



مدينة الملك عبدالعزيز
للعلوم والتقنية KACST

[19] المملكة العربية السعودية SA

مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية

[11] رقم البراءة: ٣٧١١

[45] تاريخ المنح: ١٤٣٦/٠١/٠٩ هـ

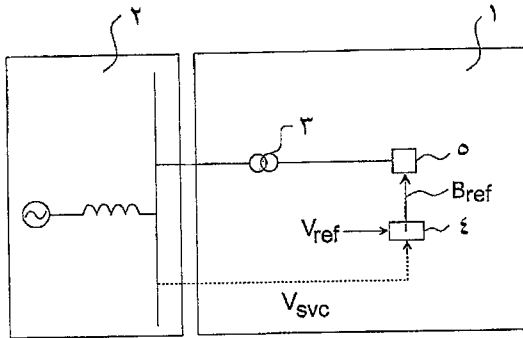
الموافق: ٢٠١٤/١١/٠٢ م

[12] براءة اختراع

[30] بيانات الأسبقية: EP بي سي تي آي بي ٢٠٠٩/٠٥٢٧٤٣ ٢٠٠٩/٠٣/٠٩ م [51] التصنيف الدولي (IPC⁸): H02J 003/000 [56] المراجع: US ٤١٢١١٥٠ ١٩٧٨/١٠/١٧ م US ٤٨٩٧٥٩٣ ١٩٩٠/٠١/٣٠ م EP ٤٣٨٠٥٩ ١٩٩١/٠٧/٢٤ م اسم الفاحص: حواس بن عبدالله محمد	[72] اسم المخترع: بجورن ثورفالدسون [73] مالك البراءة: ايه بي بي تكنولوجيا ايه جي عنوانه: ٤٤ افولتير نشتراسه، سي اتش- ٨٠٥٠، زيوريخ، سويسرا جنسيته: سويسرية [74] الوكيل: سعود محمد علي الشواف [21] رقم الطلب: ١١٠٣١٠٠٧٨ [22] تاريخ الإيداع: ١٤٣١/٠٢/١٠ هـ الموافق: ٢٠١٠/٠١/٢٥ م
---	---

[54] اسم الاختراع: جهاز تحكم، ومعوّض وطريقة قدرة مفاعلية

Control device, reactive power compensator and method



الشكل (١)

[57] الملخص: يتعلق الاختراع بجهاز تحكم control device ٤ للتحكم بمعوّض قدرة مفاعلية reactive power compensator ١ متصل بشبكة توليد قدرة كهربائية electric power network ٢ ومرتب لتزويد قدرة مفاعلية إلى شبكة توليد القدرة الكهربائية. ويشتمل جهاز التحكم ٤ على منظم فلتية voltage regulator ١١ يُخرج إشارة التحكم إلى معوّض القدرة المفاعلية ١ للتحكم بتزويده للمطابقة لشبكة توليد القدرة الكهربائية ٢. ويتميز جهاز التحكم ٤ بأنه يشتمل على جهاز لتعديل الكسب ١٢ مرتب لتعديل كسب منظم الفلتية ١١ بالنسبة إلى موقع تشغيل معوّض القدرة المفاعلية ١.

عدد عناصر الحماية (١٠)، عدد الأشكال (٧)

جهاز للتحكم بمعوض قدرة مفاعلية وطريقة لذلك

Control device, reactive power compensator and method

الوصف الكامل

خلفية الاختراع

يتعلق الاختراع الحالي بمجال التحكم بالقدرة المفاعلية reactive power control، ويشكل خاص بطرق ووسائل لتحسين تنظيم معوض القدرة المفاعلية reactive power compensator، مثل معوض فلط-أمبير مفاعلي إستاتي Static Volt-Ampere Reactive (VAR) compensator، لشبكة توليد قدرة power network.

٥

يمكن استخدام التحكم بالقدرة المفاعلية لاستمثال تدفق القدرة المفاعلية ضمن شبكة توليد القدرة الكهربائية، التي يُشار إليها فيما يلي بشبكة توليد القدرة. ويكون معوض الفلط-أمبير المفاعلي الإستاتي Static Volt-Ampere Reactive (VAR) Compensator (SVC)، عبارة عن جهاز كثيراً ما يُستخدم ضمن شبكات توليد القدرة هذه لمقاومة حالات الاضطراب ضمن الشبكة عن طريق التحكم بالقدرة المفاعلية. ويقاوم جهاز SVC حالات انخفاض الفلطية في شبكة توليد القدرة عن طريق تزويد القدرة المفاعلية وغالباً ما يكون قادراً على التعامل مع حالات الفلطية الزائدة overvoltages عن طريق امتصاص القدرة المفاعلية. وباختصار، يعمل جهاز SVC على الحفاظ على فلطية نظام القدرة عن طريق تعديل تدفق القدرة المفاعلية، بما أن القدرة المفاعلية تعدّ عاملاً رئيسياً لتأرجحات الفلطية في شبكة توليد القدرة.

١٠

ولهذا الغرض، يشتمل جهاز SVC الاعتيادي على مجموعة من المكثفات المحوّلة بواسطة ثايرستور thyristor-switched capacitors، مرشحات توافقية harmonic filters وعناصر حثية يتم التحكم بها بواسطة ثايرستور thyristor-controlled inductive elements، يُشار إليها أيضاً بالمفاعلات reactors. ويتم التحكم بمكونات جهاز SVC هذه بحيث يتم تزويد القدرة المفاعلية المطلوبة. وبشكل خاص، إذا كان الطلب المفاعلي الخاص بشبكة توليد القدرة سعوباً (متقدماً leading)، يستخدم جهاز SVC المفاعلات لاستهلاك VARs من الشبكة، مما يؤدي إلى خفض فلطية النظام. وفي حال كان الطلب المفاعلي الخاص بشبكة توليد القدرة حثياً (متخلفاً lagging)، تُستخدم مجموعات المكثفات لإمداد شبكة توليد القدرة بوحدة فلط -أمبير المفاعلية Volt-Ampere Reactive (VARs)، مما يؤدي إلى زيادة فلطية شبكة توليد القدرة.

١٥

٢٠

ويشتمل جهاز SVC على نظام تحكم للتحكم بالوظائف الموصوفة أعلاه. وغالباً ما يكون نظام التحكم من نوع تناسبي-تكاملي (PI) proportional-integral، أو فقط من نوع منظم - تكاملي (I) integral. ويتم قياس الفلطية في شبكة توليد القدرة عند نقطة معينة عن طريق جهاز كشف الفلطية المناسب. ويتم مقارنة الفلطية المقاسة مع فلطية مرجعية محددة set reference voltage، ويُخرج نظام التحكم إشارة تحكم بالقدرة المفاعلية تطلب من جهاز SVC تزويد أو امتصاص القدرة المفاعلية اعتماداً على حاجة شبكة توليد القدرة، التي، يتم تحديدها بشكل مبسط نوعاً ما بالاعتماد على الفرق بين الفلطية المقاسة والفلطية المرجعية المحددة.

الوصف العام للاختراع

- ١٠ يكمن تأثير جهاز معوّض الفلط-الأمبير المفاعلي (SVC) على فلطية شبكة توليد القدرة في مشاركة الفلطية بين معاوقة شبكة توليد القدرة وقبولية جهاز SVC، بحيث تكون العلاقة غير خطية. ويمكن تعريف حساسية فلطية الشبكة بأنها عبارة عن تغير الفلطية بسبب تغير قبولية جهاز SVC. وتزداد حساسية الفلطية وفقاً للتغير في القبولية بشكل كبير عندما يزداد حاصل ضرب معاوقة شبكة توليد القدرة (Z) وقبولية جهاز SVC (Y). وتتراوح قيمة حاصل الضرب $Z*Y$ في معظم تراكيب SVC من ٠,٠٥ إلى ٠,١. ويمكن اعتبار حساسية الفلطية لحاصل الضرب $Z*Y$ ضمن هذا المدى ثابتة، وبذلك يتم تحديدها بشكل كلي عن طريق معاوقة الشبكة Z. ومع ذلك، أصبحت بعض أجهزة SVC أكبر حجماً في الآونة الأخيرة ولم يعد هذا التبسيط صالحاً.
- ١٥ وفي ضوء ما ورد أعلاه، يتمثل أحد أهداف هذا الاختراع في تزويد جهاز تحكم للتحكم بمعوّض القدرة المفاعلية لشبكة توليد القدرة، حيث يمكن التغلب على العيوب المذكورة أعلاه أو التخفيف منها على الأقل.
- ٢٠ ويتمثل هدف محدّد للاختراع في تزويد جهاز تحكم للتحكم بمعوّض القدرة المفاعلية لشبكة توليد القدرة، له سرعة تحكم غير معتمدة على موقع تشغيل معوّض القدرة المفاعلية. ويتحقق هذا الهدف، من بين أهداف أخرى، عن طريق جهاز تحكم للتحكم بمعوّض القدرة المفاعلية لشبكة توليد قدرة، كما طوّل بحمايته في عناصر الحماية المستقلة.
- ٢٥ ووفقاً للاختراع، يتم تزويد جهاز تحكم للتحكم بمعوض قدرة مفاعلية متصل بشبكة توليد القدرة الكهربائية. ويرتّب معوّض القدرة المفاعلية لتزويد قدرة مفاعلية إلى شبكة توليد القدرة الكهربائية. ويشتمل جهاز التحكم على منظم فلطية يُخرج إشارة تحكم إلى معوّض القدرة المفاعلية للتحكم بمطاوعته لشبكة توليد القدرة الكهربائية. ويتميز جهاز التحكم باشماله على جهاز لتعديل

الكسب gain-adjusting device مُرتَّب لتعديل كسب منظم الفلطية بالنسبة إلى موقع تشغيل معوض القدرة المفاعلية. ويكون لجهاز التحكم وفقاً للاختراع سرعة تحكم ثابتة بغض النظر عن موقع تشغيل معوض القدرة المفاعلية وفي بعض الحالات بغض النظر عن فعالية شبكة توليد القدرة أيضاً. وهكذا يتم تزويد فعالية تحكم ثابتة وسريعة عن طريق الاختراع.

ووفقاً لأحد تجسيديات الاختراع، يُرتَّب جهاز تعديل الكسب لتعديل كسب منظم الفلطية عن طريق ضرب كسب معوض القدرة المفاعلية بحد التعديل المشتق من معادلة كسب شبكة توليد القدرة الكهربائية. ووفقاً لتجسيد آخر للاختراع، تتم هذه العملية في كل دورة تنظيم تُجرى بواسطة جهاز التحكم. وبذلك تكون سرعة التحكم ثابتة بغض النظر عن موقع تشغيل معوض القدرة المفاعلية.

ووفقاً لتجسيد آخر كذلك للاختراع، يتم حساب كسب شبكة توليد القدرة الكهربائية عن طريق المعادلة التالية:

$$\frac{dV_{SVC}}{dB_{SVC}} = \frac{X_{net}}{(1 + X_{net}B_{SVC})^2} V_{net}$$

حيث يُمثل X_{net} مفاعلة شبكة توليد القدرة الكهربائية التي تظهر كمكافئ ثيفينين Thevenin equivalent، ويُمثل V_{SVC} الفلطية عند أطراف توصيل معوض القدرة المفاعلية، ويمثل V_{net} فلطية شبكة توليد القدرة التي تظهر في صورة مكافئ ثيفينين ويُمثل B_{SVC} مطاوعة معوض القدرة المفاعلية. ووفقاً لتجسيد آخر كذلك للاختراع، يُرتَّب جهاز تعديل الكسب لتعديل كسب منظم الفلطية عن طريق ضرب المعادلة أعلاه بـ $(1 + X_{net}B_{SVC})^2$. وهذا يزود استجابة ثابتة بغض النظر عن موقع تشغيل معوض القدرة المفاعلية.

ويتعلق الاختراع أيضاً بطريقة مناظرة، بمعوض قدرة مفاعلية، ومنتجات برامج كمبيوتر يتم بواسطتها تحقيق المزايا المذكورة أعلاه.

وستوضح سمات ومزايا أخرى عند قراءة الوصف التالي بالاقتران مع الأشكال الملحقة.

شرح مختصر للرسومات

- الشكل ١ : يوضح بشكل تخطيطي جهاز SVC وفقاً للاختراع الحالي.
- الشكل ٢ : يوضح جهاز التحكم بجهاز SVC المُبين في الشكل ١ بشكل مفصل بدرجة أكبر.
- الشكل ٣ : يوضح جهاز التحكم بجهاز SVC المُبين في الشكل ٢ مع تزويد سمة إضافية.

٥

١٠

١٥

٢٠

٢٥

- الشكل ٤ : يوضح متطلبات التغيير المفروضة على جهاز SVC.
- الشكل ٥ : يوضح شبكة تظهر في صورة مكافئ ثيفينين.
- الشكلان ٦ أ و ٦ ب : يوضحان نتائج المحاكاة لجهاز تحكم يُطبق الاختراع.
- الشكل ٧ : يوضح جهاز كمبيوتر يتحكم بجهاز SVC المُبين في الشكل ١.

٥ الوصف التفصيلي

يوضح الشكل ١ بشكل تخطيطي معوض قدرة مفاعلية وفقاً للاختراع الحالي، يتم تمثيله ب SVC 1 فيما يلي. ويتم وصل SVC 1 بشبكة توليد القدرة ٢، غالباً بواسطة محول القدرة ٣، الذي يمثل جزءاً من SVC 1. ويُلاحظ أنه في بعض الحالات لا يلزم محوّل القدرة ٣. ووفقاً لتقنية SVC السابقة الموصوفة في المقدمة، يشتمل SVC 1 على جهاز ٥ لتزويد مطاوعة حثية وسعوية متغيرة. وعلى سبيل المثال من الممكن أن يشتمل الجهاز ٥، من بين مكونات أخرى، على مجموعة من المكثفات المحوَّلة بواسطة ثايرستور، مرشحات توافقية ومفاعلات يتم التحكم بها بواسطة ثايرستور. ويشتمل SVC 1 أيضاً على جهاز تحكم ٤ لتنظيم المطاوعة الداخلة إلى شبكة توليد القدرة ٢. وباختصار، يُخرج جهاز التحكم ٤ إشارة تحكم B_{ref} اعتماداً على الفلطية المرجعية المحددة V_{ref} لشبكة توليد القدرة ٢ والفلطية الفعلية V_{svc} المُقاسة في شبكة توليد القدرة ٢، ويتم تزويد الفلطية المُقاسة عن طريق أي جهاز مناسب للكشف عن الفلطية (يُشار إليه بخط متقطع في الشكل ١)، على سبيل المثال، محول جهد. ومن ثم يُضبط خرج القدرة المفاعلية لـ SVC 1 اعتماداً على الفرق بين الفلطية المُقاسة V_{svc} والفلطية المرجعية المحددة V_{ref} وذلك لمحاولة التخلص من الفرق.

ويُوضح الشكل ٢ جهاز التحكم ٤ لـ SVC 1 المُوضح في الشكل ١ بمزيد من التفصيل. ويتم تزويد كل من فلطية V_{svc} المُقاسة عند موقع معين في شبكة توليد القدرة ٢ والفلطية المرجعية المحددة V_{ref} إلى جهاز تشكيل الفرق difference-forming device ٦، الذي يحسب الفرق ΔV بين إشارات الإدخال. ويفضل ترشيح الفلطية V_{svc} في جهاز ترشيح لإمرار الترددات المنخفضة low-pass filter ٧ ومن ناحية أخرى يمكن معالجتها قبل إدخالها إلى جهاز تشكيل الفرق ٦. ويتم إدخال هذا الفرق أو إشارة الخطأ، إلى جهاز تعديل الكسب ١٢، الذي سيتم وصفه بالتفصيل لاحقاً. ويُدخل خرج جهاز تعديل الكسب ١٢ إلى منظم فلطية ١١، يُشار إليه بـ منظم PI- فيما يلي ويُحاط في الشكل ٢ بخطوط متصلة.

ويشتمل منظم PI- ١١ على جهاز كسب تناسبي ٨ وجهاز كسب تكاملي ٩. وينمط تقليدي، يحسب جهاز الكسب التكاملي تكامل الفرق ΔV ويتم ضربه بالكسب التكاملي K_2 وتُدخل النتيجة إلى جهاز جمع ١٠، والذي يشكل أيضاً جزءاً من المنظم PI- ١١. ويحسب جهاز الكسب التناسبي ٨ حاصل ضرب ثابت الكسب التناسبي K_1 والفرق ΔV . وبالتالي يكون خرج جهاز الجمع ١٠ عبارة عن الكسب التناسبي K_1 مضروباً بمقدار ΔV زائد الكسب التكاملي K_2 مضروباً بتكامل ΔV . ويُشار إلى خرج جهاز الجمع ١٠ بـ B_{ref} ويشكل إشارة تحكم مزودة إلى SVC 1، وعليه تتغير مطاوعة SVC 1، عن طريق الجهاز ٥ المستخدم لتعديل قبولية SVC 1، لشبكة توليد القدرة ٢، كما وُصف سابقاً.

ويُوضَّح كسب الشبكة ١٣ أيضاً في الشكل ٢ ويُمثل استجابة الشبكة للمطاوعة الداخلة إليها، وتعتمد المطاوعة الداخلة على إشارة التحكم B_{ref} . وبشكل خاص، يتم تحديد الاستجابة الفعلية V_{svc} لشبكة توليد القدرة ٢ للمطاوعة الداخلة هذه وفقاً لمعاوقة شبكة توليد القدرة Z_{net} . وبالتالي يتم تزويد V_{svc} ، وهي عبارة عن الفلطية عند موقع الاتصال المشترك point of common connection (pcc) لشبكة توليد القدرة ٢ و SVC 1، عن طريق ضرب مطاوعة SVC 1 (B_{svc}) وكسب شبكة توليد القدرة. وكما هو موضح في الشكل ٢، يتم لاحقاً إضافة فلطية تمثيلية V_{net} لشبكة توليد القدرة إلى هذه الشبكة استجابة للتغير في المطاوعة. ويتم تكرار وظيفة التنظيم لجهاز التحكم ٤ حتى يصبح ΔV مساوياً للصفر، أي، حتى لا يكون هنالك فرق، أو يكون الفرق قليلاً بدرجة كافية، بين الفلطية المرجعية المحددة V_{ref} والفلطية المُقاسة V_{svc} .

وعند التحديد يؤخذ في عين الاعتبار أيضاً بعض حالات التأخر الزمني الناتجة من الوقت المستغرق عند تحويل التأثيرستورات، إلخ، والتي توضح في الشكل بواسطة صندوق ١٥ ودالة التأخر الزمني e^{-st} . وبشكل خاص، يمثل التأخر الزمني المحض الموضَّح حالات التأخر بسبب وقت الانتظار المستغرق للوصول إلى الموضع الصحيح للأمواج من أجل إطلاق التيار في التأثيرستورات. ويُمثل خرج العنصر ١٥ المطاوعة الفعلية لـ SVC 1.

وسيتيم وصف العلاقة بين كسب الشبكة ١٣ وجهاز تعديل الكسب ١٢ بتفصيل أكثر لاحقاً. وباختصار، يتم نمذجة استجابة شبكة توليد القدرة للمطاوعة الداخلة عن طريق معادلة أكثر دقة (المعادلة ٨)، ويُعدَّل جهاز تعديل الكسب ١٢ كسب جهاز التحكم اعتماداً عليها (التعديل كما عرف في المعادلة ٩).

ومن الممكن أن يشتمل جهاز التحكم ٤ على خطوات إضافية يتم تنفيذها بشكل تقليدي، ولكنها غير موصوفة أعلاه. على سبيل المثال، يكمن مثال محدّد على التحويلات بين الأنظمة

المرجعية المختلفة في تحول قيم الفلطية المُقاسة ثلاثية الأطوار إلى نظام مرجعي ثنائي الطور متناوب واشتقاق تتابع الفلطية. ويتم تزويد الفلطية المُقاسة بشكل تقليدي إلى جهاز تشكيل الفرق ٥ بعد معالجتها بشكل رياضي، على سبيل المثال، يتم حساب القيمة المطلقة للفلطية ذات التتابع الموجب. وعلاوة على ذلك، يفضل معالجة الخرج B_{ref} لجهاز الجمع ١٠ بطريقة معروفة لتزويد أوامر قرح لصمامات الثايرستور والمكونات الأخرى لـ SVC 1. ويمكن تطبيق كل هذه الأمثلة وفقاً للتقنية السابقة، ولا تمثل جزءاً من الاختراع.

ويمكن استخدام جهاز التحكم ٤ كبرنامج يُنفذ على وسائل معالجة، مثل كمبيوتر أو معالج صغري.

ويوضح الشكل ٣ سمة إضافية لجهاز التحكم ٤ المُبين في الشكل ٢. ومن المفيد من وجهة نظر هندسة التحكم، أن تتغير مفاعلة الشبكة X_{net} أو المطاوعة B_{net} بشكل مكافئ، بدرجة كبيرة على نحو معقول ويفضل بأقل قدر ممكن. ويوضح الشكل ٣ طريقة للحصول على مفاعلة X_{net} تبدو متغيرة بدرجة أقل. وبشكل خاص، يتم إضافة مفاعلة افتراضية $X_{fictious}$ إلى مفاعلة الشبكة الفعلية X_{net} . وعن طريق اختيار مفاعلة افتراضية $X_{fictious}$ بشكل مناسب، وكبيرة بدرجة كافية على وجه الخصوص. يبدو أن مجموع X_{net} و $X_{fictious}$ يتغير بشكل أقل من X_{net} . ومن ثم يتم تزويد جهاز التحكم ٤ الموصوف أعلاه بتغذية راجعة إضافية، موضحة بـ K_3 والرقم المرجعي ١٨، لمعالجة المفاعلة الافتراضية $X_{fictious}$. ويتم تزويد خرج منظم - PI ١١ إلى جهاز تشكيل الفرق ١٧ مع خرج جهاز تعديل الكسب ١٢. ويتم إدخال خرج جهاز تشكيل الفرق ١٧ إلى المنظم - PI ١١. وبذلك يتم معالجة المفاعلة الافتراضية $X_{fictious}$ بسهولة عن طريق بعض عمليات المعالجة الإضافية.

ويُلاحظ أنه من الضروري أن يكون للمنظم - PI ١١ كسب كلي ثابت، أي كسب شبكة توليد القدرة * كسب المنظم - PI = ثابت، للحصول على فعالية تحكم ثابتة وسريعة للمنظم - PI ١١، ويزود الاختراع طريقة لتحقيق ذلك.

وبالرجوع الآن إلى الشكلين ٤ و ٥، سيتم وصف وظيفة كسب الشبكة ١٣ بتفصيل أكثر فيما يلي.

وبشكل عام، يمكن مشاهدة SVC 1، من وجهة نظر التردد الأساسي، ك SVC له قبولية متغيرة Y_{svc} ، انظر الشكل ٥. ويكمن تأثيره على فلطية شبكة توليد القدرة V_{svc} بشكل مباشر في تشارك الفلطية بين معاوقة شبكة توليد القدرة Z_{net} ، التي تظهر ك مكافئ ثيفينين، وقبولية SVC (Y_{svc})، ويمكن التعبير عنه بالمعادلة التالية:

$$V_{SVC} = \frac{Z_{SVC}}{(Z_{net} + Z_{SVC})} V_{net} = \frac{1}{(1 + Z_{net} * Y_{SVC})} V_{net} \quad (\text{المعادلة ١})$$

حيث يُمثل V_{SVC} الفلطية عند أطراف توصيل SVC،
يُمثل V_{net} فلطية شبكة توليد القدرة التي تظهر كمكافئ ثيفينين،
يُمثل Y_{SVC} قبولية SVC،
يُمثل Z_{SVC} معاوقة SVC، و
يُمثل Z_{net} معاوقة شبكة توليد القدرة كما يظهر في مكافئ ثيفينين.
ويمكن الآن حساب كسب الشبكة عن طريق:

$$\frac{dV_{SVC}}{dY_{SVC}} = \frac{Z_{net}}{(1 + Z_{net} * Y_{SVC})^2} V_{net} \quad (\text{المعادلة ٢})$$

، حيث يُمثل Y_{SVC} قبولية SVC.

وتكون هذه العلاقة عبارة عن علاقة غير خطية بين حساسية فلطية شبكة توليد القدرة وقبولية SVC (Y_{SVC}). ويمكن أن يُلاحظ من المعادلة (٢) أعلاه أن حساسية الفلطية للتغير في Y_{SVC} تزداد بشكل كبير عندما يزداد الحد $Z_{SVC} * Y_{SVC}$.

وعندما تكون السعة المَقْنَنَة لـ SVC 1 صغيرة بالمقارنة مع سعة دائرة القصر لشبكة توليد القدرة ٢، يمكن إهمال حاصل الضرب $Z_{SVC} * Y_{SVC}$ ، ويمكن اعتبار قيمة كسب SVC (dV_{SVC}/dY_{SVC}) قيمة ثابتة. وكما ذكر، يمكن افتراض أن حساسية الفلطية لتراكيب SVC في التقنية السابقة التي لا تزيد فيها قيمة حاصل ضرب $Z_{SVC} * X_{SVC}$ عن ١،٠، تكون ثابتة وبذلك يتم تحديدها بشكل كلي عن طريق معاوقة شبكة توليد القدرة Z_{net} . ومع ذلك، وكما ذكر سابقاً أيضاً، أصبحت بعض أجهزة SVC أكبر حجماً في الآونة الأخيرة، وعليه لم يعد هذا الافتراض صحيحاً.

ويوضح الشكل ٤ ما وصف أعلاه، وبشكل خاص، تم توضيح فلطية الشبكة V_{SVC} كدالة معتمدة على مفاعلة SVC المزودة (X_{SVC})، ويكون لأجهزة SVC وفقاً للتقنية السابقة والتي لها سعة مَقْنَنَة تقع بين X_1 و X_2 ميل ثابت نسبياً، وهذا، تماشياً مع ما ورد أعلاه، يكافئ ما ورد بأنه يمكن اعتبار استجابة الفلطية للتغير في مفاعلة SVC (X_{SVC}) استجابة ثابتة. ومع ذلك، لم يعد افتراض حساسية الفلطية الثابتة لـ SVC الذي تقع سعته المَقْنَنَة بين X_1 و X_3 قائماً.

وقد توقع مبتكر هذا الاختراع المشاكل المحتملة التي قد تحدث بسبب ما ورد أعلاه. على سبيل المثال، ينبغي أن تكون الاستجابة في شبكة توليد القدرة سريعة قدر الإمكان، بحيث تكون على سبيل المثال، خلال زمن مقداره ٤٠ ملي ثانية في شبكة توليد القدرة الفعّالة. وفي حالة موالفة

جهاز التحكم عند هذه السرعة لمرحلة قصيرة، قريبة من الحد الحثي في النظام الفعال، فإنه يصبح غير مستقر في مرحلة عند الحد السعوي في شبكة توليد القدرة الضعيفة.

وكما ذكر، يوضح الشكل ٥ مكافئ ثيفينين لشبكة توليد القدرة ٢. ويمكن إعادة صياغة المعادلتين (١) و (٢) أعلاه (للتبسيط، يتم استخدام المفاعلة X بدلاً من المعاوقة Z) في صورة المعادلة التالية:

$$V_{svc} = \frac{X_{svc}}{X_{net} + X_{svc}} V_{net} \quad (\text{المعادلة ٣})$$

وبتجاهل حقيقة أن X_{svc} يمكن أن تكون سالبة أو موجبة اعتماداً على ما إذا كان الحمل المفاعلي الخاص بشبكة توليد القدرة سعوياً (متقدماً) أو حثياً (متخلفاً)، والاستعاضة عن المفاعلة X_{svc} بالمطاوعة المكافئة $\frac{1}{B_{svc}}$ نحصل على المعادلة التالية:

$$V_{svc} = \frac{\frac{1}{B_{svc}}}{X_{net} + \frac{1}{B_{svc}}} V_{net} = \frac{1}{X_{net} B_{svc} + 1} V_{net} \quad (\text{المعادلة ٤})$$

ومن ثم يُصبح كسب SVC كما يلي:

$$\frac{dV_{svc}}{dB_{svc}} = \frac{X_{net}}{(1 + X_{net} B_{svc})^2} V_{net} \quad (\text{المعادلة ٥})$$

ولأجهزة SVC وفقاً للتقنية السابقة الموصوفة سابقاً، يمكن افتراض أن $X_{net} \gg B_{svc}$.

وعليه تصبح المعادلة كما يلي:

$$\frac{dV_{svc}}{dB_{svc}} = \frac{X_{net}}{(1 + X_{net} B_{svc})^2} V_{net} = \{B_{svc} \ll X_{net}\} = \frac{X_{net}}{(1 + \epsilon)^2} V_{net} \approx X_{net} V_{net} \quad (\text{المعادلة ٦})$$

حيث يكون الحد $\epsilon = X_{net} B_{svc}$ قريباً من الصفر وبناء عليه تم إهماله في التقنية السابقة.

وبالتالي، يكون كسب جهاز SVC وفقاً للتقنية السابقة:

$$\Delta V_{svc} \approx X_{net} \Delta B_{svc} V_{net} \quad (\text{المعادلة ٧})$$

ومع ذلك، وكما وُصف سابقاً، يصبح الافتراض بأن $X_{net} \gg B_{svc}$ غير صحيح عندما

يصبح B_{svc} كبيراً، والذي على سبيل المثال يمكن أن يكون تقريباً أكبر ١٠٪ من X_{net} . ويمكن التعبير عن هذا أيضاً في صورة حدود أداء كبيرة لـ SVC بالمقارنة مع قدرة دارة القصر لشبكة توليد القدرة.

ولحدود أداء SVC هذه، لا يمكن إهمال موقع التشغيل B_{svc} ، الذي يُشار إليه أيضاً بموقع العمل لـ SVC 1. وعندما يكون $X_{net} > B_{svc}$ نحصل على المعادلة التالية:

$$\frac{dV_{svc}}{dB_{svc}} = \frac{X_{net}}{(1 + X_{net} B_{svc})^2} V_{net} \quad (\text{المعادلة ٨})$$

ووفقاً للاختراع، يؤخذ الحد $X_{net} B_{svc}$ الذي تم إهماله سابقاً في عين الاعتبار في مخطط التنظيم لجهاز التحكم ٤. وبذلك، يتم الحصول على تحكم أكثر دقة، وعليه يتم التخفيف من المشاكل المتوقعة على الأقل أو حتى التخلص منها. وبشكل خاص، لا يتم اعتبار حساسية الفلطية، خلافاً لحلول التقنية السابقة، كقيمة ثابتة، ولكن كقيمة متغيرة اعتماداً على موقع تشغيل SVC.

ويتم أخذ كسب الشبكة بعين الاعتبار في جهاز التحكم ٤، وبشكل أخص في جهاز تعديل الكسب ١٢. ووفقاً للاختراع، يتم ضرب كسب المنظم PI-١١ بكسب الشبكة في كل مرحلة زمنية. أي، يُضرب بمقلوب المقام للمعادلة (٨) في كل مرحلة زمنية. وهكذا يتم ضرب كسب المنظم PI-١١ بـ:

$$(1 + X_{net} B_{svc})^2 \quad (\text{المعادلة ٩})$$

وعندها:

$$\frac{dV_{svc}}{dB_{svc}} = \frac{X_{net}}{(1 + X_{net} B_{svc})^2} (1 + X_{net} B_{svc})^2 V_{net} = X_{net} V_{net} \quad (\text{المعادلة ١٠})$$

$$\Delta V_{svc} = X_{net} V_{net} \Delta B_{svc} \quad (\text{المعادلة ١١})$$

وبذلك، يمكن اعتبار كسب المنظم PI-١١ المضروب بكسب شبكة توليد القدرة ثابتاً بغض النظر عن موقع التشغيل.

وعند تنفيذ برامج جهاز التحكم ٤، يمكن تطبيق المعادلات أعلاه بطريقة تقليدية. على سبيل المثال، يمكن الحصول على ΔV_{svc} من قيم V_{svc} في دورات تنظيم متتالية، $V_{svc}(m)$ و V_{svc} ٢٠. $(m+1)$.

ويوضح الشكلان ٦ أ و ٦ ب نتائج المحاكاة لجهاز التحكم ٤ الذي يتم بواسطته تنفيذ الاختراع الحالي. ويوضح الشكل ٦ أ تغير الفلطية بنسبة ٢٪ في شبكة توليد القدرة الضعيفة. ويوضح الشكل ٦ ب تغير الفلطية بنسبة ٢٪ في شبكة توليد القدرة الفعالة، وهكذا يُظهر الشكلان

أنه يُحصل على استجابة ثابتة تقريباً اعتماداً على فعالية شبكة توليد القدرة (فعالية دارة القصر) وبغض النظر عن موقع تشغيل SVC (B_{svc}) بواسطة الاختراع. وإذا كانت قيمة X_{net} مُقاسة ومعروفة، يُزود الاختراع عندئذ طريقة لتزويد استجابة ثابتة بغض النظر عن فعالية شبكة توليد القدرة أيضاً.

وفي تجسيد بديل للاختراع، وبالرجوع مرة أخرى إلى الشكل ٤، يمكن تقسيم الدالة V_{net} (X_{svc}) ضمن الفترة من X_3 إلى X_1 ، أي ضمن منطقة تشغيل SVC 1، إلى عدد من الدوال ذات الخطية المتقطعة. أي، ضمن الفترات الجزئية للفترة من X_3 إلى X_1 ، تُقرب الدالة لتكون خطية. وبعد ذلك يمكن تقريب كل دالة خطية من هذه الدوال لتصبح ثابتة، تماشياً مع التقنية السابقة. واعتماداً على موقع تشغيل SVC 1 يمكن استخدام دالة خطية مناسبة بواسطة كسب الشبكة ١٣. وكما ذكر أعلاه، يمكن تعديل كسب المنظم PI-١١ بالنسبة لموقع تشغيل SVC.

ويزود الاختراع أيضاً طرقاً للتحكم بمعوض قدرة مفاعلية، مثل SVC 1، متصل مع شبكة توليد القدرة الكهربائية ٢ عن طريق جهاز التحكم ٤ الموصوف. ويُرَتَّب SVC 1 لتزويد قدرة مفاعلية لشبكة توليد القدرة الكهربائية ٢. ويشتمل جهاز التحكم ٤ على منظم فلطية، مثل المنظم-PI ١١، الذي يُخرج إشارة تحكم إلى SVC 1 للتحكم بإمداد القدرة المفاعلية إلى شبكة توليد القدرة المفاعلية ٢ أو امتصاصها منها. وتشمل الطريقة خطوة تعديل كسب المنظم PI-١١ بالنسبة لموقع تشغيل SVC-1، عن طريق جهاز حساب كسب الشبكة ١٣ لجهاز التحكم ٤.

وبشكل خاص، تشمل خطوة تعديل كسب المنظم PI-١١ ضرب كسب SVC-1 بحد التعديل كما تم تعريفه في المعادلة (٩)، أي التعبير $(1 + X_{net} B_{svc})^2$. وفي أحد التجسيديات، يتم تنفيذ ذلك في كل دورة تنظيم منفذة بواسطة جهاز التحكم ٤.

وعند تنفيذ الطريقة، يتم تقدير كسب الشبكة عن طريق المعادلة التالية:

$$\frac{dV_{svc}}{dB_{svc}} = \frac{X_{net}}{(1 + X_{net} B_{svc})^2} V_{net} \quad (\text{المعادلة ٨})$$

حيث

تكون X_{net} ، V_{net} ، V_{svc} كما وصفت سابقاً.

وعلاوة على ذلك، يتم تعديل كسب منظم الفلطية ١١، في جهاز تعديل الكسب ١٢، عن

طريق ضرب المعادلة (٨) أعلاه بـ $(1 + X_{net} B_{svc})^2$.

وبنمط تقليدي، تهدف الطريقة إلى إزالة أي فروق بين الفلطية V_{svc} التي تم قياسها في شبكة توليد القدرة الكهربائية ٢ والفلطية المرجعية المحددة V_{ref} ، وهكذا يتم تكرارها حتى يتم الحصول على دقة كافية.

ويزود الاختراع أيضاً معوض قدرة مفاعلية، مثل SVC 1، يشتمل على جهاز تحكم ٤ كما تم وصفه. ٥

وعلاوة على ذلك، بالرجوع إلى الشكل ٧، يزود الاختراع منتج برنامج كمبيوتر ٢١ قابل للتحميل إلى ذاكرة داخلية لكمبيوتر ٢٠ يتحكم بمعوض القدرة المفاعلية، مثل SVC 1. ويشتمل منتج برنامج الكمبيوتر ٢١ على أجزاء شيفرة برنامج لإجراء الطريقة كما وُصف أعلاه، عندما يتم تشغيله على الكمبيوتر ٢٠. ويمكن تخزين منتج برنامج الكمبيوتر ٢١ على وسط تخزين مقروء بواسطة الكمبيوتر ٢٢، يشتمل على وسائل شيفرة برنامج مقروء بواسطة الكمبيوتر لتمكين الكمبيوتر ٢٠ لـ SVC 1 من إجراء الطريقة بالكيفية الموصوفة. ١٠

وموجز القول، يقوم الاختراع الحالي على إدراك أنه يمكن مواجهة مشاكل تتعلق بتنظيم SVC عندما تزداد السعة المَقْنَنَة لـ SVC. وعندما يصبح SVC كبيراً، تُصبح المفاعلة الانحدارية أصغر من ثلث شبكة توليد القدرة وتصبح غير هامة بالنسبة لثبات منظم SVC. وعلاوة على ذلك، يصبح الافتراض بأن كسب الشبكة ثابت غير صحيح. وتعمل توليفة SVC وشبكة توليد القدرة بشكل أكبر كدارة رنين متوالية series resonance circuit. ووفقاً للاختراع، يتم ضرب كسب منظم الفلطية، في كل مرحلة زمنية، بحد التعديل المشتق من معادلة كسب الشبكة. وبذلك، يتم الحصول على جهاز تحكم له سرعة تحكم ثابتة بغض النظر عن موقع تشغيل SVC وبغض النظر عن فعالية شبكة توليد القدرة. ١٥

عناصر الحماية

- ١ - جهاز تحكم control device (٤) للتحكم بمعوض قدرة مفاعليّة reactive power ١
- ٢ compensator (١) متصل بشبكة توليد قدرة كهربائية electric power network (٢) ٢
- ٣ ومرتب لتزويد قدرة مفاعليّة إلى شبكة توليد القدرة الكهربائية (٢) المذكورة، ويشتمل جهاز ٣
- ٤ التحكم (٤) المذكور على منظم فلطية voltage regulator (١١) يُخرج إشارة تحكم إلى ٤
- ٥ معوض القدرة المفاعليّة (١) المذكور للتحكم بمطاوعته susceptance لشبكة توليد القدرة ٥
- ٦ الكهربائية (٢) المذكورة، يتميز بأنه يشتمل على جهاز لتعديل الكسب (١٢) مرتب لتعديل ٦
- ٧ كسب منظم الفلطية (١١) المذكور بالنسبة إلى موقع تشغيل معوض القدرة المفاعليّة (١) ٧
- ٨ المذكور عن طريق ضرب الكسب الخاص بمعوض القدرة المفاعليّة (١) بحد التعديل ٨
- ٩ adjustment term المساوي لـ $(1 + X_{net} B_{svc})^2$ حيث يُمثل X_{net} مفاعلة شبكة توليد القدرة ٩
- ١٠ الكهربائية (٢) التي تظهر كمكافئ ثيفينين Thevenin equivalent، ويُمثل B_{svc} مطاوعة ١٠
- ١١ susceptance معوض القدرة المفاعليّة (١). ١١

- ١ -٢ جهاز التحكم control device (٤) كما طوّل بحمايته في عنصر الحماية ١، حيث يُرتب ١
- ٢ جهاز تعديل الكسب gain-adjusting device (١٢) المذكور لتعديل كسب منظم الفلطية ٢
- ٣ voltage regulator (١١) المذكور عن طريق ضرب كسب معوض القدرة المفاعليّة (١) ٣
- ٤ المذكور بحد التعديل adjustment term المذكور في كل دورة تنظيم regulation cycle ٤
- ٥ تُجرى بواسطة جهاز التحكم (٤) المذكور. ٥

- ١ -٣ جهاز التحكم control device (٤) كما طوّل بحمايته في عنصر الحماية ١ أو ٢، حيث ١
- ٢ يتم حساب الكسب المذكور لشبكة توليد القدرة الكهربائية electric power network (٢) ٢
- ٣ المذكورة عن طريق المعادلة التالية: ٣

$$\frac{dV_{svc}}{dB_{svc}} = \frac{X_{net}}{(1 + X_{net} B_{svc})^2} V_{net} \quad (المعادلة ٨)$$

حيث ٥

- ٦ يُمثل X_{net} مفاعلة شبكة توليد القدرة الكهربائية (٢) المذكورة التي تظهر كمكافئ ثيفينين ٦
- ٧ Thevenin equivalent، ٧

- ٨ يمثل V_{net} فلطية شبكة توليد القدرة التي تظهر في صورة مكافئ ثيفينين،
 ٩ يُمثل V_{svc} الفلطية عند أطراف توصيل معوض القدرة المفاعلية reactive power
 ١٠ compensator (١) المذكور، و
 ١١ يُمثل B_{svc} مطاوعة susceptance معوض القدرة المفاعلية (١) المذكور.

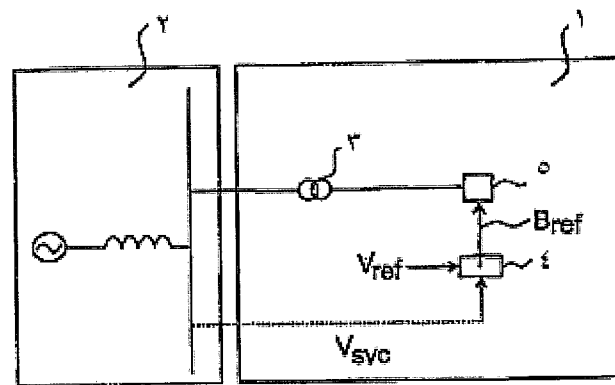
- ١ -٤ جهاز التحكم control device (٤) كما طوّل بحمايته في أي من عناصر الحماية
 ٢ السابقة، حيث يشتمل منظم الفلطية voltage regulator (١١) المذكور على وسيلة (١٨)
 ٣ لمعالجة المفاعلة الافتراضية fictitious reactance المضافة إلى مفاعلة الشبكة الفعلية
 ٤ actual network reactance، وبذلك تبدو مفاعلة الشبكة متغيرة بدرجة أقل.

- ١ -٥ طريقة للتحكم، عن طريق جهاز التحكم control device (٤)، بمعوض القدرة المفاعلية
 ٢ reactive power compensator (١) الذي يتصل بشبكة توليد القدرة الكهربائية electric
 ٣ power network (٢) ويُرتب لتزويد قدرة مفاعلية إلى شبكة توليد القدرة الكهربائية (٢)
 ٤ المذكورة، ويشتمل جهاز التحكم (٤) المذكور على منظم فلطية voltage regulator (١١)
 ٥ يُخرج إشارة تحكم إلى معوض القدرة المفاعلية (١) المذكور للتحكم بتزويده للمطاوعة
 ٦ susceptance لشبكة توليد القدرة الكهربائية (٢) المذكورة، تتميز بالخطوات التالية:
 ٧ - تعديل كسب منظم الفلطية (١١) المذكور بالنسبة إلى موقع تشغيل معوض القدرة
 ٨ المفاعلية (١) المذكور، عن طريق جهاز لتعديل الكسب gain-adjusting device (١٢)
 ٩ لجهاز التحكم (٤) المذكور، عن طريق ضرب كسب معوض القدرة المفاعلية reactive
 ١٠ power compensator (١) المذكور بحد التعديل term adjustment المساوي لـ
 ١١ $(1 + X_{net} B_{svc})^2$ ، حيث يُمثل X_{net} مفاعلة شبكة توليد القدرة الكهربائية (٢) التي تظهر
 ١٢ كمكافئ ثيفينين Thevenin equivalent، ويُمثل B_{svc} مطاوعة susceptance معوض
 القدرة المفاعلية (١).

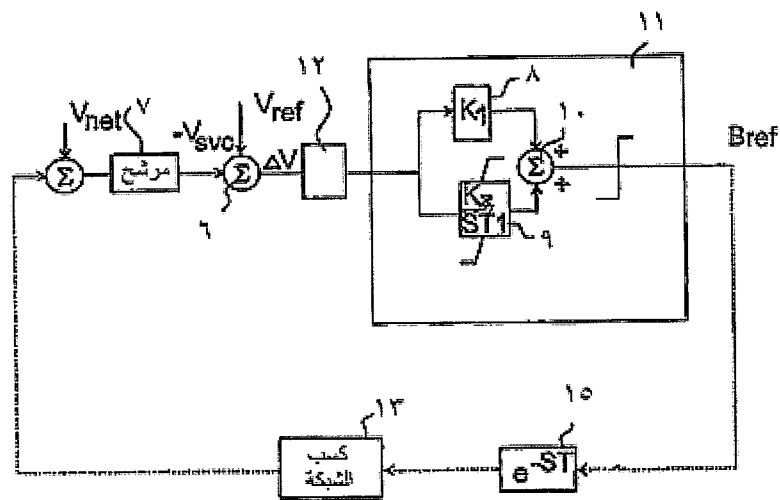
- ١ -٦ الطريقة كما طوّل بحمايتها في عنصر الحماية ٥، حيث يتم تعديل الكسب المذكور
 ٢ لمنظم الفلطية voltage regulator (١١) المذكور عن طريق ضرب الكسب المذكور
 ٣ لمعوض القدرة المفاعلية reactive power compensator (١) المذكور بحد التعديل
 ٤ المذكور في كل دورة تنظيم regulation cycle تُجرى بواسطة جهاز التحكم control

- ٥ device (٤) المذكور .
- ١ ٧- الطريقة كما طوّل بحمايتها في عنصر الحماية ٥ أو ٦، حيث يتم حساب الكسب
- ٢ المذكور لشبكة توليد القدرة الكهربائية electric power network (٢) المذكورة عن
- ٣ طريق المعادلة التالية:
- ٤
$$\frac{dV_{svc}}{dB_{svc}} = \frac{X_{net}}{(1 + X_{net} B_{svc})^2} V_{net}$$
- (المعادلة ٨)
- ٥ حيث
- ٦ يُمثّل X_{net} مفاعلة شبكة توليد القدرة الكهربائية (٢) المذكورة التي تظهر كمكافئ ثيفينين
- ٧ ،Thevenin equivalent
- ٨ يمثّل V_{net} فلطية شبكة توليد القدرة الكهربائية (٢) المذكورة التي تظهر في صورة مكافئ
- ٩ ثيفينين،
- ١٠ يُمثّل V_{svc} الفلطية عند أطراف توصيل معوض القدرة المفاعلية reactive power
- ١١ compensator (١) المذكور، و
- ١٢ يُمثّل B_{svc} مطاوعة معوض القدرة المفاعلية (١) المذكور.
- ١ ٨- معوض قدرة مفاعلية reactive power compensator (١) يشتمل على جهاز تحكم
- ٢ control device (٤) كما طوّل بحمايته في أي من عناصر الحماية من ١ إلى ٤.
- ١ ٩- منتج برنامج كمبيوتر computer program product (٢١) قابل للتحميل إلى الذاكرة
- ٢ الداخلية internal memory لكمبيوتر (٢٠) يتحكم بمعوض قدرة مفاعلية reactive
- ٣ power compensator (١)، يشتمل على أجزاء شيفرة برنامج software code portions
- ٤ لإجراء الطريقة كما طوّل بحمايتها في أي من عناصر الحماية من ٥ إلى ٧ عندما يتم
- ٥ تشغيل البرنامج المذكور على الكمبيوتر (٢٠) المذكور.
- ١ ١٠- منتج برنامج كمبيوتر computer program product (٢١) مخزن على وسط تخزين
- ٢ مقروء بواسطة الكمبيوتر (٢٢)، يشتمل على وسائل شيفرة برنامج مقروء بواسطة
- ٣ الكمبيوتر لتمكين الكمبيوتر (٢٠) لمعوض القدرة المفاعلية reactive power

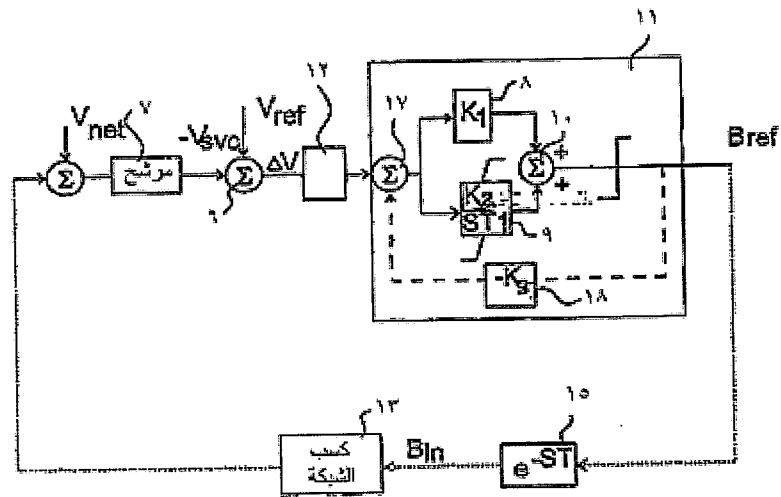
- ٤ compensator (١) من إجراء الطريقة كما طولب بحمايتها في أي من عناصر الحماية
- ٥ من ٥ إلى ٧.



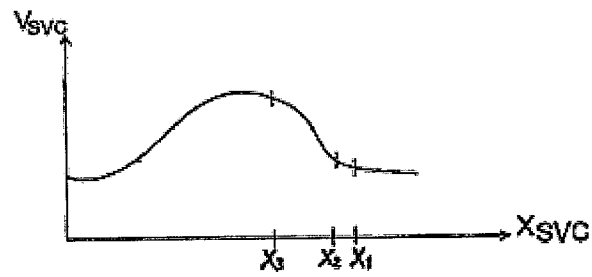
الشكل ١



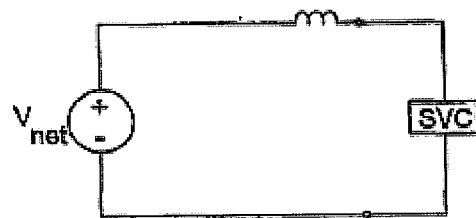
الشكل ٢



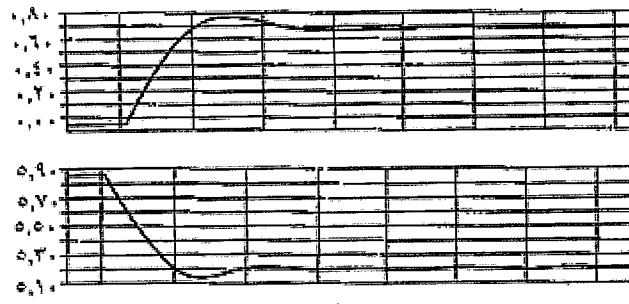
الشكل ٣



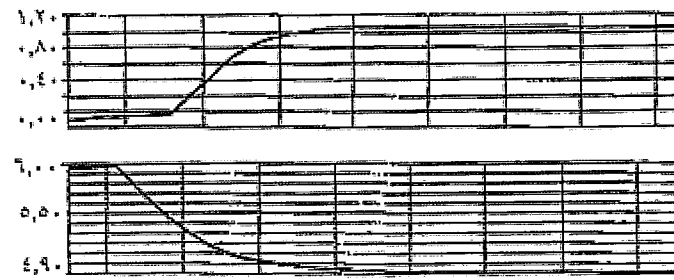
الشكل ٤



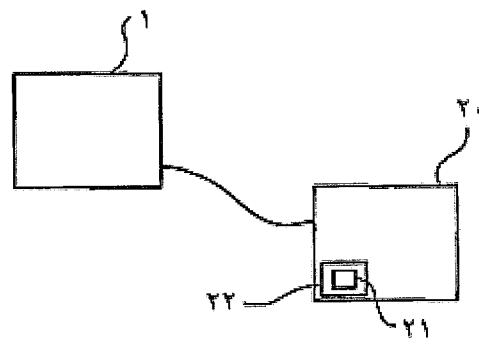
الشكل ٥



الشكل ٦ أ



الشكل ٦ ب



الشكل ٧