

TJES

ISSN: 1813-162X

مجلة تكريت للعلوم الهندسية

<http://www.tj-es.com> متاحة على الموقع الإلكتروني

تحسين استقرارية الحالة العابرة لمنظومة القدرة باستخدام المنطق المضبب

اسراء إسماعيل خليل

قسم الهندسة الكهربائية، جامعة الموصل، نينوى، العراق

الخلاصة

تعد دراسة الاستقرارية في الوقت الحاضر من الدراسات البالغة الأهمية حيث تهدف هذه الدراسة والتحليلات الرياضية للاستقرارية إلى معرفة امكانية بقاء استقرارية المنظومة عند حدوث اضطراب مفاجئ مثل أعطال خطوط النقل. تم التعامل مع هذا الموضوع بتقنيات متعددة على مدى العقود المنصرمة. وفي هذه الدراسة تم استخدام إضافة مقاومات الكبح لمساعدة المنظومة للرجوع إلى استقراريته في حالات الأعطال الخارجية باستخدام الـ (Fuzzy Logic) حيث يساعد على تحديد مقدار مقاومة الكبح اللازم إضافتها. وتم تطبيق هذه الحالة على منظومة اختبارية تتكون من خمس عموميات.

الكلمات الدالة: تحسين استقرارية الحالة العابرة، المنطق المضبب، نظام القدرة، إضافة مقاومة الكبح.

Power System Transient Stability Improvement Using Fuzzy Logic

Abstract

Transient stability analysis is considered one of the most important subject related to any power system, where the study aim is to estimate whether the system will stay stable in the event of abnormal cases. Fuzzy Logic is used to estimate the value of added braking resistance required to bring the system to its normal state. This method has been applied with experimental system having five buses.

Keywords: Transient Stability Improvement, Fuzzy Logic, Power System, Add Braking Resistance.

إلى حالة عدم اتزان أو استقرار في المنظومة، وهذه الاضطرابات قد تؤثر على التردد وال فولتية^[2].

تعرف الاستقرارية للمنظومة الكهربائية على أنها خاصية هذه المنظومة في تمكين المكانن التزامنية من الاستجابة لأي من الاضطرابات التي تحدث أثناء اشتغالها الطبيعي من حيث قابليتها في استيعاب تأثير هذه الاضطرابات والرجوع إلى وضعية سير العمل الطبيعي مرة أخرى [2,3,4,5]، وتكون الاستقرارية على ثلاث أنواع اعتماداً على طبيعة ومقدار الاضطراب الذي تتعرض له المنظومة.

- استقرارية الحالة المستقرة (Steady State Stability).
- الاستقرارية الديناميكية (Dynamic Stability).
- استقرارية الحالة العابرة (Transient State Stability).

المقدمة

أصبح الاهتمام بالسيطرة على الحالات العابرة التي تتعرض لها منظومات القدرة الكهربائية وإدامة استقراريته من الأمور المهمة التي تسعى لها شركات توليد ونقل وتوزيع الطاقة الكهربائية. ازداد الاهتمام بهذه الجوانب بمرور الوقت وقد تم تطوير الأساليب والتقنيات بصورة مستمرة لتواكب تعقيدات واتساع منظومات القدرة الكهربائية [1].

وتعد دراسة الاستقرارية وتحليلاتها من الأمور المهمة جداً لمعرفة امكانية بقاء استقرارية المنظومة عند حدوث اضطرابات مثل أعطال خطوط النقل والتغير المفاجئ للأحمال الكهربائية والفقدان المفاجئ للوحدات فضلاً عن حالات الأعطال المعروفة وهي حالات دوائر القصر التي يمكن ان تتعرض لها المنظومة الكهربائية. والتي قد تسبب في حالة كون العطل كبيراً إلى فقدان حالة التزامن لمولد مع باقي المولدات في المنظومة مما يؤدي

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{d^2\delta}{dt^2}$$

وعليه يمكن بيان المعادلة رقم (3) بشكلها النهائي.
إن قيمة M في المعادلة (3) يجب أن تمثل عن طريق صيغة ثابت الكتلة (H) لتلك الوحدة حيث يمكن إعطاء قيمة هذا الثابت كالآتي :

$$H = \text{(S) / الطاقة المخزونة عند السرعة المقننة}$$

حيث أن :
S : تمثل قيمة MVA الأساس.

$$H = \frac{1}{2} \frac{M \omega_2}{S} \Rightarrow \frac{1}{2} M \omega_2 = HS$$

$$\therefore M = \frac{2SH}{\omega_s} \Rightarrow \frac{S H}{\pi f}$$

حيث أن :
f : هو التردد المقنن ، وبالتعويض عن قيمة M في المعادلة (3) نحصل على :

$$P_m - P_e = \frac{SH}{\pi f} \cdot \frac{d^2\delta}{dt^2}$$

وبقسمة الناتج على S نحصل على المعادلة التالية بقيم نسبة الوحدة (P.U.).

$$P_m - P_e = \frac{H}{\pi f} \cdot \frac{d^2\delta}{dt^2} \dots \dots \dots (5)$$

حيث أن :
(P_m, P_e) : هي قيم بنسبة الوحدة وفي حالة وجود عدة مكائن مربوطة على نفس العمومي فان قيمة H تعطى بالمعادلة الآتية :

$$H_{\bar{n}} = \sum \frac{S_i H_i}{S}$$

وفي حالة النظام المتعدد (عموميات التوليد) فان المعادلة تكون كالآتي :

$$P_{ei} - P_{mi} = \frac{H_{\bar{n}}}{\pi f} \cdot \frac{d^2\delta_i}{dt^2} \dots \dots \dots (6)$$

وهذه المعادلة هي التي تحكم الحركة الدورانية للماكنة التزامنية في دراسة الاستقرار، حيث يطلق عليها بمعادلة التآرجح للماكنة. وهذه المعادلة هي معادلة تفاضلية من الدرجة الثانية التي يمكن إعادة كتابتها كمعادلتين تفاضليتين من الدرجة الأولى.

$$\frac{dS_i}{dt} = \omega_i - \omega_s \dots \dots \dots (6a)$$

$$\frac{d\omega_i}{dt} = \frac{d^2S}{dt^2} = \frac{\pi f}{H_{\bar{n}}} (P_m - P_{ei}) \dots \dots \dots (6b)$$

وهاتين المعادلتين يتم استخدامهما للحصول على التغير بالموقع الزاوي δ_i والتغير في السرعة الزاوية ω_i.

دراسة استقرارية الحالة العابرة للمنظومة الكهربائية

يمكن تعريف الاستقرارية العابرة على أنها قابلية المنظومة للقدرة على تجهيز قدرة تساوي أو أكثر من قدرة الاضطراب التي تتعرض لها المنظومة لغرض المحافظة على حالة التزامن للمولدات. إذا كانت هذه القدرة كبيرة ومفاجئة فان هذه الحالة تسرع بحالة الاستقرارية العابرة. وقدرة الاضطراب هذه تسبب عدم موازنة بين قدرة الإدخال والإخراج لوحدات التوليد وكنتيجة لذلك فان الجزء الدوار لوحدات التوليد سوف يتعرض إلى عزم تسارع أو تباطيء اعتماداً على الاضطراب الذي تعرض له.

ولدراسة الإزاحة الزاوية للجزء الدوار لوحدات التوليد أثر تعرضه إلى اضطراب في المنظومة يجب بناء معادلات تفاضلية تبين حركة الجزء الدوار للماكنة. ومن ثم حل هذه المعادلات.

إن العزم الصافي (T) المسلط على الجزء الدوار للماكنة هو المجموع الجبري للعزم المسلط على محور الدوار (T_s) والعزم الكهرومغناطيسي (T_e) ، ففي حالة الاستقرار يكون هذا المجموع الجبري صفر، لكن في حالة حدوث اضطراب يؤدي إلى الحالة العابرة فانه لا يساوي صفر ، وبهذا يحدث تسارع أو تباطؤ اعتماداً على قيمة (T) إن كانت سالبة أو موجبة. وباعتبار قيمة (T) موجبة.

$$T_s - T_e = J \cdot \alpha \dots \dots \dots (1)$$

حيث أن :
J : تمثل عزم القصور الذاتي للجزء الدوار.
α : تمثل التعجيل الزاوي.
وبضرب طرفي المعادلة أعلاه في (ω) :

$$T_s \cdot \omega - T_e \cdot \omega = J \cdot \alpha \cdot \omega \dots \dots \dots (2)$$

ومن المعادلتين (1) و (2) يلاحظ أن قدرة الإدخال T_s·ω تتمثل ب P_m والقدرة في الفجوة الهوائية T_e·ω تتمثل ب P_e إذن :

$$\therefore P_m - P_e = J \cdot \omega \cdot \alpha$$

$$J \cdot \omega = M \text{ العزم الزاوي}$$

$$P_m - P_e = M \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} \dots \dots \dots (3)$$

وبفرض أن :

$$\theta = \omega_s t + \delta \dots \dots \dots (4)$$

حيث أن :
δ : هي الإزاحة الزاوية للجزء الدوار ويتفاضل المعادلة (4) مرتين بالنسبة للزمن نحصل على :
i=1,2,3... Ng

المنطق المضبب (Fuzzy Logic)

إن المنطق المضبب هو طريقة للتعامل مع البيانات الغير محددة والغير مؤكدة للمسائل التي تحتل أكثر من حل. والمنطق نوعان المنطق الثنائي (Binary Logic) والمنطق المضبب (Fuzzy Logic). وقد استخدمه العالم لطفي زادة في جامعة كاليفورنيا لأول مرة عام 1965، إذ تبين أن المنطق المضبب (Fuzzy Logic) منطوق متعدد القيم فهو يبنى القيم المتوسطة بين القيم التقليدية مثل (صح / خطأ) و (عالي / واطئ) ... الخ. وتعد النظم الضبابية بديلاً عن الأفكار التقليدية إذ يمكن تمثيلها بمجموعات عضوية ومنطقية لها أصول في الفلسفة اليونانية القديمة [6, 7]. وتتكون بنية نظام المنطق المضبب كما مبين في الشكل (1).

التضبيب (Fuzzification)

يعتبر الجزء الأول في بنية المنطق المضبب الذي تحدث فيه عملية تحويل الإدخالات الاعتيادية (Crisp Value) إلى متغيرات مضببة ذات درجة انتماء مختلفة للمجموعات المضببة. وتكون هذ جاهرة للمعالجة في آلة الاستنتاج الضبابي. ويتكون المضبب من مجموعة دوال الانتماء للمجموعات المضببة وأشكالها وعددها وقيمها العظمى وعدد التدخلات فيما بينها في تحديد القيم اللغوية للمتغيرات المضببة [7].

تم اختيار إدخالين للمضبب، يمثل الإدخال الأول مقاومة الكبح (Braking Resistance) اللازم إضافتها عند حدوث عطل في العمومي الثاني أي عمومي التوليد من المنظومة، ويمثل الإدخال الثاني الـ (Rotor Angle at Fault) زاوية الدوار للماكينة عند العمومي الثاني عند حدوث حالة عطل فيها كما في الشكل (2).

وقد تم اختيار الدوال العضوية لكل إدخال وإخراج لتحسين الاستقرار العابرة واختيرت الدوال العضوية المثلثية

(Gauss Membership Function)، وعدد هذه الدوال لعضوية هي ثلاث دوال عضوية موزعة على المحور الأفقي المتمثلة بالنسبة للإدخال الأول وهي مقاومة الكبح اللازم إضافتها أما الإخراج فقد تم اختيار الدوال العضوية المثلثية (Gauss Membership Function) أيضاً كدوال ضوية لإخراج زاوية القدرة المتمثل بزاوية الدوار (Rotor Angle) لجديدة وكما موضح في الشكل (5).

قاعدة القوانين (Rules Base)

هي مجموعة من القوانين المضببة التي تربط الإدخالات المضببة بالإخراجات. ويمكن أن تكون هنالك عدة إدخالات مع إخراج واحد. وهذا موضح في الجدول (1) الذي يمثل القواعد اللغوية المستنتجة لدائرة المنطق المضببة عند إضافة مقاومة الكبح [6].

آلية الاستنتاج (Inference Engine)

يمثل أساس بنية المنطق المضبب إذ له القدرة على تمثيل اتخاذ القرار البشري أي تتم عملية الاستنتاج الذي يعتمد على قيم الإدخالات للمجموعات المضببة [7].

عكس التضبيب (Defuzzification)

تعد هذه المرحلة الأخيرة في بنية المنطق المضبب وهي عملية معاكسة للتضبيب أي تحويل الدوال المضببة إلى دوال اعتيادية (Crisp). وهنالك عدة طرق من طرائق إزالة التضبيب التي تحدد قيمة الإخراج النهائي [8].

النتائج و المناقشة

تناول هذا البحث بناء نظام لتشخيص حالة عدم الاستقرار في المنظومة نتيجة حدوث عطل في عموميات التوليد باستخدام المنطق المضبب وقد صمم هذا النظام ليحدد مقدار مقاومة الكبح اللازم إضافتها لإعادة المنظومة إلى حالة الاستقرار. وقد تمت الدراسة والتحليل على المنظومة التي تحتوي على خمس عموميات منها عموميات للتوليد الأول والثاني، وبياناتها في الجدولين (2) و (3) [4].

إن قيم الأساس لهذه المنظومة هي (132 KV) و (100 MVA) وعليه فإن قيم ممانعة الأساس هي (174.24 Ω) وأن حسابات سريان القدرة قبل حدوث العطل مبينة في الجدول (4) والجدول (5) على اعتبار أن العمومي رقم (1) هو العمومي العائم.

حالات الدراسة

حدوث العطل على العمومي (2) (عمومي توليد)

تم حدوث عطل ثلاثي الطور على العمومي الثاني المتمثل بعمومي توليد. وكانت الفترة الزمنية لحدوث العطل عند الزمن (t = 0) والشكل (4-a) يمثل زوايا القدرة للماكينة مع الزمن نتيجة حدوث عطل على العمومي الثاني (عمومي التوليد) للمنظومة (5-Buses). وازدادت زاوية القدرة للماكينة في هذا العمومي إلى (215) نتيجة حدوث العطل مما أدى إلى تسارع الماكينة بشكل كبير مع الزمن وبالتالي فإن الماكينة سوف تفقد تزامنها مع باقي المنظومة.

وقد تم إضافة مقاومة كبح مقدارها (0.15 P.U) على العمومي الثاني، والشكل (4-b) يمثل نقصان زوايا القدرة لمنظومة عند نفس العطل على العمومي الثاني. والفترة الزمنية التي تضاف فيها مقاومة الكبح هي 30 msec.

وعند زيادة مقاومة الكبح إلى (0.21 P.U) فإن قيمة زاوية القدرة للماكينة لن تتجاوز (90) كما موضح في الشكل (4-c) وهذا يعني أن الماكينة سوف تبقى في حالة تزامن مع باقي المنظومة. وبزيادة مقاومة الكبح إلى (0.28 P.U) فإن زاوية القدرة للماكينة تم تحسينها كما في الشكل (4-d) وأصبحت الماكينة أكثر استقرارية وبهذا تم تحسين الاستقرار العابرة في المنظومة وقد تم استخدام المنطق المضبب (Fuzzy Logic) في تحديد قيمة مقاومة الكبح المضافة في العمومي الذي عانى من حدوث عطل.

والجدول (6) يمثل إخراج المنطق المضبب المتمثل بإضافة مقاومة الكبح عند حدوث العطل. والنتائج الموضحة للمنطق المضبب التي أعطت استجابة جيدة لأي تغير في زاوية القدرة للماكينة نتيجة حدوث عطل في العمومي.

- قلت زاوية القدرة للماكنة من (215°) إلى (47.1°) عند إضافة مقاومة كبح مقدارها (0.28 P.U) على العمومي المعطوب وبذلك تم تحسين الاستقرار العابرة إلى حد معين.
- إن استخدام دوائر المنطق المضرب تسهل وتسرع من عملية تحسين زاوية القدرة للماكنة عند حدوث العطل إذا ما قورنت بالطرق التقليدية السابقة. وتم الحصول على نسبة تقليل زاوية القدرة للماكنة (78.09%) عند العمومي (2) :

$$\delta : 18.3907 \rightarrow \text{at (normal)}$$

$$\delta : 215^\circ \rightarrow \text{at fault}$$

$$\delta : 47.1 \rightarrow \text{at adding braking resistance.}$$

عند استخدام الطرق السابقة لإضافة مقاومة الكبح كما في المصدر [2] على نفس المنظومة حيث تمت الإضافة على عمومي الثاني عمومي (التوليد) كانت نسبة تقليل زاوية القدرة للماكنة بحدود $(60-70\%)$ عن قيمتها في نهاية الاضطراب.

- عند حدوث عطل على عمومي حمل تبين أن زاوية القدرة للماكنة لا تتأثر مثل حدوث العطل على عمومي التوليد. وكانت الزاوية (137°) عند حدوث العطل على عمومي حمل بينما على عمومي توليد (225) عند نفس مدة مكوث العطل. حيث أثبتت الدراسة أن المحطة الأقرب للعطل سوف تتأثر بالاضطراب بصورة أكبر.

عند إدخال مقاومة الكبح إلى المنظومة عند حدوث الـ (Fault) على العمومي الثاني يمكن حساب الفقد في هذه المقاومة المضافة وقد وجد أن الفقد لم يتجاوز الـ (80%) من قيمة التوليد على هذا العمومي وهذا يثبت صحة اختيار هذه القيمة للمقاومة المضافة بينما إذا ازدادت قيمة هذه المقاومة عندها قيمة الفقد يتجاوز قيمة التوليد على هذا العمومي وهذا ينافي الواقع.

ويمكن بيان السطح المفسر للقواعد اللغوية الموجودة في الجدول (1) والذي يمثل سطح ثلاثي الأبعاد بين زاوية القدرة للماكنة عند حدوث عطل على العمومي (2) ومقاومة الكبح اللازم إضافتها لتحسين زاوية القدرة ومن ثم تحسين الاستقرار والشكل رقم (6) يبين ذلك.

حدوث العطل على العمومي (4) عمومي حمل

عند حدوث مثل هذه الحالة أي عطل ثلاثي الأطوار يحدث على عمومي حمل بعيد نوعاً ما عن موقع التوليد لهذا نلاحظ أن شدة التآرجح أقل من العطل على عمومي التوليد وهذا واضح عند مقارنة الأشكال (4-a) و (7) حيث يلاحظ أن قيمة زاوية القدرة في حالة العطل على عمومي حمل كانت (137°) بينما في حالة العطل على عمومي توليد كانت (215) ولنفس مدة مكوث العطل. وبذلك نستنتج أنه كلما كان العطل (Fault) عند عمومي توليد كان تأثير زاوية القدرة أكثر من عموميات الأحمال.

دراسة حساب الفقد عند إضافة مقاومات الكبح

إضافة مقاومة الكبح في النظام تحدث خسارة في القدرة على الرغم من أن فترة إضافة هذه المقاومة قصير جداً إلا أنها تحدث فقد في القدرة ولبيان قيمة هذا الفقد لكل قيمة من قيم مقاومات الكبح يتم حساب التيار عند حدوث العطل على العمومي الثاني ومن ثم إيجاد الفقد لكل قيمة من قيم مقاومات الكبح. وهذا موضح في الجدول (7) الذي يبين قيم الفقد في كل حالة من حالات الإضافة وبهذا نستنتج أنه عند حشر مقاومة الكبح $R = 0.28 \text{ PU}$ كانت قيمة الفقد تساوي (31 MW) وهذه القيمة لم تتجاوز (80%) من قيمة التوليد الموجودة على هذا العمومي وهذا يثبت صحة اختيار قيمة المقاومة المضافة.

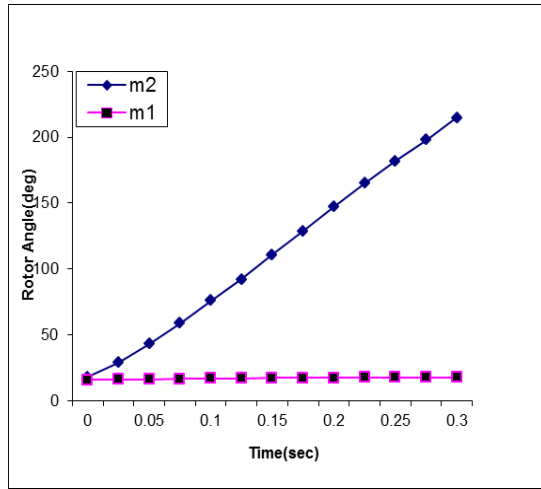
الاستنتاجات

في هذا البحث استخدم المنطق المضرب (Fuzzy Logic) وذلك لإضافة مقاومة الكبح عند حدوث عطل. لتحسين لاستقرارية العابرة ومن خلال الدراسة نستنتج ما يلي :

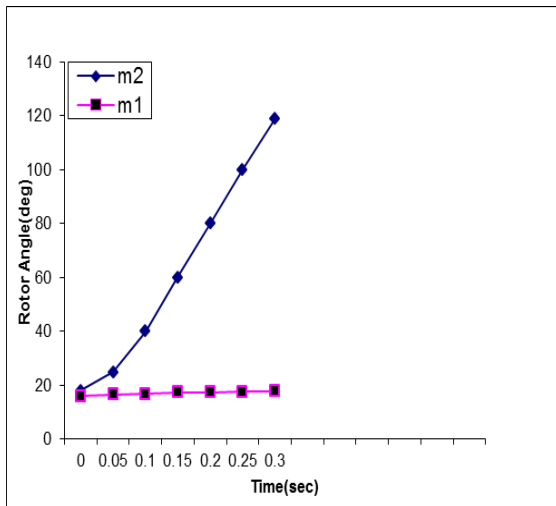
المصادر

- 5- باشي، سنان عطار و مهدي، عبد الله محمد، "نظم القدرة، دراسة وتحليل"، مديرية دار الكتب للطباعة والنشر - جامعة الموصل، 1990.
- 6- Daniel, Caroline Yousif, "The Use of Fuzzy Logic for Diagnosis of a Certain Types of Faults in Power Transformer System", M.Sc. Thesis, University of Mosul, 2010.
- 7- Leonid Reznik, "Fuzzy Controllers", Victoria University of Technology, Melbourne, Australia, 1997.
- 8- Timothy J. Ross, "Fuzzy Logic with Engineering Application", 2nd Edition, University of New Mexico, USA, 2004.

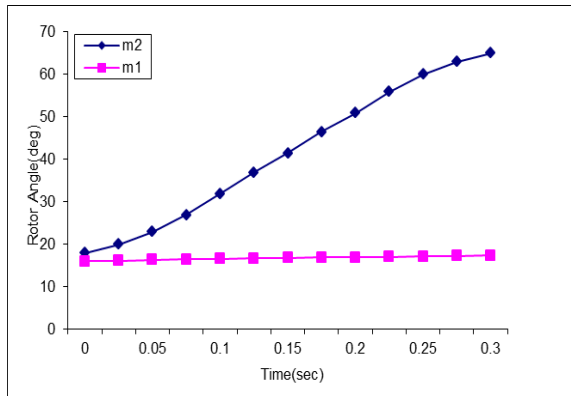
- 1- Gelnn W. Stagg, Ahmed. H. El-Abiad, "Computer Methods in Power System Analysis", New York, McGraw-Hill, pp. 259-415, 1969.
- 2- Yasin, Ahmed Hazem, "Improvement of Transient Stability Using Braking Element", M.Sc. Thesis, University of Mosul, 2005.
- 3- Al-Rawi, Mohammed Ali, "Transient Stability Improvement Using Series Capacity with Application to Iraqi National Grid", Ph.D. Thesis, University of Mosul, 2002.
- 4- William D. Stevenson "Element of Power System Analysis", 4th Edition, New York, McGraw-Hill, Inc., pp. 368-404, 1982.



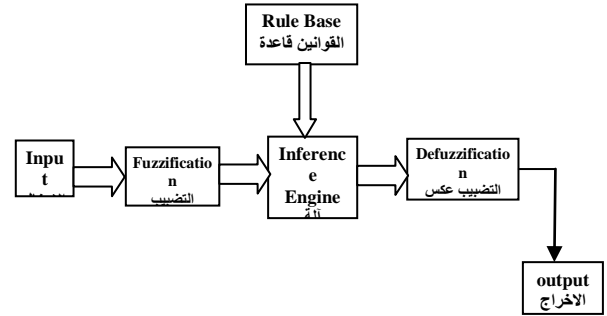
الشكل (a-4)



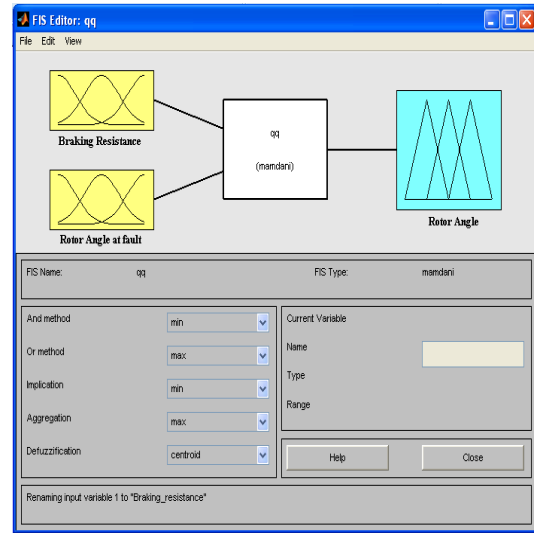
الشكل (b-4)



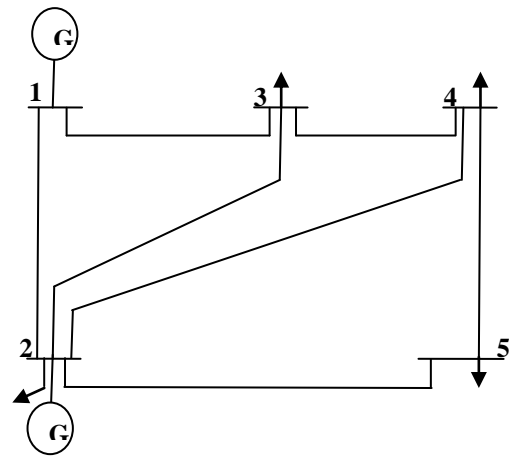
الشكل (c-4)



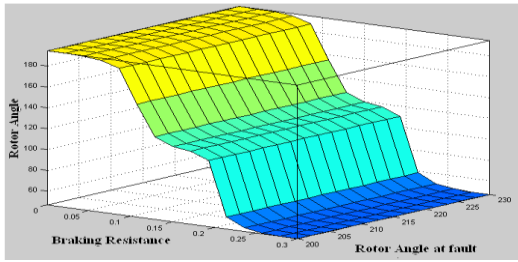
الشكل (1) بنية المنطق المضبب



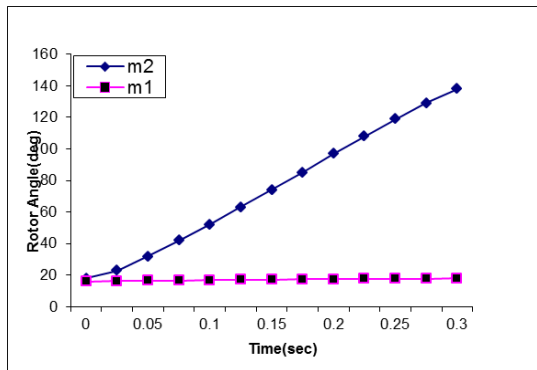
الشكل (2) المخطط التركيبي للمنطق المضبب في بيئة MATLAB المستخدم في إضافة مقاومة الكبح لتحسين الاستقرار



الشكل (3) مخطط الطور الواحد للمنظومة (5-Buses)



الشكل (6) السطح المفسر للقواعد اللغوية للمنطق المضرب



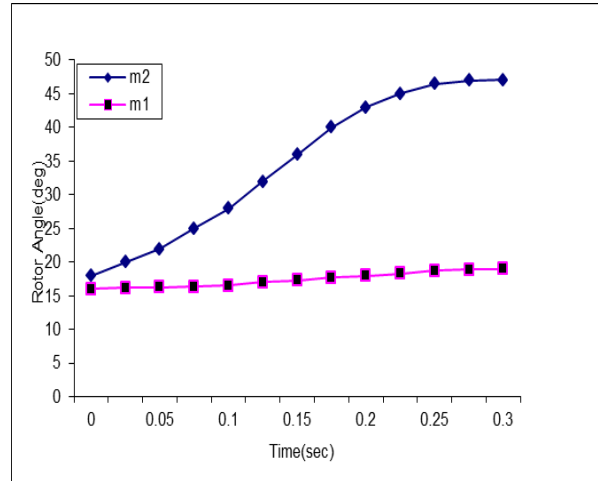
الشكل (7) زاوية القدرة للماكنة مع الزمن عند حدوث العطل على العمومي (4)

الجدول (1) القواعد اللغوية المستنتجة لدائرة المنطق المضرب عند إضافة مقاومة الكبح

Braking Resistance	L	M	G
Rotor Angle at Fault	GG	MM	LL
K	GG	MM	LL

الجدول (2) يمثل بيانات المنظومة (5-buses)

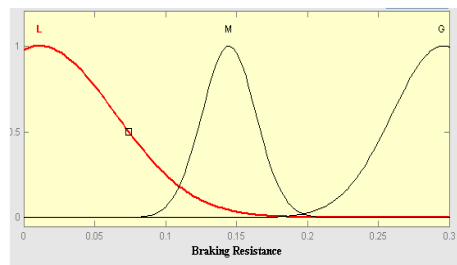
From Bus	To Bus	Impedance (z)	Line Charging (y/z)
1	2	0.02 + j 0.06	j 0.030
1	3	0.8 + j 0.24	j 0.025
2	3	0.06 + j 0.18	j 0.020
2	4	0.06 + j 0.18	j 0.020
2	5	0.04 + j 0.12	j 0.015
3	4	0.01 + j 0.03	j 0.01
4	5	0.08 + j 0.24	j 0.025



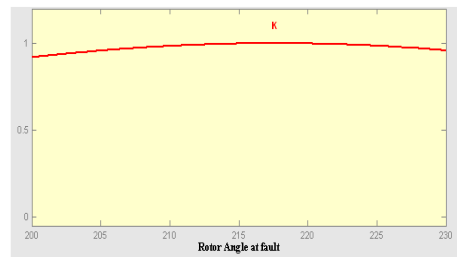
الشكل (d-4)

الشكل (4) يمثل رسم زوايا القدرة للماكنة عند حدوث العطل على العمومي (2)

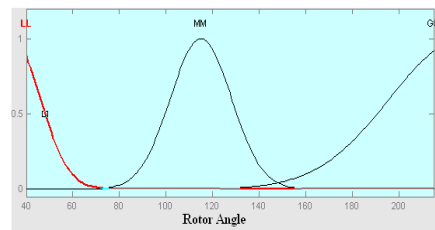
- Without adding R_b .
- With adding (0.15 P.U) = R_b on bus (2).
- With adding (0.21 P.U) = R_b on bus (2).
- With adding (0.28 P.U) = R_b on bus (2).



(a)



(b)



(c)

الشكل (5) :

- دوال عضوية للإدخال الأول، b - دوال عضوية للإدخال الثاني c - دوال عضوية للإخراج

الجدول (6) إخراج المنطق المضرب عند إضافة مقاومة الكبح لتحسين الاستقرار

Breaking Resistance (P.U)	Rotor Angle (deg)
0	215
0.01	195
0.05	194
0.1	170
0.11	149
0.12	134
0.13	126
0.14	122
0.15	119
0.16	118
0.17	117
0.18	117
0.19	113
0.2	95.4
0.21	65.6
0.22	54.4
0.23	51.6
0.24	49.8
0.25	48.7
0.26	47.8
0.27	47.3
0.28	47.1

الجدول (7) قيم الفقد في كل حالة من حالات إضافة مقاومات الكبح

R = 0.15 PU $R_{(Actual)} = 26.136 \Omega$	$P_{losses} = 16.7 \text{ MW}$
R = 0.21 PU $R_{(Actual)} = 36.59 \Omega$	$P_{losses} = 23 \text{ MW}$
R = 0.28 PU $R_{(Actual)} = 48.787 \Omega$	$P_{losses} = 31 \text{ MW}$

الجدول (3) بيانات المنظومة (5-buses)

Bus Code	Bus Voltage (P.U)	Generation		Load	
		MW	MVAR	MW	MVAR
1	1.06	0	0	0	0
2	1	40	30	20	10
3	1	0	0	45	15
4	1	0	0	40	5
5	1	0	0	60	10

الجدول (4) نتائج سريان القدرة للمنظومة (5-buses) قبل حدوث العطل

Bus Code	Bus Voltage	Generation		Load	
		MW	MVAR	MW	MVAR
1	1.06 + j 0.00	129.59	7.42	0.0	0.0
2	1.0462 - j 0.0513	40	30	20.0	10.0
3	1.0203 - j 0.0892	0.0	0.0	45.0	15.0
4	1.0191 + j 0.951	0.0	0.0	90.0	5.0
5	1.0121 - j 0.1091	0.0	0.0	60.0	10.0

الجدول (5) الفولتيات الداخلية للمكان وزواياها قبل حدوث العطل

Bus Code	Machine Internal Voltage	Machine Power Angle
1	1.0425 + j 0.3056	16.3396
2	1.5033 + j 0.4998	18.3907