

تصميم نظام تحكم لشبكة ميكروية افتراضية لمشفى تشرين باستخدام استراتيجية التحكم الموزع المعتمدة على متحكم المنطق الضبابي

د. طارق خيريك *

د. حسام شاهين **

أريج أحمد ***

(تاريخ الإيداع 15 / 7 / 2020. قُبل للنشر في 30 / 8 / 2020)

□ ملخص □

تُعد المستشفيات من بين أهم المرافق العامة التي يجب أن تكون على أهبة الاستعداد لأي حالة طارئة أو مستجدة. وقد أظهرت الأحداث الأخيرة أن انقطاع التيار الكهربائي لا يميز بين المرافق العامة، وهذا ما يعرض المستشفيات ومرضاها لخطرٍ شديد. في الوقت نفسه، تستهلك المستشفيات طاقة بمقدار 2.5 مرة أكثر من المباني ذات الحجم المماثل. لذلك كان من الأمثل اللجوء إلى مصادر الطاقة المتجددة والتقنيات المتقدمة، بما في ذلك الشبكات الميكروية (Microgrids)، لتأمين هذه المتطلبات الخاصة للمشافي.

يقترح بحثنا هذا تصميم نظام تحكم يعتمد على نظرية التحكم العشوائي (Fuzzy Logic) للتحكم الموزع بشبكة ميكروية افتراضية لمشفى تشرين الجامعي في مدينة اللاذقية. وللتحقق من صلاحية وفعالية نظام التحكم المقترح، تم نمذجة شبكة ميكروية مرتبطة بالشبكة الرئيسية (شبكة لانهائية الاستطاعة) تحوي عدة مولدات موزعة (كهروضوئية - ديزل) باستخدام برنامج النمذجة والمحاكاة MATLAB. وقد أظهرت نتائج النمذجة والمحاكاة التي حصلنا عليها فعالية نظام التحكم المقترح في تحسين نظام إدارة الطاقة (الحفاظ على الجهد والتردد ثابتين، تنسيق فصل ووصل المولدات، مشاركة الطاقة الفعلية، إلخ) بالإضافة إلى حماية المولدات الموزعة من التحميل الزائد. كما أظهرت هذه النتائج قوة ومثانة وتوفيق هذا النوع من المتحكمات (FLC). ويمكن تطوير هذا البحث عبر القيام بنمذجة مصادر تخزين الطاقة ودراسة دورها في تحقيق توازن الاستطاعة بين مصادر توليد الطاقة والأحمال خاصة في وضع العمل ليلاً، إضافة إلى القيام بدراسة اقتصادية تبين الوفرة الحاصل في تكاليف الطاقة.

الكلمات المفتاحية: الشبكة الميكروية، نظام إدارة الطاقة، التحكم الموزع، متحكم المنطق العشوائي، مصادر الطاقة الموزعة، التوليد الموزع، نظام الوكيل المتعدد، النظام الكهروضوئي.

* أستاذ - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

** أستاذ مساعد - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

*** طالبة ماجستير - هندسة الطاقات المتجددة - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Control System Design of a Virtual Microgrid for Tishreen University Hospital Using a Distributed Control Strategy Based on Fuzzy Logic Controller

Dr. Tarek Kherbek *

Dr. Husam Shaheen **

Areej Ahmad***

(Received 15 / 7 / 2020. Accepted 30 / 8 / 2020)

□ ABSTRACT □

Hospitals are among the most important public facilities that must be ready for any emergency or emerging situation. Recent events have shown that power outages do not distinguish between public facilities, which exposes hospitals and their patients to great danger. At the same time, hospitals consume as 2.5 times more energy than similar sized buildings. Therefore, it was optimal to resort to renewable energy sources and advanced technologies, including microgrids, to secure these special requirements for hospitals.

Our research proposes the design of a control system based on a Fuzzy Logic theory for distributed control of a virtual microgrid for Tishreen University Hospital in Lattakia city. To verify the validity and effectiveness of the proposed control system, a microgrid connected to the main network (an infinite network) containing several distributed generators (photovoltaic - diesel) has been modeled using the MATLAB modeling and simulation software. The modeling and simulation result we have obtained showed the effectiveness of the proposed control system in improving the energy management system (maintaining voltage and frequency, coordinating the connection and disconnection of generators, the active power sharing, etc.), in addition, to distributed generators overload protection from. These results also showed the strength, durability and superiority of this type of controller (FLC). This research can be developed through modeling energy storage sources and studying its role in achieving the power balance between energy generation sources and loads, especially at night work situation, in addition to conducting an economic study to show the savings in energy costs.

Keywords: Microgrid (MG), Energy Management System (EMS), Distributed Control, Fuzzy Logic Controller (FLC), Distributed Energy Resources (DERs), Distributed Generation (DG), Multi-Agent System (MAS), Solar PV system.

* Professor- Electrical Power Engineering Department - Faculty of Mech.& Elect. Engineering, Tishreen University-Latakia-Syria

** Associate Professor- Electrical Power Engineering department - Faculty of Mech.& Elect. Engineering, Tishreen university-Latakia-Syria

*** Master Student - Renewable Energy Engineering - Faculty of Mech.& Elect. Engineering, Tishreen University-Latakia-Syria

مقدمة:

في السنوات الأخيرة، أصبح التوليد الموزع (Distributed Generation-DG) من أكثر المجالات البحثية جاذبية في العالم في مجال توليد الطاقة الكهربائية. وقد حظي بالاهتمام والتركيز المتزايد لعدة أسباب مهمة مثل إمكانيات ومزايا التوليد الموزع الكبيرة، بالإضافة الى زيادة المتطلبات الكهربائية والفنية والقيود الاقتصادية المفروضة على بناء محطات توليد مركزية جديدة.

تتعدد مزايا التوليد الموزع (DG)، فعلى مستوى الكفاءة يتميز التوليد الموزع بالموثوقية والمتانة وتقليل ضياعات الطاقة مما يساعد في إلغاء أو تأجيل ترقية نظام القدرة (بناء محطات توليد جديدة أو خطوط نقل قدرة جديدة). كما يساهم في تحسين عامل الاستطاعة ومطال الجهد وهذا يؤدي بدوره الى زيادة جودة الطاقة [1].

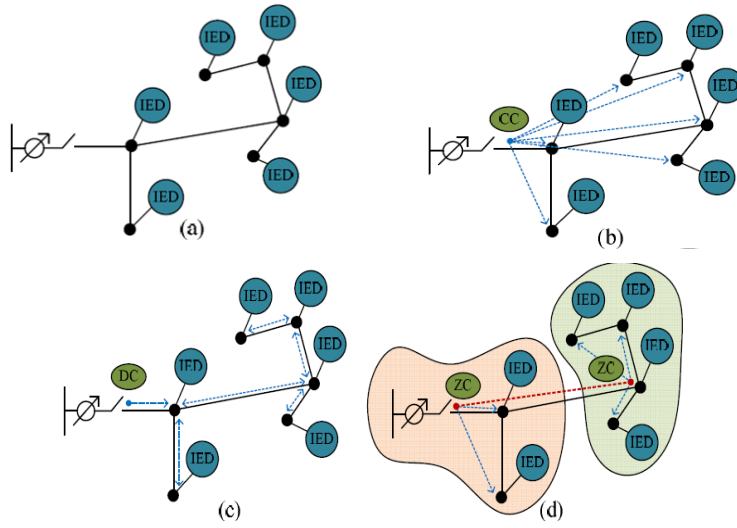
يساهم التوليد الموزع كذلك اقتصادياً في تخفيض تكاليف التشغيل والنقل والتوزيع بالإضافة الى تقليل الحاجة الى الوقود الاحفوري (كونه يعتمد على الطاقات المتجددة بشكل رئيسي) مما يساهم في خفض سعر وحدة الطاقة. كما أنّ التوسع في تطبيق التوليد الموزع في الأنظمة الكهربائية يساهم في تقليل انبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري وكذلك التلوث الضوئي مما يساهم بشكل فعال في تحسين البيئة.

عندما يجتمع نوع واحد أو أكثر من مصادر التوليد الموزع للطاقة (مثل النظام الكهروضوئي، نظام طاقة الرياح، مولدات الحرارة والطاقة المجمعَة CHP، مولدات الديزل، خلايا الوقود، إلخ) والأحمال والتي يمكن تشغيلها بشكل منظم ومتحكم به، سواء أكانت مرتبطة بشبكة الطاقة الرئيسية أو معزولة عنها، فإننا نطلق عليها اسم الشبكة الميكروية (microgrid) [2]. تتشارك هذه المولدات العمل جنباً الى جنب لتحقيق هدف واحد وهو التوليد في نقاط الاستهلاك والوفرة الدائمة.

أحد أهم النقاط البحثية في الأبحاث المتعلقة بالتوليد الموزع هي اختيار المرفق الحرج (مستهلك الطاقة) المراد تركيب المولدات الموزعة له، ومن ثم إيجاد التوضع الأمثل للمولدات الموزعة بهدف تحقيق الحد الأقصى من المنافع البيئية والاقتصادية والتقنية [3]. وهذا يساعد بدوره في الحد من الاستثمارات التي تهدف الى زيادة توسع نطاق نظام القدرة، كما يقلل من معدات التحكم الإضافية وكذلك خطوط النقل والتوزيع على مسافات طويلة كما هو الحال في المناطق النائية أو الجزر البعيدة التي يصعب نقل الطاقة الكهربائية إليها. وهنا يبرز دور هام وكبير جداً للشبكات الميكروية في تأمين استمرارية التغذية للمراكز الهامة في الدولة، والتي يسبب انقطاع الطاقة الكهربائية عنها خسارة في الأرواح أو الأموال (كالمشافي ومراكز البيانات الهامة وغيرها) ولا سيما في حالات الحروب والكوارث وحالات التعطيم العام وأيضا حالات عدم توفر الوقود نتيجة العقوبات الاقتصادية المفروضة على بلد ما.

تقسم طرق التحكم بالشبكة الميكروية إلى قسمين، الأول ذاتي مستقل (غير معتمد على الاتصالات) ويدعى بالتحكم المحلي (Local Control). يتم في هذا النوع من التحكم استخدام وحدات تحكم تتشارك مع بعضها البعض في القياسات عند نقطة اقتران مشتركة (point of common coupling PCC) ولا يوجد فيها أي قياسات عن بعد كما يظهر في الشكل (a-1). بينما يشمل القسم الثاني (المعتمد على الاتصالات) عدة طرق للتحكم وهي التحكم المركزي والتحكم الموزع والتحكم اللامركزي [4-6].

تعتمد طريقة التحكم المركزي على وجود معالج مركزي يتلقى جميع المعطيات من المولدات الموزعة المركبة في النظام، ومن ثم يحلل هذه المعطيات استنادا الى قيود وأهداف الشبكة. بعد ذلك يتم إرسال النتائج الأفضل والقرار الأمثل الى الأحمال ووحدات التوليد الموزعة [7]. يبين الشكل (b-1) طريقة التحكم المركزي في الشبكة الميكروية.



الشكل (1) طرق التحكم في الشبكة الميكروية

أما في التحكم الموزع، فيتم قيادة كل مولد موزع عبر متحكم محلي عن طريق إشارات محلية فقط تربط بين المولدات الموزعة كما هو مبين في الشكل (1-1). يتم التوصل الى قرار جماعي وفقاً للأهداف التي يتم تحديدها من قبل مشغل الشبكة عن طريق التعاون المشترك بين هذه المولدات. ضمن هذا الاطار تمت دراسة العديد من تقنيات التحكم الموزع [8-10]، وقد كان أبرزها التقنيات المستندة الى الوكيل المتعدد (Agent-Based Techniques). في هذا النوع من التقنيات، يتصرف كل مولد موزع كوكيل مستقل يملك معرفة محدودة بالبيئة المحيطة به و ينظم التحكم وفقاً للأمر الذي تم التوصل إليه من خلال الإجماع عبر اتصاله مع الوكيل المجاور له مباشرةً.

يُعد نظام الوكيل المتعدد (Multi-agent system) مناسباً للأنظمة الكهربائية الكبيرة والمعقدة ويستخدم عند وجود تعداد سكاني على شكل مجموعات مختلفة في التنظيم والاهداف والمعلومات الأولية وذلك لقدرته على التعامل مع كل هذه المتطلبات المتنوعة ومع العلاقة المتبادلة بين الوكلاء المختلفين [10]. كما يتميز نظام الوكيل المتعدد بالسرعة بسبب قدرته على المعالجة المتوازية والكفاءة والقدرة على جعل القرارات شاملة وموثوقة مما يغني عن الحاجة الى وحدة تحكم مركزية [11]. بينما يشكل التحكم اللامركزي حالة وسطية بين التحكمين المركزي والموزع، وفيه تقسم الشبكة الى مجموعة من المناطق يكون لكل منطقة وحدة تحكم خاصة بها تدعى باسم منسق المنطقة كما يظهر في الشكل (1-1). يتم التنسيق بين هذه المناطق بشكل مشابه للتحكم الموزع لتحقيق هدف محدد [12-13]. ظهر التحكم الموزع كأكثر طرق التحكم فعالية مقارنة بالتحكمين المركزي واللامركزي من نواحٍ عدة مثل إتاحة الحرية والاستقلالية في تشغيل الوكلاء وكلفة الاتصال المنخفضة بين الوكلاء وحجم منخفض للعمليات الحسابية وسهولة التطوير عند ادخال مولد موزع جديد وقوة الأداء التحكمي عند وجود عدد كبير الوكلاء [4-10].

ينشأ عن الطبيعة المتقطعة للطاقة المولدة باستخدام المولدات الموزعة المعتمدة على مصادر الطاقة المتجددة، وكذلك عن الطلب المتغير على الطاقة حالة من عدم التطابق بين العرض والطلب في الشبكة الميكروية. يظهر عدم التطابق هذا على شكل انحرافات في الجهد والتردد والتي تؤدي بدورها الى حدوث أضرار بالغة في الأجهزة الكهربائية المتصلة بالشبكة الميكروية وكذلك في البنية التحتية للنظام [14]. وهذا ما دفع العديد من الباحثين لبذل الجهود بغية

الإبقاء على الجهد والتردد ضمن الحدود المقبولة وتنظيم مشاركة الطاقة بين هذه المولدات بما يضمن استمرارية التغذية الكهربائية ويحقق المرونة في تلبية الطلب على الطاقة. ولتحقيق ذلك كان لا بد من استخدام متحكمات قوية وفعالة قادرة على زيادة كفاءة وموثوقية النظام.

لقد كانت المتحكمات التقليدية (PID) من بين أوائل المتحكمات المقترحة لأداء هذا الغرض. حيث أظهرت متحكمات (Distributed Averaging Proportional Integral-DAPI) المعتمدة على إجراءات التحكم الموزع وتوزيع الاتصال بين وحدات التوليد المتجاورة قدرتها على التنظيم الدقيق للجهد والتردد ومشاركة الاستطاعة الفعلية وذلك دون الحاجة إلى معرفة مسبقة بطوبولوجيا الشبكة.

أما متحكمات (Centralized Averaging Proportional Integral - CAPI) المعتمدة على إجراءات التحكم المركزي فقد تطلبت اتصالات معقدة. وقد واجه الباحثون صعوبة في استخدام هذه المتحكمات التقليدية نظراً لحاجتها إلى نماذج رياضية دقيقة للأنظمة المدروسة وصعوبة في معايرة ثوابتها (Kp, Ki, Kd) [15-16].

في حين أنّ متحكمات المنطق العشوائي (Fuzzy logic controller - FLC) التي تتعامل مع النظام كصندوق أسود وتهتم فقط ببارامترات الدخل والخرج لهذا النظام تميّزت بالموثوقية والبساطة والمتانة. حيث أظهرت هذه المتحكمات تفوقها على المتحكمات التقليدية (PID)، وحققت استقراراً أفضل للنظام من خلال تقليل تقلبات الطاقة وتحكماً فعالاً خلال ميلي ثانية من حدوث الاضطراب لكل من الجهد والتردد [17-23].

كما بيّنت الدراسات التي استخدمت المتحكمين (H_{∞} و μ) قدرة كل منهما على تحقيق التوازن بين الطاقة المولدة والطلب عليها، وكذلك تنظيم تردد الشبكة الميكروية بفعالية. وقد أظهرت هذه المتحكمات أداءً متفوقاً مقارنةً بالمتحكمات التقليدية (PID)، ولكن كان المتحكم H_{∞} أقل فعالية من المتحكم μ نظراً لحاجته إلى مستوى عالٍ من الفهم الرياضي ولامتلكه استجابة ديناميكية بطيئة نسبياً [24].

في دراستنا هذه سنعمل على التغلب على التحديات التي تواجه تشغيل الشبكة الميكروية بفعالية وموثوقية، والتي تتلخص في التحكم بالجهد والتردد ومشاركة الطاقة الفعلية، عن طريق تصميم نظام تحكم فعال ومتميز يعتمد على استراتيجية التحكم الموزع ومتحكم المنطق العشوائي (FLC).

أهمية البحث وأهدافه:

يجب على المستشفيات رعاية المرضى على مدار الساعة طوال أيام الأسبوع، مما يخلق طلباً أكبر على الإضاءة والحرارة والتبريد والماء الساخن والبخار لتعقيم المعدات وتبريد الأدوية الحساسة لدرجة الحرارة أو القابلة للتلف. وهذا يعني أنّ المستشفيات تستخدم أكثر من ضعف الطاقة مقارنة بالمباني التجارية من نفس الحجم. إضافةً إلى ذلك، يوجد العديد من التحديات التي تدفع نحو التوجه إلى استخدام الشبكات الميكروية لتوليد الطاقة اللازمة للمستشفيات نذكر منها:

1. **ضغوط الميزانية:** هناك طلب متزايد على المؤسسات الصحية لتوسيع المرافق الخاصة بها وإضافة معدات تشخيص أكثر تقدماً، مما يجعل تكلفة الطاقة أولوية كبيرة للإداريين المكلفين بإدارة النفقات.
2. **تحقيق أهداف الاستدامة:** والتي تتمثل في الحد من الانبعاثات الكربونية الناتجة عن مولدات الديزل المصممة لتلبية الطلب على الطاقة في حالات الطوارئ.
3. **ضمان سلامة المرضى وخدماتهم:** تعد الطاقة المستمرة والموثوقة والمتاحة أمراً حيوياً لضمان تشغيل المعدات

التي تحافظ على الحياة. تشكل البنية التحتية المتقدمة إحدى مشاكل استقرار الشبكة والتي يمكن أن تؤثر على إمدادات الطاقة وتوزيعها، مما يؤدي إلى ضعف جودة الطاقة وموثوقيتها وتلف المعدات الطبية الحساسة للطاقة وزيادة المخاطر على المرضى.

4. **مواجهة الكوارث:** وتشمل حالات الحروب والكوارث الطبيعية (العواصف الكبرى، الأعاصير، الحرائق الضخمة، الفيضانات، البراكين، الزلازل) أو انقطاع في إمدادات الطاقة المستوردة من الخارج. وهنا يظهر دور الشبكات الميكروية الحاسم في الإغاثة التي يمكن أن تقدمها في مثل هذه الظروف وذلك من خلال توفير الطاقة الاحتياطية اللازمة في حالات الطوارئ، بالإضافة إلى تلبية بعض الخدمات الأساسية التي يمكنها الاستفادة من هذه الطاقة.

مع تزايد بروز هذه التحديات، تعالج المستشفيات مشكلة استمرارية التغذية بالطاقة الكهربائية من خلال تبني موارد الطاقة الموزعة ومصادر الطاقة المتجددة والشبكات الميكروية لتحسين بنيتها الطاقية التحتية وهذا ما يضمن لها الموثوقية والأمان ويحقق المرونة في العمل.

تأتي أهمية هذا البحث من كونه يناقش مسألة تأمين الطاقة الكهربائية لمستشفى تشرين الجامعي في مدينة اللاذقية من خلال تصميم شبكة ميكروية تضمن استمرارية التغذية وموثوقيتها وجودتها بالاعتماد على نظام توليد موزع موصول مع الشبكة العامة متحكم به (نظام كهروضوئي - ديزل).

أما أهداف هذا البحث فتتمثل بما يلي:

- تحسين التحكم بجهد وتردد الشبكة الميكروية.
- مشاركة الاستطاعة الفعلية في الشبكة الميكروية اعتماداً على استراتيجية التحكم الموزع والمعتمدة بدورها على متحكم المنطق العشوائي.
- حماية المولدات الموزعة من التحميل الزائد.

طرائق البحث ومواده:

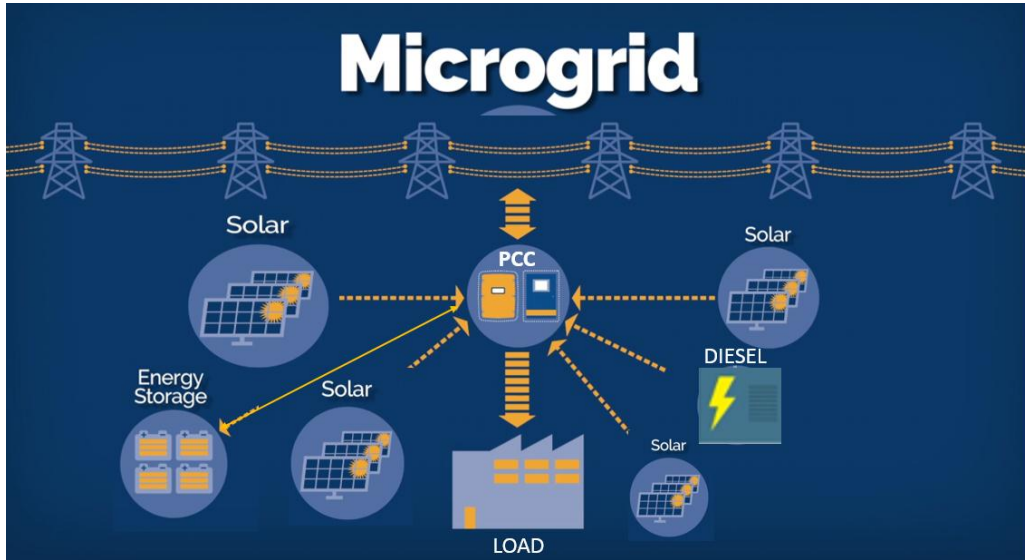
1. وصف الشبكة الميكروية:

في هذا المقال وانطلاقاً مما ذكر أعلاه، تم تصميم شبكة ميكروية افتراضية لمستشفى تشرين الجامعي والذي يعد من أكبر المشافي المحدثّة في الشرق الأوسط. تتكون هذه الشبكة من مولدات كهروضوئية موزعة على المساحة الطابقية للمستشفى والبالغة 7000 متر مربع إضافة إلى مساحة مكشوفة مقدرة بـ 10000 متر مربع ومولد ديزل باستطاعة 3MVA.

تقوم المولدات الكهروضوئية ومولد الديزل مجتمعاً بتلبية حاجة المستشفى من الطاقة الكهربائية في الحالات الطارئة. أما في حالة العمل الطبيعية، فتتشارك المولدات الكهروضوئية مع الشبكة الرئيسية في تغذية أحمال المستشفى والبالغة [2050kW]. يبلغ عدد المولدات الكهروضوئية المقترحة أربع مولدات وهي ذات استطاعات توليد مختلفة. يبين الجدول (1) استطاعة كل من هذه المولدات الكهروضوئية الأربعة والتي تشكل مع مولد الديزل شبكة ميكروية مرتبطة بالشبكة الكهربائية الرئيسية كما يظهر في الشكل (2).

جدول (1) استطاعة كل من المولدات الكهروضوئية الموزعة

| القسم | مبنى الامراض الجلدية | مبنى نوم الأطباء | مبنى الاشعة | المساحة المكتشفة |
|--|--|------------------|-------------|------------------|
| المساحة m^2 | 2084 | 2307 | 2600 | 10000 |
| عدد الألواح الكهروضوئية المقترحة | 480 | 540 | 620 | 2380 |
| الاستطاعة الكلية للألواح [kW] | 175.2 | 197.1 | 226.3 | 868.7 |
| مجموع الاستطاعة المقدمة من النظام الكهروضوئي | 1.4673 MW = 1467.3 [kW] | | | |
| مجموع الطاقة المقدمة من الألواح Ed(kWh)/day (الاصغرية) | 483 | 525 | 603 | 2316 |
| | مجموع الطاقة الاصغرية المقدمة من الألواح 3927 (kWh)/day وتعادل 9.8% من الطاقة المطلوبة وهي 40 (MWh)/day وهذا يساوي 163.625 [kW] أي ما نسبته 9.85% من الاستطاعة المطلوبة 1.66 MW ويعادل 8.18% من استطاعة الذروة 2MW | | | |
| مجموع الطاقة المقدمة من الألواح Ed(kWh)/day (الاعظمية) | 983 | 1106 | 1267 | 4870 |
| | مجموع الطاقة الاعظمية المقدمة من الألواح 8226 (kWh)/day وتعادل 20.56% من الطاقة المطلوبة وهي 40 (MWh)/day ويساوي 342.75 [kW] أي ما نسبته 20.64% من الاستطاعة المطلوبة 1.66 MW ويعادل 17.1% من استطاعة الذروة 2MW | | | |



الشكل (2) بنية الشبكة الميكروية المدروسة

2. تشغيل الشبكة الميكروية MG:

تعمل الشبكة الميكروية وفق حالتين (وضعين) بالنسبة للشبكة الرئيسية نبينهما فيما يلي:

➤ الوضع المتصل (connected mode):

تتصل الشبكة الميكروية بالشبكة الرئيسية عند نقطة اقتران مشتركة وتقوم الشبكة الميكروية بتغذية الاحمال المرتبطة بها. وتحافظ على الجهد عند نفس مستوى جهد للشبكة الرئيسية ما لم يكن هناك اي نوع من المشاكل على الشبكة أو سبب آخر للانفصال. هنا يمكن للشبكة الميكروية أن تتلقى الطاقة من الشبكة الرئيسية عبر نقطة الاقتران المشتركة وإذا كانت الطاقة الناتجة عن الشبكة الميكروية تزيد عن الطاقة المستجرة من قبل الأحمال المتصلة بها عندها يمكن ضخ الفائض من الطاقة الناتجة الى الشبكة الرئيسية.

➤ الوضع المنفصل (islanded mode):

يمكن أن تفصل الشبكة الميكروية عن الشبكة الرئيسية تلقائياً أو يدوياً، لتعمل الشبكة الميكروية بشكل مستقل (island). وتعمل الشبكة الميكروية بشكل مستقل نتيجةً لحدوث عطل أو حالة تعتيم مؤكدة على الشبكة الرئيسية ليتم بذلك فصلها عن الشبكة الرئيسية. وتقوم عندها بتغذية الأحمال المحلية بشكل منفرد ومستقل عن الشبكة الرئيسية. في دراستنا هذه سنقدم عدداً من أنماط العمل التي تجمع بين مكونات الشبكة الميكروية والشبكة الرئيسية للمناورة على تلبية الحموله، وقد تظهر الشبكة الميكروية بأحد مكوناتها فقط بحسب الحالة المدروسة، ونبين فيما يلي أنماط العمل المدروسة:

A. العمل الطبيعي (PV+GRID):

تتشارك المولدات الكهروضوئية الموزعة في تلبية الطلب المتغير على الاستطاعة جنباً إلى جنب مع الشبكة الرئيسية لتؤمن بذلك التغذية الكهربائية للمشفي وفي هذا النمط تعمل الشبكة الميكروية في وضع الاتصال بالشبكة الرئيسية وفقاً للنمو التالي:

✓ في حال كانت الطاقة المولدة من قبل النظام الكهروضوئي أكبر من الطاقة المستهلكة من قبل الحمل وعملية شحن المدخرات أي:

$$P_{pv} > P_{load}, \text{ فسيتم ضخ الفائض الى الشبكة الرئيسية.}$$

✓ في حال كانت الطاقة المولدة من قبل النظام الكهروضوئي أصغر من الطاقة المستهلكة من قبل الحمل وعملية شحن المدخرات أي:

$$P_{pv} < P_{load}, \text{ فسيتم استرجار النقص من الشبكة الرئيسية لتعويض الفارق في الاستطاعة واللازم لتلبية الحموله.}$$

B. العمل اللاطبيعي (DIESEL + PV):

ينتج هذا النمط من العمل عند انقطاع التغذية من الشبكة الرئيسية، والذي قد يحدث لأسباب عدة كتعرض محطات توليد الطاقة لكوارث مدمرة أو نقص في امدادات الفيول أو حدوث حالة تعتيم عام مفاجئة. هنا سيعمل مولد الديزل جنباً إلى جنب مع المولدات الكهروضوئية الموزعة على توليد الطاقة اللازمة لتلبية الحموله من خلال مشاركة الطاقة الفعلية بين هذه المولدات الموزعة، وهنا تعمل الشبكة الميكروية في الوضع المنفصل عن الشبكة الرئيسية.

C. العمل في حالات الطوارئ وتشمل حالتين:

i. تعتيم عام وأيام غائمة تتجاوز 3 أيام (Diesel alone):

ينتج هذا النمط من العمل عند انعدام الطاقة المولدة من النظام الكهروضوئي كما هو الحال في الأيام الغائمة والمعتمة والتي يتجاوز عددها الثلاثة أيام وفقاً لتصميم النظام الكهروضوئي، مع انقطاع التغذية من الشبكة الرئيسية. هنا سيعمل مولد الديزل منفرداً على توليد الطاقة اللازمة لتلبية الحموله.

ii. تعتيم عام مع نقص حاد في الوقود الاحفوري (PV alone):

تحصل هذه الحالة نتيجة التعرض للحروب او الكوارث مع نقص حاد في امدادات الوقود الاحفوري الذي تعتمد عليه

محطات توليد الطاقة المركزية وكذلك مولدات الديزل، وهذا سيؤدي لانقطاع التغذية الكهربائية من الشبكة الرئيسية وإخراج مجموعة الديزل من العمل وإبقاء المولدات الكهروضوئية لتعمل وحدها بشكل مستقل، حيث تقوم بإنتاج الطاقة الكهربائية في ساعات النهار لتلبية أحمال الطوارئ وشحن البطاريات لاستخدام الطاقة المخزنة في فترات الليل. وهنا يجدر الإشارة الى ان استطاعة الحمل لا يمكن ان تتجاوز حد الاستطاعة المولدة من قبل المولدات الكهروضوئية والتي تتغير تبعاً لتغير شدة الاشعاع الشمسي الساقط والمتغير وفقاً للتقويم الزمني للطبيعة.

3. تصميم نظام تحكم يعتمد على المنطق العشوائي للتحكم بالشبكة الميكروية:

1.3 التحكم بالجهد والتردد للشبكة الميكروية المدروسة:

تم في هذا البحث، تصميم متحكمين يعتمدان على المنطق العشوائي للتحكم بجهد وتردد المولدات الموزعة في الشبكة الميكروية، ولتحقيق ذلك تم استخدام إشارتين فقط هما الجهد والتردد كدخل لنظام التحكم. حيث يتم من خلال هذين المتحكمين تحديد الحد الأقصى والحد الأدنى لكل إدخال.

يقوم المتحكم الأول (Frequency Controller For PV System) بمراقبة تردد النظام الكهروضوئي (متحكم لكل مولد كهروضوئي موزع)، حيث يسمح للتردد f_{PV} بالتغير ضمن المجال (49-51) Hz، أما قيم التردد الخارجة عن هذا المجال فيتم اتخاذ إجراء تحكيمي ملائم تبعاً لكل قيمة لها. يؤدي تجاوز التردد للحد الأعلى المسموح به (أكبر من 51Hz) إلى فصل المولد الكهروضوئي الموزع نظراً لخروج تردده عن القيم المسموحة ولكونه يشكل خطراً على استقرار الشبكة الميكروية.

أما المتحكم الثاني (Voltage and Frequency Controller For Diesel Generator) فيقوم بمراقبة كل من جهد وتردد مولد الديزل معاً. وكما هو الحال في المتحكم الأول، يتم اتخاذ الاجراء التحكيمي الملائم والموافق لكل قيمة من قيم الجهد والتردد التي توافق القيم التالية المسموحة (380-415) V للجهد و (49-51) Hz للتردد.

بينما يكون الخرج في كلا المتحكمين عبارة عن إشارة تعديل يتراوح مطالها بين القيمتين 0 و 1، ويتغير هذا المطال تبعاً لقواعد البيانات المعرفة لكل متحكم. يستخدم خرج المتحكم الأول كدخل للمولد الكهروضوئي الموزع والذي يعبر عن نسبة استطاعة التوليد للمولد الكهروضوئي والتي تتراوح ضمن المجال (0-100%) وفقاً للشروط التالية:

A. إذا كان تردد المولد الكهروضوئي الموزع $f_{PV} = (49 - 51)Hz$ أظهر على الخرج القيمة 1.

$$\text{IF } f_{PV} = (49 - 51)Hz \text{ THEN } M = 1$$

B. إذا كان تردد المولد الكهروضوئي الموزع $f_{PV} > (51)Hz$ أظهر على الخرج القيمة 0.

$$\text{IF } f_{PV} > (51)Hz \text{ THEN } M = 0$$

حيث: القيمة 1 توافق نسبة توليد 100% للمولد الكهروضوئي. أما القيمة 0 توافق نسبة توليد 0% للمولد الكهروضوئي وبالتالي فصله وإخراجه من العمل.

بينما يستخدم خرج المتحكم الثاني للتحكم في الحمل الثانوي المتغير، والذي تتراوح استطاعته ضمن المجال [kW] (0-1000)، حيث ان كل انخفاض لجهد أو تردد مولد الديزل سيقابله تخفيض في استطاعة الحمل الثانوي بهدف إعادة كل من الجهد والتردد إلى القيم المسموحة بها حيث يعبر الخرج عن نسبة التحميل الإضافي. توافق القيمة 1 نسبة تحميل 100% من الحمل الثانوي، بينما توافق القيمة 0.9 نسبة تحميل 90% من الحمل الثانوي، وذلك وفقاً للشروط التالية:

$$\text{IF } f_{DIESEL} = (49 - 51)Hz \text{ OR } V_{DIESEL} = (380 - 415)V \text{ THEN } M = 1$$

IF $f_{DIESEL} = (48 - 49)\text{Hz}$ OR $V_{DIESEL} = (375 - 380)\text{V}$ THEN $M = 0.9$

IF $f_{DIESEL} = (47.5 - 48)\text{Hz}$ OR $V_{DIESEL} = (370 - 375)\text{V}$ THEN $M = 0.8$

IF $f_{DIESEL} = (47 - 47.5)\text{Hz}$ OR $V_{DIESEL} = (365 - 370)\text{V}$ THEN $M = 0.7$

IF $f_{DIESEL} = (46.5 - 47)\text{Hz}$ OR $V_{DIESEL} = (360 - 365)\text{V}$ THEN $M = 0.6$

IF $f_{DIESEL} = (46 - 46.5)\text{Hz}$ OR $V_{DIESEL} = (355 - 360)\text{V}$ THEN $M = 0.5$

IF $f_{DIESEL} = (45.5 - 46)\text{Hz}$ OR $V_{DIESEL} = (350 - 355)\text{V}$ THEN $M = 0.4$

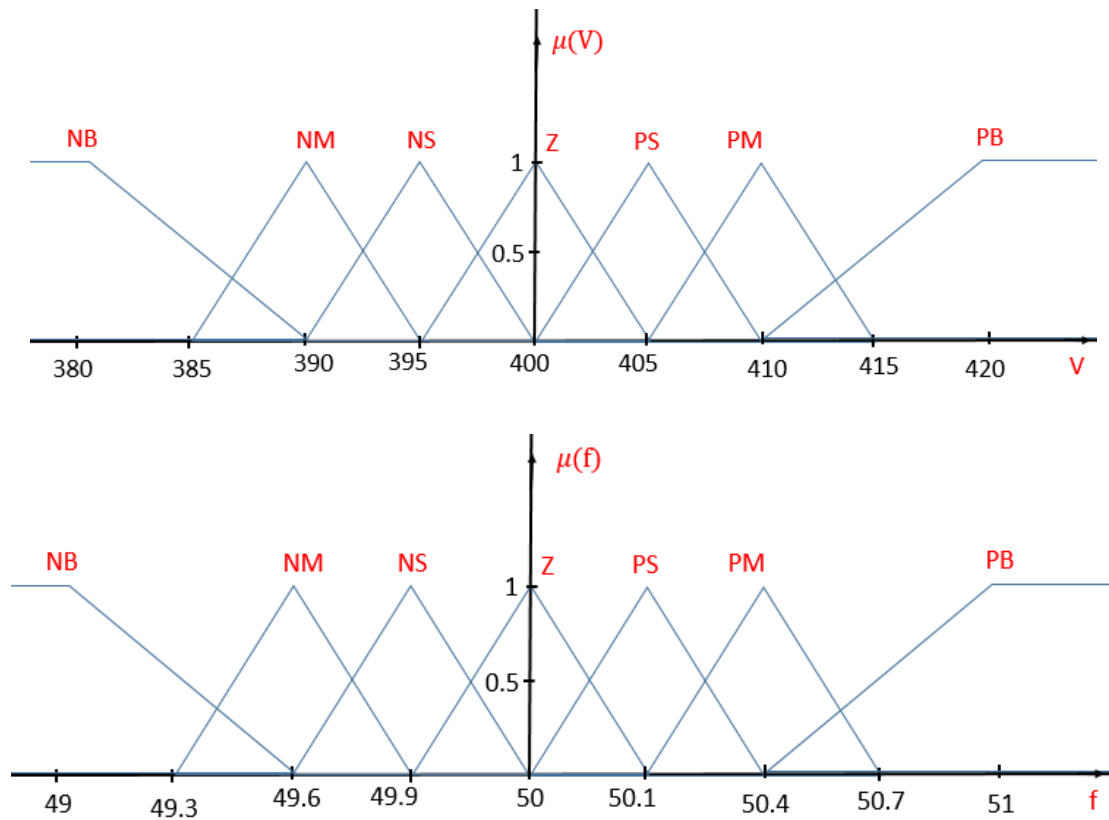
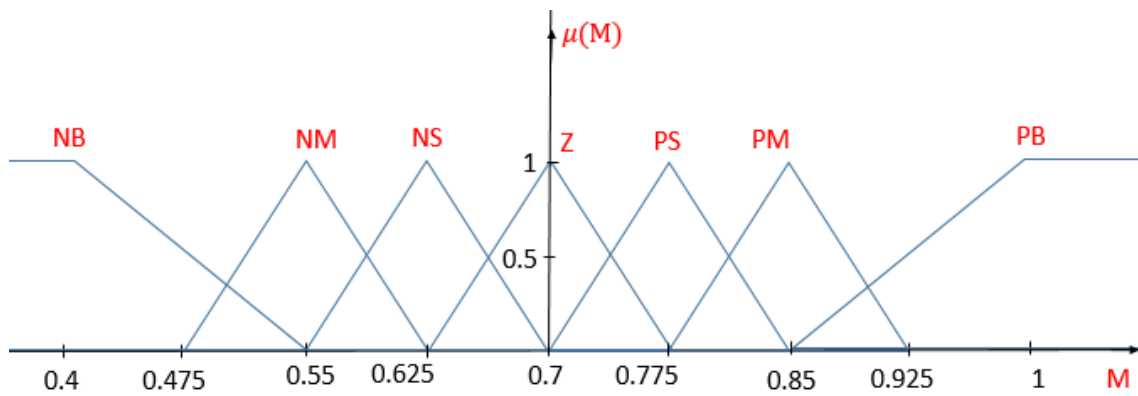
يمكن تمثيل متغيرات أي نظام كأعضاء مجموعة في نظرية مجموعة المنطق العشوائي، حيث ينقسم النظام العشوائي إلى ثلاث مجموعات كما هو مبين في الشكل (3) ويمكن توضيح ذلك كما يلي:



الشكل (3) نظرية المنطق العشوائي

1- تحويل متغيرات الدخل (الإشارات والمعطيات) إلى نظام Fuzzy (Fuzzification):

وهي عملية قائمة على المعرفة يتم فيها تحويل متغيرات الدخل إلى متغيرات لغوية حسب مبدأ Fuzzy. تُستخدم المجموعات العشوائية لتحديد المعلومات التي سيتم الارتكاز عليها. وبالتالي يجب أن نحدد كيف سيحوّل النظام العشوائي مدخلاته الرقمية إلى مجموعات عشوائية (بعملية تسمى "fuzzification") بحيث يمكن استخدام هذه المدخلات من قبل النظام العشوائي. لكل من متغيرات الدخل المحولة إلى متغيرات عشوائية تابع عضوية معين. وفي دراستنا تم اختيار توابع العضوية للدخل والخرج كتوابع مثلثية كما يظهر في الشكلين (4) و(5) على التوالي.

الشكل (4) توابع العضوية لإشارات الدخل f, V .

الشكل (5) توابع العضوية لإشارات الخرج

يوجد سبع متغيرات لغوية لكل متغير من متغيرات الدخل V و f وكذلك لمتغير M وهي تغير سالب كبير (Negative Big -NB)، تغير سالب متوسط (Negative Medium -NM)، تغير سالب صغير (Negative Small -NS)، تغير صفري (Zero -Z)، تغير موجب صغير (Positive Small -PS)، تغير موجب متوسط (Positive Medium -PM) وتغير موجب كبير (Positive Big -PB). إنَّ المتغيرات اللغوية المرافقة لنظام التحكم الذي يستخدم Fuzzy Logic في دراستنا هي $[k] = [V, f]$.

الاستنتاجات:

يتم اتخاذ قرار التحكم بناء على المتغيرات اللغوية المحولة إلى الشكل العشوائي. وتتضمن الاستنتاجات قوانين من أجل تحديد قرارات الخرج، ولآلية الاستنتاج (Inference) مهمتان أساسيتان: (1) تحديد المدى لكل قاعدة ذات صلة بالوضع الحالي لكل من المدخلات (نسمي هذه المهمة "مطابقة matching")، و(2) استخلاص النتائج باستخدام المدخلات الحالية والمعلومات المرتكز عليها في صياغة القواعد (نسمي هذه المهمة "الخطوة الاستنتاجية inference step"). إنَّ متغيرات الدخل في دراستنا لها سبع متغيرات لغوية عشوائية وبالتالي فإن نظام التحكم المصمم الذي يستخدم مبدأ Fuzzy Logic سوف يكون له 49 قاعدة (قانون) للتحكم في جهد وتردد المولدات الموزعة. ويظهر الجدول (2) استنتاجات النظام للتحكم المقترح للتحكم بجهد وتردد المولدات الموزعة. السطر الأعلى والعمود اليساري من المصفوفة يشيران إلى المجموعات العشوائية للمتغيرات V و f بالتعاقب، وتوابع العضوية لمتغيرات الخرج تظهر في جسم المصفوفة. حيث أن هناك $7 \times 7 = 49$ قانون (قاعدة) محتمل في المصفوفة وأحد القوانين أو القواعد على سبيل المثال يكون بالشكل التالي:

$$\text{IF } f = PS \text{ AND } V = NM \text{ THEN } M = NS$$

الجدول (2) استنتاجات نظام التحكم المقترح للتحكم في جهد وتردد المولدات الموزعة

| f \ V | NB | NM | NS | Z | PS | PM | PB |
|-------|----|----|----|----|----|----|----|
| NB | NB | NB | NB | NM | NM | NS | Z |
| NM | NB | NB | NM | NM | NS | Z | PS |
| NS | NB | NM | NS | NS | Z | PS | PM |
| Z | NM | NM | NS | Z | PS | PM | PM |
| PS | NM | NS | Z | PS | PS | PM | PB |
| PM | NS | Z | PS | PM | PM | PB | PB |
| PB | Z | PS | PM | PM | PB | PB | PB |

2- العودة إلى الإشارات والمعطيات الحقيقية (Defuzzification):

ينتج عن آلية الاستنتاج (Inference) متغيرات خرج بصيغة لغوية. يجب تحويل هذه المتغيرات إلى متغيرات خرج (حقيقية) رقمية أو إشارات واضحة حتى يتمكن المتحكم العشوائي من التعامل معها. يستخدم متحكم Fuzzy Logic الذي تم تصميمه طريقة الارتفاعات لتحويل المتغيرات اللغوية إلى متغيرات رقمية أو إشارات رقمية وهذه الطريقة مشتقة من طريقة المركز التي تعطى فيها متغيرات الخرج الحقيقية بالعلاقة التالية (1):

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i \mu_{out}(Z_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_{out}(Z_i)} \dots \dots \dots (1)$$

حيث Z يتوافق مع قيمة خرج التحكم التي من أجلها تكون قيم تابع العضوية في مجموعة الخرج تساوي الواحد.

2.3 التحكم بمشاركة الاستطاعة الفعلية للمولدات الموزعة في الشبكة الميكروية المدروسة:

إحدى الأهداف الأساسية للتحكم في الشبكة الميكروية هو تحقيق تنظيم تقاسم ومشاركة الاستطاعة الفعلية للمولدات الموزعة مع الحفاظ على تنظيم وثيق لجهد وتردد هذه الشبكة. لذلك ولتحقيق هذا الهدف تم تصميم متحكم ثالث يعتمد على نظرية المنطق العشوائي كما يظهر في الشكل (6). يقوم هذا المتحكم بالمقارنة بين قيمتين هما الطلب على الاستطاعة من قبل أحمال المشفى P_{load} ، والاستطاعة المولدة من قبل النظام الكهروضوئي بمولداته الأربع مجتمعة. وبالاعتماد على نتيجة المقارنة يتم اتخاذ القرار من قبل متحكم المنطق العشوائي للتحكم بمشاركة الاستطاعة الفعلية باسترجار الاستطاعة من الشبكة الرئيسية أو من مولد الديزل وفقاً لوضع العمل المدروس ومحققاً الشروط التالية:

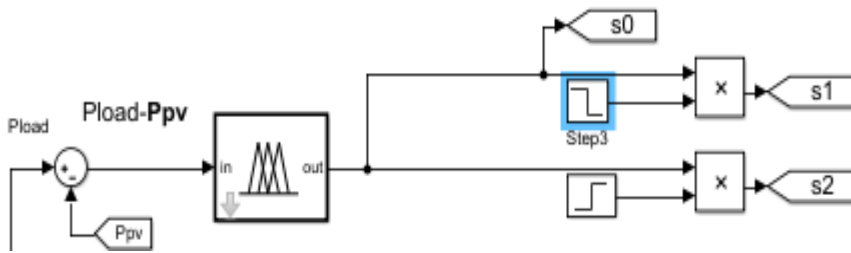
A. إذا كان الفرق $P_{load} - P_{PV}$ أكبر من الصفر أعط على الخرج القيمة 1

$$\text{IF } P_{load} - P_{PV} > 0 \text{ THEN } S0 = 1$$

B. إذا كان الفرق $P_{load} - P_{PV}$ أصغر أو مساوياً للصفر أعط على الخرج

القيمة 0

$$\text{IF } P_{load} - P_{PV} \leq 0 \text{ THEN } S0 = 0$$



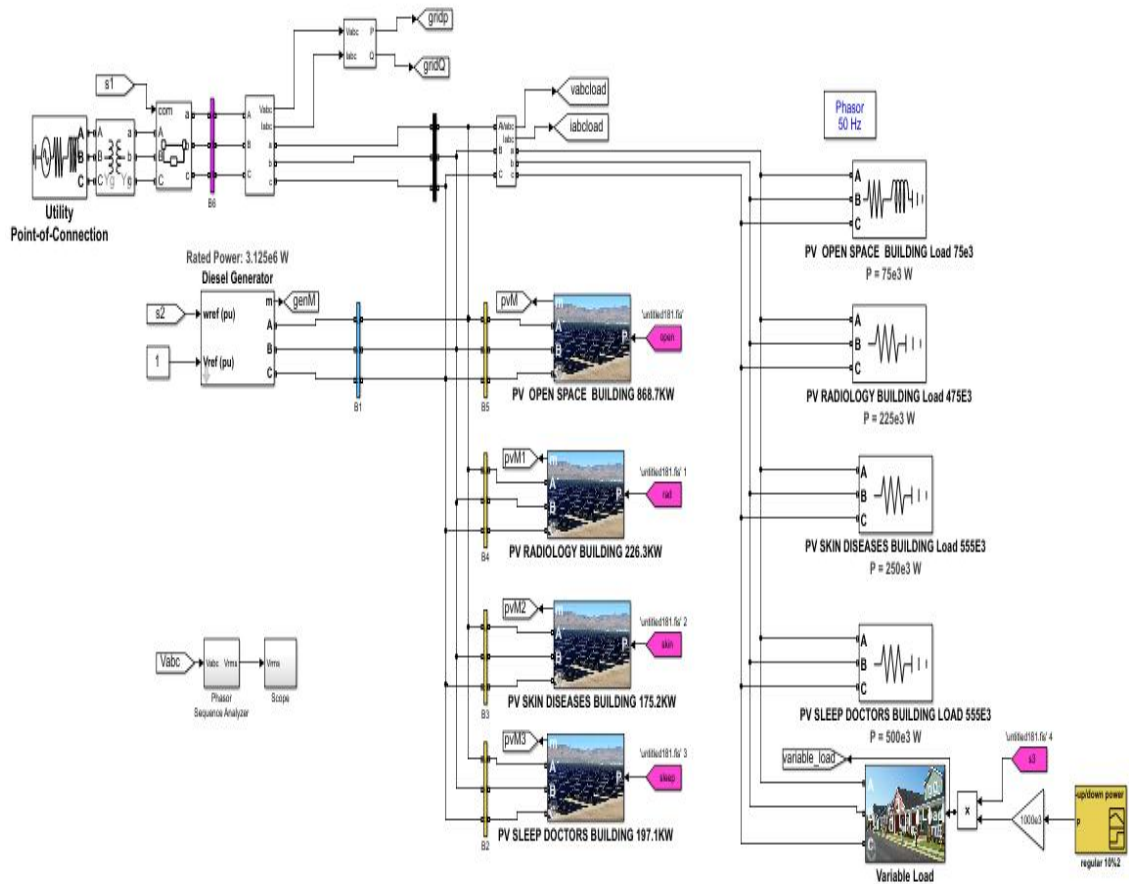
الشكل (6) مخطط التحكم بمشاركة الاستطاعة الفعلية للشبكة الميكروية المدروسة

حيث يشكل خرج هذا المتحكم $S0$ إشارة حقيقية تأخذ إحدى القيمتين 0 أو 1 وتستخدم للتحكم بعمل كل من الشبكة الرئيسية أو مولد الديزل كلاً على حدى. تدل القيمة 1 على أنه تم إدخال الشبكة الرئيسية أو مولد الديزل في العمل وفقاً للحالة ووضع العمل المدروس. بحيث يشارك النظام الكهروضوئي في تلبية الطلب على الاستطاعة ويكون الشرط المحقق في هذه الحالة هو $P_{load} - P_{PV} > 0$. بينما تدل القيمة 0 على أنه تم إخراج كل من الشبكة الرئيسية ومولد الديزل من العمل بحيث يعمل النظام الكهروضوئي بمفرده لتلبية الطلب على الاستطاعة ويكون الشرط المحقق في هذه الحالة هو $P_{load} - P_{PV} \leq 0$.

النتائج والمناقشة:

1- نتائج النمذجة والمحاكاة:

للتحقق من صحة وفعالية نظام التحكم المقترح المعتمد على متحكم المنطق العشوائي (FLC) تم نمذجة نظام الشبكة الميكروية المقترح بجميع مكوناته باستخدام واجهة النمذجة في برنامج ماتلاب (MATLAB Simulink). يظهر الشكل (7) مخطط النمذجة للشبكة الميكروية المدروسة. تم ربط أربعة مولدات كهروضوئية موزعة تتفاوت في سعة توليدها مع الشبكة الرئيسية ومولد ديزل باستطاعة 3 MVA تتشارك العمل فيما بينها بهدف تلبية الطلب على الطاقة.



الشكل (7) مخطط النمذجة والمحاكاة للشبكة الميكروية المدروسة.

وتمت عملية محاكاة النظام عند عدة أنماط عمل للشبكة الميكروية كما يلي:

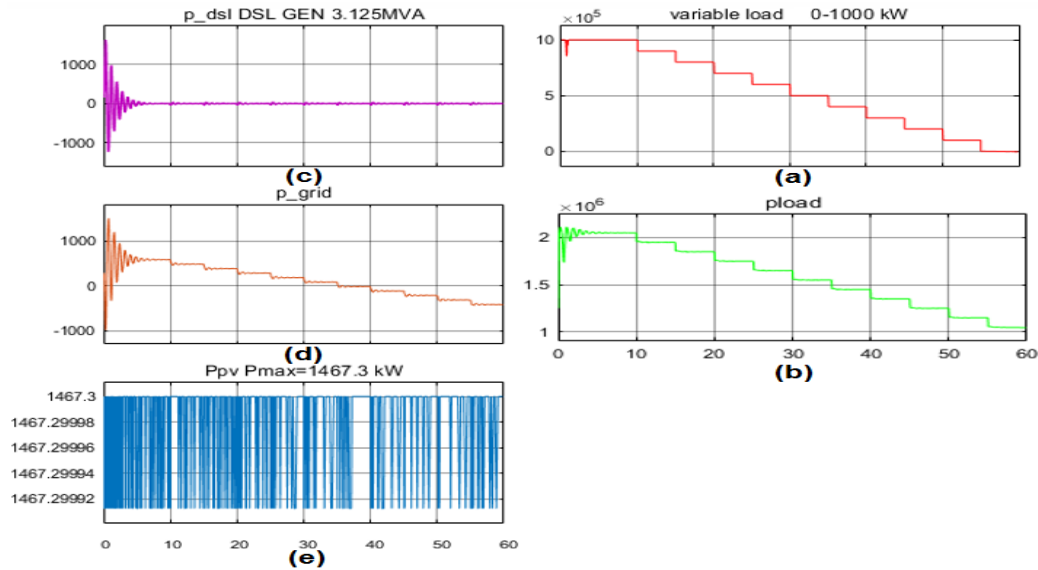
A. الشبكة الميكروية تعمل في نمط العمل الطبيعي (PV+GRID):

في هذا النمط تم دراسة حالة يوم مشمس تعمل فيه المولدات الكهروضوئية الأربع بطاقتها الاعظمية لتتشارك مع الشبكة في تلبية الطلب على الحمل (استطاعة الحمل الكلي هي $2050[kW]$ وهي مقسمة إلى حمل قاعدي استطاعته $1050[kW]$ وحمل ثانوي استطاعته $1000[kW]$). تم دراسة تغيير استطاعة الحمل الكهربائي بنسبة 10% لكل تغيير خلال فاصل زمني قدره $5[s]$ ، بحيث تنخفض استطاعة الحمل الثانوي من $1000[kW]$ وحتى $0[kW]$ كما هو مبين في الشكل (8- a). أما الحمل القاعدي والذي تبلغ استطاعته $1050[kW]$ فهو حمل ثابت خلال زمن الدراسة والبالغ $60[s]$. يظهر في الشكل (8- b) استطاعة الحمل الكلي والمعبر عن مجموع استطاعتي الحمل القاعدي والحمل الثانوي المتغير. يبين الجدول (3) مشاركة الاستطاعة الفعلية بين المولدات الموزعة والشبكة الرئيسية عند تغيير استطاعة الحمل والموضحة في الأشكال (8- c, d, e). فعند حمل كلي $2050[kW]$ شاركت المولدات الكهروضوئية الأربعة باستطاعة مولدة قدرها $1467.3[kW]$ ، بينما تم استرجار $582.7[kW]$ من الشبكة الرئيسية لتلبية الطلب على الطاقة من قبل الحمل الكلي. أما في حالة انخفاض استطاعة الحمل الثانوي إلى $400[kW]$ على سبيل المثال، يصبح الحمل الكلي $1450[kW]$ ($1050[kW]+400[kW]$)، فتشارك المولدات الكهروضوئية الأربعة باستطاعة مولدة قدرها

1467.3[kW]، يتم استرجار 1450[kW] منها من قبل الحمل الكلي الجديد، أما الاستطاعة الفائضة والبالغ قدرها 17.3[kW] فيتم تقديمها إلى الشبكة الرئيسية ولا يُستجر من الشبكة الرئيسية أية طاقة. وفي هذه الحالة يكون مولد الديزل خارج العمل كما هو موضَّح في الشكل (8- c).

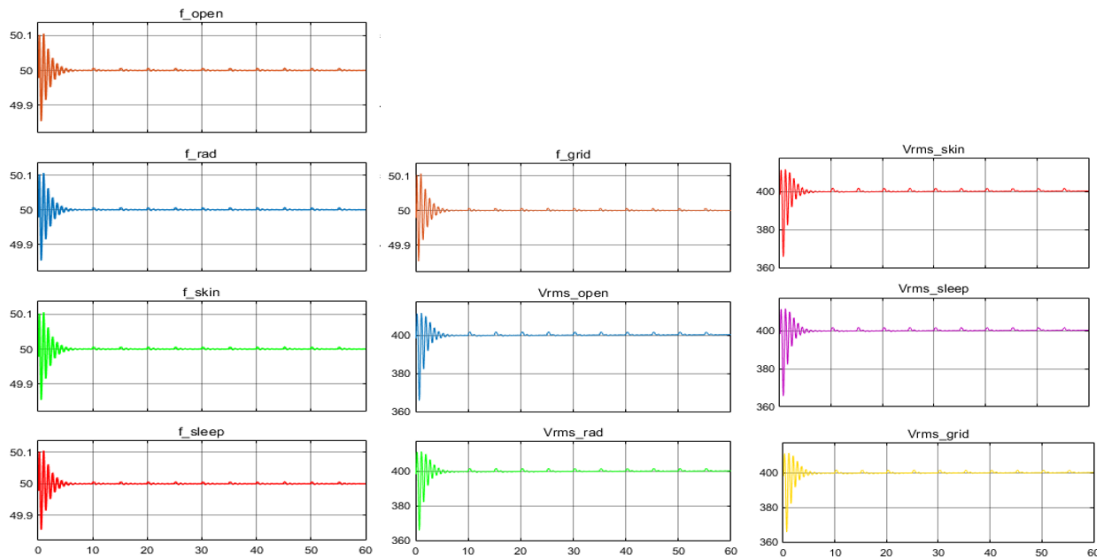
الجدول (3) مشاركة الاستطاعة الفعلية بين المولدات الموزعة في نمط العمل الطبيعي

| Simulation time [s] | BASE LOAD =1050 [kW] | LOAD [kW] | Active power sharing | | | | | GRID [kW] |
|---------------------|------------------------------------|-----------|--------------------------|-------|-------|-------|---------------|-----------|
| | VARIABLE LOAD = (0-100)%*1000 [KW] | | مشاركة الاستطاعة الفعلية | | | | | |
| | | | 100% P_{pv} [kW] | | | | | |
| | | | OPEN | RAD | SKIN | SLEEP | $\sum P_{pv}$ | |
| 0-10 | 1000 | 2050 | 868.7 | 226.3 | 175.2 | 197.2 | 1467.3 | 582.7 |
| 10-15 | 900 | 1950 | 868.7 | 226.3 | 175.2 | 197.2 | 1467.3 | 482.7 |
| 15-20 | 800 | 1850 | 868.7 | 226.3 | 175.2 | 197.2 | 1467.3 | 382.7 |
| 20-25 | 700 | 1750 | 868.7 | 226.3 | 175.2 | 197.2 | 1467.3 | 282.7 |
| 25-30 | 600 | 1650 | 868.7 | 226.3 | 175.2 | 197.2 | 1467.3 | 182.7 |
| 30-35 | 500 | 1550 | 868.7 | 226.3 | 175.2 | 197.2 | 1467.3 | 82.7 |
| 35-40 | 400 | 1450 | 868.7 | 226.3 | 175.2 | 197.2 | 1467.3 | - 17.3 |
| 40-45 | 300 | 1350 | 868.7 | 226.3 | 175.2 | 197.2 | 1467.3 | -117.3 |
| 45-50 | 200 | 1250 | 868.7 | 226.3 | 175.2 | 197.2 | 1467.3 | -217.3 |
| 50-55 | 100 | 1150 | 868.7 | 226.3 | 175.2 | 197.2 | 1467.3 | -317.3 |
| 55-60 | 0 | 1050 | 868.7 | 226.3 | 175.2 | 197.2 | 1467.3 | -417.3 |

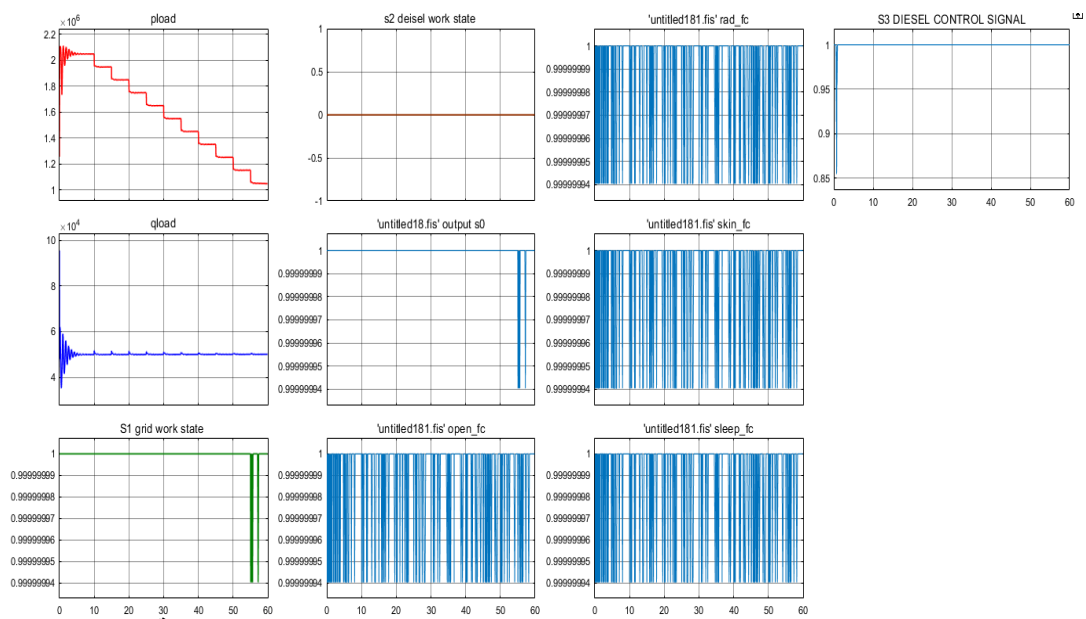


الشكل (8) مشاركة الاستطاعة الفعلية بين المولدات الموزعة عند تغير استطاعة الحمل في نمط العمل الطبيعي

يبين الشكل (9) أنّ متحكم المنطق العشوائي الأول (Frequency Controller For PV System) يقوم بمراقبة تردد المولد الكهروضوئي (متحكم لكل مولد موزع) ويسعى لإبقائه ضمن الحدود المسموحة له. يكون خرج هذا المتحكم مساوياً للواحد في حال كان التردد ضمن القيم المسموحة (49-51) Hz كما هو مبين في الشكل (10) والذي يقابل خرجاً أعظماً للمولد الكهروضوئي الموزع. إنّ ارتفاع التردد عن القيمة (51) Hz تجعل من خرج المتحكم الأول مساوياً للصفر، بينما يكون الإجراء التحكمي المقابل للقيمة 0 هو إخراج المولد الكهروضوئي من العمل لكونه يشكل خطراً على توافقت واستقرار المولدات الموزعة الأخرى. نلاحظ هنا أنّ التردد بقي ثابتاً حتى مع وجود فائض في التوليد والذي نلاحظه عند توصيل 40% من الحمل الثانوي وما دون، وذلك لأنّ الفائض يتم تقديمه الى الشبكة الرئيسية كما هو موضّح في الشكل (8-d).



الشكل (9) تغيرات الجهد والتردد لكل من الشبكة والمولدات الموزعة من أجل نمط العمل الطبيعي.



الشكل (10) إشارة الخرج لمتحكم التردد للمولد الكهروضوئي (متحكم لكل مولد)، s2 s1 إشارة عمل كل من الشبكة والديزل على التوالي من أجل نمط العمل الطبيعي

B. الشبكة الميكروية تعمل في نمط العمل اللاطبيعي (DIESEL + PV):

في هذا النمط تم دراسة حالة انقطاع التغذية من الشبكة الرئيسية في يوم مشمس، والذي قد يحدث لأسباب عدة كتعرض محطات توليد الطاقة المركزية لكوارث مدمرة أو أعطال، والتي ينتج عنها حدوث حالة تعتيم عام مفاجئة. حيث تعمل المولدات الكهروضوئية الأربع بطاقتها الاعظمية لتتشارك مع مولد الديزل في تلبية الحمولة. تم دراسة تغيير استطاعة الحمولة بنسبة 10% لكل تغير خلال فاصل زمني قدره [5s]، بحيث تنخفض استطاعة الحمل الثانوي من [1000kW] وحتى [400kW] كما هو مبين في الشكل (11 - a). أما الحمل القاعدي والذي تبلغ استطاعته [1050kW] فهو حمل ثابت خلال زمن الدراسة والبالغ [40s]. يظهر في الشكل (11 - b) استطاعة الحمل الكلي والمعبر عن مجموع استطاعتي الحمل القاعدي والحمل الثانوي المتغير. يبين الجدول (4) مشاركة الاستطاعة الفعلية بين المولدات الموزعة ومولد الديزل عند تغير استطاعة الحمل والموضحة في الأشكال (11 - c, d, e). فعند حمل كلي [2050kW] شاركت المولدات الكهروضوئية الأربعة باستطاعة مولدة قدرها [1467.3kW] بينما تم استرجار [582.7kW] من مولد الديزل لتلبية الطلب على الطاقة من قبل الحمل الكلي. أما في حالة انخفاض استطاعة الحمل الثانوي الى [400kW]، على سبيل المثال، يصبح الحمل الكلي [1450kW] فتتشارك المولدات الكهروضوئية الأربعة باستطاعة مولدة قدرها [1467.3kW]، يتم استرجار [1450kW] منها من قبل الحمل الكلي، بينما يمكن الاستفادة من الاستطاعة الفائضة في التوليد في تشغيل حمل إضافي أو في عملية شحن مدخرات، إلخ. وفي هذه الحالة تكون الشبكة الرئيسية خارج العمل كما هو موضح في الشكل (11 - d).

الجدول (4) مشاركة الاستطاعة الفعلية بين المولدات الموزعة في نمط العمل اللاطبيعي B.

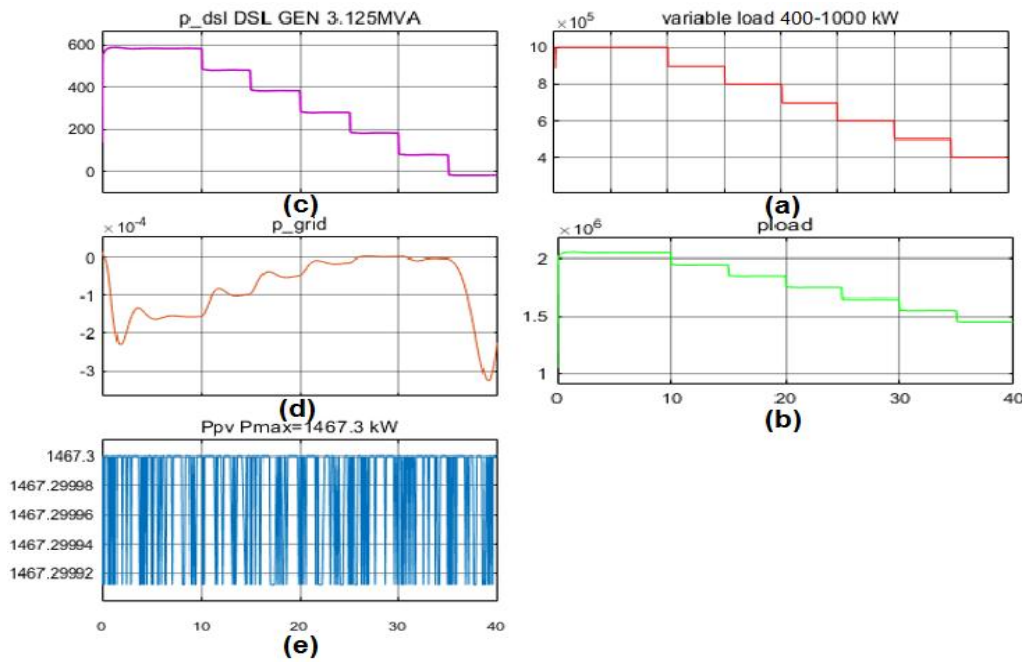
| Simulation time [s] | BASE LOAD =1050 [kW] | LOAD [kW] | Active power sharing | | | | | DIESEL [kW] |
|---------------------|------------------------------------|-----------|----------------------|-------|-------|-------|---------------|-------------|
| | VARIABLE LOAD = (0-100)%*1000 [kW] | | 100% P_{pv} [kW] | | | | | |
| | | | OPEN | RAD | SKIN | SLEEP | $\sum P_{pv}$ | |
| 0-10 | 1000 | 2050 | 868.7 | 226.3 | 175.2 | 197.2 | 1467.3 | 582.7 |
| 10-15 | 900 | 1950 | 868.7 | 226.3 | 175.2 | 197.2 | 1467.3 | 482.7 |
| 15-20 | 800 | 1850 | 868.7 | 226.3 | 175.2 | 197.2 | 1467.3 | 382.7 |
| 20-25 | 700 | 1750 | 868.7 | 226.3 | 175.2 | 197.2 | 1467.3 | 282.7 |
| 25-30 | 600 | 1650 | 868.7 | 226.3 | 175.2 | 197.2 | 1467.3 | 182.7 |
| 30-35 | 500 | 1550 | 868.7 | 226.3 | 175.2 | 197.2 | 1467.3 | 82.7 |
| 35-40 | 400 | 1450 | 868.7 | 226.3 | 175.2 | 197.2 | 1467.3 | - 17.3 |

يبين الشكل (12) أنّ متحكم المنطق العشوائي الأول (Frequency Controller For PV System) يقوم بمراقبة تردد المولد الكهروضوئي (متحكم لكل مولد موزع). ويسعى لإبقائه ضمن الحدود المسموح بها ويكون خرج هذا المتحكم مساوياً للواحد في حال كان التردد ضمن القيم المسموحة (49-51) Hz كما هو مبين في الشكل (13) والذي يقابل

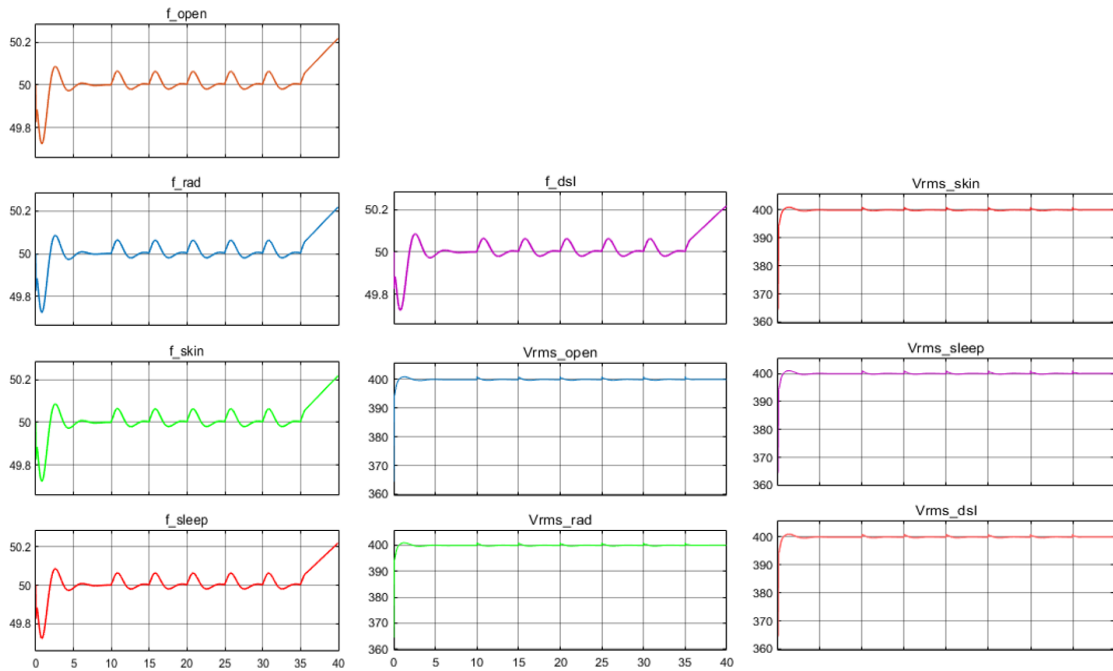
خرجاً أعظماً للمولد الكهروضوئي الموزع. إن ارتفاع التردد عن القيمة (51) Hz تجعل من خرج المتحكم الأول مساوياً للصفر بينما يكون الإجراء التحكمي المقابل للقيمة 0 هو إخراج المولد الكهروضوئي من العمل لكونه يشكل خطراً على توافقت واستقرار المولدات الموزعة الأخرى. نلاحظ عند الزمن [35-40] sec أن:

$$P_{load} < \sum P_{pv}$$

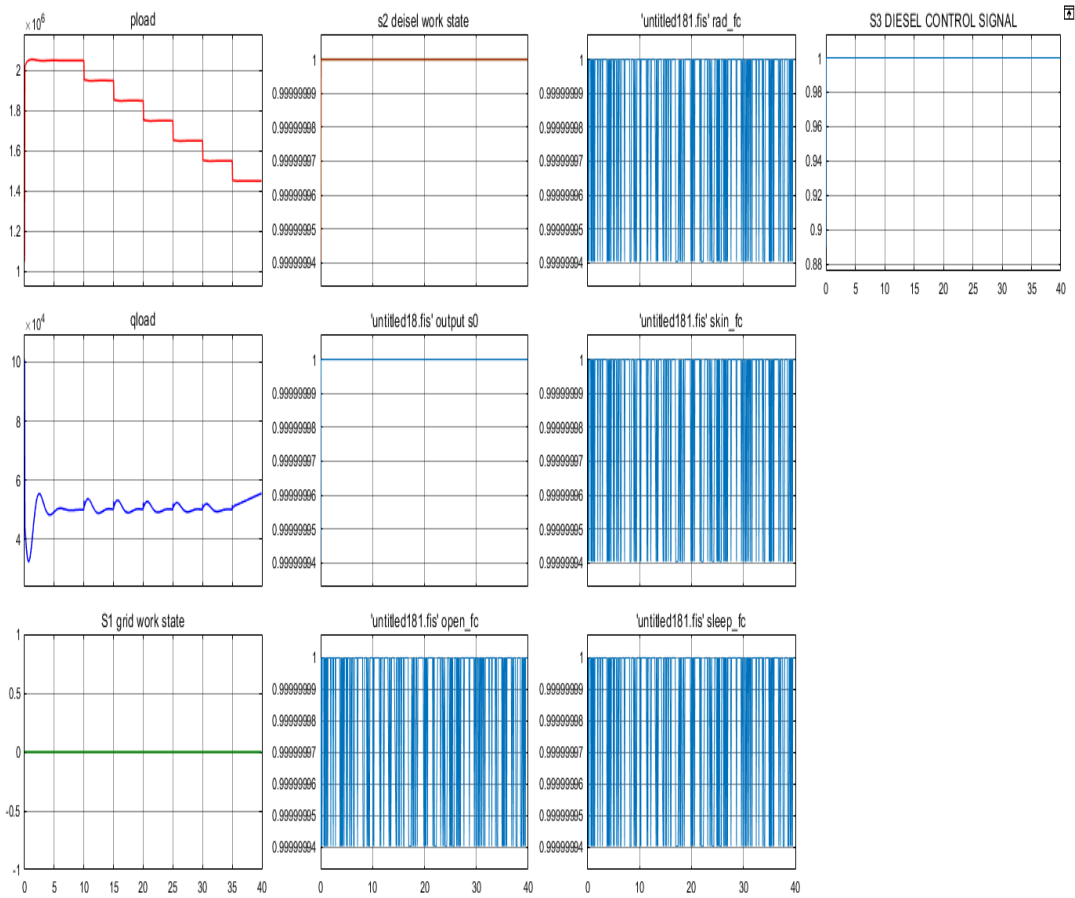
وقد أدت هذه الاستطاعة المولدة الفائضة إلى ارتفاع التردد إلى القيمة (50.2) Hz وهي قيمة ضمن المجال المسموح به. حيث أن القيم الأعلى من هذا المجال تؤدي إلى إخراج المولد الكهروضوئي من العمل ليقوم حينها مولد الديزل بتعويض الفارق. بينما القيم الأدنى من هذا المجال تؤدي إلى خفض استطاعة الحمل الثانوي وبالتالي استعادة القيم الاسمية للتردد وذلك وفق قواعد المتحكم المعتمد على المنطق العشوائي.



الشكل (11) مشاركة الاستطاعة الفعلية بين المولدات الموزعة عند تغير استطاعة الحمل في نمط العمل اللاتبيعي



الشكل (12) تغيرات الجهد والتردد لكل من الشبكة والمولدات الموزعة من أجل نمط العمل اللاتبيعي



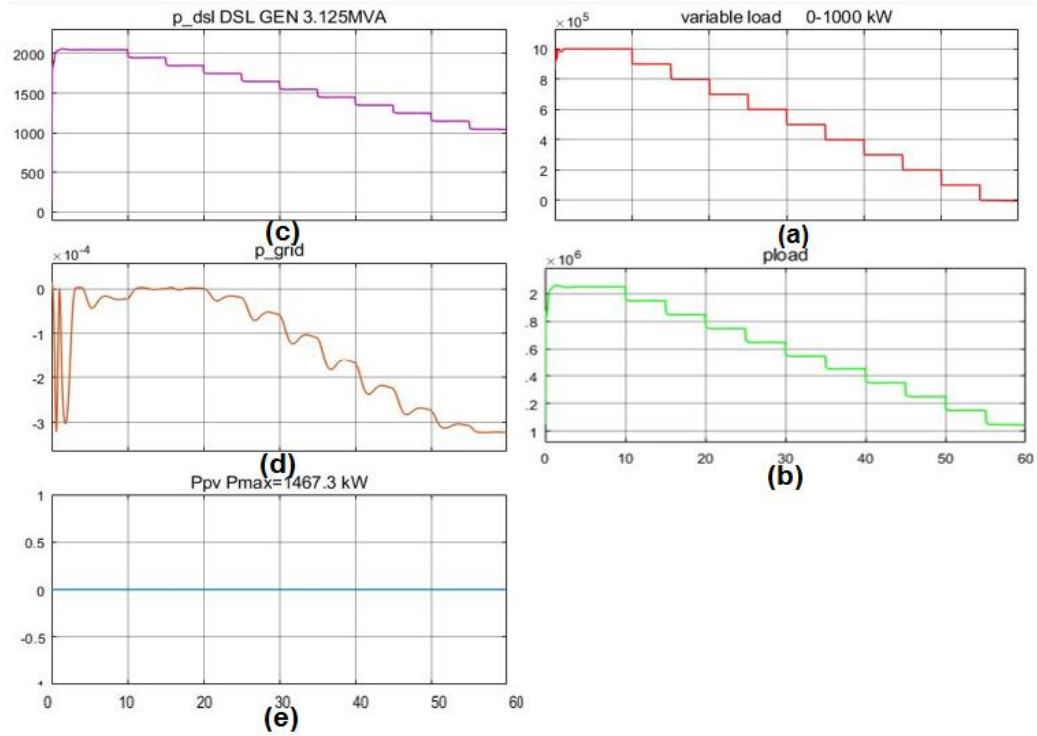
الشكل (13) اشارة الخرج لمتحكم التردد للمولد الكهروضوئي (متحكم لكل مولد)، s2 s1 اشارة عمل كل من الشبكة والديزل على التوالي من أجل نمط العمل اللاتبيعي

C. الشبكة الميكروية تعمل في حالات الطوارئ:**i. تعميم عام وأيام غائمة تتجاوز ثلاثة أيام (DIESEL ALONE):**

إنّ المدة التي تم تصميم النظام الكهروضوئي للعمل عليها في الأيام الغائمة والمعتمة (مدة التشغيل المستقل المعتمد على المدخرات) هي ثلاثة أيام، وبالتالي فإنّ استمرار الأيام الغائمة لفترة زمنية تفوق المدة التي صُمم عليها النظام الكهروضوئي يؤدي الى انعدام الطاقة المولدة من قبل هذا النظام. في هذا النمط تم دراسة حالة انقطاع التغذية من الشبكة الرئيسية في يوم غائم يلي الأيام الغائمة التي صُمم النظام الكهروضوئي للعمل عندها. تم دراسة تغيّر استطاعة المحمولة بنسبة 10% لكل تغيير خلال فاصل زمني قدره 5[s] بحيث تتخفف استطاعة الحمل الثانوي من 1000[kW] وحتى 0[kW] كما هو مبين في الشكل (14- a). أما الحمل القاعدي والذي تبلغ استطاعته 1050[kW] فهو حمل ثابت خلال زمن الدراسة والبالغ 60[s]. يظهر في الشكل (14- b) استطاعة الحمل الكلي والمعبر عن مجموع استطاعتي الحمل القاعدي والحمل الثانوي المتغير. يبين الجدول (5) مشاركة الاستطاعة الفعلية حيث تمت تغطية الحمل الكلي من قبل مولد الديزل منفردا كما هو موضح في الأشكال (14- c, d, e).

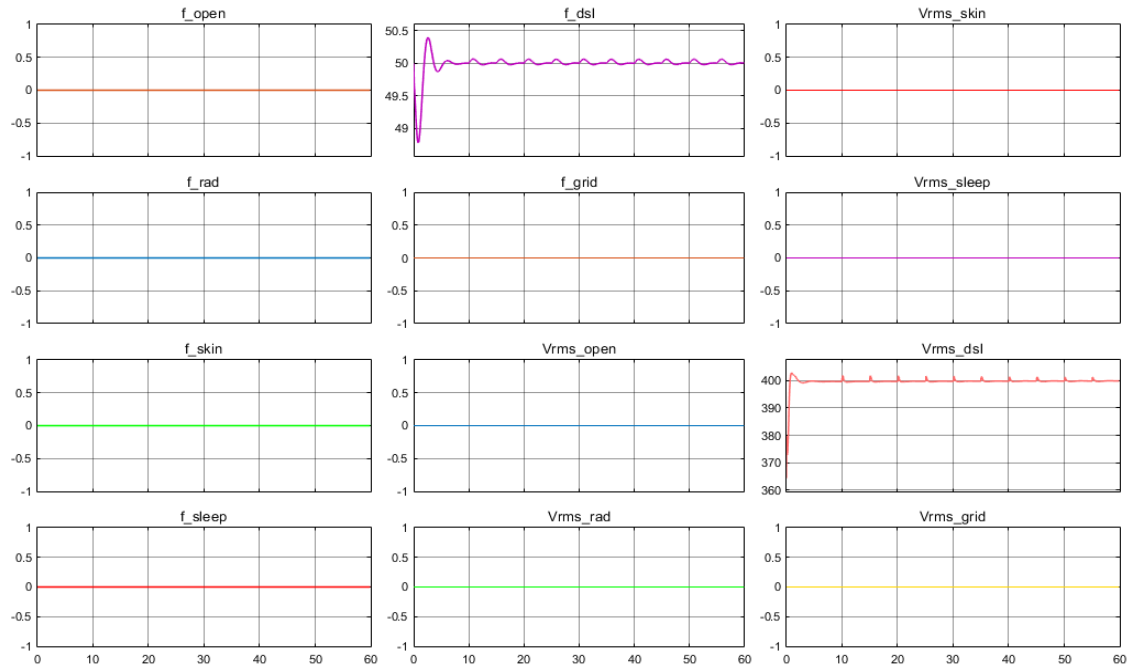
الجدول (5) مشاركة الاستطاعة الفعلية بين المولدات الموزعة في نمط العمل في حالة الطوارئ (C-i)

| Simulation time [s] | BASE LOAD =1050 [KW] | LOAD [kW] | Active power sharing مشاركة الاستطاعة الفعلية |
|---------------------|--|--------------|--|
| | VARIABLE LOAD =(0-100)%*1000 [KW] | | DIESEL [kW] |
| 0-10 | 1000 | 2050 | 2050 |
| 10-15 | 900 | 1950 | 1950 |
| 15-20 | 800 | 1850 | 1850 |
| 20-25 | 700 | 1750 | 1750 |
| 25-30 | 600 | 1650 | 1650 |
| 30-35 | 500 | 1550 | 1550 |
| 35-40 | 400 | 1450 | 1450 |
| 40-45 | 300 | 1350 | 1350 |
| 45-50 | 200 | 1250 | 1250 |
| 50-55 | 100 | 1150 | 1150 |
| 55-60 | 0 | 1050 | 1050 |

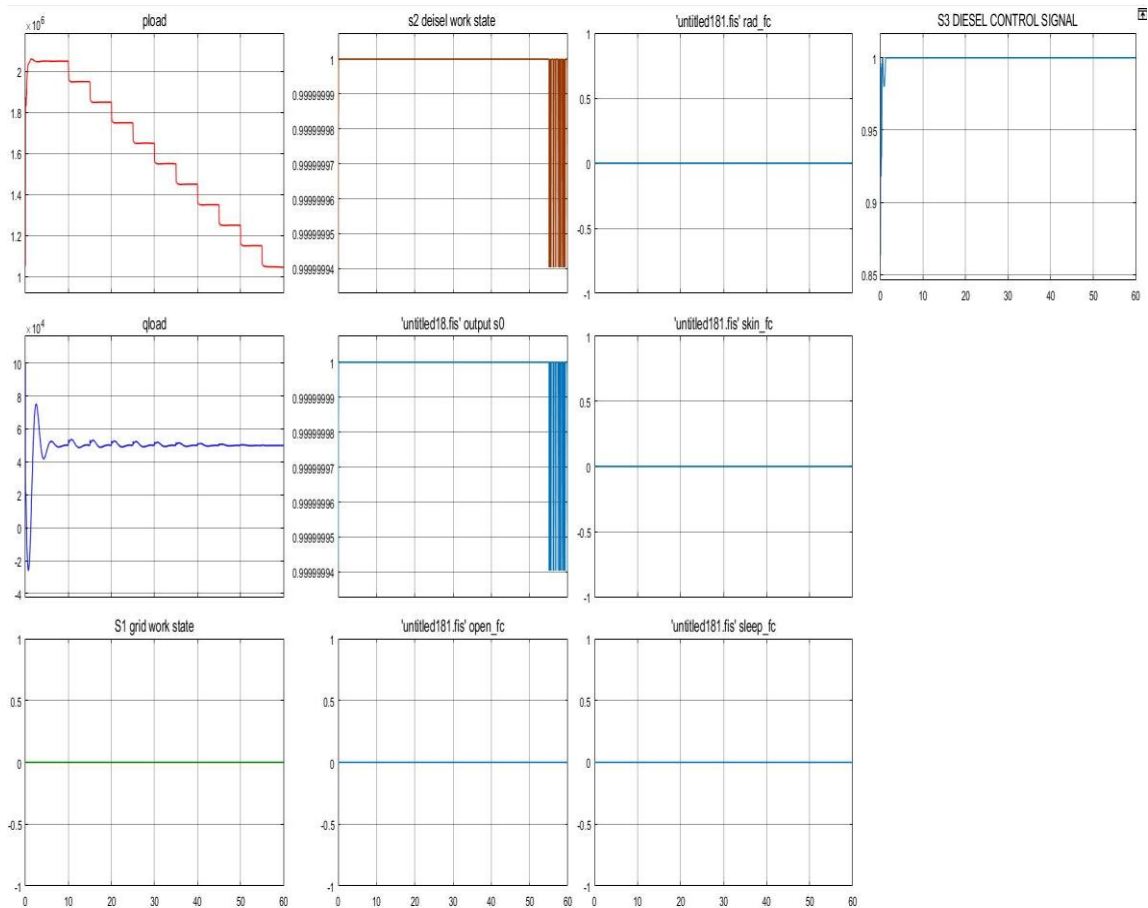


الشكل (14) مشاركة الاستطاعة الفعلية بين المولدات الموزعة عند تغير استطاعة الحمل في نمط العمل في حالة الطوارئ

يبين الشكل (15) الترددات والجهود المقاسة لجميع مكونات الشبكة الميكروية، بينما يبين الشكل (16) وضع العمل لكل مولد موزع في الشبكة الميكروية بالإضافة الى خرج المتحكمات المستخدمة في نظام التحكم.



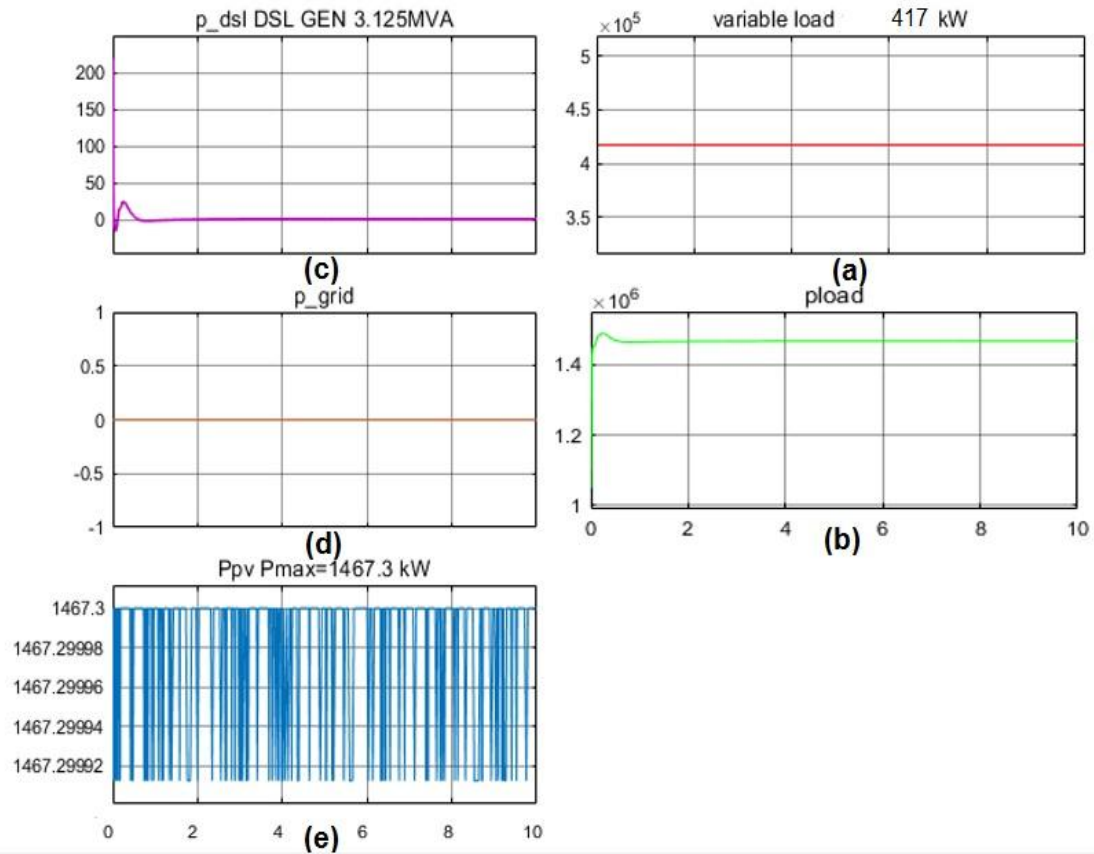
الشكل (15) تغيرات الجهد والتردد لكل من الشبكة والمولدات الموزعة من أجل نمط العمل في حالة الطوارئ



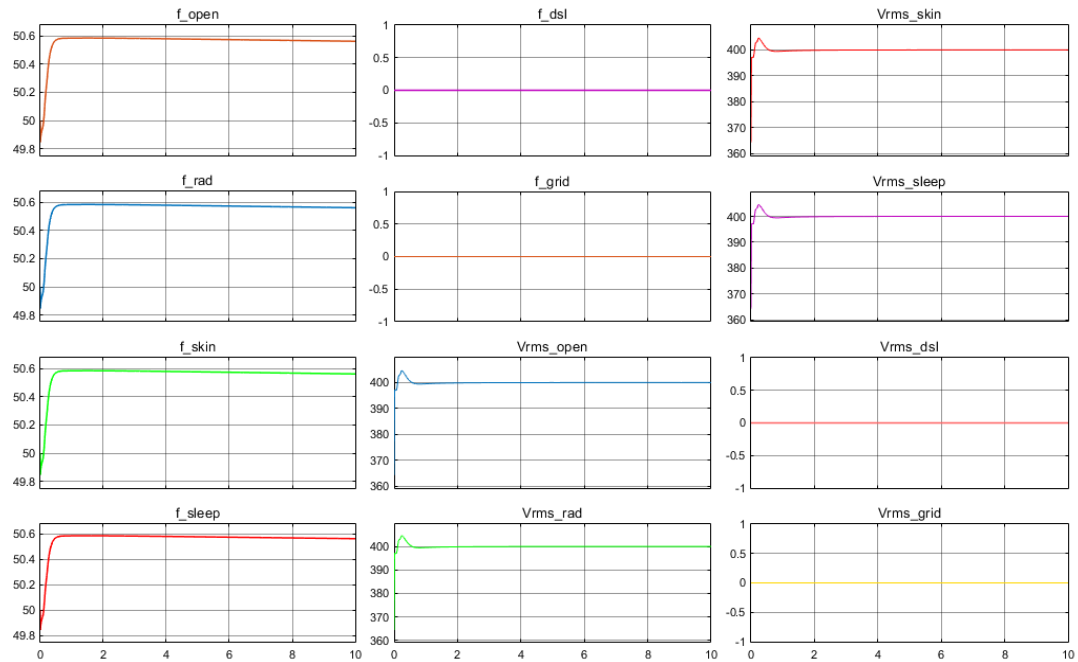
الشكل (16) إشارة الخرج لمتحكم التردد للمولد الكهروضوئي (متحكم لكل مولد)، إشارة عمل كل من الشبكة والديزل على التوالي من أجل نمط العمل في حالة الطوارئ

ii. تعميم عام مع نقص حاد في الوقود الاحفوري (PV ALONE):

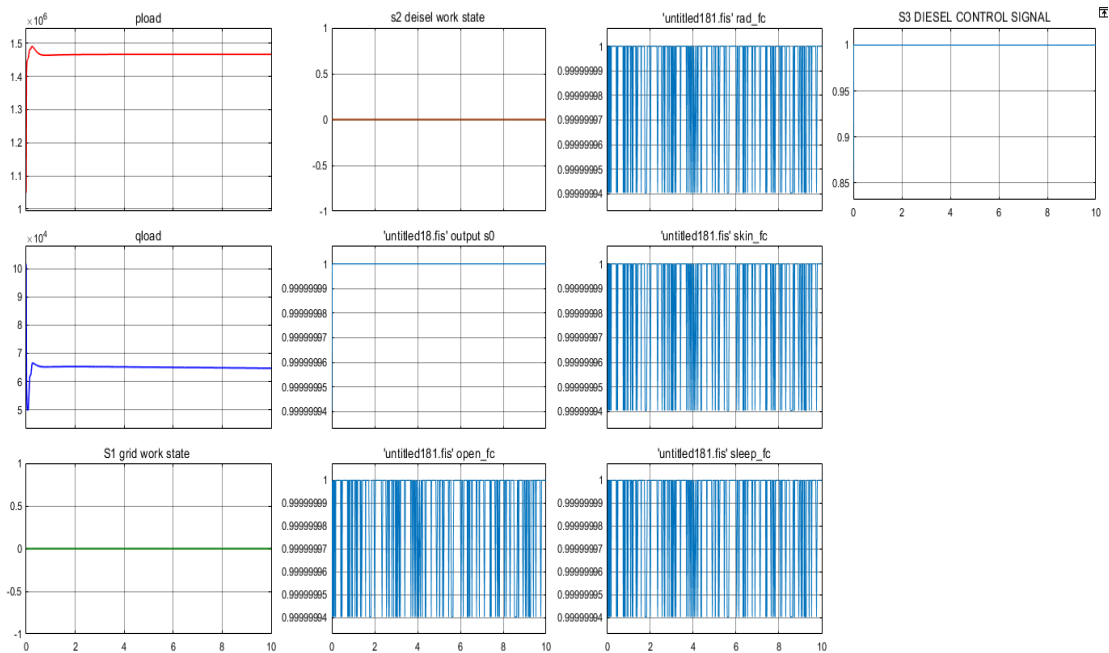
في هذا النمط من العمل، تم دراسة حالة يوم مشمس مع وجود نقص حاد في الوقود الاحفوري والذي أدى بدوره الى عدم القدرة على الاعتماد على مولد الديزل لعدم توافر الوقود اللازم لتشغيله. إضافة الى انقطاع التغذية من الشبكة الرئيسية إما نتيجة لنقص الوقود الحاد أو نتيجة لعطل طارئ. ومن الممكن أيضاً أن يكون سبب هذا الانقطاع هو تعرض محطات التوليد المركزية إلى كوارث مدمرة تعيق عملية توليد ونقل الطاقة. ونظراً لكون هذه الحالة طارئة وحرجة جداً وبسبب عدم مقدرة النظام الكهروضوئي على تلبية كلا الحملين القاعدي والثانوي معاً، فقد تم اختيار استطاعة الحمل الثانوي بحيث لا تتجاوز استطاعة الحمل الكلي الاستطاعة المولدة من قبل النظام الكهروضوئي. تبلغ استطاعة الحمل القاعدي 1050 [kW] ، بينما تبلغ استطاعة الحمل الثانوي 417 [kW] كما هو مبين في الشكل (17- a). يظهر في الشكل (17- b) استطاعة الحمل الكلي والمعبر عن مجموع استطاعتي الحمل القاعدي والحمل الثانوي المتغير وبالباقة قيمته 1467 [kW] . يتم تلبية الطلب على الطاقة من قبل المولدات الكهروضوئية الأربعة فيما تكون الطاقة المقدمة من كل من الشبكة ومولد الديزل معدومة في هذه الحالة كما هو موضح في شكل (17- c, d, e).



الشكل (17) مشاركة الاستطاعة الفعلية بين المولدات الموزعة عند تغير استطاعة الحمل في نمط العمل في حالة الطوارئ
يبين الشكل (18) الترددات والجهود المقاسة لجميع مكونات الشبكة الميكروية، بينما يبين الشكل (19) وضع العمل
لكل مولد موزع في الشبكة الميكروية بالإضافة الى خرج المتحكمات المستخدمة في نظام التحكم.



الشكل (18) تغيرات الجهد والتردد لكل من الشبكة والمولدات الموزعة من أجل نمط العمل في حالة الطوارئ (C-ii)



الشكل (19) إشارة الخرج لمتحكم التردد للمولد الكهروضوئي (متحكم لكل مولد)، إشارة عمل كل من الشبكة والديزل على التوالي من أجل نمط العمل في حالة الطوارئ (C-ii)

الاستنتاجات والتوصيات:

تم في هذا البحث استخدام استراتيجية التحكم الموزع القائمة على نظام الوكيل المتعدد للتحكم بشبكة ميكروية افتراضية مصممة لتأمين استمرارية التغذية الكهربائية لمشفى تشرين الجامعي، وذلك باستخدام متحكم المنطق العشوائي لكونها من أهم المرافق الحرجة في الدولة. ومن النتائج التي حصلنا عليها نستنتج ما يلي:

1. يمكن للنظام الكهروضوئي تغطية نسبة وقدها 20% من استطاعة (حمل) المشفى.
2. إنّ نظام التحكم قادر على إتمام الاجراء التحكمي المطلوب منه بشكل مميز ودقيق، حيث تم الحفاظ على الجهد والتردد ضمن القيم الإسمية، كما أنه تم تنظيم مشاركة الطاقة الفعلية بين المولدات الموزعة.
3. إنّ استخدام متحكم المنطق العشوائي زاد من فعالية الاستراتيجية المتبعة.
4. إنّ التحكم بالجهد والتردد يعزز من موثوقية النظام وجودة الطاقة كما أنه يقلل الحاجة الى أجهزة الحماية وبالتالي تخفيض تكاليف الصيانة.

5. إنّ اقتناء المستشفيات لمصادر طاقة احتياطية تعتمد على الطاقات المتجددة ينقل العمل فيها إلى مستوى عالٍ من الكفاءة والموثوقية. ويساعد في أداء وظائف حاسمة بما في ذلك أنظمة دعم الحياة مثل التهوية وآلات غسل الكلى ومعدات غرف الطوارئ ومعدات التشخيص والمراقبة كمراقبة نبض القلب وتوصيل الأكسجين.

نوصي بتطوير هذا البحث عبر دراسة كل من النقاط التالية:

1. نمذجة مصادر تخزين الطاقة (المدخرات) وإدخالها في العمل وتبيان دورها في تحقيق توازن الاستطاعة عند وجود تباين بين العرض والطلب.
2. تصميم متحكم يقوم بالتحكم بمستوى شحن المدخرات (SOC) لإبقاء مستوى الشحن

والتفريغ ضمن الحدود الآمنة.

3. دراسة حالة العمل ليلاً للشبكة الميكروية وتبيان عملية مشاركة الطاقة فيها.
4. القيام بدراسة اقتصادية تبين الوفرة الحاصل في تكاليف الطاقة من جراء الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة.

References:

- [1] El-Khattam, W., Salama, M. M. (2004). Distributed generation technologies, definitions and benefits. *Electric power systems research*, 71(2), pp.119-128.
- [2] Ji P., ZHOU X., Xin W., Shou Y. Review on sustainable development of island microgrid. In: 2011 International Conference on Advanced Power System Automation and Protection. IEEE, 2011. pp. 1806-1813.
- [3] Abookazemi, K., Hassan M. Y., & Majid M. S. A review on optimal placement methods of distribution generation sources. In 2010 IEEE International Conference on Power and Energy IEEE, 2010, pp. 712-716.
- [4] Antoniadou-Plytaria, K. E., Kouveliotis-Lysikatos, I. N., Georgilakis, P. S., & Hatziargyriou, N. D. (2017). Distributed and Decentralized Voltage Control of Smart Distribution Networks: Models, Methods, and Future Research. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 8(6), pp.2999–3008. doi:10.1109/tsg.2017.2679238
- [5] Arani A. A., Khodadoost G. B., Gharehpetian, Abedi M. (2019). Review on Energy Storage Systems Control Methods in Microgrids. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 107, pp. 745-757.
- [6] Han H., Hou X., Yang J., Wu J., Su M., Guerrero, J. M. (2016). Review of Power Sharing Control Strategies for Islanding Operation of AC Microgrids. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 7(1), pp.200–215. doi:10.1109/tsg.2015.2434849.
- [7] Shayeghi H., Sobhany B., Moradzadeh M. (2017). Management of Autonomous Microgrids Using Multi-Agent Based Online Optimized NF-PID Controller. *Journal of Energy Management and Technology*. 1(1), pp. 79-87.
- [8] Lai J., Lu X., Yu X., Monti, A. (2020). Stochastic distributed secondary control for ac microgrids via event-triggered communication. *IEEE Transactions on Smart Grid*.
- [9] Wang Y., et al. (2020). A distributed control scheme of microgrids in energy internet and its multi-site implementation. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*.
- [10] Yazdanian M., Mehrizi-Sani A. (2014). Distributed Control Techniques in Microgrids. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 5(6), pp. 2901–2909. doi:10.1109/tsg.2014.2337838.
- [11] Hettiarachchi H. W. D., Hemapala K.T. M., Udayanga A. G., Buddhika P. (2018). Review of applications of fuzzy logic in multi-agent-based control system of AC-DC hybrid microgrid. *IEEE Access*, 7, pp.1284-1299.
- [12] Golsorkhi M. S., Lu D. D.-C. (2016). A Decentralized Control Method for Islanded Microgrids Under Unbalanced Conditions. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 31(3), pp.1112–1121. doi:10.1109/tpwrd.2015.2453251.
- [13] Gu W., Lou G., Tan W., Yuan, X. (2017). A Nonlinear State Estimator-Based Decentralized Secondary Voltage Control Scheme for Autonomous Microgrids. *IEEE Transactions on Power Systems*, 32(6), pp. 4794–4804. doi:10.1109/tpwrs.2017.2676181.
- [14] Saini M. K., Dhiman R., Prasad A. N., Kumar R., Saini S. (2018). Frequency management strategies for local power generation network. *International Journal on Future Revolution in Computer Science & Communication Engineering*, 4(2), pp. 49-55.

- [15] Simpson-Porco J.W., et al. (2015). Secondary Frequency and Voltage Control of Islanded Microgrids via Distributed Averaging. *IEEE Trans. Industrial Electronics*. 62(11), pp. 7025-38.
- [16] Dörfler F., Simpson-Porco J.W., Bullo F. (2014). Breaking the Hierarchy: Distributed Control & Economic Optimality in Microgrids. URL <http://arxiv.org/pdf/1401.1767v1.pdf>, (under review).
- [17] Arcos-Aviles D., Pascual J., Marroyo L., Sanchis P., Guinjoan F. (2018). Fuzzy logic-based energy management system design for residential grid-connected microgrids. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 9(2), pp. 530-43.
- [18] Alshareef M., Lin Z. (2018). A Constant Grid Interface Current Controller for DC Microgrid. In 2018 7th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA). IEEE, pp. 968-972.
- [19] Hettiarachchi, H. W. D., Udayanga K.T.M., Buddhika A.G., Jayasekara P. (2019). Review of Applications of Fuzzy Logic in Multi-Agent-Based Control System of AC-DC Hybrid Microgrid. *IEEE Access*, 7, pp. 1284-1299.
- [20] Chauhan R. K., Rajpurohit B. S., Hebner R. E., Singh S. N., Longatt F. M. (2015). Design and analysis of PID and fuzzy-PID controller for voltage control of DC microgrid. In *Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT ASIA)*, IEEE, pp. 1-6.
- [21] Raha, S. B., Biswas, D. (2020). Fuzzy Controlled Demand Response Energy Management for Economic Microgrid Planning. In *2020 IEEE International Conference on Power Electronics, Smart Grid and Renewable Energy (PESGRE2020)*. IEEE, pp. 1-6.
- [22] Habib, M., Ladjici A. A., Harrag A. (2019). Microgrid management using hybrid inverter fuzzy-based control. *Neural Computing and Applications*, 1-19.
- [23] Sun Q., Sun Q., Qin, D. (2019). Adaptive fuzzy droop control for optimized power sharing in an islanded microgrid. *Energies*, 12(1) pp. 45.
- [24] Bevrani H., Feizi M. R., Ataei S. (2016). Robust Frequency Control in an Islanded Microgrid Synthesis Approaches. *IEEE transactions on smart grid*. 7(2), pp. 706-17.