



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



مدينة الملك عبدالعزيز
للعلوم والتقنية KACST

المملكة العربية السعودية
مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية

إن المشرف العام على مكتب البراءات السعودي، وبموجب أحكام نظام براءات الاختراع والتصميمات التخطيطية للدارات المتكاملة والأصناف النباتية والنماذج الصناعية الصادر بالمرسوم الملكي الكريم رقم م/٢٧ وتاريخ ٢٩/٠٥/١٤٢٥هـ، واستناداً لأحكام اللائحة التنفيذية له الصادرة بالقرار الإداري رقم ٣٦٠٧٣٢٩-٢-١٦١ وتاريخ ٣٠/١٢/١٤٣٦هـ، يقرر منح:

جامعه الملك فهد للبترول والمعادن

KING FAHD UNIVERSITY OF PETROLEUM AND MINERALS

براءة اختراع رقم ٦٠٢٩

بتاريخ ١٧/١١/١٤٣٩هـ الموافق ٣٠/٠٧/٢٠١٨ م

عن الاختراع المسمى/ نظام تحكم عصبي غير محدد لأنظمة فلتائية ضوئية متصلة عبر شبكة

Neuro-fuzzy control system for grid-connected photovoltaic systems

ولمالك البراءة الحق في الانتفاع بكامل الحقوق التي يمنحها النظام في المملكة العربية السعودية.

المشرف العام على مكتب البراءات السعودي

م. صقر بن ناصر الفطيمني



مدينة الملك عبدالعزيز
للعلوم والتقنية KACST

[11] رقم البراءة: ٦٠٢٩
[45] تاريخ المنح: ١٤٣٩/١١/١٧ هـ
الموافق: ٢٠١٨/٠٧/٣٠ م

[19] المملكة العربية السعودية SA
مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية

[12] براءة اختراع

[30] بيانات الأسبقية: US 14/613,302 ١٤/٦١٣,٣٠٢ ٢٠١٥/٠٢/٠٣ م	[72] اسم المخترع: محمد أ. عبيدو، محمد ي. وركو
[51] التصنيف الدولي (IPC ⁸): H02J 003/038	[73] مالك البراءة: جامعه الملك فهد للبترول والمعادن عنوانه: مبنى ٢١، مكتب ٧٢٦، الظهران ٣١٢٦١، المملكة العربية السعودية جنسيته: سعودية
[56] المراجع: KR 100886891 ٢٠٠٩/٠٣/١٠ م US 2012028217 ٢٠١٢/٠٢/٠٦ م	[74] الوكيل: مكتب المحامي سليمان ابراهيم العمار رقم الطلب: ١١٦٣٧٠١٩٩ تاريخ الإيداع: ١٤٣٧/٠٣/٢٦ هـ الموافق: ٢٠١٦/٠١/٠٦ م
اسم الفاحص: غيثان بن علي العلياني	[21] رقم الطلب: ١١٦٣٧٠١٩٩ [22] تاريخ الإيداع: ١٤٣٧/٠٣/٢٦ هـ الموافق: ٢٠١٦/٠١/٠٦ م

[54] اسم الاختراع: نظام تحكم عصبي غير محدد لأنظمة

فلطائية ضوئية متصلة عبر شبكة

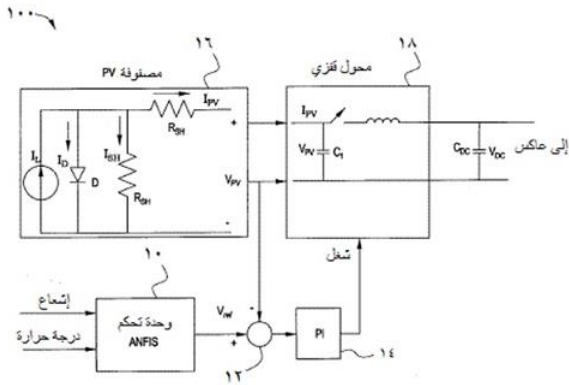
Neuro-fuzzy control system for grid-connected photovoltaic systems

[57] الملخص: يتعلق الاختراع الحالي بنظام تحكم عصبي غير

محدد لأنظمة فلطائية ضوئية (PV) متصلة عبر شبكة تتضمن نظام تداخل عصبي غير محدد تكيفي (ANFIS) يتم تنفيذه في الزمن الفعلي. تقوم أنظمة تحكم في القدرة الكهربائية P-Q نشطة ومستقلة وتفاعلية بنقل القدرة الكهربائية المتولدة إلى شبكة باستخدام عاكس لمصدر جهد كهربائي (VSI).

يتضمن النظام الفلطايني الضوئي PV وحدة فلطائية ضوئية PV نمطية، محول قفزي، VSI، وحدة تحكم لتتبع أقصى نقطة قدرة (MPPT) للمحول القفزي، ووحدة تحكم في عاكس مصدر الجهد الكهربائي VSI. تستخدم وحدة التحكم MPPT الإشعاع ودرجة الحرارة كمدخلات. يقوم نظام ANFIS مكون من خمسة طبقات بمعالجة هذه المدخلات ويوفر جهد تحكم كهربائي مرجعي كمدخل لوحدة تحكم PI متصلة بالمحول القفزي للمحافظة على خرج الجهد الكهربائي للمصفوفة الفلطاينية الضوئية نسبةً إلى جهد التحكم الكهربائي المرجعي.

عدد عناصر الحماية (١٢)، عدد الاشكال (٣١)



الشكل (١)

نظام تحكم عصبي غير محدد لأنظمة فلتائية ضوئية متصلة عبر شبكة

Neuro-fuzzy control system for grid-connected photovoltaic systems

الوصف الكامل

خلفية الاختراع

يتعلق الاختراع الحالي بأنظمة توليد قدرة فلتائية ضوئية، وبشكل خاص لنظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلتائي ضوئي (PV) متصل عبر شبكة.

كنتيجة لزيادة الاهتمام البيئي، ارتفاع الأسعار، تأثير الكربون للوقود الأحفوري، يتحرك التطوير للطاقة المتجددة على أساس توليد متوزع (DG) بطريقة سريعة ليساير الحاجات الملحة في جميع أنحاء العالم لاستخدام مصادر طاقة نظيفة وتقليل التكاليف. تعتبر الطاقة الشمسية من بين مصادر الطاقة المتجددة الواعدة، وتوفر أنظمة فلتائية ضوئية (PV) الطرق المباشرة الأكثر لتحويل طاقة شمسية إلى طاقة كهربائية بدون تلوث بيئي. يمكن حقن الطاقة الكهربائية المتحولة باستخدام نظام فلتائي ضوئي PV إلى الشبكة إذا تطابق مع رمز الشبكة. من أجل ذلك، يعتبر التحكم في كتل القدرة الإلكترونية المستخدمة في تكامل الشبكة شيء حيوي من أجل الحصول على أقصى خرج للطاقة الشمسية.

لذلك، يكون مطلوباً نظام تحكم عصبي غير محدد لأنظمة فلتائية ضوئية متصلة عبر شبكة لحل المشاكل السابق ذكرها.

الوصف العام للاختراع

يتضمن نظام تحكم عصبي غير محدد لأنظمة فلتائية ضوئية (PV) متصلة عبر شبكة نظام تداخل عصبي غير محدد تكيفي (ANFIS) يتم تنفيذه في الزمن الفعلي. تقوم أنظمة تحكم في القدرة الكهربائية (P-Q) فعالة وتفاعلية بطريقة مستقلة بنقل القدرة الكهربائية المتولدة إلى شبكة باستخدام عاكس لمصدر جهد كهربي (VSI). يتضمن النظام الفلتائي الضوئي PV وحدة فلتائية ضوئية PV نمطية، محول قفزي، مصدر جهد كهربي VSI، وحدة تحكم لتتبع أقصى نقطة قدرة (MPPT) للمحول القفزي، ووحدة تحكم في مصدر الجهد الكهربي VSI. تستخدم وحدة التحكم

MPPT الإشعاع ودرجة الحرارة كمدخلات. يقوم نظام ANFIS مكون من خمسة طبقات بمعالجة هذه المدخلات ويوفر جهد تحكم كهربي مرجعي كمدخل لوحدة تحكم PI (تناسب-تكامل) متصلة بالمحول القفزي للمحافظة على خرج الجهد الكهربي للمصفوفة الفلطائية الضوئية نسبةً إلى جهد التحكم الكهربي المرجعي.

٥ سوف يصبح ما سبق وسمات أخرى للاختراع الحالي واضحة بسهولة بمجرد مراجعة إضافية للمواصفات والأشكال التالية.

شرح مختصر للرسومات

شكل ١ يكون عبارة عن مخطط صندوقي لوحدة تحكم لنتبع أقصى نقطة قدرة MPPT أساسها نظام تداخل عصبي غير محدد ANFIS ووحدة تحكم في محول تيار مستمر-تيار مستمر في نظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلطائي ضوئي (PV) متصل عبر شبكة طبقاً للاختراع الحالي. ١٠

شكل ٢ يكون عبارة عن مخطط سير لإجراءات تدريب نظام تداخل عصبي غير محدد ANFIS في نظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلطائي ضوئي (PV) متصل عبر شبكة طبقاً للاختراع الحالي. ١٥

شكل ٣ يكون عبارة عن مخطط صندوقي لوحدة محاكاة لوحدة تحكم لنتبع أقصى نقطة قدرة MPPT أساسها نظام تداخل عصبي غير محدد ANFIS ووحدة تحكم في محول تيار مستمر-تيار مستمر في نظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلطائي ضوئي (PV) متصل عبر شبكة طبقاً للاختراع الحالي. ١٥

شكل ٤ يكون عبارة عن مخطط صندوقي لنظام فلطائي ضوئي PV متصل عبر شبكة في نظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلطائي ضوئي (PV) متصل عبر شبكة طبقاً للاختراع الحالي. ٢٠

شكل ٥ يكون عبارة عن مخطط صندوقي يبين بشكل تفصيلي وحدة تحكم في نظام تداخل عصبي غير محدد ANFIS في نظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلطائي ضوئي (PV) متصل عبر شبكة طبقاً للاختراع الحالي.

شكل ٦ يكون عبارة عن رسم بياني تخطيطي لعاكس مستويين ثلاثة أطوار في نظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلتائي ضوئي (PV) متصل عبر شبكة طبقاً للاختراع الحالي.

شكل ٧ يكون عبارة عن مخطط صندوقي ل PLL و abc لكتل تحويل dq في نظام عصبي غير محدد لنظام فلتائي ضوئي (PV) متصل عبر شبكة طبقاً للاختراع الحالي.

شكل ٨ يكون عبارة عن مخطط صندوقي للتحكم في عاكس منفصل في نظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلتائي ضوئي (PV) متصل عبر شبكة طبقاً للاختراع الحالي.

شكل ٨ تحكم في عاكس منفصل

شكل ٩ يكون عبارة عن مخطط صندوقي لمحاكاة لوحدة تحكم لتتبع أقصى نقطة قدرة لنظام تداخل عصبي غير محدد ANFIS MPPT في نظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلتائي ضوئي (PV) متصل عبر شبكة طبقاً للاختراع الحالي.

شكل ١٠ يكون عبارة عن مخطط صندوقي يبين عوامل مدخلات وحدة تحكم لتتبع أقصى نقطة قدرة MPPT اعتماداً على قياس وتحكم في نظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلتائي ضوئي (PV) متصل عبر شبكة طبقاً للاختراع الحالي.

شكل ١١ يكون عبارة عن مخطط صندوقي يبين نموذج محاكاة رقمي في الزمن الفعلي (RTDS) لنظام فلتائي ضوئي PV متصل بشبكة اعتماداً على وحدة تحكم لتتبع أقصى نقطة قدرة MPPT في نظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلتائي ضوئي (PV) متصل عبر شبكة لنظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلتائي ضوئي (PV) متصل عبر شبكة طبقاً للاختراع الحالي.

شكل ١٢ يكون عبارة عن رسم بياني يبين قدرة خرج مصفوفة فلتائية ضوئية PV وقدرة خرج عاكس في نظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلتائي ضوئي (PV) متصل عبر شبكة طبقاً للاختراع الحالي.

شكل ١٣ يكون عبارة عن رسم بياني يبين جهد خرج مصفوفة فلتائية ضوئية PV وجهد خرج وحدة تحكم لتتبع أقصى نقطة قدرة MPPT في نظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلتائي ضوئي (PV) متصل عبر شبكة طبقاً للاختراع الحالي.

شكل ١٤ يكون عبارة عن رسم بياني يبين جهد وصلة تيار مستمر وتيار في نظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلتائى ضوئى (PV) متصل عبر شبكة طبقاً للاختراع الحالى.

شكل ١٥ يكون عبارة عن رسم بياني يبين تيار وصلة تيار مستمر في نظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلتائى ضوئى (PV) متصل عبر شبكة طبقاً للاختراع الحالى.

شكل ١٦ يكون عبارة عن رسم بياني يبين تيارات عاكس فعلية ومرجعية محور D- في نظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلتائى ضوئى (PV) متصل عبر شبكة طبقاً للاختراع الحالى.

شكل ١٧ يكون عبارة عن رسم بياني يبين جهد خرج العاكس ٣-طور في نظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلتائى ضوئى (PV) متصل عبر شبكة طبقاً للاختراع الحالى.

شكل ١٨ يكون عبارة عن رسم بياني يبين قدرة خرج مصفوفة فلتائى ضوئية PV وجهد خرج عاكس في نظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلتائى ضوئى (PV) متصل عبر شبكة طبقاً للاختراع الحالى.

شكل ١٩ يكون عبارة عن رسم بياني يبين جهد خرج مصفوفة فلتائى ضوئية PV وجهد خرج وحدة تحكم لنتبع أقصى نقطة قدرة MPPT في نظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلتائى ضوئى (PV) متصل عبر شبكة طبقاً للاختراع الحالى.

شكل ٢٠ يكون عبارة عن رسم بياني يبين جهد وصلة تيار مستمر في نظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلتائى ضوئى (PV) متصل عبر شبكة طبقاً للاختراع الحالى.

شكل ٢١ يكون عبارة عن رسم بياني يبين تيار وصلة تيار مستمر في نظام تحكم عصبي غير محدد لنظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلتائى ضوئى (PV) متصل عبر شبكة طبقاً للاختراع الحالى.

شكل ٢٢ يكون عبارة تيارات عاكس فعلية ومرجعية محور D- في نظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلتائى ضوئى (PV) متصل عبر شبكة طبقاً للاختراع الحالى.

شكل ٢٣ يكون عبارة عن رسم بياني يبين قدرة تفاعلية فعلية من جانب الشبكة في نظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلتائي ضوئي (PV) متصل عبر شبكة طبقاً للاختراع الحالي.

شكل ٢٤ يكون عبارة عن رسم بياني يبين قدرة خرج فلتائي ضوئي PV في تغيير خطوة لأعلى في الإشعاع في نظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلتائي ضوئي (PV) متصل عبر شبكة طبقاً للاختراع الحالي. ٥

شكل ٢٥ يكون عبارة عن رسم بياني يبين جهد فلتائي ضوئي PV لتغيير خطوة لأعلى في الإشعاع في نظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلتائي ضوئي (PV) متصل عبر شبكة طبقاً للاختراع الحالي.

شكل ٢٦ يكون عبارة عن رسم بياني يبين تيار فلتائي ضوئي PV لتغيير خطوة لأعلى في الإشعاع في نظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلتائي ضوئي (PV) متصل عبر شبكة طبقاً للاختراع الحالي. ١٠

شكل ٢٧ يكون عبارة عن رسم بياني يبين مقارنة بين قدرة فلتائية ضوئية PV لتغيير خطوة لأسفل في الإشعاع في نظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلتائي ضوئي (PV) متصل عبر شبكة طبقاً للاختراع الحالي.

شكل ٢٨ يكون عبارة عن رسم بياني يبين مقارنة بين جهد فلتائي ضوئي PV لتغيير خطوة لأسفل في الإشعاع في نظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلتائي ضوئي (PV) متصل عبر شبكة طبقاً للاختراع الحالي. ١٥

شكل ٢٩ يكون عبارة عن رسم بياني يبين مقارنة بين تيار فلتائي ضوئي PV لتغيير خطوة لأسفل في الإشعاع في نظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلتائي ضوئي (PV) متصل عبر شبكة طبقاً للاختراع الحالي. ٢٠

شكل ٣٠ يكون عبارة عن رسم بياني يبين خصائص جهد وتيار عند مستويات إشعاع مختلفة في نظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلتائي ضوئي (PV) متصل عبر شبكة طبقاً للاختراع الحالي.

شكل ٣١ يكون عبارة عن رسم بياني يبين نقطة أقصى قدرة لمصفوفة فلتائية ضوئية PV في نظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلتائي ضوئي (PV) متصل عبر شبكة طبقاً للاختراع الحالي.

تدل رموز مرجعية متماثلة على سمات مناظرة باستمرار خلال الأشكال المرفقة.

٥ الوصف التفصيلي:

- يتضمن نظام التحكم العصبي غير المحدد لنظام فلتائي ضوئي (PV) متصل عبر شبكة وحدة تحكم في نظام تداخل عصبي غير محدد تكيّفي (ANFIS) ١٠ يتم تنفيذها في الزمن الفعلي. تحول وحدة تحكم قدرة P-Q فعالة وتفاعلية بطريقة مستقلة قدرة التوليد إلى الشبكة باستخدام عاكس مصدر جهد كهربائي (VSI). تحتفظ وحدة التحكم ANFIS ١٠ بجهد وصلة التيار المستمر VDC ثابت لتسليم قدرة فعلية. اعتماداً على التغير في الإشعاع ودرجة الحرارة، تقوم وحدة التحكم P-Q ٨٠٠ بتحويل قدرة التوليد إلى الشبكة. يتم تصميم النظام الفلتائي الضوئي PV ٤٠٠ كبنية من مرحلتين تتضمن وحدة فلتائية ضوئية نمطية PV ١٦، محول قفزي ١٨، مصدر جهد كهربائي VSI، وحدة تحكم ANFIS لتتبع نقطة أقصى قدرة (MPPT) ١٠ للمحول القفزي ١٨، وحدة تحكم في مصدر كهربائي VSI ٨٠٠. تستخدم وحدة التحكم ANFIS MPPT ١٠ الإشعاع ودرجة الحرارة كمدخلات. كما هو مبين في شكل ٥، تستخدم وحدة التحكم ANFIS MPPT ١٠ خمسة طبقات عصبية (طبقة مدخلات ٥٠١، طبقات غير ظاهرة ٥٠٢ و ٥٠٣، طبقة قواعد ٥٠٤ وطبقة إطلاق [إزالة الضبابية] طبقة ٥٠٥) لمعالجة هذه المدخلات وتوفير جهد تحكم مرجعي كمدخل إلى وحدة التحكم P1 (تناسب-تكامل) ١٤ المتصلة بالمحول القفزي ١٨ للمحافظة على جهد الخرج لمصفوفة الفلتائية الضوئية ١٦ بالصلة بجهد التحكم المرجعي V_{ref} . يتم إضافة السالب من الجهد الكهربائي VPV من مصفوفة الفلتائية الضوئية PV ١٦ إلى مخرجات الجهد المرجعي V_{ref} لوحدة التحكم ANFIS ١٠ بواسطة وحدة التجميع ١٢. تكون المخرجات من وحدة التجميع ١٢، أي $(V_{ref} - VPV)$ مدخلات لوحدة التحكم P1 ١٤. تنفذ المخرجات تحكم دورة شغل على المحول القفزي ١٨. على عكس وحدات تحكم غير محددة تقليدية، تكون وحدة التحكم الحالية ١٠ متوافقة في طبيعتها نتيجة لانتشار خلفي للخطأ، والذي يقوم بضبط الأوزان $W1$ و $W2$ ولا يتطلب معرفة خبير لتنفيذه. بالإضافة إلى، تستخدم طريقة مربع

الخطأ الأصغر (LSE) بالصلة بالانتشار الخلفي لتسهيل التدريب على وحدة التحكم العصبية غير المحددة المتكيفة MPPT ١٠. سوف تحدد وحدة التحكم MPPT ١٠ المدربة بطريقة ناجحة نقطة القدرة الأقصى (MPP) لمصفوفة الفلطائية الضوئية PV في ظل ظروف تشغيل متغيرة. مبين نقطة أقصى قدرة لمصفوفة فلتائية ضوئية PV في رسم بياني ٣١٠٠ في شكل ٣١.

٥ تكون مدخلات وحدة التحكم العصبية غير المحددة المتكيفة MPPT ١٠ الحالية عبارة عن الظروف السائدة (أي إشعاع ودرجة حرارة طاقة شمسية)، وتكون إشارة تحكم المخرجات لها عبارة عن جهد مرجعي V_{ref} ، والذي يوفر مدخلات حلقة التحكم في الجهد الكهربائي. تتضمن حلقة التحكم في الجهد الكهربائي وحدة تحكم التكامل التناسبي ١٤، والتي يتم استخدامها للمحافظة على مخرجات الجهد للمصفوفة الفلتائية الضوئية ١٦ نسبة إلى الجهد المرجعي عن طريق ضبط دورة الشغل للمحول تيار مستمر-تيار مستمر ١٨. تتغير درجة حرارة التشغيل من صفر °م إلى ٨٠ °م، ويتغير مستوى إشعاع الطاقة الشمسية من صفر وات/متر^٢ إلى ٢٠٠٠ وات/متر^٢ للحصول على مجموعة البيانات التدريبية لوحدة التحكم ANFIS MPPT ١٠. تم انتقاء مجموعات بيانات تدريبية بعدد ألف بطريقة عشوائية، وتم استخدام ٣٠٠ فترة لتدريب وحدة التحكم ANFIS MPPT ١٠.

١٥ كما هو مبين في شكل ١، تتضمن إلكترونيات التيار المستمر (DC) ١٠٠ مصفوفة فلتائية ضوئية PV ١٦ ومحول قفزي تيار مستمر-تيار مستمر ١٨. كما هو مبين في شكل ٤، تستخدم الكتلة الإلكترونية لقدرة المحول القفزي تيار مستمر-تيار مستمر ١٨ والكتلة الإلكترونية لقدرة الانعكاس لمصدر الجهد الكهربائي VSI تيار مستمر/تيار متردد ٤٠٤ لتكامل النظام الفلتائي الضوئي PV ٤٠٠ مع الشبكة، ومن ثم يستخدم النظام كالتين تحكم. تستخدم كتلة التحكم الأولى ١٠ (مبينة في شكل ١) ANFIS بالصلة مع وحدة التحكم P1 ١٤ للتحكم في دورة الشغل للمحول تيار مستمر-تيار مستمر ١٨ لوحدة تحكم تتبع أقصى نقطة قدرة MPPT. تكون كتلة التحكم الثانية ٨٠٠ (مبينة في شكل ٨) لمصدر الجهد الكهربائي VSI للمحافظة على تيار وصلة التيار المستمر ثابتة عند PWM (تضمين عرض النبض)، وعليه أن يتحكم في التيار المتردد والقدرة التفاعلية.

٢٥ مثل الشبكات العصبية، يكون لنظام التداخل العصبي غير المحدد ANFIS بنية شبكة. على عكس الشبكات العصبية، يقوم نظام التداخل العصبي غير المحدد ANFIS بتخطيط مجموعة

بيانات المدخلات-المخرجات باستخدام عوامل لوظائف أعضاء غير محددة. يستعرض شكل ٥ أن وحدة التحكم ١٠ تتضمن تصميم نظام تداخل عصبي غير محدد ANFIS بسيط على أساس نظام Sugeno من قاعدتين مع مدخلين، x و y ، ومخرج منفرد، f . هنا تكون A_1 ، A_2 ، B_1 و B_2 ، عبارة عن أعضاء مدخلات غير محددة للمدخلات x و y ، على الترتيب، وتستخدم لتضبيب المدخلات. يكون لنظام تداخل عصبي غير محدد Sugeno ANFIS قاعدتين قواعد على الشكل التالي:

$$(١) \quad \text{If } x \text{ is } A_1 \text{ and } y \text{ is } B_1 \text{ THEN } f_1 = p_1x + q_1y + r_1$$

$$(٢) \quad \text{If } x \text{ is } A_2 \text{ and } y \text{ is } B_2 \text{ THEN } f_2 = p_2x + q_2y + r_2$$

بالإشارة إلى شكل ٢، من بين طرق التعليم المتنوعة، تستخدم وحدة التحكم العصبية غير المحددة المنكيفة MPPT الحالية طريقة تعليم مهجنة ٢٠٠ تستخدم انتشار خلفي (BP) وتقدير أقل المربعات (LSE) للوصول إلى العوامل الافتراضية والمترتبة الأمثل. لتصميم وحدة تحكم MPPT باستخدام ANFIS، تكون المهمة الأولى (لها بطاقة تعريف كخطوة ٢٠٢) هي تجميع مجموعة بيانات المدخلات والمخرجات لأغراض تدريبية. يتم توليد هذه البيانات التدريبية باستخدام نموذج فلتائي ضوئي PV تم إنتاجه في RSCAD (برمجيات واجهة لـ RTDS). موضح عملية خطوة- ١٥ ثم-خطوة لتوليد بيانات في مخطط التدفق المبين في شكل ٢. عند خطوة ٢٠٤، يتم تقدير قيم لخمسة عوامل (IL، تيار الضوء المتولد، I₀، تيار تشبع الصمام الثنائي، RS و RSH، المقاومة على التوالي وعلى التوازي، على الترتيب، و a ، العامل النموذجي المعدل للصمام الثنائي) للوحة الفلتائية الضوئية PV التي يتم دراستها ومصنوفة الفلتائية الضوئية PV ١٦ التي تم تقديرها باستخدام خطوات حسابية فعالة (تم استخدام تطور تفاضلي). في خطوة ٢٠٦، يقوم حجم مصنوفة محدد بحث NSS (عدد ألواح متصلة على التوالي)، و Npp (عدد ألواح متصلة على التوازي) باستخدام الخصائص I-V لمصنوفة فلتائية ضوئية PV، مبين ذلك في رسم بياني ٣٠٠٠ في شكل ٣٠. عند خطوة ٢٠٨، يتم تعديل الخمسة عوامل للخطوة ٢٠٤ لمصنوفة الفلتائية الضوئية PV المحددة بـ NSS، Npp. تتضمن كتلة التدريب ٢١٠ حلقة عكسية ٢٢٤ لاستمرار توليد بيانات التدريب عند ظروف تشغيل إضافية.

داخل كتلة التدريب ٢١٠، تقوم خطوة ٢١٢ بحث عوامل التدريب 'NMAX': عدد نقاط بيانات التدريب، 'TMIN': أقل درجة حرارة، 'TMAX': أقصى درجة حرارة، 'SMIN': أقل إشعاع، 'SMAX': أقصى إشعاع. عند خطوة ٢١٤، يتم انتقاء ظروف تشغيل درجة حرارة وإشعاع بطريقة عشوائية. عند خطوة ٢١٦، تم حساب قيم العوامل المحددة لظروف التشغيل التي تم انتقائها في خطوة ٢١٤. في خطوة ٢١٨، تتميز معادلة نموذج مصفوفة الفلطائية الضوئية PV بالعلاقة:

$$(٣) \quad I_D = I_L - I_0 \left\{ \exp \left[\frac{V_{PV} + I_{PV} R_S}{a} \right] - 1 \right\} - \frac{V_{PV} + I_{PV} R_S}{R_{SH}}$$

(حيث تمثل IPV و VPV التيار والجهد المتولدين من لوحة فلطائية ضوئية PV، تكون IL تيار الضوء المتولد، تكون I0 عبارة عن تيار التشبع للصمام الثنائي، تكون RS و RSH مقاومة التوصيل على التوالي والتوازي على الترتيب، تكون a العامل النموذجي المعدل للصمام الثنائي)، يتم حلها باستخدام طريقة عددية، مثل طريقة نيوتن رافسون.

في خطوة ٢٢٠، يتم تخزين القيمة VMP (مناظرة للجهد المرجعي Vref) ضد الظروف السائدة المحددة. في خطوة ٢٢٢، يتم فحص معيار الإيقاف، وإذا لم يتطابق بعد، يتم تكرار توليد بيانات التدريب من خلال حلقة عكسية ٢٢٤. يتم عرض بيانات التدريب عند خطوة ٢٢٦ بمجرد تطابق معيار الإيقاف.

تتضمن مدخلات وحدة التحكم MPPT أساسها ANFIS ١٠ الحالية الظروف السائدة، والتي تكون عبارة عن إشعاع ودرجة حرارة. تكون مخرجات وحدة التحكم MPPT التي أساسها ANFIS الحالية عبارة عن الجهد الكهربائي المرجعي، Vref، كما هو مبين في شكل ١. يتم مقارنة هذا الجهد الكهربائي مع جهد مخرجات مصفوفة الفلطائية الضوئية PV، ويتم معالجة الفرق باستخدام منظم P1 ١٤. بعد مقارنة إشارة ناقل التردد العالي مع المخرجات من وحدة التحكم P1 ١٤، يتم توليد نبض إطلاق (PWM) للمحول تيار مستمر-تيار مستمر ١٨. يكون جهد وصلة التيار المستمر VDC عبارة عن حاصل ضرب الشغل في جهد مخرجات مصفوفة الفلطائية الضوئية PV، VPV. يقوم مكثف وصلة التيار المستمر CDC بإزالة انحراف هذا الجهد الكهربائي.

يجب أن يتم تحويل قدرة التيار المستمر القادمة من محول التيار المستمر-التيار المستمر إلى قدرة طور تيار متردد ثلاثة أطوار، إما للقيام بإمداد أحمال تيار متردد أو إلى تكامل شبكة باستخدام العاكس المستويين الثلاثة أطوار ٤٠٤، مبين في شكل ٦. تكون الوظيفة الأولى لوحدة التحكم في العاكس ٨٠٠ (مبينة في شكل ٨) هي المحافظة على الجهد الكهربائي للتيار المستمر ثابت. يتحكم التحكم الصحيح في المقدار والزاوية لجهد مخرجات العاكس في القدرة التفاعلية والفعالة المتبادلة بين وصلة التيار المستمر والشبكة. يمكن كتابة معادلات جهد المخرجات الأطوار الثلاثة كما يلي:

$$\begin{aligned} RI_a + L \frac{di_a}{dt} &= V_a - V_{ag} \\ RI_b + L \frac{di_b}{dt} &= V_b - V_{bg} \\ RI_c + L \frac{di_c}{dt} &= V_c - V_{cg} \end{aligned} \quad (٤)$$

$$L \frac{di_{ab}}{dt} = \frac{1}{3} L \left(\frac{di_a}{dt} - \frac{di_b}{dt} \right) \quad (٥)$$

حيث، تكون R و L المقاومة والحث لخط التوزيع، على الترتيب. تكون i_a ، i_b و i_c تيارات خط التوزيع؛ تكون V_a ، V_b ، V_c الجهد الكهربائي لخرج العاكس، تكون V_{ag} ، V_{bg} ، V_{cg} الجهد الكهربائي للشبكة. باستخدام إطار مرجعي دوار متزامن (محور D-Q)، يتم تنفيذ تقنية تحكم في تيار فعال منفصلة فعالة وتفاعلية باستخدام وحدة تحكم PI قياسية. في تقنية التحكم في التيار، يتحكم مكون التيار الفعال ID في القدرة الفعالة، ويتم تنظيم تدفق القدرة التفاعلية عن طريق التحكم في IQ. تدفع وحدات التحكم PI هذه التيارات إلى تتبع أوامر مرجعية محددة IDREF و IQREF، على الترتيب. سوف تكون قدرة المدخلات المرجعية إلى وصلة التيار المستمر هي قدرة المخرجات من مصفوفة الفلطائية الضوئية PV. باستخدام نظرية القدرة اللحظية:

$$\begin{aligned} P_{dc} &= P_g \\ P_g &= \frac{3}{2} (V_{LD} I_D + V_{LQ} I_Q) \\ Q_g &= \frac{3}{2} (V_{LQ} I_D - V_{LD} I_Q) \end{aligned} \quad (٦)$$

حيث تكون Pdc عبارة قدرة مكثف وصلة التيار المستمر وتكون Pg و Qg عبارة عن القدرة الفعالة والتفاعلية لجانب الشبكة، على الترتيب. سوف يؤدي محاذاة جهد الطور للشبكة للإطار المرجعي المحور D- إلى أن تكون VLQ=صفر، وبذلك يمكن أن تنخفض المعادلة إضافياً إلى:

$$(٧) \quad \begin{aligned} P_g &= \frac{3}{2}(V_{LD}I_D) \\ Q_g &= -\frac{3}{2}(V_{LD}I_Q) \end{aligned}$$

٥ تتضمن إلكترونيات تحويل الطور ٧٠٠ حلقة إقبال طور (PLL) ٧٠٢، كما هو مبين في شكل ٧، لها مخرجات ω و θ لتتبع تردد الشبكة ($\omega = 2\pi f$) وزاوية طور θ ، على الترتيب. يستخدم تردد الشبكة ($\omega = 2\pi f$) وزاوية الطور θ للجهد ABC للتحويل DQ ٧٠٤ والتيار ABC إلى تحويل DQ ٧٠٦. كما هو مبين في شكل ٨، يتم اندماج حلقة تيار داخلية PI ٨٠٤ وحلقة تيار خارجية PI ٨٠٢ لوحدة التحكم VSI. تتحكم حلقة التيار الداخلية ٨٠٤ في التيار المتردد، وتقوم الحلقة الخارجية ٨٠٢ بتوفير التيار المرجعي. تتضمن وحدة التحكم الخارجية ٨٠٢ وحدة التحكم في جهد التيار المستمر، وللاحتفاظ بقيمة صفر لتشغيل عامل قدرة الوحدة، IQREF. تحافظ وحدة التحكم في جهد التيار المستمر على جهد وصلة التيار المستمر بالنسبة لقيمتها المرجعية، وتنظم وحدة التحكم في القدرة التفاعلية ٨٠٦ القدرة التفاعلية نسبة إلى قيمتها المرجعية. حيث أنه يتم إقران المكونات D و Q، يستخدم مصطلح إقران عرضي وجهد تغذية أمامي لتحسين الأداء لوحدات التحكم في التيار PI، كما هو مبين في شكل ٨. تكون وحدة التحكم في حلقة الجهد الكهربائي الخارجي في المحور D- في إطار اللابلاس كما يلي:

$$(٨) \quad I_{DREF} = \left(k_{P1D} + \frac{k_{I1D}}{s} \right) * (V_{DC} - V_{DCREF})$$

تكون وحدة التحكم في تيار الحلقة الداخلية كما يلي:

$$(٩) \quad V_{DREF} = \left(k_{P2D} + \frac{k_{I2D}}{s} \right) * (I_{DREF} - I_D)$$

٢٠ بالمثل، تكون وحدة التحكم في التيار في المحور Q- في إطار لابلاس محددة كما يلي:

$$(١٠) \quad V_{QREF} = \left(k_{P2Q} + \frac{k_{I2Q}}{s} \right) * (0 - I_Q)$$

حيث، تكون kP's هي نواتج التناسب وتكون KI's نواتج التكامل المحددة في جدول ١.

جدول ١: قيم عوامل PI

معامل	القيمة
بالنسبة للعكس	
kP1D	٠,٧
KI1D	٠,٢
kP2D	٠,٥
KI2D	١٥
kP2Q	٥
KI2Q	٠,٥
حث الإقران L	١,٣٥ ملي هرتز
مكثف وصلة التيار المستمر CDC	٨٠ ملي فاراداي
بالنسبة إلى محول قفزي تيار مستمر-تيار مستمر (MPPT)	
KP	٠,٦
KI	٠,٢

يتم تنفيذ تصميم وحدة التحكم MPPT التي أساسها ANFIS الحالية في نطاق فعلي ٣٠٠ باستخدام dSPACE DS1104، كما هو مبين في شكل ٣. تكون المدخلات إلى وحدة التحكم الحالية ١٠ عبارة عن الإشعاع ودرجة الحرارة، وتكون ممثلة بالكتل DS1104ADC_C5 و DS1104ADC_C6 في النموذج Simulink في الزمن الفعلي ٣٠٠، على الترتيب. يتم

الحصول على الكتل DS1104ADC_C5 و DS1104ADC_C6 من مكتبة dSPACE في Matlab/Simulink وتحويل الإشارة التناظرية إلى إشارة رقمية. بالمثل، تكون المخرجات لوحدة التحكم الحالية Vref ممثلة بـ DA1104DAC_C1، وتحويل الإشارة الرقمية إلى تناظرية (DAC). تستخدم الكتل التي تمثل وحدة التحكم ١٠ و DAC لتكامل وحدة التحكم dSPACE مع إشارات وأجهزة تناظرية خارجية. كما هو مبين في شكل ٩، تكون هذه الكتل متصلة بـ GTAO و GTAI لـ RTDs ٩٠٢. تكون الكتل DS1104ADC_C5 و DS1104ADC_C6 متصلة بـ GTAO وتقبل الإشارات التناظرية من درجة حرارة وإشعاع كمدخلات، كما هو مبين في نظام التحكم الحلقة المغلقة ٩٠٠ في شكل ٩. بنفس الطريقة، تكون DA1104DAC_C1 متصلة مع GTAI لـ RTDs وترسل إشارة التحكم مرة ثانية إلى RTDs. تستخدم الـ RTDS في رف واحد، لها ثلاثة وحدات معالجة PB5، بطاقتين شبكة GTnet، وبطاقة GTWIF واحدة. يتضمن التجهيز الكامل للتجربة الـ RTDS ٩٠٢، dSPACE والمضيف PC ٩٠٤ الذي يحتوي برمجية الواجهة RSCAD، كما هو مبين في شكل ٩. رغم أنه قد تم استعراض وحدة التحكم العصبية غير المحددة المتكيفة الحالية MPPT باستخدام حاسوب شخصي (PC) ٩٠٤ و RTDS ٩٠٢ المرتبطة مع الوحدات النمطية مع الوحدات النمطية dSPACE، يجب أن يدرك فرد متمرس في المجال أن النماذج لوحدة التحكم MPPT العصبية غير المحددة المتكيفة الحالية ١٠ يمكن أن تتضمن برمجيات أو رمز برمجيات ثابتة يتم تنفيذها على حاسوب، حاسوب صغري، معالج صغري، أو معالج DSP؛ ماكينات حالة يتم تنفيذها في تطبيق محدد أو منطوق قابل للبرمجة؛ أو أشكال عديدة أخرى، وتكون متصلة قابلة للتشغيل مع مصفوفة قدرة طاقة شمسية ومحول قفزي لتبادل إشارة بين المعالج، مصفوفة القدرة الشمسية، والمحول القفزي، يكون للمعالج برمجيات أو رمز برمجيات ثابتة لتشغيل الشبكة العصبية غير المحددة المتكيفة، بدون الابتعاد عن الفحوى والمجال للاختراع الحالي. يمكن توفير طرق تنفيذ وحدة التحكم MPPT العصبية غير المحددة المتكيفة الحالية ١٠ كبرنامج حاسوب، والذي يتضمن وسط يمكن قراءته بحاسوب ثابت له تعليمات مخزنة داخلة والتي يمكن استخدامها في برمجة حاسوب (أو أجهزة إلكترونية أخرى) لتنفيذ عملية طبقاً للطرق. يمكن أن يتضمن الوسط الذي يمكن قراءته بحاسوب، ولكن بدون تقييد إلى، أسطوانات مرنة، أسطوانات بصرية، وأسطوانات بصرية-مغناطيسية، ROMs، RAMs، EPROMs، EEPROMs، بطاقات مغناطيسية أو بصرية،

ذاكرة ومضوية، أو أنواع أخرى لوسط أو وسط يمكن قراءته بحاسوب مناسب لتخزين تعليمات إلكترونية.

تم إنتاج مصفوفة فلتائية ضوئية PV لها المواصفات المحددة في جدول ٢ على RTDs. هي تتضمن ٥٠ وحدة نمطية متصلة على التوالي و ٢٠ وحدة نمطية متصلة على التوازي. يبين شكلي ١٠ و ١١ النموذج RTDS الكامل الذي يتضمن مصدر جهد كهربائي تيار متردد للفلطائية الضوئية ١٠٠٠ ومصدر تيار متردد ثلاثة أطوار متصل بالشبكة ١١٠٠. بالنسبة لشدة الطاقة الشمسية المرجعية بقيمة ١٠٠٠ وات/متر^٢ و ٢٥°م، وسوف يكون جهد التشغيل VMP والتيار IMP عند MPPT ٥٠ x ١٧,٤ فولت = ٨٧٠ فولت، و ٢٠ x ٣,٠٥ أمبير = ٦١ أمبير، على الترتيب. تكون أقصى قدرة خرج متوقعة عند نقطة التشغيل هذه من مصفوفة الفلتائية الضوئية هذه ٥٣ كيلو وات (٨٧٠ فولت x ٦١ أمبير). كان تردد الناقل الذي استخدمه مصدر الجهد الكهربائي VSI ١٦٢٠ هرتز (٢٧ x ٦٠ هرتز). لاستعراض الفعالية لل MPPT الذي أساسه ANFIS الحالي ونظام الفلتائية الضوئية PV المتصل بالشبكة، تم تطبيق تغيير خطوة لأعلى في الإشعاع من ٥٠٠ إلى ١٠٠٠ وات/متر^٢، وتغيير خطوة لأعلى في درجة الحرارة من ٢٥ إلى ٥٠°م.

١٥ جدول ٢: عوامل لوحة فلتائية ضوئية PV

العامل	قيمة
جهد الدائرة المفتوحة	٢١,٧ فولت
تيار الدائرة المقصرة	٣,٣٥ أمبير
جهد كهربائي عند P _{MAX}	١٧,٤ فولت
تيار عند P _{MAX}	٣,٠٥ أمبير
عدد خلايا فلتائية ضوئية PV في كل نموذج	٣٦
عامل نمذجي لكل صمام ثنائي فلتائية ضوئية PV	١,٥

٣	عامل معتمد على درجة الحرارة
٢٥°م	درجة حرارة مرجعية
٠,٠٦٥	معامل درجة حرارة ل ISC
١٠٠٠ وات/متر ^٢	شدة طاقة شمسية مرجعية

يكون الاضطراب الأول الذي تم تسليطه لاختبار الفعالية لوحدة التحكم الحالية عبارة عن خطوة التغيير لأعلى في الإشعاع من ٥٠٠ إلى ١٠٠٠ وات/متر^٢، مع الاحتفاظ بدرجة الحرارة ثابتة. تم تسليط الاضطراب الذي تم استخدامه وتم تقديم استجابة النظام في الأشكال ١٢-١٧. تتبعت وحدة التحكم MPPT الحالية الجهد الكهربائي الأقصى من مصفوفة الفلطائية الضوئية PV، وتم توليد أقصى قدرة PPV. تكون وحدة التحكم في العاكس قادرة على تحويل القدرة التي تم توليدها من مصفوفة الفلطائية الضوئية PV إلى الشبكة Pg. كما هو مبين في الرسم بياني ١٢٠٠ في شكل ١٢، تكون القدرتين متطابقتين بالضبط، مع قدرة قد تم توليدها بقيمة ٥٣ كيلووات عند نقطة التشغيل العادية بقيمة ١٠٠٠ وات/متر^٢ و ٢٥°م. يبين الرسم بياني ١٣٠٠ في شكل ١٣ المخرجات لجهد المخرجات Vref لوحدة التحكم MPPT التي أساسها ANFIS ويبين كيف أن وحدة التحكم في محول التيار المستمر-التيار المستمر قد دفعت مصفوفة الفلطائية الضوئية PV لأن تتبع الـ MPP عن أقصى قدرة VPV مصفوفة فلطائية ضوئية PV. يتم الاحتفاظ بجهد وصلة التيار المستمر، المبين في الرسم بياني ١٤٠٠ في شكل ١٤ ثابتاً باستخدام وحدة تحكم العاكس، والتي تسمح بأن يكون التيار قابل للتحكم (مبين كرسم بياني ١٥٠٠ في شكل ١٥). تم استخدام جهد كهربائي بقيمة ٦٥٠ فولت كجهد وصلة تيار مستمر ثابت مرجعي، ويتغير التيار المستمر اعتماداً على التغيير في الإشعاع ودرجة الحرارة، كما هو مبين في شكلي ١٤ و ١٥. يكون مكون التيار في المحور D- مسئولاً عن تحويل قدرة فعلية إلى الشبكة، وتحفظ وحدة التحكم في العاكس بخطأ بين التيار الفعلي والتيار المرجعي في محور D- بالقرب من صفر، كما هو مبين في رسم بياني ١٦٠٠ في شكل ١٦. مبين جهد مخرجات العاكس في رسم بياني ١٧٠٠ في شكل ١٧. يقوم المحول المتصل بين العاكس والشبكة بنزع انحراف جهد التيار المستمر.

- يكون الاضطراب الثاني الذي تم تسليطه لاختبار قوة وحدة التحكم عبارة عن خطوة تغيير لأعلى في درجة الحرارة من ٢٥ إلى ٥٠م°، مع الاحتفاظ بالإشعاع عند مستوى ١٠٠٠ وات/متر^٢. من الخصائص الكهربائية لمصفوفة الفلطائية الضوئية PV، تنخفض قدرة المخرجات عند درجة حرارة أعلى، ومبين النتائج في الأشكال ١٨-٢٣. تتبع قدرة الشبكة Pg قدرة مخرجات PPV مصفوفة الفلطائية الضوئية PV، كما هو مبين في رسم بياني ١٨٠٠ في شكل ١٨. وقد تناقصت القيمة ٥ عن الاسمية ٥٣ كيلوات، حيث أنه قد زادت درجة الحرارة. يبين الرسم بياني ١٩٠٠ في شكل ١٩ جهد مخرجات مصفوفة الفلطائية الضوئية PV والجهد لـ MPPY التابعين لبعضهما البعض، كما فرضته وحدة التحكم. بالمثل للتغير في الإشعاع، تحتفظ وحدة التحكم في العاكس بجهد وصلة التيار المستمر ثابتاً في خطوة التغيير في درجة الحرارة، كما هو مبين في رسم بياني ٢٠٠٠ في شكل ١٠. شكل ٢٠، بينما يتم المحافظة على تيار الوصلة، كما هو مبين في رسم بياني ٢١٠٠ في شكل ٢١. تحتفظ وحدة التحكم في العاكس بتيارات العاكس الفعلية ومكون المحور D- المرجعي بالقرب من بعضهما البعض، كما هو مبين في الرسم بياني ٢٢٠٠ في شكل ٢٢. بالنسبة لعامل قدرة الوحدة، يتم الاحتفاظ بالقدرة التفاعلية المرجعية عند صفر، ومن الرسم بياني ٢٣٠٠ في شكل ٢٣، تكون قدرة القدرة التفاعلية الفعلية المقاسة Qg حوالي صفر.
- ١٥ من التجارب، تم تنفيذ سلسلة اختبارات في البيئة RTDS و dSPACE DS1104 لفحص الفعالية لوحدة التحكم الحالية وتقييم أدائها في ظل خطوات تغيير مختلفة في الإشعاع ودرجة الحرارة. مبين في الرسم بياني ٢٤٠٠ في شكل ٢٤ المقارنات التجريبية لمخرجات قدرة PPV فلتائية ضوئية PV باستخدام وحدة التحكم MPPT التي أساسها ANFIS الحالية ووحدة التحكم التي أساسها موصلية متدرجة (IC). تستعرض النتائج بوضوح أنه يكون لوحدة التحكم الحالية القدرة على تتبع الـ MPP بطريقة أسرع من وحدة التحكم IC التقليدية بدون ذبذبات كبيرة في حالة مستقرة. مبين في رسم بياني ٢٥٠٠ و ٢٦٠٠ في شكلي ٢٥ و ٢٦، على الترتيب، جهد وتيار المخرجات للفلطائية الضوئية PV في ظل خطوة التغيير في الإشعاع. تؤكد النتائج المبينة في شكلي ٢٥ و ٢٦ الفعالية لوحدة التحكم الحالية وتفوقها على وحدة تحكم تقليدية. يؤكد هذا تجريبياً التنافس لـ MPPT الذي أساسه ANFIS الحالي على طرق تقليدية في ظل اضطراب كبير.

علاوة على ذلك، تم إجراء مقارنة بين نتائج محاكاة في Matlab/Simulink ونتائج تجريبية لتأكيد الدقة لوحدة التحكم الحالية في ظل ظروف خطوة التغيير لأسفل في الإشعاع. مبين في الأشكال ٢٧-٢٩ مقارنة لاستجابة وأداء النظام في ظل هذه الاضطراب. مبين مخرجات قدرة PV الفلطائية الضوئية PV في الرسم بياني ٢٧٠٠ في شكل ٢٧ والذي يؤكد التوافق بين النتائج التجريبية والمحاكاة، ويستعرض بذلك القوة لوحدة التحكم الحالية لتتبع الMPP في ظل هذا الاضطراب. موضح في رسم بياني ٢٨٠٠ و ٢٩٠٠ في شكلي ٢٨ و ٢٩ مقارنة لجهد VPV وتيار IPV المخرجات الفلطائية الضوئية PV، على الترتيب. يمكن ملاحظة أن نتائج المحاكاة تكون إلى حد كبير جداً مماثلة للنتائج التجريبية، والتي تؤكد تجريبياً الفعالية لوحدة التحكم المفترضة في ظل الاضطراب الكبير.

١٠ تم وصف وحدة تحكم MPPT أساسها ANFIS ١٠ مع وحدة تحكم فعالة وتفاعلية بطريقة مستقلة ٨٠٠ لنظام فلتائي ضوئي PV ٤٠٠ متصل بشبكة. تكون وحدة التحكم MPPT التي أساسها ANFIS ١٠ الحالية مدربة لتدفع مصفوفة الفلطائية الضوئية PV لتعمل عند نقطة القدرة القصوى. تم تنفيذ تجريبياً وحدة تحكم مدربة على dSPACE. تم تنفيذ متجه وحدة تحكم في RTDS للتحكم بطريقة مستقلة في القدرة الفعالة والتفاعلية. تم استخدام RTDS و dSPACE للمساعدة في التحقق من وحدات التحكم المفترضة. بينت النتائج أن وحدات التحكم الحالية تكون فعالة في تسليم القدرة القصوى من الفلطائية الضوئية PV إلى الشبكة. بينت المقارنة مع الMPPT التي أساسها IC التفوق لوحدة التحكم التي أساسها ANFIS ١٠ الحالية في تتبع نقطة القدرة القصوى.

يجب إدراك أن الاختراع الحالي غير مقيد بالنماذج التي تم وصفها أعلاه، ولكن يشتمل على أي وكل النماذج التي تقع داخل مجال عناصر الحماية التالية.

عناصر الحماية

- ١- نظام تحكم عصبي غير محدد لنظام فلتائي ضوئي (PV) متصل بشبكة، يتضمن:
مصفوفة قدرة طاقة شمسية تخرج جهد لوحة VPV؛
محول تيار مستمر-تيار مستمر متصل بطريقة قابلة للتشغيل مع مصفوفة قدرة الطاقة الشمسية؛
وحدة تحكم تناسبية-تكاملية (PI) متصلة بطريقة قابلة للتشغيل بمحول التيار المستمر-التيار المستمر، تتحكم وحدة التحكم PI في دورة شغل لمحول التيار المستمر-التيار المستمر؛
وحدة معالجة في اتصال قابل للتشغيل مع مصفوفة قدرة الطاقة الشمسية، تتضمن وحدة المعالجة وسيلة لاستقبال معلومات درجة حرارة وإشعاع من مصفوفة قدرة الطاقة الشمسية ووسيلة لتشغيل شبكة عصبية غير محددة متكيفة، تُخرج الشبكة العصبية غير المحددة المتكيفة جهد كهربائي مرجعي V_{ref} ؛ و
١٠ وسيلة لتطبيق مدخلات مرجعية على وحدة التحكم PI، وتتميز المدخلات المرجعية بالعلاقة $(V_{ref} - VPV)$ ؛
حيث يتم تحديد موقع نقط القدرة القصوى (MPPT) لمصفوفة الفلتائية الضوئية PV بطريقة ناجحة في ظل قيم تغير درجة الحرارة والإشعاع لمصفوفة الفلتائية الضوئية.
- ١٥ ٢- نظام التحكم العصبي غير المحدد طبقاً لعنصر الحماية رقم ١، حيث يتضمن أيضاً وسيلة لتدريب الشبكة العصبية غير المحددة المتكيفة، وتتضمن وسيلة التدريب:
وسيلة لتقدير عوامل مصفوفة الفلتائية الضوئية PV، تكون عوامل مصفوفة الفلتائية الضوئية عبارة عن IL ، تيار الضوء المتولد، I_0 ، تيار تشبع الصمام الثنائي، RS و RSH ، المقاومة على التوالي وعلى التوازي، على الترتيب، و a ، العامل النموذجي المعدل للصمام الثنائي؛
٢٠ وسيلة لحت حجم مصفوفة الفلتائية الضوئية PV، يتميز حجم مصفوفة الفلتائية الضوئية بمتغيرات N_{pp} ، N_{ss} حيث تكون N_{ss} عدد الألواح المتصلة على التوالي وتكون N_{pp} عدد الألواح المتصلة على التوازي؛
وسيلة لتعديل عوامل المصفوفة الفلتائية الضوئية PV التقديرية IL ، I_0 ، RS ، RSH و a على أساس حجم مصفوفة الفلتائية الضوئية PV التي تم حثها المحددة ب N_{ss} ، N_{pp} ؛

وسيلة لحد عوامل تدريب، حيث تكون NMAX، عدد نقاط بيانات التدريب، تكون TMIN، أقل درجة حرارة، تكون TMAX، أقصى درجة حرارة، تكون SMIN، أقل إشعاع، وتكون SMAX أقصى إشعاع؛

وسيلة لانتقاء ظروف تشغيل درجة حرارة وإشعاع عشوائيين؛

٥ وسيلة لحساب قيم عوامل مصفوفة الفلطائية الضوئية PV المحددة بظروف التشغيل التي تم انتقائها؛

وسيلة لحل معادلة نموذج مصفوفة الفلطائية الضوئية PV، تتميز معادلة مصفوفة الفلطائية الضوئية PV بالعلاقة:

١٠ حيث تمثل IPV و VPV التيار والجهد المتولدين من لوحة فلطائية ضوئية PV، تكون IL تيار الضوء المتولد، تكون IO عبارة عن تيار التشبع للصلام الثنائي، تكون RS و RSH مقاومة التوصيل على التوالي والتوازي على الترتيب، وتكون a العامل النموذجي المعدل للصلام الثنائي؛ وسيلة لتخزين جهد مرجعي لنقطة أقصى قدرة VMP المحددة من الحل لمعادلة نموذج مصفوفة الفلطائية الضوئية PV والمناظر للجهد المرجعي Vref في ظروف التشغيل التي تم انتقائها؛ و وسيلة لتخزين قيم VMP الإضافية المناظرة لظروف التشغيل التي تم انتقائها إضافياً حتى مطابقة معيار الإيقاف. ١٥

٣- نظام التحكم العصبي غير المحدد طبقاً لعنصر الحماية رقم ٢، حيث يتضمن أيضاً وسيلة لعرض البيانات التدريبية بمجرد تطابق معيار الإيقاف.

٢٠ ٤- نظام التحكم العصبي غير المحدد طبقاً لعنصر الحماية رقم ١، حيث يتضمن أيضاً وسيلة لتحويل قدرة تيار مستمر قادمة من محول التيار المستمر-التيار المستمر إلى قدرة تيار متردد ثلاثة أطوار، إما لإمداد أحمال تيار متردد أو للتكامل مع الشبكة.

٢٥ ٥- نظام التحكم العصبي غير المحدد طبقاً لعنصر الحماية رقم ١، حيث يتضمن أيضاً عاكس مستويين ثلاثة أطوار مقرر مع محول التيار المستمر-التيار المستمر لتحويل قدرة تيار مستمر

قادمة من محول التيار المستمر-التيار المستمر إلى قدرة تيار متردد ثلاثة أطوار، إما لإمداد أحمال تيار متردد أو للتكامل مع الشبكة.

٥ ٦- نظام التحكم العصبي غير المحدد طبقاً لعنصر الحماية رقم ٥، حيث يتضمن أيضاً حلقة إقفال طور (PLL) متصلة بالعاكس المستويين الثلاثة أطوار، يكون لحلقة إقفال الطور PLL مخرجات α و β لتتبع تردد ($\omega=2\pi f$) وزاوية طور α للشبكة، على الترتيب، يتم استخدام مخرجات حلقة إقفال الطور PLL لتحويل إطار مرجعية الجهد ABC/DQ ولتحويل إطار مرجعية التيار ABC/DQ.

١٠ ٧- نظام التحكم العصبي غير المحدد طبقاً لعنصر الحماية رقم ٦، حيث يتضمن العاكس المستويين الثلاثة أطوار أيضاً وحدة تحكم جهد تيار مستمر تحافظ على جهد وصلة تيار مستمر نسبة إلى قيمته المرجعية.

١٥ ٨- نظام التحكم العصبي غير المحدد طبقاً لعنصر الحماية رقم ٦، حيث يتضمن العاكس المستويين الثلاثة أطوار أيضاً وحدات تحكم تيار منفصلة فعالة وتفاعلية للتحكم بطريقة مستقلة في قدرة فعالة (P) وتفاعلية (Q)، على الترتيب.

٢٠ ٩- نظام التحكم العصبي غير المحدد طبقاً لعنصر الحماية رقم ٢، حيث يتضمن أيضاً وسيلة للوصول إلى عوامل مصفوفة الفلطائية الضوئية PV التقديرية المثلى.

١٠- منتج برنامج حاسوب، يتضمن وسط حاسوب ثابت يمكن قراءته بواسطة وحدة معالجة، يتم تخزين داخل وسط الحاسوب الثابت مجموعة تعليمات لتدريب وحدة تحكم نقطة أقص قدرة عصبية غير محددة منكيفة (MPPT) لنظام فلطائي ضوئي (PV) متصل بشبكة، تتضمن مجموعة التعليمات:

٢٥ (أ) سلسلة تعليمات أولى والتي، عند تنفيذها بواسطة وحدة المعالجة، تؤدي إلى أن تقوم وحدة المعالجة المذكورة بتقدير عوامل لمصفوفة فلطائية ضوئية PV لنظام الفلطائية الضوئية PV، تكون

عوامل مصفوفة الفلطائية الضوئية IL ، تيار الضوء المتولد، I0، تيار التشبع للصمام الثنائي، تكون RS و RSH المقاومات على التوالي وعلى التوازي، على الترتيب، وتكون a العامل النموذجي المعدل للصمام الثنائي؛

٥ (ب) سلسلة ثانية من تعليمات التي، عندما تقوم وحدة المعالجة بتنفيذها، تؤدي إلى أن تقوم وحدة المعالجة المذكورة بحث حجم مصفوفة الفلطائية الضوئية PV، يتميز حجم مصفوفة الفلطائية الضوئية PV بالمتغيرات Nss، Npp حيث تكون Nss العدد للألواح المتصلة على التوالي وتكون Npp العدد للألواح المتصلة على التوازي؛

١٠ (ج) سلسلة ثالثة من تعليمات التي، عندما تقوم وحدة المعالجة بتنفيذها، تؤدي إلى أن تقوم وحدة المعالجة بتعديل عوامل مصفوفة الفلطائية الضوئية PV التقديرية IL، I0، RS، RSH، و a على أساس حجم مصفوفة الفلطائية الضوئية PV التي تم حثها المحددة بـ NPP و NSS؛

(د) سلسلة تعليمات رابعة التي، عندما تقوم وحدة معالجة بتنفيذها، تؤدي إلى أن تقوم وحدة المعالجة بحث تدريب عوامل، NMAX، يكون العدد لنقاط بيانات التدريب، تكون TMIN درجة الحرارة الأدنى، تكون TMAX درجة الحرارة الأقصى، تكون SMIN الإشعاع الأدنى، وتكون SMAX الإشعاع الأقصى؛

١٥ (هـ) سلسلة تعليمات خامسة والتي، عندما تقوم وحدة المعالجة بتنفيذها، تقوم وحدة المعالجة المذكورة بانتقاء ظروف تشغيل درجة حرارة وإشعاع عشوائيين؛

(و) سلسلة تعليمات سادسة التي، عندما تقوم وحدة المعالجة بتنفيذها، تؤدي إلى أن تقوم وحدة المعالجة المذكورة بحساب قيمة عوامل مصفوفة الفلطائية الضوئية PV في ظل ظروف التشغيل المنتقاة؛

٢٠ (ز) سلسلة تعليمات سابعة التي، عندما تقوم وحدة المعالجة بتنفيذها، تؤدي إلى أن تقوم وحدة المعالجة المذكورة بحل معادلة نموذج مصفوفة الفلطائية الضوئية PV، تتميز معادلة مصفوفة الفلطائية الضوئية PV بالعلاقة:

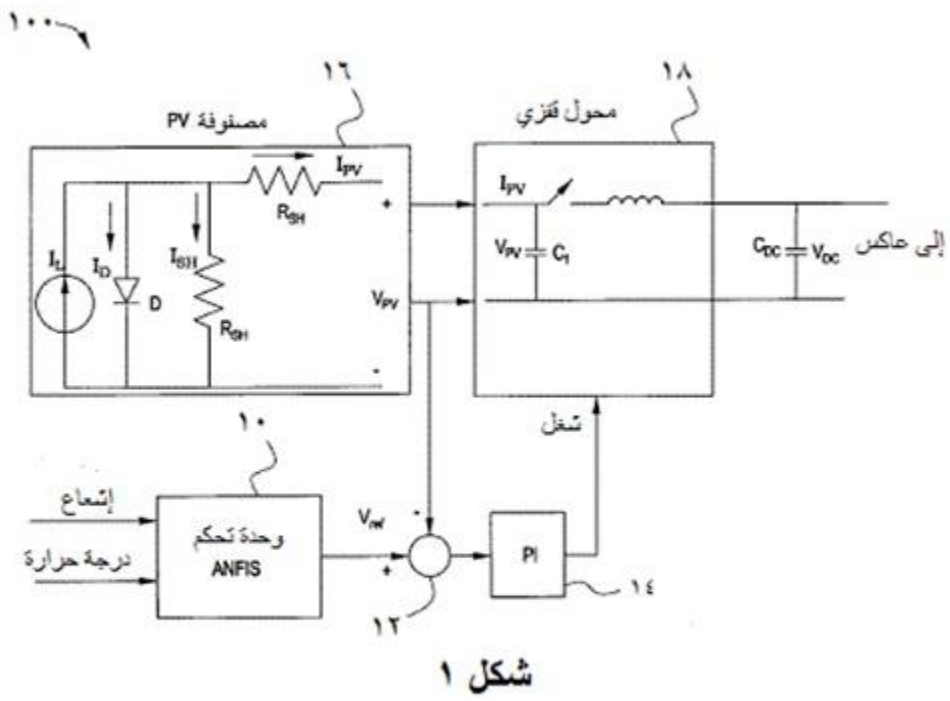
$$I_D = I_L - I_0 \left\{ \exp \left[\frac{V_{PV} + I_{PV} R_S}{a} \right] - 1 \right\} - \frac{V_{PV} + I_{PV} R_S}{R_{SH}}$$

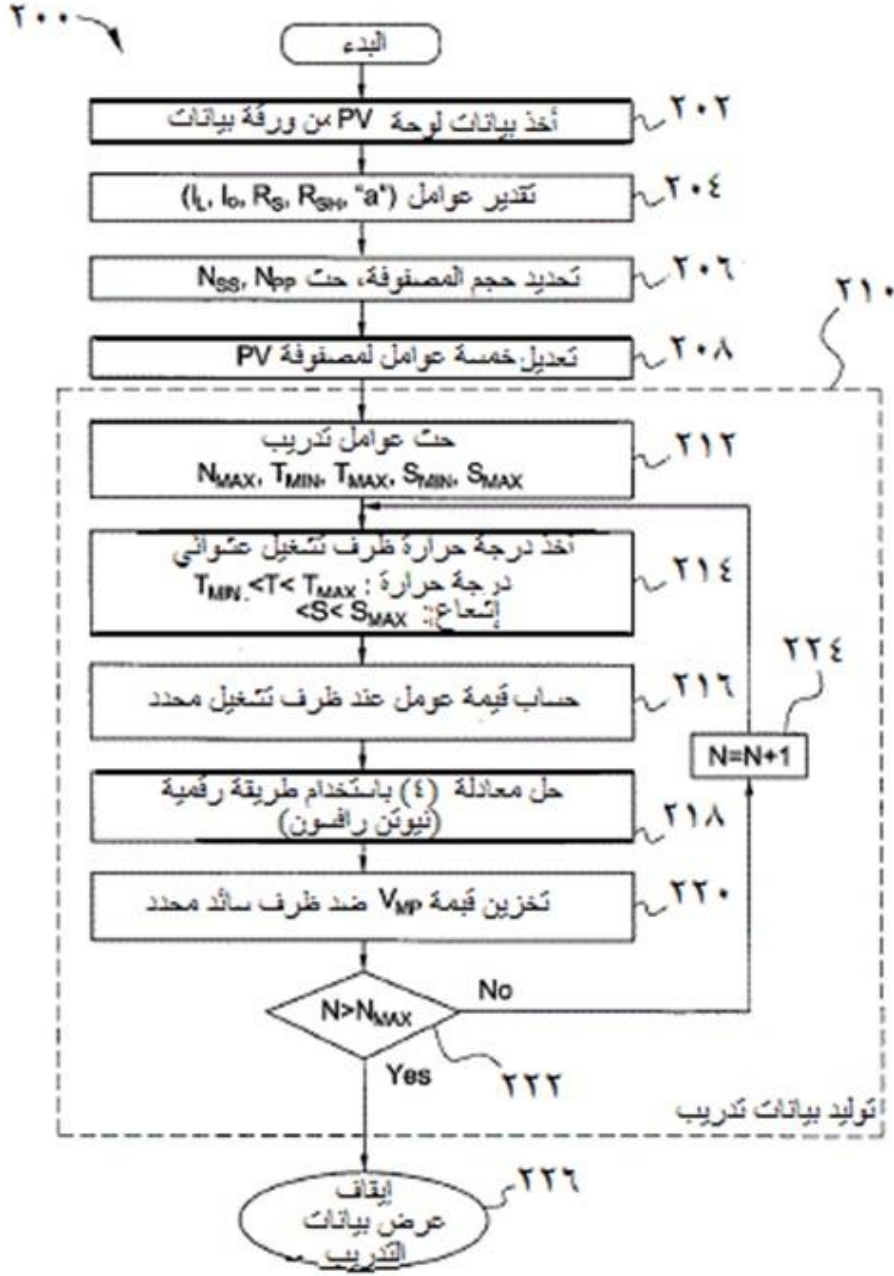
حيث تمثل IPV و VPV التيار والجهد المتولدين من لوحة فلتائية ضوئية PV، تكون IL تيار الضوء المتولد، تكون I0 عبارة عن تيار التشبع للصبام الثنائي، تكون RS و RSH مقاومة التوصيل على التوالي والتوازي على الترتيب، تكون a العامل النموذجي المعدل للصبام الثنائي؛ (ح) سلسلة تعليمات ثامنة التي، عندما تقوم وحدة المعالجة بتنفيذها، تؤدي إلى أن تقوم وحدة المعالجة المذكورة بتخزين جهد مرجعي لنقطة أقصى قدرة VMP المحددة من الحل لمعادلة نموذج مصفوفة الفلتائية الضوئية PV والمناظر للجهد المرجعي Vref في ظروف التشغيل التي تم انتقائها؛ و

(ط) سلسلة تعليمات تاسعة التي، عندما تقوم وحدة المعالجة بتنفيذها، تؤدي إلى أن تقوم وحدة المعالجة المذكورة بتخزين قيم VMP المناظرة لظروف التشغيل التي تم انتقائها عشوائياً إضافياً حتى مطابقة معيار الإيقاف.

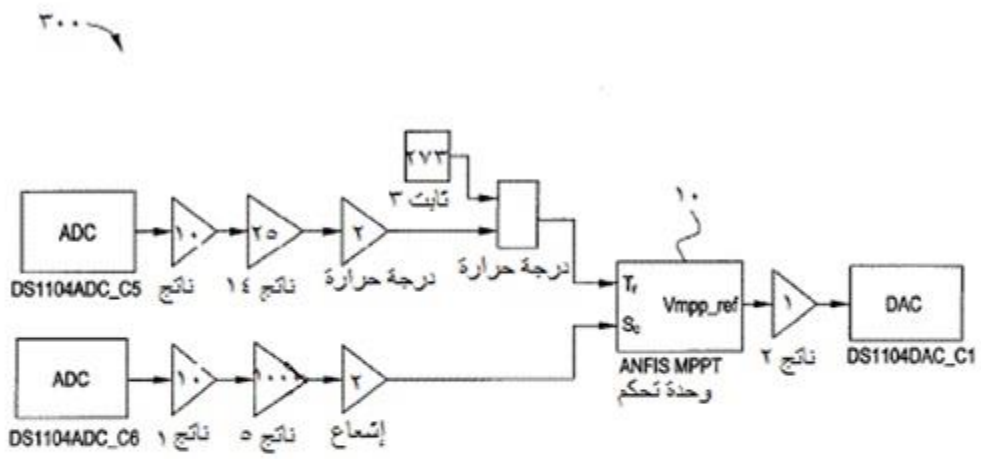
١١ - منتج برنامج الحاسوب طبقاً لعنصر الحماية رقم ١٠، حيث يتضمن أيضاً سلسلة تعليمات عاشر التي، عندما تقوم وحدة المعالجة بتنفيذها، تؤدي إلى أن تقوم وحدة المعالجة المذكورة بعرض بيانات تدريب بمجرد مطابقة معيار الإيقاف.

١٢ - منتج برنامج الحاسوب طبقاً لعنصر الحماية رقم ١٠، حيث يتضمن أيضاً سلسلة تعليمات حادية عشر والتي، عندما تقوم وحدة المعالجة بتنفيذها، تؤدي إلى أن تقوم وحدة المعالجة المذكورة بإعادة نشر أخطاء التدريب باستخدام تقدير أقل المربعات للوصول إلى عوامل مصفوفة الفلتائية الضوئية PV التقديرية المثلي.

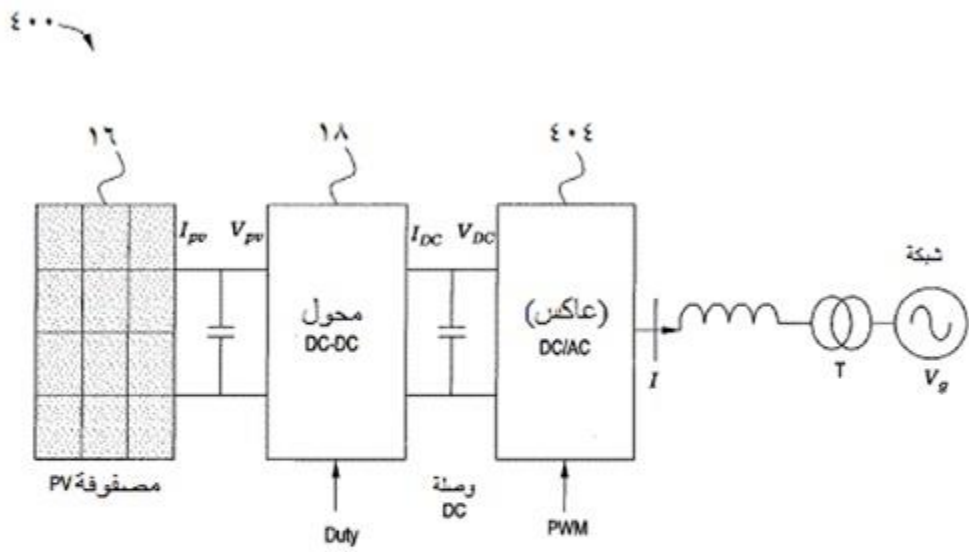




شكل ٢

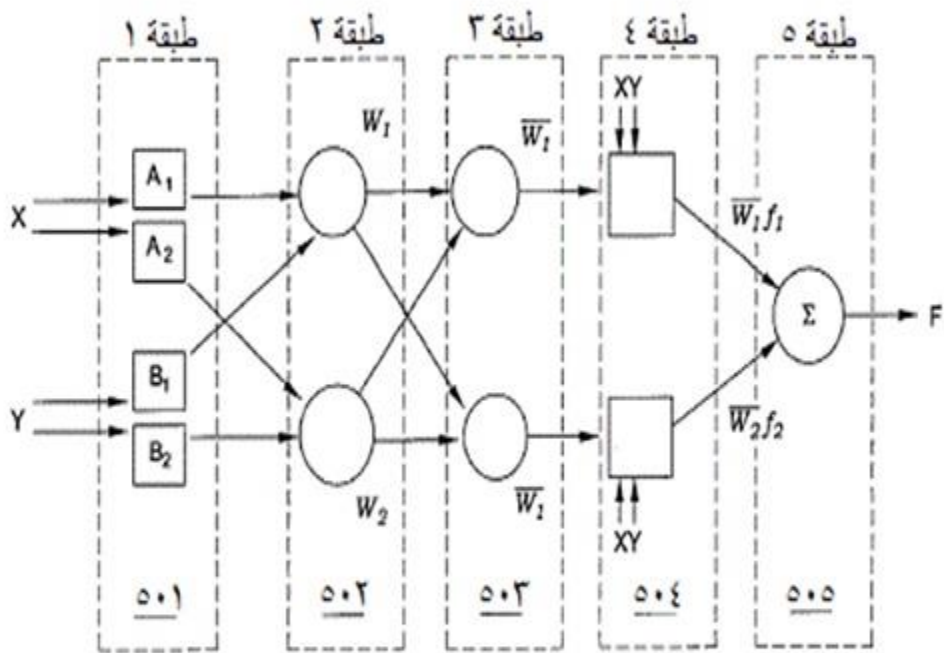


شكل ٣



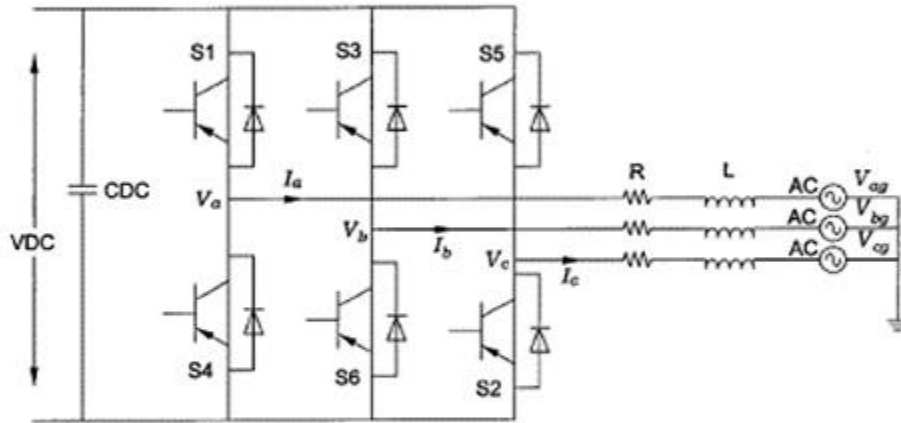
شكل ٤

١٠٧

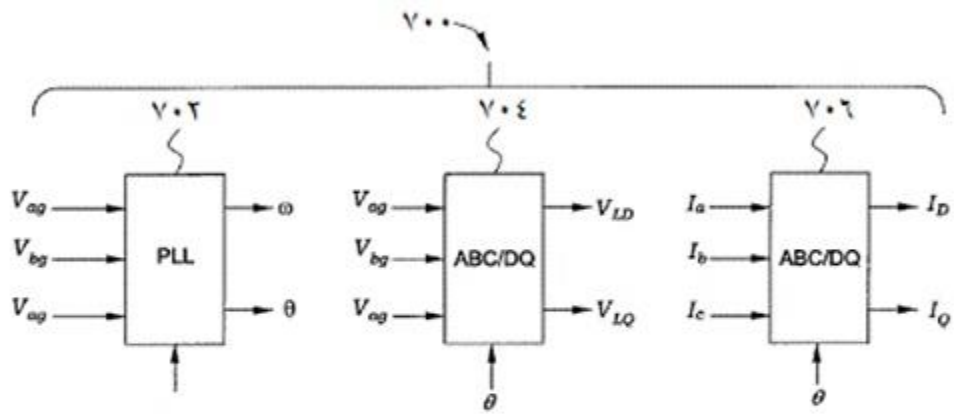


شكل ٥

۴۰۴

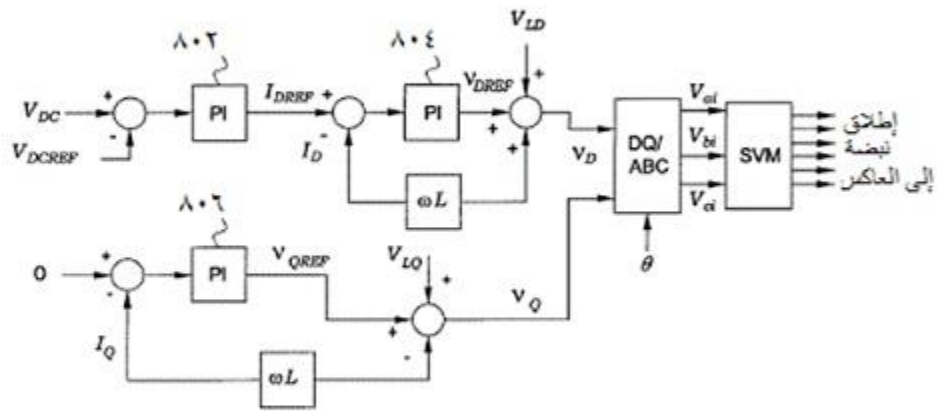


شکل ۶

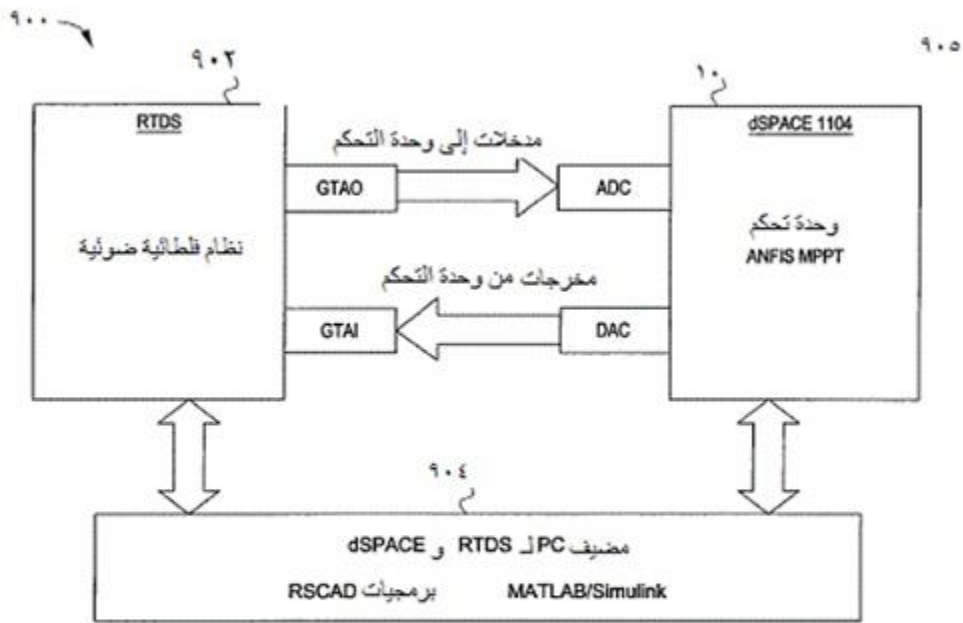


شکل ۷

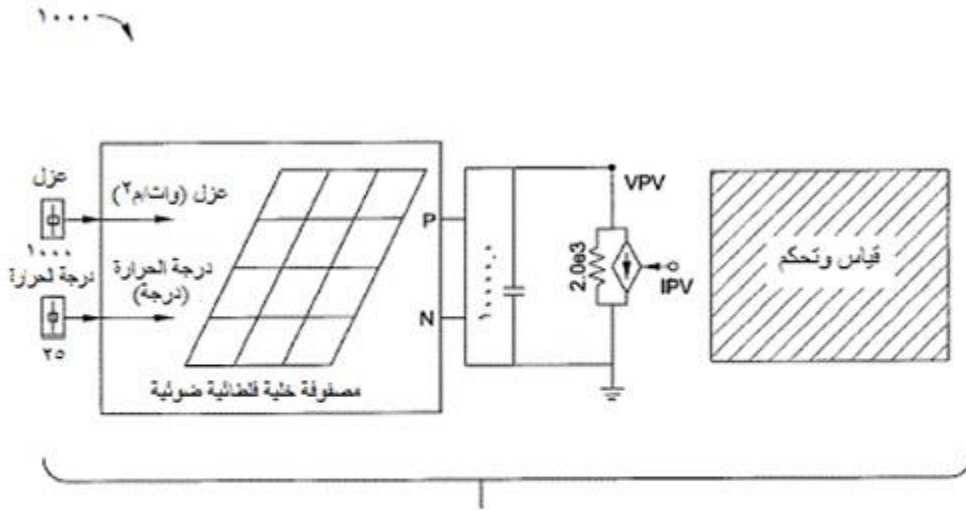
٨٠٠



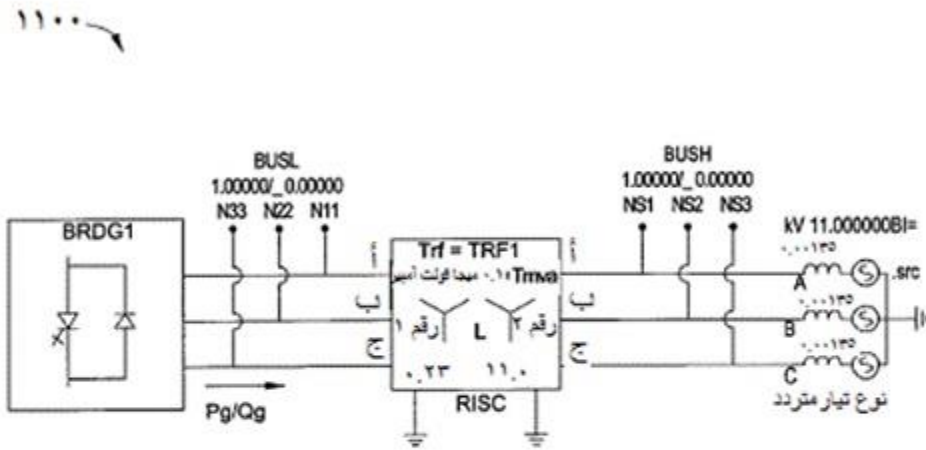
شكل ٨



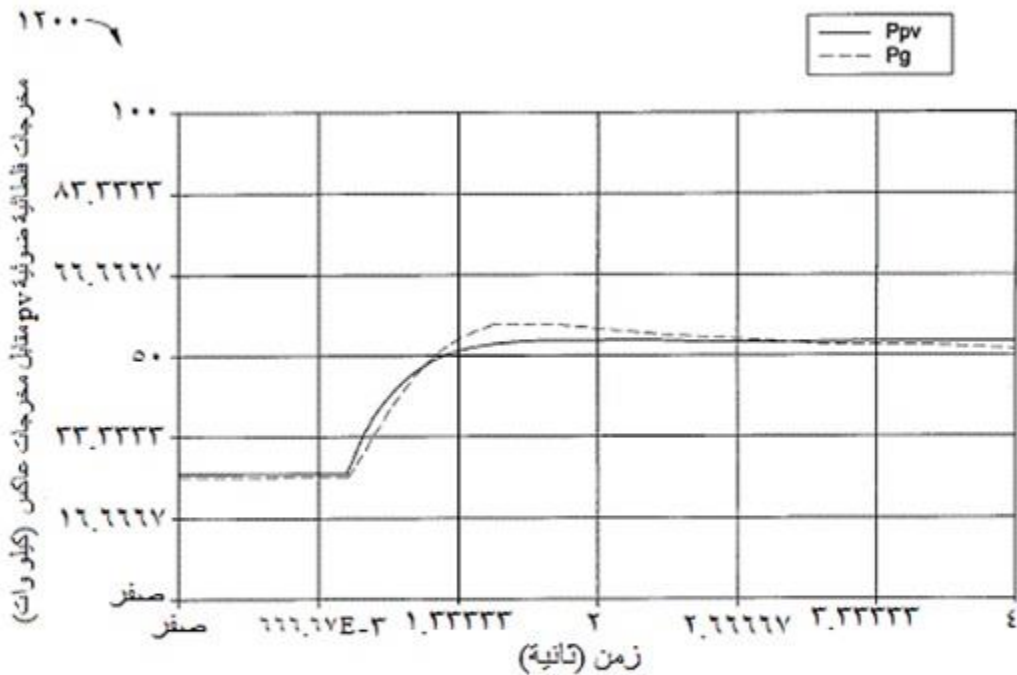
شكل ٩



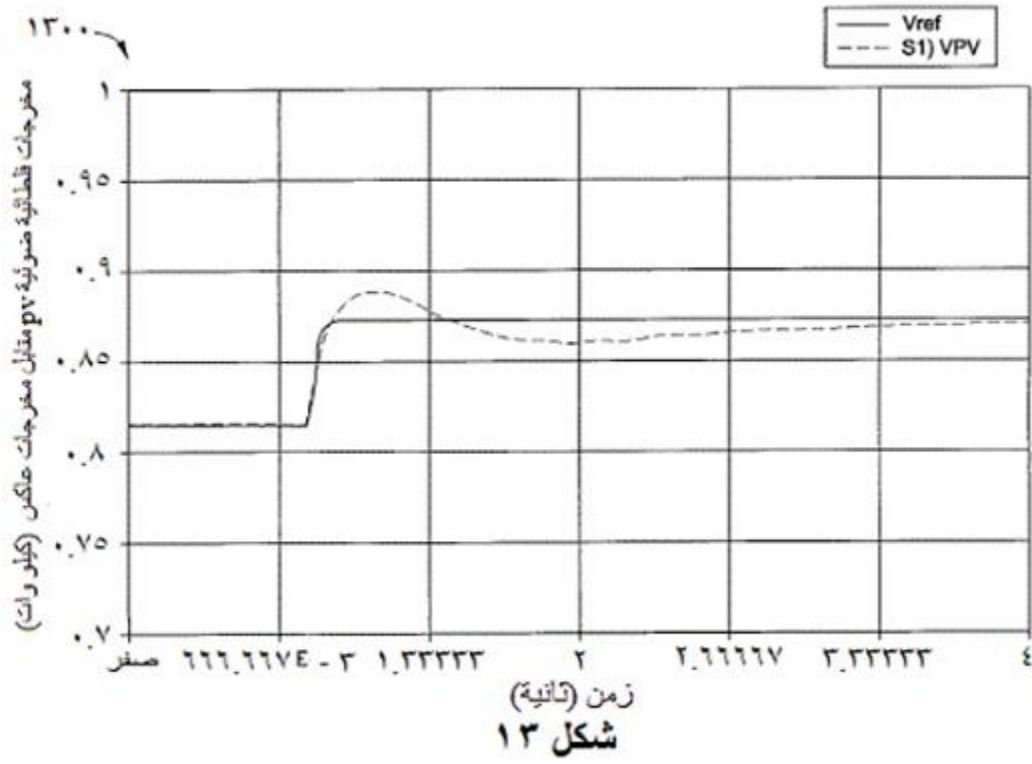
شكل ١٠



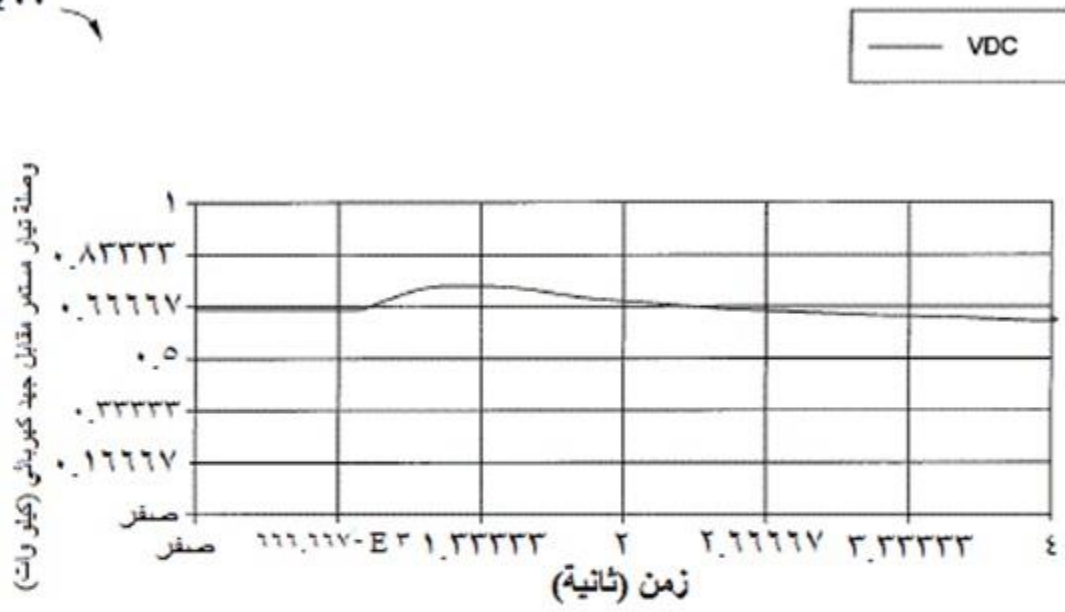
شکل ۱۱



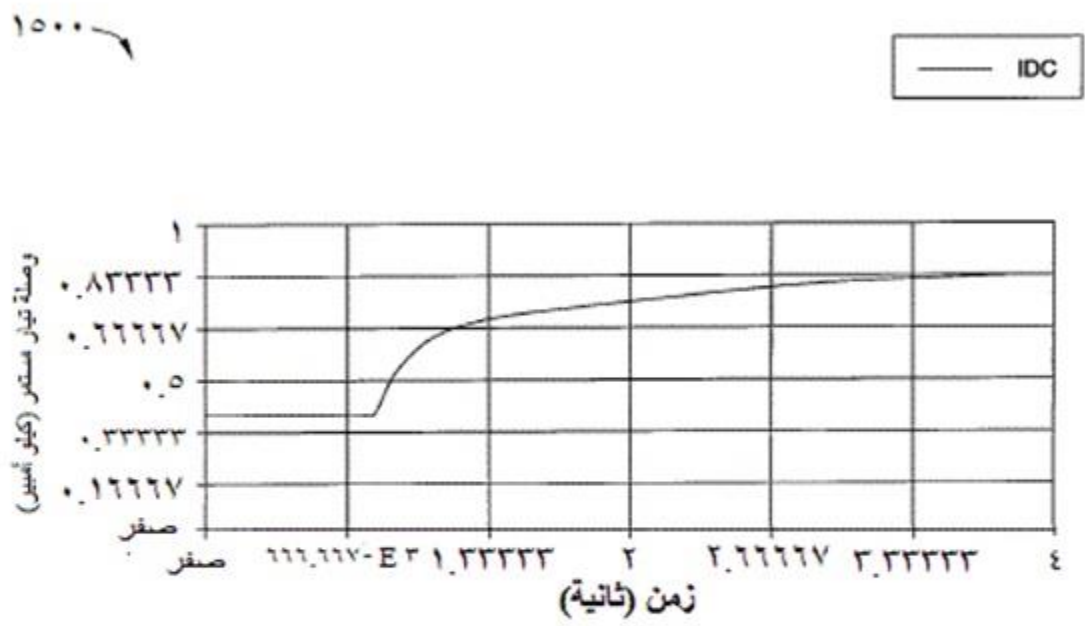
شكل ١٢



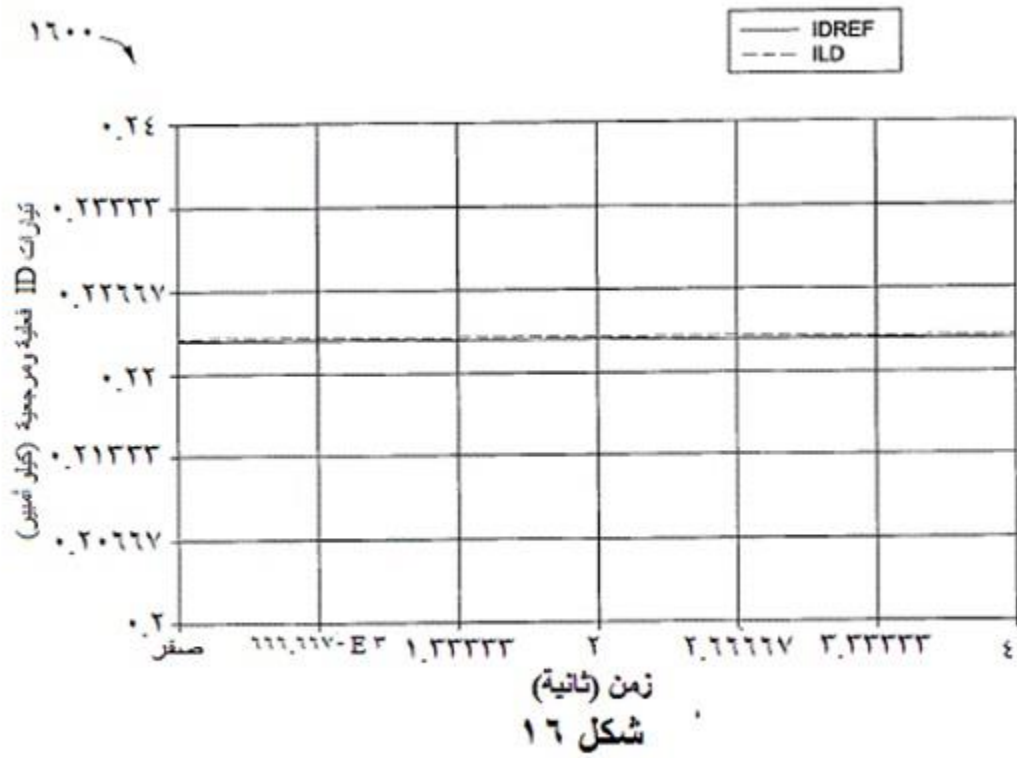
١٤٠٠

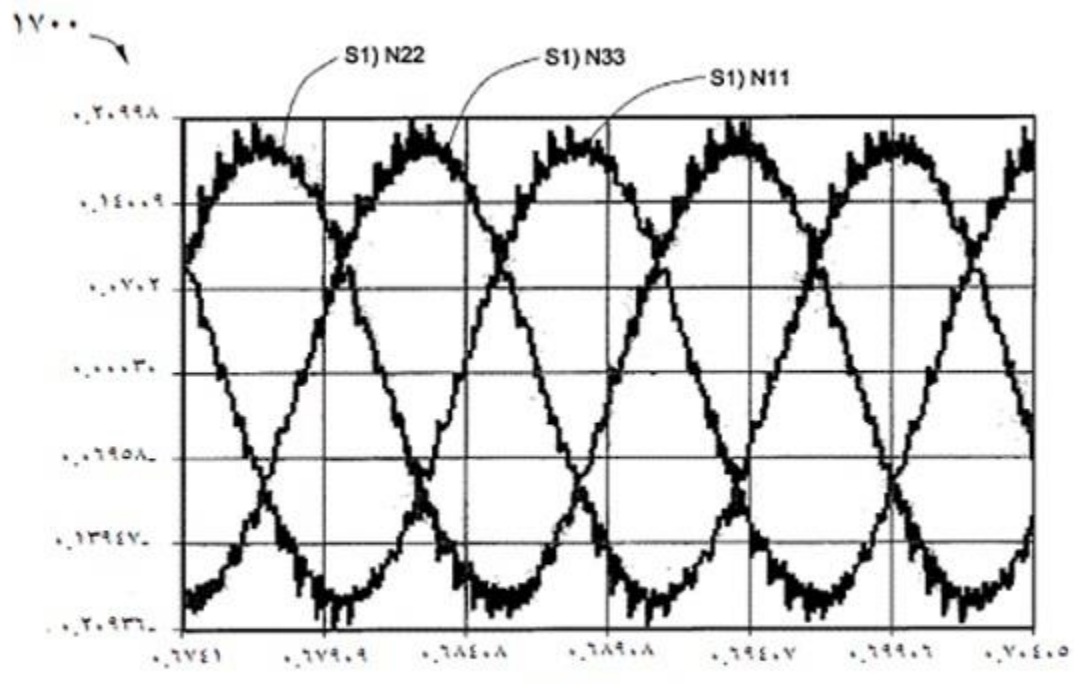


شكل ١٤

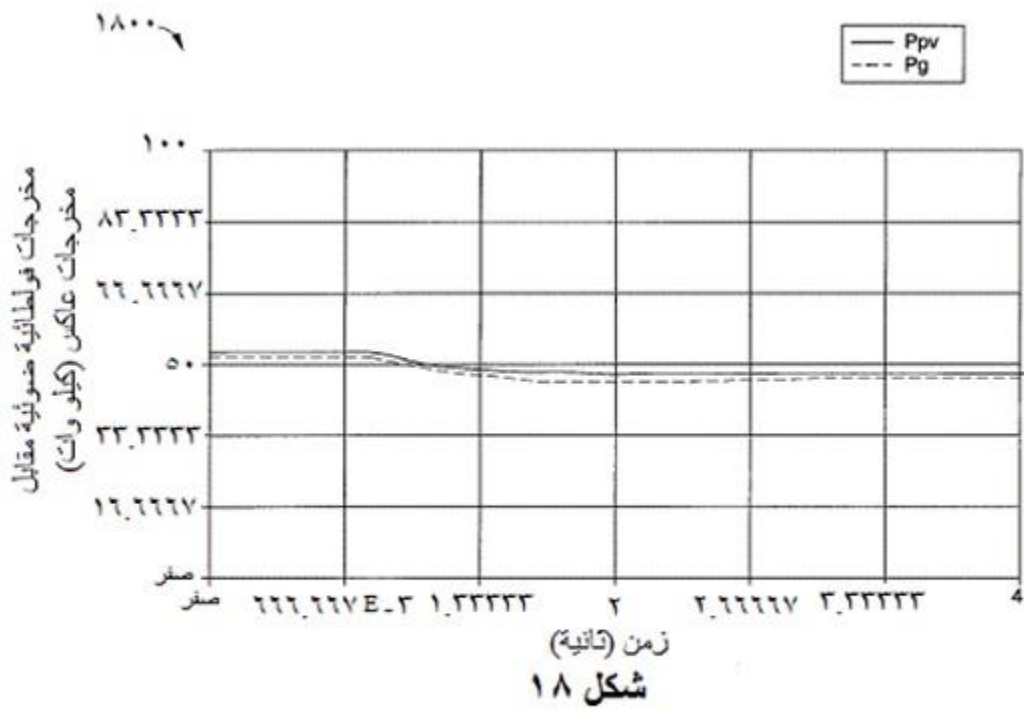


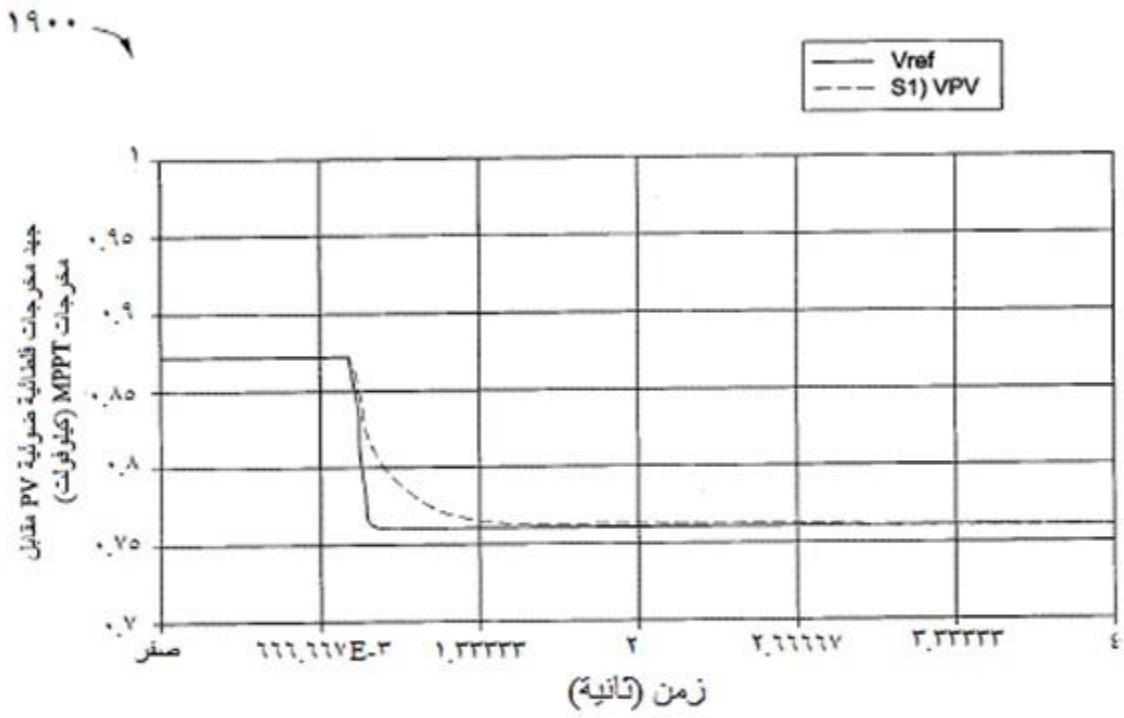
شكل ١٥





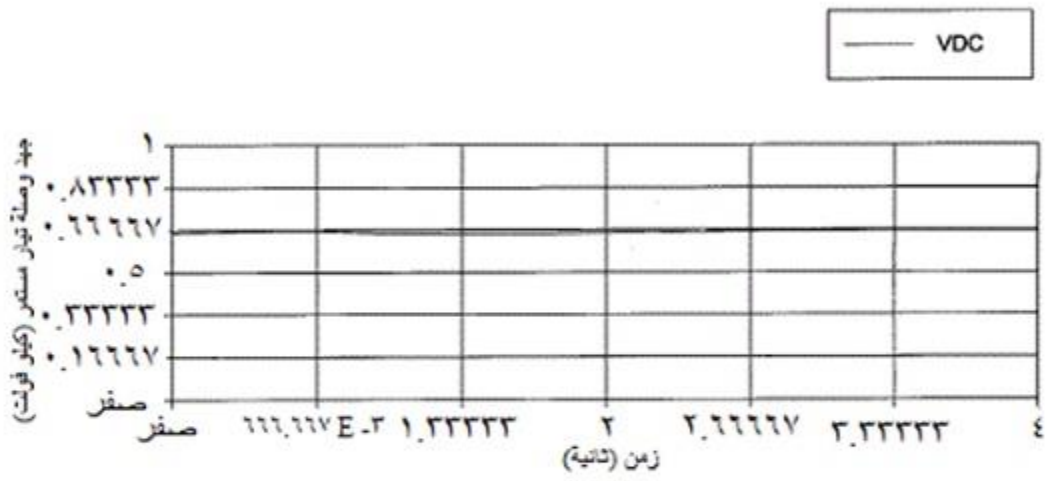
شکل ١٧
زمن (ثانية)



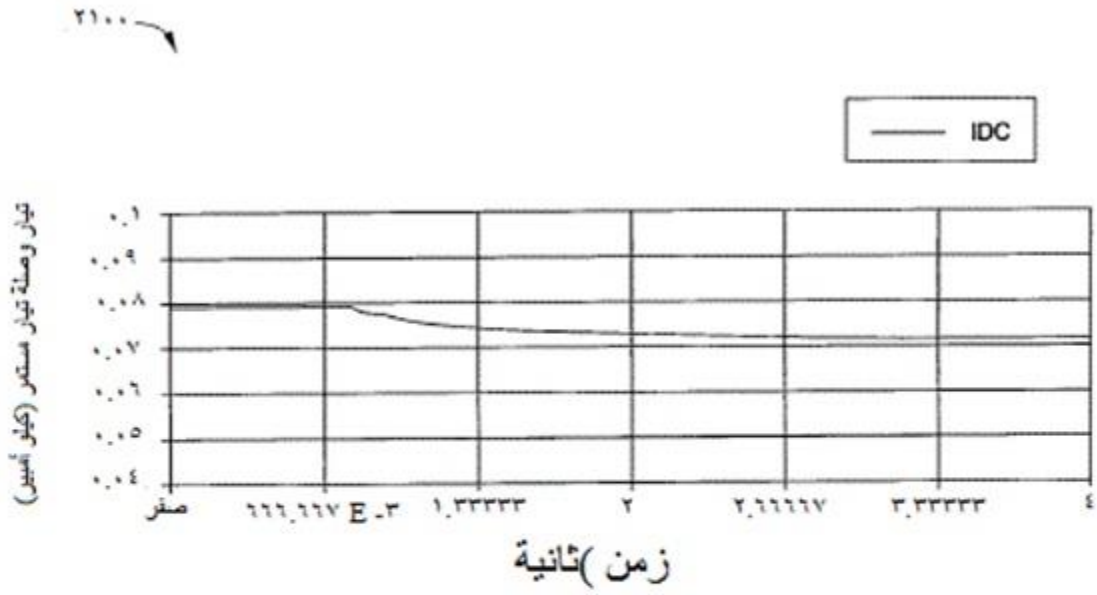


شكل ١٩

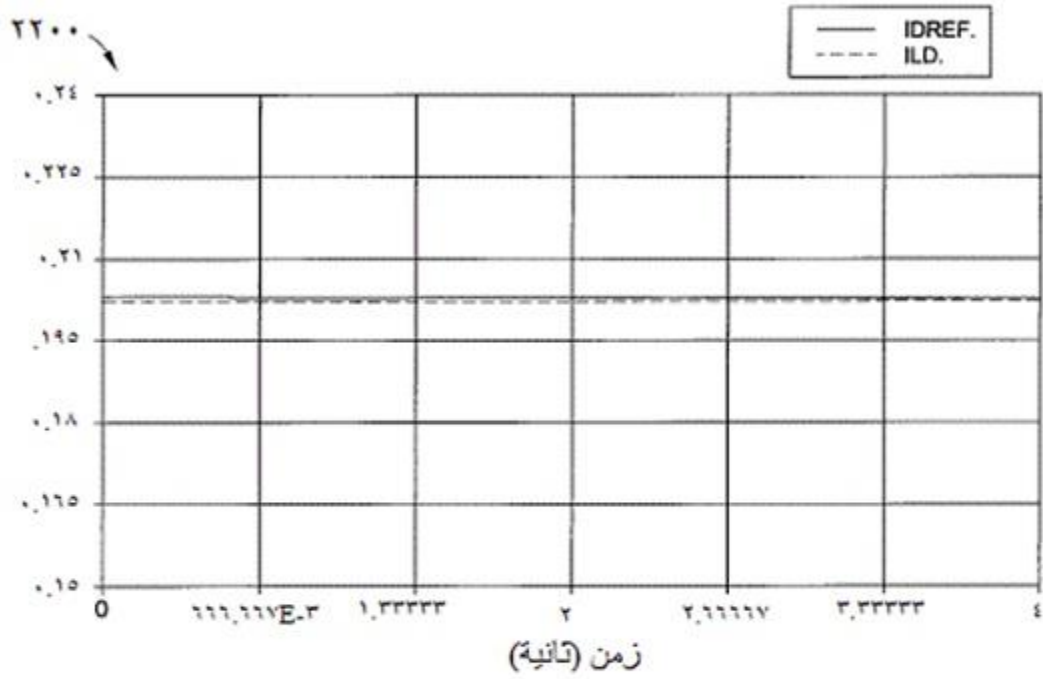
٢٠٠٠



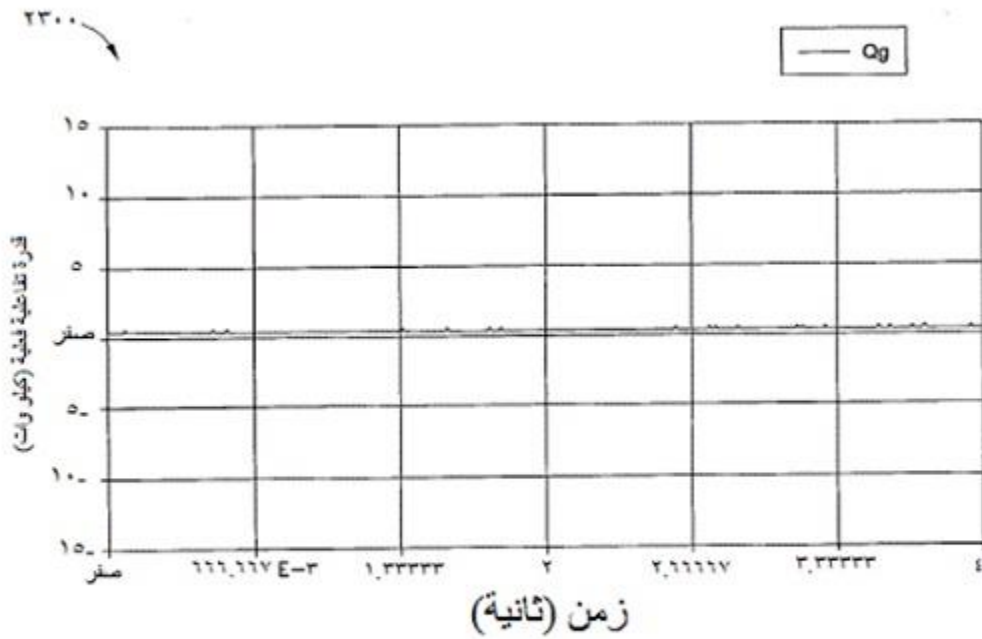
شكل ٢٠



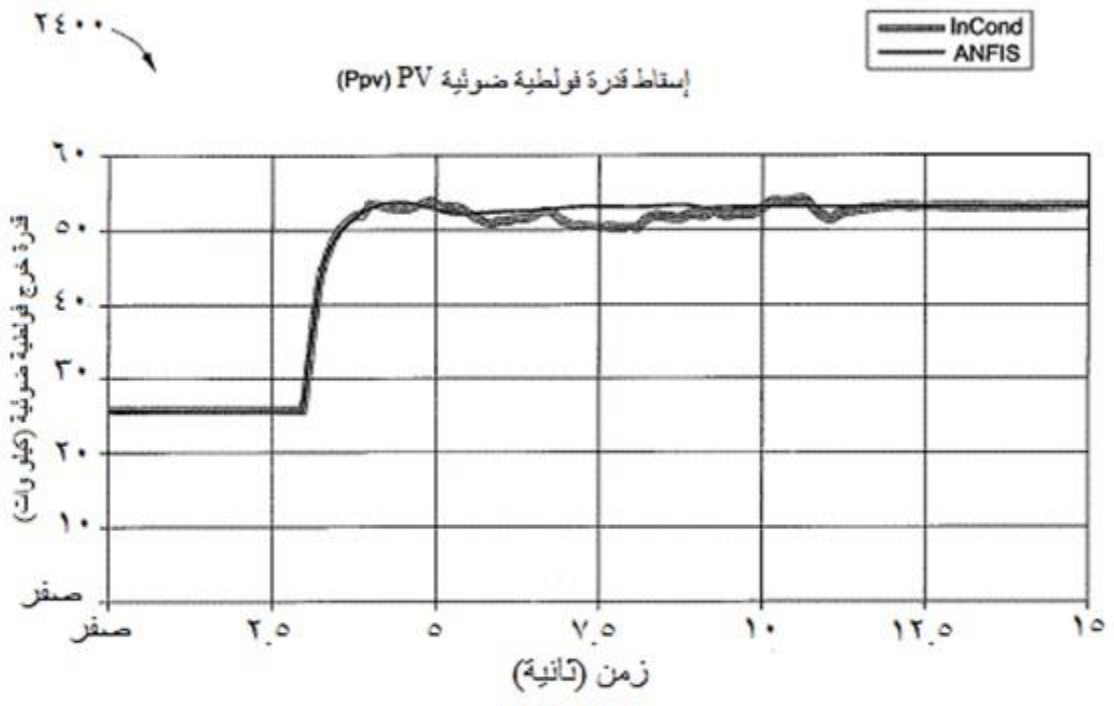
شكل ٢١



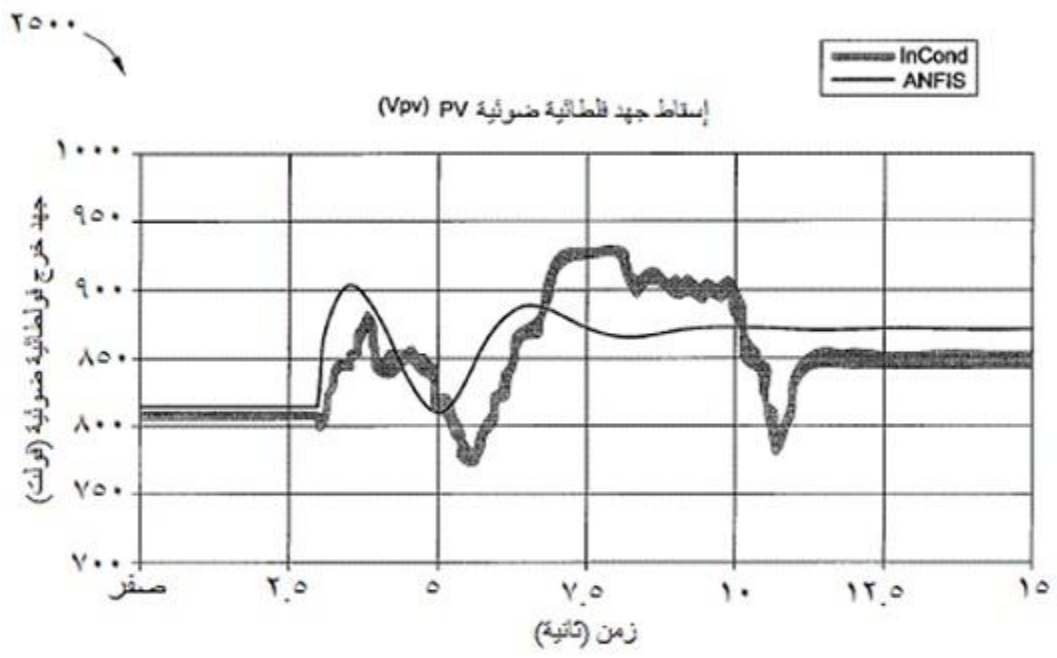
شكل ٢٢



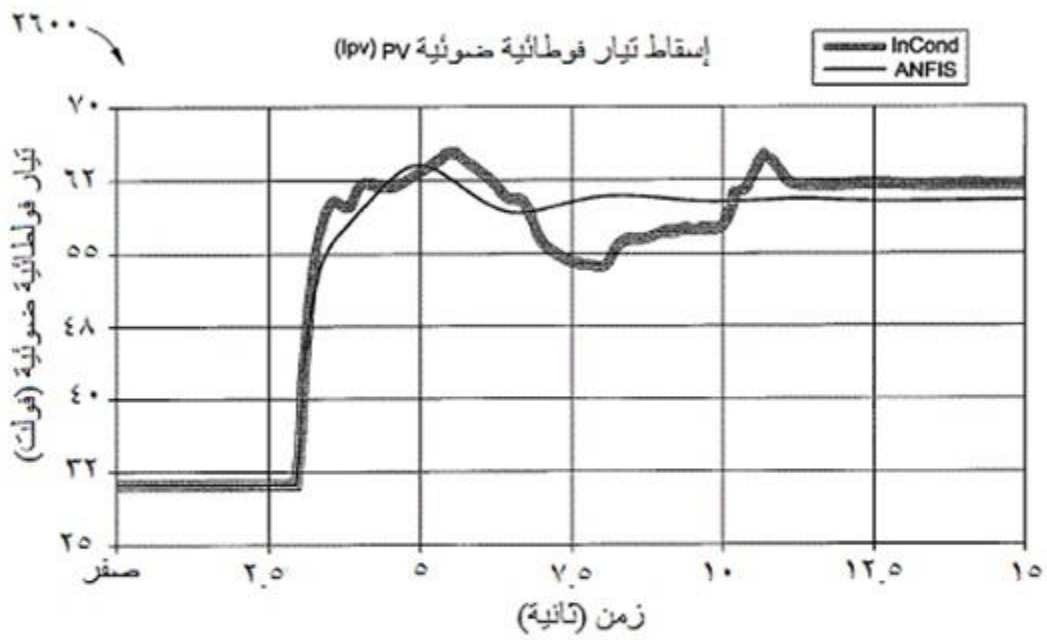
شكل ٢٣



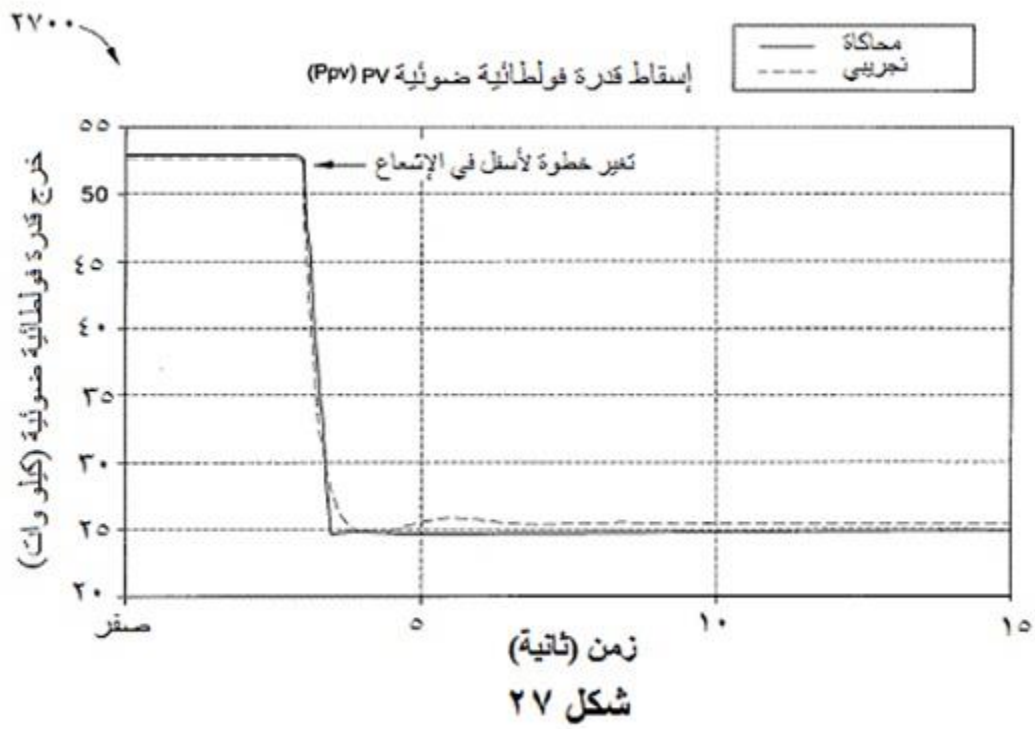
شكل ٢٤

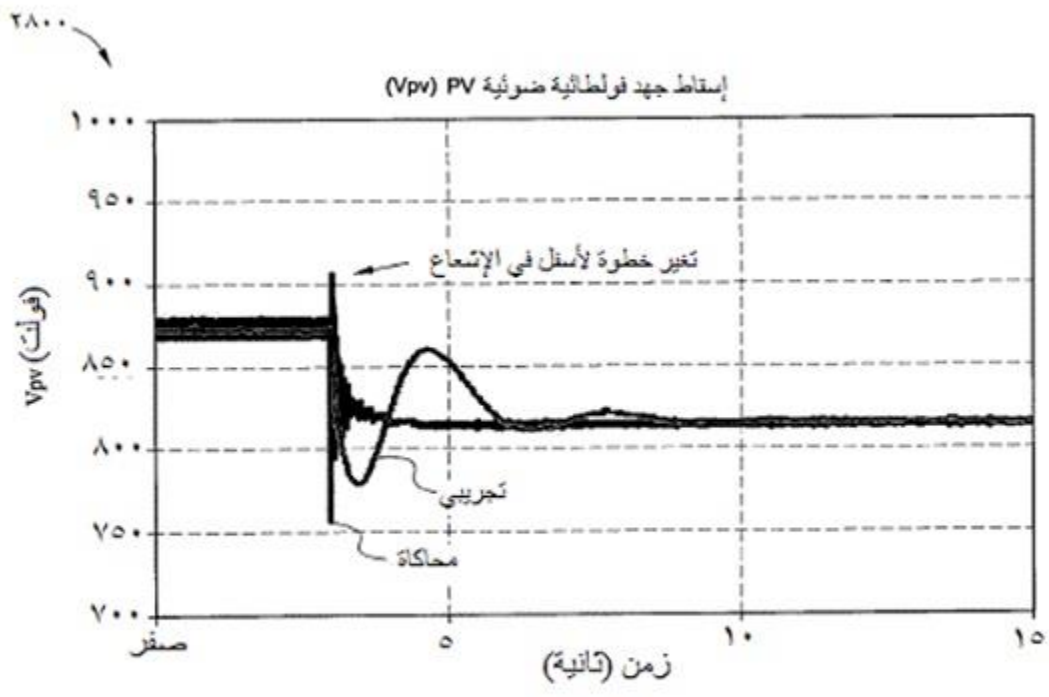


شكل ٢٥

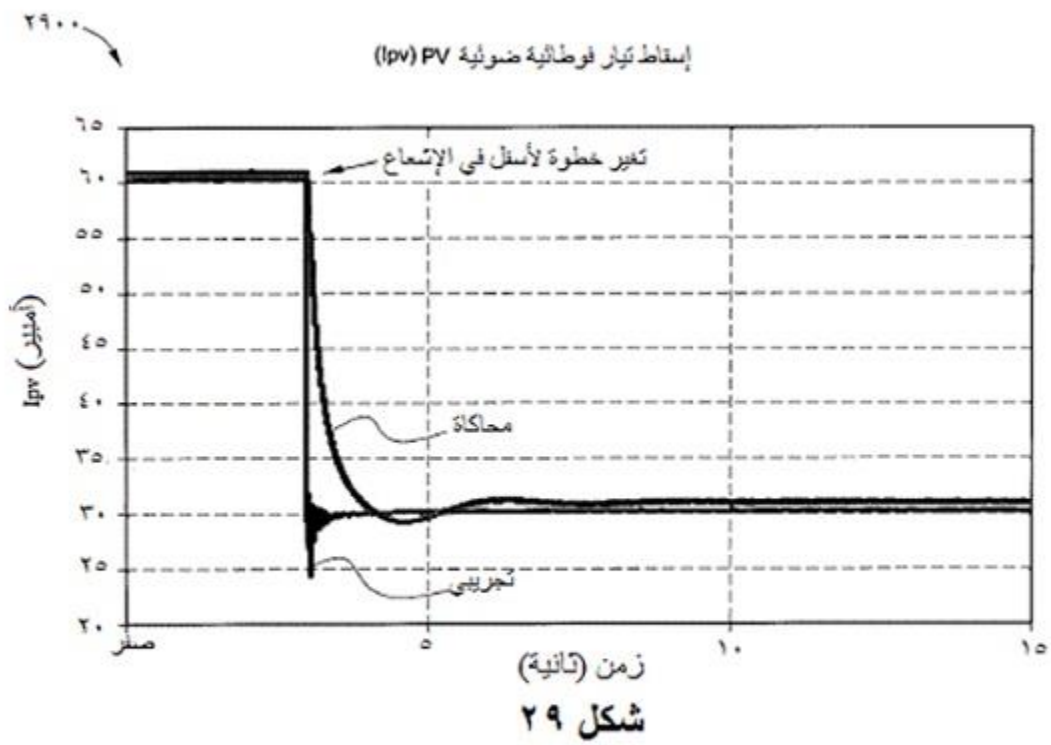


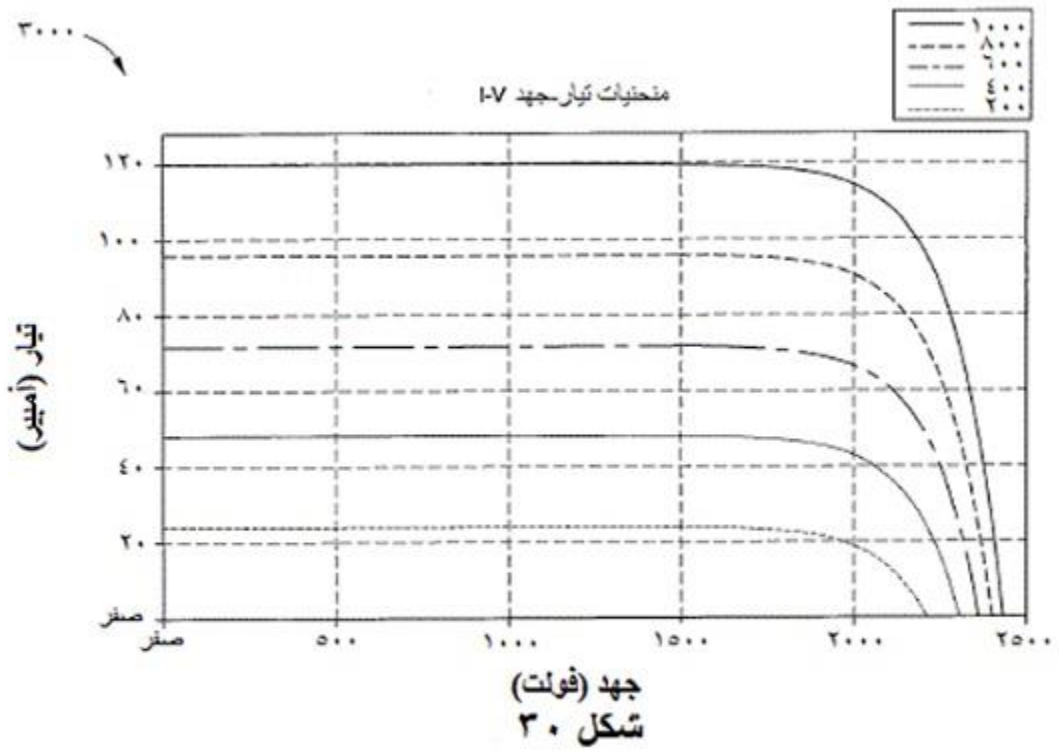
شكل ٢٦

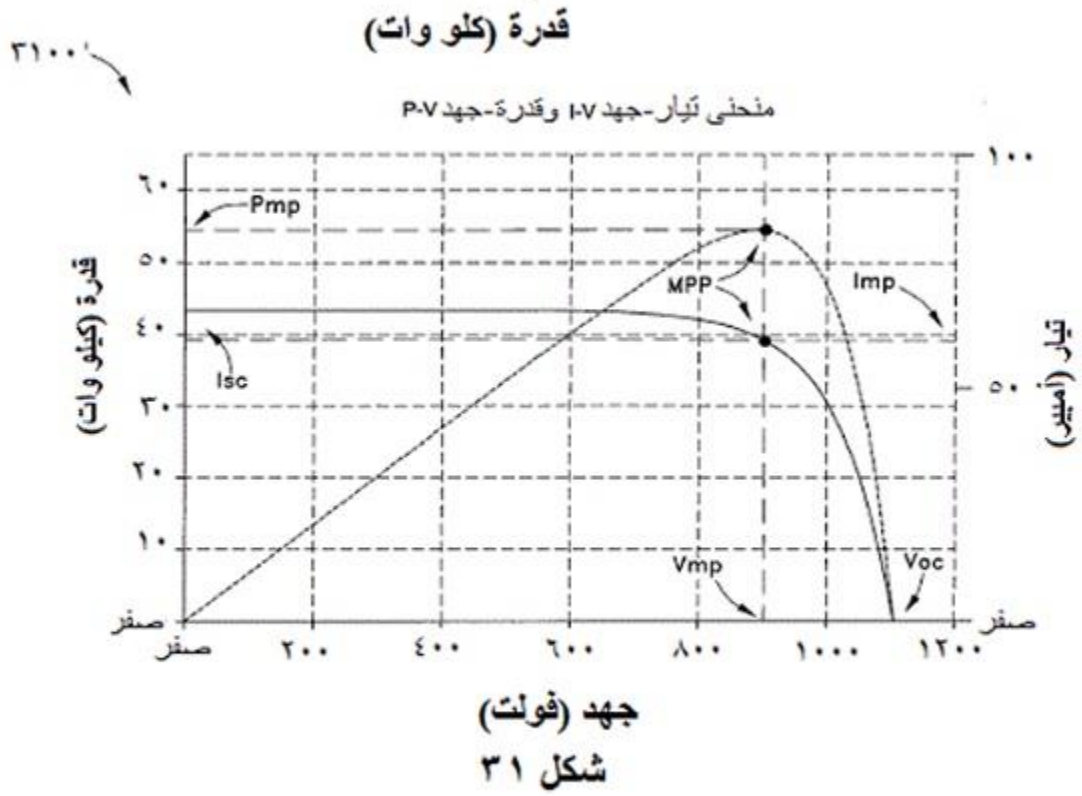




شكل ٢٨







مدة سرعان هذه البراءة عشرون سنة من تاريخ إيداع الطلب

وذلك بشرط تسديد المقابل المالي السنوي للبراءة وعدم بطلانها أو سقوطها لمخالفتها لأي من أحكام نظام براءات الاختراع والتصميمات التخطيطية للدارات المتكاملة والأصناف النباتية والنماذج الصناعية أو لائحته التنفيذية

صادرة عن

مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية ، مكتب البراءات السعودي

ص ب ٦٠٨٦ ، الرياض ١١٤٤٢ ، المملكة العربية السعودية

بريد الكتروني: patents@kacst.edu.sa