

## استخدام المسيطرات التناسبية - التكاملية (PI) القوية لتحسين منحني استجابة الخطوة لتيار المقوم لنظام التيار المستمر ذي التوتر العالي

طه محمد جبان<sup>(١)</sup>، محمد علاء الدين العلي<sup>(١)</sup>، علي ناظم حمودي<sup>(١)</sup>، عبدالكريم زويغ منصور<sup>(٢)</sup>

<sup>(١)</sup> قسم نظم القدرة الكهربائية  
كلية الهندسة الكهربائية والالكترونية  
جامعة حلب- سورية  
<sup>(٢)</sup> قسم تقنيات هندسة القدرة الكهربائية  
الكلية التقنية- الموصل - العراق

(قدم للنشر في ١٠/٠٢/٢٠١٠م؛ وقبل للنشر في ٢١/١٢/٢٠١٠م)

الكلمات المفتاحية: المسيطرات التناسبية- التكاملية (PI)، معاملات المسيطرات التناسبية- التكاملية (PI)، خصائص النظام، الاستقرار، الاستجابة الديناميكية، نظام التيار المستمر ذي التوتر العالي. ملخص البحث. هذا البحث يهدف إلى استخدام المسيطرات التناسبية- التكاملية (PI) القوية لتحسين خصائص النظام (ذروة القفزة الزائدة (P.O.S)، زمن الاستقرار ( $t_s$ )، زمن الصعود ( $t_r$ )) لتيار المقوم في نظام التيار المستمر ذي التوتر العالي، البرمجة والنمذجة تمت باستخدام برامج ماتلاب. الاستقرارية تمثل الطلب الأساسي للنظام، عند توفر شروط واعتبارات الاستقرار والاستجابة الديناميكية للنظام فإنه تم إيجاد مدى واسع من قيم المعاملات لمسيطر (PI) بالارتكاز على صيغة مخطط بود مع الأخذ بالاستقرار والاستجابة الديناميكية ضمن الحسابات. إن اختيار معاملات مسيطر (PI) يتم اعتماداً على صيغة دالة الأداء الأمثل الصغرى  $[J_{ITAE}]$  (تكامل ضرب الزمن في القيمة المطلقة للخطأ). الدراسة أجريت على خط نقل التيار المستمر ذي التوتر العالي المعتمد ضمن هيئة خط النقل الذي يربط بين فرنسا وانكلترا.

### المقدمة

إن نظام السيطرة يلعب دوراً كبيراً مع أنظمة التيار المستمر ذي التوتر العالي، حيث إن الميسطرات الجيدة يمكن إن تحسن من خصائص التشغيل في أنظمة التيار المستمر والمتناوب (Linlin, 1989). إن ميسطرات (PI) القوية تعد أبسط الميسطرات للأنظمة الديناميكية وغير الخطية المعقدة (Dash, Routary and Liew, 1999)، ويتم اختيارها عادة كمنظمت أساسية لنظام السيطرة. إن المبدل يتصرف بشكل أساسي كمكبر كسب ثابت ومع الميسطر (التناسبي - التكاملي) التناظري فإن تحولات لابلاس تكون ملائمة جداً ومفيدة رياضياً لأغراض طرق التحليل (Roland and Fang, 1997). يجب اختيار قيم معاملات مناسبة لميسطر (PI) لجعل النظام يمتلك استجابة سريعة جداً (أفضل خصائص ديناميكية واستقرارية جيدة).

في التطبيقات، فإن معاملات ميسطرات (PI) يتم حسابها عادة باستخدام طريقة التجربة والخطأ (Beverani, 2009). والطريقة العامة تتركز على أخذ ميسطر تيار ثابت لأجل إعطاء تيار المقوم المطلوب تغيير خطوة بمقدار 10٪ والحفاظ على سيطرة المغير بدون تغيير، يتم معايرة قيم معاملات الميسطر (PI) بحيث يمتلك تيار المقوم المقاس استجابة ديناميكية جيدة بحيث تكون ذروة القفزة الزائدة (P.O.S. ≤ 30%)، وأقصر زمن صعود يصل إلى (tr ≤ 30 ms) في حالة الأنظمة تحت التضاؤل (tr ≤ 70ms) في حالة الأنظمة فوق التضاؤل (Yong, Zhen and Kazijian, 2002).

من أجل اختيار معاملات الميسطر (PI) أولاً: يتم تطبيق تحليل استجابة التردد على نظام السيطرة مفتوح الدارة لتحديد القيم الأولية لمعاملات الميسطر (PI)

وذلك من خلال استخدام برامج Matlab, Simulink, Power System Blockset. وثانياً: يتم اختيار قيم معاملات الميسطر (PI) المثل وذلك من خلال استخدام صيغة دالة الأداء الأمثل  $[J_{ITAE}]$  (تكامل حاصل ضرب الزمن في القيمة المطلقة للخطأ) والتي تعد واحدة من الصيغ التركيبية الاصطناعية لأداء أنظمة السيطرة. في هذا البحث سوف يتم عمل جدول لقيم معاملات الميسطر (PI) التي تحقق شروط الاستقرارية (حد الكسب، حد الطور) ومن ثم اختيار القيم التي تحقق الاقتراب من الهدف المطلوب وهو التصميم القوي والتي تكون عندها صيغة دالة الأداء الأمثل  $[J_{ITAE}]$  عند القيمة الصغرى لها (التخفيض إلى الحد الأدنى). وعليه فإنه يمكن الاقتراب بشكل كبير من مواصفات القوة (Nagurka and Yaniv, 2003) و (Lee, Tan and Ferdous, 2004).

### أهمية البحث وأهدافه

- تحديد دالة التحويل لجميع الدوائر المكونة لنظام السيطرة (دائرة الميسطر، دائرة المقوم، دائرة خط النقل، دائرة قياس التيار).
- معرفة البيئة العامة لميسطر (PI) القوي وتحديد قيم المعاملات المثل بالارتكاز على معادلة صيغة دالة الأداء الأمثل  $[J_{ITAE}]$ .
- تحديد مشكلة الاستجابة الديناميكية لمنحني استجابة الخطوة لتيار المقوم واختيار الميسطر المناسب كحل أمثل لها.
- استخدام برامج Matlab, Simulink, Power System Blocks في نمذجة البيئة العامة لنظام السيطرة بتيار المقوم في نظام التيار المستمر ذي التوتر العالي الذي يربط بين فرنسا وانكلترا.

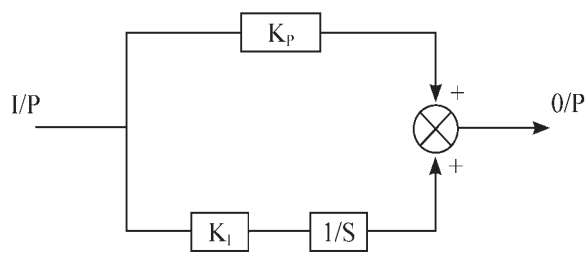
الصف الأول: يعتمد على مواصفات حد الكسب و حد الطور.

الصف الثاني: يركز على مواصفات الحساسية. تقنيات التصميم التي تركز على مواصفات حد الكسب و حد الطور تم اعتمادها في تطوير الصيغة التحليلية البسيطة لتوليف مسيطرات (PI) التي تستخدم بشكل شائع مع هيئات المحطات ذي الدرجة الأولى والثانية لأجل الاقتراب من مواصفات حد الكسب و حد الطور (Ho, Hang and Cao, 1995) و (Ho, Hang and Zho, 1995).

كما قام بعض الباحثين بمراجعة صيغة وطريقة التنعيم المستخدمة لأجل تصميم مسيطرات (PID, PI) التي تحقق كل من مواصفات الأداء والقوة المطلوبة (Gally, 1986) و (Yang, Xu and Zang, 2006).

#### البنية العامة لمسيطرات (PI) القوية

يربط المسيطر دائماً على دوائر المبدلات (مقوم أو مغير) لأغرض إعطاء زاوية القدح المناسبة لكل من المقوم والمغير وان تركيبية وبنية المسيطر (PI) القوي تشبه المسيطر التقليدي حيث يتألف من ثابت التناسب ( $K_p$ ) مضاف له القيمة التكاملية لثابت التكامل ( $K_i$ ) كما هو موضح بالشكل رقم (١).



الشكل رقم (١). البنية العامة لمسيطر (PI).

في هذا البحث سيتم عرض فكرة عامة عن مسيطرات (PI) القوية (لمحة تاريخية، مكونات وطريقة العمل)، ثم سيصار إلى نمذجة هذا المسيطر ضمن نظام السيطرة بتيار المقوم، ثم ستعتمد طريقة البحث في البداية على التعرف بمبادئ التصميم واختيار دالة التحويل لكل دائرة من: المسيطر، المقوم، خط النقل، دائرة القياس، ومن ثم البحث عن: شروط واعتبارات الاستقرارية التي تركز على تحليل استجابة التردد، قيم المعاملات المثلى لمسيطر (PI) القوي، وأخيراً حساب دوال التحويل رياضياً التي تتلاءم مع نظام التيار المستمر ذي التوتر العالي الذي يربط فرنسا وانكلترا. سيتم من خلال هذا النظام، التعرف بمشاكل الاستجابة الديناميكية التي يعاني منها منحنى استجابة الخطوة لتيار المقوم.

#### مسيطرات (PI) القوية

في أنظمة السيطرة الحديثة يتم استخدام المسيطرات القوية بدلاً عن المسيطرات التقليدية والتي تكون أكثر استجابة للتغيرات التي تطرأ على الشبكة وذلك بسبب الاختيار الأمثل لمعاملات هذه المسيطرات.

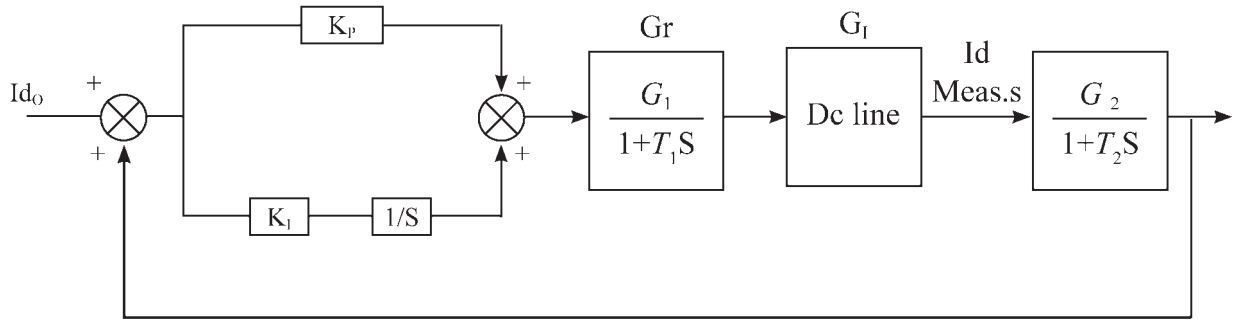
#### توليف المسيطرات

هنالك العديد من الطرق لتوليف المسيطرات (PID, PI) تم تطويرها. كما أن البحث عن تقنيات التصميم مازال مستمراً والذي قاد إلى الاستخدام الكبير لمثل هذه المسيطرات في التطبيقات الصناعية. هنالك طرق متنوعة لتوليف معاملات المسيطر ويمكن تقسيمها إلى صنفين رئيسيين والتي تركز على مواصفات الأنواع التي تحقق التصميم المطلوب:

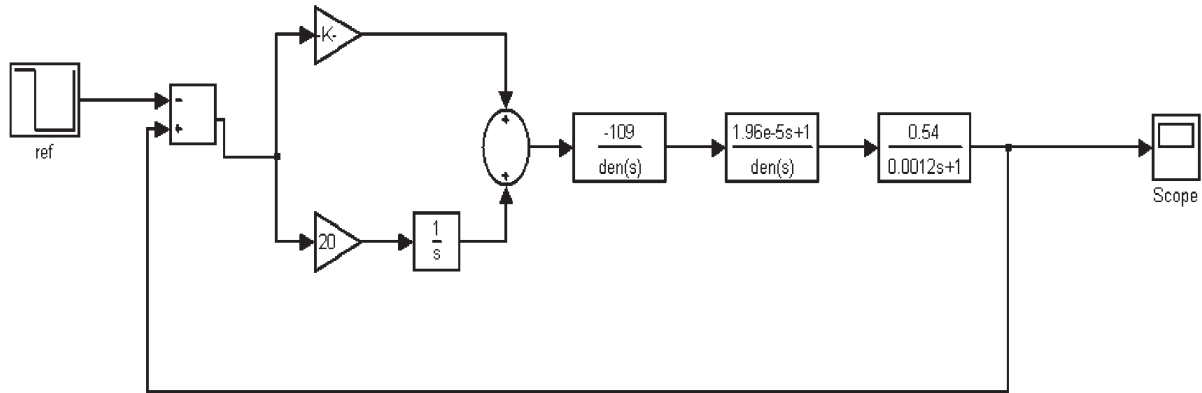
## دالة التحويل لنظام السيطرة

إن دائرة السيطرة بتيار المقوم مبينة بالشكل رقم (٢) نلاحظ بأن نظام السيطرة مفتوح الدارة مؤلف من أربعة أجزاء ودالة التحويل الكلية معطاة بالمعادلة (١) والشكل رقم (٣) يبين نظام السيطرة بتيار المقوم المدروس والنموذج حسب بيئة ماتلاب.

$$T.F(s) = G_c(s) G_r(s) G_l(s) G_M(s) \dots \dots \dots (1)$$



الشكل رقم (٢). دائرة السيطرة بتيار المقوم.



الشكل رقم (٣). دائرة السيطرة بتيار المقوم منمذجة حسب بيئة ماتلاب.

لأجل تقليل قيمة التيار المقاس إلى قيمة قريبة من التيار المطلوب والعكس صحيح. وأن دالة التحويل للمسيطر معطاة بالمعادلة (٢):

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} \dots \dots \dots (2)$$

## دائرة المسيطر

في هذا البحث تم اختيار المسيطر (PI)، وإن وظيفة هذا السيطرة هي العمل على زيادة زاوية القدح ( $\alpha$ ) عندما يكون التيار المقاس أكبر من التيار المطلوب

$$G1 \cong -Vd_o \sin \alpha_o = -\frac{3\sqrt{2}}{\pi} E \sin \alpha_o$$

حيث إن

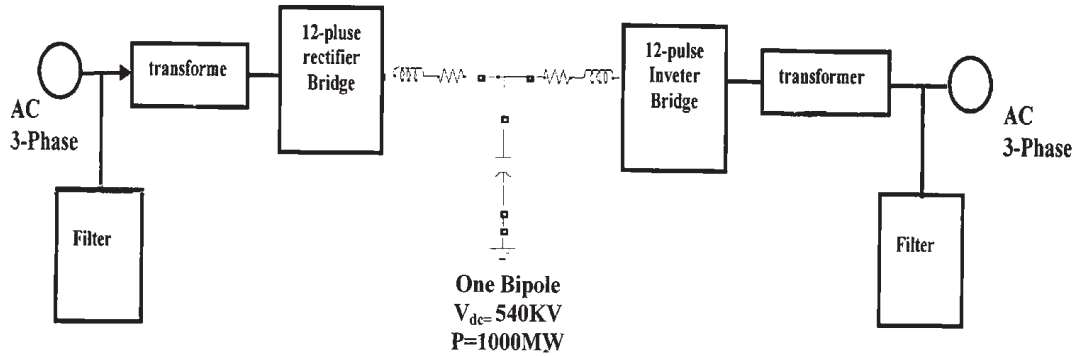
E: جهد (الخط-الخط) لجهة التيار المتناوب.  
 $\alpha_o$ : زاوية القدح الأولية التي تجعل نقطة الشغل مستقرة  
 وتساوي (٢٠°).

وعليه فإن دالة التحويل للمقوم تصبح كالآتي:

$$G_r(s) = \frac{G_1}{1 + ST_1}$$

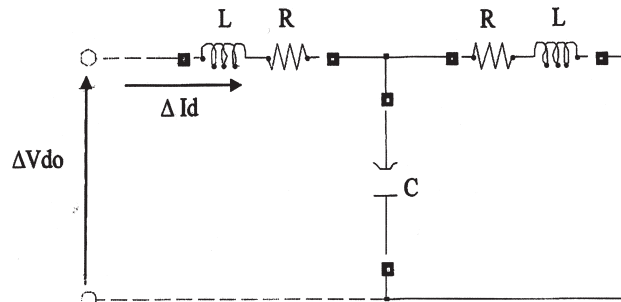
### خط النقل

الشكل رقم (٤) يبين المخطط الكتلي لنظام التيار المستمر ذي التوتر العالي الذي يربط بين فرنسا وانكلترا  
 (Gally, 1986).



الشكل رقم (٤). المخطط الكتلي لنظام التوتر العالي الذي يربط بين فرنسا وانكلترا.

إن الدائرة المكافئة لخط نقل التيار المستمر الذي يربط بين فرنسا وانكلترا مبينة بالشكل رقم (٥).



الشكل رقم (٥). الدائرة المكافئة لخط النقل نوع T-.

### دائرة المقوم

على افتراض أن ثابت زمن الحمولة أكبر من زمن التأخير للمقوم فإنه يمكن تمثيل المقوم بدائرة من الدرجة الأولى، بما أن التردد (50Hz) ودائرة المبدل (AC/DC) مؤلفة من ١٢-نبضة فإن ثابت الزمن يصبح كالآتي (Ronald and Fang, 1997):

$$T = \frac{20ms}{12} = 1.666ms$$

بما أن جهد الإخراج للمقوم عند عدم وجود حمولة هو:

$$Vd(o) = Vdo \cos \alpha \dots \dots \dots (٣)$$

فإن ثابت التناسب ( $G_1$ ) يصبح كالآتي:

$$G_1 = \frac{\Delta v d(o)}{\Delta \alpha} = -Vdo \sin \alpha \dots \dots \dots (٤)$$

بود لإيجاد القيم الأولية لمعاملات الميسطر (Kuo,2002)

و(Katshiko, 1997).

يعد النظام مستقراً عندما يكون كل من حد الكسب و حد الطور قيمة موجبة.

بشكل عام يمكن الحصول على أداء استقرارية جيد عندما يكون حد الكسب أكبر من (GM≥6) و حد الطور يتراوح بين (30° < Φm < 70°) (Bingda and Zhikun, 2000).

### اختيار قيم المعاملات لميسطر (PI) القوي

بعد أن تم اختيار مدى واسع من القيم الأولية لمعاملات الميسطر (PI) بالاعتماد على شروط الاستقرارية والمرتكزة على مخطط بود، تم تبني صيغة دالة الأداء الأمثل [J<sub>ITAE</sub>] لاختيار القيم المثلى للمعاملات والتي تجعل الميسطر أكثر قوة واستجابة للتغيرات التي تحدث ضمن الشبكة.

إن صيغة دالة الأداء الأمثل [J<sub>ITAE</sub>] يمكن التعبير عنها بالمعادلة الآتية (Richard and Rober, 2004).

$$JITAE = \int_0^T t|e|dt \dots\dots\dots(9)$$

حيث إن

e: يمثل إشارة الخطأ (e=I<sub>d</sub>-I<sub>do</sub>).

T: الحد الأعلى للتكامل وهو زمن ثابت يتم اختياره بحيث يستطيع التكامل أن يصل إلى قيمة الحالة المستقرة وعادة يتم اختياره مساوي إلى زمن الاستقرار (Ts).

يمكن تلخيص الخطوات المثلى النظرية لإيجاد قيم

المعاملات بالآتي (Yang, Xu and Zang, 2006):

١- إعطاء مجموعة قيم لمعاملات الميسطر (PI) (K<sub>p</sub>, K<sub>i</sub>)

التي تحقق طلب الاستقرارية (Gm≥6) و حد الطور (30° ≤ Φm ≤ 70°).

دالة التحويل لخط النقل معطاة بالمعادلة (V).

$$G_I(s) = \frac{\Delta Id}{\Delta v d(\circ)} = \frac{1}{R + LS + \frac{1}{\frac{1}{(R + Ls)} + CS}} \dots\dots\dots(6)$$

$$G_I(s) = \frac{LcS^2 + RcS + 1}{L^2cS^3 + 2RLcS^2 + (R^2c + 2L)S + 2R} \dots\dots(V)$$

إن العناصر الممثلة لخط النقل الذي يربط بين فرنسا و انكلترا تمتلك القيم المعطاة المبينة بالجدول رقم (١):

الجدول رقم (١). قيم العناصر الممثلة لخط النقل.

R	0.8485Ω
L	0.00455H
C	23.1μf

### دائرة القياس

قيمة التيار الفعلية يتم قياسها من خلال دائرة القياس والتي يمكن تمثيلها بدائرة من الدرجة الأولى وثابت الزمن لها عادة يؤخذ (0.0012Sec) وثابت التناسب (G<sub>2</sub>) هو معكوس أساس التيار. ودالة التحويل لدائرة القياس هي (Yang, Xu and Zang, 2006):

$$G_m = \frac{G_2}{1 + Ts} \dots\dots\dots(8)$$

شروط الاستقرارية المرتكزة على تحليل استجابة التردد عند تصميم نظام السيطرة فإن الاستقرارية تعد واحدة من النقاط الأساسية الواجب اعتمادها. كل نظام يجب أن يمتلك حدود استقرارية معينة وعليه فإن الخطوة الأولى هي إيجاد قيمة المعاملات لميسطر (PI) التي تجعل النظام مستقر بالارتكاز على تحليل استجابة التردد، في هذا المقال تم اعتماد مخطط

[sec(0.1-0)] و( $Gm \geq 6$ ) و( $\Phi_m < 70^\circ > 30^\circ$ ) للفترة الزمنية من قبل حدوث تغير في دالة الخطوة حيث تبرز خصائص النظام المتمثلة بزمن الصعود وزمن الاستقرار وأخيراً ذروة القفزة الزائدة بشكل واضح خلال هذه الفترة ومن ثم اختيار القيم المثلى التي تجعل دالة الأداء  $[J_{ITAE}]$  أقل ما يمكن وبالتالي تجعل النظام أكثر قوة واستجابة للتغيرات التي تطرأ على النظام.

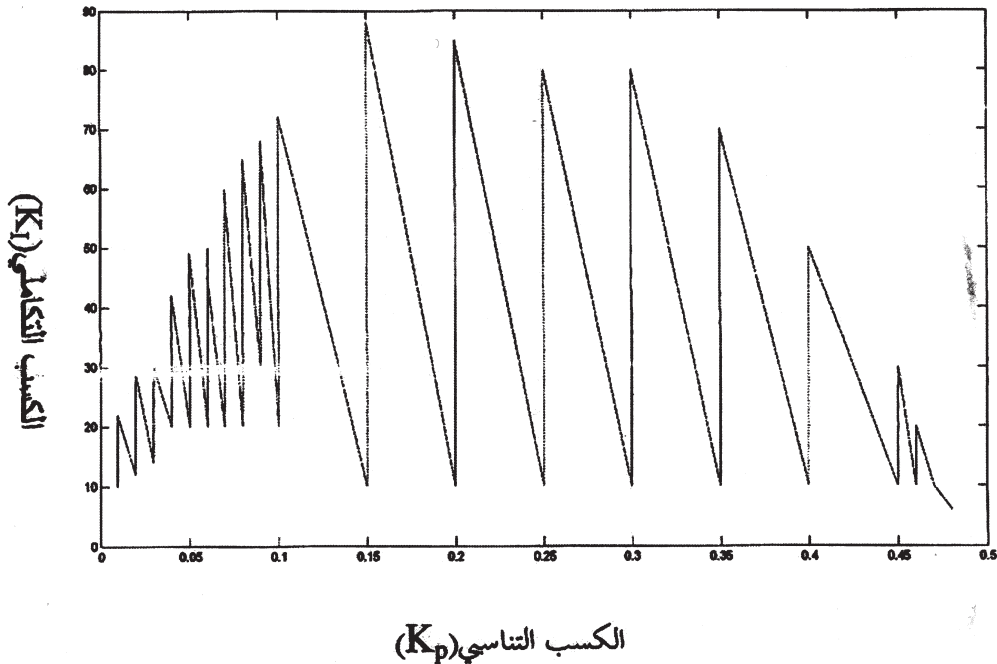
يوضح الشكل رقم (٦) بأن كل نقطة من نقاط المنحني تعطي قيم معاملات المسيطر ( $K_p, K_i$ ) التي تحقق شروط الاستقرار. كما نلاحظ من الشكل رقم (٧) بأن النقاط الواقعة داخل المستوى تمثل قيم دالة الأداء المثلى  $[J_{ITAE}]$  لكل قيمة من قيم مسيطر (PI)، ومن خلال إيجاد قيمة الدالة رياضياً تم الحصول على القيمة الصغرى لها عندما ( $K_p=0.08$ ) و( $K_i=20$ ).

٢- إعطاء تغير خطوة بمقدار (١٠٪) إلى قيمة التيار المرجعية ( $I_{do}$ ) وتشغيل الحالة مع البقاء على سيطرة الجهة الثانية (المغير) ثابت. حساب دالة  $[J_{ITAE}]$  حيث إن الخطأ ( $e$ ) يمثل الفرق بين التيار المقاس ( $I_d$ ) و التيار المرجعي ( $I_{do}$ ).

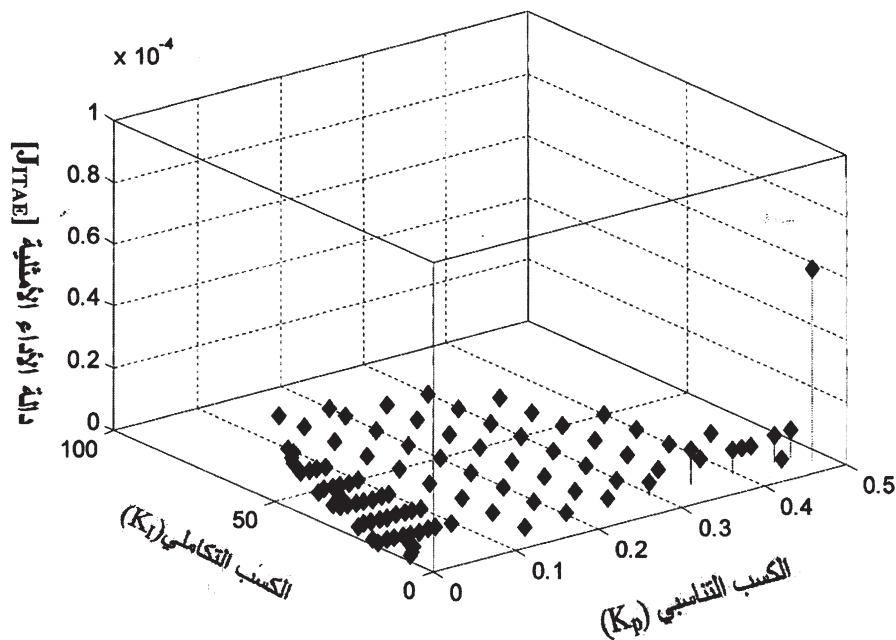
$$e = I_{do} - I_d \dots \dots \dots (10)$$

٣- حساب الدالة  $[J_{ITAE}]$ .

٤- تكرار الخطوات من (١-٣) ومقارنة القيم التي تم الحصول عليها من دالة  $[J_{ITAE}]$  ومن ثم اختيار قيمة ( $K_i, K_p$ ) اعتماداً على قيمة دالة  $[J_{ITAE}]$  الصغرى. تم تطبيق هذه الخطوات الأربعة على النظام المدروس لغرض إيجاد قيم معاملات المسيطر (PI) التي تحقق شروط الاستقرار المتمثلة بالمحددات الآتية:



الشكل رقم (٦). مدىات قيم معاملات المسيطر (PI) التي تحقق الاستقرار.



الشكل رقم (٧). علاقة دالة الأداء المثلى  $[J_{ITAE}]$  مع معاملات المسيطر (PI).

المقوم  $E=118KV$  وعليه تصبح دالة التحويل للمقوم (Adam, Billon, Ainaworth and Jeunehomme, 1985).

$$G_r = -\frac{2 * \frac{3\sqrt{2}}{\pi} 118 * 10^3 \sin \alpha \circ}{1 + 1.666 * 10^{-3} S} \dots\dots\dots (12)$$

حساب دالة التحويل لخط النقل

بما أن خط النقل هو كبل يمتد تحت الأرض أو البحر إذا يمكن إهمال قيمة المحاثة ( $L=0$ ) وذلك يعود إلى سببين الأول هو أن قيمة الشدة الكهربائية المتولدة من المتسعة أعلى بكثير من المجال الكهرومغناطيسي المتولدة من قبل المحاثة والثاني أنه في الحالة المستقرة يمكن إهمال قيمة كل من المتسعة والمحاثة على اعتبار أن التردد يساوي صفر ولكن بسبب وجود الحالة العابرة فإن المتسعة تخزن طاقة عالية لا يمكن إهمال

حساب دوال التحويل لكل جزء من عناصر نظام السيطرة هنا سوف يتم حساب دالة التحويل لكل جزء من عناصر النظام رياضياً.

حساب دالة التحويل للمسيطر

بعد أن تم تحديد واختيار قيم  $(K_p, K_i)$  المثلى والتي تجعل قيمة الدالة  $[J_{ITAE}]$  عند القيمة الصغرى ومن الجدول رقم (٢) تنخفض قيمة الدالة إلى الحد الأدنى عند  $(K_p=0.08)$  و  $(K_i=20)$  وعليه تصبح دالة التحويل للمسيطر.

$$G_c(s) = 0.08 + \frac{20}{S} \dots\dots\dots (11)$$

حساب دالة التحويل للمقوم

يمكن الحصول على نقطة تشغيل مستقرة للمقوم عند  $\alpha=20^\circ$  وجهد (الخط - الخط) للتيار المتناوب عند

## حساب دالة التحويل لدائرة القياس

إن القيمة المقننة للتيار المستمر هي  $\frac{1000MW}{540KV} = 1.85KA$  وبما أن ثابت التناسب ( $G_2$ ) لدائرة القياس هو معكوس القيمة المقننة للتيار فعليه تصبح قيمة ( $G_2$ ) كالآتي:

$$G_2 = \frac{1}{1.85KA} = 5.4 * 10^{-4} \dots\dots\dots(15)$$

ودالة التحويل لدائرة القياس تصبح:

$$G_m = \frac{0.00054}{1 + 0.0012S} \dots\dots\dots(16)$$

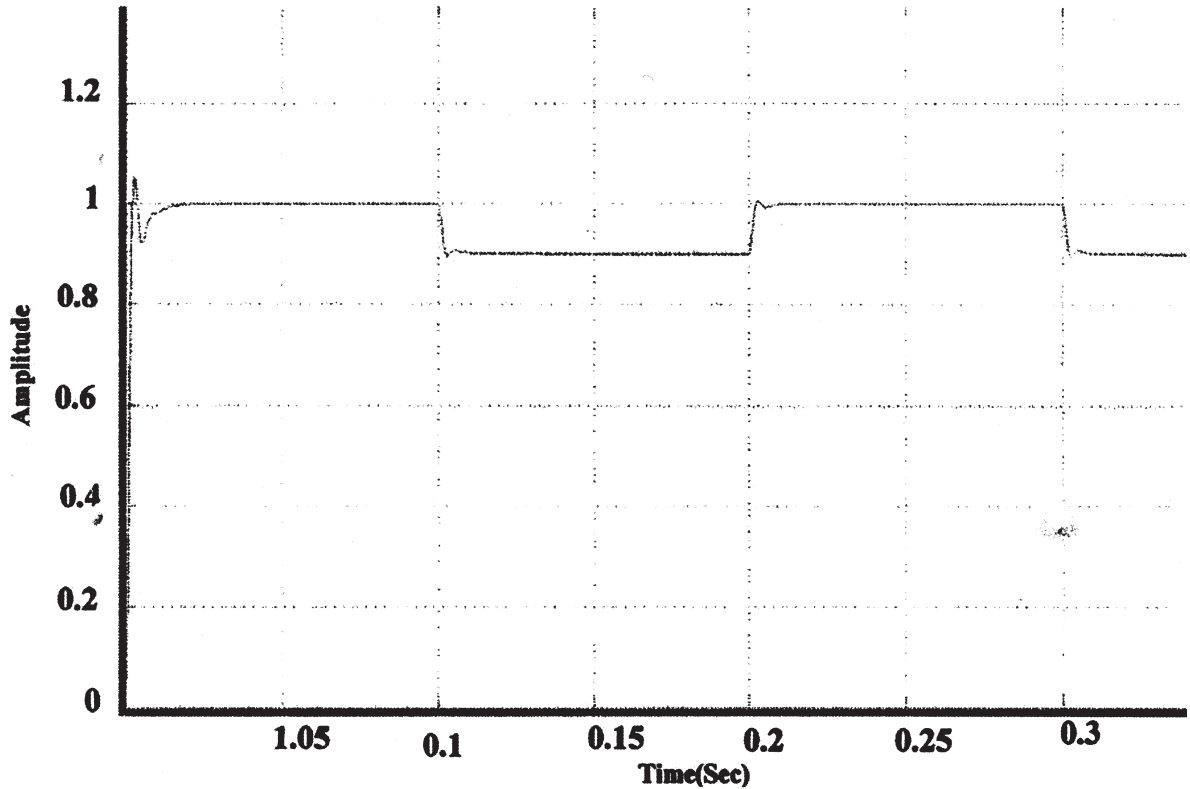
الشكل رقم (٨) يبين منحنى استجابة الخطوة لتيار المقوم عند القيم المثلى لمعاملات المسيطر (PI) منمذج حسب بيئة ماتلاب والجدول رقم (٢) يبين خصائص النظام له.

تأثيرها بينما المحاثة تبقى قيمتها تقترب من الصفر وهذه من فوائد استخدام النقل بالتيار المستمر على صحة الإشارة أيضاً حيث إن المجال الكهرومغناطيسي المتولد من مرور التيار المستمر والذي يؤثر سلباً على صحة الإنسان كما أن هذا المجال المغناطيسي المتولد يؤثر سلباً على صحة الإنسان (Yang, Xu and Zang, 2006) و (Chamia, 1999).

وعليه تصبح دالة التحويل لخط النقل كالآتي:

$$G_l = \frac{RcS + 1}{R^2cS + 2R} \dots\dots\dots(13)$$

$$G_l = \frac{1.96 * 10^{-5} S + 1}{1.663 * 10^{-5} S + 1.697} \dots\dots\dots(14)$$



الشكل رقم (٨). منحنى استجابة الخطوة لتيار المقوم عند القيم المثلى لمعاملات المسيطر (P) منمذج حسب بيئة ماتلاب.

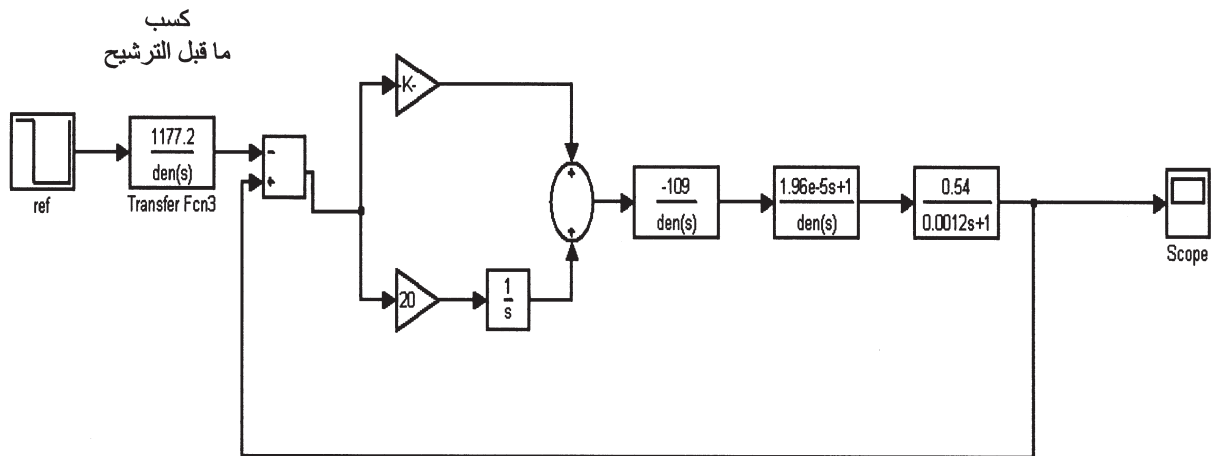
ضرب الزمن في القيمة المطلقة للخطأ والمتمثلة بصيغة دالة الأداء الأمثل  $[J_{ITAE}]$ ، إلا أن يمكن إضافة كسب آخر (gain) والمسمى بكسب ما قبل الترشيح إلى نظام السيطرة يجعله أكثر قوة حيث يعمل على تحسين خصائص النظام (زمن الصعود، زمن الاستقرار، ذروة القفزة الزائدة) من خلال إعطائه كسب يعمل على إلغاء جذور الأصفار الموجودة في البسط لدالة التحويل الكلية للدائرة المغلقة كما مبين بالشكل رقم (٩) والنموذجة حسب بيئة ماتلاب.

الجدول رقم (٢). قيم خصائص منحنى استجابة الخطوة لتيار المقوم عند القيم المثلى لمعاملات المسيطر (PI).

5.39%	ذروة القفزة الزائدة (P.O.S.)
0.00153Sec	زمن الصعود
0.00971Sec	زمن الاستقرار

إضافة كسب ما قبل الترشيح  $G_p(s)$

بعد أن تم اختيار قيم معاملات المسيطر PI المثلى من خلال حساب القيمة الصغرى لتكامل حاصل



الشكل رقم (٩). دائرة السيطرة بتيار المقوم عند إضافة كسب ما قبل الترشيح من نموذجة حسب بيئة ماتلاب.

دالة التحويل للنظام مفتوح الدارة معطاة بالمعادلة (١٧).

$$T.F_1 = \frac{G_1 G_2 R c K_p s^2 + (G_1 G_2 R C K_I + G_1 G_2 K_p) s + G_1 G_2 K_I}{T_1 T_2 R^2 C s^4 + [(T_1 T_2) R^2 C + T_1 T_2 2R] s^3 + [(T_1 T_2) 2R + R^2 C] s^2 + 2RS} \dots (17)$$

دالة التحويل للنظام مغلق الدارة معطاة بالمعادلة (١٨):

$$T.F_2 = \frac{\frac{G_1 G_2 R C K_p}{T_1 T_2 R^2 C} s^2 + \frac{G_1 G_2 R C K_I + G_1 G_2 K_p}{T_1 T_2 R^2 C} s + \frac{G_1 G_2 K_I}{T_1 T_2 R^2 C}}{s^4 + \frac{(T_1 T_2) R^2 C + T_1 T_2 2R}{T_1 T_2 R^2 C} s^3 + \frac{(T_1 T_2) 2R + R^2 C + G_1 G_2 R C K_p}{T_1 T_2 R^2 C} s^2 + \frac{2R + G_1 G_2 R C K_I + G_1 G_2 K_p}{T_1 T_2 R^2 C} s + \frac{G_1 G_2 K_I}{T_1 T_2 R^2 C}} \dots (18)$$

الكسب ما قبل الترشيح معطى بالمعادلة (١٩):

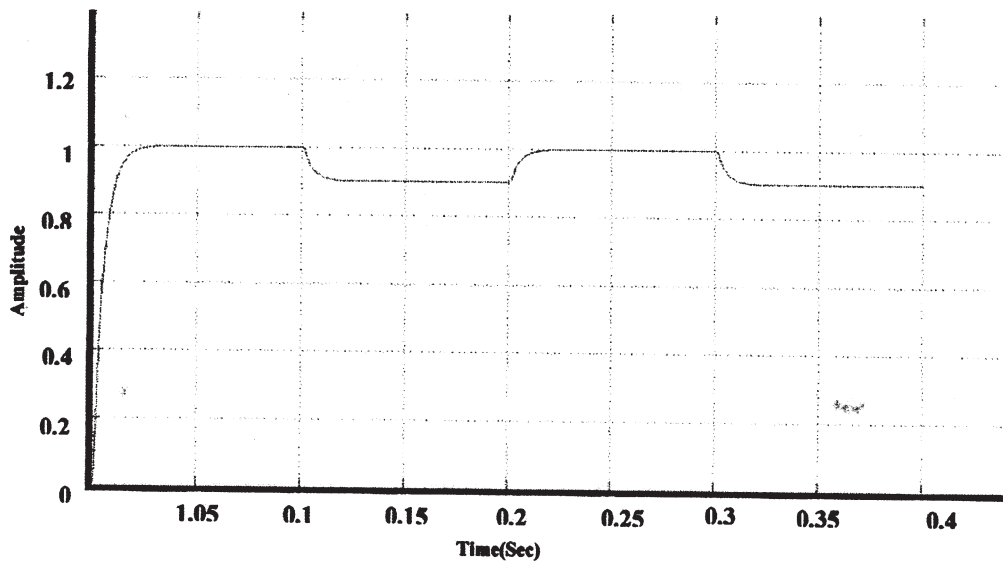
$$Gp(s) = \frac{\frac{G_1 G_2 K_I}{T_1 T_2 R^2 C}}{\frac{G_1 G_2 R C K_P}{T_1 T_2 R^2 C} S^2 + \frac{(G_1 G_2 R C K_I + G_1 G_2 K_P)}{T_1 T_2 R^2 C} S + \frac{G_1 G_2 K_I}{T_1 T_2 R^2 C}} \dots (19)$$

$$\therefore Gp(s) = \frac{G_1 G_2 K_I}{G_1 G_2 R C K_P S^2 + (G_1 G_2 R C K_I + G_1 G_2 K_P) S + G_1 G_2 K_I}$$

بعد إضافة كسب ما قبل الترشيح إلى نظام الكلية للنظام مغلق الدارة بالمعدلة (٢٠) كالآتي:  
السيطرة المبين بالشكل رقم (٧) تصبح دالة التحويل

$$T.F = \frac{\frac{G_1 G_2 K_I}{T_1 T_2 R^2 C}}{S^4 + \frac{(T_1 T_2) R^2 C + T_1 T_2 2R}{T_1 T_2 R^2 C} S^3 + \frac{(T_1 T_2) 2R + R^2 C + G_1 G_2 R C K_P}{T_1 T_2 R^2 C} S^2 + \frac{2R + G_1 G_2 R C K_I + G_1 G_2 K_P}{T_1 T_2 R^2 C} S + \frac{G_1 G_2 K_I}{T_1 T_2 R^2 C}} \dots (20)$$

الشكل رقم (١٠) يبين منحنى استجابة الخطوة (٢٠) وأن قيم معاملات خصائص النظام مبينة للتيار بعد إضافة كسب ما قبل الترشيح للمعادلة بالجدول رقم (٣).



الشكل رقم (١٠). منحنى استجابة الخطوة لتيار المقوم عند القيم المثلى لمعاملات المسيطر PI مضاف له كسب ما قبل الترشيح منمذج حسب بيئة ماتلاب).

- Bingda S., Zhikun L.**, “ Theory of Automatic Controller” Mechanical Industrial Press, BeiJing, China, (2000), pp.103-107.
- Chamia Michel**, “*HVDC-A major option for the electricity networks of the 21<sup>st</sup> century*”. *IEEE WPM*,(1999), PP.1-7.
- Dash P.K., Routary A., Liew A.C.**, “Design of an Energy Function Based Fuzzy Tuning Controller for HVDC Links” *Electronic Power and Energy systems*, (1999), pp.337-347.
- Gally M.**, “The HVDC Cross-Channel Link Between France and England” *Alstom Review*, 5, (1986), PP.51-58.
- Ho W.K., Hang C.C., Cao L.S.**, “Tuning of PID Controllers Based on Gain and Phase Margin Specification” *Automatica*, Vol.31,No.(3), (1995), pp.497-502.
- Ho W.K., Hang C.C., Zhou J.H.**, “Performance and Gain and Phase Margins of Well-Known PI Tuning Formulas” *IEEE Trans Control Systems Technology*, Vol.3,No.(2), (1995), pp.245-248.
- Ho W. K., Hang C.C., Zhou J.H.**, “Self Tuning PID Control of a Plant with Underdamped Response with Specifications on Gain and Phase Margins” *IEEE Trans. Control Systems Technology*, Vol. 5,No.(4), 1997), PP.446-452.
- Ho W.K., Lim K.W., Xu W.**, “Optimal Gain and Phase Margin Tuning for PID Controllers” *Automatica*, Vol.34,No.(8), (1998), PP.1009-1014.
- Katshiko O.**, “*Modern Control Engineering*”, 3<sup>rd</sup> ed, Hall of India Private Limited, India, (1997), pp.471-608.
- Kuo B. C.**, “*Automatic Control System*”, 9<sup>th</sup> ed. U.S.A.(2002), pp.352-432.
- Linlin N., Yu T.**, “Parameter Optimization of the Control and Regulation System of Gezhouba-Shanghi HVDC Project” *Power System Technology*, (1989), pp.26-31.
- Lee T.H., Tan K.K., Ferdous R.**, “Intelligent (PI) Control Design for Maximum Sensitivity and Stability Margins” *IEEE*, Vol.4, (2004), pp.198-203.
- Nagurka M., Yaniv O.**, “Robust PI Controller Design Satisfying Gain and Phase Margin Constraints” *IEEE*, (2003), PP: 3931-3936.

الجدول رقم (٣). قيم خصائص منحنى استجابة الخطوة لتيار المقوم عند وجود كسب ما قبل الترشيح Gp(s).

0.1%	ذروة القفزة الزائدة (P.O.S.)
0.01Sec	زمن الصعود
0.0109Sec	زمن الاستقرار

### الاستنتاجات

بعد أن تم رسم منحنى استجابة الخطوة لتيار المقوم عند القيم المثلى لمعاملات المسيطر (PI) التي تم اختيارها اعتماداً على القيمة الصغرى لدالة الأداء الأمثل  $[J_{ITAE}]$ ، نلاحظ بأن زمن الصعود وذروة القفزة الزائدة تقع ضمن الحدود المطلوبة للاستجابة الديناميكية الجيدة حيث إن قيمة زمن الصعود ( $tr=1.53ms$ ) وهي تحقق الشرط ( $tr \leq 30ms$ ) وذروة القفزة الزائدة (P.O.S.=5.39%) وهي تحقق الشرط (P.O.S.  $\leq 30\%$ ). عند إضافة كسب ما قبل الترشيح Gp(s) نلاحظ بأن زمن الصعود أصبح قيمته ( $t_r=0.01Sec$ ) وذروة القفزة الزائدة (P.O.S.=0.1%) وهذه القيم تحقق الشروط المطلوبة أيضاً.

عند مقارنة منحنى استجابة الخطوة للتيار قبل وبعد إضافة كسب ما قبل الترشيح نلاحظ بأنه عند إضافة كسب ما قبل الترشيح سوف يقلل كثيراً من ذروة القفزة الزائدة ولكن على حساب زمن الصعود حيث يزداد مقارنة مع قيمته في حالة قبل إضافة كسب ما قبل الترشيح.

### المراجع

- Adam Ph., Billon V. C., Ainsworth A., Jeunhomme A.**, “The 2000 Cross Channel Between France and England: Compatibility of the Two Converter Station”, *IEE Conference*, (1985), PP.131-134
- Beverani H.**, “*Robust Power System Frequency Control*” 1<sup>st</sup> ed. New York, U.S.A. (2009), pp.63-83.

**Yong J., Zhen R., Kazijian o.**, “Parameter Estimation of Regulartors in Tian-Guang HVDC Transmission System Based on PSCAD/EMTDC” *Proceedings. Power Con 2002. International Conference* ; Vol.1, No.13-17, (2002), pp.538-541.

**Richard C., Robert H.**, “Modern Control System” Science Press, BeiJing, China,(2004).

**Roland J. H., Fang L. L.**, “Stability Analysis of Thyristor Current Controllers” *IEEE Transaction on industry Applications*, IA-23(1), (1997), pp:49-56.

**Yang F., Xu Z. and Zang,, J.** “An Approach to Select (PI) Parameters of HVDC Controllers” *IEEE*, Vol 15. (2006), PP.1-5.

## Using Robust PI Controller for Enhancing the Step Response Curve for Rectifier Current of HVDC System

Taha Muhamad Jabban<sup>(1)</sup>, Mohamad Alaa Eddin Alali<sup>(1)</sup>, Ali Nathem Hamoodi<sup>(1)</sup>,  
Abdul Kareem Zawba Mansoor<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Dept. of Power Eng  
Faculty of Electric & Electronic Eng  
Aleppo university-syria

<sup>(2)</sup> Dept. of Technical Power Eng  
Technical College-Mosul - Iraq

(Received 02/10/2010.; accepted for publication 21/12/2010.)

**Keywords:** PI controller, PI parameters, System characteristics, Stability, dynamic response, HVDC system..

**Abstract.** This paper aims to apply robust PI controller for enhancing the system characteristics (peak over shoot (P.O.S), rise time ( $t_r$ ), & settling time( $t_s$ )) to the rectifier current of HVDC system.

Stability is the fundamental demand to the system, considering the stability and dynamic response of the system, the ranges of (PI) parameters are attained based on the BODE plot criteria taking into account the stability and dynamic response. The proper (PI) parameters are corresponding to the minimal [ $J_{ITAE}$ ] (Integral of Time Multiplied by the Absolute Value of the Error). The test of Anglo-French HVDC model shows the validity of the proposed approach