Tikrit Journal of Engineering Sciences (2021) 27 (4): 70-86

ISSN: 1813-162X (Print) ; 2312-7589 (Online)

Tikrit Journal of Engineering Sciences

available online at: http://www.tj-es.com

AlDurze FAM, Abdullah SA. Simulation And Analysis Of An Intelligent Power System Stabilizer Using Fuzzy Logic *Tikrit Journal of Engineering Sciences* 2021; **27**(4): 70- 86.

Simulation And Analysis of An Intelligent Power System Stabilizer Using Fuzzy Logic

Firas Ahmed Majeed AlDurze[1, *]

Sura Amer Abdullah[2]

[1]Department of Mechatronics/ College of Engineering /Mosul University

[2] Electrical Department/ College of Engineering /Mosul University

***Keywords*:**

Power System Stabilizer, Fuzzy Logic, Conventional Power System Stabilizer.

A R T I C L E I N F O

Article history:

Received	26 July 2020
Accepted	14 May 2021
Available online	30 May 2021

A B S T R A C T

The basic aim of the power system stabilizer is to damp the fluctuations that occur on the rotating axis of the synchronous generator that result from noise or disturbance on the power system. This is achieved by producing an appropriate damping torque for these fluctuations across the excitation circuit of the generator and for a wide range of operation conditions. The study describes the types of power system stabilizers and giving an mathematical model of the power system that consists of a synchronous machine connected to the infinite bus though transmission lines. This has been achieved by simulating the electric and mechanical equations of power systems and proposing a methodological approach to design a Fuzzy Logic Power System Stabilize (FPSS) relaying in the design on the (Matlab/Fuzzy logic toolbox).Speed deviation (Δω) and acceleration (Δώ) of the synchronous machine are chosen as the input signals to the fuzzy controller in order to achieve a good dynamic performance .The complete range for the variation of each of the two controller inputs is represented by a 7×7 decision table, i.e. 49 rules using proportional derivative like fuzzy logic. The power system (SMIB) was tested with the presence and absence of the excitation system, then (CPSS) was added, and then (FPSS).The simulation results of the proposed fuzzy logic on (SMIB) gave a better dynamic response, decreased the settling time and good performance of the stabilizer in damping the fluctuations that arise in the speed of rotation of the generator and its active power in various operating conditions when proposed (FPSS) is compared with conventional PSS. The simulation results proved the superior performance of the proposed (FPSS).

© 2021 TJES, College of Engineering, Tikrit University

DOI: http://doi.org/10.25130/tjes.28.1.08

Tikrit Journal of Engineering Sciences Tikrit Journal of Engineering Sciences Tikrit Journal of Engineering Sciences Tikrit Journal of Engineerin Sciences

*Corresponding author: E-mail: dr.firasaldurze@uomosul.edu.iq Department of Mechatronics/ Engineering College/Mosul University

محاكاة وتحليل مثبت نظام القدرة الذكي باستخدام المنطق المضبب

فراس احمد مجيد الدرزي قسم هندسة الميكاترونكس/ كلية هندسة / جامعة الموصل
سرى عامر عبدالله قسم الهندسة الكهربائية/كلية الهندسة / جامعة الموصل

الخلاصة

إن الغاية الأساس لمثبت استقرارية نظام القدرة هي إخماد التذبذبات الواقعة على محور الدوران للمولد التزامني الناتجة من جراء تأثير ضجيج أو اضطراب في منظومة القدرة وذلك بإنتاج عزم إخماد مناسب لتلك الاضطرابات عبر دائرة الإثارة للمولد وعلى مدى واسع من ظروف التشغيل. تناول هذا البحث دراسة لأنواع مثبت نظام القدرة ثم التمثيل الرياضي لنظام قدرة مكون من ماكنة تزامنية مرتبطة إلى عمومي لامُنتهٍ عبر خط نقل مزدوج عن طريق نمذجة معادلات منظومة القدرة الكهربائية والميكانيكية واقتراح طريقة منهجية لتصميم مثبت نظام قدرة مضبب (Fuzzy Logic Power System Stabilizer- FPSS) معتمداً في عملية التصميم على (MATLAB/ Fuzzy Logic Toolbox) . تم اختيار انحراف السرعة وانحراف التعجيل للمولد المتزامن كأشارات دخل لمثبت المنطق المضبب. تم تمثيل مدى اشارات الدخل بجدول 7×7 يحتوى على 49 قاعدة مبنية على اساس المشتق النسبى. تم اختبار نظام القدرة (SMIB) بوجود وعدم وجود نظام الاثارة ،ثم اضافة مثبت نظام القدرة التقليدي (CPSS) ومن ثم مثبت نظام القدرة بالاعتماد على المنطق المضبب (FPSS). اعطت نتائج محاكاة المثبت المقترح على نموذج الماكنة التزامنية اداء ديناميكى أفضل عند مقارنتها مع نتائج المتحكم التقليدى من حيث تقليل زمن الاستقرار والاداء الجيد للمثبت في إخماد الاضطرابات التي تنعكس على سرعة دوران المولد وقدرته الفاعلة في ظروف التشغيل المختلفة وبذلك ثبتت فاعلية وأفضلية المثبت المقترح.

الكلمات الدالة: مثبت استقرارية نظام القدرة، المنطق المضبب، مثبت استقرارية نظام القدرة التقليدي.

1. مقدمة

استقرار نظام القدرة هو قدرة النظام الكهربائي على البقاء متوازناً أثناء عمله تحت شروط التشغيل الطبيعية،والعودة إلى حالة التوازن الطبيعية إذا ما تعرض لاضطراب مُعين في أقصر وقت ممكن [1]. شهدت أنظمة القدرة الكهربائية اهتماماً واضحاً بسبب تعرضها لاضطرابات مختلفة يمكن أن تتفاقم في غياب الوقاية الكافية لها. تساعد منظمات الجهد الأوتوماتيكية (AVRs) على تحسين استقرار أنظمة القدرة عن طريق تنظيم الجهد الطرفي للمولد، ولكن مع إنشاء أنظمة قدرة كبيرة ومترابطة ، قد يكون هناك مصدر قلق آخر وهو نقل كميات كبيرة من الطاقة عبر خطوط النقل الطويلة . تعد إدخال مثبتات نظام القدرة التقليدية (CPSS) إلى (AVRs)على المولدات لتوليد تكملة إشارة التحكم لإثارة المولد المتزامن لتخميد التذبذبات منخفضة التردد [2].

تعتمد طريقة مثبتات نظام الطاقة التقليدية (CPSS) على تطبيق نظرية التعويض ومعوضات التقدم / التأخر في من أجل تحسين أداء مثبتات نظام الطاقة ، اداء (CPSS) جيد في ظروف التشغيل الطبيعية لنظام القدرة الذي تم تصميمه من أجلها. وعندما يتعرض النظام الى ظروف تشغيل غير طبيعية يتدهور الأداء [3] .لذلك أصبح من الضروري إيجاد طرائق متنوعة للحصول على أنظمة ذوات وثوقية عالية في التوليد والنقل، ومن هذه الطرائق تحسين وإضافة دوائر السيطرة لنظم الإثارة في وحدات توليد القدرة باستخدام نظريات السيطرة الذكية (Intelligent Control Theories).

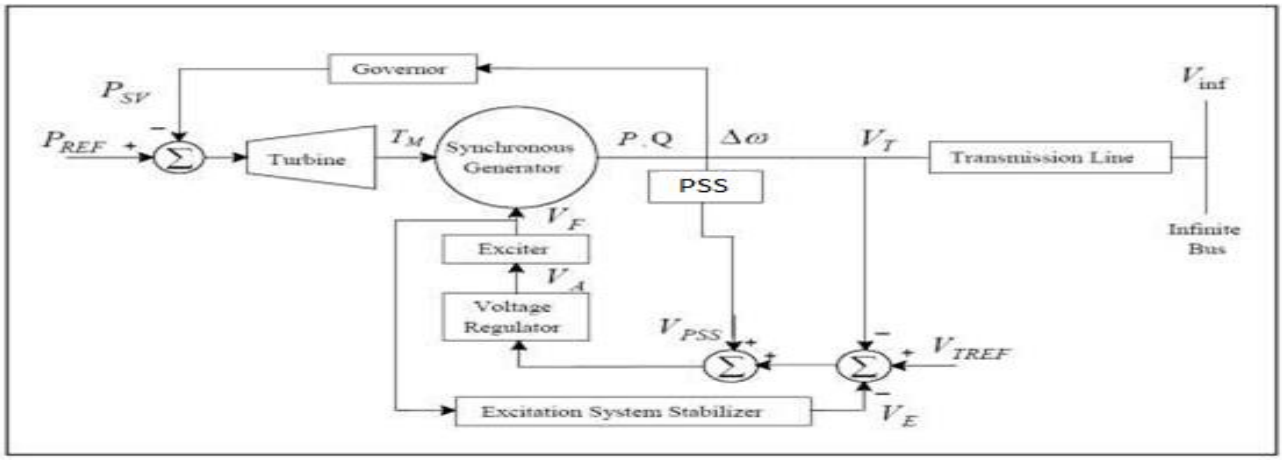
هناك العديد من الأبحاث والدراسات التي تتناول استخدام المنطق الضبابي في عملية التصميم بدلاً من الطرق التقليدية ذوات المحددات الواسعة. هنا ملخص بعضهم:

قام الباحث Prof.Ghareeb A. Ghoneim et al. [2] بتصميم مثبت نظام القدرة على أساس وحدة التحكم الضبابي (FLPSS) ومقارنة أدائها مع كل من مثبت نظام القدرة التقليدري (CPSS) ومثبت نظام القدرة القائم على المشتقات النسبية والتكاملية (PIDPSS). عمل الباحث Hajizade Kanafgorabi M et al. [3] على تصميم وحدة تحكم لمثبت نظام القدرة بأستخدام Fuzzy C-mean (FCM) معتمدا على القدرة الفاعلة والقدرة المتفاعلة وفولتية العمومي كأدخالات للمثبت وتم مقارنة أداء وحدة التحكم FCM المقترحة بأداء وحدة التحكم التقليدية.أشار الباحث et al. K.A.El-Metwally [4] على تصميم مثبت نظام قدرة مضبب مستخدمين انحراف السرعة ($\Delta\omega$) وانحراف القدرة الفاعلة (ΔP) للمولد كمتغيرات إدخال إلى المثبت للحصول على إشارة التثبيت المناسبة والمطبقة في دائرة الإثارة. نتائج المحاكاة تأكد قابلية المثبت على تحسين أداء النظام في إخماد التذبذبات الظاهرة في زاوية القدرة بعد إخضاع المنظومة إلى اضطرابات مختلفة.قام الباحث Emad Al- et al. Mahammed [5] بتقديم تقنية لتصميم مثبت استقرارية القدرة المضبب استعملت لإخماد التذبذبات الكهروميكانيكية الناتجة من مختلف أنواع الاضطرابات التي يتعرض لها نظام قدرة متعدد المكائن، استناداً على مستوى الاضطراب الذي تحدده قدرة كثافة الطيف (Power Spectral Density-PSD) والتي لها القابلية على تميز نمط التذبذب وكشفه بوقت قصير بالاعتماد على منقولة فورير .(Fourier Transform-F.T).عمل الباحث Y.J.Lin [6] على تصميم مثبت نظام قدرة مضبب (FPSS) لتحسين استقرارية نظام القدرة ، وهذه الطريقة تتألف من مرحلتين الأولى هي تصميم مثبت نظام قدرة تناسبي- تفاضلي (PD-PSS) والثانية هي تصميم مثبت نظام قدرة مضبب (FPSS) تعتمد عوامله على معادلات تربط عوامل المثبت التفاضلي- التناسبي مع عوامل المثبت المضبب. قام الباحث Gi-hyun Hwang et al. [7] على تصميم مثبت نظام قدرة مضبب (FPSS) باستخدام الخوارزمية التطورية التكيفية (Adaptive evolutionary algorithm -AEA) التي تتألف من الخوارزمية الجينية (GA) واستراتيجية التطور (Evolution Strategy) ذات الأسلوب التكيفي عند تطور الجيل الحالي إلى القادم.عمل الباحث et al. Habbi [8] على اختيار مثبت قدرة نوع (PSS4B) ثنائي المدخلات ومتعدد المستويات من اجل اخماد تذبذب الترددات المنخفضة لممستويات الثلاثة العالي والمتوسط والمنخفض ويمتاز هذا النوع من انظمة مثبت القدرة بادائه الانتقالي العالي.تم تنصيبه على جزء من الشبكة الوطنية العراقية وقد اظهرت النتائج بان التذبذب في زاوية الدوار ,تردد القضيب, السرعة, وسريان القدرة افضل مما في حالة بدون تنصيب نظام مثبت القدرة.

يتناول هذا البحث بناء مثبت نظام قدرة Power System Stabilitizer (PSS) معتمداً في عملية التصميم على نظرية المنطق المضبب (FPSS) باستخدام MATLAB/ SIMULINK في تحليل نظام قدرة مكون من ماكنة تزامنية مرتبطة إلى عمومي لامُنتهٍ عبر خط نقل مزدوج في حالة الاستقرار العابر. ومن خلال المحاكاة تم مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها من المثبت المقترح مع نتائج مثبت نظام القدرة التقليدي (CPSS) من حيث تقليل زمن الاستقرار والاداء الجيد للمثبت في إخماد الاضطرابات التي تنعكس على سرعة دوران المولد وقدرته الفاعلة في ظروف التشغيل المختلفة.

2. مثبت استقرارية نظام القدرة: (Power System Stabilizer-PSS)

إن إحدى نتائج دراسة وتحسين استقرارية نظام القدرة هو استخدام مثبت استقرارية نظام القدرة والذي يعد أحد تطبيقات استقرارية الإشارة الصغيرة فضلاً عن استقرارية الحالة العابرة [1]. يقوم مثبت استقرارية القدرة بإضافة إشارة سيطرة كهربائية في دائرة الإثارة لوحدة التوليد تعمل على إنتاج عزم إخماد موجب يكون بنفس الطور مع انحراف السرعة (Speed Deviation-Δω) والذي يقوم بتعويض العزم السالب الناتج من منظم الفولتية الألي Automatic Regulater (AVR) وحالات الاضطرابات الأخرى، يبين الشكل 1 موقع مُثبت استقرارية نظام القدرة في دائرة الاثارة للماكنة التزامنية [9]. إن مثبت استقرارية القدرة التقليدي Conventional Power System Stabilizer (CPSS) هو من النوع الكلاسيكي تم إستخدامه في إخماد الاضطرابات الخاصة بالقدرة الفاعلة وسرعة المولد، وهو جهاز من النوع التناظري مستنداً في عمله على دالة التحويل ومصمم باستخدام نظريات السيطرة التقليدية (Classical Control Theory) [1]. إن هذا المثبت يكون مهيأ للعمل في ظروف اشتغال خاصة وله دالة التحويل التي يتم الحصول عليها بعد تحويل معادلات النظام اللاخطية إلى معادلات خطية عند نقطة عمل معينة، إلا أن عدم دقة دالة التحويل و اللاخطية العالية التي يتمتع بها نظام القدرة، كذلك تغير ظروف اشتغال النظام الواسعة أدى إلى جعل مثبت استقرارية القدرة التقليدي (CPSS) يعاني من مشاكل حدت من أدائه في أنظمة القدرة.



شكل 1: موقع مُثبت استقرارية نظام القدرة في دائرة الاثارة للماكنة التزامنية

3. نموذج النظام الكلاسيكي (Classical system model)

فبـأخذ الدائرة الموضحة في الشكل 2 والتي تمثل مولداً مرتبطاً الى عمومي لامنته عبر خط نقل

شكل 2: ماكنة تزامنية مرتبطة إلى عمومي لامُنتهٍ عبر خط نقل

وباستخدام النموذج الكلاسيكي لمنظومة القدرة
(Classical Model of System) تكون معادلة القدرة الكهربائية
الحقيقية الخارجة للمولد مساوية لمعادلة العزم الكهربائي [10].

$$Pe = \frac{E'EB}{XT} * \sin\delta \quad = Te * \omega_s \qquad (1)$$

حيث إن :
Pe: القدرة الفاعلة الخارجة من المولد.
E': الفولتية الداخلية للمولد.
EB: فولتية العمومي اللامنتهي.
XT: المفاعلة المكافئة لمنظومة القدرة.
δ: زاوية دوار المولد.
Te: العزم الكهربائي للمولد.
ω_s: السرعة الزاوية للمولد التزامني.

وبتطبيق النظرية الخطية (Linearizing Theory) على المعادلة (1) وحول نقطة عمل معينة يمكن الحصول على المعادلة الآتية[10]:

$$\Delta Pe = \frac{E'E_B}{XT} * (\cos\delta_0) * (\Delta\delta) = \Delta Te \qquad (2)$$

حيث إن :
ΔPe: التغير في القدرة الفاعلة الخارجة من المولد.
δ_0: القيمة البدائية لزاوية دوار المولد.
وباستخدام معادلة التأرجح (Swing Equation) نسبة إلى تأرجح زاوية الدوار للمولد أثناء الاضطراب وكالاتي:

$$\frac{2H}{\omega_O}\frac{d2\delta}{dt^2} = Tm - Te - K_D\Delta\omega_r \qquad (3)$$

حيث أن :
Tm: العزم الميكانيكي المسلط على المولد
K_D: عزم الإخماد للمولد.
$\Delta\omega_r$: التغير في سرعة الدوران للمولد.
ω_O: سرعة دوران المولد المقننة.

حيث إن :

$$\frac{d2\delta}{dt^2} = \omega_O * \frac{d\Delta\omega_r}{dt}$$

$$\frac{d}{dt} = \rho$$

معادلات الحركة هي:

$$\rho\Delta\omega_r = \frac{1}{2H}(Tm - Te - K_D\Delta\omega_r) \qquad (4)$$

$$\rho\delta = K_D\Delta\omega_r \qquad (5)$$

وبتطبيق النظرية الخطية حول نقطة عمل معينة على المعادلتين (4)،(5) لنظام القدرة نحصل على:

$$\rho\Delta\omega_r = \frac{1}{2H}[\Delta Tm - K_s\Delta\delta - K_D\Delta\omega_r] \qquad (6)$$

$$\rho\Delta\delta = \omega_O\Delta\omega_r \qquad (7)$$

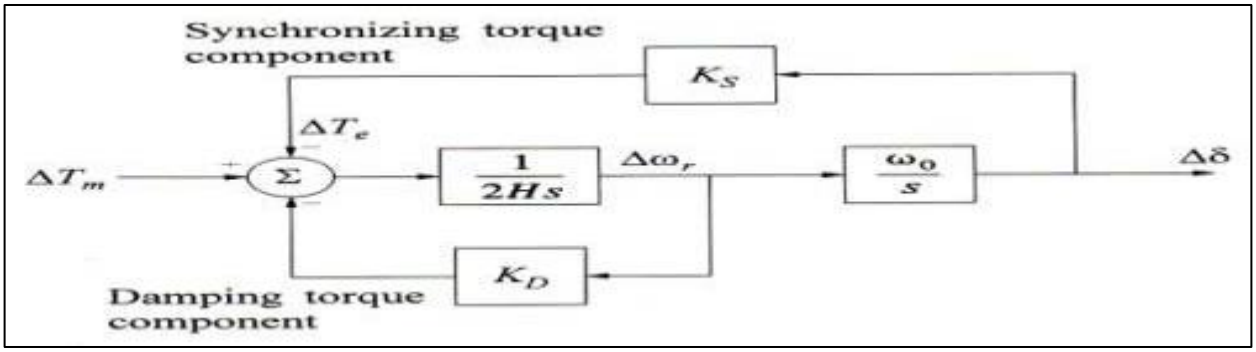
حيث ان :
H: ثابت القصور الذاتي للمولد.
ΔTm: التغير في العزم الميكانيكي المسلط على المولد.
K_s: عزم التزامن للمولد ويساوي:

$$K_s = \frac{E'E_B}{X_T} * \cos\delta_0 \qquad (8)$$

وبوضع المعادلات (6)،(7) بصيغة مصفوفة المتجه (Vector-Matrix) ذات الشكل العام ($\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)$) يظهر لدينا:

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix}\Delta\omega_r\\ \Delta\delta\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\frac{-K_D}{2H} & \frac{-K_s}{2H}\\ \omega_O & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\Delta\omega_r\\ \Delta\delta\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}\frac{1}{2H}\\ 0\end{bmatrix} * \Delta Tm \qquad (9)$$

كذلك يمكن صياغة مصفوفة المتجه التي تم تمثيلها بالمعادلة (9) بالمخطط الكتلي الموضح بالشكل 3 والذي يمثل مولداً مرتبطاً إلى عمومي لامُنتهٍ عبر خط نقل القدرة (SMIB).



شكل 3: المخطط الكتلي لمولد مربوط إلى عمومي لامُنتهٍ عبر خط النقل (SMIB)

لذا فان التردد الطبيعي غير المضمحل (Un damped Natural Frequency- ωn) يساوي:

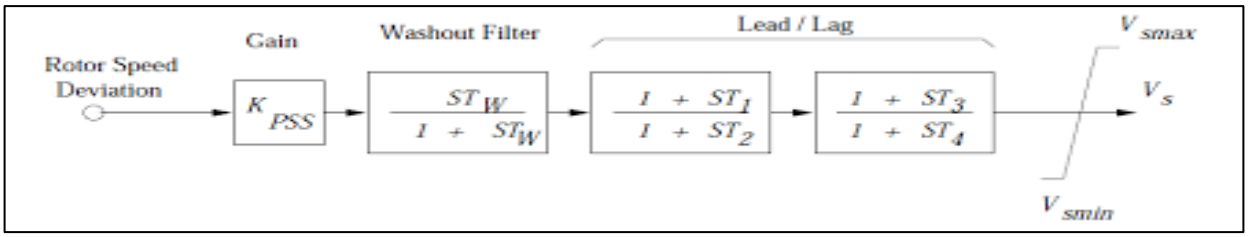
$$\omega_n = (K_S \frac{\omega_O}{2H})^{1/2} \qquad (10)$$

أما نسبة الإخماد (Damping Ratio- ζ) فتكون:

$$\zeta = \frac{1}{2} * \frac{K_D}{(K_S 2H\omega_O)^{1/2}} \qquad (11)$$

4. مثبت استقرارية نظام القدرة العام (Generic-PSS):

تتضح الصيغة العامة لمثبت استقرارية نظام القدرة العام (GPSS) في الشكل 4:



شكل 4: يوضح تركيب مثبت استقرارية نظام القدرة العام(GPSS)

يسمى الحد الأول من هذا المثبت كسب المثبت (Stabilizer gain) والذي يمثل مقدار الزيادة المعطاة إلى المثبت للحصول على فولتية الإخماد المطلوبة [1،10]. أما الحد الثاني من المثبت الموضح في الشكل 2 و12 فيسمى بمرشح الإزالة أو حد التصفير (Washout Filter) والمستخدم لضمان عدم اشتغال المثبت عند تغيرات الحالة الثابتة المستقرة، حيث يعمل على إزالة تأثير التعويض بعد زمن تأخير قدره (TW) بقيمة تتراوح بين (3-4) ثوانٍ. بينما يمثل الحد الثالث دائرة (تقدم– تأخر) طور-Lead (Compensator Lag) تقوم بتجهيز تعويض طور متقدم لاحتواء تخلف الطور خلال مسار السيطرة على النظام وعند تردد التذبذب أي أنه يقوم بمعالجة التذبذبات التي يتراوح مداها بين (0.1-2.5)هرتز[1،9].

5. مثبت نظام القدرة المضبب(Fuzzy Power System Stabilizer-FPSS):

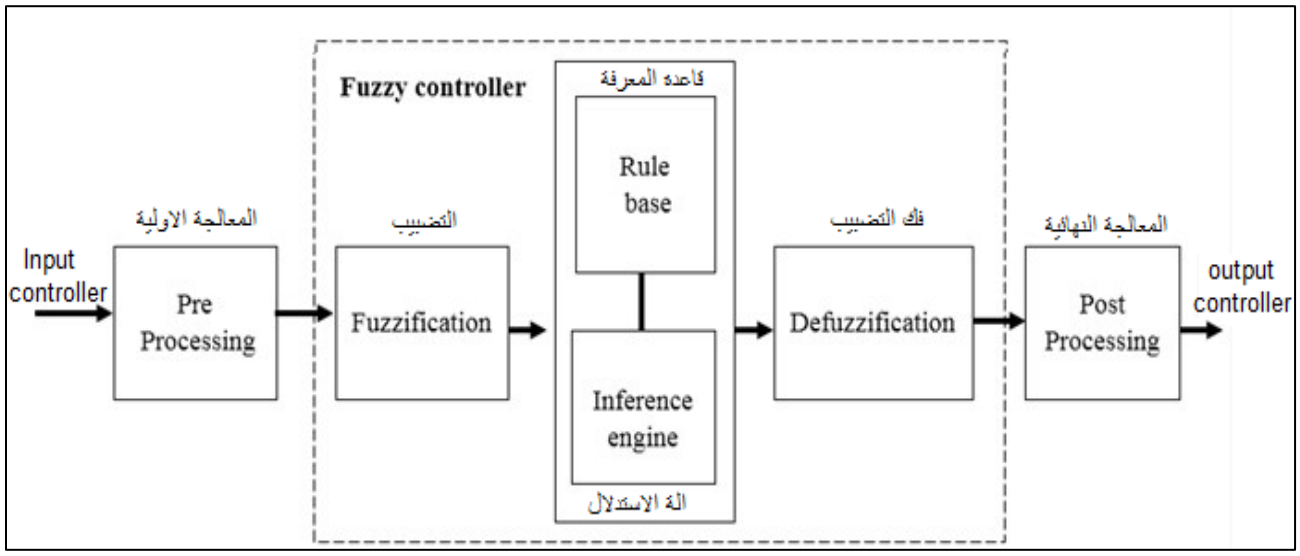
إن إحدى الطرق الحديثة المستخدمة في تصميم مثبت استقرارية نظام القدرة (PSS) هو المنطق المضبب. إن أنظمة السيطرة المضببة (Fuzzy Logic Control) هي أنظمة مبنية على القواعد اللغوية بحيث إن مجموعة قواعد تمثل آلية قرار السيطرة لتعديل أو تضبط التأثيرات الناتجة عن أسباب معينة قادمة من النظام لذا فالمنطق المضبب يتميز بأنه لا يحتاج إلى تمثيل رياضي دقيق للمنظومة ويستطيع التعامل مع الأنظمة اللاخطية ذات المدى الواسع من التغيرات إضافة إلى تقليله من زمن إنشاء مسيطرات النظام. لذا فتصميم مثبت استقرارية نظام القدرة المضبب (FPSS) كان فعال جداً وان نتائج جيدة تم الحصول عليها من الباحثين في هذا المجال [9].

6. سيطرة المنطق المضبب: (Fuzzy Logic Control) [11]

تعد تقنية السيطرة المضببة واحدة من أكثر استخدامات المنطق المضبب شيوعا, فقد أثبت نجاحات كبيرة في العديد من التطبيقات الصناعية والهندسية ولاسيما في تطبيقات نظم القدرة. إن الغاية الأساس لسيطرة المنطق المضبب (Fuzzy Logic Control) هي السيطرة على العمليات المعقدة بسبب قدرتها على معالجة مشاكل السيطرة اللاخطية فهي طريقة سهلة وتنافسية وأداة سيطرة متميزة في الأنظمة اللاخطية لاحتمالية تمثيل المسيطر بشكل لغوي بدلا من المعادلات الرياضية المعقدة. من جهة أخرى فان المسيطرات المضببة يمكن أن تمتلك الدقة والبنية التحليلية فضلا عن ضمان الحفاظ على استقرارية النظام، فالسيطرة المضببة يمكن أن تستخدم بشكل آمن مع كفاءة عالية وكلفة قليلة.

1.6. عناصر المسيطر المضبب: (Element of Fuzzy Controller)

إن بنية المسيطر المضبب تتركب من الأجزاء الموضحة في الشكل 5 وكما يلي [11]:



شكل 5: تركيب المسيطر المضبب

A. التضبيب (Fuzzification) : وهو أول عنصر في المسيطر المضبب الذي يتم فيه تحويل الإدخالات الحدية (Crisp Input) إلى قيم لغوية مضببة ذوات درجات عضوية مختلفة تكون جاهزة للمعالجة من قبل وحدة اتخاذ القرار (آلة الاستدلال).

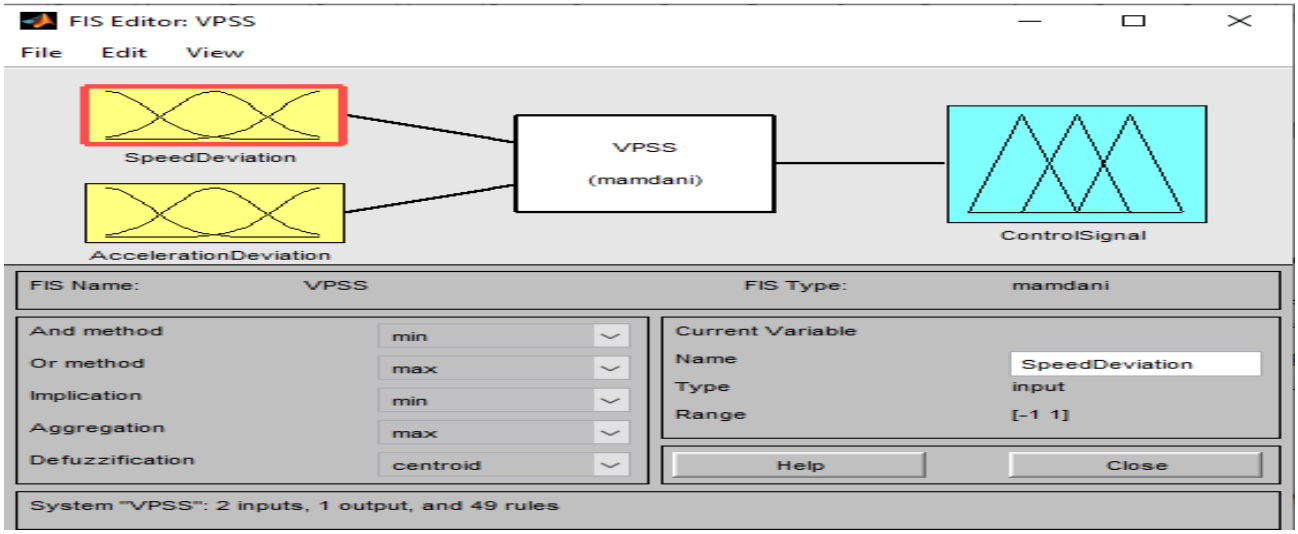
B. قاعدة المعرفة (Knowledge Base) : وهي مجموعة من الشروط مصاغة من قبل المصمم بأدق التفاصيل لنظام معين تتم من خلالها معالجة الإدخال لصياغة الإخراج.

C.الاستدلال الضبابي (Fuzzy Inference): وهو عملية تحويل إدخالات نظام معين إلى إخراجات ضبابية بالاعتماد على المجاميع المضببة حيث يمر بمرحلتين،مرحلة التضمين(Implication) ومرحلة التجميع (Aggregation) [9] :

D. إزالة الضبابية (Defuzzification): ويتم من خلالها تقويم القواعد الناتجة من الاستدلال الضبابي لتكون رقما واضحا يستخدم كإشارة سيطرة لعملية ما. وهناك أساليب مختلفة لإزالة التضبيب. إن الاسلوب المستخدم لإزالة تضبيب المثبت المضبب هي اسلوب مركز الثقل (Center of Gravity) والمسمى أيضا (Centerioid) وذلك لإيجاد القيمة الحدية (Crisp Value) لإخراج المثبت لما تتميز به هذه الطريقة من نعومة ودقة مؤثرة في النتائج [12،13].

7. التصميم الحاسوبي لمثبت القدرة المضبب: (Computer Design FPSS)

استخدمت مكتبة برمجيات برنامج المحاكاة (MATLAB/SIMULINK) المسماة (Fuzzy Logic Toolbox) من أجل تصميم مثبت استقرارية نظام القدرة المضبب (FPSS) والمبين في الشكل 6 وباتباع الخطوات التالية:



شكل 6: المخطط التركيبي للمنطق المضبب في برنامج (MATLAB) المستخدم في تصميم مثبت القدرة المضبب (FPSS)

1.7. تحديد متغيرات الإدخال والإخراج للمثبت المضبب:

تم اختيار متغيرين في الإدخال ومتغير واحد في الإخراج وذلك للحصول على إشارة التثبيت المطلوبة كما يأتي:

1- انحراف السرعة (Speed Deviation-$\Delta\omega$): وتمثل الإدخال الأول للمثبت المضبب وهو مقدار الفرق بين السرعة التزامنية وسرعة المولد أثناء تعرض النظام إلـى أي اضطراب.

2- انحراف التعجيل (Acceleration Deviation-$\Delta\acute{\omega}$): ويمثل الإدخال الثاني للمثبت المضبب وهو مقدار الفرق بين القيمة السابقة واللاحقة لانحراف السرعة.

3- فولتية المثبت للمسيطر المضبب (Stabilizer Voltage-VPSS):ويمثل مقدار إشـارة السيطرة (Control Signal) الخارجة من المثبت المقترح والتي تجتمع مع إشارة السيطرة لمنظم الفولتية الآلي (AVR) من أجل الحصول على إشارة التثبيت المناسبة.

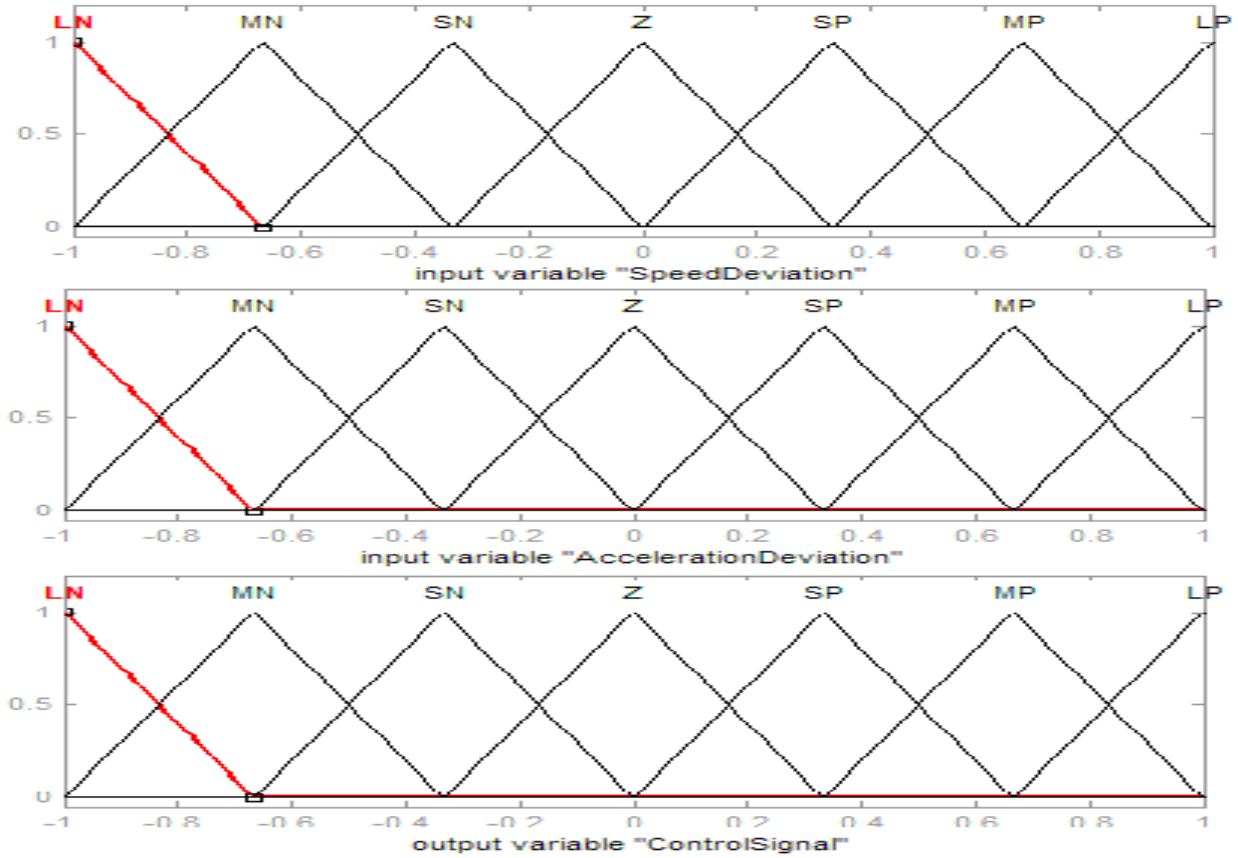
2.7. اختيار الدوال العضوية للمثبت المضبب:

تم اختيار دوال عضوية من النوع المثلثي (Triangular Member Ship Function-Trimf) لتضبيب إدخال وإخراج المثبت المقترح وباستخدام سبع دوال موصـــوفة بمتغيرات لغوية موضحة في الجدول1 .

جدول 1

المتغير اللغوي	رمز المتغير اللغوي
Large Negative	LN
Medium Negative	MN
Small Negative	SN
Zero	Z
Small Positive	SP
Medium Positive	MP
Large Positive	LP

المتغيرات اللغوية لدوال الإدخال والإخراج
أما حدود دوال العضوية لإدخال وإخراج المثبت فهي موضحة في الشكل 7.

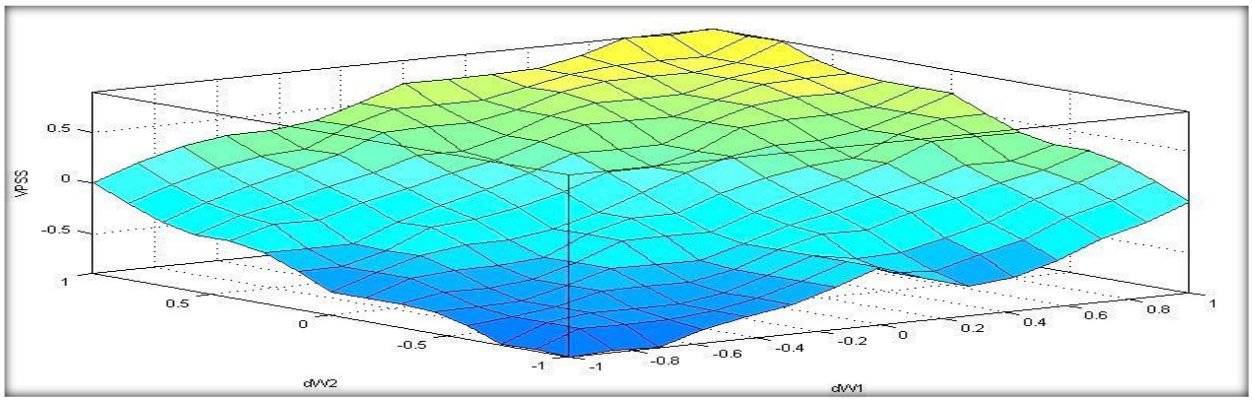


شكل 7: دوال عضوية إدخال وإخراج المثبت المضبب المقترح

كما ان الصيغة النهائية للقواعد اللغوية المستخدمة في تصميم المثبت المضبب تكون موضحة في الجدول (2). أما السطح المفسر لهذه القواعد فيوضحه الشكل 8.

جدول 2
القواعد اللغوية للمثبت المضبب

Δω \ Δω̇	LN	MN	SN	Z	SP	MP	LP
LN	LN	LN	MN	MN	SN	SN	Z
MN	LN	MN	MN	SN	SN	Z	SP
SN	MN	MN	SN	SN	Z	SP	SP
Z	SN	SN	SN	Z	SP	SP	MP
SP	MN	SN	Z	SP	SP	MP	MP
MP	SN	Z	SP	SP	MP	MP	LP
LP	Z	SP	SP	MP	MP	LP	LP



شكل 8: السطح المفسر لقواعدالمثبت المضبب

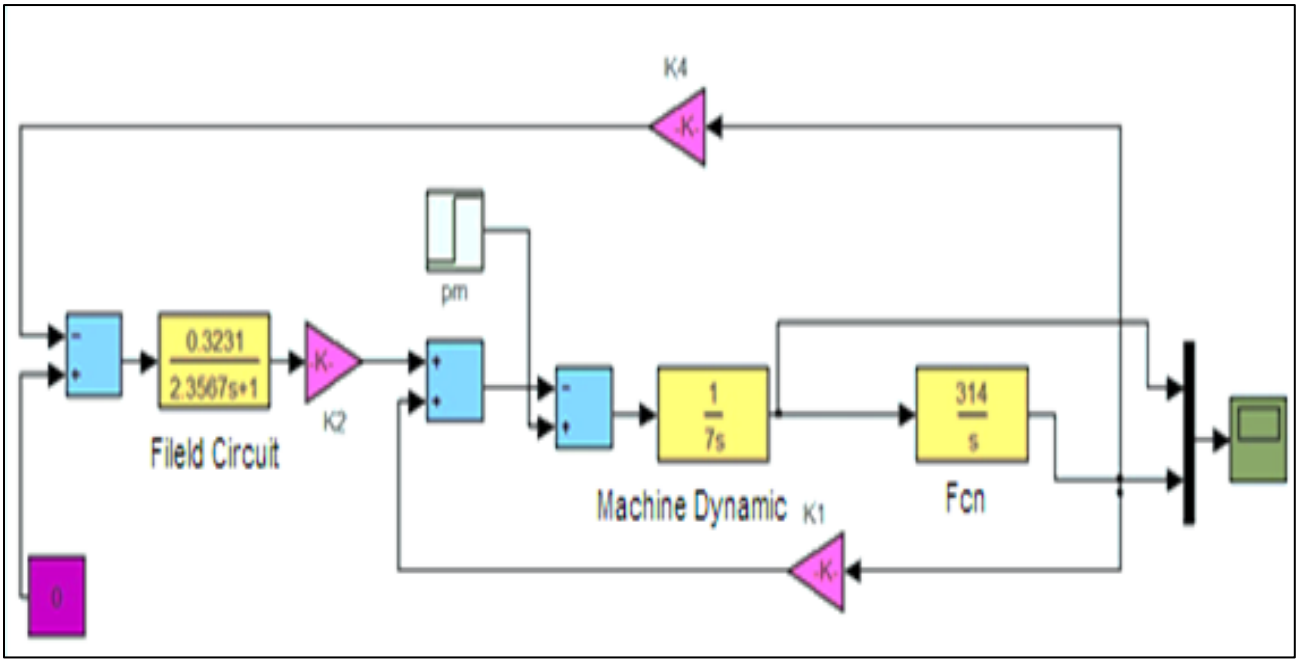
8. النتائج والمناقشة

تم دراسة واختبار نظام القدرة (SMIB) بوجود وعدم وجود نظام الاثارة وكذلك اضافة مثبت نظام القدرة التقليدي (CPSS) واضافة مثبت نظام القدرة بالاعتماد على المنطق المضبب(FPSS) بأستخدام ثوابت (K) .حيث ان ثوابت منظومة القدرة نوع (SMIB) :

XT1 =0.5, XT2 = 0.95 Vt0=1, Tw=1.4, f=50, Td0′ =8, Xd=1.8, Xd′ =0.3, Xq=1.76, H=3.5,KA=200, .TA=0.0015, Re=0

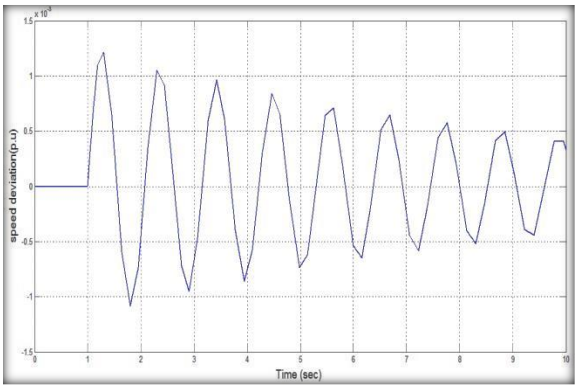
1.8. اداء النظام (SMIB) بعدم وجود نظام الاثارة:

الشكل 9 يمثل المخطط الكتلي لنظام (SMIB) بدون وجود نظام الاثارة.الخصائص الديناميكية للنظام يتم التعبير عنها من خلال ثوابت (K). تم حساب قيم ثوابت (K) بالاعتماد على ثوابت النظام : K4=1.4189, K3=0.3231 , K2=0.8644 , K1=0.7636 .

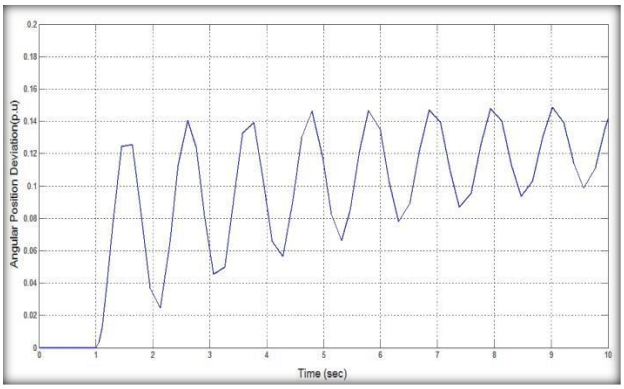


شكل9: نموذج نظام القدرة (SMIB) بدون AVR وPSS

الشكل 10 و 11 يمثل استجابة النظام (SMIB) لأنحراف السرعة مع الزمن وانحراف الزاوية مع الزمن على التوالي وبعدم وجود نظام الاثارة .



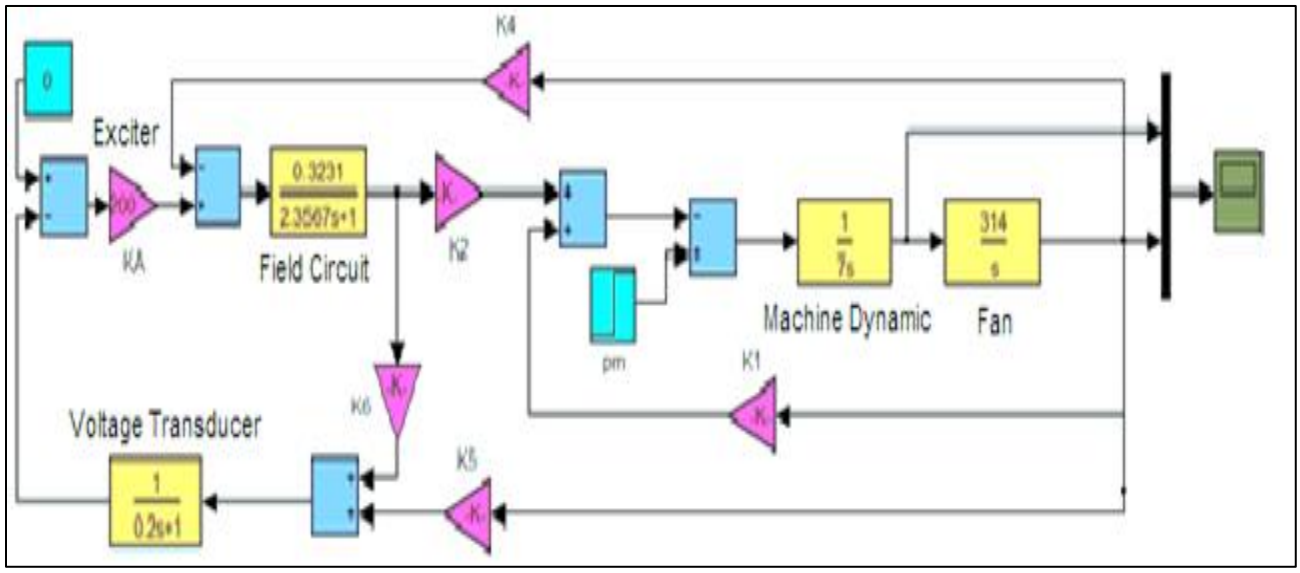
شكل 10: استجابة انحراف السرعة للنظام بدون AVR



شكل 11: استجابة انحراف الزاوية للنظام بدون AVR

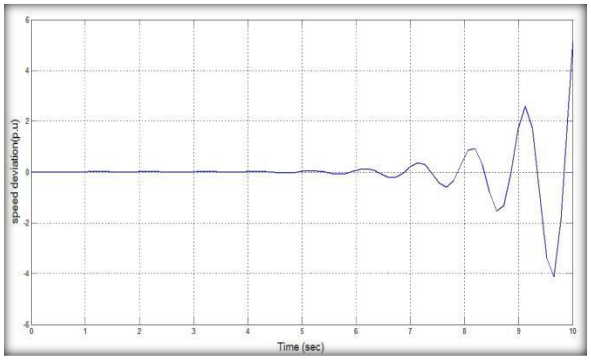
2.8. اداء النظام(SMIB) بوجود نظام الاثارة:

الشكل 12 يمثل المخطط الكتلي للنظام (SMIB) بوجودAVR . تم حساب قيم ثوابت (K) بالاعتماد على ثوابت النظام : K1=0.7636 , K5=-0.1467, K4=1.4189, K3=0.3231 , K2=0.8644 . K6=0.4167,

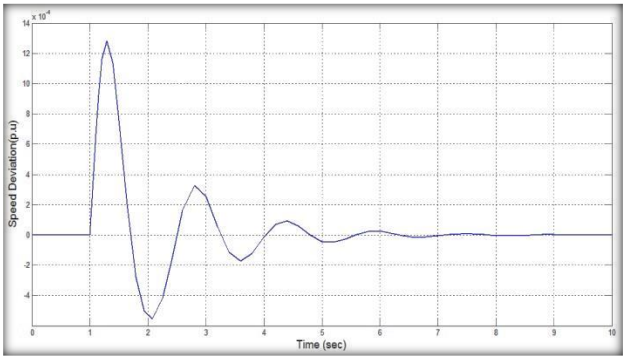


شكل 12: نموذج محاكاة نظام القدرة بوجود AVR

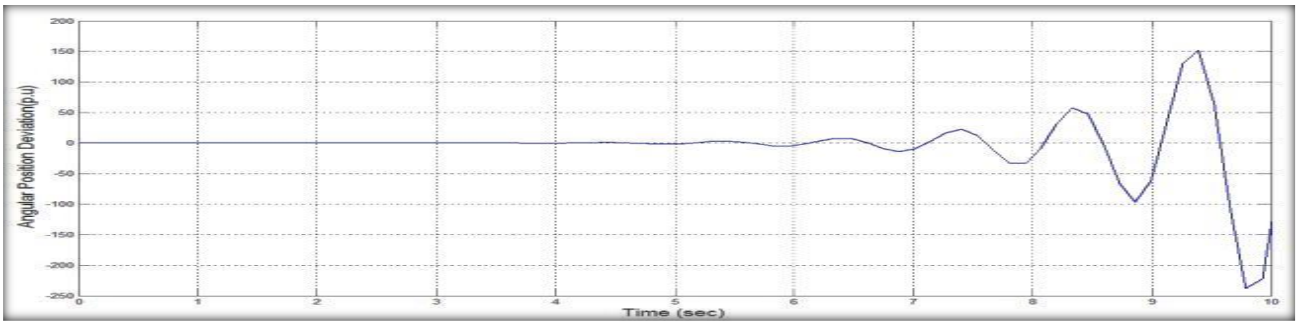
شكل 13و14و15و16 توضح استجابة النظام (SMIB) لانحراف السرعة والزاوية مع الزمن وقيمة k5 سالبة وموجبة على التوالي بوجود AVR.



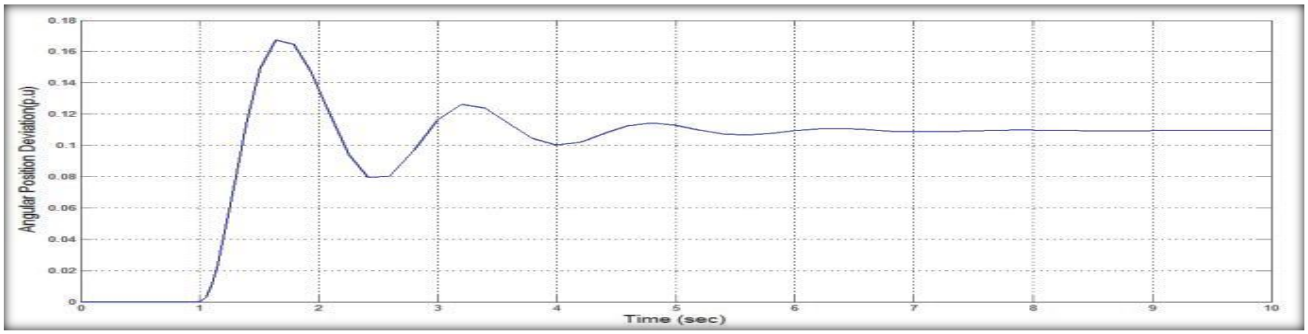
شكل 13: استجابة انحراف السرعة للنظام بوجود AVR وقيمة K5 سالبة



شكل 14: استجابة انحراف السرعة للنظام بوجود AVR وقيمة K5 موجبة



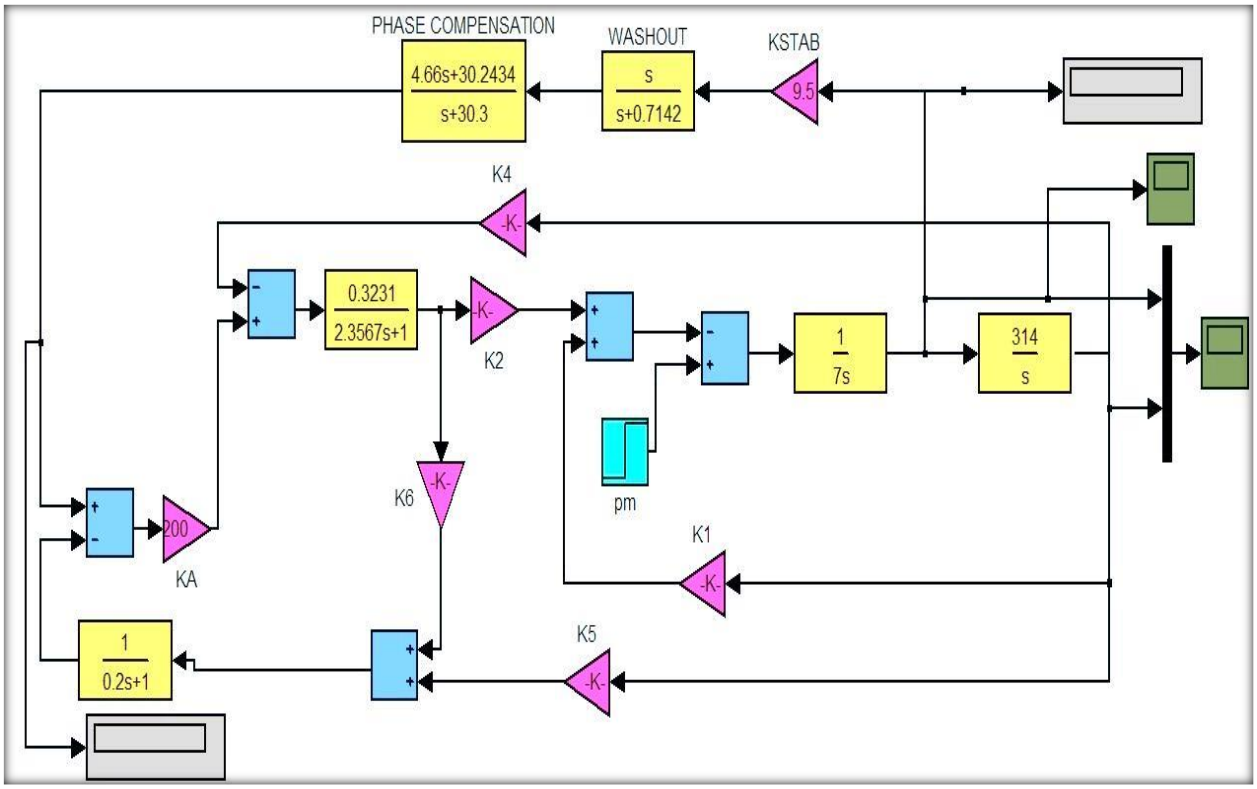
شكل 15: استجابة انحراف الزاوية بوجود AVR و K5 سالبة



شكل 16: استجابة انحراف الزاوية بوجود AVR و K5 موجبة

في الشكل 13 و15 نلاحظ ان استجابة النظام من نوع الاخماد الناقص (under damping) وكما نلاحظ في الشكلين ان قيمة الاخماد سالب لان قيمة K5 سالبة وهذا صحيح عندما تكون قيمة المفاعلة للنظام الخارجية عالية واخراج المولد عالي (High generator output). اما عند اخذ قيمة K5 موجبة اي ان مفاعلة النظام الخارجية قليلة واخراج المولد قليل,فان الاخماد يكون موجب وبالتالي فان اداء النظام يكون مستقر وكما هو واضح في شكل 14و16.من خلال التحليل السابق

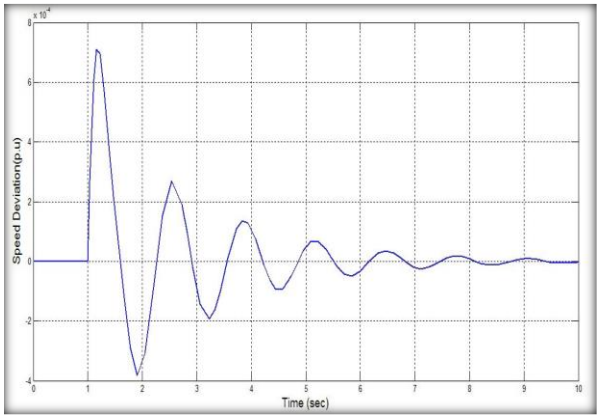
نستنتج ان AVR يؤثر على اخماد النظام عن طريق قيمة k5 كانت موجبة ام سالبة وبالتالي تؤثر على سلوك النظام كونه مستقر او غير مستقر.ان السبب الرئيسي لعدم استقرار النظام هو الاخماد السالب ولألغاء هذا النوع من الاخماد نربط مثبت نظام القدرة التقليدي(CPSS) ولاحقاً مثبت نظام القدرة بالاعتماد على المنطق المضبب (FPSS). يوضح الشكل 17 نموذج محاكاة نظام القدرة (SMIB) بوجود مثبت نظام القدرة التقليدي (CPSS).



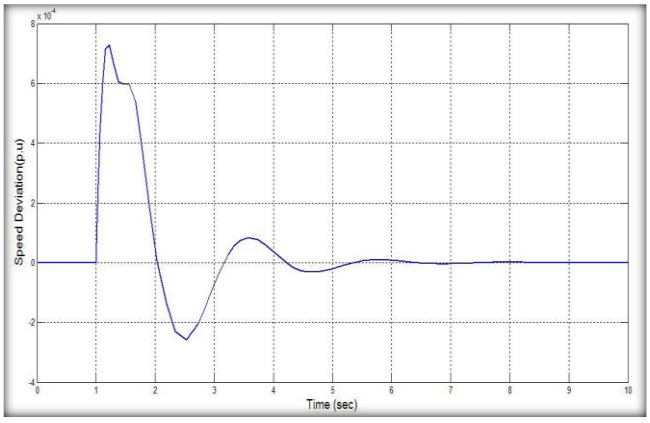
شكل 17: نموذج محاكاة نظام القدرة (*SMIB*) بوجود مثبت نظام القدرة (*CPSS*)

يوضح شكل 18 و19 استجابة النظام لانحراف السرعة عندما تكون قيمة K5 سالبة وموجبة على التوالي.كما يوضح شكل 20 و 21 استجابة النظام لانحراف الزاوية عندما تكون قيمة k5 سالبة وموجبة على التوالي.

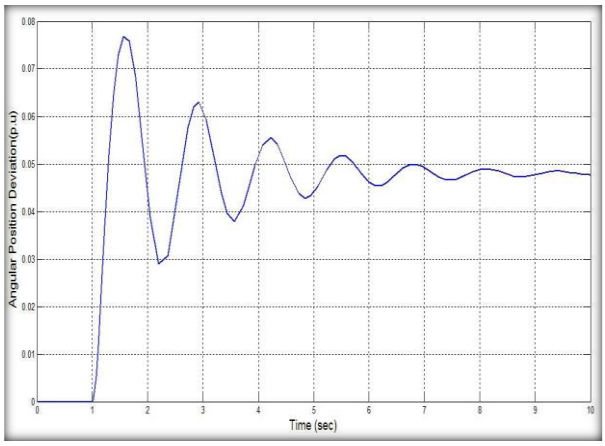
نلاحظ من الاشكال ان النظام مستقر لكل من قيمة K5 موجبة او سالبة.كما نلاحظ التذبذب في انحراف السرعة وانحراف الزاوية عندما تكون قيمة K5 سالبة اكبر مما عليه عندما تكون k5 موجبة.وذلك عندما تكون k5 سالبة يكون زمن الحالة العابرة اكبر مما هو عليه عندما تكون موجبة ويزداد التذبذب.



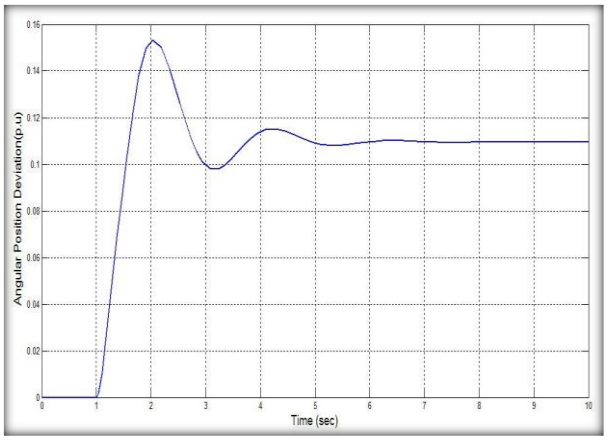
شكل 18: استجابة انحراف السرعة لنظام القدرة بوجود (CPSS) وقيمة K5 سالبة



شكل 19: استجابة انحراف السرعة لنظام القدرة بوجود (CPSS) وقيمة K5 موجبة



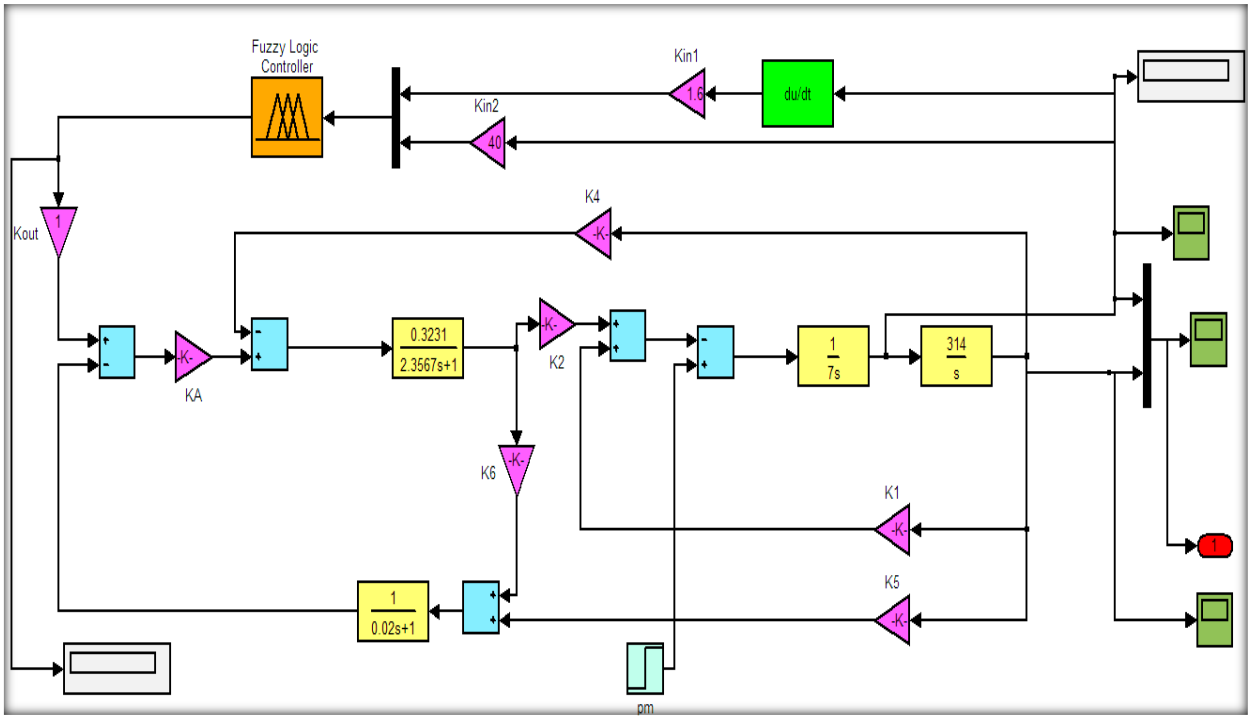
شكل 20: استجابة انحراف الزاوية لنظام القدرة بوجود (CPSS) وقيمة K5 سالبة



شكل 21: استجابة انحراف الزاوية لنظام القدرة بوجود (CPSS) وقيمة K5 موجبة

3.8. اداء النظام (SMIB) بوجود مثبت نظام القدرة بالاعتماد على المنطق المضبب(FPSS):

بالاستناد إلى التمثيل الحاسوبي للمولد المربوط الى عمومي لامُنتهٍ عبر خط النقل (SMIB) يوضح شكل 22 هيكلية بناء مثبت القدرة المضبب (FPSS) وذلك باستخدام الكتلة الصندوقية المسماة (Fuzzy Logic Controller with Ruleviewer) في (MATLAB/SIMULINK) حيث يتكون المثبت المضبب من إدخالين ($\Delta\omega, \Delta\dot{\omega}$)واخرج واحد (VPSS) يضاف إلى فولتية مثبت الفولتية الآلي (AVR) وذلك لإخماد الاضطرابات الحاصلة في قدرة المولد الحقيقية وسرعته عند التحميل المفاجئ وعند الأعطال. يحوي المثبت المضبب الموضح في الشكل 22 على متغيرات في الإدخال والإخراج والتي اختيرت بطريقة الصواب والخطأ (try and error) وتمثل مقدار الكسب المعطى لمتغيري الإدخال(K_{in2}, K_{in1}) ومتغير الإخراج (K_{out})للحصول على أفضل أداء للمثبت في منظومة القدرة حيث قيم : $K_{in1} = 1.6$ ، $K_{in2} = 40$.

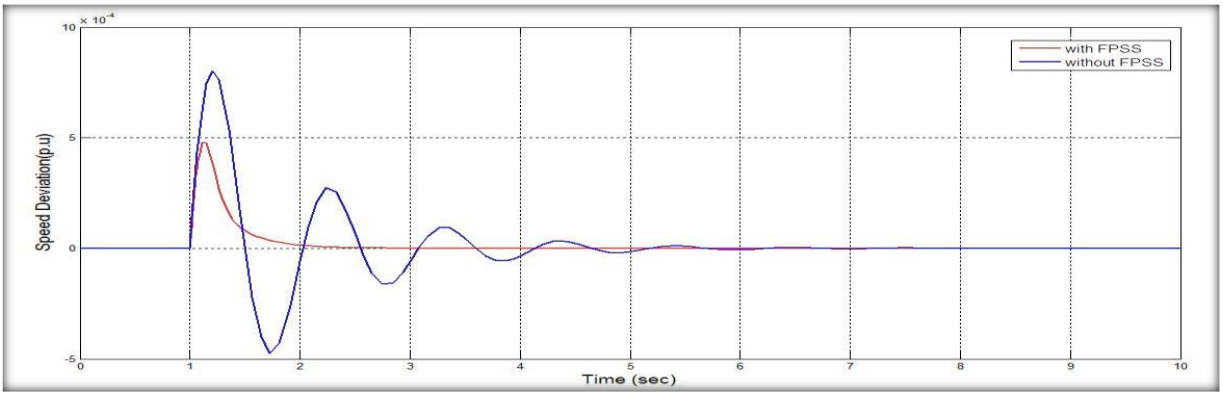


شكل 22: نموذج محاكاة نظام القدرة(SMIB)بوجود مثبت نظام القدرة بالاعتمادعلى المنطق المضب

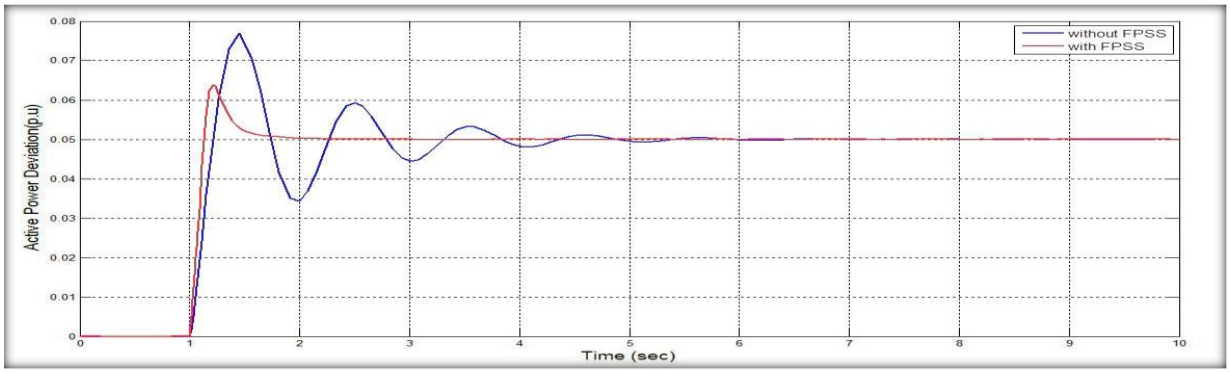
للكشف عن أداء مثبت استقرارية القدرة المضبب (FPSS) اقتضى ذلك إخضاع منظومة القدرة المقترحة إلى أنواع من الاضطرابات.

1.3.8. زيادة في القدرة الميكانيكية (P_m)بنسبة 5% :

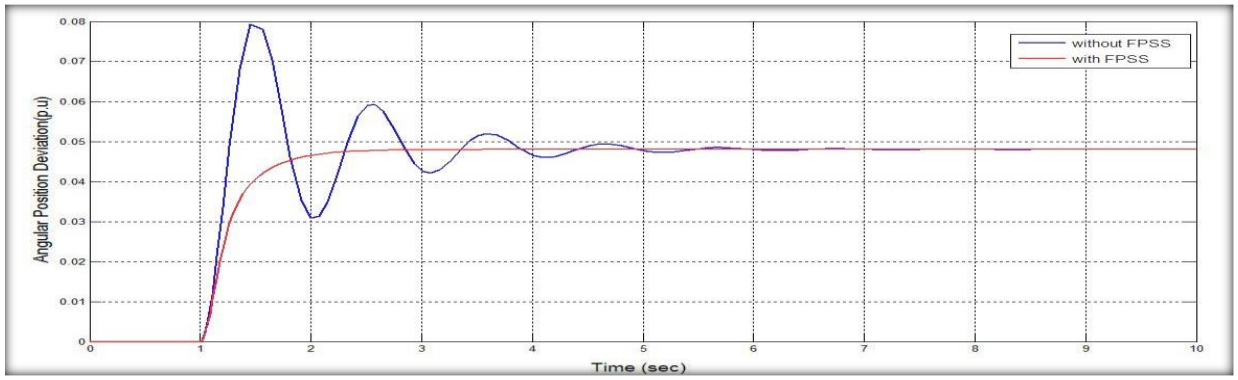
عند زيادة القدرة الميكانيكية المجهزة لمنظومة القدرة وبمقدار (5%)عند الزمن(1sec) تم الحصول على النتائج الموضحة في الاشكال 23 و24 و25 لكل من انحراف السرعة وانحراف القدرة الحقيقية للمولدوانحراف الزاوية وذلك بوجود المثبت المقترح (FPSS) والمثبت التقليدي (CPSS).



شكل 23: استجابة انحراف السرعة بوجود (FPSS) و(CPSS) عند زيادة (P_m) بنسبة 5% وقيمة k5 سالبة



شكل 24: استجابة انحراف القدرة الحقيقية بوجود (FPSS) و(CPSS) عند زيادة (P_m) بنسبة 5%و قيمةk5 سالبة



شكل 25: استجابة انحراف الزاوية بوجود (FPSS) و(CPSS) عند زيادة (P_m) بنسبة 5% و قيمة k5 سالبة .

نلاحظ من خلال الاشكال 23 و 24 و 25 استجابة النظام بوجود مثبت القدرة المقترح (FPSS) اكثر استقراراً مما عليه بوجود مثبت القدرة التقليدي (CPSS), والجدول 3 يوضح مقارنة تأثير المثبت المقترح ومثبت القدرة التقليدي لمنظومة القدرة من خلال القيم التي تم الحصول عليها لزمن الاخماد لكل من انحراف السرعة وانحراف القدرة الحقيقية وانحراف الزاوية لمولد منظومة القدرة التزامني عند زيادة القدرة الميكانيكية بنسبة 5%.

جدول 3

قيم زمن الاخماد لأداء المثبت المضبب والتقليدي على انحراف السرعة والقدرة الحقيقية والزاوية عند زيادة القدرة الميكانيكية بنسبة 5%.

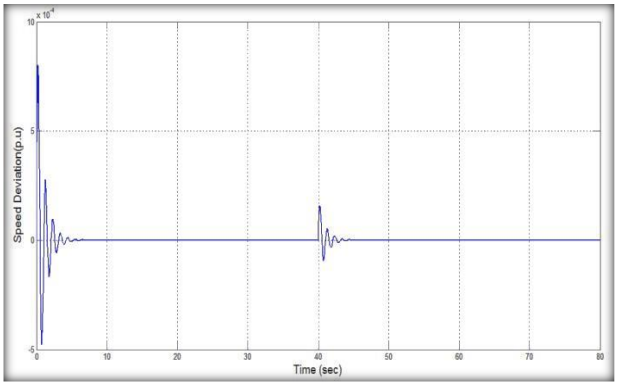
زمن الاخماد ts (msec)	**بوجود المثبت (CPSS)**	**بوجود المثبت (FPSS)**
زمن الاخماد لانحراف السرعة	0.04	0.0023
زمن الاخماد لانحراف القدرة الحقيقية	3.84	3.19
زمن الاخماد لانحراف الزاوية	3.962	2.35

فمن خلال الجدول 3 نلاحظ إن إضافة المثبت المضبب (FPSS) أدى إلى تقليل زمن الاخماد بمقدار(0.0377msec)لانحراف سرعة المولد التزامني و(0.65msec)لانحراف القدرة الحقيقية و(1.612msec) لأنحراف الزاوية.

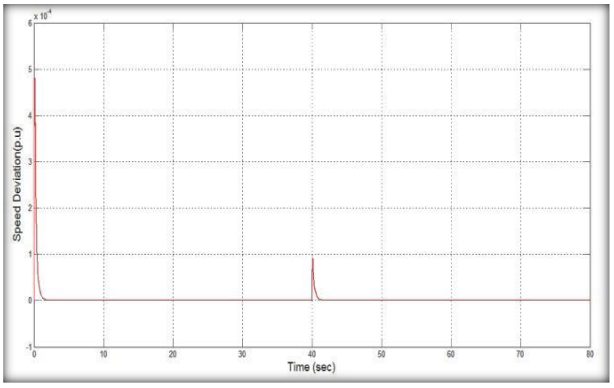
2.3.8. زيادة في القدرة الميكانيكية(P_m) بنسبة 1%:

تم اختبار المثبت المقترح بزيادة القدرة الميكانيكية بنسبة (1%) عند الزمن (40 sec) واظهرت النتائج سرعة استجابة النظام لاستقرار اشارة كل من السرعة والقدرة الحقيقية والزاوية

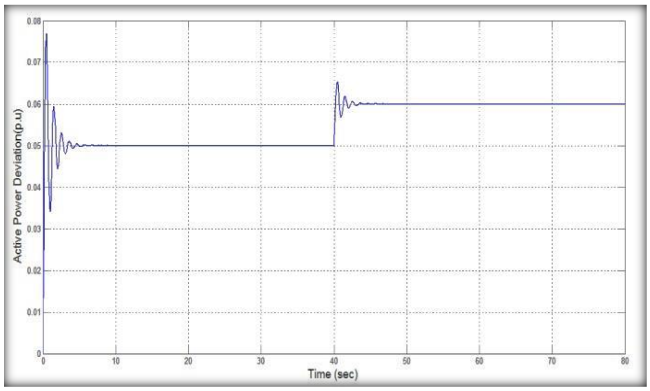
يوضح شكل 26 و 27 استجابة انحراف السرعة عند زيادة القدرة الميكانيكية بمقدار (1%) عند الزمن (40sec) بوجود (CPSS) و (FPSS) على التوالي.كما يوضح شكل 28 و 29 استجابة انحراف القدرة الحقيقية عند زيادة القدرة الميكانيكية بمقدار (1%) عند الزمن (40sec) بوجود (CPSS) و (FPSS) على التوالي.اما الشكل 30 و 31 يوضحان استجابة انحراف الزاوية عند زيادة القدرة الميكانيكية بمقدار (1%) عند الزمن (40sec) بوجود (CPSS) و (FPSS) على التوالي.



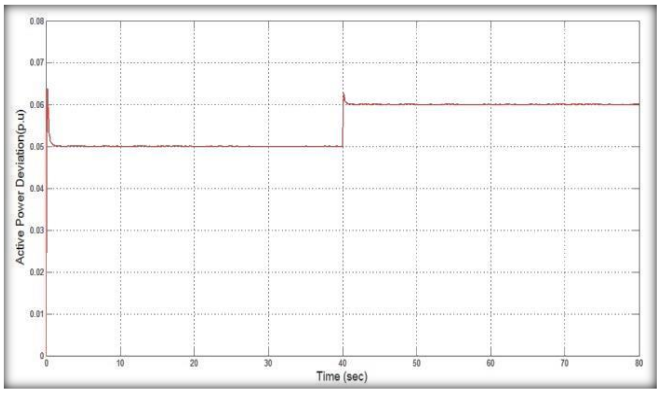
شكل 26: استجابة انحراف السرعة عند زيادة القدرة الميكانيكية بمقدار (1%) عند الزمن (40sec) بوجود (CPSS)



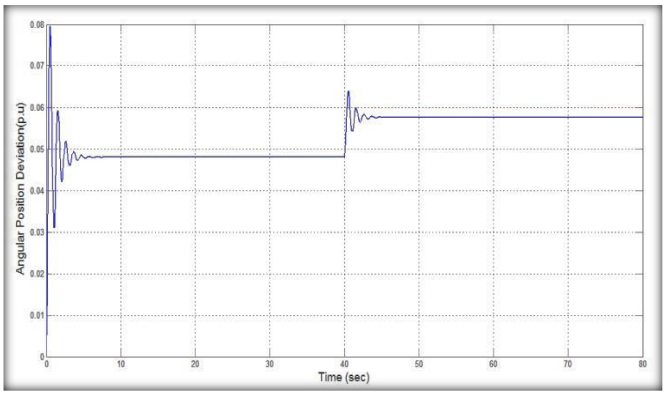
شكل 27: استجابة انحراف السرعة عند زيادة القدرة الميكانيكية بمقدار (1%) عند الزمن (40sec) بوجود (FPSS)



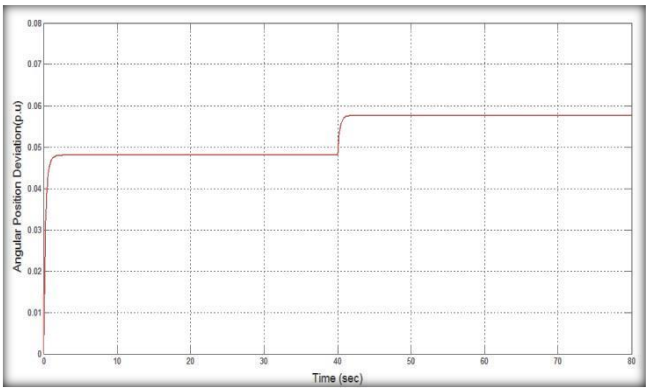
شكل 28: استجابة انحراف القدرة الحفيقية عند زيادة القدرة الميكانيكية بمقدار (1%) عند الزمن (40sec) بوجود (CPSS)



شكل 29: استجابة انحراف القدرة الحفيقية عند زيادة القدرة الميكانيكية بمقدار (1%) عند الزمن (40sec) بوجود (FPSS)



شكل 30: استجابة انحراف الزاوية عند زيادة القدرة الميكانيكية بمقدار (1%) عند الزمن (40sec) بوجود (CPSS)



شكل 31: استجابة انحراف الزاوية عند زيادة القدرة الميكانيكية بمقدار (1%) عند الزمن (40sec) بوجود (FPSS)

9. الاستنتاجات

تناول هذا البحث عملية تصميم وتنفيذ لمثبت استقرارية نظام القدرة المضبب (FPSS) باستخدام المسيطر المضبب وذلك لإخماد التذبذبات الواقعة على محور دوران المولد التزامني والمنعكسة سلبا على سرعة دورانه وقدرته الفاعلة. باضافة مثبت استقرارية نظام القدرة المضبب (FPSS)المصمم باستخدام (MATLAB/Fuzzy Logic Toolbox) إلى منظومة القدرة نوع (SMIB)، حيث لوحظ ان عند تعرض المنظومة لبعض الاضطرابات يكون (FPSS) أكثر فعالية مقارنة مع (CPSS) حيث قل زمن الاخماد لكل من انحراف السرعة والقدرة الحقيقية والزاوية بمقدار 94.25% و 16.5% و 40.68% على التوالي عند زيادة القدرة الميكانيكية بمقدار 5% .كما اظهرت النتائج سرعة استجابة النظام لاستقراراشارة كل من السرعة والقدرة الحقيقية والزاوية عند تعرضه الى زيادة مفاجئة بالقدرة الميكانيكية بنسبة (1%) عند الزمن (40 sec) من التشغيل .أثبتت نتائج المحاكاة ان مثبت نظام القدرة المضبب يوفر اداء افضل واستجابة اسرع مقارنة بمثبت النظام التقليدي .

REFERENCES

[1] Kundur P. Power system stability and control. 1st ed., New York: Mc Graw -Hil;1994.

[2] Ghoneim GA, Ahmed AM. The design of a fuzzy logic based power systemstabilizer applied to

two electric power generation units. *Arab Journal for Scientific Publishing* 2020; (18): 41–68.

[3] Kanafgorabi H, Karami A. Online tuning of power system stabilizers using fuzzy logic network with fuzzy c-means clustering. *Journal of Electrical & Electronic Systems* 2015; 4 (1):

[4] El-Metwally KA, Malik OP.Fuzzy logic power system stabilizer. *IEE Proc-Generation, Transmission, Distribution* 1995; 142 (3): 277–281.

[5] Al-Mohammed E, El-Metwally KA. Spectral monitoring based fuzzy logic stabilizer for multi- machine power system. American Control Conference 2000 Jun 28-30; Chicago, IL, USA. p. 3964-3968.

[6] Lin YJ. Systematic approach for the design of a fuzzy power system stabiliser.Intemailonal Conference on Power System Technology 2004 Nov 21-24; Singapore. p. 747-752.

[7] Hwang GIH, Kim DW, Young-Joo JHA. Design of fuzzy power system stabilizer using adaptive evolutionary algorithm. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 2008; 21 (1): 86–96.

[8] Habbi H, Al-hamadani A. Power system stabilizer pss4b model for iraqi national grid using pss/e software. *Journal of Engineering* 2018; 24 (5): 29–45.

[9] AbdAlrahim W, Ishag M. Fuzzy logic controller for power system stabilizer.M.Sc.Thesis. Sudan University; Sudan: 2009.

[10] Lu J, Nehrir MH, Pierre DA. A fuzzy logic-based adaptive power system stabilizer for multi-machine systems. *IEEE Power Engineering Society Summer Meeting,Seattle,WA,USA* 2000; 1: 111–115.

[11] Dobrescu M, Kamwa I. A new fuzzy logic power system stabilizer performances. Power Systems Conference and Exposition 2004 Oct 10-13; New York, NY, USA. p. 1056-1061.

[12] Habbi H, Alhamadani A. Implementation of power system stabilizer base on conventional and fuzzy logic controllers. *Journal of Engineering* 2018; 24 (3): 97–113.

[13] اسراء إسماعيل خليل. تحسين استقرارية الحالة العابرة لمنظومة القدرة باستخدام المنطق المضبب. مجلة تكريت للعلوم الهندسية 2015; 22 (2):