

## Developing a Protection Scheme from Under Voltage and Under Frequency of the Electrical Power System Based on a Suitable Load Shedding

Dr. Ammar Adnan Hajjar \*  
Dr. Mohamed Ammar Saati \*\*  
Yasmine Mostafa Mehjazi\*\*\*

(Received 7 / 1 / 2018. Accepted 19 / 2 / 2018)

### □ ABSTRACT □

The imbalance in generation/load in the electrical power systems causes a decrease in both frequency and voltage profile. Both frequency and voltage deviation are usually allowed in predefined values, so that the power system is not subject to partial or total blackout.

This paper introduces a protection scheme for the electrical power system, to protect against under frequency under Buses voltage which based on the suitable load shedding. The introduced scheme uses the rate of frequency change as an instantaneous indicator to detect case of imbalance generation/load with considering into the account the magnitude of the disturbance, reactive power demand and the priority of loads. The introduced scheme has the ability to properly determine the load to be shed, in order to restore frequency and voltages of the power system quickly and avoiding the occurrence of partial or total blackout of the system.

To evaluate the performance of the introduced protection scheme for a typical test power system, (IEEE-14 bus test system), is modeled by using (ETAP: Electrical Transient and Analysis Program) platform, many cases of disturbance are simulated on it (outage of generator/ transmission line of the service, 3 phase fault, and over load), then the introduced scheme is implemented and both frequency and voltage are observed before and after load shedding. The simulation results showed of the introduced scheme performs high speed and efficiency manner in suitable load shedding for all tested cases.

**Keywords:** Under frequency, under frequency relay setting, suitable load shedding (SLS), ETAP software.

---

\* Prof. Dr. in Electrical Engineering Dept. - Faculty of Mechanical and Electrical engineering- Tishreen University- Lattakia - Syria. E-

\*\* Dr. in Electrical Engineering Dept. - Faculty of Mechanical and Electrical engineering- Damascus University- Damascus - Syria.

\*\*\* M.Sc. Student in Electrical Engineering Dept. - Faculty of Mechanical and Electrical engineering - Tishreen University - Lattakia - Syria.

## إعداد خطة حماية من انخفاض تردد وجهود نظام القدرة الكهربائي تعتمد على الفصل المناسب للأحمال

د. عمّار عدنان حجار\*

د. محمّد عمّار ساعاتي\*\*

ياسمين مصطفى محجازي\*\*\*

(تاريخ الإيداع 7 / 1 / 2018. قَبْلُ للنشر في 19 / 2 / 2018)

### □ ملخّص □

تتعرّض أنظمة القدرة الكهربائية إلى حالات انخفاض في التردد والجهود نتيجة لعدم التوازن بين التوليد والحمل. لا يُسمح عادة بانحراف التردد والجهود عن قيم محددة مسبقاً، وذلك كي لا يتعرض نظام القدرة الكهربائي إلى خطر التعتيم الجزئي أو الكلي.

يقدم هذا البحث خطة حماية لنظام القدرة الكهربائي مخصصة للحماية من انخفاض التردد والجهود تعتمد على الفصل المناسب للأحمال. تستخدم هذه الخطة معدل التغيّر في التردد كمؤشر فوري لاكتشاف حالة عدم التوازن بين التوليد والحمل، مع الأخذ بالحسبان حجم الاضطراب، والطلب على الاستطاعة الرديئة، وأهمية الأحمال. تمتلك الخطة المقدمة المقدرة على التحديد المناسب لمقدار الحمل اللازم فصله، وذلك لاستعادة تردد وجهود النظام بسرعة وبالتالي لتجنب حدوث التعتيم الجزئي أو الكلي.

لاختبار أداء خطة الحماية المقدّمة تمّ نمذجة نظام قدرة اختباري نموذجي (IEEE-14bus test system) باستخدام برنامج محلل الحالات العابرة الكهربائية (ETAP: Electrical Transient Analyzer Program)، وتمّ محاكاة مجموعة من الاضطرابات عليه (خروج مولّد / خط نقل عن الخدمة، عطل ثلاثي الطور، تحميل زائد)، ثمّ تمّ تطبيق الخطة المقدّمة ومراقبة التردد والجهود قبل وبعد فصل الأحمال. لقد أثبتت نتائج الاختبارات فعالية الخطة المقدّمة من حيث الدقة والسرعة في الفصل المناسب للأحمال لأجل جميع الحالات المختبرة.

**الكلمات المفتاحية:** انخفاض التردد والجهود، تعبير زاجل الحماية من انخفاض التردد، معدل التغير في التردد، الفصل المناسب للحمل، محلل الحالات العابرة الكهربائية (ETAP).

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

\*\* مدرس - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق - دمشق - سورية.

\*\*\* طالبة ماجستير - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## مقدمة:

تتعرض عناصر نظام القدرة الكهربائي إلى حالات تحميل زائد عديدة نتيجة للزيادة في الحمولة، وألخر ورجع عنصر واحد (أو أكثر) من عناصر نظام القدرة عن الخدمة (خط نقل أو مولد أو محول)، أو لحدوث حالات عطل في النظام [2]. [1]. تؤدي حالات التحميل الزائد لعناصر نظام القدرة الكهربائي إلى عدم التوازن بين التوليد والحمل، الذي يؤدي بدوره إلى الانخفاض في تردد وجهود نظام القدرة عن القيم الحدية المسموحة، الذي قد يؤدي بدوره إلى تأثيرات خطيرة ومتعاقبة على النظام [2, 3]، قد تصل إلى حد التعتيم الجزئي أو الكلي [3]. في حال كان عدم التوازن بين التوليد والحمل صغيراً يمكن معالجته بواسطة حواكم العنفة، أما إذا كان عدم التوازن كبيراً فإن حواكم العنفة لا تستطيع معالجته لأنرد فعل هذه الحواكم يكون بطيئاً جداً للاستجابة قبل انخفاض التردد عن الحد المسموح به [4].

يؤثر انخفاض تردد نظام القدرة في العنفة أكثر من المولد، حيث تتعرض شفرات العنفة إلى إجهادات الطنين الميكانيكي الذي ينشأ بسبب الانحراف عن السرعة التزامنية [5]. يشكل الفصل المناسب للأحمال الكهربائية عن نظام القدرة الكهربائي الحماية الأساسية للعنفة من انخفاض التردد [3]. يؤدي الفصل المناسب للأحمال الزائدة إلى العودة إلى حالة التوازن بين التوليد والحمل، وبالتالي إلى عودة تردد وجهود النظام إلى حالتها الطبيعية، وذلك تجنباً لتحطم شفرات العنفة الذي قد يسبب التعتيم الجزئي أو الكلي [6]. من وجهة نظر الحماية يمكن استخدام زاجل حماية بسيط للحماية من انخفاض التردد عن القيمة الحدية، وذلك من خلال تفعيل خطة فصل مناسبة للحمل عند انخفاض التردد [5]. يتم تعيين الحد الأدنى للتردد المسموح به من خلال تشغيل تجهيزات النظام عند حدها الأقصى [7, 8, 9]. لا يُنصح عادة بتشغيل العنفة البخارية عند تردد أقل من 47.5Hz (التردد الاسمي 50Hz) [10].

يتم عادة فصل الأحمال مع الأخذ بالحسبان الأهمية الاقتصادية لها، أي يتم عادة فصل الأحمال الأقل أهمية في حين تبقى الأحمال الهامة في الخدمة. غالباً يتم اعتماد طريقة الخطوة - خطوة لفصل الأحمال، يتم ذلك من خلال تقسيم المقدار الكلي للحمل إلى مجموعة منفصلة من الأحمال، حيث يتم فصلها تدريجياً وفقاً لدرجة انخفاض التردد [7]. فعلى سبيل المثال، عندما ينخفض التردد إلى قيمة أقل من الحد المسموح يتم فصل نسبة محددة مسبقاً من الحمل الكلي خطوة أولى، فإذا استمر التردد في الانخفاض يتم تفعيل الخطوة الثانية ليتم فصل نسبة مئوية أخرى من الحمل المتبقي، وهكذا تستمر العملية إلى أن يعود التردد إلى الحد المسموح به.

لتجنب حدوث حالات تعابر في نظام القدرة يتم زيادة عدد الخطوات المطلوبة لفصل الحمل، حيث يُعتبر حجم الخطوة الواحدة عاملاً هاماً لكفاءة النظام. بناءً على ذلك، يتم التقليل من التحميل الزائد واستعادة تردد وجهود النظام عبر فصل جزء من الأحمال الزائدة في كل خطوة [6]. من المهم أيضاً الأخذ بالحسبان الطلب على الاستطاعة الرديئة لأجل كالحمل، وذلك لاستعادة الجهود من خلال فصل الأحمال الأكثر طلباً على الاستطاعة الرديئة. يجب أن تكون خطة الفصل قادرة على التحديد المناسب لمقدار الحمل اللازم لفصلها لأجل الحفاظ على تردد النظام وجهود قضبان التجميع ضمن الحدود المسموح بها [4]، كما يجب أن تكون خطة الفصل فعالة وذات كفاءة وموثوقية وسرعة عالية [10]. كذلك، من الأفضل الأخذ بالحسبان الاحتياطي الدائر بشكل يعكس مباشرة أثر عمل حواكم العنفة على النظام. من المهم أيضاً تقليل معدل التغير في التردد أكثر ما يمكن لإعطاء الاحتياطي الدائر ما يكفي من الزمن للاستجابة، ويتم ذلك من خلال فصل جزء فقط من مقدار الحمل الكلي (20% على سبيل المثال) يتم تحديده من خلال منحنى التدرج [11].

لقد تم عرض العديد من خطط فصل الحمل التقليدية والتكيفية والذكية القائمة على تقنيات الحل الأمثل [1-12]، وعلى الرغم من المزايا المختلفة لكل خطة إلا أنها لا تخلو من بعض العيوب التي تحدّ من كفاءتها في استعادة التردد والجهود إلى القيم الطبيعية، لذا فهي لا تزال بحاجة إلى المزيد من الدراسة والتحسين.

في هذا السياق، قام باحثون في المرجع [6] باستخدام زواجل الحماية من انخفاض التردد للكشف عن حالات انخفاض التردد والعمل تلقائياً على فصل الأحمال الزائدة. ثم قام باحثون في المرجع [3] بتصميم برنامج لفصل الحمل عند أقصى قدر متوقع من الحمل الزائد. ثم قام باحثون في المرجع [5] بتعديل زواجل انخفاض التردد لكي تقوم بفصل مجموعة من الأحمال المحددة مسبقاً عند عتبات مختلفة للتردد. كما قام باحثون في المرجع [7] بتحديد مقدار الحمل اللازم فصله وعدد الخطوات اللازمة لذلك من خلال إجراء عمليات النمذجة والمحاكاة. لقد أثبتت هذه الخطط عملياً بساطتها وفعاليتها في أنظمة التوزيع الكهربائي ولكنها باءت بالفشل في الأنظمة الكبيرة [5].

قام باحثون في المرجع [13] بإجراء مقارنة بين فصل الحمل التقليدي باستخدام زاجل التردد وفصل الحمل اعتماداً على نموذج استجابة تردد النظام (SFR: System Frequency Response)، على الرغم من استخدام معدل التغير في التردد في الطريقة الثانية كمتغير تحكيمي إضافي لتحسين فصل الحمل عن الطريقة الأولى إلا أنها لم تأخذ بالحسبان تغير الجهد، كما أنها تقيس التردد بعد حدوث الاضطراب مباشرة مع تأخير زمني صغير جداً، إضافة إلى أنّ أجهزة القياس المستخدمة غير دقيقة، كما أنّ جمع المعلومات اللازمة لاستخدام SFR تقع ضمن سلسلة من التعقيدات [6]، ولنموذج SFR تقريباته الخاصة التي قد تؤدي لحدوث أخطاء [7].

قام باحثون في المرجع [14] بتنفيذ خطة حماية تكيفية لفصل الحمل (ALS: Adaptive Load Shedding) عند الحالات العابرة، حيث تم استخدام الخوارزمية الجينية (GA: Genetic Algorithm) لتدريب الشبكة العصبونية (ANN: Artificial Neural Network) بهدف تحديد مقدار الحمل اللازم فصله. لقد أدت ANN أداءً جيداً إلا أنها تتطلب نماذج كثيرة للتدريب، ولا يمكن الاعتماد عليها بسبب عدم قدرتها على تحديد مقدار الحمل اللازم لفصله في كل خطوة، كما أنها غير قادرة على التكيف مع التغيرات في النظام ما قد يؤدي إلى نتائج غير دقيقة. كما أنها تحتاج إلى إعادة تدريب لأجل أي تعديل يحدث في نظام القدرة. يمكن لل ANN أن تعطينا نتائج مرضية للحالات المعروفة فقط، بينما قد تفشل في التنبؤ بنتائج دقيقة للحالات غير المعروفة.

قام باحثون في المرجع [15] بتنفيذ خطة فصل الحمل عند انخفاض التردد (UFLS) باستخدام إجراءات تصحيحية (CA: Corrective Actions)، وتطبيق نظرية الحشد (PSO: particle swarm optimization). لقد تم استخدام الإجراءات التصحيحية للتحكم في الاستطاعة الرديئة، وتم استخدام (PSO) لتحديد المقادير الاقتصادية والمثالية والمواقع للأحمال اللازم فصلها. على الرغم من فعالية هذه الخطة إلا أنها التعقيد الحسابي لها ويطأها شكل العائق أمام تطبيقها في الزمن الحقيقي.

قام باحثون في المرجع [16] بنموذج نظام قدرة اختباري باستخدام برنامج الـ ETAP، ثم قاموا بتحليل زمن إزالة العطل للحرج (CCT: Critical Clearing Time) وذلك لاستعادة تردد النظام بعد حدوث الاضطراب من خلال تنفيذ الفصل التكميلي للحمل. كما قام باحثون في المرجع [17] بتحليل الفصل التكميلي للحمل في نظام القدرة نفسه باستخدام برنامج الـ ETAP وبرنامج محاكاة الحالات العابرة الكهرومغناطيسية (EMTP: Electromagnetic Transients Program). ثم قام باحثون في المرجع [18] بدراسة سريان الحمولة وتحليل الاستقرار العابر (TSA: Transient Stability Analysis) باستخدام برنامج الـ ETAP، كما تم حساب CCT باستخدام طريقة المساحات المتساوية

الموسعة (EEAC: Extended Equal Area Criterion) وذلك لتحديد مقدار الحمل اللازم فصله وبالتالي استعادة التردد والجهود. لقد أظهرت هذه الخطة كفاءتها في استعادة التردد إلا أنه تماخبرها على شبكة واحدة فقط، وهي غير قابلة للتنفيذ على الشبكات الكبيرة. إضافة لذلك، فقد تم دراسة حالات طارئة (اضطرابات) محدودة، كما أنه لم يؤخذ بالحسبان التغير الديناميكي للحمل، ولا أهميته الاقتصادية.

بناءً على ما تقدم ذكره، قمنا في بحثنا هذا بإعداد خطة حماية جديدة مخصصة لحماية نظم القدرة الكهربائية من انخفاض التردد والجهود تعتمد على الفصل المناسب للأحمال. تستخدم الخطة المقدمة معدل التغير في التردد كمؤشر فوري لاكتشاف حالة عدم التوازن بين التوليد والحمل، مع الأخذ بالحسبان حجم الاضطراب، والطلب على الاستطاعة الرديئة، وأهمية الأحمال، بحيث تعطي أداء أفضل وأسرع من الخطط المتبعة في المراجع [13], [18].

### أهمية البحث وأهدافه:

تنشأ أهمية البحث من ضرورة حماية نظام القدرة الكهربائي من خطر الانهيار الجزئي أو الكامل، الذي قد ينتج عن انخفاض التردد والجهود في النظام، الذي ينتج عن عدم التوازن بين التوليد والحمل، والذي قد يؤدي إلى التحميل الزائد لعناصر نظام القدرة الكهربائي. وكذلك تنشأ أهمية البحث من ضرورة حماية شفرات العنقافات من الإجهاد والتحطمان الناتج عن انخفاض تردد نظام القدرة الكهربائي، ومن ضرورة منع فصل الأحمال الهامة. لذا، يهدف هذا البحث إلى إعداد خطة حماية من انخفاض تردد جهود نظام القدرة الكهربائي تعتمد على الفصل المناسب للأحمال، بحيث تكون سريعة وبسيطة وقادرة على:

- ✓ فصل الأحمال الزائدة بعد تعرض نظام القدرة الكهربائي لاضطراب مفاجئ.
- ✓ تحقيق المرونة والدقة في تحديد المعايير اللازمة لفصل الأحمال.
- ✓ التخلص من الفصل الزائد وغير الضروري للأحمال.
- ✓ استعادة التردد والجهود إلى القيم الاسمية، بأقل زمن ممكن بدقة عالية.
- ✓ رفع موثوقية واستمرارية التغذية الكهربائية للمستهلكين.

### طرائق البحث ومواده:

لقد تم في هذا البحث استخدام برنامج محلل الحالات العابرة الكهربائية (ETAP) لنمذجة نظام قدرة كهربائي اختبائي نموذجي 14 قضيب تجميع (IEEE – 14 bus test system) على الحاسوب الشخصي، كما تم محاكاة مجموعة مختلفة من الاضطرابات (تحميل زائد، فصل خط، فصل مولد، عطل ثلاثي الطور) على هذا النظام الاختبائي. وأخيراً تم تطبيق خطة فصل الحمل التقليدية وخطة الفصل المناسب للأحمال وتم المقارنة بينهما.

### 1- زاجل الحماية من انخفاض التردد Under Frequency Relay

يعمل زاجل الحماية من انخفاض التردد إما عند انخفاض قيمة التردد عن قيمة محددة مسبقاً عن التردد الاسمي للنظام، أو عند التغير النسبي في التردد  $(\frac{df}{dt})$ . تتعلق الإعدادات اللازمة لتعبير هذا الزاجل بالعوامل التالية: انخفاض التردد، عدد الخطوات، سرعة تشغيل القواطع الآلية والزواجل، والتأخير الزمني.

## 2- مقدمة نظرية إلى خطة فصل الأحمال المقدمة

تمثل معادلة تأرجح الآلة المتزامنة (Swing Equation) ديناميكية الجزء الدوار في المولد التزامني، وهي العلاقة بين كمية عدم التوازن (بين التوليد والحمل) والتردد. لقد تم اعتماد معادلة التأرجح التالية [13,17]:

$$(1) \frac{2H_i}{f_i} \cdot \frac{df_i}{dt} = P_{mi} - P_{ei} = \Delta P_i$$

حيث:  $P_{mi}$  تمثل استطاعة الدخل المقدمة على محور الآلة بدون الضياعات الدوارة (p.u)،

$P_{ei}$  تمثل الاستطاعة الكهربائية (استطاعة الخرج) (p.u)،

$\Delta P_i$  تمثل عدم التوازن (p.u)،  $H_i$  تمثل ثابت العطالة (sec)،  $f_i$  تمثل تردد النظام Hz.

في نظام القدرة الكهربائي المكون من  $N$  مولد يكون عدد معادلات التأرجح  $N$ ، وبالتالي يمكن التعبير عن عدم التوازن الكلي كما يلي [17]:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^N \Delta P_i (2)$$

$$H_{eq} = \frac{\sum_{i=1}^N H_i \cdot G_i}{\sum_{i=1}^N G_i} (3)$$

بهدف تصميم خطة الحماية المقترحة ذات الفصل المناسب للأحمال عند انخفاض التردد عن الحد المسموح به (SUFLS: Suitable Under Frequency Load Shedding) سيتم استخدام القيمة  $\Delta P$  كمدخل للخطة [17]. قبل البدء بعملية فصل الأحمال، يتم أولاً إعداد جدول بأهمية الأحمال لكل حالة طارئة (لقد تم عرضها في الملحق)، وهو مماثل لجدول انقطاع القدرة من وجهة نظر أمان نظام القدرة. يتم حساب مقدار الحمل الكلي اللازم فصله من المعادلة التالية [6, 16]:

$$LS = 1.1 [P_{trip} - (\sum_{x=1}^N \Delta P_x - \Delta P_{trip})] (4)$$

حيث:  $\Delta P_{trip}$ ،  $P_{trip}$  تمثلان استطاعة المولد المفقود والاحتياطي الدائر لهذا المولد MW، على التوالي.  $\Delta P_x$  تمثل الاحتياطي الدائر للمولدات التي تعمل في النظام، والمرقمة من  $x$  وصولاً لـ  $N$  العدد الكلي للمولدات قبل حدوث أي اضطراب MW.

يتم حساب عامل ازدياد الحمل النسبي بالمعادلة التالية [13,16]:

$$L = \frac{P_{TD} - P_G}{P_G} (5)$$

حيث:  $P_G$ ،  $P_{TD}$  يمثلان الطلب الكلي والتوليد الكلي، على التوالي.

وهكذا يصبح معدّل التغير في التردد كالتالي [16,17]:

$$R = \frac{df}{dt} = \frac{PF \cdot L}{H} \cdot \frac{f_2 - f_1}{1 - \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2} (6)$$

حيث:  $PF$  تمثل عامل الاستطاعة.

$f_1$  تمثل تردد التشغيل قبل حدوث الاضطراب Hz.

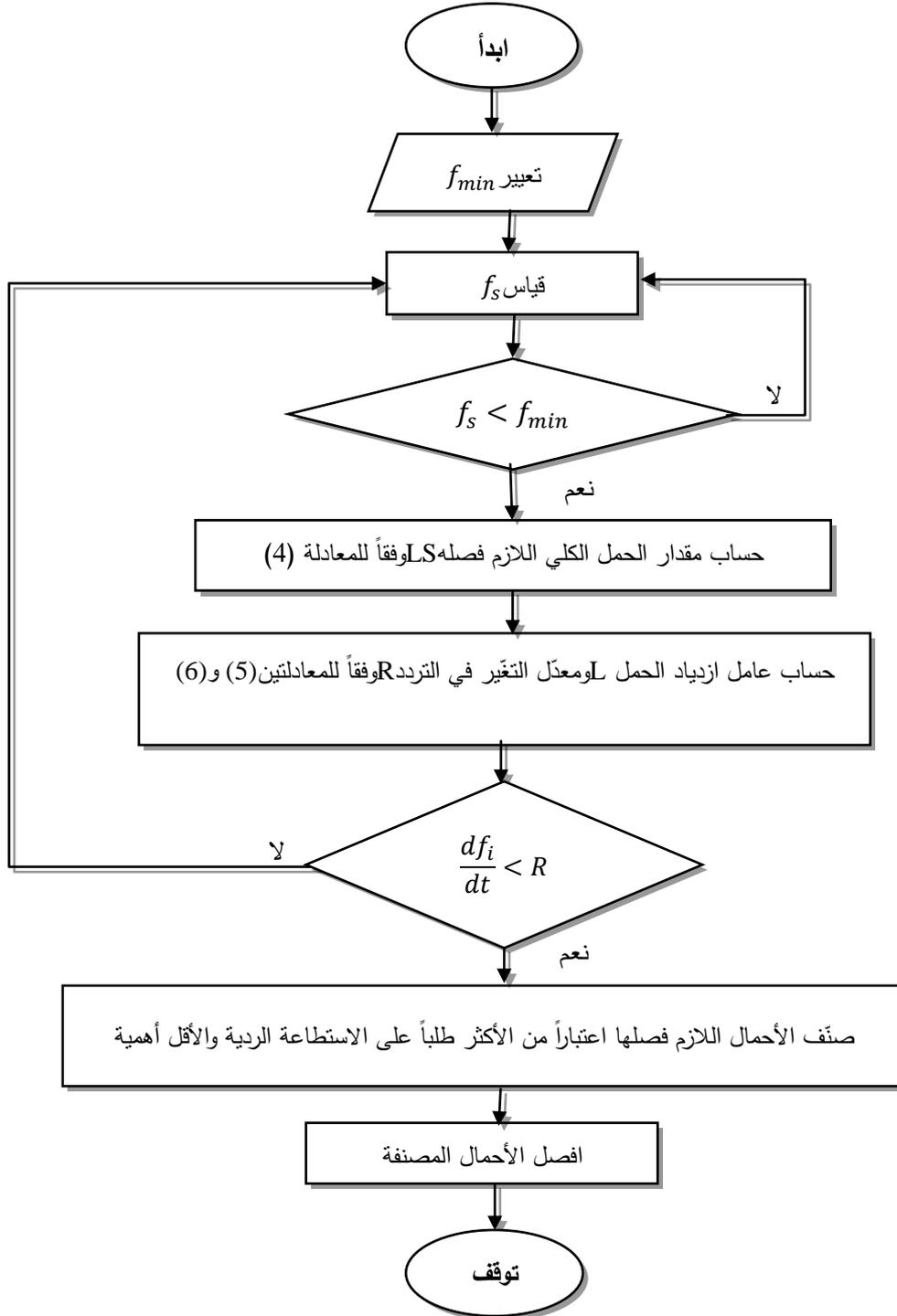
$f_2$  تمثل تردد التشغيل بعد حدوث الاضطراب Hz.

## 3- خطة الفصل المناسب للحمل المقدمة

يتم في الخطة المقدمة تعبير قيمة التردد الأصغري المسموح به  $f_{min}$ ، ومن ثم يتم قياس تردد النظام  $f_s$  باستمرار (قبل وبعد حدوث الاضطراب)، فإذا أصبح تردد النظام أصغر من  $f_{min}$  سيتم حساب مقدار الحمل

الكلي اللازم فصله وفقاً للمعادلة (4)، ومن ثم سيتم حساب عامل الحمل الزائد النسبي  $L$  ومعدل التغير في التردد  $R$  وفقاً للمعادلتين (5) و(6)، على التوالي. إذا كان معدل التغير في تردد النظام  $\frac{df_i}{dt}$  أكبر من قيمة  $R$  المحسوبة فسيتم الاستمرار بعملية المراقبة والقياس للتردد دون اتخاذ أي إجراء، أما إذا أصبح  $\frac{df_i}{dt}$  أصغر من قيمة  $R$  لأجل تأخير زمني أصغر قدره  $0.002\text{sec}$  فسيتم تصنيف الأحمال اللازم فصلها، وذلك اعتباراً من الحمل الأكثر طلباً على الاستطاعة الردية والأقل أهمية، لكي يتم فصلها تباعاً. سيقوم بعدها زاجل الحماية من انخفاض التردد بإعطاء الأمر إلى القواطع الآلية المسؤولة عن فصل الأحمال لكي تقوم بفصل الأحمال المناسبة ابتداءً من الحمل المصنّف بالأكثر طلباً علناً لاستطاعة الردية والأقل أهمية، وذلك بترتيب تنازلي، وبهذا سيتم استعادة تردد وجهود النظام إلى وضعها الطبيعي.

يبين الشكل (1) المخطط الصندوقي لخطّة الفصل المناسب للأحمال المقدمة.

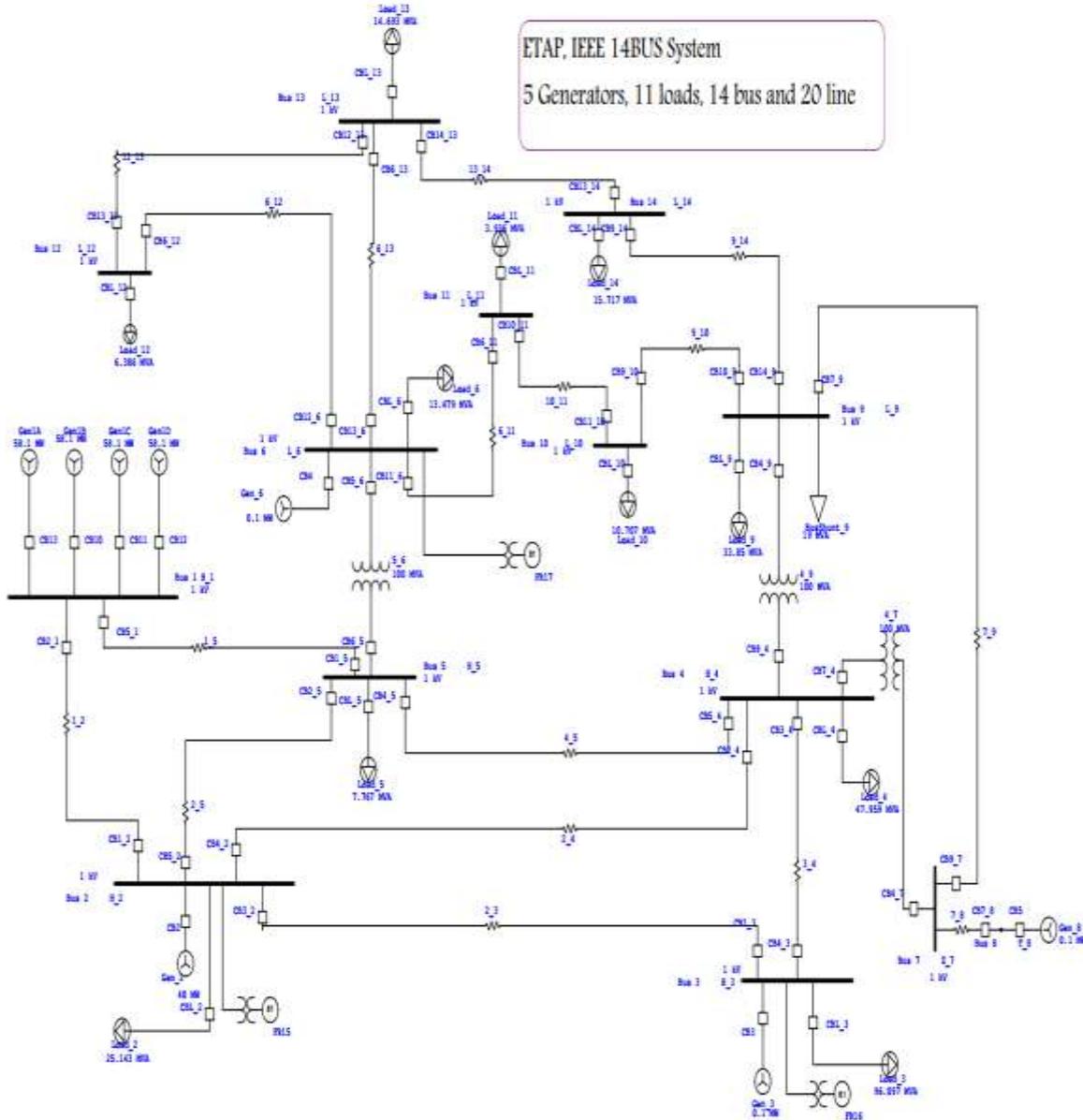


الشكل (1) المخطط الصندوقي لخطة الفصل المناسب للأحمال

#### 4 - نظام القدرة الاختباري النموذجي المدروس (IEEE-14Bus Test System):

سيتم في هذا البحث تطبيق الخطة المقدمة للفصل المناسب للأحمال على نظام قدرة اختباري نموذجي-IEEE 14Bus Test System، يبين الشكل (2) النظام الاختباري المدروس [20] بعد نمذجته باستخدام برنامج الـ ETAP. يتألف هذا النظام من 14 قضيبة تجميع، 20 خط نقل، 5 مولدات، 11 حمل مركب (كل حمل 30% ستاتيكي

و70% ديناميكي)، ومن 3 محولات ثنائية الملفات، بالإضافة إلى مجموعة من القواطع الآلية CB. لقد تمّ باستخدام برنامج الـ ETAP محاكاة بعضاً من حالات الاضطراب المحتملة التالية: 1- خروج وحدة توليد عن الخدمة. 2- خروج وحدتي توليد عن الخدمة. 3- حدوث عطل ثلاثي الطور على قضيب التجميع. 4- التحميل الزائد لقضيبي تجميع. 5- خروج خطي نقل عن الخدمة.



الشكل (2) نظام القدرة الاختباري النموذجي المدروس (IEEE-14Bus Test System)

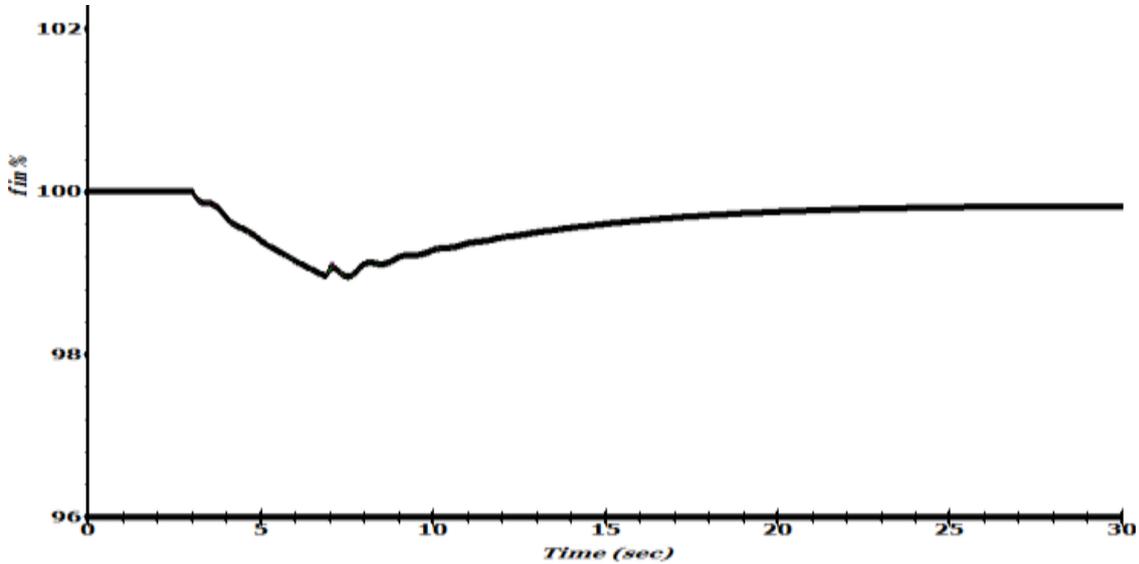
## النتائج والمناقشة:

### 1 خروج وحدة توليد عن الخدمة (من مجموعة توليد مؤلفة من أربع وحدات):

يفرض أنه في نظام القدرة الاختباري المدروس لدينا مجموعة توليد G1 استطاعتها الكلية 232.4MW، مؤلفة من أربع وحدات توليد (استطاعة كل وحدة 58.1MW)، ويفرض أنه خرجت إحدى هذه الوحدات عن الخدمة في

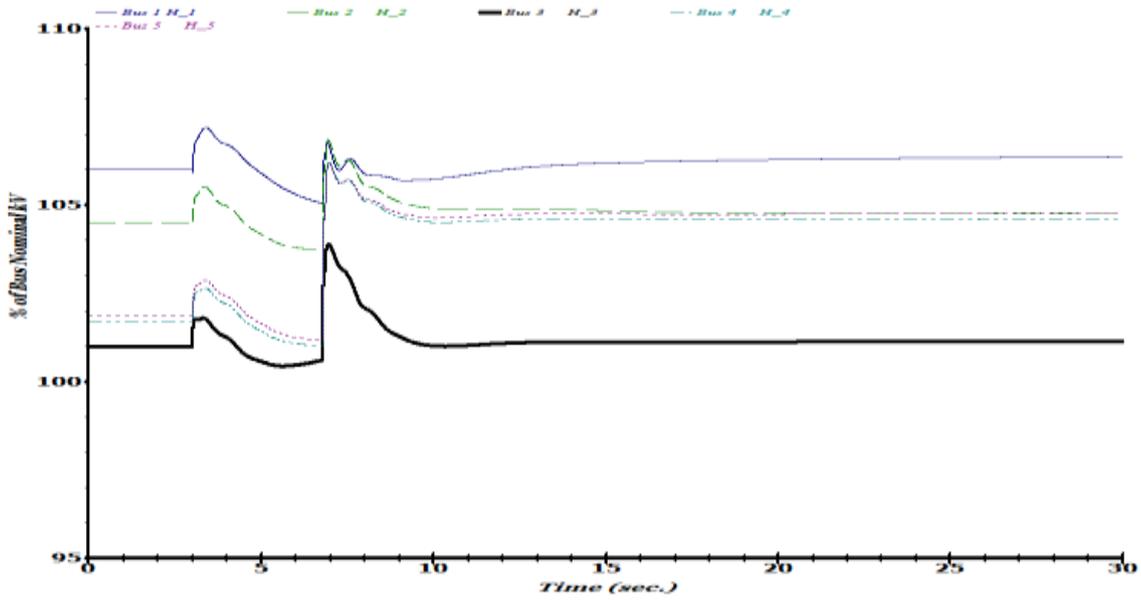
اللحظة 3sec. بناءً على ذلك، تصبح استطاعة التوليد الكلية للنظام 214.6MW، بينما الحمل الكلي للنظام هو 259MW، وبالتالي يكون عامل الحمل الزائد النسبي  $L = 0.206$ ، مما يؤدي لانخفاض كل من تردد وجهود النظام إلى قيم أقل من القيم المسموحة. لذا، من الضروري تطبيق خطة حماية لفصل الأحمال الزائدة وذلك للحماية من انخفاض التردد والجهود. في خطة فصل الأحمال الزائدة التقليدية من المفترض أن تبدأ عملية فصل الأحمال الزائدة بعد انخفاض التردد عن القيمة 49.5Hz، لذلك سيبدأ فصل الحمل في اللحظة 6.778sec (بعد حدوث الاضطراب عند اللحظة 3sec). وفقاً للمعادلة (4) يكون مقدار الحمل اللازم فصله  $LS = 38MW$ .

يبين الشكل (3) استعادة تردد النظام عند الزمن 15sec ليصل إلى القيمة 49.91Hz وذلك بعد فصل الأحمال الزائدة ليصبح المقدار الكلي للحمل الذي تم فصله 54.2MW، وذلك باستخدام زواجل انخفاض التردد ذات التأخير الزمني 0.1sec، حيث تم تركيب ثلاث زواجل حماية من انخفاض التردد على قضبان التجميع 6، 3، 2، تم تعيينها ثلاث عتبات للتردد (49.5، 49، 48.7)Hz يقابلها الأحمال الأقل أهمية كما وردت في الملحق وهي:  $L_9, L_6, L_{13}$ .



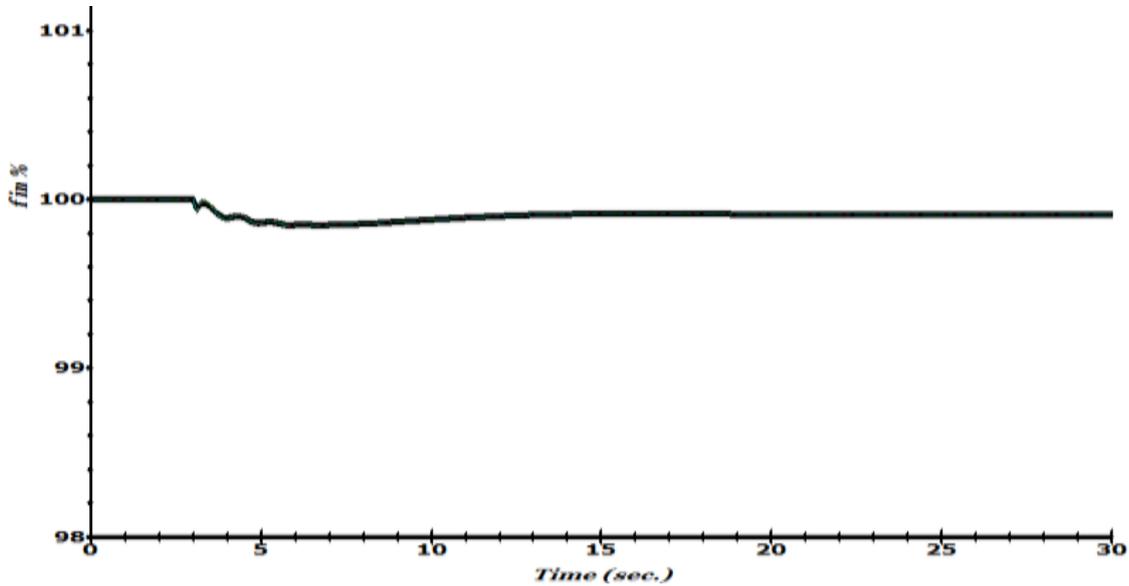
الشكل (3) تردد النظام بعد خروج وحدة توليد عن الخدمة وتطبيق خطة فصل الحمل التقليدية

يبين الشكل (4) انخفاض جهود قضبان تجميع النظام بعد خروج وحدة توليد من مجموعة التوليد GI عن الخدمة، وذلك نتيجة لزيادة الطلب على الاستطاعة الردية من قبل الأحمال. لكن عند تفعيل خطة الحماية التقليدية وفصل الأحمال الزائدة نلاحظ عودة الجهود إلى قيمتها الطبيعية عند اللحظة 10sec، حيث تم فصل الأحمال ذات الطلب الزائد على الاستطاعة الردية 29.9MVar والأحمال الأقل أهمية بترتيب تنازلي:  $L_9, L_6, L_{13}$ . أما في خطة فصل الأحمال الزائدة المقدّمة فمن المفترض أن تبدأ عملية فصل الأحمال الزائدة بعد انخفاض معدل التغير في التردد عن القيمة المحسوبة وفقاً للمعادلة (6)  $R=0.363\text{Hz/sec}$  لذلك سيبدأ فصل الحمل في اللحظة 3.103sec (بعد حدوث الاضطراب عند اللحظة 3sec).



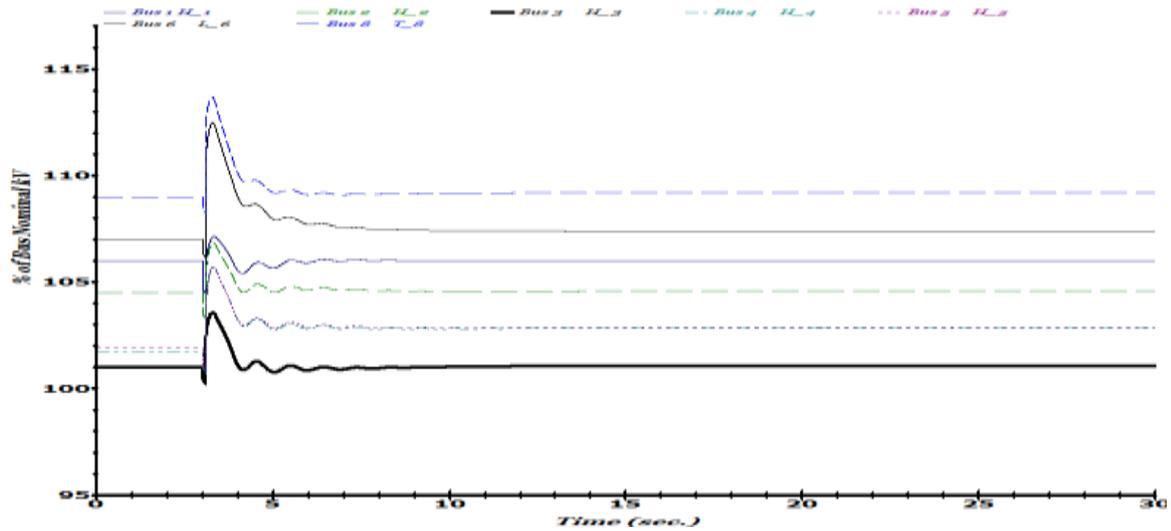
الشكل (4) جهود قضبان التجميع بعد خروج وحدة توليد عن الخدمة وتطبيق خطة فصل الحمل التقليدية

يبين الشكل (5) استعادة تردد النظام عند الزمن 10sec ليصل إلى القيمة 49.96Hz، وذلك بعد فصل الأحمال الأقل أهمية  $L_6, L_9$  وبالتالي يكون مقدار الحمل الذي تم فصله  $LS = 40.7MW$ ، حيث تم حساب ثابت عطالة النظام وفقاً للمعادلة (3)  $H_{eq} = 5.35s$ .



الشكل (5) تردد النظام بعد خروج وحدة توليد عن الخدمة وتطبيق خطة الفصل المناسب للأحمال

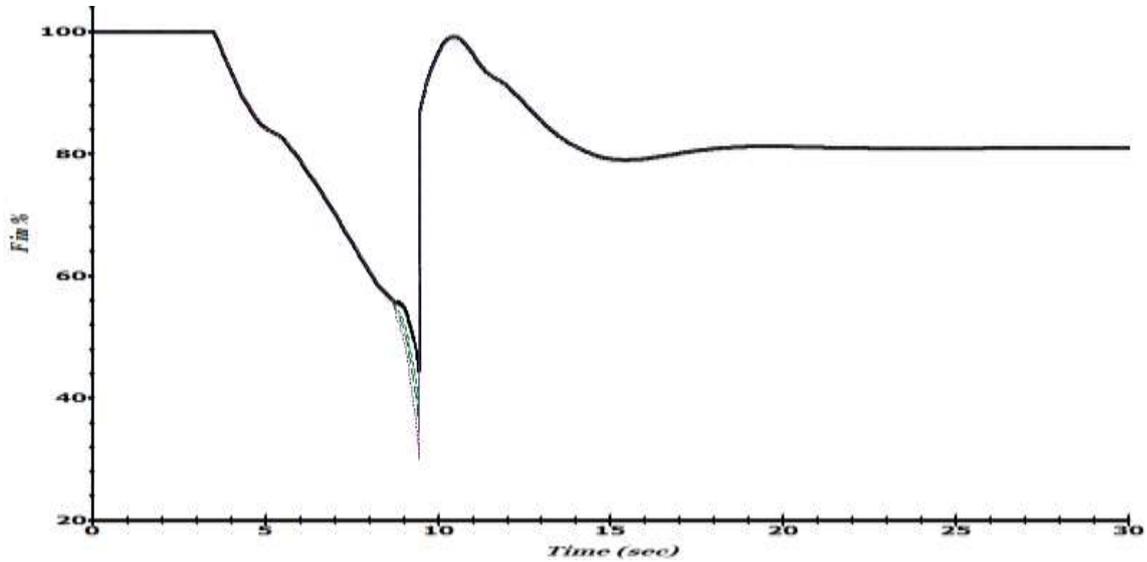
يبين الشكل (6) انخفاض جهود قضبان تجميع النظام بعد خروج وحدة توليد من مجموعة التوليد G1 عن الخدمة، لكن عند تفعيل خطة الحماية المقدّمة نلاحظ عودة الجهود إلى قيمتها الطبيعية عند اللحظة 5sec، حيث تم فصل الأحمال ذات الطلب الزائد على الاستطاعة الرديئة 24.1MVar والأقل أهمية  $L_6, L_9$ .



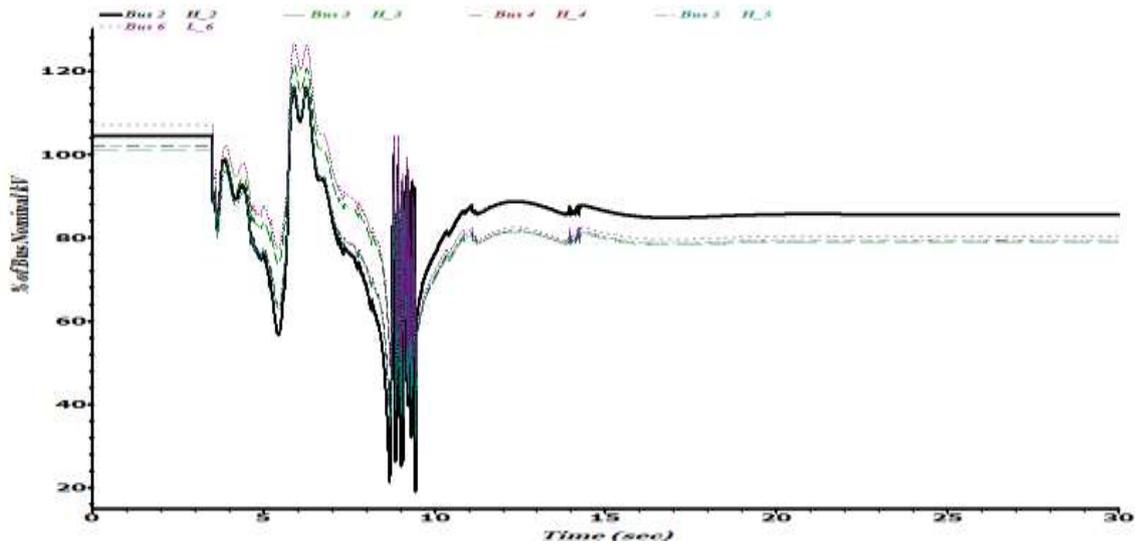
الشكل (6) جهود قضبان التجميع بعد خروج وحدة توليد عن الخدمة وتطبيق خطة الفصل المناسب للأحمال

## 2- خروج وحدتي توليد عن الخدمة

بفرض أنه في نظام القدرة الاختباري لدينا وحدتي توليد **G1G8**، ويفرض أنه خرجت هاتين الوحدتين عن الخدمة في اللحظتين 3.5sec و 3.6sec، على التوالي. بناءً على ذلك، تصبح استطاعة التوليد الكلية للنظام 40.2MW، بينما الحمل الكلي للنظام هو 259MW، وبالتالي يكون عامل الحمل الزائد النسبي  $L=5.44$ ، مما يؤدي لانخفاض كل من تردد وجهود النظام إلى قيم أقل من القيم المسموحة. لذا، من الضروري تطبيق خطة فصل الأحمال الزائدة وذلك للحماية من انخفاض التردد والجهود، كما هو مبين في الأشكال (7) و (8) على التوالي.

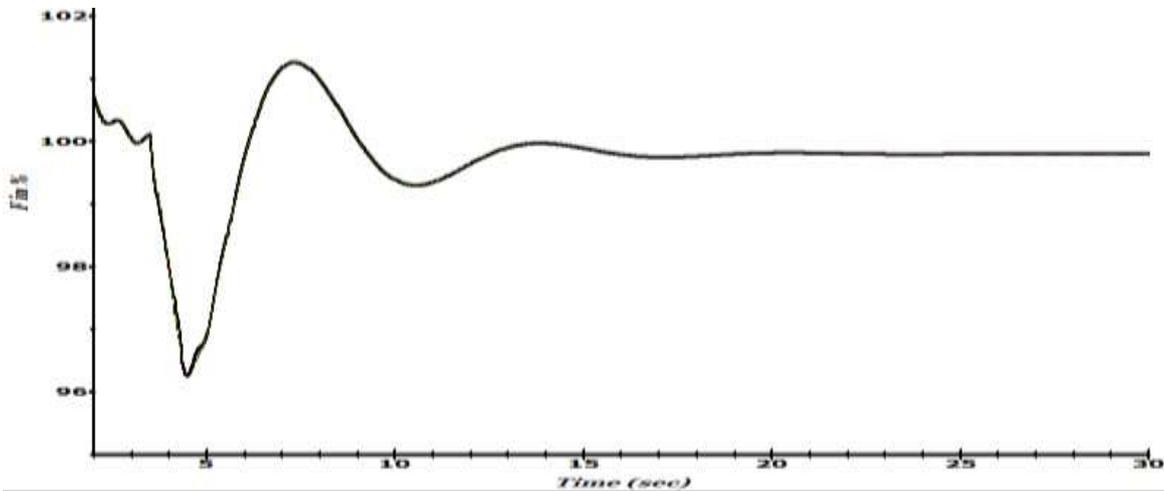


الشكل (7) تردد النظام بعد خروج وحدتي توليد G1, G8 عن الخدمة



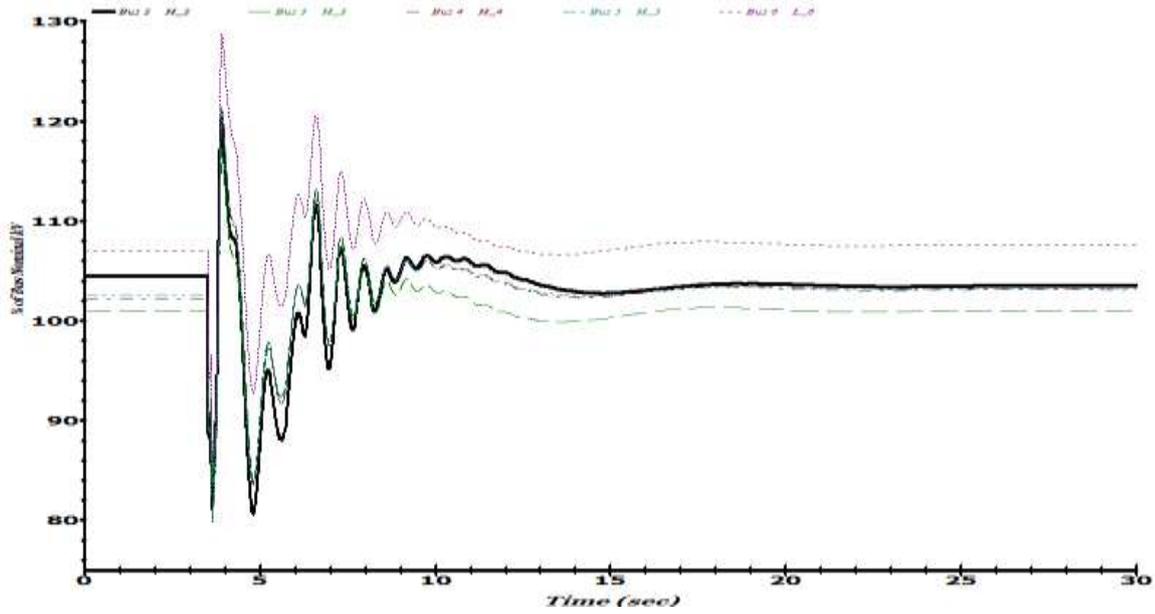
الشكل (8) جهود قضبان التجميع بعد خروج وحدتي توليد G1, G8 عن الخدمة

في خطة فصل الأحمال الزائدة التقليدية من المفترض أن تبدأ عملية فصل الأحمال الزائدة بعد انخفاض التردد عن القيمة 49.5Hz، لذلك سيبدأ فصل الحمل في اللحظة 3.91sec (بعد حدوث الاضطراب عند اللحظة 3.6sec). وفقاً للمعادلة (4) يكون مقدار الحمل اللازم فصله  $LS = 54.2MW$ . يبين الشكل (9) استعادة تردد النظام عند الزمن 12sec ليصل إلى القيمة 49.9Hz وذلك بعد فصل المزيد من الأحمال، ليصبح المقدار الكلي للحمل الذي تم فصله 96MW، وذلك باستخدام زواجل التردد الثلاثة ذات التأخير الزمني 0.1sec.



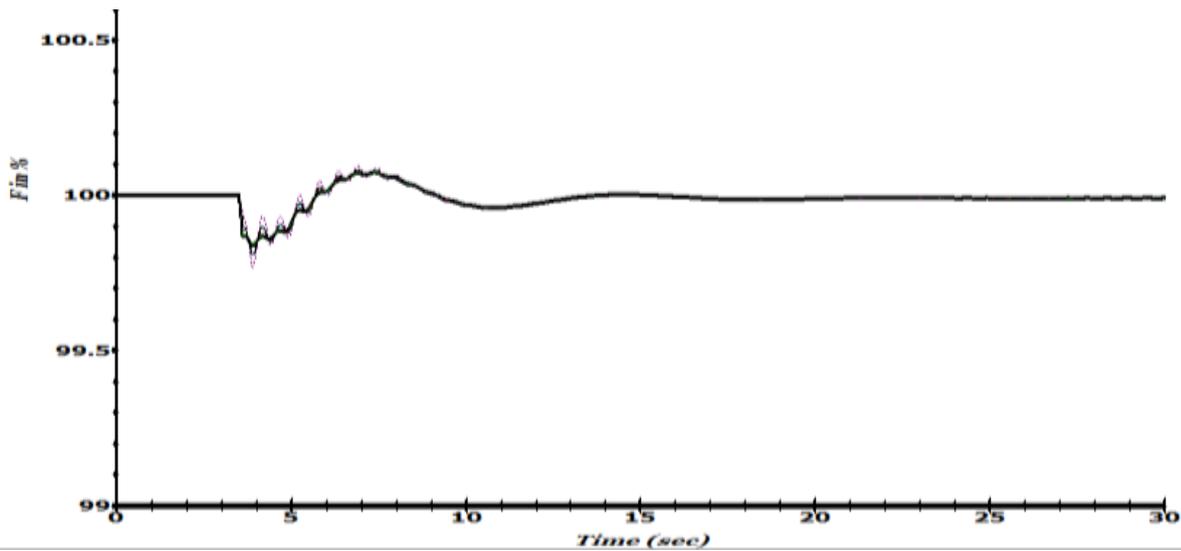
الشكل (9) تردد النظام بعد خروج وحدتي توليد G1, G8 عن الخدمة وتطبيق خطة فصل الحمل التقليدية

يبين الشكل (10) انخفاض جهود قضبان التجميع النظام بعد خروج وحدتي التوليد G1 و G8 عن الخدمة، وذلك نتيجة زيادة الطلب على الاستطاعة الردية من قبل الأحمال، عند تفعيل خطة الحماية التقليدية وفصل الأحمال الزائدة نلاحظ عودة الجهود إلى قيمتها الطبيعية عند اللحظة 10sec، حيث تم فصل الأحمال ذات الطلب الزائد على الاستطاعة الردية 44MVar والأحمال الأقل أهمية بترتيب تنازلي:  $L_9, L_6, L_{13}, L_{10}, L_{14}, L_{11}, L_5, L_{12}$ .

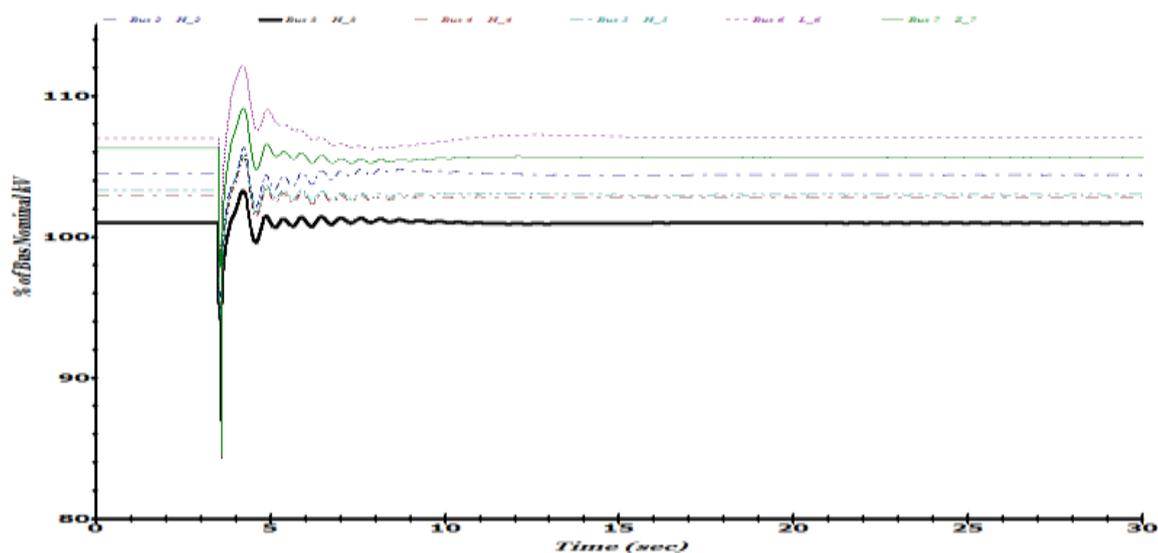


الشكل (10) جهود قضبان التجميع بعد خروج وحدتي توليد G1, G8 عن الخدمة وتطبيق خطة فصل الحمل التقليدية

أما في خطة فصل الأحمال الزائدة المقدّمة فمن المفترض أن تبدأ عملية فصل الأحمال الزائدة بعد انخفاض معدل التغير في التردد عن القيمة المحسوبة وفقاً للمعادلة (6)  $R=0.05\text{Hz/sec}$  لذلك سيبدأ فصل الحمل في اللحظة  $3.603\text{sec}$  (بعد حدوث الاضطراب عند اللحظة  $3.6\text{sec}$ ). يبيّن الشكل (11) استعادة تردد النظام عند الزمن  $10\text{sec}$  ليصل إلى القيمة  $50\text{Hz}$ ، وذلك بعد فصل الأحمال الأقل أهمية  $L_9, L_6, L_{13}$  وبالتالي يكون مقدار الحمل الذي تمّ فصله  $LS = 54.2\text{MW}$ . يبين الشكل (12) انخفاض جهود قضبان التجميع بعد خروج وحدتي التوليد G8 و G1 عن الخدمة، لكن عند تفعيل خطة الحماية المقدّمة نلاحظ عودة الجهود بسرعة إلى قيمتها الطبيعية عند اللحظة  $8\text{sec}$ ، حيث تمّ فصل الأحمال ذات الطلب الزائد على الاستطاعة الرديّة  $29.9\text{MVar}$  والأقل أهمية  $L_9, L_6, L_{13}$ .



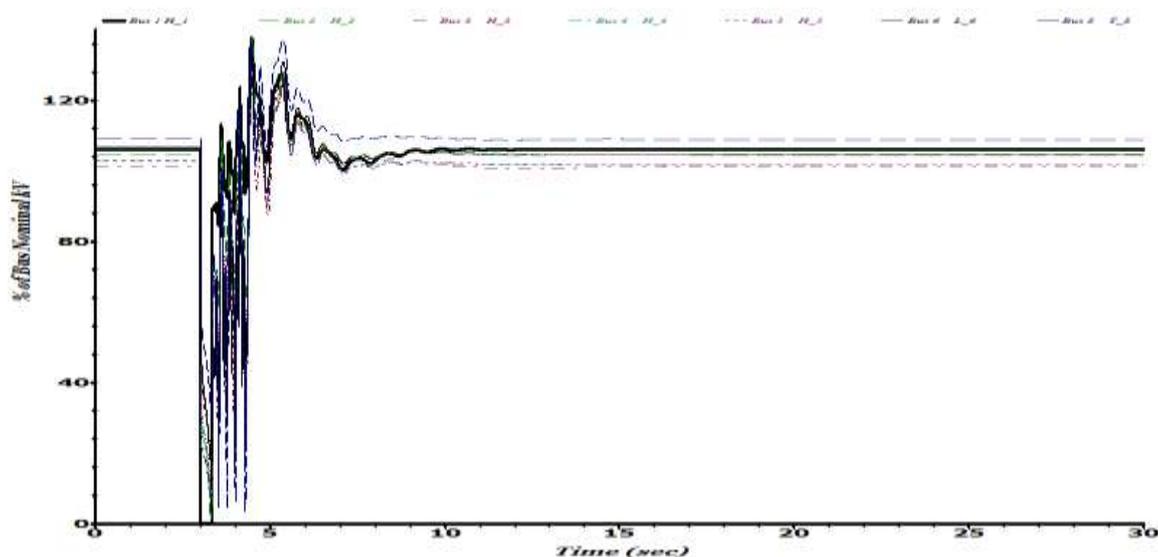
الشكل (11) تردد النظام بعد خروج وحدتي التوليد G1, G8 عن الخدمة وتطبيق خطة الفصل المناسب للأحمال



الشكل (12) جهود قضبان التجميع بعد خروج وحدتي التوليد G1,G8 عن الخدمة وتطبيق خطة الفصل المناسب للأحمال

### 3- حدوث عطل ثلاثي الطور على قضيب تجميع

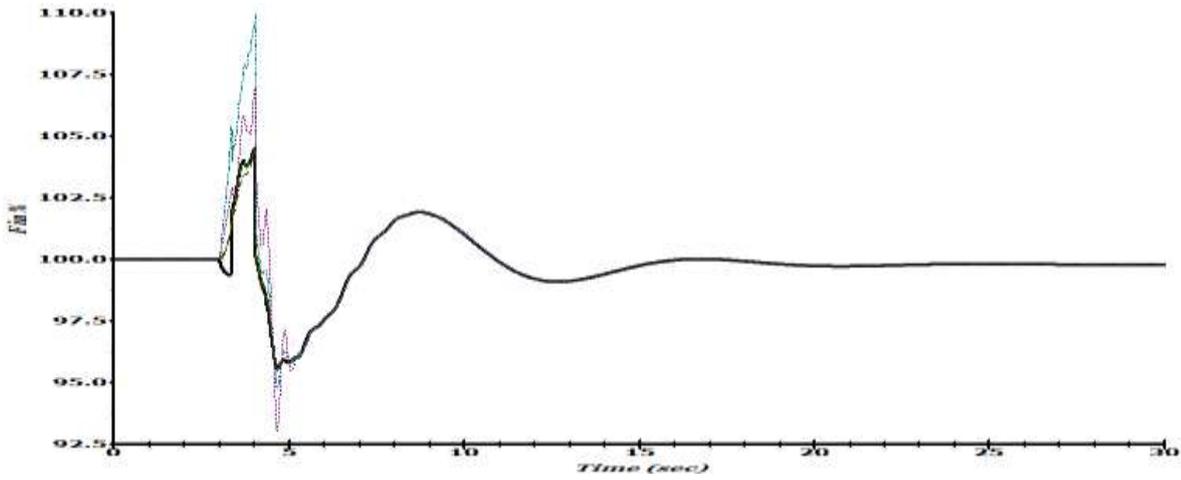
بفرض أنه حدث عطل ثلاثي الطور على قضيب التجميع الأول (Bus1) عند اللحظة  $t=3\text{sec}$ ، وأنه تم إزالته عند اللحظة  $t=3.35\text{sec}$ ، وذلك بفرض أن زمن إزالة العطل الحرج كان  $(CCT = 0.35\text{sec})$ ، انظر إلى الشكل (13). لذا، سيتم فتح القواطع الآلية على طرفي القضيب لعزل العطل قبل الوصول إلى هذه القيمة الحرجة التي قد تؤدي إلى خروج المولد G1 عن الخدمة، أي سيتم فتح القواطع عند اللحظة  $3.34\text{sec}$ . بناءً على ذلك، تصبح استطاعة التوليد الكلية للنظام  $40.3\text{MW}$ ، بينما الحمل الكلي للنظام هو  $259\text{MW}$ ، وبالتالي يكون عامل الحمل الزائد النسبي  $L=5.42$ ، مما يؤدي لانخفاض كل من تردد وجهود النظام إلى قيم أقل من القيم المسموحة. لذا، من الضروري تطبيق خطة فصل الأحمال الزائدة وذلك للحماية من انخفاض التردد والجهود.



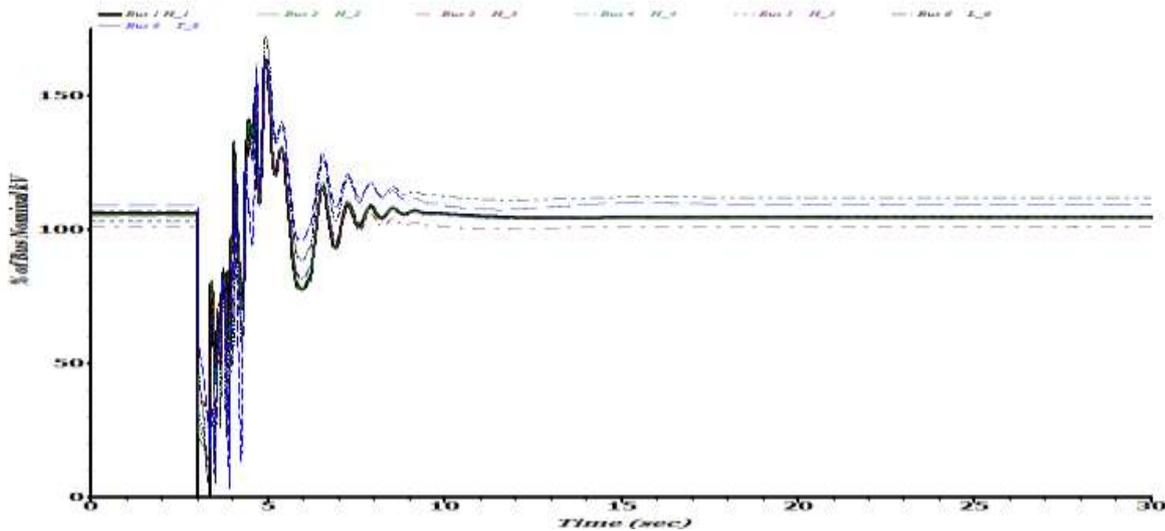
الشكل (13) جهود قضبان التجميع عند حدوث العطل على القضيب الأول (Bus1)

في خطة فصل الأحمال الزائدة التقليدية من المفترض أن تبدأ عملية فصل الأحمال الزائدة بعد انخفاض التردد عن القيمة 49.5Hz، لذلك سيبدأ فصل الحمل في اللحظة 4.358sec (بعد فتح القواطع الآلية عند اللحظة 3.34sec). وفقاً للمعادلة (4) يكون مقدار الحمل اللازم فصله  $LS = 78MW$ . يبيّن الشكل (14) استعادة تردد النظام عند الزمن 15sec ليصل إلى القيمة 49.89Hz وذلك بعد فصل المزيد من الأحمال، ليصبح المقدار الكلي للحمل الذي تم فصله 96MW باستخدام زواجل التردد الثلاثة ذات التأخير الزمني 0.1sec

يبين الشكل (15) انخفاض جهود قضبان تجميع النظام بعد فتح القواطع الآلية لعزل العطل، وذلك نتيجة زيادة الطلب على الاستطاعة الردية من قبل الأحمال، لكن عند تفعيل خطة الحماية التقليدية وفصل الأحمال الزائدة نلاحظ عودة الجهود إلى قيمتها الطبيعية عند اللحظة 10sec، حيث تم فصل الأحمال ذات الطلب الزائد على الاستطاعة الردية 45.7MVar والأحمال الأقل أهمية بترتيب تنازلي  $L_9, L_6, L_{13}, L_{10}, L_{14}, L_{11}, L_5, L_{12}$ .



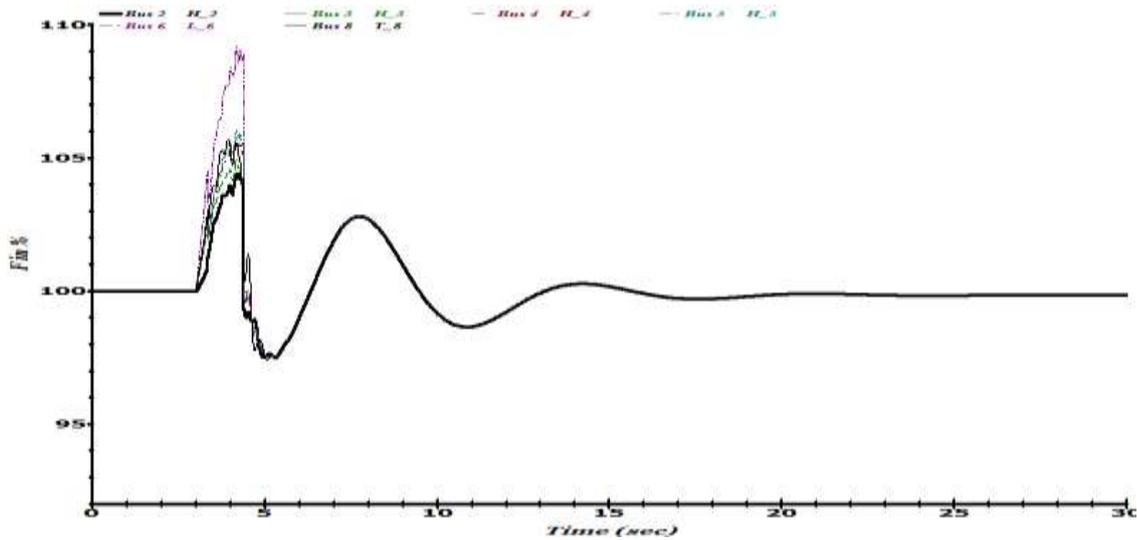
الشكل (14) تردد النظام عند حدوث العطل على Bus1 وتطبيق خطة فصل الحمل التقليدية



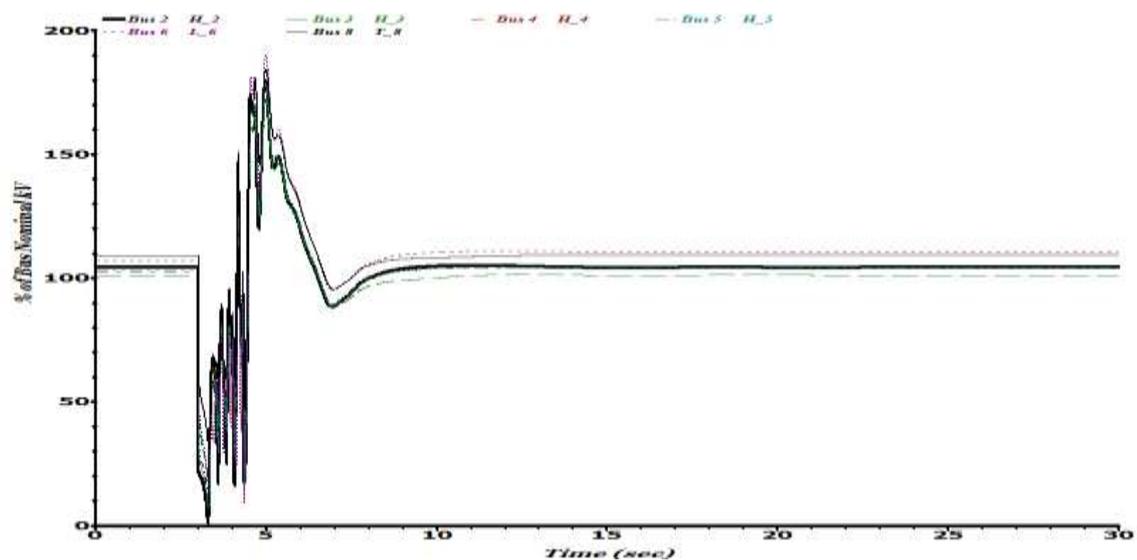
الشكل (15) جهود قضبان التجميع عند حدوث العطل على Bus1 وتطبيق خطة فصل الحمل التقليدية

أما في خطة فصل الأحمال الزائدة المقدّمة فمن المفترض أن تبدأ عملية فصل الأحمال الزائدة بعد انخفاض معدل التغير في التردد عن القيمة المحسوبة وفقاً للمعادلة (6)  $R=0.94Hz/sec$  لذلك سيبدأ فصل الحمل في اللحظة

4.092sec) بعد فتح القواطع الآلية عند اللحظة (3.34sec). يبيّن الشكل (16) استعادة تردد النظام عند الزمن 10sec ليصل إلى القيمة 49.99Hz، وذلك بعد فصل الأحمال الأقل أهمية  $L_9, L_6, L_{13}, L_{10}, L_{14}$  وبالتالي يكون مقدار الحمل الذي تمّ فصله  $LS = 78MW$ . يبين الشكل (17) انخفاض جهود قضبان التجميع بعد فتح القواطع الآلية إلى قيم أقل من القيم المسموحة، لكن عند تفعيل خطة الحماية المقدّمة نلاحظ عودة الجهود بسرعة إلى قيمتها الطبيعية عند اللحظة 8sec، حيث تمّ فصل الأحمال ذات الطلب الزائد على الاستطاعة الرديئة  $40.7MVar$  والأقل أهمية  $L_9, L_6, L_{13}, L_{10}, L_{14}$ .



الشكل (16) تردد النظام عند حدوث العطل على القضيب الأول Bus1 وتطبيق خطة الفصل المناسب للأحمال



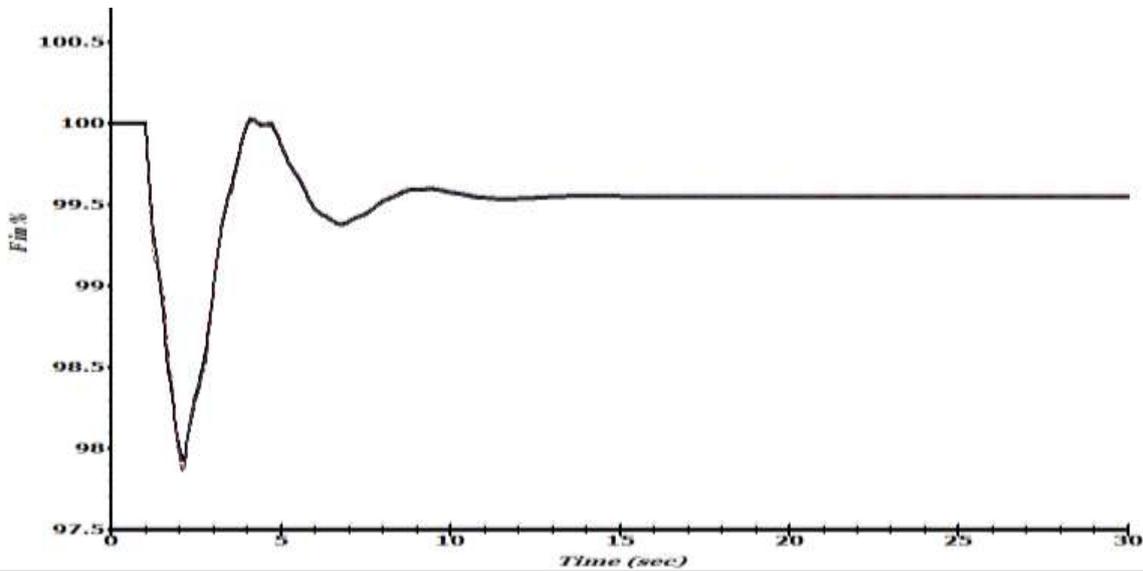
الشكل (17) جهود قضبان التجميع عند حدوث العطل على القضيب Bus1 وتطبيق خطة الفصل المناسب للأحمال

#### 4 حالة حمل زائد على قضيبي التجميع Bus2, Bus3

بما أن الحمل الكلي لنظام القدرة الاختباري هو 259MW، ويفرض أنّهم زيادة التحميل على القضيب الثالث في اللحظة 1sec بنسبة 200% ثم تمّ زيادة التحميل على القضيب الثاني في اللحظة 1.5sec بنسبة 150%، سيؤدي

هذا إلى نشوء حالة عدم التوازن بين التوليد والحمل. بناءً على ذلك، يصبح الحمل الكلي للنظام بعد حالة التحميل الزائد الأول هو 353.2MW، وبالتالي يكون عامل الحمل الزائد الأول  $L=0.23$ ، وكذلك يصبح الحمل الكلي للنظام بعد حالة الحمل الزائد الثاني هو 364.5MW، وبالتالي يكون عامل الحمل الزائد الثاني  $L=0.336$ ، بينما استطاعة التوليد الكلية للنظام الاختباري المدروس هو 272.7MW، وهذا يؤدي لانخفاض تردد وجهود النظام إلى قيم أقل من القيم المسموحة. لذا، من الضروري تطبيق خطة حماية لفصل الأحمال الزائدة وذلك للحماية من انخفاض التردد والجهود.

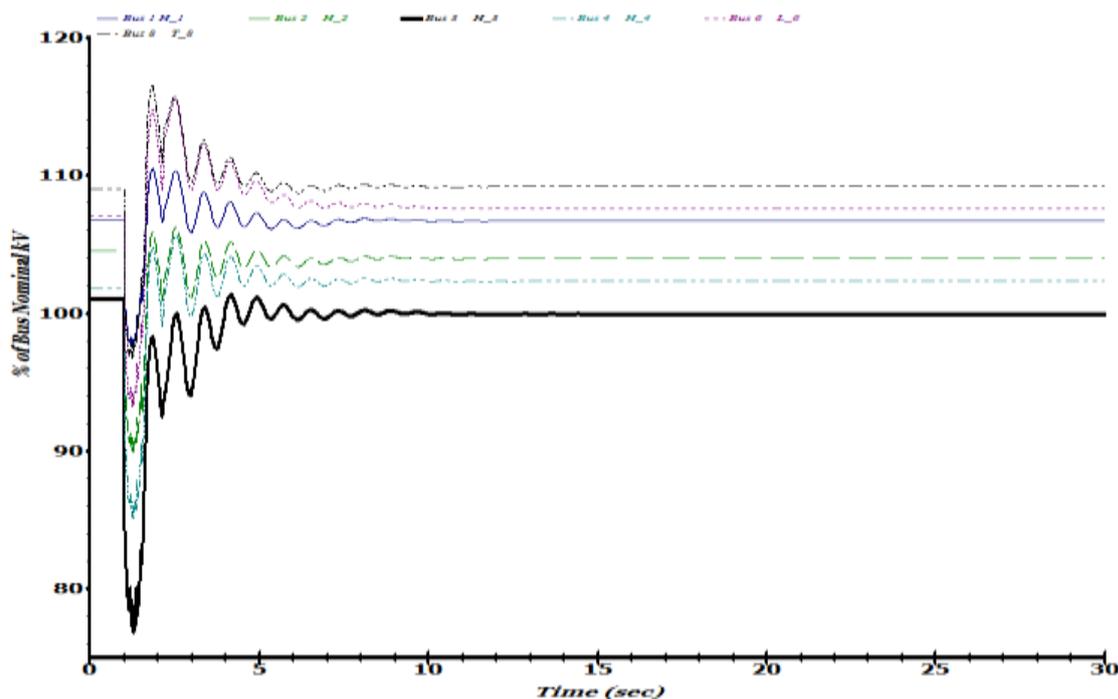
في خطة فصل الأحمال الزائدة التقليدية من المفترض أن تبدأ عملية فصل الأحمال الزائدة بعد انخفاض التردد عن القيمة 49.5Hz، لذلك سيبدأ فصل الحمل في اللحظة 1.640sec (بعد حدوث حالة التحميل الزائد عند اللحظة 1.5sec). وفقاً للمعادلة (4) يكون مقدار الحمل اللازم فصله  $LS = 95MW$ . يبين الشكل (18) استعادة تردد النظام عند الزمن 10sec ليصل إلى القيمة 49.75Hz، وذلك بعد الفصل غير الكافي (غير المناسب) من الأحمال  $L_9, L_6, L_{13}, L_{10}, L_{14}$  ليصبح المقدار الكلي للحمل الذي تم فصله 78MW، وذلك باستخدام زواجل التردد الثلاثة ذات التأخير الزمني 0.1sec.



الشكل (18) تردد النظام عند حالة التحميل الزائد على قضيبي التجميع 2 و 3 بعد تطبيق خطة فصل الحمل التقليدية

يبين الشكل (19) انخفاض جهود قضبان تجميع النظام بعد حالة التحميل الزائد على قضيبي التجميع 2 و 3، وذلك نتيجة زيادة الطلب على الاستطاعة الردية من قبل الأحمال الزائدة، لكن عند تفعيل خطة الحماية التقليدية وفصل الأحمال الزائدة نلاحظ عودة الجهود إلى قيمتها الطبيعية عند اللحظة 10sec، حيث تم فصل الأحمال ذات الطلب الزائد على الاستطاعة الردية 40.7MVar والأحمال الأقل أهمية بترتيب تنازلي  $L_9, L_6, L_{13}, L_{10}, L_{14}$ . أما في خطة فصل الأحمال الزائدة المقدّمة فمن المفترض أن تبدأ عملية فصل الأحمال الزائدة بعد انخفاض معدلات التغير في التردد عن القيمة المحسوبة وفقاً للمعادلة (6)  $R_1 = 0.05Hz/sec$ ، لذلك سيبدأ فصل الحمل في اللحظة 1.104sec (بعد حدوث التحميل الزائد الأول عند اللحظة 1sec)، حيث تفصل الأحمال الأقل أهمية  $L_9, L_6, L_{13}, L_{10}$ ، ثم تستمر عملية فصل الأحمال الزائدة بعد انخفاض معدل التغير في التردد عن القيمة المحسوبة وفقاً للمعادلة (6)  $R_2 =$

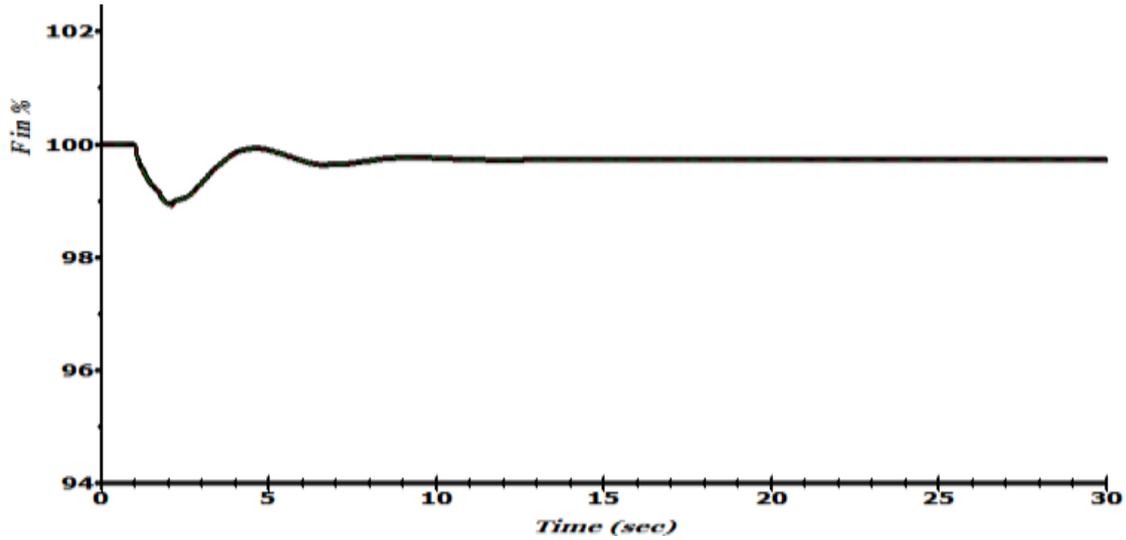
0.18Hz/sec في اللحظة 1.502sec (بعد حدوث التحميل الزائد الثاني عند اللحظة 1.5sec)، حيث تفصلاً لأحمال الأخرى ضمن الترتيب نفسه الأقل أهمية  $L_{14}, L_{11}, L_5, L_{12}$ .



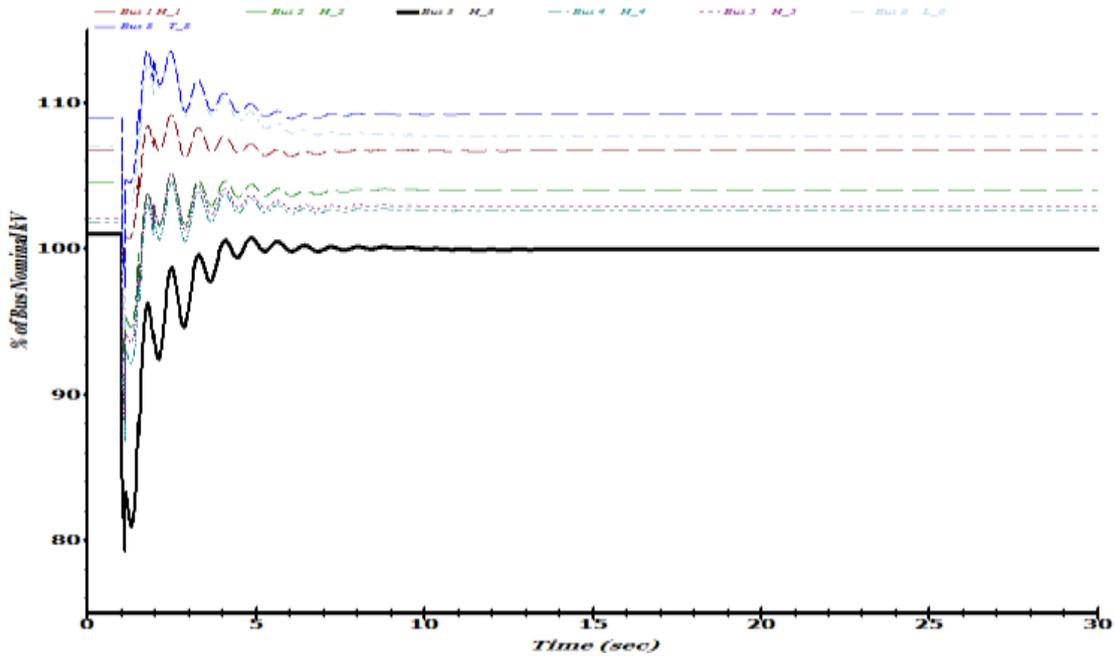
الشكل (19) جهود قضبان التجميع عند حالة الحمل الزائد على قضبيي التجميع 3 و2 وتطبيق خطة فصل الحمل التقليدية

يبين الشكل (20) استعادة تردد النظام عند اللحظة 5sec ليصل إلى القيمة 49.99Hz، وذلك بعد فصل الأحمال الأقل أهمية  $L_{12}, L_5, L_{11}, L_{14}, L_{10}, L_{13}, L_6, L_9$ ، وبالتالي يكون مقدار الحمل الذي تم فصله  $LS = 95.3MW$ .

يبين الشكل (21) انخفاض جهود قضبان التجميع بعد حدوث حالة التحميل الزائد على قضبيي التجميع 2 و 3 إلى قيم أقل من القيم المسموحة، لكن عند تفعيل خطة الحماية المقدّمة نلاحظ عودة الجهود بسرعة إلى قيمتها الطبيعية عند اللحظة 5sec، حيث تم فصل الأحمال ذات الطلب الزائد على الاستطاعة الردية  $45.7MVar$  والأقل أهمية  $L_{12}, L_5, L_{11}, L_{14}, L_{10}, L_{13}, L_6, L_9$ .



الشكل (20) تردد النظام عند التحميل الزائد على قضيبتي التجميع 2 و 3 وتطبيق خطة الفصل المناسب للأحمال

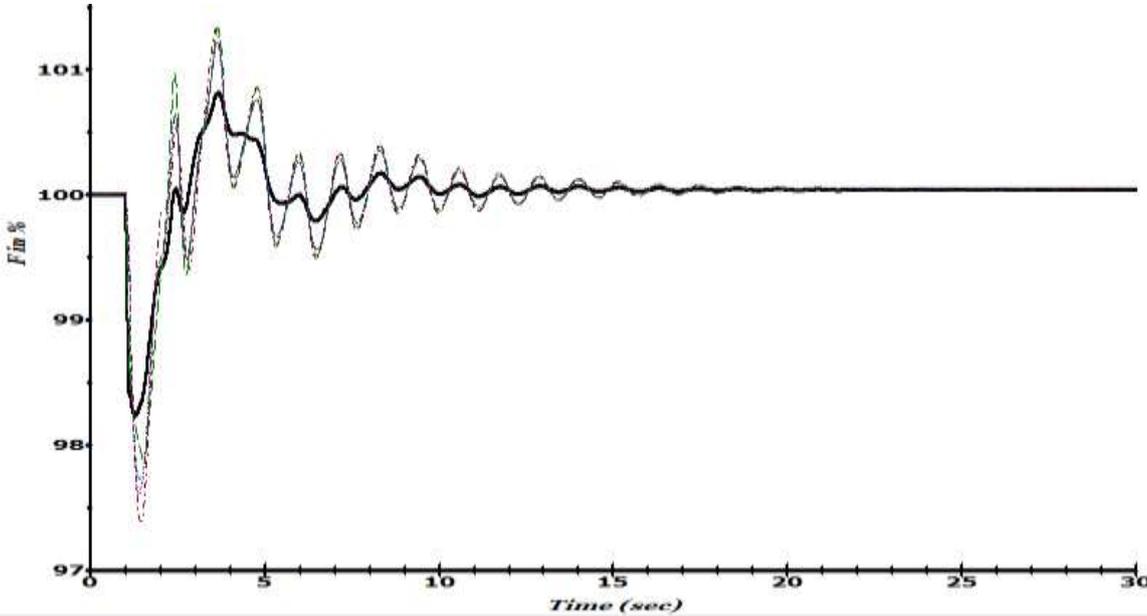


الشكل (21) جهود قضبان التجميع عند التحميل الزائد على القضيبين 2 و 3 وتطبيق خطة الفصل المناسب للأحمال

#### 5- حالة خروج خطين عن الخدمة:

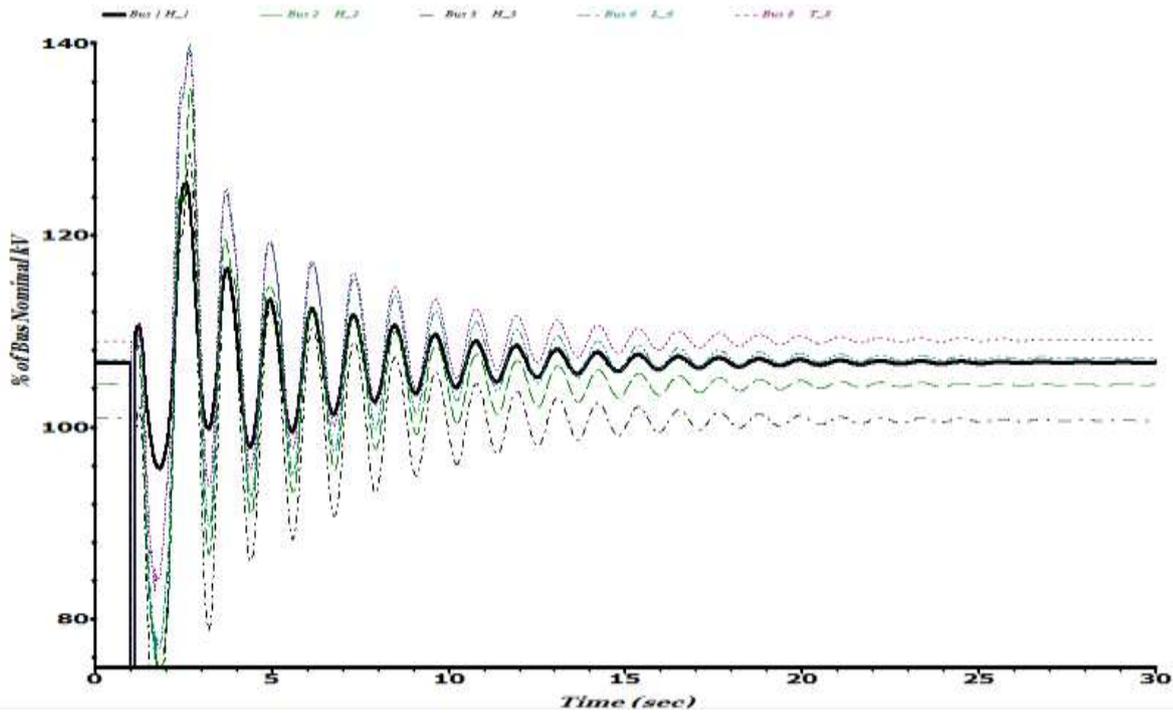
بفرض أنه في نظام القدرة الاختباري المدروس تم خروج خطين معاً من الخدمة ( $L_{12}$  و  $L_{23}$ ) نتيجة لحالة اضطراب عند اللحظة 1.112sec، نتيجة لذلك، ينشأ عدم توازن بين التوليد والحمل، حيث تصبح استطاعة التوليد الكلية للنظام 223.51MW، بينما الحمل الكلي للنظام هو 259MW، وبالتالي يكون عامل الحمل الزائد النسبي  $L=0.158$ ، مما يؤدي لانخفاض كل من تردد وجهود النظام إلى قيم أقل من القيم المسموحة. لذا، من الضروري تطبيق خطة حماية لفصل الأحمال الزائدة وذلك للحماية من انخفاض التردد والجهود. في خطة فصل الأحمال الزائدة التقليدية من المفترض أن تبدأ عملية فصل الأحمال الزائدة بعد انخفاض التردد عن القيمة 49.5Hz، لذلك سيبدأ فصل الحمل في اللحظة

1.677sec (بعد خروج خطي النقل عن الخدمة عند اللحظة 1.112sec). وفقاً للمعادلة (4) يكون مقدار الحمل اللازم فصله  $LS = 30MW$ . يبيّن الشكل (22) استعادة تردد النظام عند اللحظة 10sec مع بعض التقلبات ليصل إلى القيمة 50Hz، وذلك بعد فصل الأحمال الزائدة  $L_9, L_6$  ليصبح المقدار الكلي للحمل الذي تمّ فصله 40.7MW، وذلك باستخدام زواجل التردد الثلاثة ذات التأخير الزمني 0.1sec.

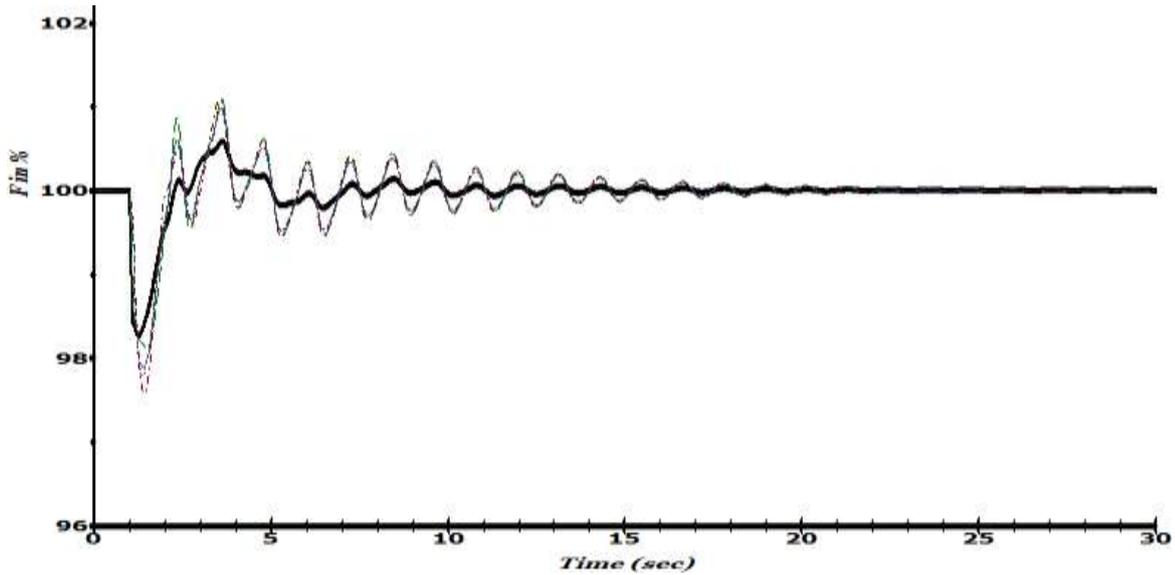


الشكل (22) تردد النظام عند خروج خطي نقل عن الخدمة وتطبيق خطة فصل الحمل التقليدية

يبين الشكل (23) انخفاض جهود قضبان جميع النظام بعد خروج خطي النقل عن الخدمة، وذلك نتيجة زيادة الطلب على الاستطاعة الردية من قبل الأحمال، لكن عند تفعيل خطة الحماية التقليدية وفصل الأحمال الزائدة نلاحظ عودة الجهود إلى قيمتها الطبيعية مع بعض التقلبات عند اللحظة 10sec، حيث تم فصل الأحمال ذات الطلب الزائد على الاستطاعة الردية 24.1MVar والأحمال الأقل أهمية بترتيب تنازلي  $L_9, L_6$ .  
أمّا في خطة فصل الأحمال الزائدة المقدّمة فمن المفترض أن تبدأ عملية فصل الأحمال الزائدة بعد انخفاض معدلات التغير في التردد عن القيمة المحسوبة وفقاً للمعادلة (6)  $R=0.05Hz/sec$ ، لذلك سيبدأ فصل الحمل في اللحظة 1.214sec (بعد خروج خطي النقل عن الخدمة عند اللحظة 1.112sec). يبيّن الشكل (24) استعادة تردد النظام عند الزمن 10sec ليصل إلى القيمة 50Hz، وذلك بعد فصل الحمل الأقل أهمية  $L_9$  وبالتالي يكون مقدار الحمل الذي تمّ فصله  $LS = 29.5MW$ .

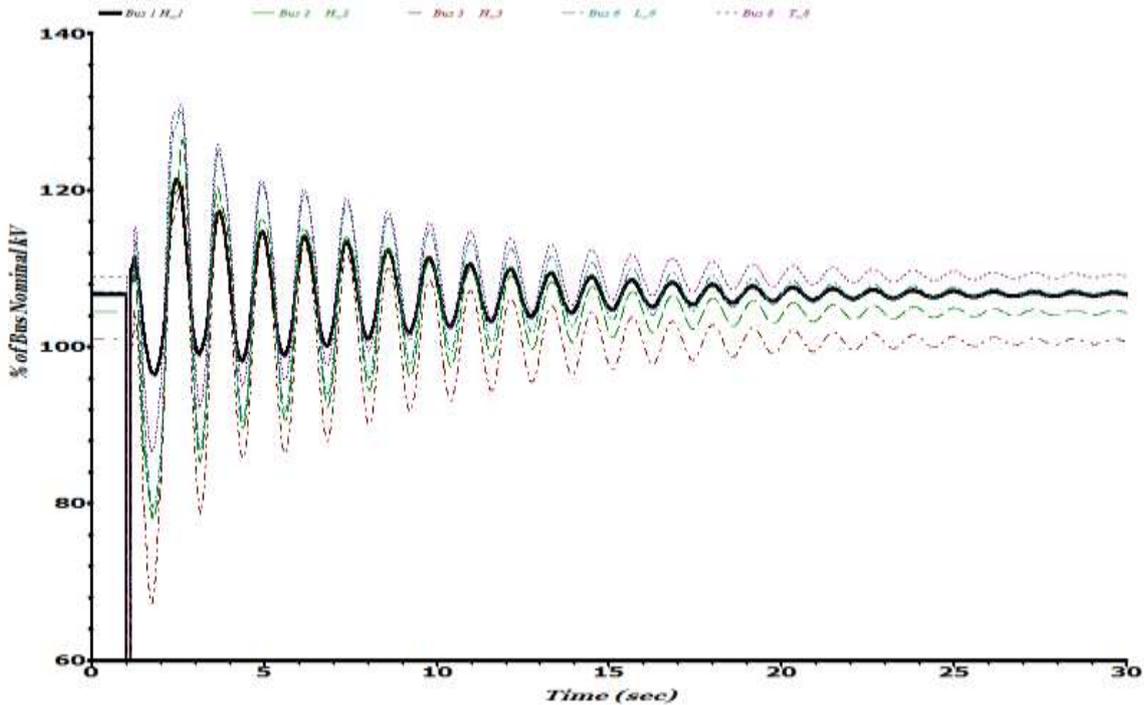


الشكل (23) جهود قضبان التجميع عند خروج خطي النقل عن الخدمة وتطبيق خطة فصل الحمل التقليدية



الشكل (24) تردد النظام عند خروج خطي النقل عن الخدمة وتطبيق خطة الفصل المناسب للأحمال

يبين الشكل (25) انخفاض جهود قضبان التجميع بعد خروج خطي النقل المذكورين أعلاه عن الخدمة إلى قيم أقل من القيم المسموحة، لكن عند تفعيل خطة الحماية المقدّمة نلاحظ عودة الجهود بسرعة إلى قيمتها الطبيعية عند اللحظة 10sec، حيث تمّ فصل الحمل ذات الطلب الزائد على الاستطاعة الردية 16.6MVar.



الشكل (25) جهود قضبان التجميع عند خروج خطي النقل عن الخدمة وتطبيق خطة الفصل المناسب للأحمال

### الاستنتاجات والتوصيات

قدم هذا البحث خطة حماية ذات الفصل المناسب للأحمال عند انخفاض التردد SUFLS، وذلك للحماية من انخفاض تردد وجهود النظام عن القيم الحدية المسموح بها، تستخدم هذه الخطة معدل التغير في التردد مع الأخذ بالحسبان حجم الاضطراب والطلب على الاستطاعة الردية وأهمية الأحمال. نتيجة تعرض نظام القدرة الكهربائي لاضطرابات كبيرة يتم فصل الأحمال الزائدة بدون تأخير زمني متعمد، تعد الخطة المقدمة أكثر دقة في التحديد المناسب لمقدار الحمل اللازم فصله من خطة الفصل التقليدية التي تعتمد على التردد فقط. تمكننا خطة الفصل المقدمة من التخلص من مشكلة فصل الحمل الزائد أو غير الكافي. لقد تم اختبار الخطة المقدمة على نظام قدرة كهربائي اختباري نموذجي، أظهرت نتائج الاختبار دقة وكفاءة وسرعة عالية في الأداء لأجل كافة الاضطرابات المحتمل حدوثها في نظام القدرة الكهربائي الاختباري المدروس.

## المراجع

- [1] KE, Yu-Lung; HSU, Chen-Ting; CHEN,Chao-Shun (1999).*Protective relay setting of the tie line tripping and load shedding for the industrial power system*, Industrial & Commercial Power Systems Technical Conference, IEEE, vol., no., pp.7 pp., Aug 1999
- [2] KHAKI, B.; KOUHSARI, S.M. (2010). *Proper setting of underfrequency loadshedding relays in industrial plants*,*Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, 9th International Conference on, vol.,no., pp.198,201, 16-19 May 2010
- [3] BEVRANI, H.; LEDWICH, G.; FORD, J. J. (2009). *On the use of df/dt in power system emergency control*, Power Systems Conference and Exposition, 2009. PSCE '09. IEEE/PES, vol., no., pp.1,6, 15-18 March 2009
- [4] RUDEZ, U.; MIHALIC, R. (2011). *Analysis of Under frequency Load Shedding Using a Frequency Gradient*,*Power Delivery*, IEEE Transactions on, vol.26, no.2, pp.565,575, April 2011
- [5] PINCETI, Paolo (2002). *Emergency load-shedding algorithm for large industrial plants*, Control Engineering Practice 10, 175–181
- [6] JETHWA, U.K.; BANSAL, R.K.; DATE, N.; VAISHNAV, R. (2010). *Comprehensive Load-Shedding System*, Industry Applications, IEEE Transactions on, vol.46, no.2, pp.740,749, March-April 2010
- [7] DELFINO, B.; MASSUCCO, S.; MORINI, A.; SCALERA, P.; SILVESTRO, F. (2001) *Implementation and comparison of different under frequency load-shedding schemes*, Power Engineering Society Summer Meeting, 2001, vol.1, no.,pp.307,312 vol.1, 2001
- [8] HSU, C. T. (2003). *Cogeneration system design for a high-tech sciencebased industrial park*, IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 39, no. 5, pp.1486–1492, Sep./Oct.
- [9] CONCORDIA, C.; FINK, L.H; PONLLIKKAS, G. (1995). *Load shedding on an isolated system*, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 10, No.3, August, pp. 1467-1472
- [10] JONES, J.R.; KIRKLAND, W.D. (1988). *Computer algorithm for selection of frequency relays for load shedding*, " Computer Applications in Power, IEEE, vol.1, no.1, pp.21,25, Jan.
- [11] RUDEZ, U.; AZBE, V. and MIHALIC, R. (2008), *The application of a frequency gradient for underfrequency load shedding*, Electrotech. Rev., vol. 75, no. 3, 2008
- [12] LOKAY, H.E.; BURTONYK, V. (1968). *Application of Under Frequency Relays for Automatic Load Shedding*, Power Apparatus and Systems, IEEE Transactions on, vol. PAS-87, no.3, pp.776,783, March
- [13] LAKRA, P.; KIRAR, Mukesh (2015). *A Comparison of Under Frequency Relay based and Frequency Response Model based Load shedding Scheme*, IEEE INDICON, 1570173559
- [14] MOAZZAMI, M.; KHODABAKHSHIAN, A. (2010). *A New Optimal Adaptive Under Frequency Load Shedding Using Artificial Neural Networks*, 18th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE), pp. 824-829, May 2010.
- [15] MOAZZAMI, M.; HOOSMAND, R. A.; KHODABAKHSHIAN, A.; YAZDANPANA, M. (2013). *Blackout Prevention in Power System Using Flexible AC Transmission System Devices and Combined Corrective Actions*, Elect. Power Compon. Syst, Vol. 41, No. 15, pp. 1433-1455.
- [16] KUMAR S., Nallagava; KIRAR, M.K.; and AGNIHOTRI, G. (2012). *Transient Stability Analysis of the IEEE 9-Bus Electric Power System*. International Journal of Scientific Engineering and Technology (ISSN : 2277-1581).

[17] PAKDEL, Majid; MAZLUMI, Kazem (2014). *Load Shedding Transient Stability Analysis of a Power System Using ETAP and EMTP*. Iran: International Journal of Emerging Technology & Research

[18] KHIYAVI, Asgar; ZISHAN, Farhad (2015). *The Study and Analysis New Method for Improving Transient Stability IEEE-9 Bus System*. 7th Iranian Conference on Electrical and Electronics Engineering.

[19] SEYEDI, H.; SANAYR-Pasand, M. and DADASHZADEH, M. R. (2006). *Design and simulation of an adaptive load shedding algorithm using a real network*, IEEE/POWERI, pp. 1-5, June.

[20] ZONGO, ANDREW (2014) *Load Shedding Scheme Based on Reactive Power Demand and Priority*. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. ANANT OONSIVILAI, Ph.D., 259 PP.