

## الخوارزمية الرياضية الناظمة لاستقرار منظومة الطاقة الكهربائية عن طريق التحكم ببارامترات محطات التوليد الكهرومائية

الدكتور زياد هرموش\*

(تاريخ الإيداع 7 / 2 / 2012. قُبِلَ للنشر في 21 / 6 / 2012)

### □ ملخص □

تتصف محطات التوليد الكهرومائية بإنتاج و توليد الطاقة الكهربائية باستطاعات كبيرة مما يعطيها أهمية خاصة، كما يضيفي اهتماماً خاصاً على عمليات التحكم المرافقة لعمل هذا النوع من المحطات، لاسيما أننا، في سورية، نملك محطة توليد كهرومائية على سد الفرات قيد العمل. يسهم هذا البحث في إلقاء الضوء على الإمكانيات المتاحة لرفع استقرار منظومة القدرة الكهربائية، من خلال تطوير خوارزمية رياضية للتحكم ببارامترات الاستطاعة الكهربائية المولدة من هذا النوع من المحطات، التي تستخدم أساساً لدعم حمولات الذروة كون إقلاعها سلس و سريع. تعتمد هذه الخوارزمية على دراسة نظام التحكم، باستطاعة التوربينات الضخمة للمحطة الكهرومائية، التي تضمن الحصول على زمن قصير لتتزيل حمولة التوربين، وذلك من أجل رفع الاستقرار الديناميكي لمنظومة القدرة الكهربائية عند دارات القصر الكبيرة، و ذلك لضمان تقييد استطاعة التوربين(العنفة) من أجل زيادة الاستقرار الستاتيكي عند فصل خطوط نقل القدرة الكهربائية من أجل ضمان تخميد الحالات العابرة الكهروديناميكية.

الكلمات المفتاحية: الخوارزمية الرياضية- منظومة الطاقة الكهربائية- التحكم ببارامترات- محطات التوليد الكهرومائية.

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

## Mathematical algorithm for electrical power system stability by controlling the electrohydrolic stations parameters

Dr. Ziad Harmoush \*

(Received 7 / 2 / 2012. Accepted 21 / 6 / 2012)

### □ ABSTRACT □

The electrohydrolic stations are producing and generating electrical power in huge quantities that makes them significantly important; this also creates a particular essentiality for control process associated with the job of these types of stations. Especially, we have a remarkable electrohydrolic station in Syria that is located in Euphrates Dam. This paper is studying the available capability of increasing the electrical power system stability through developing mathematical algorithm for controlling the electrical power generated from these types of stations which are used basically to support the peak loads due to smooth and quick start.

This algorithm is based on studying the control system of huge turbines power for electrohydrolic stations, which guarantee obtaining a short time to decrease the turbine load in order to increase the dynamic stability of electrical power system when short circuit occurred, and that will assure the turbine power limits for increasing the static stability at turning off the electrical power transmission lines and also confirm the electrodynamics transient process dampen.

**Keywords:** Electrical Power System, Controlling of Electrohydrolic Stations arameters

---

\*Assistant Professor Electrical power department, Mechanical & Electrical Engineering Faculty, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**مقدمة:**

من المعروف أن تطور الصناعة و تقدمها مرتبط ارتباطاً وثيقاً بتطور القوى المولدة للكهرباء. إذ إن وجود هذه القوى المتمثلة بمحطات توليد الكهرباء المختلفة، يعدُّ حجر الأساس الذي تركز عليه الصناعة بصورة عامة. و غني عن الذكر أن تقدم الدول يقاس بكمية القدرة الكهربائية التي تولدها و تستهلكها. و تمتاز طاقة المياه عن المصادر الأخرى للطاقة مثل الفحم - البترول - و الغاز الطبيعي، بخواص اقتصادية و تكنولوجية نلخصها بالنقاط التالية:

1. طاقة المياه لا تتضب مع مرور الزمن، لأنها تتجدد باستمرار نتيجة الدورة المناخية.
2. إن كلفة واحد كيلو وات ساعي من الكهرباء المنتجة من المحطات الكهرومائية أقل ثمناً بخمس إلى ثمان مرات من الكهرباء المنتجة من المحطات الحرارية.
3. تتصف المحطات الكهرومائية بالتحكم المرن و السلس و السريع، إذ يكفي نصف إلى دقيقة واحدة لإقلاع العنفة و عملها بشكل منتظم تحت الحمل. كما تُعد العنفات غير العاملة (الاحتياطية) مصدراً للطاقة الكهربائية في ساعات الاستهلاك الأعظمي، إذ يمكنها أن تسد الحاجات الضرورية من الطاقة أثناء أوقات الذروة، وذلك عندما لا تُنتج المحطات الكهروحرارية الطاقة المطلوبة مما يساعد على رفع المميزات الاقتصادية والفنية للشبكة الكهربائية.
4. تمتاز المحطات الكهرومائية بارتفاع ثابت للمردود بالمقارنة مع المحطات الكهروحرارية، إذ يصل ثابت المردود في بعض العنفات المائية إلى 96%.
5. مع بناء المحطة الكهرومائية (السد) تُحلُّ مشاكل زراعية تتعلق بالري و الصرف، بالإضافة إلى تخزين المياه و تربية الأسماك. أضف إلى ذلك بأن مدة بناء السد مع المحطة الكهرومائية قد لا تتجاوز ثلاث إلى أربع سنوات بفضل استخدام الوسائل التقنية الحديثة في البناء.
6. إن تكاليف العنفة المائية Hydraulic turbine مع المولدة تصل إلى 15% فقط من تكاليف بناء المحطة الكهرومائية [1].

**أهمية البحث وأهدافه:**

يهدف البحث إلى إضفاء أهمية خاصة على عمليات التحكم المرافقة لعمل هذا النوع من المحطات، إذ يسهم في إلقاء الضوء على الإمكانيات المتاحة لرفع استقرار منظومة القدرة الكهربائية Electrical power system stability من خلال تطوير خوارزمية رياضية للتحكم ببارامترات الاستطاعة الكهربائية المولدة من هذا النوع من المحطات، التي تستخدم أساساً لدعم حملات الذروة كون إقلاعها سلس و سريع.

**طرائق البحث و موادّه:**

تعتمد الخوارزمية المدروسة في هذا البحث على دراسة نظام التحكم باستطاعة التوربينات الضخمة للمحطة الكهرومائية، التي تضمن الحصول على زمن قصير لتتنزيل حمولة التوربين، من أجل رفع الاستقرار الديناميكي لمنظومة القدرة الكهربائية عند دارات القصر الكبيرة، لضمان تقييد استطاعة التوربين(العنفة) من أجل زيادة الاستقرار الستاتيكي عند فصل الخطوط العاملة لنقل القدرة الكهربائية ذات التوتر المتوسط و العالي لضمان تخميد الحالات العابرة الكهروديناميكية Electrodynamic transient process.

**صياغة و تحليل الخوارزمية الرياضية :Mathematical algorithm**

ثمة حلول تقليدية معروفة تمّ التطرق إليها في سياق الدراسات الكهربائية المتعلقة بضمان استقرار منظومة الطاقة الكهربائية، من خلال التحكم باستطاعة العنفة من أجل زيادة الاستقرار الستاتيكي عند فصل خطوط نقل القدرة الكهربائية عن طريق استخدام تجهيزات تنظيم الاستطاعة الموجهة، التي تتحدد فيها المواصفات الديناميكية للعنفات ذات المحور الشاقولي في نظام العمل المتوازي لتجهيزات المحطات الكهرومائية مع منظومة الطاقة الكهربائية، بواسطة توابع النقل ذات العطالة و المتعلقة بالسلاسل التفاضلية التناسبية [2]:

$$\omega_{\alpha}(p) = \frac{\Delta N}{\Delta a} = a_0 \frac{1 - a_1 T_E p}{1 + T_E p} \quad (1)$$

إذ إن:

$$a_0 = \frac{\partial N}{\partial \alpha} ; \alpha = \alpha_0 , V = 0 \text{ هو معامل التعزيز (التقوية) الستاتيكي. بينما نرزم لمعامل التعزيز}$$

الإضافي بالرمز  $a_0$  و يعبر عنه بالعلاقة التالية:

$$a_1 = \frac{(\partial q / \partial \alpha)(\partial N / \partial t)}{(\partial N / \partial \alpha)(\partial q / \partial V)} - 1 ; \alpha = \alpha_0 , V = 0$$

و يعبر الرمز  $N$  عن استطاعة مجموعة التوليد، أما  $\alpha$  فهو معامل مجموعة التوليد المفتوحة، و  $V$  هو عبارة عن تغير الضغط  $P$ .  $q$  - الاستهلاك (كل القيم بالوحدات النسبية). و لاستكمال تعريف بقية معاملات المعادلة (1) فإننا نعتبر الرمز  $T_E$  ممثلاً للزمن الدائم لمجموعة العنفات الهيدروليكية؛ يعبر عنه بالعلاقة  $T_E = \frac{\partial q}{\partial V}$  ;  $\alpha = \alpha_0 , V = 0$  و يقاس بالثانية.

عند الأعطال الخطية يكون لدينا  $\Delta \alpha = at$  و تكون العلاقة  $\Delta N(t)$  على الشكل التالي [3]:

$$\Delta N = a a_0 [ t - (1 + a_1) T_E (1 - e^{-t/T_E}) ] I(t) \quad (2)$$

و كما هو مبين من العلاقة (2) فإن العنفات المتعلقة بمجموعة التوليد المغلقة ( $\alpha < 0$ ) تقود إلى زيادة استطاعة المولدات ( $\Delta N_{\max} > 0$ ) و بزمن كبير نسبياً (0.5 ثانية و أكثر)، بالانطلاق من هذه الحالة فإن تجهيزات التنظيم الهيدروليكية تعمل بشكل بطيء.

**النتائج والمناقشة:**

يُتّرح من أجل العمليات ذات الانسيابية الكبيرة Huge smooth process طريقة أخرى للتحكم بالآلات الهيدروليكية. وتعتمد هذه الطريقة على مبدأ تنظيم ضغط التوربينات. إن التحميل اللحظي (قصير الأمد) للتوربينات يمكن أن يصل إلى الحدود المرتبطة بعمليات الصدمة الهيدروليكية، في قناة الضغط التابعة للتوربينات، بمساعدة التدفق البطيء الفعّال، الناجم عن الحجرة الحلزونية، أو من خلال ضغط التجهيزات الجانبية المتموضعة بالقرب من العنفات.

إن القوانين الأساسية الواصفة لطريقة التنظيم هذه تظهر من خلال التحليل الفيزيائي للموديل الخطي لنظام الاستطاعات الطارئة. إذ إن هذه الطريقة تملك دقة كافية ضمن نطاق تغير الاستطاعات من أجل دراسة و استقصاء

الحالات العابرة الكهروميكانيكية. يمكن الحصول على توابع الانتقال للنفقات الهيدروليكية، ذات المحور العمودي و ذات خاصية الإطلاق البطيء الفعال، من أجل تنظيم الاستطاعة:

$$\omega_{x.B} (p) = \frac{\Delta N}{\Delta S} = \frac{K_{x.B} T_{Ep}}{1 + T_{Ep}} \quad (3)$$

إذ:

$$K_{x.B} = - \frac{\frac{\partial N}{\partial V} \frac{\partial q_{x.B}}{\partial S}}{\frac{\partial q}{\partial V}} = - \frac{(N_0 + N_a) \partial q_{x.B} / \partial S}{(1 - h_a) 0.5 \alpha_0 (1 - K)} ; \quad \alpha = \alpha_0, S = 0, V = 0$$

$N_a$  ;  $h_a$  ;  $K$  - المعاملات اللحظية و المعاملات الاستهلاكية لمواصفات النفقات.

$q_{x.B}$  - استهلاك المياه خلال الإصدار البطيء الفعال.

$S$  - إزاحة محرك القيادة.

إن خطوات تغير استطاعة النفقات وفقاً للعلاقة رقم (3) و عند  $T_0 \neq T_E$  &  $S(0)=0$  توصف كما

يلي:

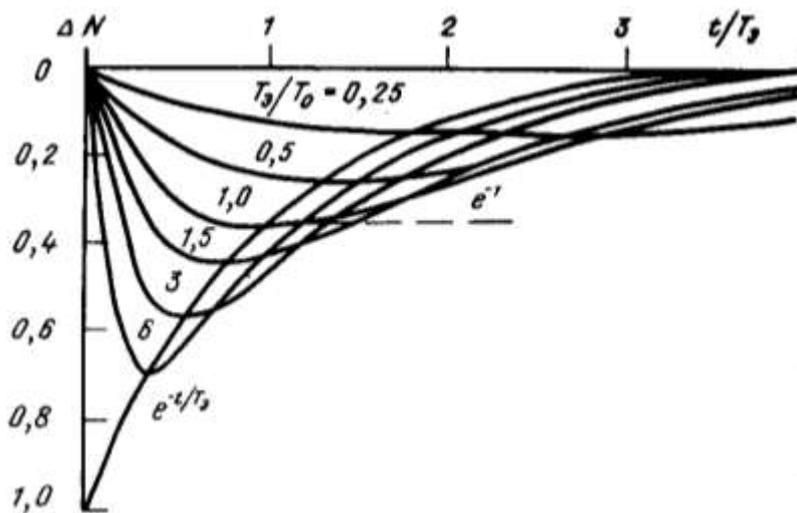
$$\Delta N(t) = K_{x.B} S_{\max} \frac{T_E}{T_E - T_0} (e^{-t/T_E} - e^{-t/T_0}) t$$

إذ:

هي الإزاحة الأعظمية لمحرك القيادة خلال الإصدار البطيء الفعال (المفتوح).  $\frac{S_{\max}}{D_{x.B}} = S_{\max}$

$T_0$  - الزمن الدائم عند شروط الدوران القوي.

يبين الشكل (1) تغير استطاعة النفقات عند الإصدار البطيء الفعال المفتوح.



الشكل (1) تغير استطاعة النفقات عند الإصدار البطيء الفعال المفتوح

من هنا فإننا نحصل على العلاقة بين الحمولة الأعظمية  $\Delta N$  و زمن حدوثها  $t_{\max}$ :

$$\Delta N = K_{x.B} S_{\max} e^{-t_{\max}/T_E}$$

ينتج من هذه العلاقة أنه إذا كان  $T_0 = 0$ ، فإن:

$$\Delta N_{\max} = K_{x.B} \cdot S_{\max}$$

عندما  $t = 0$ ، يمكن تبين أنه عند  $T_0 = T_E$ ، و  $t = T_E$  فإن:

$$\lim \Delta N_{\max} = 0 \text{ At } t \rightarrow \infty \text{ (Picture 1)}$$

$$\Delta N_{\max} = \frac{K_{x.B} S_{\max}}{e}$$

إن الطلب الأعظمي Maximum demand على الاستطاعة يحصل عند  $t_{\max}$  الأصغري، وهذا يتناسب مع القيمة الصغرى لـ  $T_0$  - الزمن الدائم عند شروط الدوران القوي، و مع القيمة العظمى لـ  $T_E$ . لهذا السبب من المناسب استخدام و تطبيق هذه الطريقة بالتنظيم Regulation في الحالات التي يكون فيها طول الأنابيب كبيراً [5&4]. من المعروف أنه في نظام ما بعد العطل تتحدد شروط الاستقرار الستاتيكي، و هذا مرتبط بميزة التمرير لدى أنظمة الطاقة المعقدة Complex power system. و يتطلب هذا تقييداً سريعاً لاستطاعة العنفة، مما يضمن تأثيراً مهماً على الإصدار البطيء الفعال المفتوح، وعلى التجهيزات الموجهة المغلقة. نكتب في هذه الحالة علاقة تغير الاستطاعة في العنفات كما يلي:

$$\Delta N = W_{\alpha} (P) \Delta \alpha + W_{x.B} (P) \Delta S \quad (4)$$

حيث:

$$\Delta S = \frac{dS}{d\alpha} \quad ; \quad \alpha = \alpha_0, S = 0$$

نحصل من العلاقات (1) (3) و (4) على:

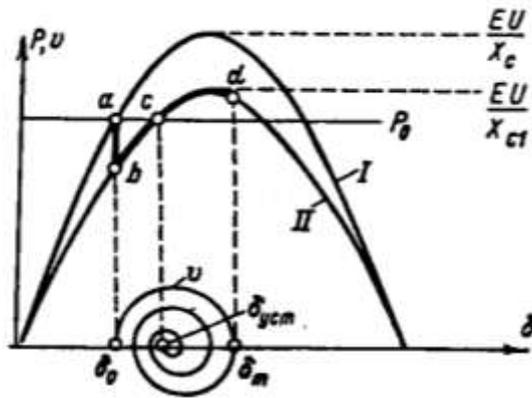
$$W_T (P) = \frac{\Delta N}{\Delta \alpha} = W_{\alpha} (P) + \frac{d S}{d \alpha} W_{x.B} (P) = a_0 \frac{1 - (a_1 - \frac{ds}{d\alpha} \frac{K_{x.B}}{a_0}) T_E P}{1 + T_E P}$$

حتى يتحقق ذلك  $a_1 - \frac{ds}{d\alpha} \frac{K_{x.B}}{a_0} = 0$  فإن العنفة الهيدروليكية توصف وفق التدفق البطيء الفعال، من

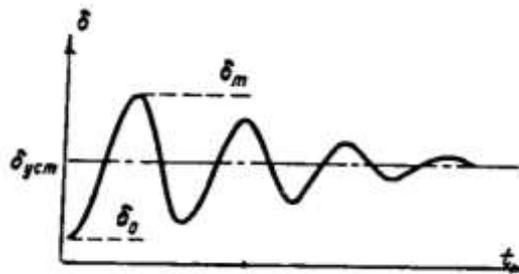
خلال تابع النقل ذي المرتبة الأولى، أي:

$$W_T (P) = a_0 / (1 + T_E P)$$

نستطيع من خلال هذه الشروط المبينة أعلاه الحصول على بارامترات التدفق البطيء الفعال Slow effective flow، و تكون مرتبطة أيضاً بتجهيزات الاستطاعة الطارئة، وفقاً لشروط الاستقرار الديناميكي الذي يزداد من 20% إلى 30%. عند ذلك يجب ضمان تقييد استطاعة التوربينات وفقاً لنظام ما بعد العطل. و يمكن توضيح تغيرات استطاعة المولدات عند العمل في النظام الطبيعي و في حالة العطل من خلال الشكل (2) المبين أدناه، بينما يبين الشكل (3) تغير الزاوية  $\delta$  بدلالة الزمن  $t$  [2].

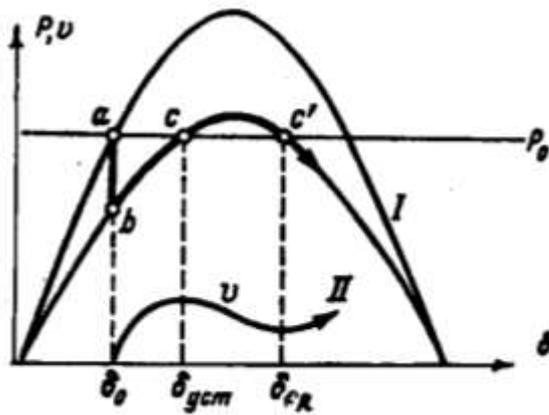


الشكل (2) - تغيرات استطاعة المولدات عند العمل في النظام الطبيعي، و في حالة العطل



الشكل (3) - تغير الزاوية  $\delta$  بدلالة الزمن  $t$

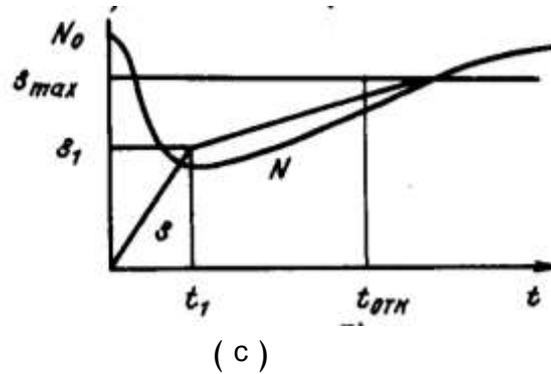
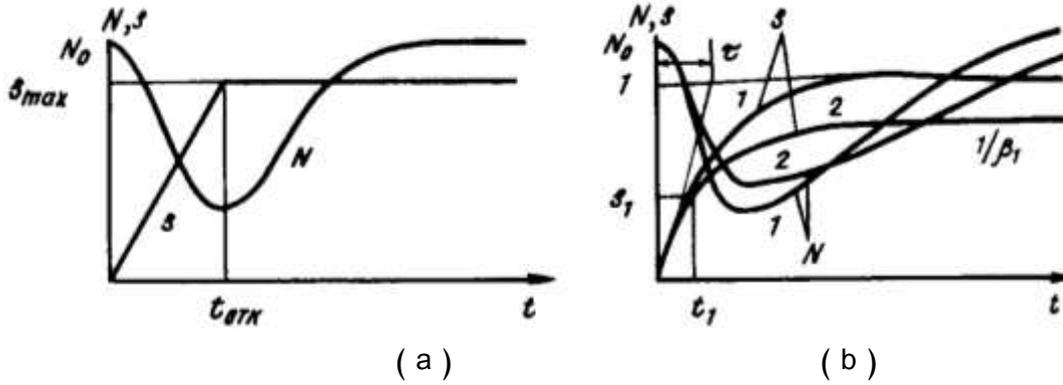
ويوضح الشكل (4) حالة انهيار الاستقرار الديناميكي عند فصل أحد خطوط نقل القدرة الكهربائية. و يمكن تبين علاقة الزاوية  $\delta$  بدلالة الزمن  $t$  أثناء الخروج من الاستقرار.



الشكل(4) - انهيار الاستقرار الديناميكي عند فصل أحد خطوط نقل القدرة الكهربائية

وفقاً للقوانين الخطية المعروفة linear laws (المحدودة)، فإن التحكم بالتدفق البطيء الفعال Slow effective flow control (الشكل 5-a) يعني أيضاً التحكم باستطاعة التوربين بعد إنقاص سرعة إقلاع تجهيزات الاستطاعة الطارئة و إنقاص فعاليتها. و هذا يتعلق بلحظة إغلاق التجهيزات الهيدروليكية. ولرفع فعالية هذه التجهيزات

يتطلب إبطاء سرعة زيادة الاستطاعة للتوربين، المشروطة بتجميد ما يسمى بالصدمة الهيدروليكية Hydraulic shock ، مما يمكن أن يقود إلى تطبيق القوانين اللاخطية Nonlinear laws للتحكم بالتدفق البطيء الفعال.



الشكل (5) المنحنيات الناظمة لقوانين التحكم بالتدفق البطيء الفعال، و تغيير استطاعة العنفة الهيدروليكية.

عند دراسة الاستقرار الديناميكي Dynamic stability لنظام الطاقة يتبين وجود قانون التحكم الفعال التالي:  
في البداية من الضروري للحالة العابرة أن تفتح التدفق البطيء الفعال بأكثر سرعة ممكنة حتى القيمة  $S = S_1$  ( الشكل b - 5 ) و التي تضمن الحفاظ على الاستقرار في الدورات الأولى للتذبذب (الاهتزاز). بعد ذلك فإن سرعة ارتفاع S يستتبع إنقاصها من ست مرات إلى سبع مرات. إن هذا الإجراء كاف Sufficient procedure لضمان سرعة الازدياد المطلوب N ( بثلاث إلى أربع مرات من بطء الطلب). بعد بلوغ أكبر فتح  $S_{max}$  للتدفق البطيء الفعال بزمن قليل إذ يكون كافياً لتخميد الحالة العابرة في نظام الطاقة فإن التدفق البطيء الفعال يبقى مفتوحاً، وبعد ذلك يُغلق ببطء (  $t_E = 20 - 30 \text{ sec.}$  ).

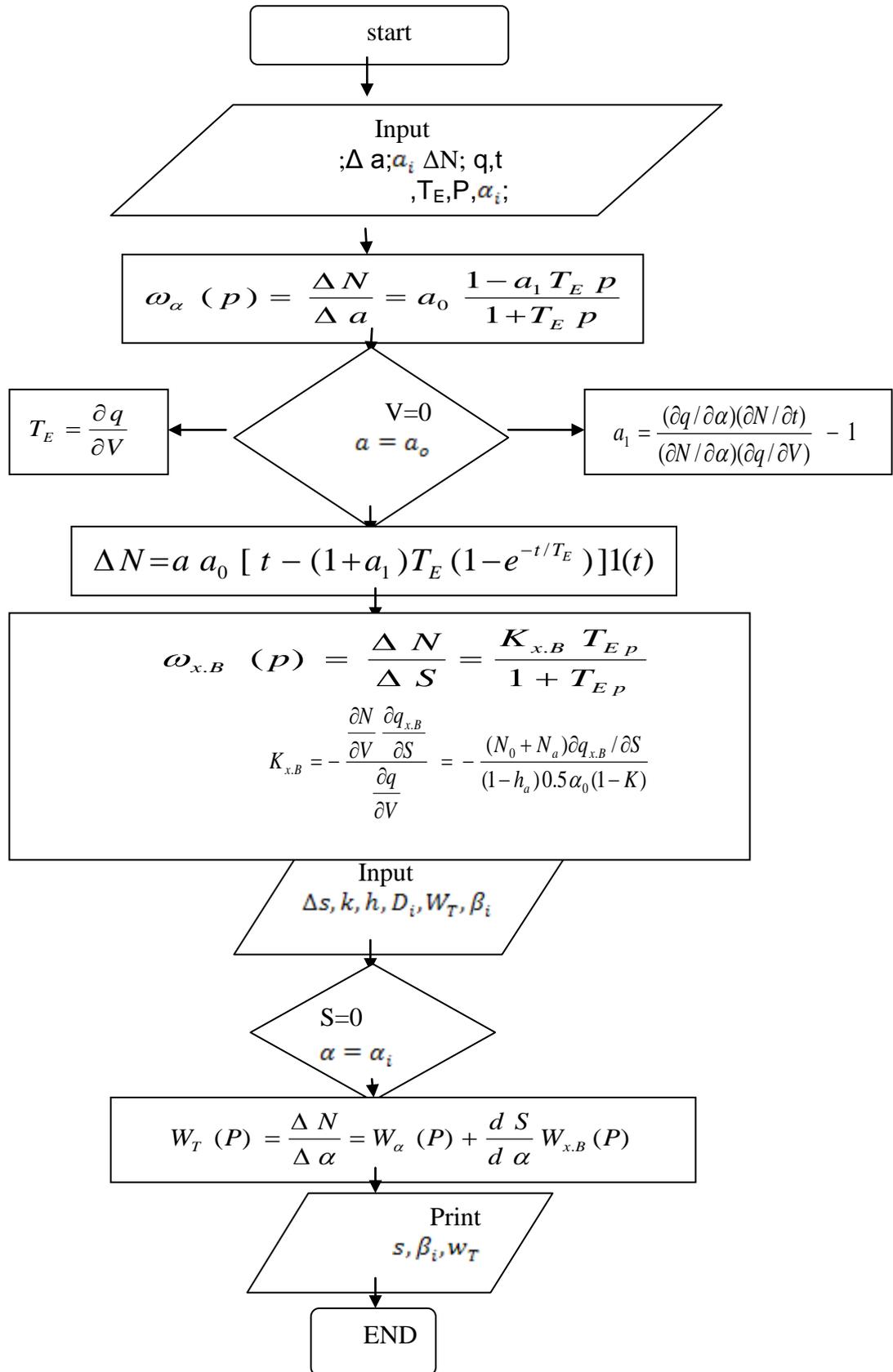
إن إمكانية تغيير نظام التدفق البطيء الفعال المفتوح مرتبطة بالمخطط التنفيذي للمعدات الميكانيكية بالمجمل، وهذا يتم في حالة استخدام محرك قيادة هيدروليكي ذي تغذية عكسية سلبية و قاسية Negative & hard feed back وذلك عند إعطاء نبضة على الجانب المفتوح إذ يتحقق قانون العرض. و بفرض فصل الطلبات الفرعية وزيادة استطاعة محرك القيادة فإنه يتم استخدام معاملات متغيرة بتغذية عكسية هي  $\beta$ . و لضمان أكبر سرعة و أكبر قيمة للطلب على الاستطاعة في الزمن الدائم  $\tau$  فإن ذلك يستتبع تطبيق أقل إمكانية متاحة لاستطاعة محرك القيادة Drive motor power.

في اللحظة  $t_1$  و عندما يتم تحييد الطلب على الاستطاعة ذات الأهمية الأقل فإن ذلك يتم وفقاً للضرورة، و لكن الاهتزاز يزيد المعامل  $\beta$  من 1 حتى  $\beta_1$  و هذا يضمن إبطاء و تقييد S (الشكل 5-b) بالإضافة إلى إبطاء السرعة الصاعدة N. إن قانون التحكم في هذه الحالة هو:

$$S = \begin{cases} 1 - e^{-t/\tau} , & 0 < t < t_1 ; \\ \frac{1}{\beta_1} - \left( \frac{1}{\beta_1} - S_1 \right) e^{-\frac{t-t_1}{\tau} \beta_1} , & t > t_1 \end{cases}$$

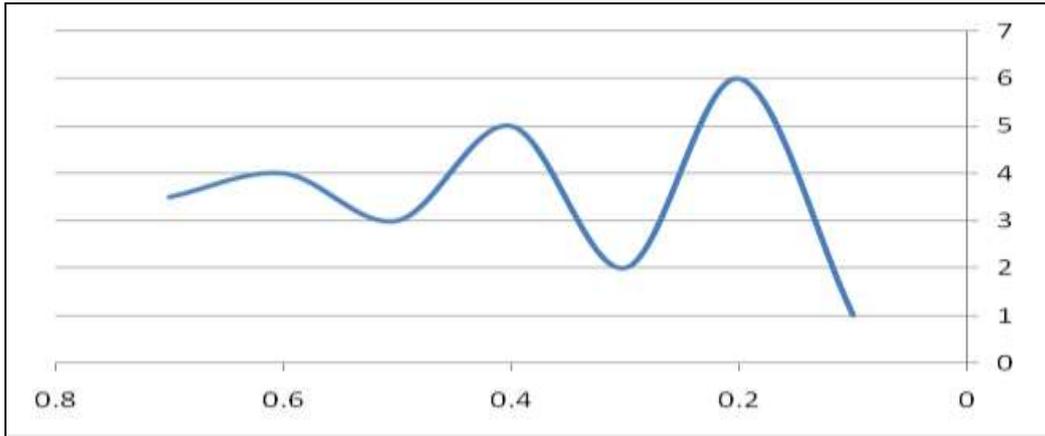
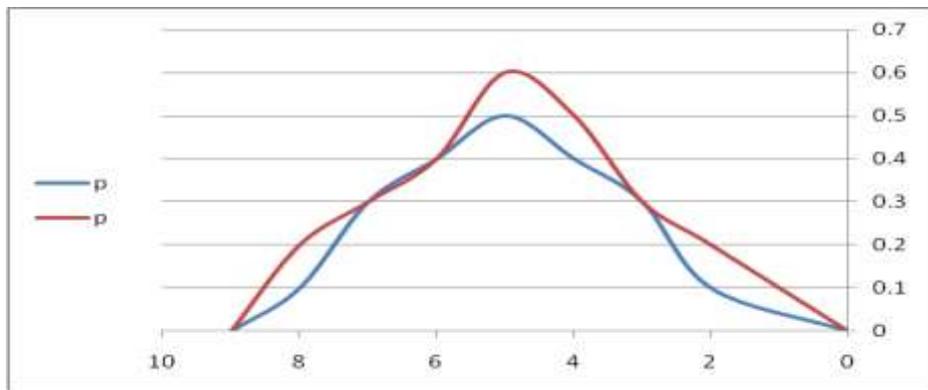
يمكن الحصول على قانون تغيير استطاعة العنفة بالأخذ بالحسبان الطلب الأعظمي مع تحميل العنفة Turbine loading إلى الوضعية التي توافق حالة ما بعد العطل لنظام، الطاقة الكهربائي الشكل (c-5). من أجل ذلك فإنه من الضروري ضمان سرعة فتح التدفق البطني الفعال، وذلك عند إغلاق تجهيزات التحكم في بداية اللحظة الزمنية لإبطاء سرعة الفتح بالإضافة إلى ما بعد هذه اللحظة.

لقد تم تطبيق الدراسة النظرية على منظومة افتراضية من خلال النمذجة والمحاكاة، بعد وضع المخطط الانسيابي لخوارزمية دراسة نظام التحكم باستطاعة التوربينات للمحطة الكهرومائية المدروسة. ونبين فيما يأتي الخطوات التي تم إجراؤها مع الأشكال و المنحنيات و النتائج بالإضافة إلى المقارنة.

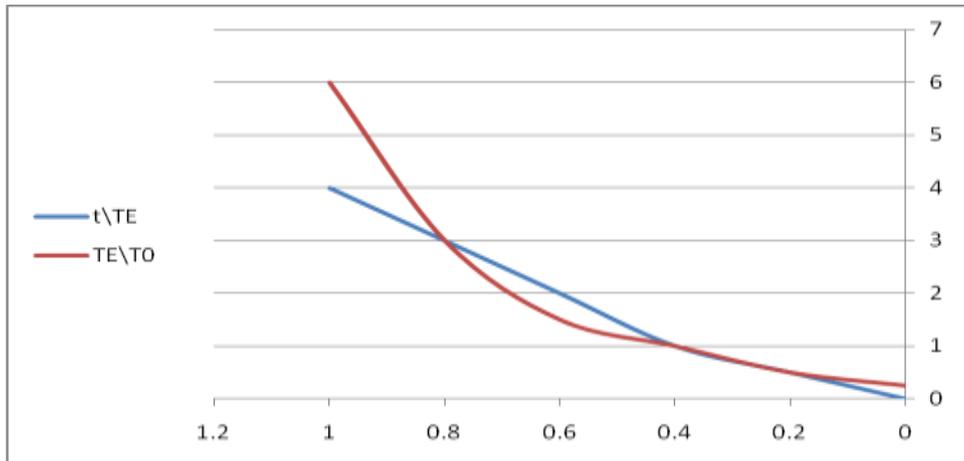


النتائج التي تم الحصول عليها من الدراسة الافتراضية بشكل حسابي مبرمج و بشكل بياني

Name	Value	Min	Max
B	0.1	0.1	0.1
B1	1.2	1.2	1.2
N	0.0018	0.0018	0.0018
N0	0.0002	0.0002	0.0002
N1	-0.0012	-0.00...	-0.00...
Na	0.0003	0.0003	0.0003
T	0.5	0.5	0.5
TE	0.4	0.4	0.4
TE1	0.4	0.4	0.4
TEp	20	20	20
WTP	0.035	0.035	0.035
WTP1	0.0716	0.0716	0.0716
Wa	0.0366	0.0366	0.0366
Wa1	0.035	0.035	0.035
WxB	0.175	0.175	0.175
a	0.05	0.05	0.05
a0	0.05	0.05	0.05
a1	1.5	1.5	1.5
a11	0.05	0.05	0.05
dN	0.1	0.1	0.1
da	0.05	0.05	0.05
dq	0.2	0.2	0.2
dqx	2	2	2
ds	0.01	0.01	0.01
dt	0.2	0.2	0.2
dv	0.5	0.5	0.5
h0	0.8	0.8	0.8
k	0.8	0.8	0.8
kxB	-100	-100	-100
kxB1	100	100	100
kxB2	-100	-100	-100
p	0.3	0.3	0.3
q	0.05	0.05	0.05
s	0.6019	0.6019	0.6019
s1	0.01	0.01	0.01
t	0.2	0.2	0.2
v	0	0	0
wxB1	95.2381	95.2...	95.2...

الشكل (6) تغير الزاوية  $\delta$  بدلالة الزمن  $t$ 

الشكل (7) انهيار الاستقرار الديناميكي عند فصل أحد خطوط نقل القدرة الكهربائية



الشكل (8) تغير استطاعة العنقات عند الإصدار البطيء الفعّال المفتوح

### النتائج والمناقشة:

عند مقارنة النتائج المبينة أعلاه تظهر إمكانية رفع استقرار منظومة القدرة الكهربائية من خلال التحكم بضغط العنقات بدلالة الزمن، و ذلك بواسطة تغيير القيم المعطاة في سياق البرنامج الواصف لبنية الخوارزمية الموضوعية

للتطبيق، من أجل تقييد حصول أعطال خطية، ويمكن إعطاء القيم التجريبية في سطور البرنامج، والمشروحة بشكل تفصيلي في كل سطر من السطور المبينة أعلاه على حدة.

من جهة أخرى تُظهر المنحنيات البيانية الناتجة عن البرنامج مصداقية الخطوات الترتيبية التي تم إتباعها خلال عملية صياغة الخوارزمية، ومن ثم الحصول على البنية الرئيسة لسياق البحث، بالتوافق مع المقدمة النظرية. بالإضافة إلى الاستفادة من جملة المعلومات المعروفة مسبقاً والتي تم الإشارة إليها في سرد المراجع في الصفحة الأخيرة من البحث. إذ أن أي بحث علمي لا بد أن يعتمد على ما سبقه من معلومات و خبرات تصب في الإطار نفسه.

يمكن هنا الاستزادة في الشرح و الاستطراد أكثر في التفاصيل، و لكني أترك ذلك لحصافة السيد المحكم و منهجيته البحثية، علماً أنه قد تم التوصية، في نهاية هذا البحث، على ضرورة الدراسة والاستقصاء والبحث في الموضوع نفسه ولكن في إطار ما يسمى الأعطال اللاخطية.

### الاستنتاجات والتوصيات:

1. تم في هذا البحث إلقاء الضوء على الإمكانيات المتاحة لرفع استقرار منظومة القدرة الكهربائية، من خلال تطوير خوارزمية رياضية للتحكم ببارامترات الاستطاعة الكهربائية المولدة من هذا النوع من المحطات، التي تستخدم أساساً لدعم حملات الذروة كون إقلاعها سلساً و انسيابياً و سريعاً.
  2. تعتمد الخوارزمية المدروسة في هذا البحث على دراسة نظام التحكم باستطاعة التوربينات الضخمة للمحطة الكهرومائية، والتي تضمن الحصول على زمن قصير لإنقاص حمولة التوربين.
  3. يُقترح من أجل العمليات ذات الانسيابية الكبيرة طريقة أخرى للتحكم بالآلات الهيدروليكية، وتعتمد هذه الطريقة على مبدأ تنظيم ضغط التوربينات.
  4. تم رفع الاستقرار الديناميكي لمنظومة القدرة الكهربائية عند دارات القصر الكبيرة، و نتج عن ذلك تقييد استطاعة التوربين (العنفة) من أجل زيادة الاستقرار الساتاتيكي عند فصل خطوط نقل القدرة الكهربائية و كذلك لضمان تخميد الحالات العابرة الكهروديناميكية.
  5. تم الحصول على بارامترات التدفق البطيء الفعال، التي تكون مرتبطة أيضاً بتجهيزات الاستطاعة الطارئة، و ذلك وفقاً لشروط الاستقرار الديناميكي الذي يزداد من 20% إلى 30%.
- يوصى بمتابعة الدراسة والبحث والاستقصاء في إطار تطبيق القوانين اللاخطية للتحكم بالتدفق البطيء الفعال، بغية الإحاطة بالمزيد من البارامترات المؤثرة والداخلية في منظومة المحطات الكهرومائية.

**المراجع:**

1. د. كفا، سمير، الآلات و الأنظمة الهيدروليكية، منشورات جامعة تشرين 2006، 453 صفحة.
2. د. أسير، جورج، تحليل الشبكات الكهربائية، منشورات جامعة تشرين 2006، 485 صفحة.
3. ف. أ. فينيكوف، ف. أ. ستروف، أ. ب. أونغر و غيرهم، بناء خوارزميات التحكم الآلي بأنظمة ما بعد العطل في جمل الطاقة باستخدام الحاسوب، 1992.
4. ي. ف. برويدي، ف. أ. شتروبل، تحديد المؤثرات التحكمية الآلية في أنظمة ما بعد العطل وفقاً لشروط الاستقرار الديناميكي، 1993
5. VOROPAI, I. ; TRUFANOF, V.V.;SELFANOVE, V.; ISHEVELEVA, G.I., Electric power system integration in liberalized environment: An approach effectiveness estimation. London, 2000