتم تشغيل الشبكة لمدة 20s الغرض من التجربة هو معرفة تأثير الحمل على المولدين



الشكل أعلاه يبين قيمة جهد المولد الأول G1 على اليمين وجهد المولد الثاني G2 على اليسار حيث نلاحظ إن جهد المولدين انخفض ليصل إلى 0.97Pu عند زيادة الحمل ألحثي

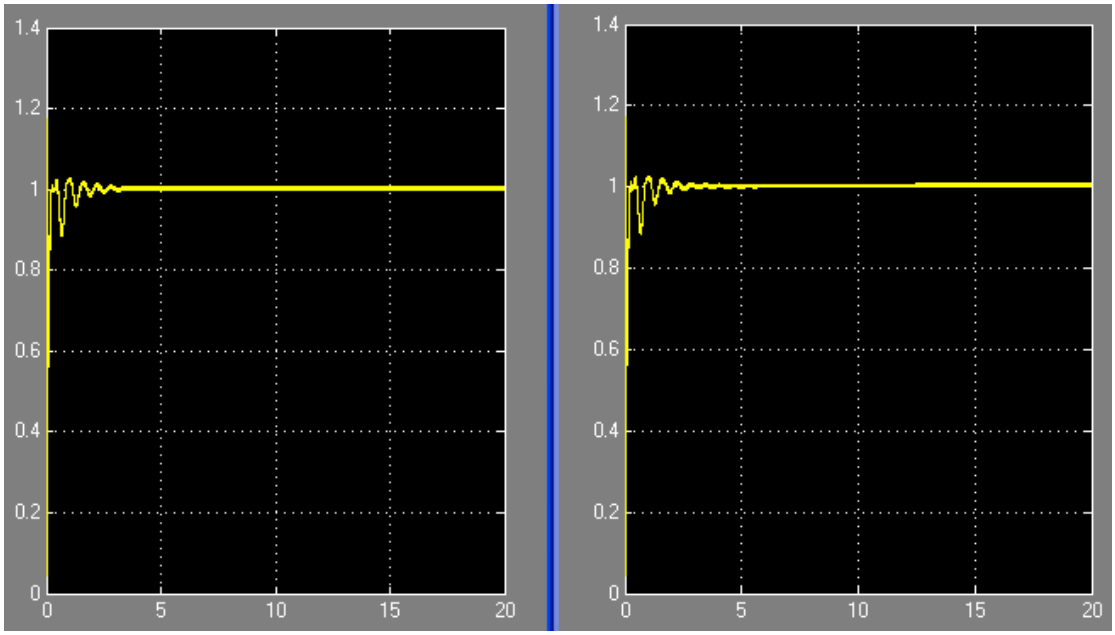


الشكل أعلاه يبين قيمة القدرة غير الفعالة للمولد الأول G1 على اليمين القدرة غير الفعالة للمولد الثاني G2 على اليسار حيث نلاحظ زيادة القدرة غير الفعالة لتصل إلى 0.39Pu عند زيادة الحمل ألحثي

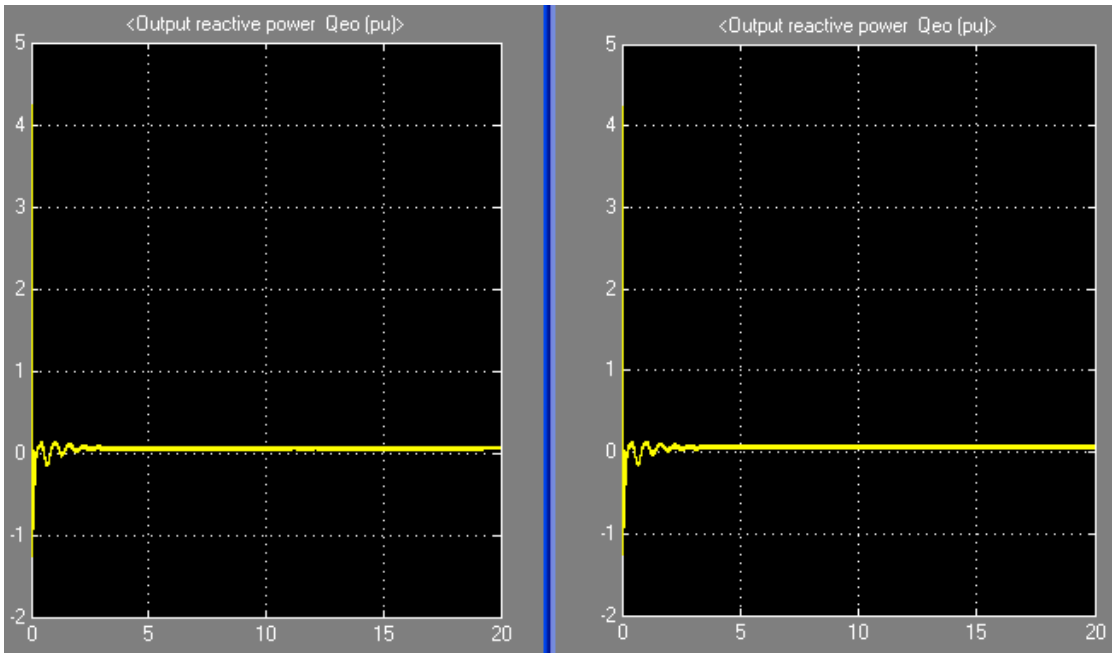
تحسين معامل القدرة

بما إن الأحمال الحثية تنتج قدرة غير فعالة موجبة Positive var والأحمال السعوية تنتج قدرة غير فعالة سالبة negative var يمكن تحسين معامل القدرة power factor عن طريق زيادة حمل سعوي في المنشاة التي تستخدم حمل حثي

كما هو موضح في الشكل أعلاه تم زيادة الحمل ألحثي Inductive reactive power بقيمة 500Mvar على المولد الأول وتم زيادة الحمل السعوي capacitive reactive power بقيمة 500Mvar- على المولد الثاني وتم تشغيل الشبكة لمدة 20s الغرض من التجربة هو معرفة تأثير الأحمال على المولدين والشبكة



الشكل أعلاه يبين قيمة جهد المولد الأول G1 على اليمين وجهد المولد الثاني G2 على اليسار حيث نلاحظ إن جهد المولدين عند الحالة المثالية

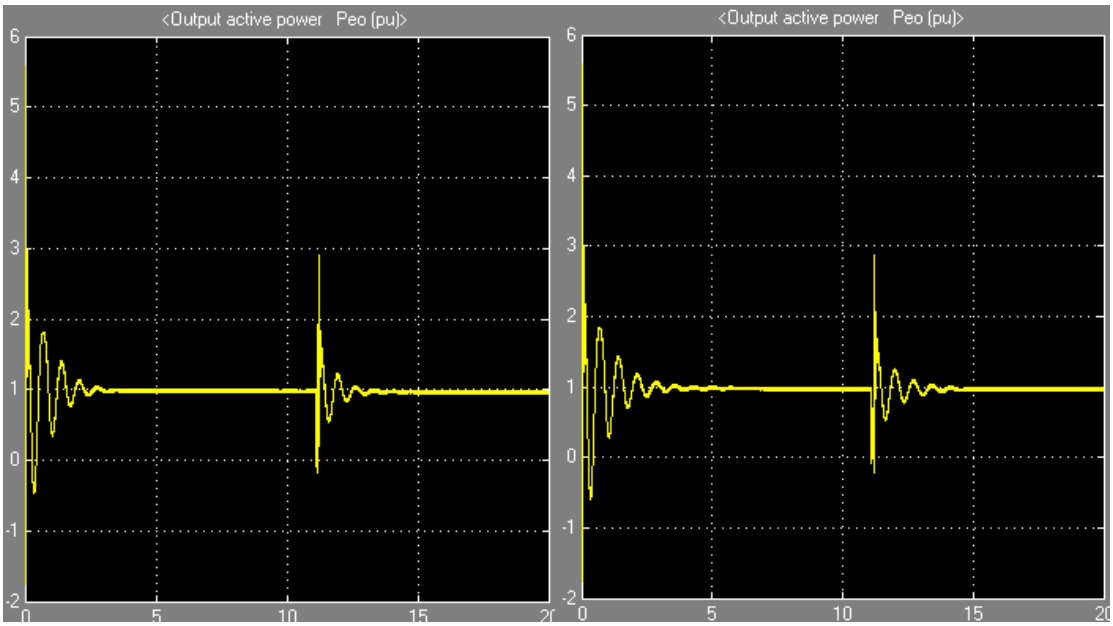


الشكل أعلاه يبين قيمة القدرة غير الفعالة للمولد الأول G1 على اليمين القدرة غير الفعالة للمولد الثاني G2 على اليسار حيث نلاحظ إن قيمة القدرة غير الفعالة على المولدين قريبة من الصفر وفى هذه الحالة يكون معامل القدرة PF=1 اى إن S=P في مثلث القدرة وهى الحالة المثالية لتشغيل المولد على الشبكة

رابعا اختبار Multi band Power System Stabilizer

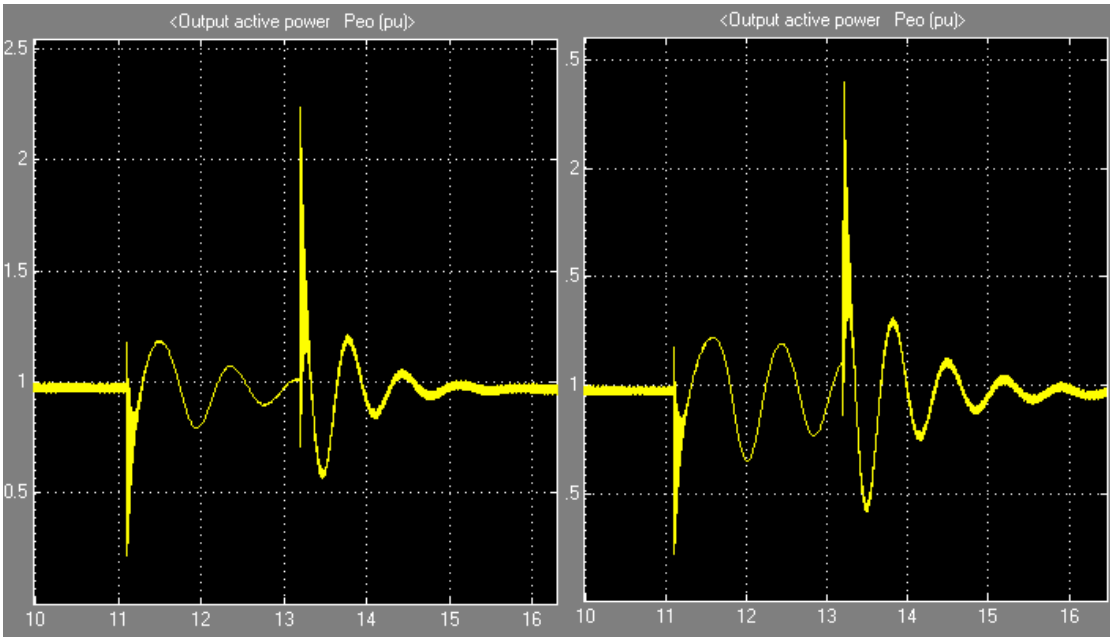
لكي نصل إلى نتيجة أفضل تم دعم منظومة التحريض للمولد الأول بمنظومة Multi band PSS وتم إضافة عطل دائرة قصر طورين مع الأرض ولنلاحظ الفرق بين استخدم المنظومة من عدمها في تثبيت القدرة بعد حدوث العطل

كما هو موضح في الشكل أعلاه تم إضافة عطل دائرة قصر طورين مع الأرض على قضيب التوزيع الذي يربط المولدين وتم تشغيل الشبكة لمدة 20s وعند زمن 12s تم تطبيق العطل لمدة 0.1s والغرض من التجربة هو معرفة ميزات منظومة PSS



الشكل أعلاه يبين قيمة القدرة الفعالة للمولد الأول G1 على اليسار والقدرة الفعالة للمولد الثاني G2 على اليمين حيث نلاحظ إن تأرجح القدرة في المولد الأول حدث أربع مرات وفى المولد الثاني حدث سبع مرات نظرا لتأثير منظومة PSS على المولد الأول

كما هو موضح في الشكل أعلاه تم إضافة عطل دائرة قصر طور مع الأرض بمقاومة 5Ω على قضيب التوزيع الذي يربط المولدين وتم تشغيل الشبكة لمدة 20s وعند زمن 12s تم تطبيق العطل لمدة 2s والغرض من التجربة هو الحصول على تأرجح اكبر للقدرة ومعرفة ميزات منظومة PSS

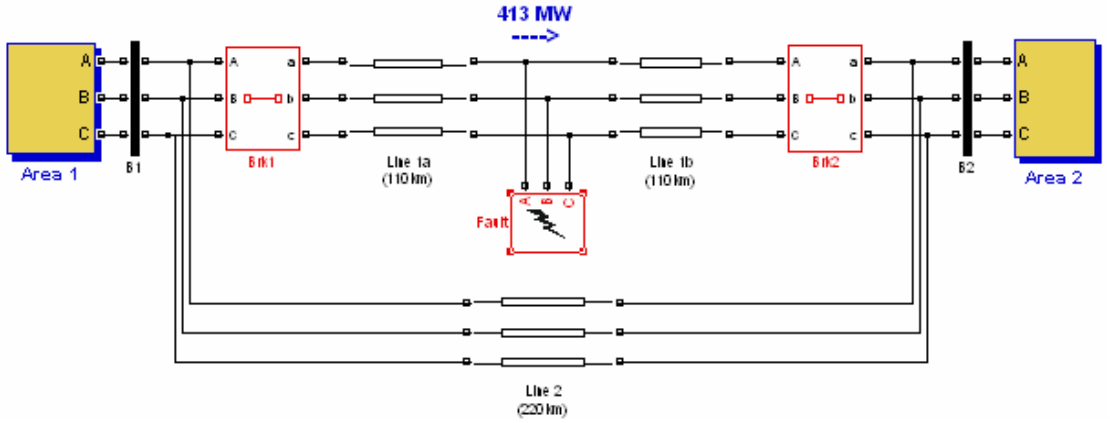


الشكل أعلاه يبين قيمة القدرة الفعالة للمولد الأول G1 على اليسار والقدرة الفعالة للمولد الثاني G2 على اليمين حيث نلاحظ إن تأرجح القدرة في المولد الأول اقل بكثير من المولد الثاني وهذا من ميزات منظومة PSS

الجزء الرابع

ربط شبكتين كهربائيتين

من المعروف إن ربط الشبكات الكهربائية مع بعضها يجب إن يعتمد على التحكم في تدفق الحمل بينهما ويتم ذالك بالتحكم في التردد للشبكتين



مكونات الشبكتين

Area 1 **B1**
2x hydraulic turbine
G1 900MVA
G2 900MVA
Static excitation
Multi band Power System Stabilizer
V=20KV
Setup transformer 20KV-230KV
Load 967MW
100Mvar
-387Mvar
Over head line L1 25km
Over head line L1 10km
Area 2 **B2**
2x hydraulic turbine
G1 900MVA
G2 900MVA
Static excitation
Multi band Power System Stabilizer
V=20KV
Setup transformer 20KV-230KV
Load 967MW
100Mvar
-387Mvar
Over head line L1 25km
Over head line L1 10km

وشبكة ربط كهربائية بالمواصفات التالية

Over head line La 110km
Over head line Lb 110km

Parameters

Number of phases N

3

Frequency used for R L C specification (Hz)

60

Resistance per unit length (Ohms/km) [N*N matrix] or [R1 R0 R0m]

[0.0001*529 1.61]

Inductance per unit length (H/km) [N*N matrix] or [L1 L0 L0m]

[0.001*529/(377) 0.0061]

Capacitance per unit length (F/km) [N*N matrix] or [C1 C0 C0m]

[0.00175/529/(377) 5.2489e-9]

Line length (km)

110

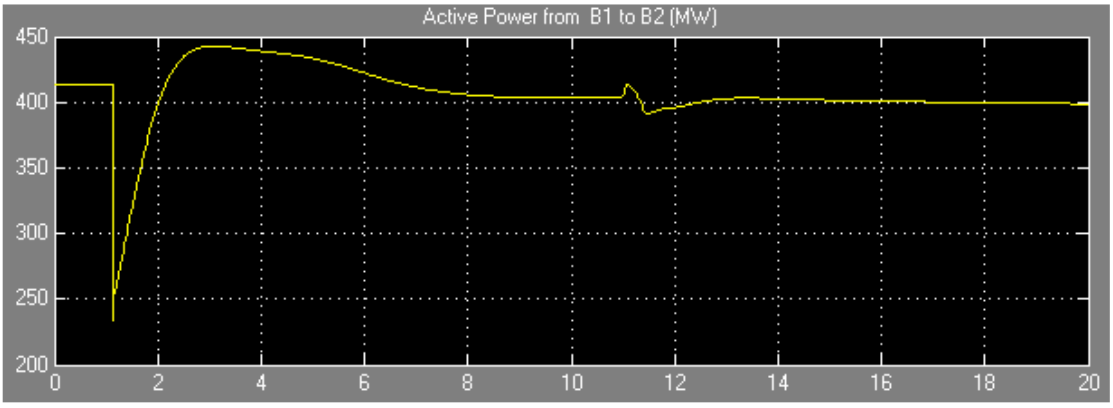
Measurements None

الشكل أعلاه يبين موصفات خط الربط بين الشبكتين

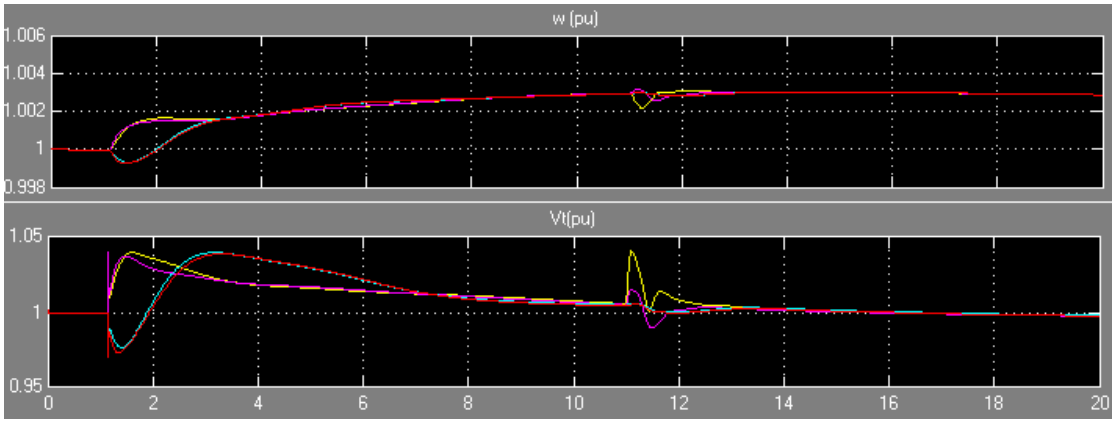
وكما هو موضح في الشكل أعلاه إن الشبكة الأولى تمد الشبكة الثانية بحمل قدره 413MW عبر خط الربط المزدوج

أولا اختبار ارتفاع الجهد

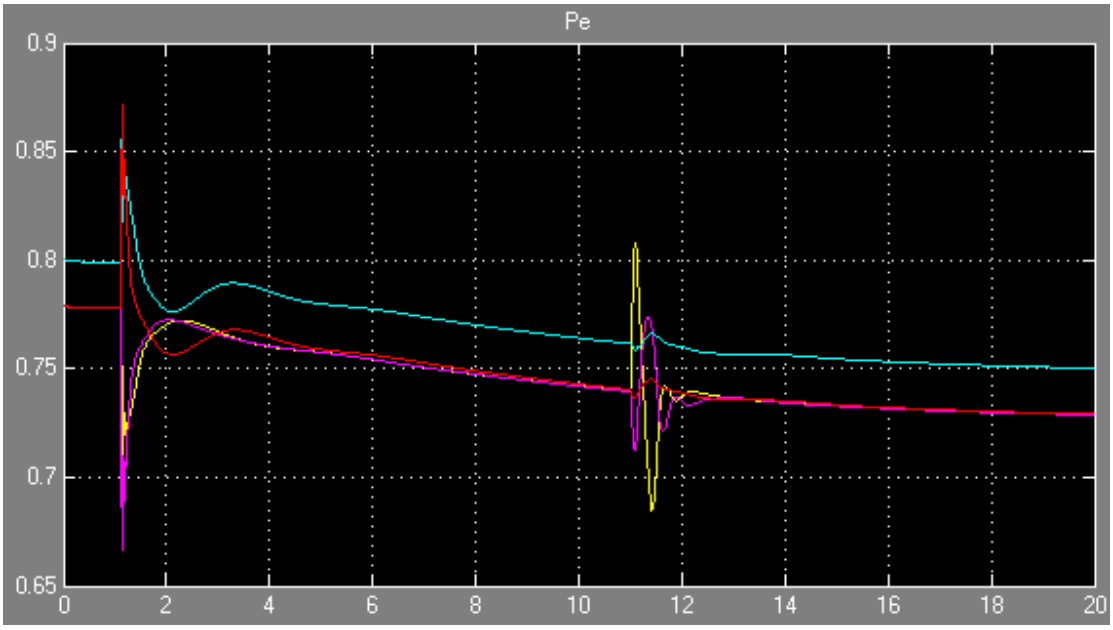
كما هو موضح في الشكل أعلاه تم رفع جهد المولد الأول G1 في الشبكة الأولى ليصل إلى 1.05Puوتم تشغيل الشبكة لمدة 20s وعند زمن 11s تم رفع الجهد لمدة 0.2s والغرض من التجربة معرفة تأثير الحالة على الشبكتين



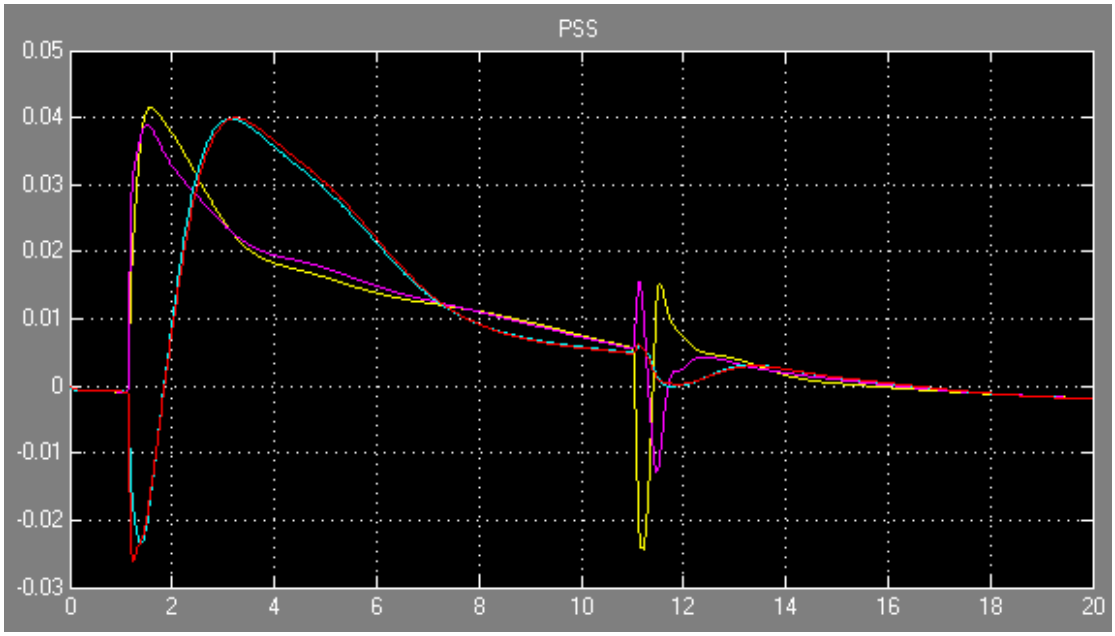
الشكل أعلاه يبين تدفق القدرة من الشبكة الأولى إلى الشبكة الثانية حيث نلاحظ إن تدفق الحمل قد تأثر بارتفاع الجهد على المولد الأول مما سبب في تأرجح بسيط للقدرة بين الشبكتين



الشكل أعلاه يبين قيمة التردد والجهد للمولدات الأربعة حيث نلاحظ إن التأثير واضح على المولد الأول باللون الأصفر والمولد الثاني باللون البنفسجي مما سبب في تأرجح بسيط على المولدين مع عدم تأثر المولدين الآخرين



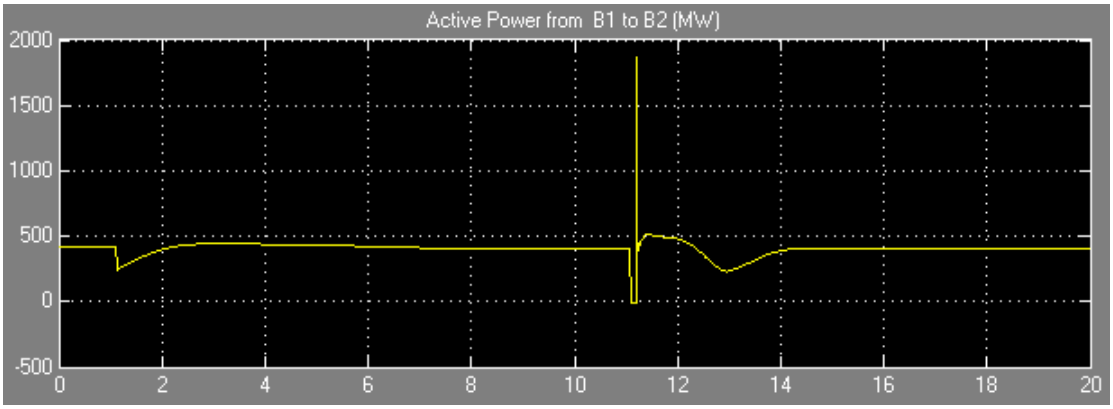
الشكل أعلاه يبين قيمة القدرة للمولدات الأربعة حيث نلاحظ انه حدث تأرجح كبير في القدرة في المولد الأول باللون الأصفر والمولد الثاني باللون البنفسجي مع تأثير بسيط على المولدين الآخرين وأيضا نلاحظ تباين في الحمل بين المولدات الأربعة



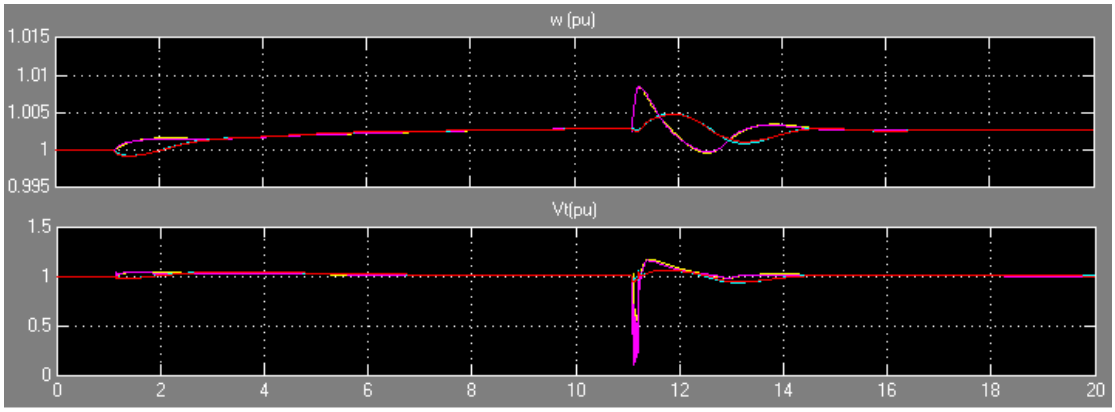
الشكل أعلاه يبين قيمة إشارة التحكم لمنظومة PSS للمولدات الأربعة حيث نلاحظ انه حدث تغيير كبير في إشارة التحكم الخاصة بالمولد الأول باللون الأصفر والمولد الثاني باللون البنفسجي مع تغيير بسيط على المولدين الآخرين

ثانيا اختبار دائرة القصر ثلاثي الطور Three phase short circuit

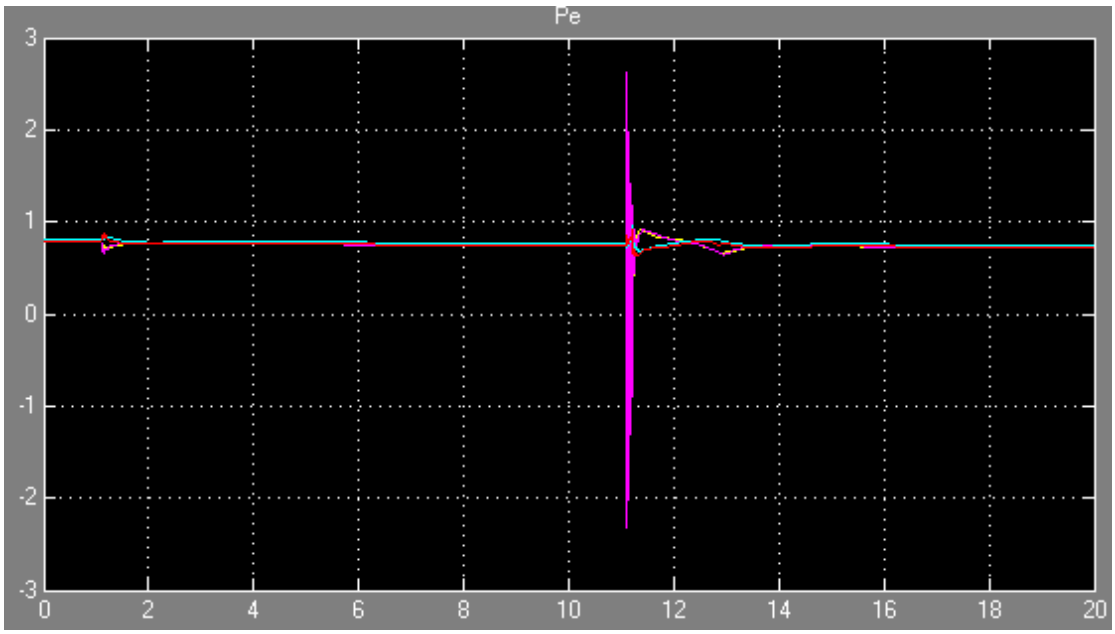
كما هو موضح في الشكل أعلاه تم إضافة عطل دائرة قصر ثلاثي الطور Three phase short circuit على قضيب التوزيع الذي يربط المولدين في الشبكة الأولى وتم تشغيل الشبكة لمدة 20s وعند زمن 11s تم تطبيق العطل لمدة 0.1s والغرض من التجربة هو معرفة تأثير العطل على الشبكتين



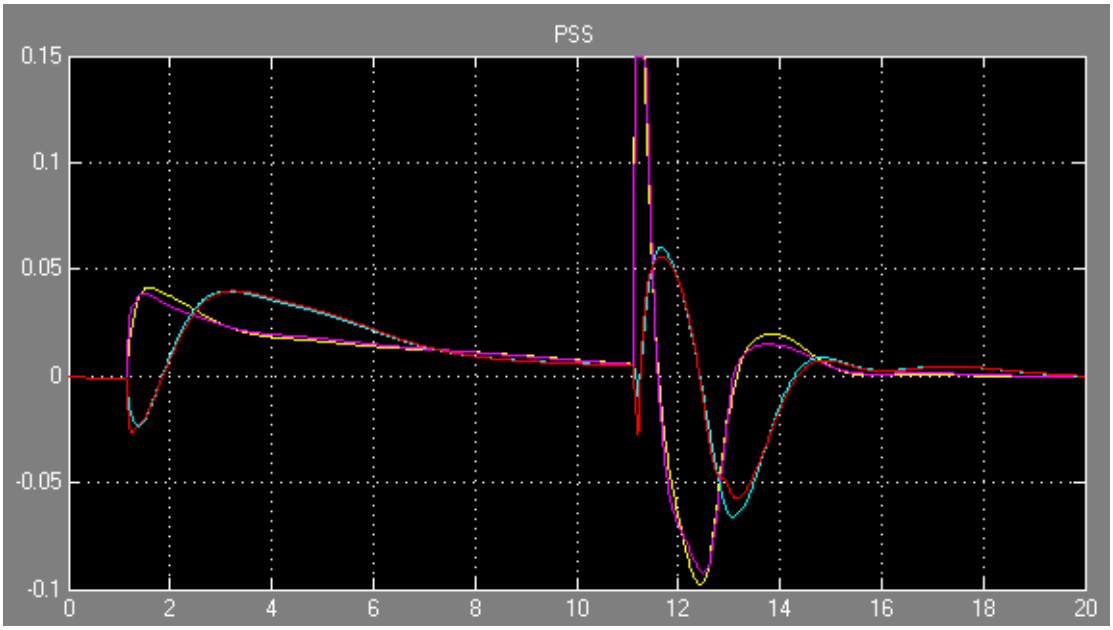
الشكل أعلاه يبين تدفق القدرة من الشبكة الأولى إلى الشبكة الثانية حيث نلاحظ ان تدفق الحمل قد تأثر بالعطل مما سبب في تأرجح كبير للقدرة بين الشبكتين وصل إلى الحد الغير مقبول في تغير القدرة



الشكل أعلاه يبين قيمة التردد والجهد للمولدات الأربعة حيث نلاحظ إن التأثير واضح على المولد الأول باللون الأصفر والمولد الثاني باللون البنفسجي مما سبب في تأرجح كبير على المولدين في الشبكة الأولى و تأرجح بسيط للتردد والجهد على المولدين الآخرين في الشكة الثانية مع إن المسافة بينهما 230Km



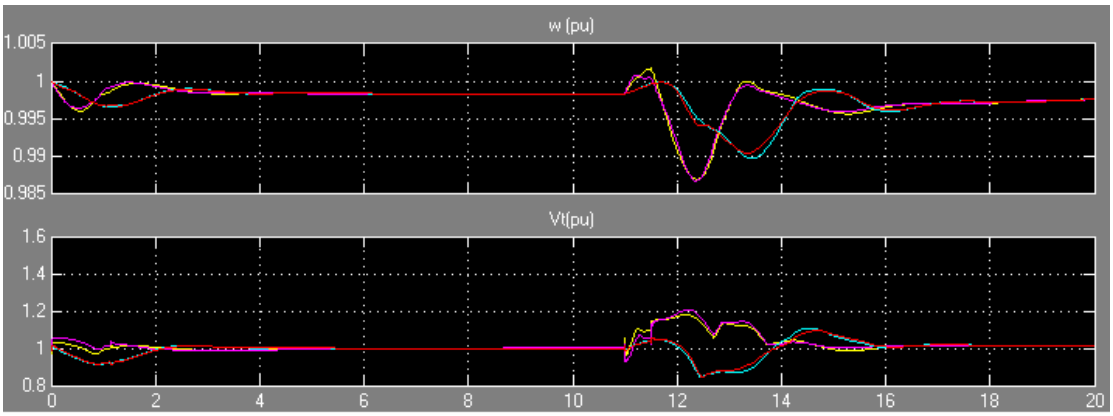
الشكل أعلاه يبين قيمة القدرة للمولدات الأربعة حيث نلاحظ انه حدث تأرجح كبير في القدرة في المولد الأول باللون الأصفر والمولد الثاني باللون البنفسجي مع تأثير بسيط على المولدين الآخرين



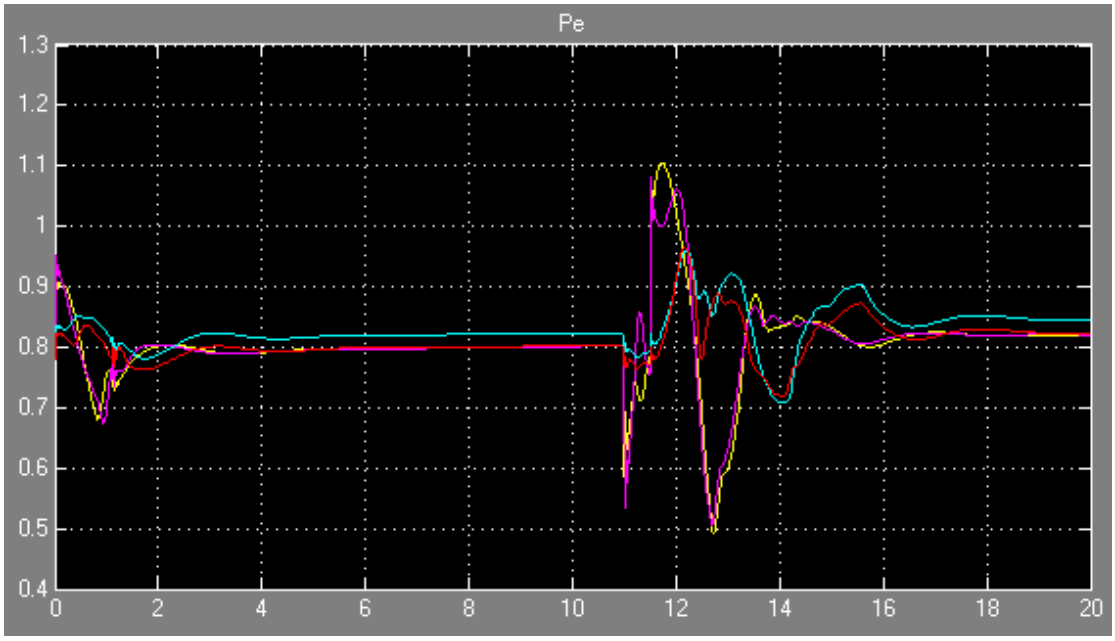
الشكل أعلاه يبين قيمة إشارة التحكم لمنظومة PSS للمولدات الأربعة حيث نلاحظ انه حدث تغيير كبير جدا في إشارة التحكم الخاصة بالمولد الأول باللون الأصفر والمولد الثاني باللون البنفسجي مع تغيير كبير على المولدين الثالث باللون الأزرق والرابع باللون الأحمر

ثالثا اختبار حالة تحت التحريض لإحدى الشبكتين

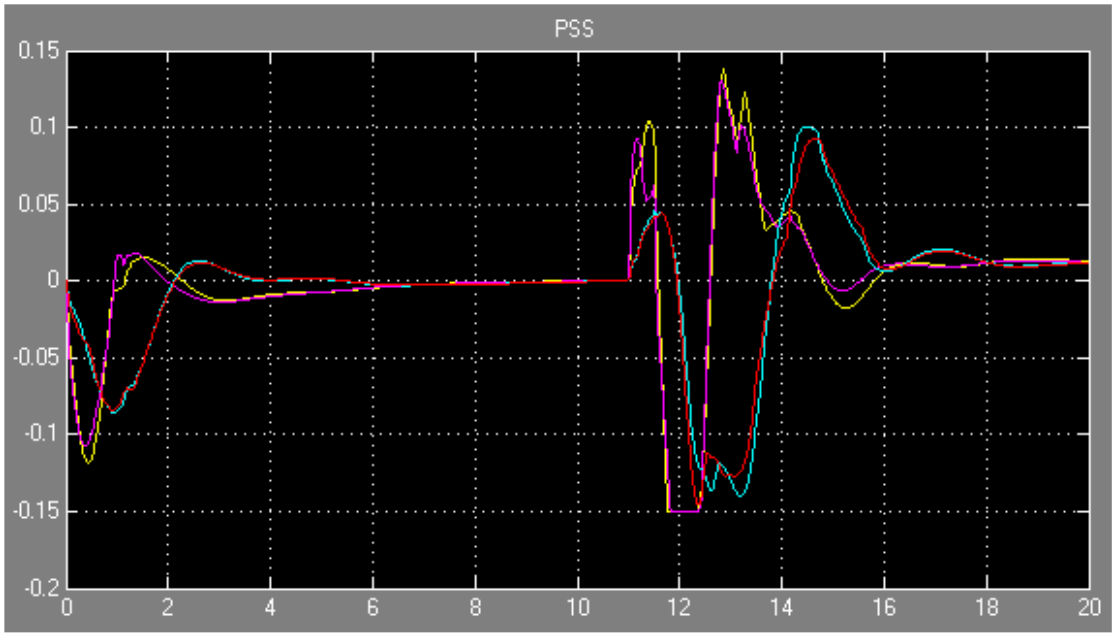
كما هو موضح في الشكل أعلاه تم إضافة حمل سعوي capacitive reactive power بقيمة 200Mvar- على قضيب التوزيع الذي يربط المولدين في الشبكة الأولى وتم تشغيل الشبكة لمدة 20s وعند زمن 11s تم تطبيق العطل لمدة 0.5s والغرض من التجربة هو معرفة تأثير الحالة على الشبكتين ومنظومة PSS



الشكل أعلاه يبين قيمة التردد والجهد للمولدات الأربعة حيث نلاحظ إن التأثير واضح على المولد الأول باللون الأصفر والمولد الثاني باللون البنفسجي مما سبب في تأرجح كبير جدا على المولدين في الشبكة الأولى و تأرجح كبير للتردد والجهد على المولدين الآخرين في الشكة الثانية ومن الملاحظ أيضا إن قيمة الجهد في الشبكة الأولى ارتفعت لتصل إلى 1.2Pu وقيمة جهد الشبكة الثانية انخفض ليصل إلى 0.82Pu نظرا لتأثير الحمل



الشكل أعلاه يبين قيمة القدرة للمولدات الأربعة حيث نلاحظ انه حدث تأرجح كبير في القدرة للمولد الأول باللون الأصفر والمولد الثاني باللون البنفسجي تصل إلى مابين 1.1-0.5 Pu مع تأثير كبير على المولدين الآخرين يصل إلى مابين 0.97-0.7 Pu



الشكل أعلاه يبين قيمة إشارة التحكم لمنظومة PSS للمولدات الأربعة حيث نلاحظ انه حدث تغيير كبير جدا في إشارة التحكم الخاصة بالمولد الأول باللون الأصفر والمولد الثاني باللون البنفسجي مع تغيير كبير على المولدين الثالث باللون الأزرق والرابع باللون الأحمر مما يبين أهمية هذه المنظومة في مثل هذه الحالات