

دراسة تأثير الفاعلية على قدرة المفاعل بتأثير التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود
فرحان لفته رشيد، ابراهيم كيطان فياض، فيصل غازي حمودي، صباح محمد فتحي، حوراء محمد حسين

دراسة تأثير الفاعلية على قدرة المفاعل بتأثير التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود

فرحان لفته رشيد، ابراهيم كيطان فياض، فيصل غازي حمودي، صباح محمد فتحي، حوراء محمد حسين
وزارة العلوم والتكنولوجيا جامعة ديالى/ كلية العلوم وزارة العلوم والتكنولوجيا

الخلاصة

شملت الدراسة ادخال فاعلية ثابتة سالبة موجبة و/أو فاعلية كدالة للزمن بهيئة متعددة الحدود وبوجود التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود لدراسة تأثيرات الفاعلية على سلوك قدرة المفاعل.

أدخلت فاعلية سالبة ثابتة $p = -0.001$ بوجود التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود لوحظ استقرارية القدرة ثم تأخذ بالهبوط عند زيادة الفاعلية السالبة، وكذلك أدخلت فاعلية موجبة ثابتة $p = 0.007$ فلوحظ ان القدرة تستقر عند هذه الفاعلية وتبدأ بالزيادة عند زيادة الفاعلية الموجبة. أما في حالة إدخال الفاعليات الموجبة ($0.45\$ - 0.65\$$) فقد لوحظ ان الفاعلية الناتجة تستقر ثم تهبط مع الزمن.

درست سلوكية قدرة المفاعل عند إدخال فاعليات موجبة ($1.003\$ - 2.5\$$)، إذ لوحظت زيادة مفاجئة في القدرة ثم اهتزاز الفاعليات الموجبة ($1.5\$ - 2.5\$$) بعد الزيادة المفاجئة في القدرة.

كما تم إدخال فاعليات كدالة للزمن بهيئة متعددة الحدود، مثلت النتائج المستحصلة في الدراسة الحالية للفاعلية و/او القدرة كدالة للزمن باشكال بيانية. وقد اوضحت هذه النتائج تطابقاً مع القيم العالمية المنشورة.

اظهرت هذه الدراسة ضرورة توفر التحديد المسبق لقيم تأثيرات الفاعلية لغرض تحليلات السلامة في الحالة العابرة وكذلك لمتطلبات السيطرة اثناء اشتغال المفاعل.

الكلمات المرشدة: حركية المفاعل، حركية المفاعل النقطية، الحوادث، التغذية العكسية، إدخال فاعلية.

المقدمة

من الأمور المهمة في عملية اشتعال المفاعلات النووية بصورة اعتيادية سواء كانت مفاعلات بحوث و/او مفاعلات قدرة هو موضوع السيطرة على تعداد النيوترونات الناتجة من عمليات التفاعل المستمر داخل قلب المفاعل النووي وكذلك عملية ضمان سلامة الاشتغال لا بد من دراسة سلوكية النيوترونات المتولدة في قلب المفاعل النووي كدالة للزمن وهذا يعني دراسة حركية المفاعل (Reactor Kinetics) او ما يسمى بديناميكية المفاعل (Reactor Dynamics) [2,1].

يعتمد جنوح المفاعل النووي عن الحالة الحرجة ($K_{eff} = 1$) على مقدار الزيادة او النقصان في قيمة عامل التكاثر التآثيري (K_{eff}) بالنسبة لقيمه في الحالة الحرجة وهذا يتطلب الأخذ بنظر الاعتبار عوامل متعددة تعمل على زيادة و/ او نقصان

دراسة تأثير الفاعلية على قدرة المفاعل بتأثير التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود
فرحان لفته رشيد، ابراهيم كيطان فياض، فيصل غازي حمودي، صباح محمد فتحي، حوراء محمد حسين

فاعلية المفاعل $[\rho = K_{eff} - 1 / K_{eff}]$ كحركة قضبان السيطرة وانتاج النظائر في الوقود اثناء عملية الانشطار النووي المتسلسلة وتغيرات درجات الحرارة في قلب المفاعل والتغيرات البيئية المحيطة بالمفاعل والحوادث المفاجئة في المفاعل. [8-3] يمكن التعبير عن وحدة قياس الفاعلية بعدد النيوترونات المتأخرة الكلية β وكما يلي :

$$\beta = \sum_{i=1}^N \beta_i, \quad 1\$ = \frac{\rho}{\beta}, \quad 1cent = \frac{1}{100} \frac{\rho}{\beta}$$

أي ان وحدة السنة تساوي 0.01 من وحدة الدولار (\$))

أي ان تغير في تعداد النيوترونات ومستوى قدرة المفاعل يؤثر بصورة مباشرة في الحالة الحرجة سلباً وإيجاباً، وانه في حالة تغير مستوى القدرة يؤدي الى تغير في درجة حرارة قلب المفاعل النووي الذي بدوره سيؤثر في الحالة الحرجة نتيجة لتأثر طيف النيوترونات والمقاطع العرضية بسبب التغير الحاصل في أبعاد الشكل الهندسي وكثافة مكونات مادة القلب.

لهذا السبب تعتبر دراسة سلوكية النيوترونات كدالة للزمن ذات أهمية عملية لمتابعة حالة الاتزان (Stability) والسيطرة على اشتغال المفاعل في الحالات الاعتيادية او في حالة الزيادة المفاجئة (Excursion) في الفاعلية كما يحصل في حالة إخفاق إحدى مضخات قلب المفاعل مثلاً او أية حالة غير طبيعية. يتبين من ذلك ضرورة توفر التحديد المسبق لتأثيرات الفاعلية لغرض تحليلات السلامة في الحالة العابرة (Transient) وكذلك لمتطلبات السيطرة أثناء اشتغال المفاعل حيث أجريت في هذا المضمون أبحاث عديدة [9-16].

استخدم في الدراسة الحالية البرنامج الحاسبي AIREK – MOD في دراسة محاكاة حركية مفاعل (Reactor Kinetics) قدرة (DOCKET -5025/50250) في حالة وجود التغذية العكسية (With Feedback) لدرجة حرارة الوقود (Fuel Temperature) [11].

1- النظرية :

في البحث الحالي سنفرض حالة نموذج المفاعل النقطي، حيث ان هذا النموذج يتحقق فقط عندما يقترب عامل التكاثر (Multiplication Factor) من الواحد وان عجزه الرئيسي هو عدم مقدرته على وصف التوزيع المكاني (Spatial Distribution) خلال الحالة العابرة (Transient). يتضمن هذا النموذج حالات حسابية مهمة وواسعة. ان الفكرة الأساسية لمركبة المفاعل بشكل عام لكل أنواع المفاعلات هي الفاعلية والمعدل الزمني وزمن توليد النيوترون والنيوترونات المتأخرة. لذا فإن مفاعلات حركية المفاعل يمكن كتابتها بالشكل الآتي [17].

$$\frac{dN(t)}{dt} = \left[\frac{k-1}{k} \right] \frac{-\beta}{\Lambda} N + \sum_1 \lambda_1 C_{ieff} + S_{eff} \quad (1)$$

دراسة تأثير الفاعلية على قدرة المفاعل بتأثير التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود
فرحان لفته رشيد، ابراهيم كيطان فياض، فيصل غازي حمودي، صباح محمد فتحي، حوراء محمد حسين

$$\frac{dC_{ieff}}{dt} = \frac{\bar{\gamma}\beta_i N}{\Lambda} - \lambda_i C_{ieff} \quad (2)$$

علماً ان:

$$\Lambda(t) = \frac{\int \phi_0^+ \Phi \cdot \left(\frac{1}{V}\right) \cdot dV \cdot dr}{\int [(1-\beta)\chi \sum_i \beta_i \chi_i] \phi_0^+ \cdot \mathcal{G} \sum_f \Phi \cdot dV \cdot dr}$$

$$\bar{\gamma}\beta(t) = \frac{\int \sum_i \beta_i \chi_i \phi_0^+ \cdot \mathcal{G} \sum_f \Phi \cdot dV \cdot dr}{\int [(1-\beta)\chi + \sum_i \beta_i \chi_i] \phi_0^+ \cdot \mathcal{G} \sum_f \Phi \cdot dV \cdot dr}$$

$$C_{ieff}(t) = \frac{\int C_i \chi_i \phi_0^+ \cdot dV \cdot dr}{\int \phi_0^+ \cdot \Phi \cdot \left(\frac{1}{V}\right) \cdot dV \cdot dr}$$

وان علامة المعدل فوق (dV, dr, γ) والفيض (Adjoin Flux) يشيران الى المعدل لكل الطاقة.

ان زمن توالد النيوترون Λ هو اساساً يكون احتمالية انتاج تبادلي (Reciprocal Production Probability).

يمكن كتابة معادلة حركية المفاعل المشار اليها في المعادلتين (1) و (2) بالشكل النهائي وكما يلي:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{k(1-\bar{\gamma}\beta)-1}{L} N + \sum_i \lambda_i C_{ieff} + S_{eff} \quad (3)$$

$$\frac{dC_{ieff}}{dt} = \frac{\bar{\gamma}\beta k}{L} N - \lambda_i C_{ieff} \quad (4)$$

حيث ان:

N تمثل كثافة النيوترون، t تمثل الزمن، K تمثل عدد اعادة انتاج النيوترون، $\bar{\gamma}$ تمثل المكان (الموضع)، β تمثل العدد الكلي لمجاميع النيوترونات المتأخرة، C_i ، λ_i تمثل تركيز وثابت انحلال مجموعة (i^{th} group) للنيوترونات المتأخرة على التوالي، S_{eff} تمثل مصدر النيوترون، ϕ_0^+ تمثل الفيض (adjoint flux)، Φ تمثل كثافة النيوترونات، V تمثل سرعة النيوترون، χ ، χ_i تمثل طيف طاقة النيوترونات الفورية ومجموعة i - (group) للنيوترونات المتأخرة على التوالي، \sum_f يمثل المقطع العرضي العياني للانشطار.

دراسة تأثير الفاعلية على قدرة المفاعل بتأثير التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود
فرحان لفته رشيد، ابراهيم كيطان فياض، فيصل غازي حمودي، صباح محمد فتحي، حوراء محمد حسين

ان زمن عمر النيوترون Neutron Lifetime (L) في هذه المعادلات يتعلق بزمن تولد النيوترون الفوري (Λ) خلال عدد النيوترونات المنتجة بمحاكاة التعريف لـ (Λ) فان (L) يجب ان يفرض كاحتمالية هدم تبادلي Reciprocal Destruction ومن الواضح ان معادلات حركية المفاعل يمكن ان يعبر عنها بتعبير انتاج النيوترون (Λ) او بتعبير تحطم النيوترون (L). ومهما يكن من شيء فان كلاهما بنفس الحالة وذا استعمال مألوف، ولأحسن الحالات العملية فان التمييز ما بين (Λ) و (L) يكون مهمل بشكل عام.

2- تمثيل معادلة الفاعلية :

يمكن تمثيل معادلة الفاعلية التي ترتبط بالتغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود بعد حل المعادلة ادناه لذا فان [18] :

$$\frac{dT_F(t)}{dt} = K_1 N(t) - \frac{H}{C_F} [T_F - T_R]$$

تمثل هذه المعادلة مقدار التغير في درجة حرارة الوقود عن قيمتها في الحالة المستقرة (Steady State) علماً ان (رمز) تمثل درجة حرارة الوقود عند اشتعال المفاعل بعد زمن t، حيث تمثل كثافة النيوترونات كدالة للزمن، وان $T_F(t)$ و $T_R(t)$ تمثل درجة حرارة الوقود ودرجة حرارة المبرد كدالة للزمن في قناة التبريد المعينة كدالة للزمن (K_2, K_1) تمثل مقلوب السعة (Capacity Reciprocal) للوقود المبرد على التوالي وان (C_R و C_F) تمثل السعة الحرارية (Heat Capacity) للوقود والمبرد على التوالي. اما H/C_R و H/C_C فتمثل مقلوب ثابت الزمن (Time Constant) أي مقلوب معدل الزمن لانتقال الحرارة من الوقود الى المبرد. وعليه يمكن تمثيل معادلة الفاعلية على النحو الآتي:

$$\rho(t) = \rho_0 + \alpha_F T_F(t) \quad (5)$$

علماً ان $\rho(t)$ تمثل الفاعلية كدالة للزمن اثناء اشتغال المفاعل للحالة المستقرة وان α_F تمثل معادلة درجة حرارة الفاعلية للوقود (Temperature Coefficient of Reactivity).

3- الحسابات :

1-3 حساب القدرة المتولدة في الوقود [19,17]

$$P = P_k + P_d$$

حيث ان الحرارة الكلية الخارجية :

$$P = \text{Total Heat Output} = 2097 \text{ MW}_{th} = 2097 \times 10^6 \text{ W}_{th}$$

القدرة المتولدة من الوقود

$$P_k = \text{Reactor Power Generated in Fuel.}$$

دراسة تأثير الفاعلية على قدرة المفاعل بتأثير التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود
فرحان لفته رشيد، ابراهيم كيطان فياض، فيصل غازي حمودي، صباح محمد فتحي، حوراء محمد حسين

$$P_d = \text{Decay Heat} = 0.0673 \times \text{total Heat Output.}$$

أي ان:

الحرارة المضمحلة = 6.73 % من القدرة الابتدائية.

وعليه تكون القدرة المتولدة في الوقود هي:

$$P_k = P - P_d$$

$$P_k = 2097 - 0.0673 \times 2097 = 2.097 \times (1 - 0.0673) = 1955.8719 \text{ MW}_{th}.$$

أو يمكن التعبير عن القدرة المتولدة بالوحدات الانكليزية للأغراض الحسابية كما يلي:

$$P_k = 0.19558719 \times 10^{10} \text{ W}_{th} \approx 0.1959 \times 10^{10} \text{ W}_{th}$$

$$\approx 0.6684108 \times 10^{10} \text{ BTU/hr} \approx 0.1857 \times 10^7 \text{ BTU / sec}$$

2-3 الحسابات الحرارية للبيانات المتعلقة بالوقود:

أ- حساب السعة الحرارية للوقود:

r_p = Radius of one fuel rod

$r_p = (\text{outside diameter of one fuel} / 2) - (\text{Diameter gap} / 2) - \text{clad thickness}$

$$r_p = (0.422/2) - (0.0065/2) - 0.0243$$

$$r_p = 0.1834 \text{ inch} = 0.0152 \text{ ft}$$

or

$$r_p = 0.0046 \text{ m}$$

Total volume of the fuel (V_F) = $\pi r_f^2 L \times \text{Number of fuel rods}$

$$V_F = \pi \times 0.000233 \times 12 \times 32028$$

$$V_f = 282.1 \text{ ft}^3$$

دراسة تأثير الفاعلية على قدرة المفاعل بتأثير التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود
فرحان لفته رشيد، ابراهيم كيطان فياض، فيصل غازي حمودي، صباح محمد فتحي، حوراء محمد حسين

or

$$V_F = 7.99 \text{ m}^3$$

$$\text{Total mass of the fuel (M}_F) = \rho_{th} (\% \text{ of the theoretical}) \times V_F$$

$$M_F = 10.9 \times 0.935 \times 62.4 \times 282.18$$

$$M_F = 180772.5 \text{ lb}$$

or

$$M_F = 81998.4 \text{ kg}$$

$$C_{PF} = \text{Specific heat of the fuel}$$

$$C_{PF} = 0.054 \text{ BTU/ lb. } ^\circ\text{F}$$

$$C_{PF} = 0.054 \text{ Calories / gm. } ^\circ\text{C}$$

$$C_{PF} = 229.9 \text{ Joule / Kg. } ^\circ\text{C}$$

$$C_c = \text{Fuel heat capacity}$$

$$C_c = M_F \times C_{FF} = 180772.5 \text{ lb} \times 0.054 \text{ (BUT / lb. } ^\circ\text{F)}$$

$$C_c = 9930.09 \text{ BUT / } ^\circ\text{F}$$

or

$$C_c = 180772.5 \text{ lb} \times 0.45 \text{ Kg / lb} \times 4.18 \times 10^3 \times 0.054$$

$$C_c = 18859464.07 \text{ J / } ^\circ\text{k}$$

ب- حساب مقلوب السعة الحرارية للوقود:

$$K_1 = 1 / C_c = 1 / \rho_{th} V_F C_{PF} = 1 / M_f C_{PF}$$

$$= 1 / 9930.90 = 0.0001 \text{ } ^\circ\text{F / BTU} = 0.1 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{F / BTU}$$

$$= 0.53 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{k/Joule}$$

دراسة تأثير الفاعلية على قدرة المفاعل بتأثير التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود
فرحان لفته رشيد، ابراهيم كيطان فياض، فيصل غازي حمودي، صباح محمد فتحي، حوراء محمد حسين

ج- حساب مقلوب ثابت الزمن:

حساب معدل الانتقال الحراري للمبرد [20-21]:

$$h = 0.145 \left[1 + 10^{-2} T_b - 10^{-5} T_b^2 \right] \frac{V^{0.2}}{D_e^{0.2}} (BTU / hr \cdot ft^2 \cdot ^\circ F)$$

= Heat Transfer Coefficient

حيث ان [17]:

V_m = Velocity of Coolant

$$= 13.9 \text{ ft /hr}$$

or

$$V_m = 0.0011 \text{ m/sec}$$

T_b = Bulk Temperature

$$T_b = 577.0 \text{ } ^\circ F = 575.927 \text{ k}$$

و عند التعويض عن T_b و V_m نحصل على:

$$h = 0.148 \left[1 + 10^{-2} \times 577 - 10^{-5} \times (577)^2 \right] \times \frac{(13.9 \times 3600)^{0.2}}{D_e^{0.2}}$$

وان قطر المكافئ (D_e) يحسب من العلاقة الآتية [12-16]:

$$De = \frac{S^2 - \left(\frac{1}{2}D\right)^2 \pi}{\pi D}$$

حيث ان :

D= Outside diameter for one fuel rod القطر الخارجي لعمود وقود واحد

$$S = \text{Rod Pitch} = 0.563 / 12 \text{ ft} = 0.0143 \text{ m}$$

دراسة تأثير الفاعلية على قدرة المفاعل بتأثير التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود
فرحان لفته رشيد، ابراهيم كيطان فياض، فيصل غازي حمودي، صباح محمد فتحي، حوراء محمد حسين

$$De = \frac{\left(\frac{0.563}{12}\right)^2 - \frac{1}{4}\pi\left(\frac{0.422}{12}\right)^2}{0.1104\pi}$$

$$De = 0.0111 \text{ ft}$$

or

$$De = 0.00339 \text{ m}$$

و عند التعويض عن De في معادلة الانتقال الحراري للمبرد نحصل على:

$$h = 0.148 [1 + 5.77 - 10^{-5} \times (577)^2] \times \frac{(13.9 \times 3600)^{0.8}}{(0.0111)^{0.2}}$$

$$h = 7195.2 \text{ BTU / hr. ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

A = Active heat transfer surface area

$$A = 42460 \text{ ft}^2$$

$$A = 3944.5 \text{ m}^2$$

$$hA / (M_F C_{FF}) = H / Cc$$

$$= 7195.27 \text{ BTU/ hr. ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} / 9930.09 \text{ BTU/ } ^\circ\text{F}$$

$$hA / (M_F C_{FF}) = 30766.2 \text{ 1/hr} = 8.54 \text{ 1/sec}$$

وعليه يكون ثابت الزمن (معدل زمن انتقال الحرارة الى المبرد) هو:

$$\tau = 8.54 \text{ 1/sec} = 0.11 \text{ sec} = \text{Time constant}$$

4- البيانات النيوترونية :

تم استخدام فاعليات مختلفة لبيان سلوك حركية مفاعل قدرة نوع PWR (مفاعل الماء المضغوط) [11] لوقود اليورانيوم U^{235} باستعمال (6) سنة مجاميع من النيوترونات المتأخرة، وان العدد الكلي (β) يساوي 0.0064 وان عمر النيوترونات

دراسة تأثير الفاعلية على قدرة المفاعل بتأثير التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود
فرحان لفته رشيد، ابراهيم كيطان فياض، فيصل غازي حمودي، صباح محمد فتحي، حوراء محمد حسين

و ثوابت الانحلال (Decay Constant (λ_i) [19] ومعامل درجة الفاعلية للوقود $(L=1.0 \times 10^{-4} \text{ sec})$
 $(\alpha_F = -2.0 \times 10^{-5} / ^\circ F)$.

النتائج

شملت نتائج الحسابات حالة وجود التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود (1 Feedback) وتضمنت حالات متعددة كالحالات المدرجة فيما يأتي :

أ- ادخال فاعليات سالبة ثابتة كالآتي :

$(-0.01 \$, -0.1 \$, -0.9 \$, -0.95 \$, -1.0 \$, -1.5 \$)$ نتيجة لادخال هذه الفعاليات اجريت حسابات لدراسة سلوك قدرة المفاعل كدالة للزمن وقد مثلت النتائج لجميع هذه الحالات في الشكل رقم (1) والشكل رقم (2) على التوالي، وفي حالة وجود التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود (1 feedback).

ب- ادخال فاعليات موجبة ثابتة وكالآتي :

$(0.007 \$, 0.06 \$, 0.1 \$, 0.2 \$, 0.24 \$, 0.29 \$, 0.35 \$)$ على التوالي باي تتحصر قيم هذه الفاعليات من $0.007 \$$ الى $0.35 \$$ وكذلك القيم الموجبة الآتية :-

$(0.4 \$, 0.5 \$, 0.53 \$, 0.54 \$, 0.55 \$, 0.56 \$, 0.57 \$, 0.58 \$, 0.59 \$, 0.65 \$)$ على التوالي لدراسة سلوك القدرة كدالة للزمن في حالة ادخال فاعلية موجبة (Positive Reactivity) وخاصة لغرض محاكاة الحوادث عندما يتسبب ادخال فاعلية موجبة.

مثلت نتائج الحسابات لأدخال فاعليات موجبة ثابتة من $0.007 \$$ الى $0.35 \$$ بأشكال بيانية للقدرة كدالة للزمن وكما هي موضحة في الشكل رقم (3) والشكل رقم (4) كما مثلت نتائج الحسابات لادخال فاعليات موجبة ثابتة من $0.4 \$$ الى $0.56 \$$ بأشكال بيانية للقدرة كدالة للزمن كما موضحة بالشكل رقم (5) والشكل رقم (6) على التوالي ولحالة التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود (1 Feedback). كذلك اجريت حسابات لادخال فاعليات موجبة ثابتة $(0.7 \$, 0.2 \$, 0.29 \$, 0.84 \$, 0.9 \$, 0.93 \$, 0.96 \$, 1.003 \$, 1.07 \$, 0.2 \$, 1.2 \$, 0.35 \$, 0.4 \$, 0.45 \$, 0.5 \$, 1.2 \$, 0.95 \$, 0.57 \$)$

على التوالي لدراسة سلوك الفاعلية في حالة التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود أي لحالة الحادثة التي تتضمن ادخال فاعليات موجبة (Positive Reactivity) ثابتة ، حيث مثلت نتائج الحسابات للفاعلية كدالة للزمن a (Reactivity Function Time) بأشكال بيانية كما هي موضحة في الشكل رقم (7) والشكل رقم (8) وللقدرة كدالة للزمن للفاعليات من $(0.7 \$)$ الى $(0.96 \$)$ بالأشكال البيانية الموضحة بالشكل رقم (9) والشكل رقم (10) ولحالة التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود. وفضلا عن ذلك فقد ادخلت قيم عالية للفاعلية الموجبة أي : $(1.2 \$, 1.26 \$, 1.25 \$, 1.24 \$, 1.23 \$)$ ،

دراسة تأثير الفاعلية على قدرة المفاعل بتأثير التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود
فرحان لفته رشيد، ابراهيم كيطان فياض، فيصل غازي حمودي، صباح محمد فتحي، حوراء محمد حسين

دراسة سلوك القدرة كدالة للزمن في حالة (1.22\$, 1.2\$, 2.0\$, 1.5\$, 1.28\$, 1.07\$, 1.003\$, 2.5\$) على التوالي لدراسة سلوك القدرة كدالة للزمن في حالة الحوادث والتي تتضمن ادخال فاعليات موجبة كبيرة ، حيث مثلت نتائج الحسابات باشكال بيانية كما هي موضحة في الشكل رقم (11) والشكل رقم (12) ولحالة التغذية العكسية لدرجة الوقود (1 Feedback).

كذلك تمت دراسة سلوك الفاعلية كدالة لزمن دورة المفاعل (Reactivity as a Function of the Reactor Period) عند ادخال فاعليات موجبة ثابتة أي :

كما هي موضحة في الشكل رقم (13) والشكل رقم (14). (1.07\$, 1.003\$, 0.57\$, 0.5\$, 0.45\$, 0.35\$, 0.29\$, 0.2\$) على التوالي وقد مثلت نتائج الحسابات باشكال بيانية

ج- ادخال فاعلية ثابتة خطية وغير خطية :

1- ادخال فاعلية خطية في حالة التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود (1 Feedback) تم تمثيل الفاعلية كدالة للزمن بشكل علاقات رياضية خطية وغير خطية وكالاتي :

$$1- \rho(t) = 0.001 t^2 \quad \$$$

$$2- \rho(t) = -0.1 t + t^2 \quad \$$$

$$3- \rho(t) = 0.01 + t \quad \$$$

$$4- \rho(t) = 0.3 + 1.5t \quad \$$$

$$5- \rho(t) = 0.3 + 1.6t \quad \$$$

$$6- \rho(t) = 0.4 + 1.9t \quad \$$$

شملت هذه الحسابات دراسة سلوك القدرة كدالة للزمن بوجود التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود وقد مثلت نتائج الحسابات باشكال بيانية كما في الشكل رقم (15) والشكل رقم (16).

كذلك تمت دراسة سلوك الفاعلية كدالة للزمن عن طريق ادخال فاعلية ثابتة وغير خطية كدالة للزمن وبوجود التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود وكما يلي :

$$1- \rho(t) = 0.01 t \quad \$$$

$$2- \rho(t) = 2 \quad \$$$

$$3- \rho(t) = 0.001 t^2 \quad \$$$

دراسة تأثير الفاعلية على قدرة المفاعل بتأثير التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود
فرحان لفته رشيد، ابراهيم كيطان فياض، فيصل غازي حمودي، صباح محمد فتحي، حوراء محمد حسين

$$4- \rho(t) = 0.3 + 1.5t \quad \$$$

$$5- \rho(t) = 0.01t^2 \quad \$$$

وقد مثلت نتائج حسابات الفاعلية كدالة للزمن بأشكال بيانية كما هي موضحة في الشكل رقم (17).

المناقشة والاستنتاج

ان ادخال فاعلية سالبة (Negative Reactivity) الى منظومة حرجة (Critical System) قد يؤدي بالمنظومة الى ان تصبح في حالة تحت الحرجة (Sub critical) مسببة انخفاضاً في مستوى قدرة المفاعل والذي يكون فوراً في البداية ثم يستمر بالهبوط التدريجي حيث نلاحظ نزولاً سريعاً ثم تأخذ القدرة بالنزول التدريجي.

يحدث الهبوط الفوري الابتدائي في القدرة بعد فترة زمنية قصيرة جداً بسبب تناقص عامل المضاعفة نتيجة لتناقص تعداد النيوترونات في الأجيال اللاحقة , ولكن بعد فترة زمنية أطول نلاحظ ان تأثير النيوترونات المتأخرة المتولدة يستمر بإضافة نيوترونات تمنع مستوى القدرة من الهبوط السريع , اي انها تبطئ معدل التناقص في القدرة عندما تكون الفاعلية الداخلة سالبة (Negative).

يعتمد الهبوط السريع في القدرة على القيمة الفاعلية السالبة الداخلة حيث يزداد الهبوط الفوري في القدرة كلما ازدادت قيمة الفاعلية وكما هو موضح في الشكل (1) والشكل رقم (2)، ان قيمة الفاعلية السالبة الداخلة $\rho = -0.01\$$ لا تؤثر بصورة جدية في الحالة الحرجة في حين تؤدي قيم الفاعلية السالبة الداخلة من $\rho = -0.01\$$ الى القيمة $\rho = -1.5\$$ الى جنوح المفاعل الى الحالة تحت الحرجة. تمت مقارنة سلوك القدرة كدالة للزمن عند الفاعلية السالبة $\rho = -0.9\$$ ووجد تطابق تام مع الدراسة المرجعية [17].

تصبح المنظومة الحرجة عند ادخال فاعليات موجبة ثابتة، منظومة فوق الحرجة (Supercritical) وتأخذ القدرة في الزيادة كما هو موضح في الاشكال (3-6) والاشكال (9-12). ونلاحظ حدوث القفزة الفورية الابتدائية (Jump Initial) في القدرة عندما تكون قيمة الفاعلية اكبر من المجموع الكلي لاجزاء النيوترونات المتناظرة ($\rho > \beta$) وفي خلال فترة زمنية قصيرة جداً ثم تأخذ القدرة بالارتفاع كدالة اسية مع الزمن.

تبين هذه الدراسة التنبؤ المسبق بسلوك القدرة كدالة للزمن على الرغم من وجود التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود التي تؤدي الى خطورة ادخال الفاعليات الموجبة وخاصة عند القيم $\rho = 0.2\$$ وقد تمت مقارنة سلوك القدرة كدالة للزمن عند الفاعلية $\rho = 0.2\$$ ووجد تطابق جيد مع الدراسة المرجعية [17]. كذلك تمت دراسة سلوك الفاعلية كدالة للزمن عند ادخال الفاعليات الموجبة حيث وجد ان الفاعلية تزداد قليلاً في اللحظات الأولى ثم تستقر مع الزمن لقيم الفاعليات الموجبة الداخلة من $\rho = 0.2$ الى $\rho = 0.4$ وتبدأ بالهبوط بعد فترات زمنية متفاوتة تتراوح من 45 ثانية الى 125 ثانية لقيم الفاعليات الموجبة الداخلة من $\rho = 0.45$ الى $\rho = 1.0$ كما هو واضح في الشكل رقم (7) والشكل رقم (8) على التوالي ما عدا الفاعلية $\rho = 0.7$ فقد

دراسة تأثير الفاعلية على قدرة المفاعل بتأثير التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود
فرحان لفته رشيد، ابراهيم كيطان فياض، فيصل غازي حمودي، صباح محمد فتحي، حوراء محمد حسين

أظهرت استقرارية لفترة معينة بالرغم من استقرار و / او هبوط الفاعلية كدالة للزمن بعد فترات زمنية كبيرة , الا ان هذه الفاعليات الموجبة غير محبذة لأن عمليات الزيادة في القدرة تكون كبيرة في اللحظات الأولى مما تؤدي الى حصول حادثه نتيجة الى ما يتولد من حرارة تكفي لصهر الوقود في مثل هذه الحالات اذا ما حصل اي عطل غير متوقع في منظومة السيطرة لإطفاء المفاعل.

ان محاكاة ادخال فاعليات موجبة ثابتة تعطي التنبؤ المسبق بما يحصل في سلوك قدرة المفاعل كدالة للزمن حيث بينت الدراسة الحالية ان ادخال فاعليات موجبة يؤدي الى الزيادة المفاجئة في القدرة فضلا عن حصول اهتزاز في القدرة عند ادخال فاعليات موجبة كبيرة (\$1.5-2.5) وبعد فترة زمنية قصيرة (أجزاء من الثانية) كما هو واضح في الشكل رقم (11) والشكل رقم (12). تمت مقارنة سلوك القدرة للفاعليات الموجبة (\$0.5, 0.9, 1.2) حيث بينت هذه الدراسة تطابقاً جيداً مع الدراسة المرجعية [17].

تمت دراسة الفاعلية كدالة لدورة المفاعل (Period) عند إدخال فاعليات موجبة من (0.2 الى 1.07) \$ وقد وجد ان الفاعلية ترتفع قليل لفترة قصيرة جداً ومن ثم تستقر لدورات زمنية قصيرة وبعدها تتناقص للدورات الزمنية الكبيرة كما هو واضح في الشكل (13) والشكل رقم (14).

أجريت محاكاة لسلوك القدرة كدالة للزمن عند ادخال فاعليات خطية وغير خطية بوجود التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود كما هو موضح في الشكل رقم (15) والشكل رقم (16) وقد تمت مقارنة سلوك القدرة عند ادخال الفاعلية $\rho(t) = 0.3 + 1.3t$ مع الدراسة المرجعية ووجد تطابق لسلوك القدرة كدالة للزمن للقيم المستحصلة في الدراسة الحالية [17].

يبين سلوك القدرة كدالة للزمن الزيادة التدريجية للقدرة مع الزمن عند إدخال فاعليات خطية وغير خطية لفترات زمنية قصيرة (أقل من الثانية). ان ادخال مثل هذه الفاعليات قد يسبب حادثه اذا لم تحصل استجابة فورية لمنظومة السيطرة. كذلك أجريت دراسة لادخال فاعلية موجبة (Positive Reactivity) وخطية وغير خطية كما هي مبينة في الشكل رقم (17) لدراسة سلوك الفاعلية لفترة زمنية وخاصة عند ادخال الفاعلية $\rho(t) = 2.0$ والفاعلية $\rho(t) = 0.3 + 1.5t$ مما يعطي مؤشراً لتجنب إدخال مثل هذه الدوال (Functions) أثناء اشتغال المفاعل بالرغم من وجود التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود.

يلاحظ من الاشكال (7, 8, 13, 15, 16) استقرار الفاعلية أو القدرة عند مستوى معين ثم تاخذ بالانخفاض. ان هذا السلوك ناتج عن تولد النيوترونات المتأخرة التي تلعب دوراً مهماً في السيطرة على المفاعل.

د. اسمة تأند الفاعلمة على قدرة المفاعل بتأثير التغذفة العكسفة لدرجة حرارة الوقود
فرحان نفة رسفد، ابراهفم كفسان ففاض، ففصل غازف حمودف، صباش محمد ففحف، حوراء محمد حسفن

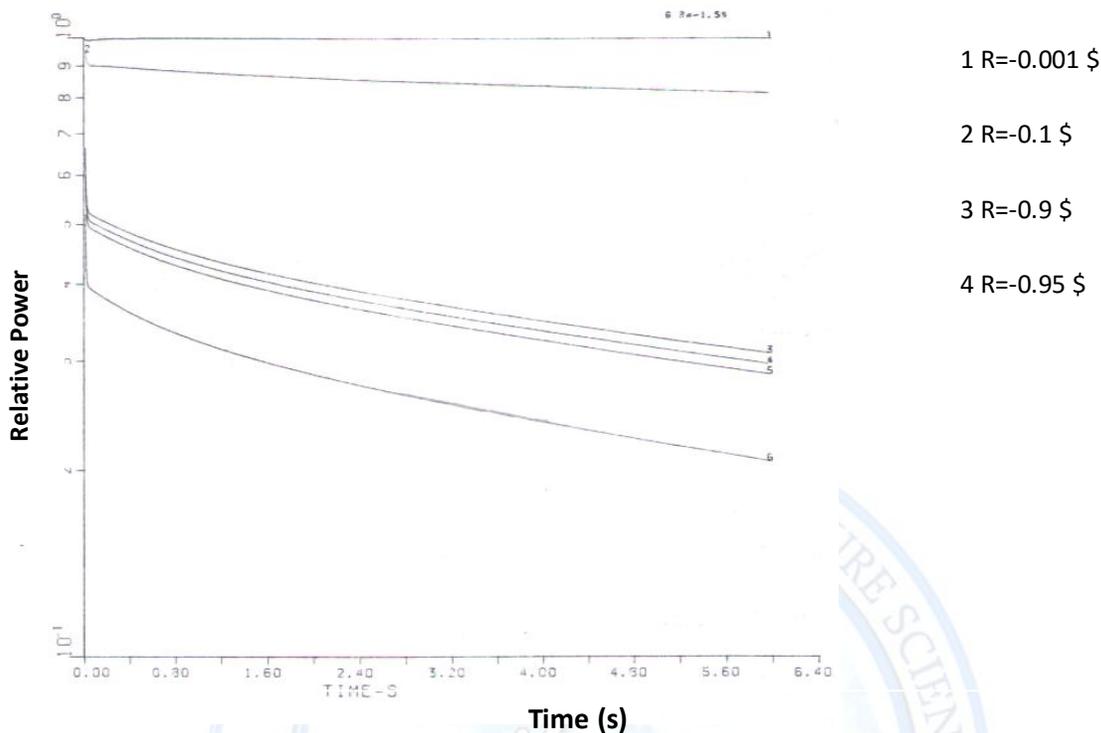


Fig.(1) : Relative Power VS. Time (1 Feedback)

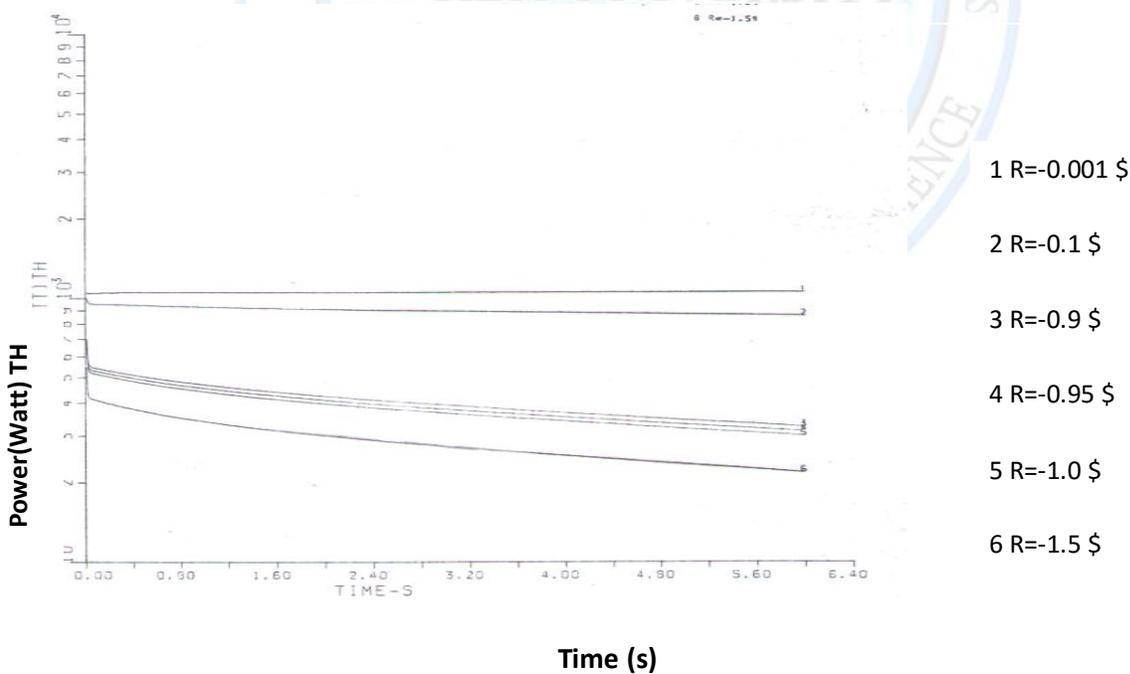


Fig.(2) : Power VS. Time (1 Feedback)

دراسة تأثير الفاعلية على قدرة المفاعل بتأثير التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود
 فرحان لفته رشيد، ابراهيم كيطان فياض، فيصل غازي حمودي، صباح محمد فتحي، حوراء محمد حسين

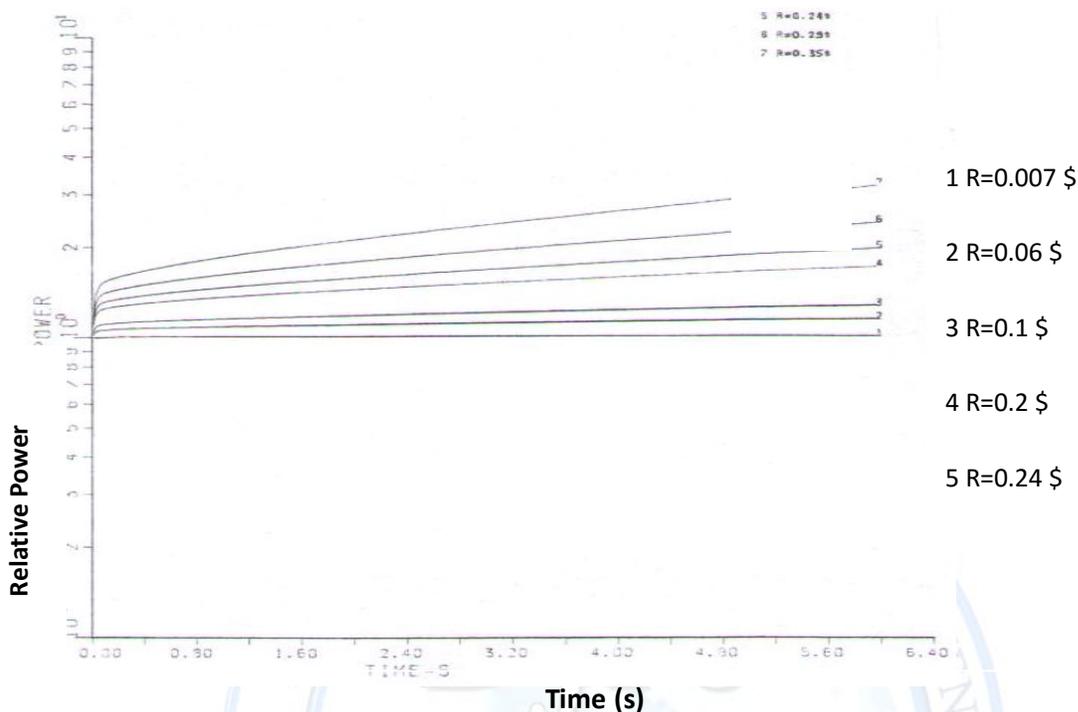


Fig.(3) : Relative Power VS. Time (1 Feedback)

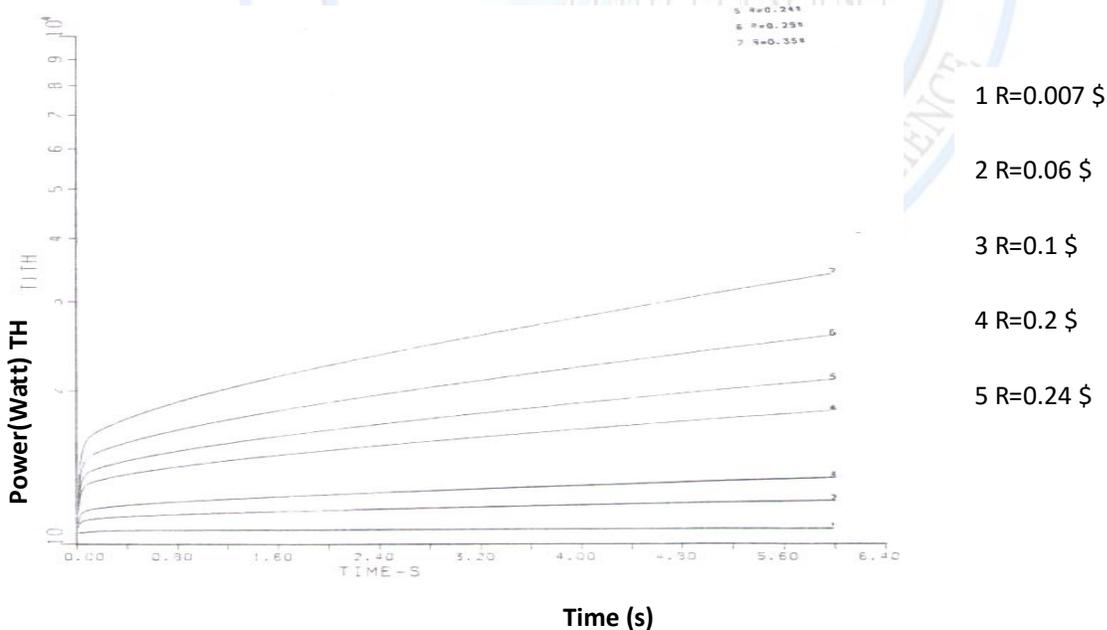


Fig.(4) : Power VS. Time (1 Feedback)

دراسة تأثير الفاعلية على قدرة المفاعل بتأثير التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود
 فرحان لفته رشيد، ابراهيم كيطان فياض، فيصل غازي حمودي، صباح محمد فتحي، حوراء محمد حسين

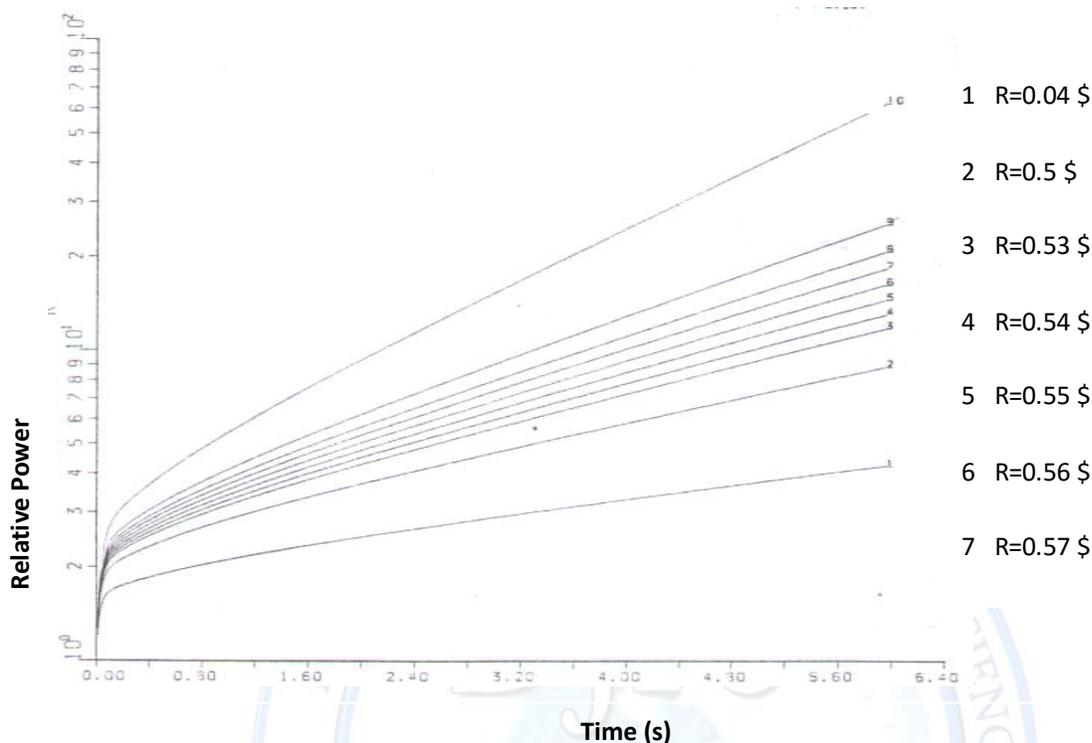


Fig.(5) : Relative Power VS. Time (1 Feedback)

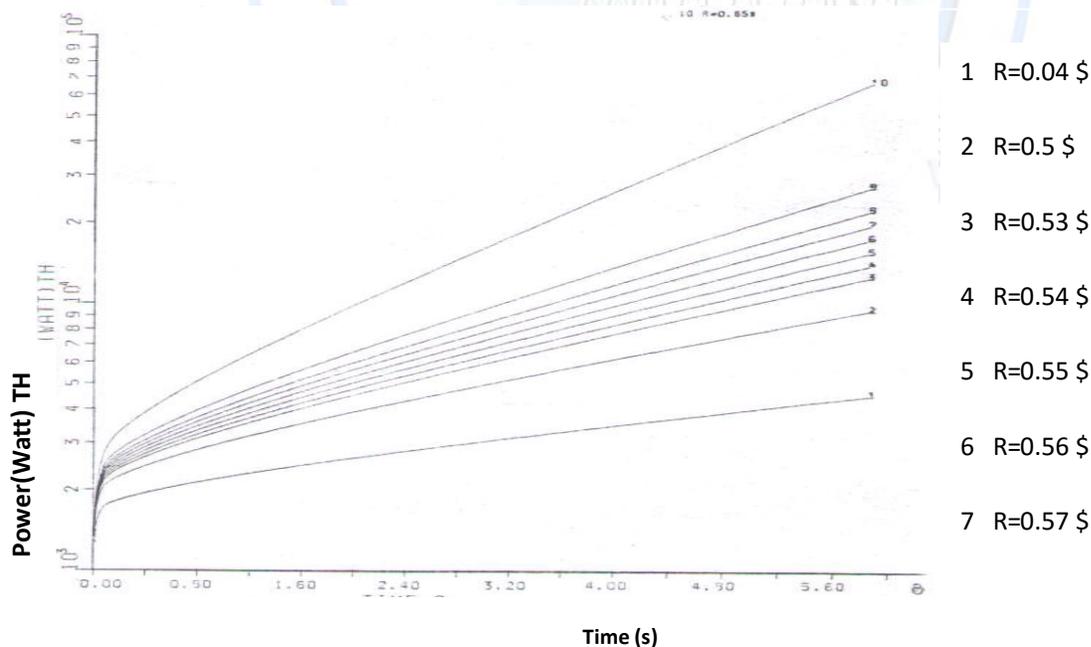


Fig.(6) : Power VS. Time (1 Feedback)

دراسة تأثير الفاعلية على قدرة المفاعل بتأثير التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود
 فرحان لفته رشيد، ابراهيم كيطان فياض، فيصل غازي حمودي، صباح محمد فتحي، حوراء محمد حسين

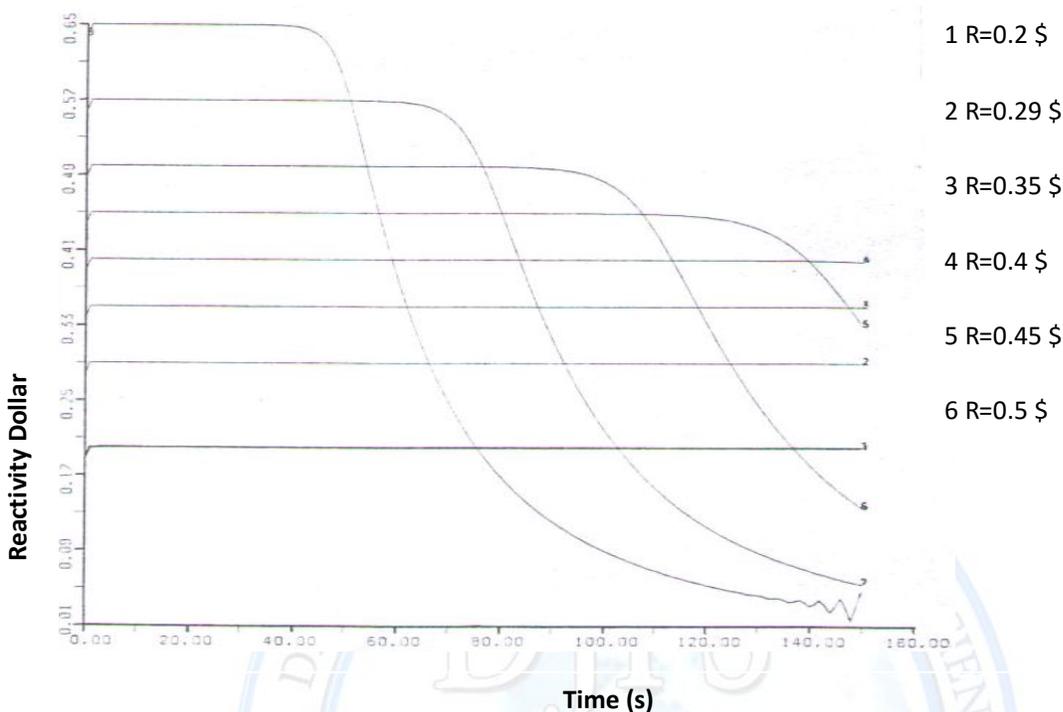


Fig.(7) : Relative Power is A Function of The Time

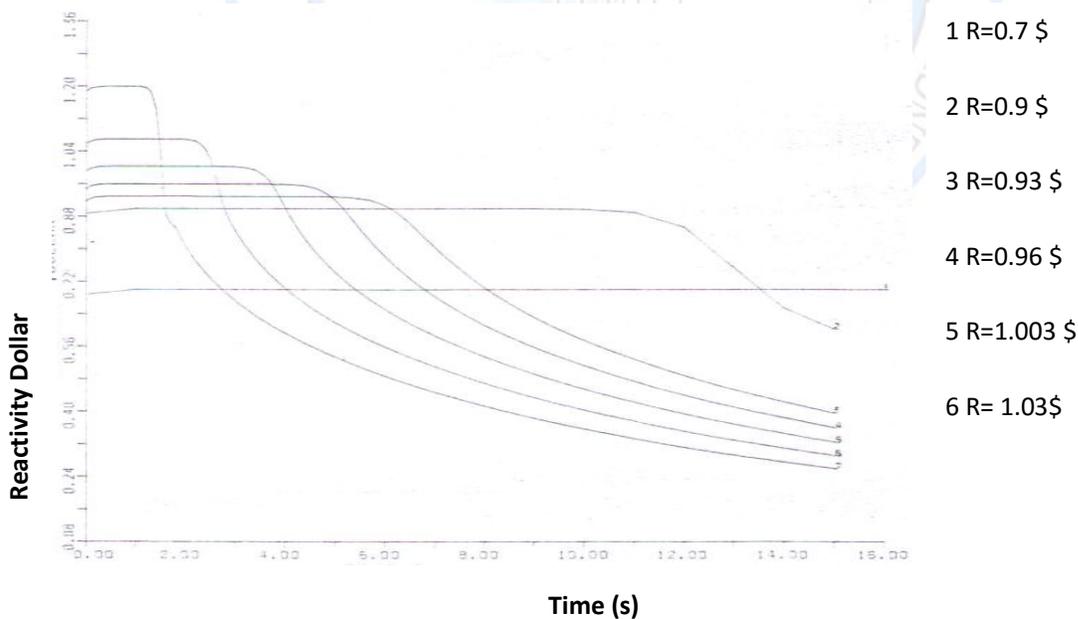


Fig.(8) : The Reactivity is A Function of The Time

دراسة تأثير الفاعلية على قدرة المفاعل بتأثير التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود
 فرحان لفته رشيد، ابراهيم كيطان فياض، فيصل غازي حمودي، صباح محمد فتحي، حوراء محمد حسين

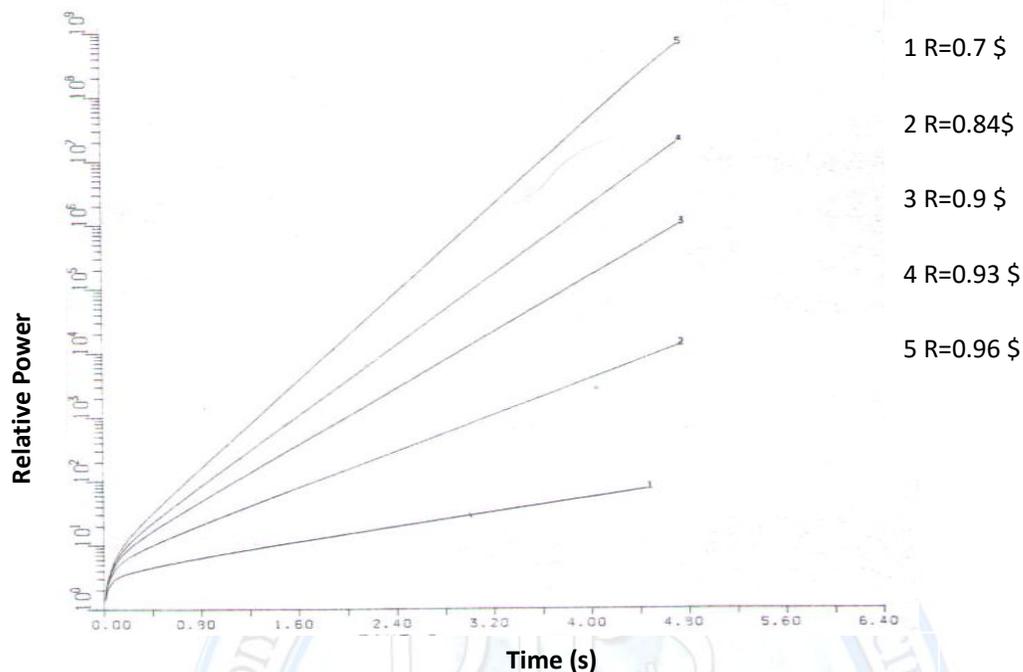


Fig.(9) : Relative Power VS. Time (1 Feedback)

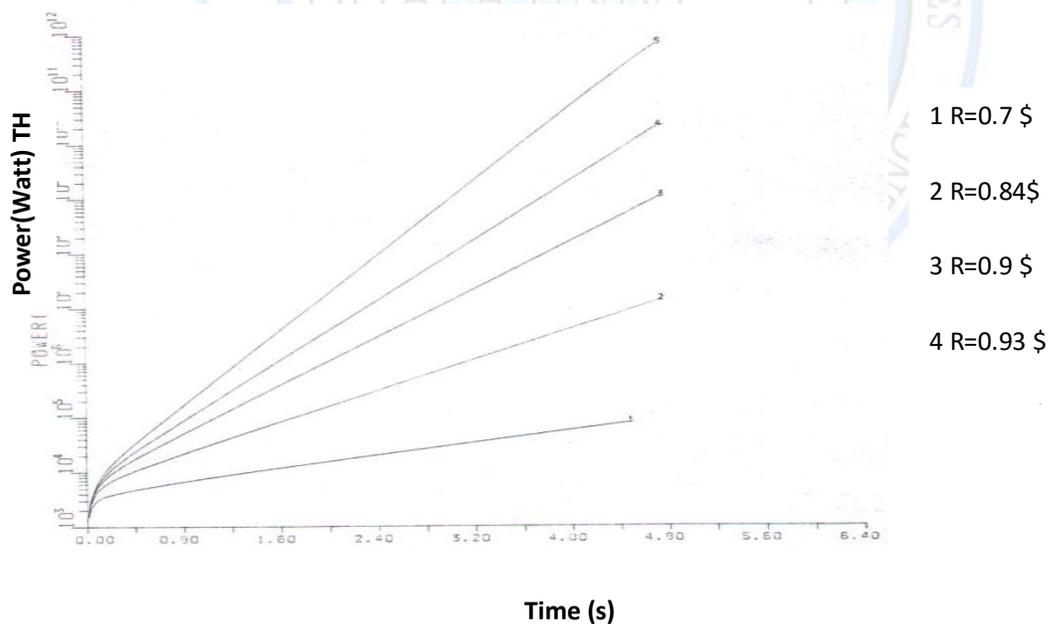


Fig.(10) : Power VS. Time (1 Feedback)

دراسة تأثير الفاعلية على قدرة المفاعل بتأثير التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود
 فرحان لفته رشيد، ابراهيم كيطان فياض، فيصل غازي حمودي، صباح محمد فتحي، حوراء محمد حسين

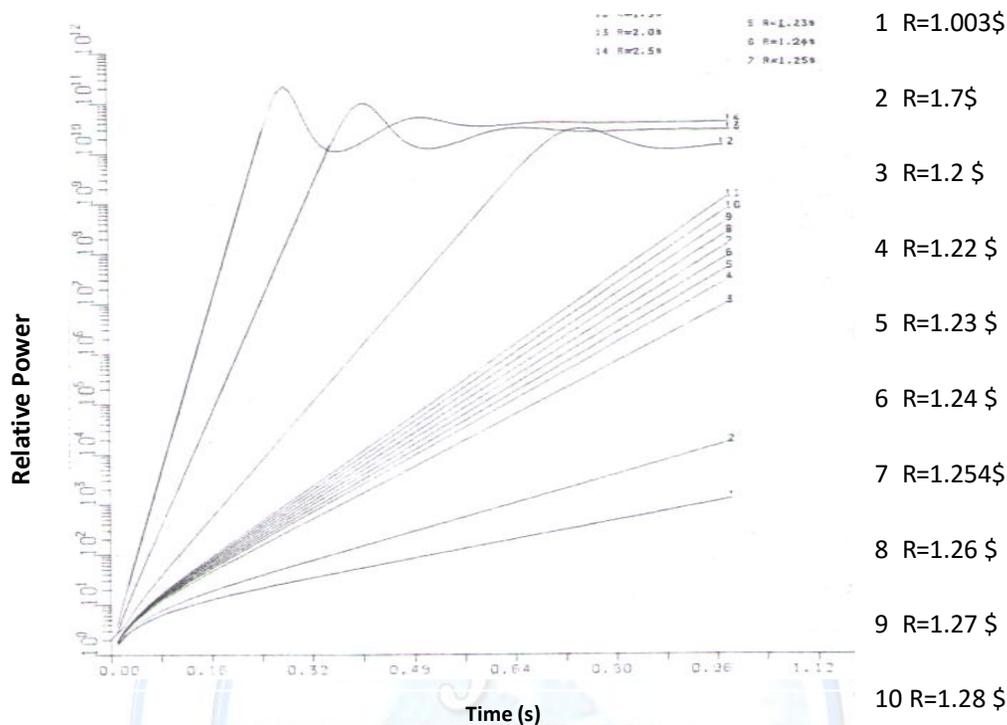


Fig.(11) : Relative Power VS. Time (1 Feedback)

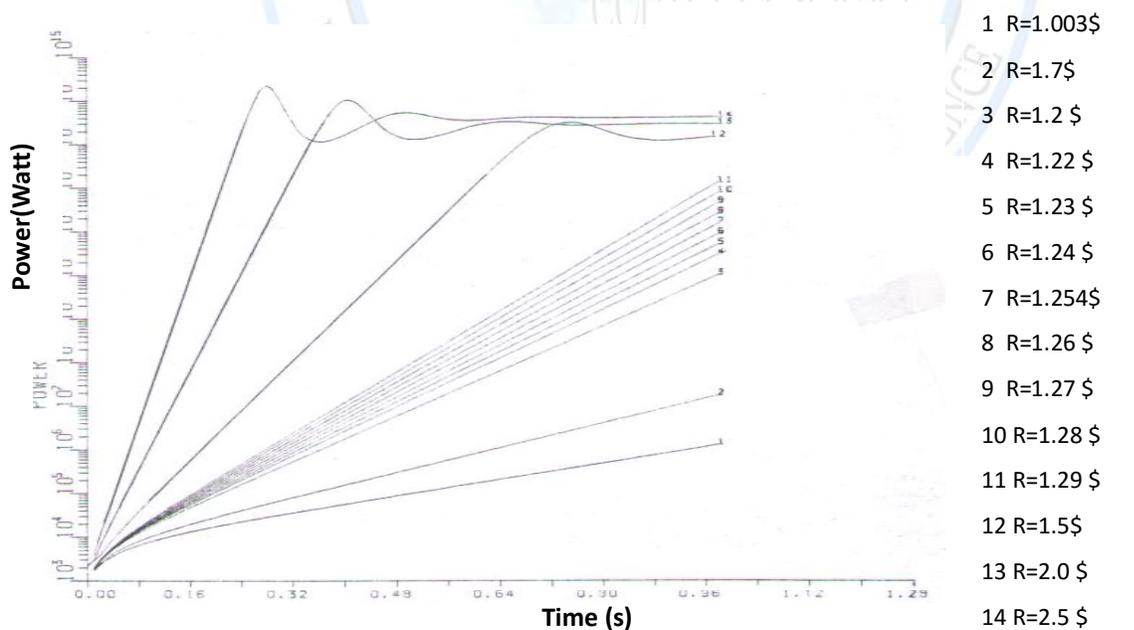


Fig.(12) : Power VS. Time (1 Feedback)

دراسة تأثير الفاعلية على قدرة المفاعل بتأثير التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود
 فرحان لفته رشيد، ابراهيم كيطان فياض، فيصل غازي حمودي، صباح محمد فتحي، حوراء محمد حسين

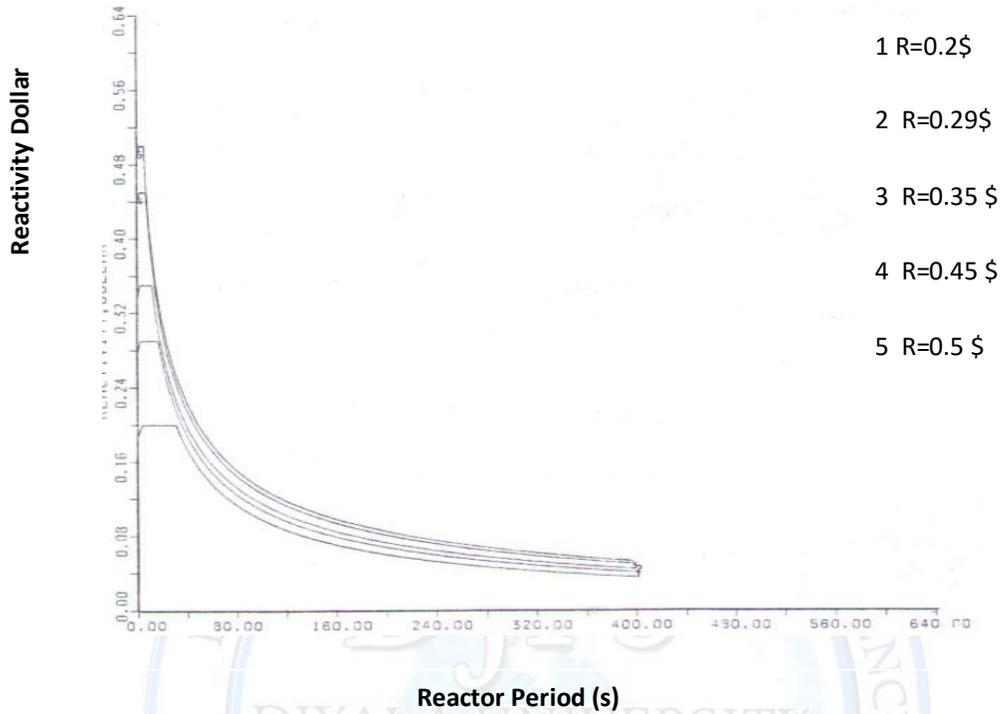


Fig.(13) : Reactivity As A Function of The Reactor Period (1 Feedback)

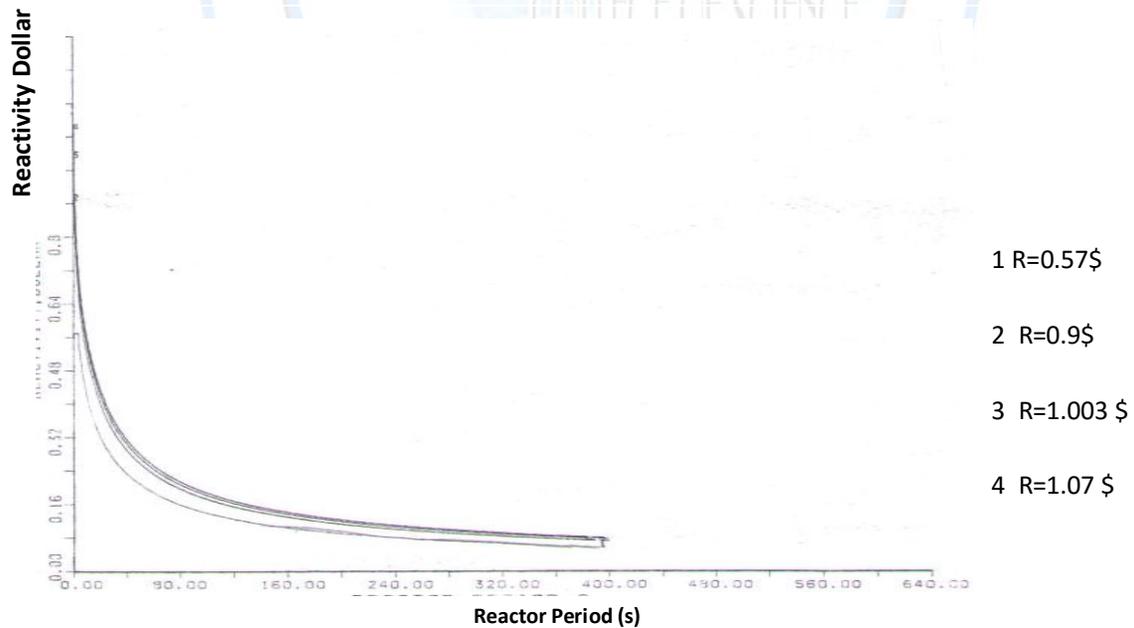


Fig.(14) : Reactivity As A Function of The Reactor Period (1 Feedback)

دراسة تأثير الفاعلية على قدرة المفاعل بتأثير التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود
 فرحان لفته رشيد، ابراهيم كيطان فياض، فيصل غازي حمودي، صباح محمد فتحي، حوراء محمد حسين

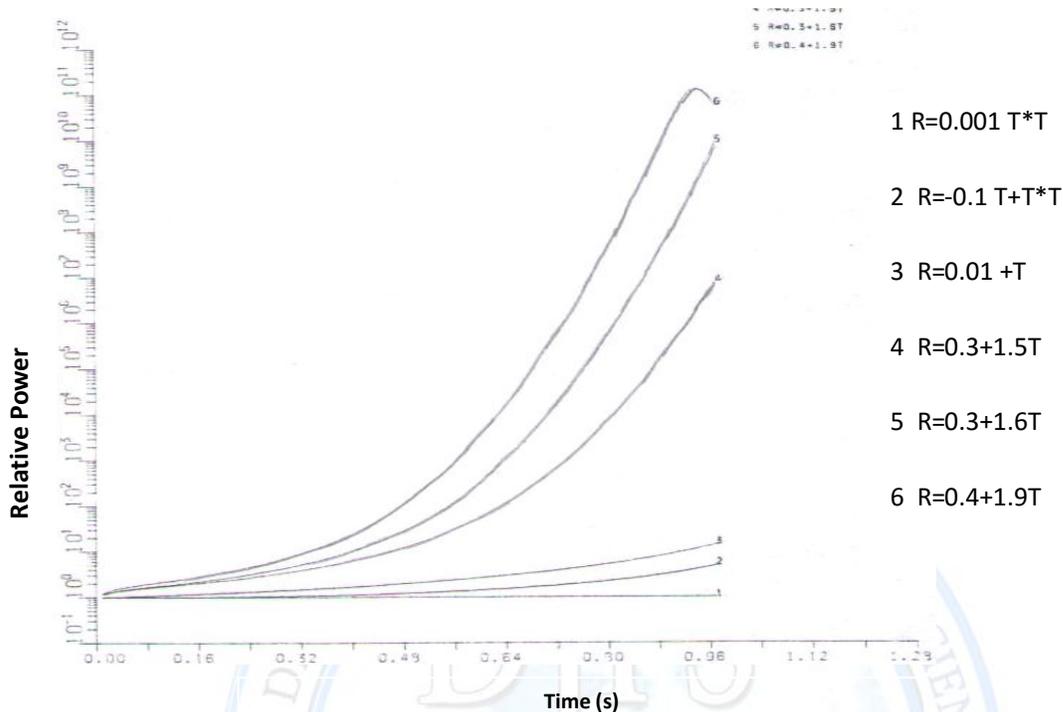


Fig.(15) : Relative Power VS. Time(1 Feedback)

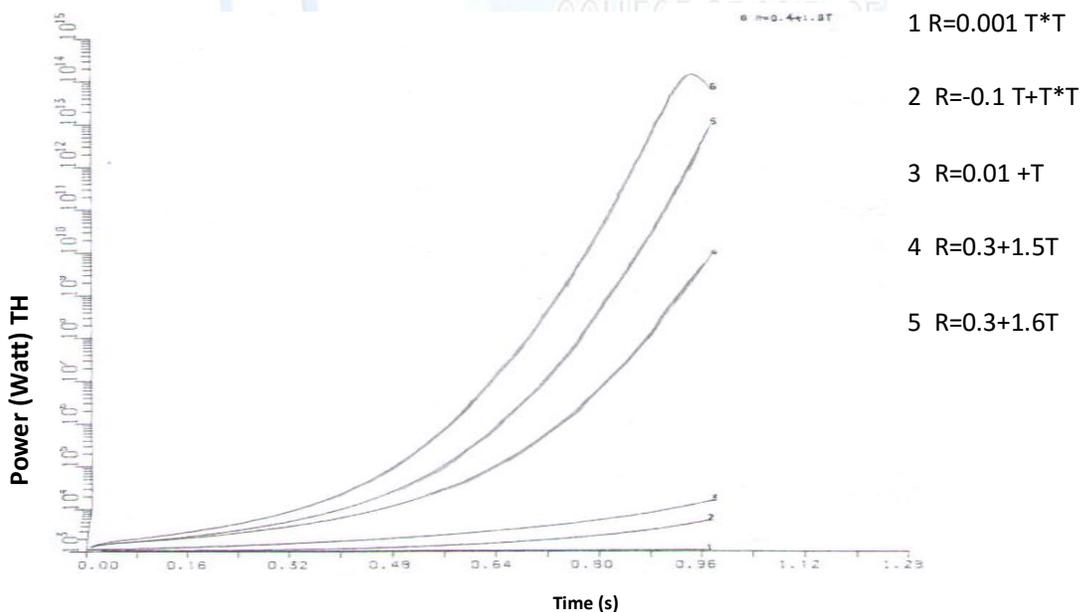


Fig.(16) : Power VS. Time(1 Feedback)

دراسة تأثير الفاعلية على قدرة المفاعل بتأثير التغذية العكسية لدرجة حرارة الوقود
فرحان لفته رشيد، ابراهيم كيطان فياض، فيصل غازي حمودي، صباح محمد فتحي، حوراء محمد حسين

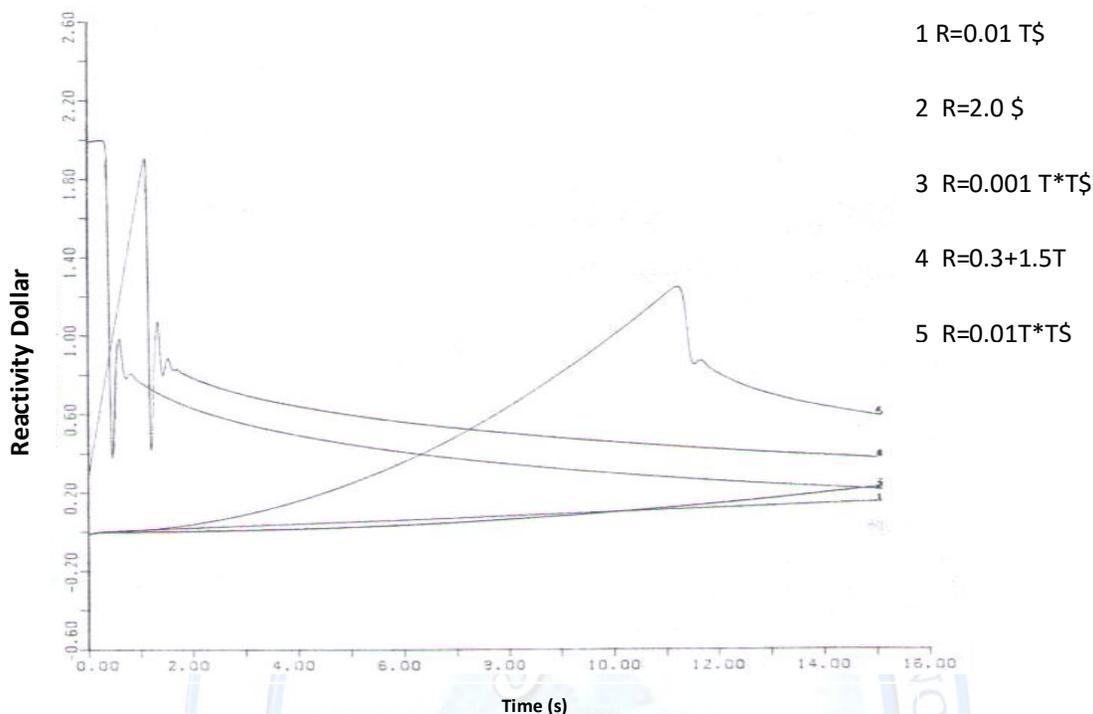


Fig.(17) : The Reactivity is A Function of The Time

المصادر

1. G. Kessler, (1983), "Nuclear Fission Reactors", Springer Verlag Wien, New York.
2. J. L. Meen, (1964), "Two Group Reactor Theory", Gordon and Breach, New York.
3. Paul F. Zweifel, (1973), "Reactor Physics", McGraw-hill Book Company INC.
4. Roland Allen Knief, (1981), "Nuclear Energy Technology", McGraw-Hill Book Company INC.
5. M. Ragheb, (2006), Point reactor Kinetic, pp. 1-34.
6. K. Mourt Zanos, etl., (2001), "Calculation of the moderator temperature coefficient of reactivity for water moderated reactors", Annals of Nuclear Energy. Vol. 28, pp. 1773-1782.
7. Tomohiko Iwasaki, etl., (2002), "Integral test for Np237 and Am241 cross sections in JENDL, ENDF and JEF Libraries", J. Nucl. Sci. and Tech. supplement 2, pp 920-923.

8. R. Khelifi, etl., (2007), Flux calculation in LSNA using an Am²⁴¹-Be source, J. Radioanalytical and Nucl. Chem., Vol. 274, No. 3, pp. 639-642.
9. Annals of Nuclear Energy, (1998), Anwar M. Mirza, Salma Khanam, Nassir M. Murza, Simulation of reactivity transients in current MTRS, Vol. 25, issue 18, pp. 1465-1484.
10. Milton S. Ash, (1979), "Nuclear Reactor Kinetics", Second Edition, McGraw Book Compoany. INC. U.S.A.
11. G. R. Keepin and C.W.Cox (1960), "General Solution of the Reactor Kinetic Equation", Nucl. Sci. Eng.: 8, 670-690.
12. Lewins Jeffery (1960) "The Use of the Generation Time in Reactor Kinetics", Nucl. Sci. Eng: 7, 122-126.
13. J.B. Yansinsky, (1970), "On the Use of the Point Kinetics for the Analysis of Rod-Ejection Accident", Nucl. Sci. Eng.: 39, 241 – 256.
14. J. B. Yansinsky and A. F. Henry, (1965), "Some Numerical Experiments
15. Mahammed Rahgoshay, Yashar Rahmani, (2007), "Study of Temperature Distribution of Fuel, Clad and Coolant in The VVER-1000 Reactor Core During Group-10 Control Rod Scram By Using Diffusion and Point Kinetic Methods "Nukleonika , Vol.52, No.4, PP.159-165.
16. Milton S. Ash, (1955), "Solution of the Reactor Kinetics Equations for Time-Dependent Reactivities", U.S. Atomic Energy Commission, UCRL-4622.
17. S. Boeria, (1980), "Kinetic Calculation: The Airek Cod", proceeding Course on Reactor They and power reactors, IAEA, Vienna.
18. Carla Mongini – tamagini, (1964), "Airek- Mod: A modified Version of the Kinetic Code Airek – II", Joint Nuclear Center Ispara Establishment, Italy, scientific data processing center – CETIS.
19. Tylee j. Louis, (1983), "Simple Reactor Model Simulation of Loft ATWS even", Nuclear Technology, Vol. 61 APR.
20. S. Glasstone and A. Sesonke, (1981), "Nuclear Reactor Engineering", Van Nostrand Reinhold Company, New York.
21. John R. Lamarsh, (1975), "Introduction to Nuclear Engineering", Addison- Wesley publishing company.

Study of Reactivity Effect on Reactor Power by Feedback Fuel Temperature

Farhan L. R. Ibrahim G F. Faissal G. H. Sabah M. F. Haora M. H.

Ministry of Tecnology&scienc Diyala of University Ministry of Tecnology&scienc
College of science

Abstract

The study deals with insertion of step negative or step positive reactivity and/or ramp reactivity expressed as a polynomial in time in the presence of one feedback mechanism in order to predict the neutron behavior as a function of time in terms of reactor power. Insertion of negative step reactivity such as $\rho = -0.001$ \$ indicates that the reactor power is stable due to this value but insertion of larger negative step reactivates causes a decrease in power as a function to time while insertion of positive step reactivity such as $\rho=0.007$ \$ shows that the reactor power stable but it increases with time in case of insertion of large positives reactivities despite of the presence of one feedback mechanism. Also, it is observed that the resulted reactivity due to insertion of positive reactivities in the range (0.2\$ - 0.4\$) will be stable for any time interval without being affected by feedback mechanism. He resulted reactivity due to insertion of positive reactivities in the range (0.45\$ - 0.65\$) will be stable for certain time interval and then decrease due to the effect of one feedback mechanism.

The sudden jump in power (excursion) is observed during very short time after inserting positive reactivities in the range of (1.003\$ - 2.5\$) and continues oscillations occur in the power after the excursion in case of inserting positive reactivities in the range of (1.5\$- 2.5\$) despite the presence of feedback mechanism.

Insertion of ramp reactivities in terms of polynomial in time to study the behavior of power and/or reactivity as a function of time in the presence of two feedback mechanism (fuel) has been carried out and the result are displayed as plots, and showed this results corresponding with international results.

This study appeared proceeding determination present necessarily for reactivity effects values of safety analysis in transient and for control requirements through reactor operation.

Keywords: reactor kinetic, point reactor kinetic, accidents, feedback, reactivity insertions.