جهود عالمية لتحسين أداء نظم القوى الكهربائية من خلال الإستفادة من منظومات التيار الكهربائي المتناوب المرنة FACTS

إستشاري دكتور مهندس / محمود سرى طه

منذ العقود الأخيرة من القرن الماضى بذلت جهود بحثية كبيرة في أنحاء متعددة من العالم لتحسين أداء نظم نقل الطاقة الكهربائية بخطوط التيار المتناوبAC وذلك من خلال استخدام مهمات أشباه الموصلات "Semi conductors" السريعة وبالأساس صمامات الثايرستور "Thyristor" والمهمات المرتبطة بها، وكان أغلب هذه الأبحاث داخل الولايات المتحدة حيث برز للوجود تعبير أو مصطلح جديد حيث يشار إلى نظم النقل هذه (أي التيار المتناوب) والمدمج معها مهمات الكترونيات القوى "Power Electronics" بالتعبير أو مصطلح "نظم النقل بالتيار المتناوب المرنة "facts" وهو إختصار للتعبير (Flexible A.C Transmission System) ويبين لنا الشكل (١) فكرة هذه التقنية ببساطة شديدة فالمعروف ان القدرة الكهربائية المنقولة بين نقطتين (أو طرفين) تحددها المعادلة التالية:

$$P_T = \frac{V_1.V_2}{X_{1-2}}.Sin(\delta_1 - \delta_2) \quad .....(1)$$

حيث أن

- P_T هي القدرة المنقولة بين الطرفين.
- V_2 , V_1 هما الجهد الكهربي عند هذين الطرفين.
- X_{1-2} هي المفاعلة الكهربائية Reactance بين هذين الطرفين.
- δ_2 ، δ_1 هما زوايا الإزاحة Shift angles لجهدي الطرفين.

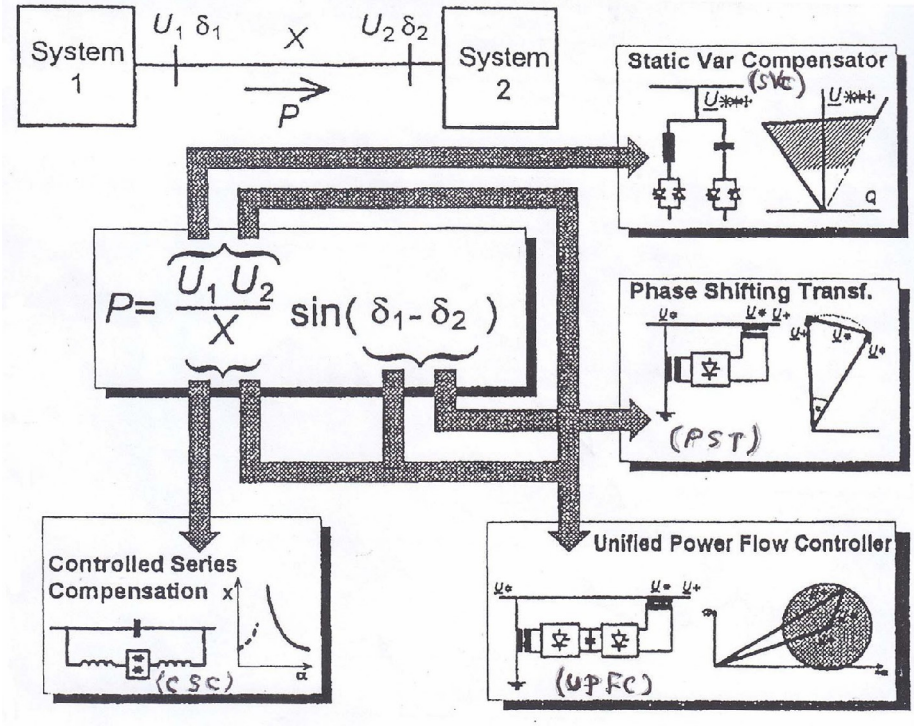
وعلى ذلك يمكن من خلال التحكم في معامل Parameter واحد – أو أكثر– من الطرف الأيمن لهذه المعادلة – زيادة سعة نقل القدرة الكهربائية بين الطرفين ومن هنا ظهرت فكرة تقنية "منظوم التيار المتناوب المرنة" والمعروفة بالإختصار FACTS.

وعلى الرغم من أن إستخدام هذه التقنية من شأنه تحسين – وبدرجة كبيرة – فى إستطاعية (أو مقدرة Capability) نقل القدرة خلال هذه المنظومة إلا أن الدافع الرئيسي لإنتقاء هذه التقنية وتوسيع إستخدامها كان أساساً للإستفادة القصوى لمهمات نقل الطاقة الكهربائية (من خطوط هوائية – كابلات ... الخ) القائمة أصلاً "Existing" وذلك نتيجة القيود البيئية الخاصة والمسماه "حق المرو" أو حق الطريق Right of Way (R.O.W.) في دول أمريكا الشمالية.

وبالنسبة لمنظومات "FACTS" فإن مهمات إلكترونيات القوى تزودها بإمكانية التحكم السريع والدقيق لواحد أو أكثر من معاملات "Parameters" منظومة التيار المتناوب (داخل النظام المتزامن Synchronous System) ومن ثم يمكن تحسين قيمة (أو أصول) معدات منظومة النقل بالتيار المتناوب – وبشكل كبير وتتضمن هذه المعاملات [أنظر الشكل ١] كلاً من:

- الجهود الكهربائية Elec.Voltages
- ممانعة منظومة النقل Transmission Impedance
- التيار الكهربائي Electric Current
- كل من القدرة الفعالة Active والردية Reactive

وحيث أن تكلفة مهمات هذه التقنية مبدئياً تتراوح ما بين ١٠% إلى ٣٠% مقارنة بنظيرها من مهمات النقل بحلقات التيار المستمر "HVDC Links" لنفس حجم (كمية) الطاقة المنقولة لذلك تعتبر تقنية "FACTS" البديل المفضل (لنقل الطاقة الكهربائية ما بين نقطتين) في الحالات التى لا تمثل فيها التغيرات فى التردد "Frequency" مشكلة أو فى الحالات التى لا تكون فيها مسافة النقل طويلة جداً (والتى يصاحبها فقد كبير فى الطاقة).



شكل ١- الفكرة التى نبعت منها تقنية FACTS

هذا وعلاوة على زيادة سعة نقل القدرة الكهربائية بين أى نقطتين فإن تأثير مهمات إلكترونيات القوى "Power Electronics Equipment" يمتد ليشمل مدى أوسع منها:

- كبت تأرجحات الأعضاء الدوارة للمولدات الكهربائية داخل النظام "Damping Generation's Rotor Oscillations"
- المركبات التوافقية
- التحكم فى تدفق القدرة فى الحالة المستقرة "Steady – State Flow Control"
- الإتزان العابر "Transient Stability"
- الإتزان الجهدى "Voltage Stability"
- التأرجحات ذات التردد أقل من المتزامن "Subsynchronous Oscillations"

١- مكونات ومهمات تقنية FACTS

بالرجوع إلى الشكل (١) نجد أن مكونات تقنية FACTS هى فى الحقيقة التى تتحكم فى كل من: الجهود الكهربائية – ممانعة خط القدرة Transfer Impedance، زاوية النقل وذلك بهدف تحسين أداء منظومات النقل بالتيار المتناوب HAVC ولكن وكما نعلم جميعاً فإن المكونات التقليدية مثل: السعويات الموصلة على التوالي Series Capacitances، أجهزة التحكم التقليدية في الجهد الكهربي .... ألخ، يمكنها أن تقدم لنا نفس المزايا، فلماذا إذن الحاجة إلى مهمات إلكترونيات القوى؟

والإجابة على هذا التساؤل هو أن ميزة إستخدام مهمات

مبنية على إلكترونيات القوى أنه يمكن إجراء عمليات الفصل / التوصيل Switching بسرعة كبيرة جداً والتي قد تكون كثيرة التكرار بشكل كبير جداً كذلك، وهذا من خلال إستخدام تحكم دائرة تيار مستمر D.C. Control كما يمكننا تغيير خصائص التحكم للمنظومة بسهولة وسلاسة.

هذا ويبين لنا الجدول (١) مقارنة بين المهمات المستخدمة في تقنية FACTS (أى تلك التى تستخدم إلكترونيات القوى) والمهمات التقليدية المستخدمة لتحسين أداء نظم نقل الطاقة الكهربائية.

جدول ١- مقارنة بين
مهمات تقنية FACTS (أى التى تستخدم إلكترونيات القوى) والمهمات التقليدية لتحسين أداء نظم القوى الكهربائية

م	الوظيفة المطلوب أدائها	مهمات تقليدية	مهمات FACTS
١	خفض معاوقة خط نقل الطاقة الكهربائية	Sr C	TCSC
٢	التحكم في الجهد الكهربي (من خلال التحكم في القدرة الردية)	RC	SVC, SELF SVC
٣	التحكم في سريان القدرة الفعالة P	SDR	TSDR
٤	التحكم في سريان كل من القدرة الفعالة P والردية Q	---	FWG,SMES Back-to-Back
٥	التحكم في زاوية الطور(الوجه)	PS	HSPS
٦	قاطع الدائر السريع Circuit-Breaker (C.B)	---	TCB

حيث أن:

- مكثف يوصل على التوالي مع الخط
Sr C = Series Capacitor
- مكثف على التوالي وبتحكم ثايرستور
TCSC = Thyristor – Controlled
- المعوض الاستاتيكي للقدرة الردية
SVC = Static Var Compensator
- منظومة مكثف متزامن (للتحكم في الجهد)
RC = Synchronous – Capacitor
- مقاومة الإخماد للمنظومة
SDR = System Damping Resistor
- مقاومة الإخماد (الكبت) للمنظومة وبتحكم ثايرستور
TSDR = Thyristor – Controlled System Daming Resistor
- معوض استاتيكي للقدرة الردية بإبدال ذاتي
SELF SVC = Self – Commutated Static Var Compensator
- مولد (متغير السرعة) ومزود بحدافة
FWG = Fly – Wheel Generator
- تخزين الطاقة المغناطيسية بإستخدام تقنية التوصيلية الفائقة
SMES = Superconducting Magnetic Energy Storage
- مغير الزاوية الطورية (الوجهية)
PS = Phase Shifter
- مغير الزاوية الطورية عالى السرعة
HSPS = High – Speed Phase Shifter
- قاطع دائرة بتحكم ثايرستور
TCB = Thyristor – Controlled Circuit Breaker

٢ – امكانية تقنية FACTS وأوجه الشبه والإختلاف بينها وبين كل من مهمات تحسين الأداء التقليدية ومهمات حلقات التيار المستمر HVDC

يمكننا إعتبار التصنيف الموسع لمنظومات نقل الطاقة الكهربائية المعقدة على الجهد العالى كما يلى:

أ – خطوط طويلة لنقل كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية المولدة.

ب – خطوط طويلة لنقل كميات كبيرة من الطاقة بين مراكز للأحمال الكهربائية.

ج – تشغيل مكثف (تحت اجهاد أو ضغط Stressed) لخطوط نقل قائمة Existing.

د – تشغيل حلقي Loop Operation داخل منظومات نقل للطاقة ضخمة High Bulk Transmission.

وأى حدوث لعطل Fault عنيف على أي من هذه المنظومات فالمحتمل أنه يمثل تهديداً خطيراً لحالة إتزان Stability للنظام الكهربي، إلا انه ومع بزوغ تقنية FACTS – اتيحت بعض الحلول المؤثرة لمشاكل تشغيل النظم الكهربائية AC Systems وعلى سبيل المثال توفر هذه التقنية فرصاً لتحقيق ما يلى:

- التحكم فى سريان (تدفق) القدرة الكهربائية بحيث تتدفق خلال مسالك (ممرات Routes) مجددة.
- زيادة سعة التحميل Loading Capacity لخطوط نقل الطاقة الكهربائية.
- منع حالات الإظلام Blackouts وذلك من خلال الحد من قيمة التيار الكهربي وفصل الخطوط الحرجة Critical.

– تحسين إنتاجية توليد الطاقة الكهربائية من زيادة مشاركة المولدات Increased Sharing Of Generation .

– الاستخدام الفعال لأنشطة الاحلال والتجديد لمهمات النظم الكهربائية.

– خفض حجم القدرة الردية الدوارة
Circulating Reactive Power

وبالمقارنة بحلقات التيار المستمر HVDC Links نجد أن الفارق الجوهرى بين تقنية FACTS وبين تقنية النقل بحلقات التيار المستمر هو أن الأولى FACTS لا يمكنها نقل الطاقة الكهربية عبر مسافات جغرافية (ألف كيلو متر مثلاً) وبشكل عام تعتبر تقنية FACTS الخيار المفضل فى الحالات التى لا تمثل فيها التغيرات فى التردد مشكلة ولا تكون مسافة النقل طويلة جداً والحقيقة فإن تقنية FACTS تقوم حالياً بفتح أسواق جديدة والتى هى ليست قابلة لتطبيق ناجح لتقنية HVDC ومن ثم تكون كل من التقنيتين تكمل إحداهما الأخرى.

أما المفاضلة بين منظومة HVDC ومنظومة HVAC ينبغى أن تكون على أساس المتطلبات المحلية لمنظومة النقل أو الربط الكهربي.

٣ – الحاكمات FACTS CONTROLLERS

أصبح هناك مدى واسع من الحاكمات والتى تستخدم مع منظومات FACTS مثل:

١– المكثفات (السعويات) المتوالية (الموصلة على التوالى مع خط النقل) والتي يتحكم فيها (أى فى قيمة السعوية) الثايرستور.
Thyristor Controlled Series Capacitors ($TCSC_S$)

٢ – مكثفات الفصل والتوصيل المتوالية والتى يتحكم فى فصلها وتوصيلها الثايرستور.
Thyristor Switched Series Capacitors (TSC_S)

٣– المفاعلات المتوالية والتي يتحكم فيها (أى قيمة المفاعلة) الثايرستور.
Thyristor Controlled Series Reactors ($TCSR_S$)

٤– مفاعلات الفصل والتوصيل المتوالية والتي يتحكم فيها الثايرستور.
Thyristor Switched Series Reactors (TSR_S)

٥– حاكمات سريان القدرة الموحدة
Unified Power Flow Controllers (UPFC)

٦– حاكمات الزوايا البينية
Inter – Phase Power Controller (IPPC)

٧– المعوضات الاستاتيكية للقدرة الردية
Static VAR Compensators (SVC)

٨– المولدات الاستاتيكية للقدرة الردية
Static VAR Generation (SVG)

٩– محددات الجهد الكهربي والتي يتحكم فيها الثايرستور
Thyristor Controlled Voltage Limiters

١٠– مقاومات القطع بتحكم ثايرستور
Thyristor Controlled Breaking Resistor

هذا وتوفر تقنية FACTS الفرصة لتحقيق الأهداف التالية:

١– التحكم في سريان القدرة بحيث تتدفق خلال مسالك Routes محددة (وهذا الهدف فى غاية الأهمية بالنسبة للدول المرتبطة كهربائياً).

٢– زيادة سعات تحميل خطوط نقل الطاقة الكهربائية.

٣– منع حالات الإظلام التام Blackout الحد من قيمة التيار الكهربائي الساري في الخطوط ومن ثم الحد من حالات فصل الخطوط (وبالاخص الخطوط الحرجة Critical Lines).

٤– خفض القدرة الردية الدوارة Circulating Reactive Power

ونشير هنا إلى أن من بين الحاكمات المذكورة نجد أن الحاكمات المذكورة في البند (٥) ونعنى بها "حاكمات سريان القدرة الموحدة" وحاكم (UPFC) هذا يتكون من محول توازى مع محمول توالى ويتم الربط بين المحولين من خلال مقومات ذات إمكانية إطفاء الاشعال (البوابة) والتى يطبق عليها مقومات Gate – Turn Off (GTO)، ووحدة UPFC هذه لها إمكانية تغذية جهد كهربي على التوالي (Longitudinal Voltage) وكذلك زاوية طورمتغيرين – إلى خط النقل ومن ثم يمكن التحكم بذلك فى كل من القدرة الفعالة Active Power والقدرة الردية Reactive Power فى

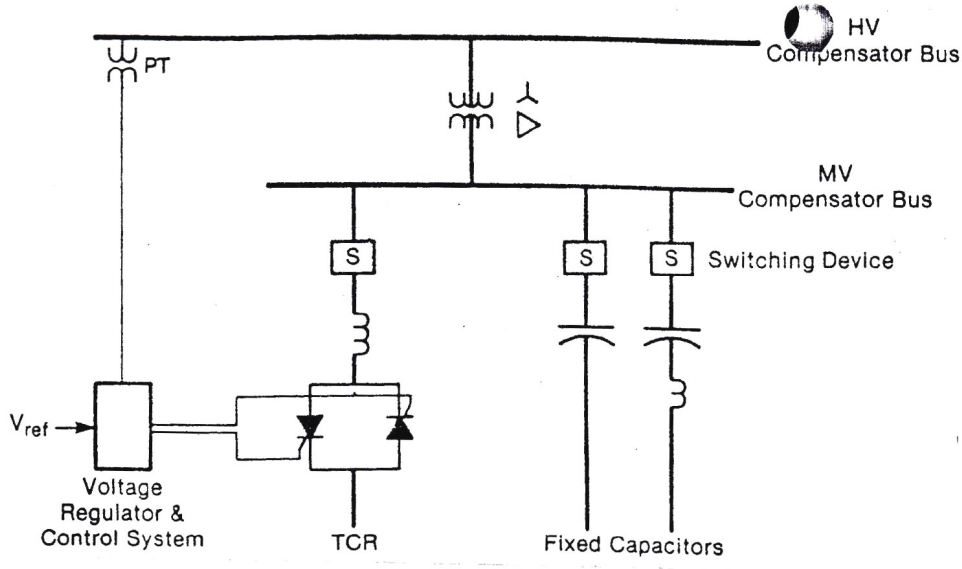
الشبكة الكهربائية عند نقطة النهاية Termination Point.

والحقيقة فإن هذا الحاكم UPFC يعتبر أكثر الحواكم تقدماً نظراً لأنه يمكنه التحكم في ثلاث معاملات وبشكل مستقل وهذه المعاملات Parameters هي:

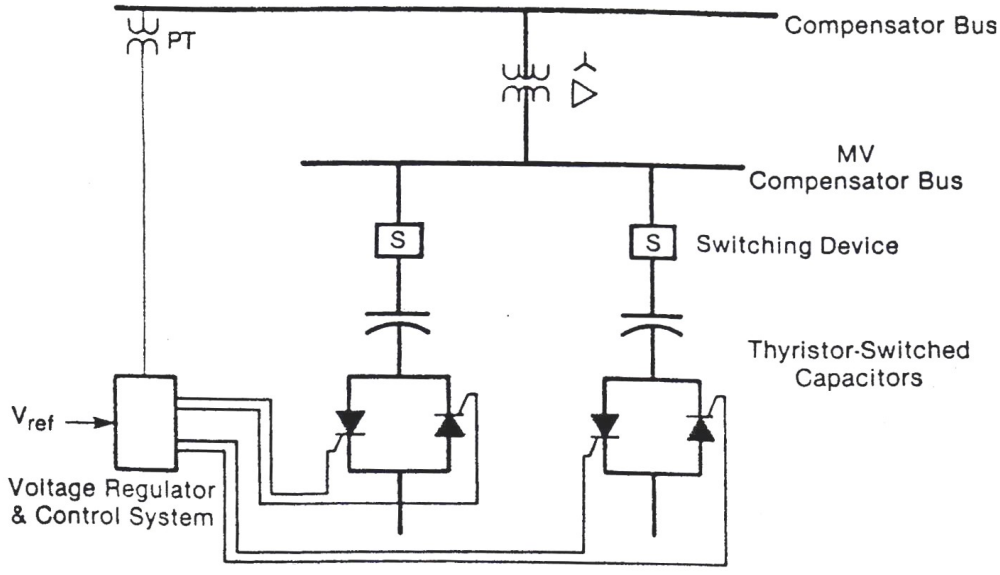
١- قيمة (سعة Amplitude) وكذلك زاوية الوجه للجهد الكهربي (أو التيار الكهربي) الذى يحقن Injected في خط النقل من خلال محول التوالي Series Transformer.

٢ – هو قادر على التحكم فى سريان كل من القدرة الفعالة والقدرة الردية نتيجة لذلك بشكل مستقل.

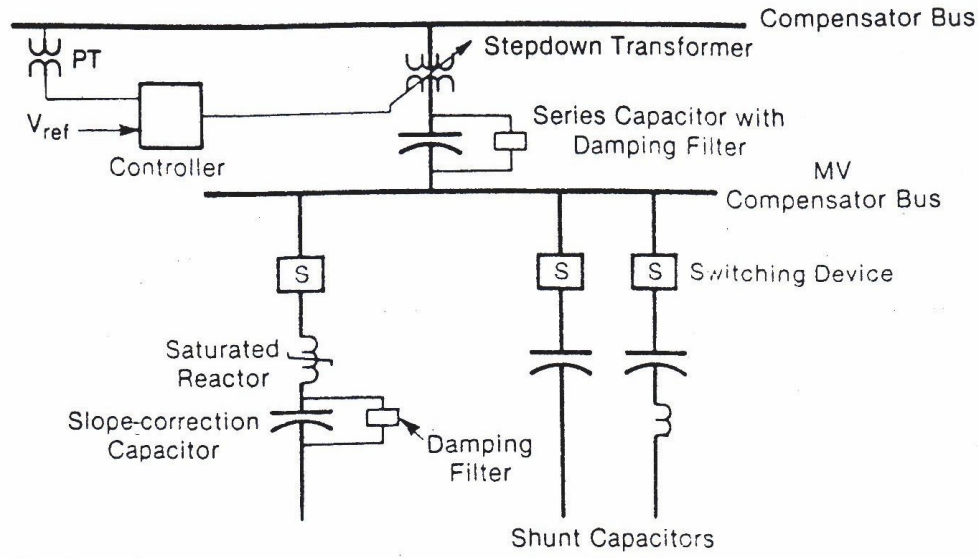
٣ – يمكن لهذا الحاكم أن يتحكم فى الجهد الكهربي للخط بالنسبة للأرض Line -To – Ground Voltage من خلال المقوم Converter الموصل إلى محول التوازى Shunt Transformer وتبين لنا الأشكال (من رقم ٢ إلى رقم ٤) رسومات مبسطة للحواكم المشار إليها سابقاً.



شكل ٢– معوض للقدرة الردية من نوع **TCR** مع سعويات توازي ثابته



شكل ٣– معوض للقدرة الردية من نوع **TSC**



شكل ٤– معوض القدرة الردية من نوع " المفاعل المشبع مع سعويات تصحيح وسعويات على التوازي

٤– تصنيف مهمات تقنية FACTS وفقاً لإمكاناتها لتحسين أداء النظم الكهربائية

يمكن تصنيف مهمات FACTS ووفقاً للقدرة علـــى أداء الوظائف Functions الحاكمية المختلفة إلى ستة مجموعـــات وهي:

١– خفض معاوقة Impedance خط النقل (أو الربط).

٢– التحكم في الجهد الكهربي

٣– التحكم في سريان القدرة

٤– التحكم في كل من الجهد والقدرة

٥– التحكم في زاوية الطور (الوجه)

٦– التخلص السريع من الأعطال FAULTS

وهذه الوظائف يمكن أن تؤديها المهمات التقليدية – كما هو مبين بالجدول (١) مثل:

١– مكثف (سعوية) توصل على التوالي مع خط النقل
- A Series Capacitor (S_r C)

٢– مكثف متزامن **- Synchronous Capacitor (RC)**

٣– مقاومة لخمد التأرجحات (الإهتزازات)
- System Damping Resistor (SDR)

٤– مزيج (إزاحة) الزاوية الطورية **- Phase Shifter (PS)**

أو تؤدى هذه الوظائف من خلال مهمات تقنية **FACTS** وهي:

١– مكثف على التوالى على الخط وبتحكم ثايرستور
- Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC)

٢– معوض استاتيكي للقدرة الردية وابدال لتيار الخط
- Line – Commutated Static (VAR), Compensator (SVC)

٣– معوض استاتيكي للقدرة الردية مع ابدال (من المتناوب إلى المستمر) ذاتي التيار مع خاصية إطفاء
- Self – Commutated Static VAR Compensator with GTO (Self SVC)

٤ – مقاومة للإخماد بتحكم ثايرستور
- A Thyristor Controlled System damping Resistor (TSDR)

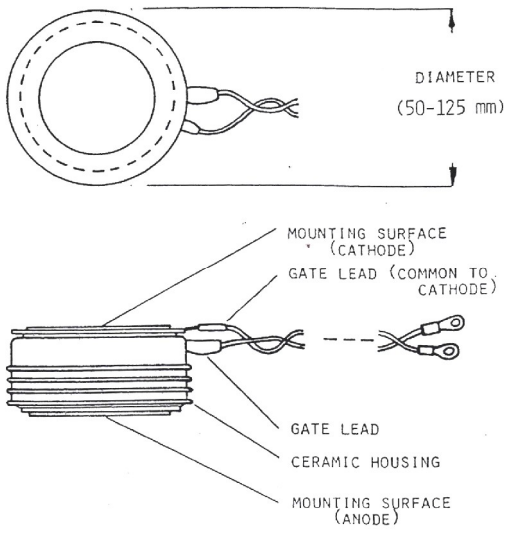
٥– مولد محرك متغير السرعة ومزود بحذافة
- An Adjustable – Speed Generator / Motor with Flywheel (FWG)

٦– تخزين الطاقة المغناطيسية بإستخدام موصلات فائقة
- Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES)

٧– مغير الزاوية الوجهية عالى السرعة
- High Speed Phase Shifter (HSPS)

٨– قاطع دائرة بتحكم ثايرستور
- Thyristor – Controlled Circuit Breaker (TCB)

وكما ذكرنا فإن أهم ما يميز تقنية FACTS عن المهمات التقليدية هو سرعة عمليات الفصل والتوصـــيل ومـــن ثـــم سرعة أداء التحكم.



شكل ٦ – مخطط مبسط لتركيب وحدة ثايرستور

٥– الإستفادة من تقنيات FACTS في نظم توزيع وتسليم الطاقة الكهربائية

هناك – وكما نعلم حاجة كبيرة إلى تحسين نوعية Quality وكذلك درجة وثوقية Reliability Level والتغذية الكهربائية المقدمة لعملاء استهلاك الطاقة الكهربائية وعلى وجه الخصوص العملاء الصناعيين (وبعض العملاء التجاريين مثل البنوك وشركات خدمات نظم المعلومات على سبيل المثال)، وفعلاً إستجابت مؤسسات الكهرباء لذلك بدرجة كبيرة لدرجة أن معظم الأعطال الناتجة عن الصواعق Lightning أو الناتجة عن فصل / توصيل التيار Switching Events والتي قد تتسبب في إنخفاض الجهد الكهربي Voltage Dips كلها أصبح فى الإمكان التخلص منها خلال بضعة دورات Few Cycles، إلا أن المشاكل الأحدث التى أصبحت تواجه مؤسسات الكهرباء هى حاجة العملاء الصناعيين من الطاقة الكهربية أصبحت تتغير بسرعة كبيرة فعلى الرغم من أن العديد من عملاء استهلاك الكهرباء يتقبل فعلاً المستوى الطبيعي من معدل إنقطاع التيار إلا أن هناك عملاء آخرون لايمكنهم تحمل ذلك وعلى سبيل المثال المصانع التى تعمل بشكل آلى Automated والتى تعتمد بدرجة عالية على الأجهزة الحاسبة الكمبيوتر

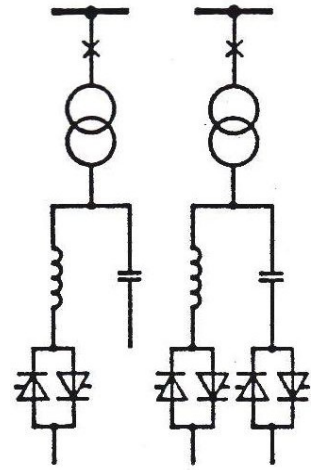


Fig.5A- Basic SCV – Schemes

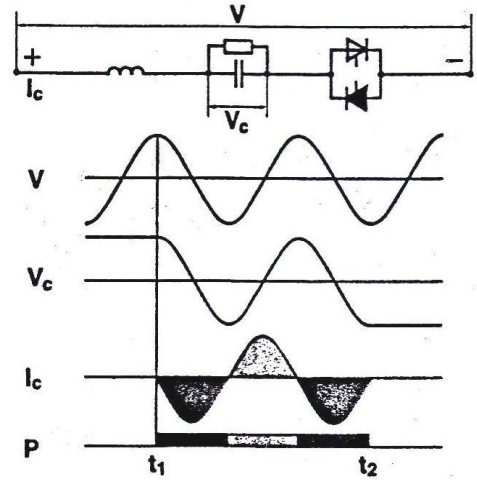
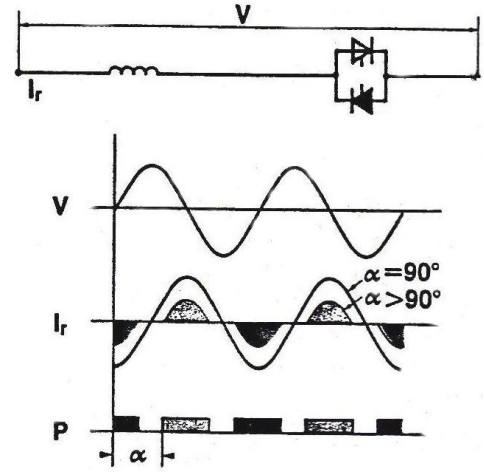


Fig. 5B - Mode of Operation of a Thyristor – Switched Capacitor (TSC)



Fig, 5C- Mode of Operation of a Thyristor-Controlled Reactor (TCR)

V	Network Voltage	P	Firing Pulse
V_C	Capacitor Voltage	t_1	Switching in of Capacitor
l_C	Capacitor Current	t_2	Switching out of Capacitor
lr	Reactor Current	α	Delay Angle

شكل ٥– نسق وأسلوب التشغيل (الأساسي) لمنظومات SVC – TCR – TSC

أو المصانع التى تستخدم عمليات تشغيلية متقدمة ودقيقة... الخ، وبإختصار فإن العملاء الذين لايمكنهم التغاضى عن إنخفاضات الجهد الكهربي بشكل متكرر– ولو للحظات قصيرة Few Cycles – كل مرة – عند حدوث الصواعق أو أحداث الفصل والتوصيل Switching.

وأحد التوجهات لمواجهة مثل هذه المشكلة هو أن يقوم كل عميل من هؤلاء بتركيب مهمات خاصة من جانبه وذلك لمواجهة تلك الاحداث، إلا أن هذا التوجه غير كفء بل مضيعاً للمال وعلى الأخص بالنسبة لعملاء الاستهلاك الكبار.

ومن جانب مؤسسات الكهرباء يمكنها تناول هذه القضية (المشكلة) من منظور منظومة المؤسسة والعملاء ككل ومن ثم تقدم تقنية إلكترونيات القوى Power Electronics لمؤسسات الكهرباء فرصة ممتازة لكي تسلم (توصل Deliver) طاقة كهربائية عالية الجودة وبمستوى وثوقية عال – إلى عملائها – على أساس مقابل مادى إضافى، وبطريقة مماثلة لتقنية FACTS يمكن لمؤسسات الكهرباء إستخدام واحد أو أكثر من حواكم إلكترونيات القوى للوصول إلى درجة النوعية المطلوبة من الطاقة الكهربائية لكل من يطلبها من عملائها الصناعيين والتجاريين.

وتتضمن هذه الحواكم Controllers كل (أو أى) من:

– قاطع دائرة من الجوامد
Solid – State Circuit Breaker

– محدد لقيمة التيار مصنوع من الجوامد
Solid – State Current Limiter

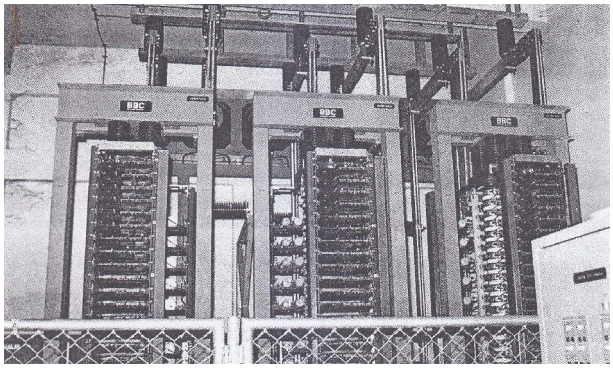
– مفتاح تحويل مصنوع من الجوامد
Solid – State Transfer Switch

– معوض إستاتيكي (للقدرة الردية)
Static Compensator

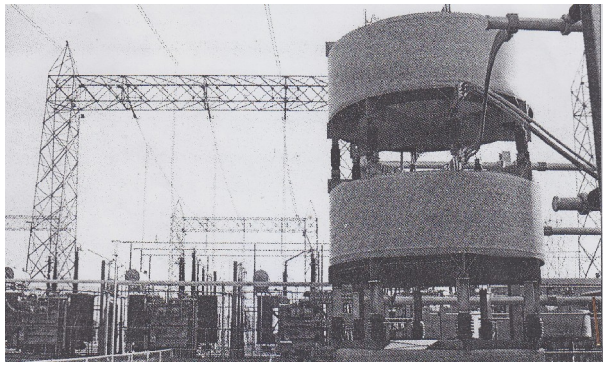
– معيد وضع – ديناميكي – للجهد الكهربي
Dynamic Voltage Restorer

– مرشح فعال Active Filter وهو مرشح يعمل بالتقنية الرقمية لمعادلة المركبات التوافقية Harmonics ... إلى آخر هذه المهمات.

ولقد أدت إحتياجات عملاء استهلاك الطاقة الكهربائية (من صناعيين– تجاريين – بنوك ..الخ) إلى مصادر للطاقة ذات مواصفات خاصة وتمخض عن ذلك مسمى جديد Customer Power والذى يتطلب تطويراً فى البنية التحتية Infrastructures للنظام الكهربي وما يقابل ذلك من حاجة مؤسسات الكهرباء إلى قاعدة للمعرفة Knowledge Basis.



شكل ٧– الشكل الخارجي لصمامات ثايراستور على أحد (واحد من إثنين) من معوضات القدرة الردية من نوع SVC



شكل ٨– الشكل الخارجي لملف مفاعل القدرة الردية من نوع SPLIT SVC

٦– استعراض لدراسة يابانية عن مدى فعاليات تقنية FACTS لتحسين أداء النظام الكهربائي في اليابان

فى اليابان اجريت دراسة لمعرفة مدى فعاليات كل من المهمات التقليدية ومهمات تقنية FACTS التي تستهدف تحسين اداء أجزاء من النظام الكهربائي اليابانى [٤] وتمخضت هذه الدراسة عن نتائج غاية في الأهمية وإليك استعراض لهذه الدراسة والنتائج المستخلصة منها وهي:

أولاً: في حالة زيادة القدرة الكهربائية المنقولة خلال خطوط نقل طويلة

١– للحفاظ على الإتزان المستقر Steady-State Stability

أصبح هنالك حاجة ضرورية لخفض معاوقة Impedance خطوط النقل وذلك من خلال التعويض المتوالى Series Compensation (بإستخدام المكثفات الموصلة على التوالى مع خطوط النقل)، وذلك حتى يمكن نقل كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية، إلا أن التخوف من حدوث الظاهرة المعروفة بالرنين عند تردد أقل من المتزامن Sub Synchronous Resonance – عند استخدام مكثفات متوالية ذات سعوية Capacitance أكبر من حد معين – يجعل مصممى تشغيل منظومة النقل يضعون حداً لإستخدام هذه الطريقة.

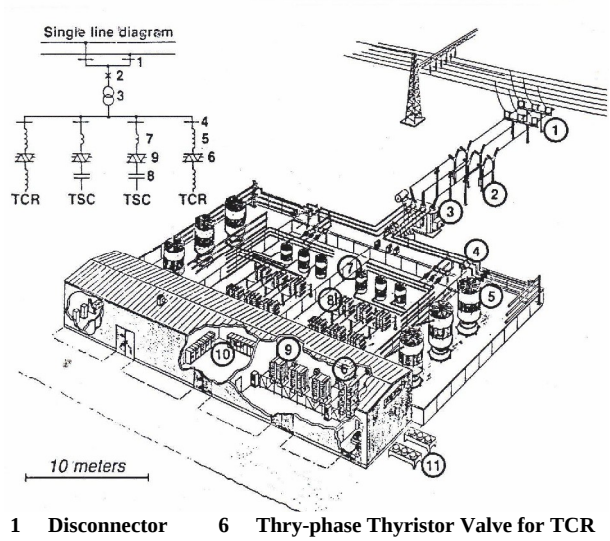
لذلك كان الحل الخاص بالتحكم في حجم (مقدار) هذه السعوية للمكثفات المتوالية بتحكم ثايرستور Thyristor Controlled Series Capacitors (TCSC) – والذى يجنب مشاكل حدوث هذه الظاهرة بل كذلك ظواهر اخرى غير مرغوب فيها – هو واحد من أكثر الأدوات فعالية لزيادة (لرفع) أقصى حد Max. Limit لنقل الطاقة الكهربائية.

٢- أمكن تجنب خروج المولدات الكهربائية عن التوافق Out Of Step فى منظومة النقل الطويلة (والتى كانت تحدث نتيجة لبعض الإضطرابات العنيفة فى النظام الكهربائي) وذلك من خلال تركيب المهمات:

- مولدات/محركات متغيرة السرعة والمزودة بحذافات (FWG)
- مقاومة الخمد المزودة بتحكم ثايراستور (TSDR)
- المغير الوجهى (الطورى) عالى السرعة (HSPS) ذات سعات (مقننات Capacities) أقل من السعات المطلوبة لمهمات تقنية FACTS الأخرى (ومن ثم أقل تكلفة).

ومن ذلك نرى أن من مهمات التحكم فى كل من القدرة الفعالة والقدرة الردية وزاوية الوجه يمكن أن تحسن وضع الإتزان العابر **Transient Stability** لهذه المنظومة (شكل١٠).

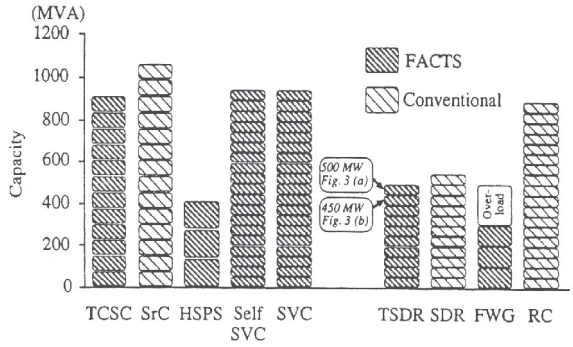
٣- وجد ان المولدات / المحركات متغيرة السرعة والمزودة بحذافات FWG ذات فائدة فيما يتعلق بتسهيلات Facilities التحكم فى كل من الجهد والقدرة Power الكهربائية وكذلك إمكانية التحميل الزائد Overloading لفترة قصيرة، وخفض زمن الفصل / التوصيل Switching Time للمهمات أمثال المكثفات Sr C – مقاومة إخماد المنظومة SDR وهي مهمات تقليدية – كما سبق أن ذكرنا – فإن هذا إجراء هام بالنسبة لإستعادة الإتزان للنظام الكهربي بعد التخلص من العطل Fault Clearance.



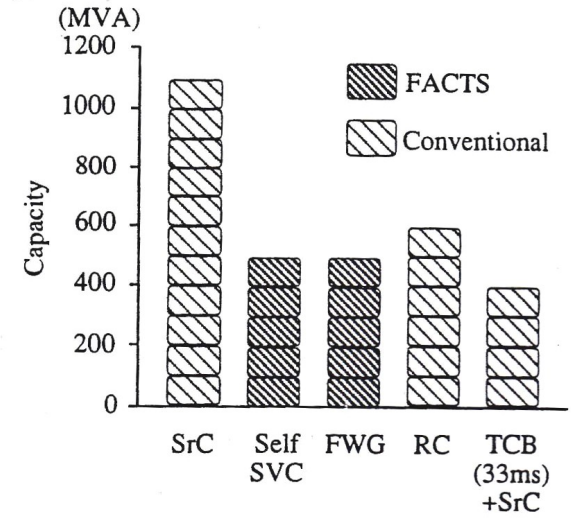
1	Disconnector	6	Thry-phase Thyristor Valve for TCR
2	Circuit-Breaker	7	Damping Reactor for TSC
3	Transformer	8	Capacitor- banks
4	Disconnector	9	Single-phase Thyristor Valve for TSC
5	TCR-Reactor (Air Core)	10	Control Equipment
		11	Heat Exchanger

شكل ٩- مخطط لتركيب مهمات SVC اللازمة لتحسين أداء احد النظم الكهربائية

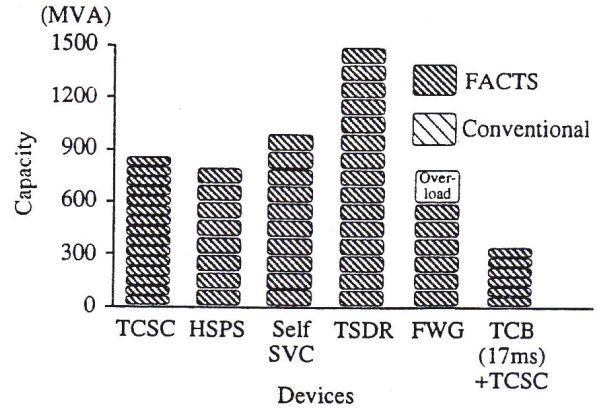
٤- بعد خفض زمن التخلص من العطل بإستخدام قاطع الدائرة يتحكم ثايرستور TCB فإن هذا يمكن أن يساهم فى تحسين الوضع بالنسبة للإتزان العابر للنظام الكهربي إلا ان هذا التأثير يبدو ضئيلاً.



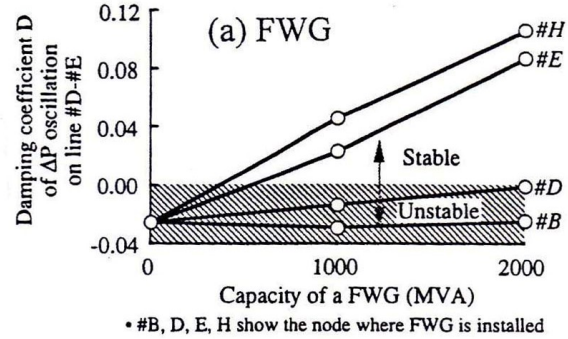
شكل ١٠- السعات (المقننات) المطلوبة لإعادة الإتزان (لتحقيق الإتزان) لمنظومة الكهرباء اليابانية (أ) (فى حالة زيادة نقل طاقة مولدة عبر خطوط طويلة)



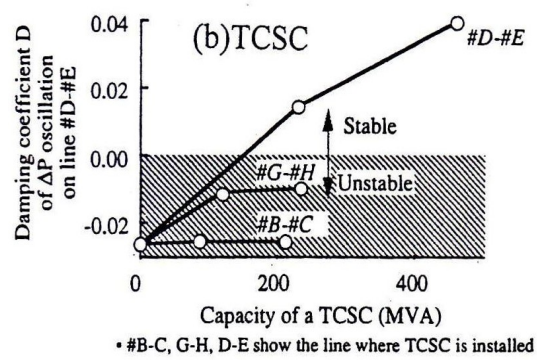
السعات (المقننات) المطلوبة لتحقيق الإتزان للمنظومة (جـ)
حالة زيادة الطاقة المنقولة عبر خطوط ربط رئيسية عبر مسافات طويلة



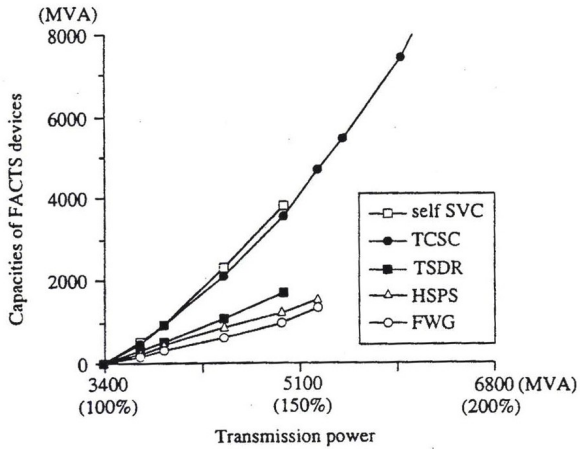
السعات (المقننات) المطلوبة لتحقيق الإتزان للمنظومة اليابانية (د) حالة منظومة
حلقية وخطوط نقل طويلة



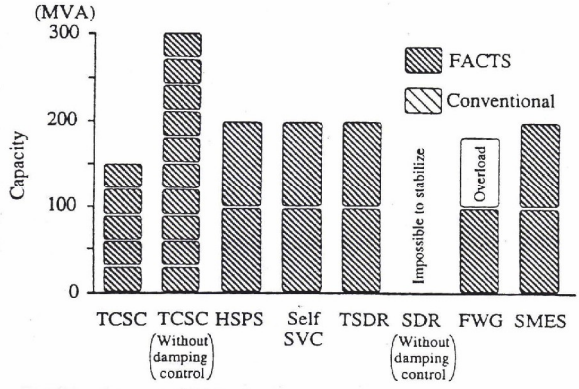
سعة (مقنن) منظومة الحذافة FWG مع بيان مواقع تركيب هذه المنظومة
(FWGهى أحدى مهمات FACTS)



سعة منظومة FWG (إحدى مهمات تقنية FACTS) مع بيان مواقع تركيبها



شكل ١١- النسب المئوية لسعات مهمات FACTS المختلفة للوصول إلى أقصى
طاقة منقولة لنفس حالة الشكل (١٠)



شكل ١٢- السعات (المقننات) المطلوبة لتحقيق الإتزان لمنظومة الكهرباء اليابانية
(ب) من خلال التحكم في معامل الإخماد

* ملاحظة: الرجاء الرجوع إلى الجدول (١) لتعريف المصطلحات الواردة بهذا الشكل

ثانياً : في حالة الرغبة للسيطرة على إخماد النظام

System Damping Control

١- عند المقارنة بين وسائل تقنيات FACTS (علـــى أحـــد

أجزاء الشبكة الكهربية اليابانية) وجد أن السعة المطلوبة لمنظومة FWG هى الأقل بين مهمات FACTS الأخرى فى حالة الأخذ فى الإعتبار التحميل الزائد لفترة قصيرة Short Term Overloading فقدرة التحكم أو السيطرة على الإخماد لأداة التحكم فى زوايا الوجه Phase-Control مثل إدارة الإزاحة الطورية (الوجهية) عالية السرعة HSPS (الشكل ٥)، كذلك مهمات التحكم فى القدرة الفعالة والقدرة الردية مثل مهمات المولدات / المحركات المزودة بحذافات FWG تتمتع كلها بمزايا فائقة (فى مجال إخماد التأرجحات) تفوق الأدوات الأخرى المعروفة (شكل ٨)

٢- عند إستخدام المقاومة – والمزودة بتحكم ثايرستور TSDR بهدف زيادة إخماد المنظومة الكهربائية وجد أن السعة الحرارية Thermal Capacity للمقاومة تمثل عاملاً محدداً لإستخدامها.

ثالثاً: في حالة الحاجة لزيادة الطاقة المنقولة على خطوط نقل رئيسية عبر مسافات طويلة

وجد أن سعة مهمات التحكم فى الجهد الكهربي هى أقل من سعة المهمات حيث يعتمد الإتزان على سلوك (أداء) الأحمال الكهربائية (الخصائص الديناميكية للأحمال) وعلى وجه الخصوص فإن مقدرة التحكم في القدرة الردية Reactive Power لأداة FWG تبدو أنها ليست أقل بأى حال من مقدرة المعوض الإستاتيكي للقدرة الردية SVC.

رابعاً: في حالة النقل من خلال منظومة حلقة Loop System ذات جهد عال مع خطوط طويلة

١-وجد ان نتائج تحليل الوضع بالنسبة للإتزان العابر يماثل الحالة المذكورة بالبند أولاً، إلا أن سعة (مقنن) مهمات SVC المطلوبة كانت أقل من سعة أداة TSDR (شكل ١٠)

٢- أما إذا كان التحكم فى القدرة الفعالة ضرورياً فإن كل من مهمات HSPS وكذلك TCSC تكون فعالة فى أداء ذلك الهدف.

٣- عند الأخذ في الإعتبار نقاط (مواقع) تركيب مهمات تقنية FACTS المستخدمة لزيادة الإخماد فقد أمكن التوصل إلى النتائج التالية:

– أن المهمات المركبة على التوازى Shunt Devices هى أكثر فاعلية فى الإخماد عند تركيبها عند حافة Edge المنظومة، وعلى العكس من ذلك فإن تركيب المهمات قريبة من النقطة المركزية للتأرجحات Central Point Of Oscillations يكون غير فعال.

– أن المهمات المركبة على التوالى تكون فعالة فيي عملية الاخماد عند تركيبها عند النقطة التى عندها يكون التغير فى التدفق Flow خلال الخط ذى تأثير فى العديد من المولدات الكهربائية.

٧- أبحاث أخرى (إضافة إلى) تقنية FACTS لنقل الطاقة الكهربائية بخطوط التيار المتناوب

– منذ العقود الأخيرة من القرن الماضي بذلت جهود بحثية فى أنحاء كثيرة من العالم تستهدف تحسين أداء نظم النقل / الربط بخطوط التيار المتناوب من خلال إستخدام مهمات أشباه الموصلات السريعة – وعلى وجه التحديد الثايرستور والمهمات المرتبطة به إلا أن أغلب هذه الأبحاث تمت فى الولايات المتحدة حيث برزت للوجود تقنية FACTS.

– وكما ذكرنا أنفاً – أن بإستخدام تقنية FACTS – أمكن تحسين إستطاعية Capability نقل الطاقة الكهربائية لمنظم التيار المتناوب AC إلا أن الدافع الرئيسي لإختيار هذه التقنية كان أساساً هو الإستفادة القصوى من مهمات نقل الطاقة الكهربائية فعلاً كرد فعل للقيود الخاصة "حق الطريق او حق المرور" Right Of Way (R.O.W) أو Way Leave في دول أمريكا الشمالية.

– وعلى الرغم مما أثبتته الخبرة العلمية من رسوخ وجاذبية تقنية FACTS كمنظومة نقل/ ربط أكثر فاعلية وقادرة على الأداء الجيد للنظم الكهربائية AC Systems عند الحدود الحرارية Thermal Limits وحدود الإتزان Stability Limit ، حيث يتم ذلك من خلال التحكم الفعال لتدفقات Flows كل من:

– القدرة الفعالة P والقدرة الردية Q

– التحكم في معاوقة Impedance الخط

– التحكم في الزوايا الوجهية

– علاوة على التخلص السريع من الأعطال Faults

فإننا نود أن نشير – هنا – إلى الإتجاهات الأخرى – والتى تجرى فى العالم– للتوصل إلى تقنيات أخرى تستهدف التركيز على نقل الطاقة الكهربية لمسافات طويلة جداً (١٠٠٠ كم مثلاً أو أكثر) وبخطوط التيار المستمر نذكر منها:

– البحث فى إستخدام خطوط نقل مدمجة Compact Lines حيث تتقلص قيمة ممانعة الصدمة Surge Impedance لخط الربط ومن ثم زيادة إستطاعية نقل الطاقة على الخطوط الطويلة.

– إستخدام خطوط عديدة الاطوار (الأوجه Multiphase) ستة أطوار لزيادة إستطاعية النقل، كذلك – أو– فى حالة المسافات الطويلة جداً – الإستفادة من طول الخط يعادل حوالى (ربع) طول الموجه (المقابلة للتردد ٥٠ أو ٦٠ هيرتز) حيث تنخفض الفاقدات الكهربائية في الخط Transmission Losses إلى أقل ما يمكن.