A1-311

تصميم وتنفيذ وتطبيق موقعي لجيل جديد ومرن من نظام إثارة ملفات الأقطاب في المولدات التزامنية ذات القدرة العالية .

ملخص الدراسة

- يعتبر النظام الثابت لإثارة ملفات الأقطاب static excitation systemللمولدات التزامنية هو النظام الأكثر تسيدا وانتشارا في الوضع الراهن، وذلك باستخدام موحدات من النوع thyristors .
- لقد ظهر النظام التقليدي الثابت للإثارة هذا وتطور واستخدم على نطاق واسع ابتداء من الثمانينيات من القرن الماضي، وهو نظام يتميز بمتانة عالية ، و يتميز كذلك بأداء و قدرة استجابة عالية مقارنة بنظام الإثارة بدون فرش كربونية.Brushless excitation system . ومع ذلك ، فإن هذا النظام التقليدي لإثارة الملفات يعاني من عيبين كبيرين وعلى قدر كبير من الأهمية، وهما :

- أولا الجهد الأقصى ceiling voltage يعتمد بشكل كبير على جهد نهاية أطراف ملفات المولد generator terminal voltage مما يؤدي إلى نقص في سعة وقدرة الاستجابة في الظروف الاستثنائية العنيفة عند حدوث قصر كهربي على أطراف المولد .
- ثانيا : الثيرستور المستخدم في عملية توحيد التيار هو نوع من أشباه الموصلات والذي يعتبر غير ملائم لتطبيقات التحكم الإلكتروني المتقدمة التي تتطلب قدرا من المرونة في استقرار الشبكة الكهربية أو ما يعرف بـ نظام POD كبح تأرجح القدرة الكهربية (تذبذب) (Power oscillation damper)

ومن أجل تجاوز محدودية النظام التقليدي لإثارة الأقطاب بشكل جذري وخلاق ، فإن هذه الورقة البحثية تقدم طريقة جديدة وعلى قدر كبير

من المرونة بمكونات و أشكال متعددة المستويات للمولدات التزامنية عالية القدرة قائمة على أساس التحكم التام في عملية توصيل وفصل ترانزيستور ثنائي القطبية معزول

- ذي السعة العالية ، ceiling voltage لملاحقة واستيعاب جهد السقف في في في حالتي reactive powerوالتحكم السريع في القدرة غير الفعالة وكذلك قدرة كبح أعلى عند حدوث تذبذب في transientالتأرجح الانتقالي تردد الشبكة

مقدمة

في هذه الأيام ، تعتبر أنظمة التيار المستمر ذي الجهد العالي HVDC وكذلك الأنظمة المرنة لنقل التيار المتردد FACTS (flexible A.C transmission systems) من خلال تقنية توصيل وفصل ترانزيستورات IGBT ذات التحكم التام ،أصبحت تستخدم على نطاق واسع في نظام القدرة الكهربية باعتبارها حلولا خلاقة للتغلب على التغيرات الجديدة في أنظمة القدرة الكهربية الحديثة(1). ومع ذلك ، فإن نظام إثارة (تغذية) الأقطاب المغناطيسية الذي يمثل" روح التحكم في استقرار نظم القوى الكهربية" لا يزال يستخدم ثيرستور القدرة بطريقة التحكم غير التام semi controlled في النظام التقليدي من خلال نظام الإثارة الثابتة (static excitation system) مما يجعله مرونته في التحكم محدودة فيما يتعلق بأمور مثل جهد السقف والقدرة غير الفعالة .

شكل التصميم

إن الشكل الأساسي لنظام إثارة الأقطاب بطريقة مرنة يتكون من موحد تيار في بداية الدائرة Front end voltage source(VSC)، ومقطّع تيار (chopper) قنطرة H back end H bridge chopper في نهاية الدائرة ، ومحول خافض للجهد كما هو موضح بشكل (1)، وفيه يربط المحول بين موحد الجهد و بين أطراف جهد المولد V terminal، ويستطيع موحد الجهد أن ينقل التيار المتردد ثلاثي الأوجه إلى مكثف وصلة التيار المستمر DC- link capacitor من خلال وصلة d-q decoupling control ، ويستطيع مقطع التيار H التحكم في جهد إثارة الأقطاب بدقة في كلا الاتجاهين.

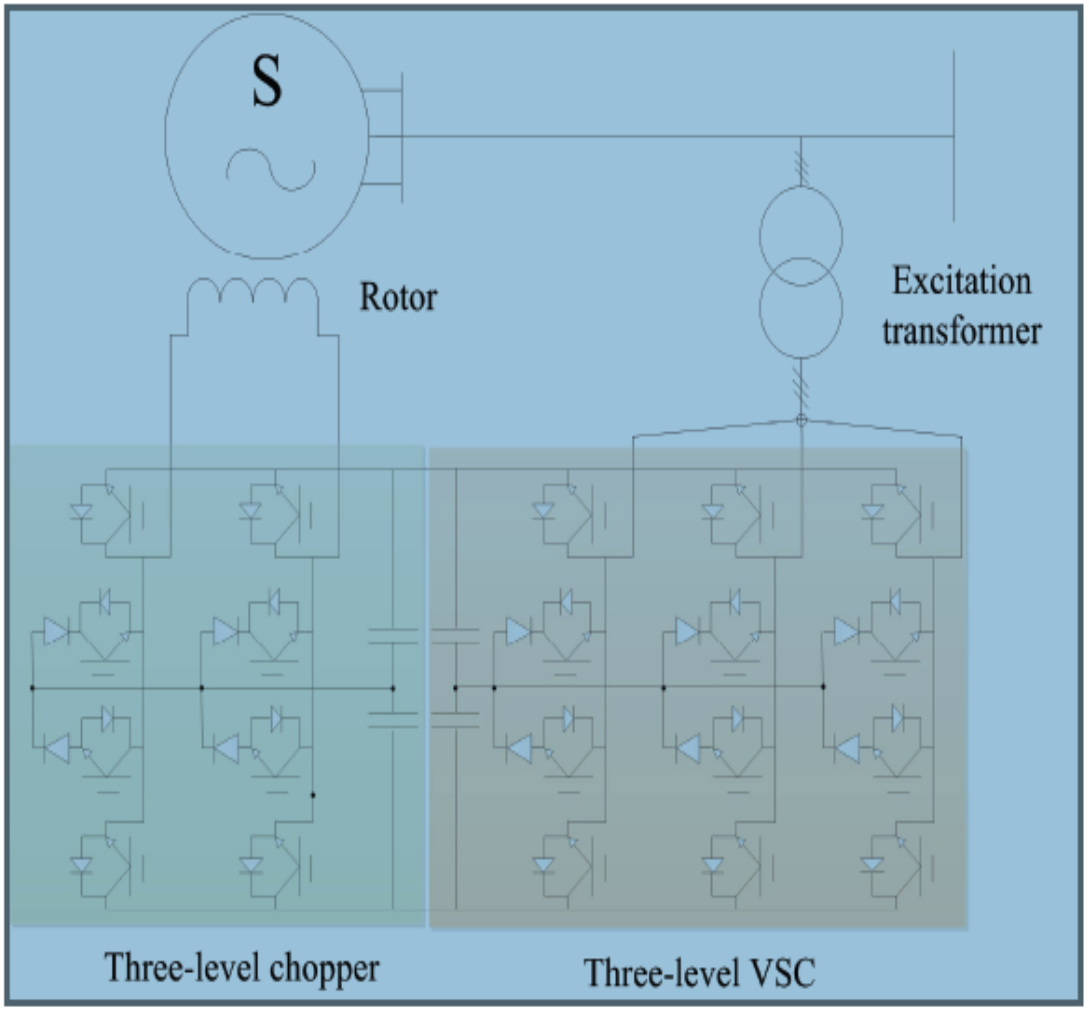

Figure. 1 Topology design of flexible excitation system with three-level technology

استراتيجية التحكم.

إن استراتيجية التحكم في موحد التيار VSC تعتمد على طريقة decoupling control d-q والتي يستخدم فيها i_d للتحكم في القدرة الفعالة .من جهة التيار المتردد مع المحافظة على جهد مكثف الربط عند قيمة معينة كما بالشكل (2) . ويمكن التحكم السريع في جهد إثارة الأقطاب وذلك من خلال قنطرة تقطيع التيارH التي تستهلك القدرة الفعالة بشكل كبير من خلال مكثف وصلة التيار المستمر. وباستغلال دائرة التقوية في موحد التيار المستمر ، فإن جهد مكثف وصلة التيار المستمر يمكن التحكم بها بطريقة أكبر من التيار المتردد الداخل، ولذلك فإن نظام تغذية الأقطاب المرن يمكنه المحافظة على ثبات قيمة الجهد الأقصى ceiling voltage وتحقيق سعة مستديمة لتغذية الأقطاب أثناء هبوط جهد التيار المتردد الداخل ، وذلك من أجل الحفاظ على استقرار نظام الشبكة الكهربية أثناء حالات القصر الشديدة .

ومن ناحية أخرى، فإن القدرة غير الفعالة لموحد التيار VSC يمكن التحكم بها بطريقة مستقلة ومنفصلة من خلال التحكم في i_q. ولذلك فإن هذا التحكم المرن في تغذية الأقطاب يمكن أن يقوم بعملية حقن قدرة غير فعالة إلى أطراف المولد ، وذلك من خلال موحد التيار VSC لتحقيق POD(كبح التذبذب في نظام القوى الكهربية) لتحقيق ثبات واستقرار في الشبكة الكهربية سواء مع تذبذب صغير في التردد إلى التذبذب الكبير في حالة القصر

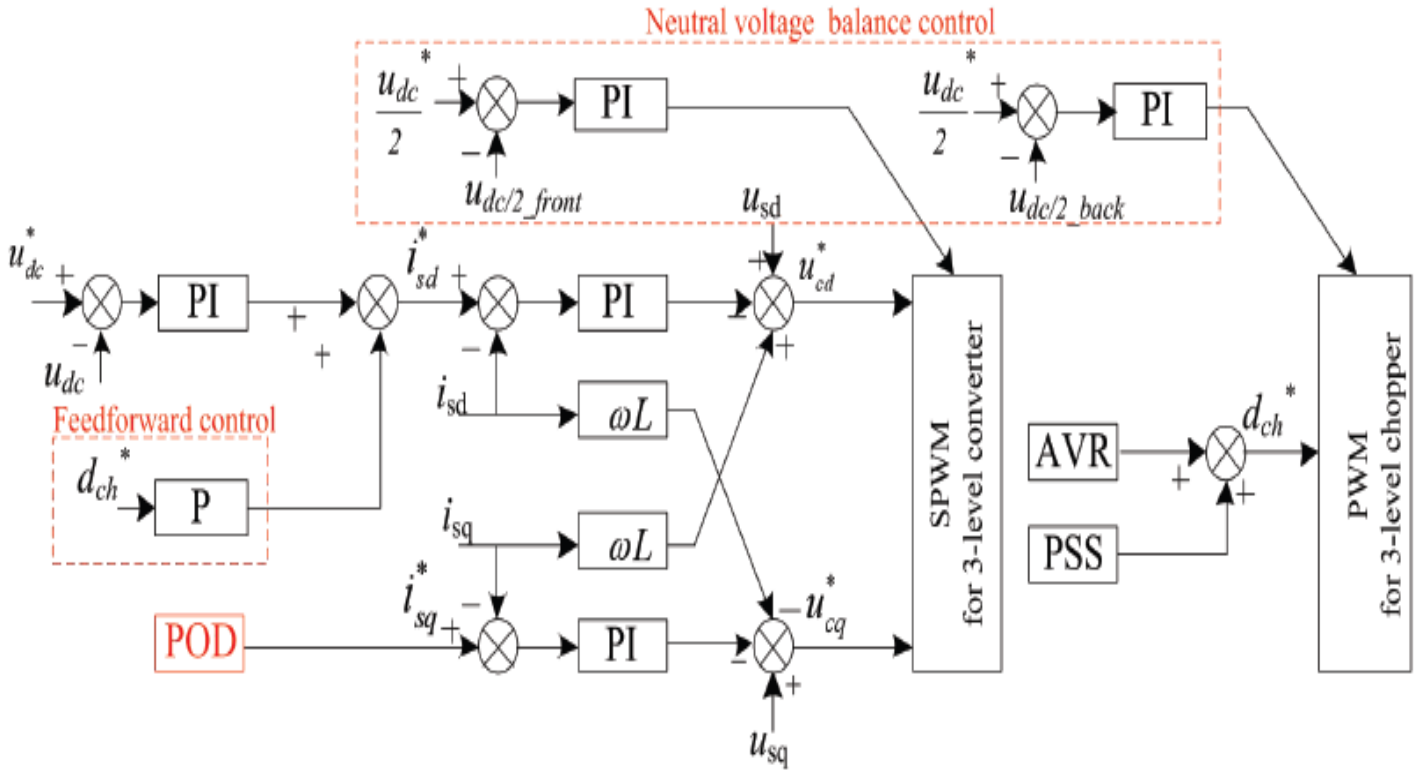

Figure. 2 Block diagram of flexible excitation control

تنفيذ النموذج المصغر

و قد تم تنفيذ النموذج الهندسي المصغر لمحطة توليد كهرومائية بقدرة 55 ميجاوات ، وبناء على نظرية تعديل عرض النبضة الجيبية

Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM)

فإن أصغر قيمة تشغيل لجهد مكثف وصلة التيار المستمر هي $1.63*U_{T_2}$ في موحد الـ VSC والذي فيه يمثل U_{T_2} جهد الملف الثانوي لمحول تغذية الأقطاب. ولذلك فإن جهد التشغيل الاعتيادي لمكثف وصلة التيار المستمر يصمم عند قيمة 750 فولت، مع الأخذ هامش توافق matching margin في الاعتبار . ويصمم مكثف وصلة ربط التيار المستمر على أربعة أجزاء ، كل مكثف فيها بسعة 9.75 ميكروفاراد، مع أخذ تذبذب جهد وصلة التيار المستمر في الاعتبار عند عملية الاستجابة الديناميكية

. وتكون قيمة تردد معدل التوصيل والفصل لموحد التيار المستمر VSC ذي المستويات الثلاث 3كيلو هرتز وذلك لمعادلة تأثير كبح التيارات التوافقية harmonics و التسريب الحراري heat dissipation ، أما قنطرة مقطع التيار H ثلاثي المستويات، فيصمم عند قيمة معدل تردد التوصيل والفصل 1 كيلو هرتز، وذلك لتحقيق متطلبات التحكم في الاستجابة الابتدائية لتغذية الأقطاب. وقد تم وضع مواصفات المولد الكهرومائي و متغيرات التصميم للدائرة المصغرة المرنة لتغذية الأقطاب في الجدول رقم(1).

Table. 1 Specifications of hydro-generator set and flexible excitation prototype

Rated voltage	10.5 kV	dc-link voltage	750 V
Rated excitation voltage	174 V	dc-link capacitor of VSC	9.75×4 mF
Rated excitation voltage	1160 A	switching frequency of VSC	3 kHz
Excitation transformer ratio	10.5/0.38	switching frequency of chopper	1 kHz

تطبيق موقعي .

إن النموذج الهندسي المصغر للدائرة المرنة لتغذية الأقطاب المتكونة من كابينة كنترول واحدة مرنة وكابينيتن لموحد تيار القدرة وكابينة تسريب المجال field discharge يتم تجميعها في الموقع وذلك لتحل محل النظام التقليدي كما هو موضح بالشكل 3 .
وتتضمن اختبارات الموقع اختبار مبدئي لتغذية الأقطاب واختبار تسريب المجال واختبار استجابة لتغير صغير ، واختبار استجابة لتغير كبير واختبار PSS (power system stabilizer) واختبار POD للنموذج المصغر المرن لتغذية الأقطاب والتي تنفذ بناء على محطة كهرومائية بقدرة 55 ميجاوات.

Figure. 3 Engineering prototype of flexible excitation system

ويعطي شكل 4 نتائج الاختبارات المبدئية لدائرة مرنة لتغذية الأقطاب والتي فيها يتم رفع جهد أطراف المولد من صفر حتى جهد التشغيل بنفس كفاءة النظام التقليدي . أما شكل 5 فهو يعطي نتائج اختبار تفريغ المجال والذي فيه يكون الجهد العكسي لتغذية الأقطاب reverse excitation voltage أعلى بكثير من نظام تغذية الأقطاب التقليدي ، ولذلك فإن هذا النظام المرن لتغذية الأقطاب لديه قدرة أكبر على تفريغ المجال.

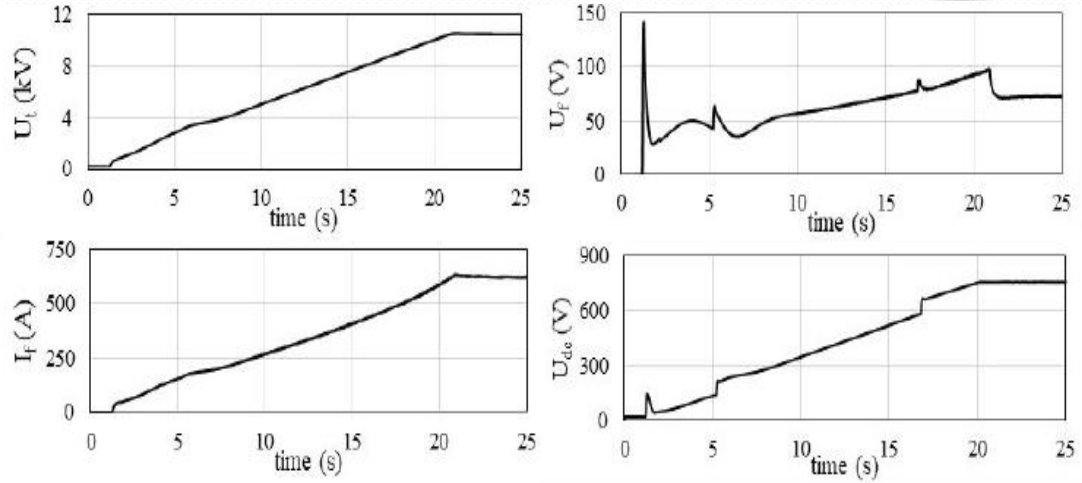

Figure. 4 Initial excitation testing results

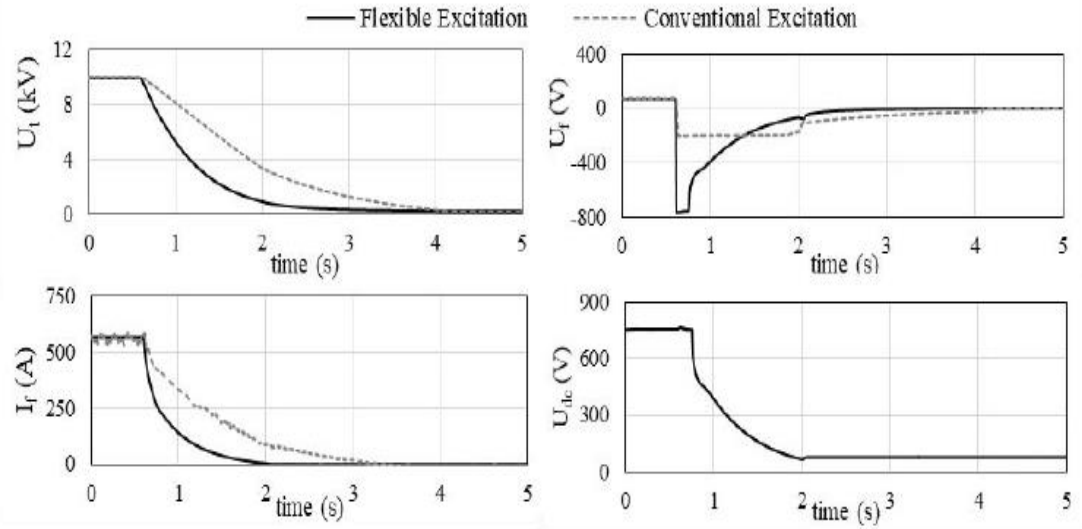

Figure. 5 Comparison of field discharge testing results

ويعطي شكل (6) نتائج اختبار الاستجابة لتغير كبير وذلك بتغيير قيمة ضبط الجهد المرجعي reference set pointبمقدار 20% والشكل يوضح كيف أن الجهد الأقصى ceiling voltage الملاحظ في U_f أكبر بكثير من جهد السقف في حالة نظام تغذية الأقطاب التقليدي أثناء خطوة الزيادة(الرفع)step up ، وبالإضافة إلى ذلك ، فإن نتائج التذبذب في جهد وصلة التيار المستمر معطاة في شكل (7)،وهي توضح أن التحكم في اتزان جهد التعادل والتحكم الأمامي مهمة وفعالة في المحافظة على ثبات جهد وصلة التيار المستمر والتي فيها يكون ΔU_{dc}هو مقدار التذبذب في جهد وصلة التيار المستمر ، ويكون $\Delta U_{dc_f_n}$ هو تذبذب جهد التعادل الدائرة الأمامية ، ويكون $\Delta U_{dc_b_n}$ هو تذبذب جهد تعادل الدائرة الخلفية

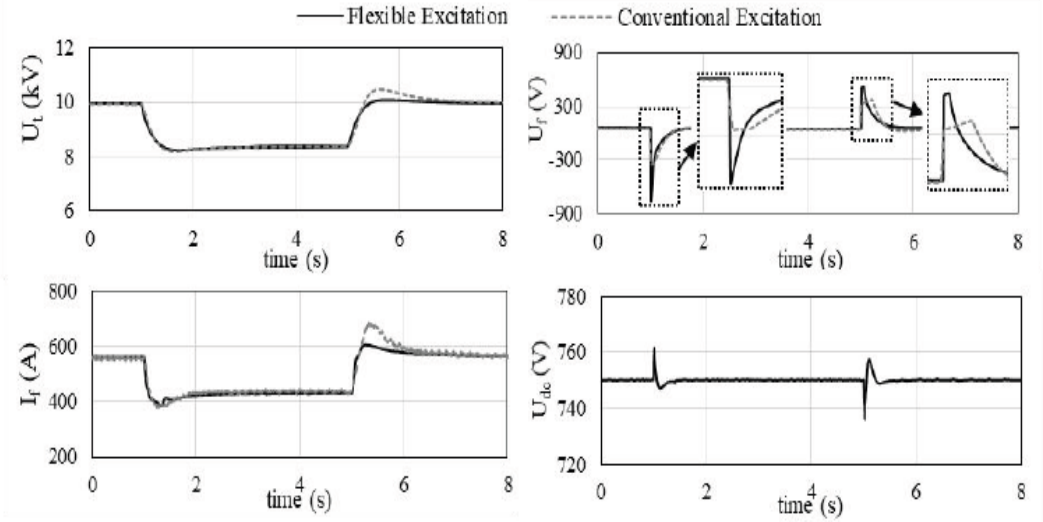

Figure. 6 Comparison of large signal response testing results

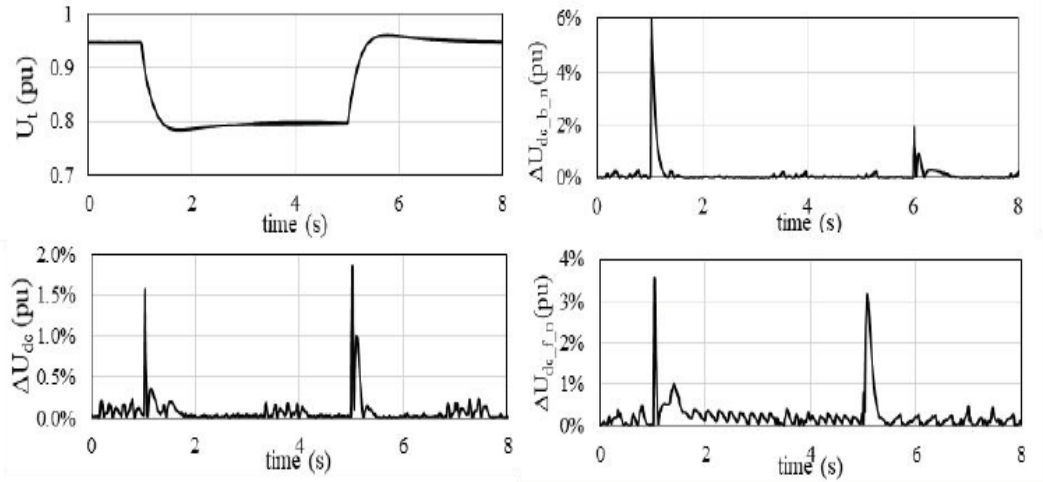

Figure. 7 DC-link voltage fluctuation results in large signal response testing

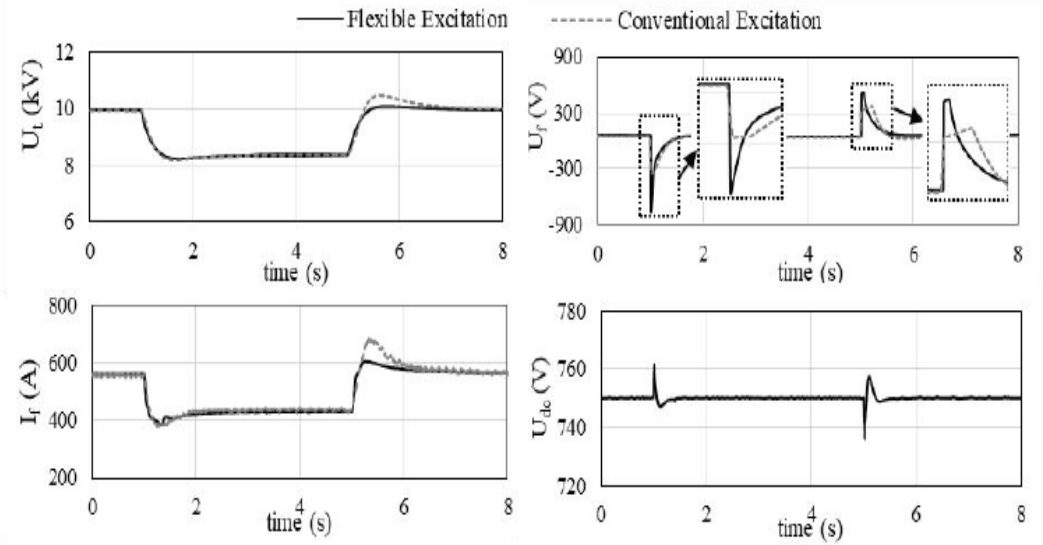

Figure. 6 Comparison of large signal response testing results

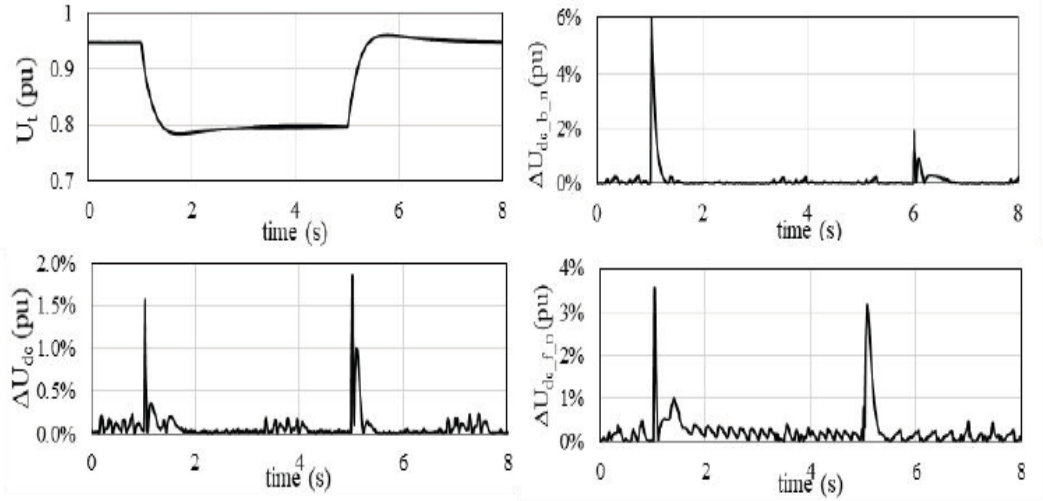

Figure. 7 DC-link voltage fluctuation results in large signal response testing

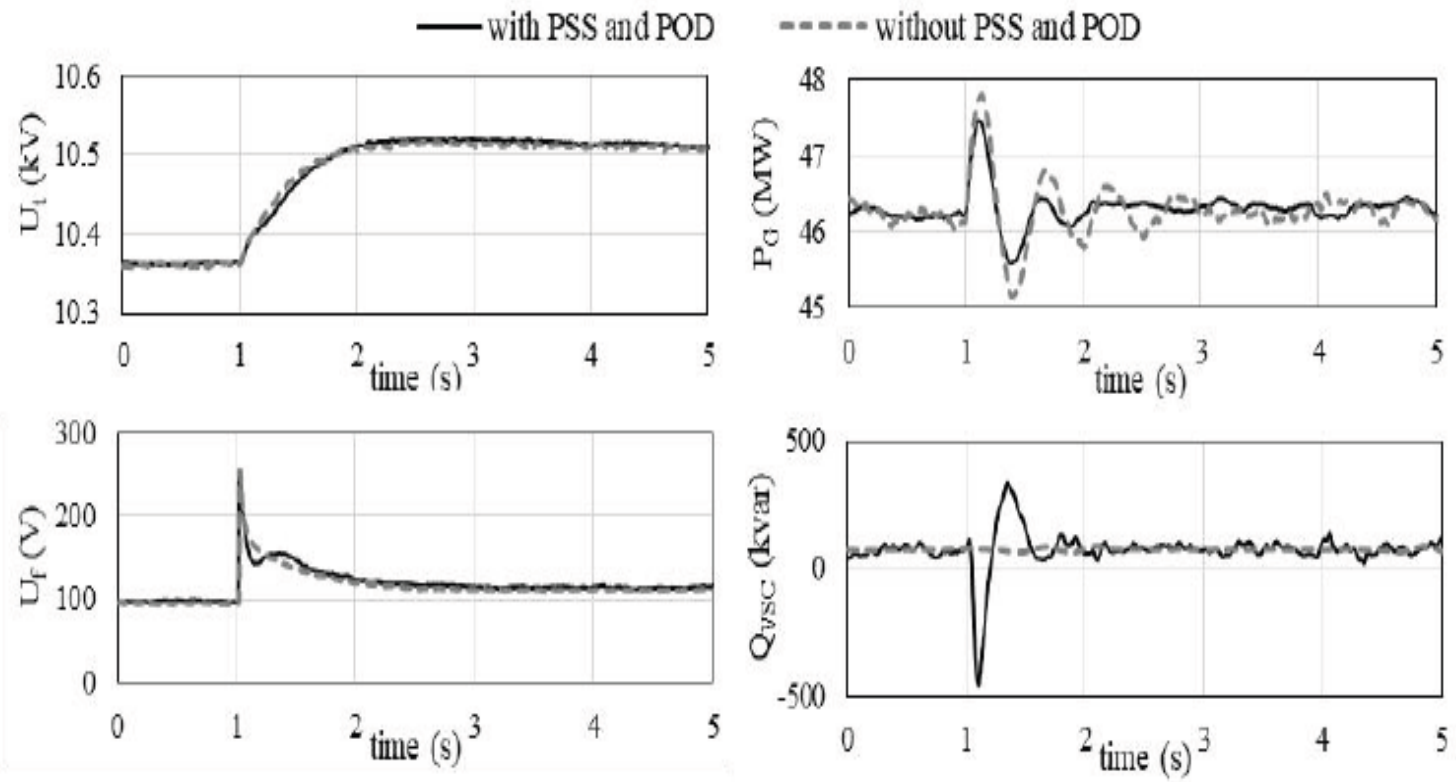

Figure. 8 Comparison of small signal stability testing results