

إيجاد الحل الأمثل لنسب التخفيض في ميكانيزمات الروافع بمساعدة الحاسوب

الدكتور سمير نمر كفا *

الدكتور محمد أحمد محمد **

(قبل للنشر في 2004/10/7)

□ الملخص □

يضم البحث اقتراحات لحل مشاكل الانتقال من مسألة تحليل التصميمات بمساعدة الحاسوب إلى مسألة إيجاد حلولها المثلى. وهذا الانتقال يمكن المصمم من استخدام وسائل عصرية وحديثة في أتمتة تصاميم العمل بما فيه رفع نوعية التصاميم المنفذة وجودتها. وانطلاقاً من الواقع العملي لتصميم الآلات الرافعة لوحظ أن سرعتها تؤخذ عادة كمعطيات أولية وقيم هذه السرعات تدخل في لائحة المواصفات التقنية والفنية للآلات الرافعة. في الوقت نفسه فإن شروط الاستثمار تحدد مواصفات وقيم الانتقالات المنفذة وتتابعها المتكرر في دورات إعادة تحميل الروافع. وأخيراً فإنه من الممكن الحصول على اختصار محسوس لاستمرارية الدورة وتخفيض الطاقة المصروفة.

* أستاذ مساعد في قسم هندسة التصميم والإنتاج بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية . جامعة تشرين-اللاذقية- سوريا.

**مدرس في قسم هندسة التصميم والإنتاج بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية . جامعة تشرين- اللاذقية-سوريا.

Computer Aided Determination of Optimum Value of the Reduction Ratio in Mechanisms of Hoisting Machines

Dr. Samir Nmr Kafa *

Dr. Mohammed Ahmad Mohammed **

(Accepted 7/10/2004)

□ ABSTRACT □

The research includes suggestions to move from the issue of design analysis with the aid of the computer to the issue of finding out the optimum solutions. This move enables the designers use modern and up-to-date means in automating the work designs, increasing the quantity of the accomplished designs.

Starting from the practical point of view of crane design, it is noticed that velocity is usually taken as a primary reading, and that the values of velocities are included in the technical specifications lists of the cranes. At the same time the investment conditions determine the specifications, the executed mobility values, and their recurrence in the reloading crane cycles.

Finally, it is possible to obtain a reasonable deduction in the maintained cycles and to reduce the energy loss.

* Associate Professor , Design And Production Engineering Department, Faculty Of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia ,Syria.

**Lecture , Design And Production Engineering Department, Faculty Of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia ,Syria.

مقدمة:

إن وضع مسائل التصميم الأمثل / Optimum design / عملياً وحلها يسمح بالاستخدام الواسع لوسائل الأتمتة المعاصرة لمشاريع العمل، التي تحقق زيادة جودة المشاريع المنفذة، وتحسن التقويم الكمي لملائمة هذه الوسائل مع ظروف الاستثمار. مع تطور التغيرات الناتجة في حالة اعتماد الحلول التصميمية تترافق بتطور الأسس النظرية التصميمية، وللحصول على نتائج عملية هامة يتطلب الأمر توحيداً لطرق البحث بالاعتماد على النتائج التي تم التوصل إليها في المجال التطبيقي [1].

ومن الجدير ذكره أن تصميم ميكانيزمات الرافعات وسرعاتها يرتبط ارتباطاً مباشراً بالمعطيات الأولية / Data input /، وتدخل قيم هذه السرعات ضمن جدول المواصفات الفنية لآليات الرفع. وفي الوقت نفسه تتضمن ظروف الاستثمار قيم الانتقالات المحققة وتسلسلها في الدورات النموذجية لأعمال الأحمال الزائدة. ومما سبق نستنتج ضرورة إعداد توجيهات وتوصيات حول تطابق مواصفات السرعة للرافعة مع الانتقال المعطى للحمل.

وتبين الأعمال [2،3] طريقة تحديد البارامترات الحركية لروافع الحاويات المرفئية. حيث تعتمد هذه الطريقة على بحوث تقنية - اقتصادية جرت لسنوات عديدة على ظروف استثمار هذه الروافع وهي تنطلق من تقدير حجم البضائع المنقولة سنوياً ومن الحجم الأعظمي والمتوسط للحاويات التي يجري التعامل معها، ومن مخطط الممكنة وتكنولوجيا أعمال الرفع. وبالتالي يقترح عندها تحديد متوسط المسافات لانتقال الميكانيزمات خلال دورة عمل واحدة. وعلى هذا الأساس يتم إيجاد المدة الزمنية المثلى لدورة تحميل متوسطة للرافعة. واستناداً إلى الفترة الزمنية التي تم إيجادها يتم تحديد سرعات عمل الآليات المتحركة. وقد تم في هذه البحوث إهمال تأثير نسب التخفيض في آليات الرفع.

أما في البحوث [4،5] فقد طرح مثال عن الأعمال الصناعية، وفيها تبين أنه بتغيير نسب التخفيض للآليات يمكن إنقاص حركات العمل الفعالة إلى الحد الأدنى. وفيما يلي نعرض حالة مشابهة لمسألة التصميم الأمثل لنسب تخفيض آليات الرفع. والاختلاف بين هذا العمل والعمل الحالي يكمن: أولاً- في حساب مقاومات الانتقال وإيجاد العلاقة بين القوة المحركة ونسبة التخفيض. وثانياً- بوضع حدود مميزة لآليات الرفع. أما ثالثاً - فهو الاعتماد على الطرق العددية لتحديد الحلول المثلى.

هدف البحث :

صياغة، إعداد وتنفيذ الأسس النظرية التي تسمح عن طريق إيجاد القيمة المثلى لنسب التخفيض في ميكانيزمات الرافعات وتحقيق زيادة إنتاجية الآلات الرافعة وذلك انطلاقاً من تأثيرها على الانتقالات التي تحدد نوعية دورات العمل. وجدير بالذكر أن الذي يحدد المبادئ الأساسية لحساب نسب التخفيض المثلى في ميكانيزمات الروافع، ليس فقط دراسة سرعات الأجزاء المتحركة بشكل معطيات مسبقة وجاهزة وإنما دراستها بشكل عناصر مشتقة رياضياً ومحسوبة أثناء التصميم.

تحليل وصياغة الموديل الرياضي :

تصاغ مسألة التصميم الأمثل [6] بتحويل العبارات الحرفية للمسألة إلى عبارات رياضية مكافئة من أجل الحصول على الحل الأمثل. وتستخدم عملية الصياغة ثلاث خطوات دقيقة هي:

- تعريف متغيرات التصميم .
 - تعريف دالة الهدف (Objective function) والتعبير عنها بدلالة متغيرات التصميم.
 - تعريف جميع محددات التصميم (Constraints) وتحويلها إلى عبارات رياضية.
- ويتم تحديد النموذج الرياضي للمسألة كتصغير (minimization) دالة الهدف المتعلقة بمحددات ذات متراجحات أو معادلات. وتكون المحددات ذات المتراجحات مصاغة دائماً بشكل أصغر أو يساوي³. واعتماداً على ما ذكر أعلاه سنفترض من الآن فصاعداً أن جميع البارامترات تكون معروفة لأجل N تشغيل متتالي للآلية المدروسة ، حيث تحدد هذه البارامترات شروط حركة العنصر الأخير في الآلية.

دالة الهدف / Objective function :

نرمز للقيم المختلفة لهذه البارامترات بإشارة أو دليل يساوي عدد مرات التشغيل أي: $n = 1, 2, 3, \dots, N$ وفي حالة كون مدة التشغيل t_n نكتب دالة الهدف على الشكل التالي:

$$\min T = \min \sum_{n=1}^N t_n \quad (1)$$

نحدد الزمن t_n بفرض السرعة الخطية متغيرة عند الإقلاع والفرملة ونعتبر عند كل تشغيل أن مدة الفرملة مساوية لمدة الإقلاع t_{pn} .

نرمز للإزاحات المعطاة في أثناء دراسة آليات الانتقال بالرمز s_n . حيث أنه عند بدء تشغيل المحرك حتى بلوغه السرعة المطلوبة v يكون الزمن معطى بالعلاقة:

$$t_n = s_n / v + t_{pn} \quad (2)$$

عند القيم الصغيرة جداً لـ s_n من الممكن أن لانستطيع بلوغ السرعة v وعندها بالمطابقة مع المخطط المثلي لتغير سرعة الانتقال نكتب :

$$t_n = 2 t_{pn} \quad (3)$$

نوصف محرك الإدارة بالعزم الاسمي M_H ، والسرعة الزاوية الاسمية ω_H وعزم عطالة الأجزاء المتحركة حركة دورانية J . ونرمز لكتلة الأجزاء المتحركة حركة خطية بدون حمل بالرمز m ، وندخل لكل n عاملاً هو p_n يساوي نسبة كتلة الحمل خلال المسافة s_n إلى الحمولة Q . ونعين بالاعتماد على الثابت c مقاومة الانتقال W_n كما يلي :

$$W_n = c g (m + p_n Q) \quad (4)$$

حيث أنه عند نسبة تخفيض للألية $j = \omega_H/v$ يحدد المضاعف المشترك لعزم الإقلاع بالنسبة للعزم الاسمي M_H ولمردود نقل الحركة η بالمعادلة الخطية التالية:

$$a_n = \frac{y M_H J h - c g (m + p_n Q)}{m + p_n Q + J h j^2} \quad (5)$$

وبالاعتماد على العلاقة (2) يحدد زمن الإقلاع بالعلاقة :

$$t_{pn} = \frac{W_H}{j a_n} \quad (6)$$

وبالتالي فإن علاقة الزمن تأخذ الشكل:

$$t_n = \frac{s_n j}{W_H} + \frac{W_H}{j} \cdot \frac{m + p_n Q + J h j^2}{y M_H j - c g (m + p_n Q)} \quad (7)$$

في العلاقة (3) يجب التعويض :

$$t_n = \sqrt{\frac{s_n}{a_n}} \quad (8)$$

وعندها يصبح للعلاقة الشكل التالي :

$$t_n = 2 \times \sqrt{\frac{s_n (m + p_n Q + J h j^2)}{y M_H h j - c g (m + p_n Q)}} \quad (9)$$

وبتعويض (7) أو (9) في المعادلة (1) نوجد العلاقة المطلوبة لدالة الهدف t بنسبة التخفيض j ومضاعف عزم الإقلاع y .

المحددات / Constraints :

نستنتج من المعادلة (5) أن بدء إقلاع آلية التحريك يتحقق عند الشرط التالي:

$$y M_H h j \geq c g (m + p_n Q) \quad (10)$$

ويضرب الطرف الأيمن من المتراجحة بالعامل $K_y > 1$ يأخذ شرط الإقلاع الشكل التالي :

$$j^3 \frac{K_y c g (m + p_n Q)}{y M_H h} \quad (11)$$

نوصف الحد في مجال القيم المسموحة لـ y و j بالعلاقة :

$$a_n \leq [a]_{\max} \quad (12)$$

حيث : $[a]_{\max}$ - التسارع الأعظمي المسموح به ، والذي يُحدد مثلاً ، بشرط انعدام انزلاق عجلات نقل الحركة. ويصبح الحد (12) بالأخذ بعين الاعتبار المعادلة (5) على الشكل التالي :

$$j^2 - \frac{y M_H}{J [a]_{\max}} j + \frac{(c g + [a]_{\max})(m + p_n Q)}{h J [a]_{\max}} \leq 0 \quad (13)$$

ومن المعادلة (13) حيث الطرف الأيسر ثلاثي الحدود فيه الحد (j) مرفوع لمربع القوة، فإن المعادلة (12) تصبح غير محققة فقط عند القيم التالية:

$$y \leq \frac{2}{M_H} \sqrt{J [a]_{\max} (c g + [a]_{\max})(m + p_n Q) / h} \quad (14)$$

وعند مراعاة المساواة في المعادلة (14) يأخذ المميز الشكل :

$$D_n = \frac{y M_H}{2 J [a]_{\max}} - \frac{(c g + [a]_{\max})(m + p_n Q)}{h J [a]_{\max}} \quad (15)$$

وباعتبار القيمة صفرية وتوافق قيمة نسبة التخفيض ، تحدد من (12) بالمساواة التالية :

$$j = \sqrt{(c g + [a]_{\max})(m + p_n Q) / (h J [a]_{\max})} \quad (16)$$

عند قيم مضاعفة لـ y يتحقق الشرط (14) ، ومن المعادلة (12) وشرطه (13) نكتب :

$$j \leq \frac{y M_H}{2 J [a]_{\max}} - D_n \quad \text{و} \quad j \geq \frac{y M_H}{2 J [a]_{\max}} + D_n \quad (17)$$

نحصر القيم المتغيرة للبارامترات j و y ضمن المجالات :

$$j_{\min} \leq j \leq j_{\max} \quad \text{و} \quad y_{\min} \leq y \leq y_{\max} \quad (18)$$

ولحل المسألة المصاغة نثبت قيمة المضاعف y ونضع:

$$\frac{dt}{dj} = \sum_{n=1}^N \frac{dt_n}{dj} = 0 \quad (19)$$

بعد وضع العلاقة (7) في الشرط (19) نحصل على :

$$F(j) = \sum_{n=1}^N \frac{\sum_{k=0}^4 \hat{a}_{nk} \times j^{4-k}}{[y M_H h j - c g (m + p_n Q)]^2} = 0 \quad (20)$$

حيث :

$$\begin{aligned} A_{n0} &= [y M_H h]^2 S_n ; A_{n1} = -2y M_H h c.g (m + p_n Q) S_n \\ A_{n2} &= [c.g (m + p_n Q) S_n - J h w_h^2] c.g (m + p_n Q) \\ A_{n3} &= -2y M_H h (m + p_n Q) w_h^2 \\ A_{n4} &= c.g (m + p_n Q)^2 w_h^2 \end{aligned} \quad (21)$$

يمكن إخراج جذر المعادلة (20) خارج القيم الحدية لـ j ، التي تعين من الشروط (11) و(17) و(18). ولهذا يجب أن تحدد قبل حساب القيمة الحدية الصغرى لـ j وأن تُستبدل هذه القيمة في الطرف الأيمن من المعادلة (20) .

وعند القيمة $F(j) = 0$ تعتبر القيمة الحدية لـ (j) هي القيمة المثلى (j^*) . وفي الحالة المعاكسة يتم تحديد القيمة الحدية اليمنى لـ (j) ثم إعادة الحساب من جديد لـ $F(j)$. أما عندما يكون المشتق سالباً فيمكن إيجاد القيمة المثلى لـ (j^*) . ويوجد حل للمعادلة فقط عندما $F(j) \hat{a}0$. وبعد تحديد نسبة التخفيض المثلى :

$$j^* = j^*(y) \quad (22)$$

يمكن تقدير إمكانية تصغير دالة الهدف نتيجة تغير مضاعف عزم الإقلاع y . يبين تحليل تأثير y أنه ضمن المجال المسموح به تؤدي إلى تقليل قيمة التابع $T(j^*, y)$. بعد خروج المنحني (22) على الحد العلوي (17) أو (18) لا تنخفض قيمة التابع عملياً ، وبالتالي فإن نقطة تقاطع هذا المنحني مع الحد تعطي الحل الأمثل j^* و y^* بشكل تام .

نذكر أن المعادلة (20) درست المخطط شبه المنحرف لتغير السرعة الخطية للانتقال . وفي الوقت نفسه عند المسافات الصغيرة نسبياً يمكن ألا يستطيع المحرك أن يرفع سرعته عند الإقلاع إلى السرعة w_H ، وعند تعويض العلاقة (7) في المعادلة (19) يستوجب تغيير العلاقة (9) . والتغيرات الموافقة لها تدخل في المعادلة (20) .

عند الانتقال لدراسة آليات الرفع يجب تعويض $c = 1$ في العلاقات الناتجة سابقاً . ويمكن أن نفهم أن m هي كتلة الجزء العامل وإذا استخدمت في الحمولة فإننا نعتبر $m = 0$. ولن يبقى عزم المحرك M_H ثابتاً ، وتوافق قيمة $M_{Hn} \hat{a}0$ بدء تشغيل الرفع ، وأما القيمة السالبة $M_{Hn} \hat{a}0$ فتوافق شوط النزول ، وتتخذ هذه الإشارات عند التحرك الشاقولي S_n : حيث عند الرفع تكون المتراجعة $S_n \hat{a}0$ وعند النزول $S_n \hat{a}0$. وبعد إدخال التعديلات المذكورة يسمح حل المعادلة (1) بتحديد نسبة النقل المثلى لآليات الرفع .

عند دراسة آليات الدوران يجب كتابة المعادلة التالية بدلاً من المعادلة (2) :

$$t_n = j \frac{n}{w} + t_{pn} \quad (23)$$

حيث j . زاوية دوران الوصلة الأخيرة .
 w . السرعة الزاوية للوصلة الأخيرة .
 والرمز m . يعبر عن كتلة الأجزاء الدوارة بدون حمولة .
 تأخذ معادلة عزم الدوران الشكل التالي :

$$M_n = g(c_1 m + c_2 p_n Q) \quad (24)$$

حيث c_1 و c_2 - ثوابت قياس مقاومة الدوران .

عندما تكون نسبة التخفيض في الآلية مساوية $i = \frac{w_H}{w}$ وعزم عطالة الأجزاء الدوارة J_n ونصف قطر

التعليق Z_n يكون التسارع الزاوي له الشكل التالي:

$$e_n = \frac{y M_H h i - g(c_1 m + c_2 p_n Q)}{J_n + p_n Q r_n^2 + J h i^2} \quad (25)$$

وبشكل مشابه يحصل للمعادلة (7) حيث تأخذ الشكل :

$$t_n = \frac{j_n i}{w_H} + \frac{w_H}{i} \cdot \frac{J_n + p_n Q r_n^2 + J h i^2}{y M_H h i - g(c_1 m + c_2 p_n Q)} \quad (26)$$

وفي حالة المخطط المثالي لتغير السرعة الزاوية نحصل على :

$$t_n = 2 \times \sqrt{\frac{j_n (J_n + p_n Q r_n^2 + J h i^2)}{y M_H h i - g(c_1 m + c_2 p_n Q)}} \quad (27)$$

ومع الأخذ بعين الاعتبار المدخل الحسابي التالي لحل المسألة (1) ، تكفي المعادلتان (26) و (27)

لحساب دالة الهدف (T) وعندها نكتب شرط تشغيل المحرك على الشكل التالي :

$$i^3 \frac{k_y g(c_1 m + c_2 p_n Q)}{y M_H h} \quad (28)$$

إن تحديد التسارعات (25) بالقيمة $[e]_{\max}$ يعطي الشرط :

$$i \leq \frac{y M_H}{2 J [e]_{\max}} - D_n \quad , \quad i^3 \frac{y M_H}{2 J [e]_{\max}} + D_n \quad (29)$$

حيث :

$$D_n = \frac{\frac{y M_H}{2 J [e]_{\max}} \cdot \frac{\dot{\sigma}^2}{\sigma}}{\sigma} - \frac{g(c_1 m + c_2 p_n Q) + (J_n + p_n Q r_n^2) [e]_{\max}}{J h [e]_{\max}} \quad (30)$$

وجدير بالذكر أن هذه الشروط يمكن أن لا تتحقق عند القيم التالية :

$$y = \frac{2}{M_H} \sqrt{\frac{J [e]_{\max} [g (c_1 m + c_2 p_n Q) + [e]_{\max} (J_n + p_n Q r_n^2)]}{h}} \quad (31)$$

و تحصل المساواة في العلاقة المعطاة عند القيمة :

$$i = \sqrt{\frac{g (c_1 m + c_2 p_n Q) + [e]_{\max} (J_n + p_n Q r_n^2)}{J h [e]_{\max}}} \quad (32)$$

بناء الخوارزمية واختيار الطريقة العددية لحل المسألة:

نعرض فيما يلي الخوارزمية المقترحة لحل مسألة إيجاد نسب التخفيض المثلى لآليات الرفع باستخدام الحاسوب والمصاغة بالمعادلات المذكورة سابقاً ، كما نقدم أمثلة عملية على هذه المسائل . وبالعودة إلى التسلسل الحسابي للحركة المستقيمة ، نُمثل خوارزمية الحالة المثلى بالمخطط الصندوقي المبين في الشكل (1). حيث إنه عند تنفيذ الخطوة 1 من المخطط الصندوقي ندخل كمعطيات قيم: استطاعة المحرك PDW ، وسرعة دورانه الاسمية SDW وعزم عطالة الجزء الدوار AD وبكرة الفرملة مع القارنة AT. وفي الخطوة 2 يُحسب العزم الاسمي للمحرك TN وسرعة دورانه WD والعزم الكلي للعطالة GD = 1.2 (AD+AT) .

أما في الوحدة 3 فتعطي كتلة جهاز السير Q₁ وحمولة الرفع Q. وفي الوحدة 4 يعطى مردود أجهزة نقل الحركة PD وعامل مقاومة الحركة SP. الوحدة 5 توافق قيم الحدين الأدنى X₁ والأعلى X₂ لتغير نسبة التخفيض z من حدود العلاقة (18) ، وخطوة هذا التغير D_x والحد الأدنى P₁ والأعلى P₂ لتغير المضاعف y وخطوة هذا التغير DP.

عند تنفيذ الوحدة 6 تؤخذ قيم الثابت PK = K₁ والحدود العليا للتسارع AK = [a]_{max} وكذلك عدد مرات التشغيل N ، تنفذ الوحدة 7 ، N مرة عند J = 1, 2, 3, ..., N/ ، وتعني S₁ المسافة S_n في العلاقة (2) ، وتشير A₁(J) إلى النسبة P_n في العلاقة (4) .

الوحدات 8...16 تستخدم لتحديد القيم الصغرى QI والعظمى QA للكتل المنقولة. وفي الوحدة 9 المتغيرة يتم الحصول على قيمة وحيدة وفيما بعد في الوحدة 10 تحسب الكتلة R المتحركة عند أول تشغيل.

في الوحدة 11 تزداد قيمة الكتلة QI (الخطوة 8) وبعد هذه الوحدة تنفذ الوحدة 12 . تكون قيمة الوحدة QA صفرًا عند تنفيذ الوحدة 13 (الخطوة 8) ويتبع هذه الوحدة تنفيذ الوحدة 14. بعد زيادة الرقم التسلسلي J في الوحدة 15 والعودة إلى الوحدة 10 إما أن تقل قيمة الكتلة QI (تنفذ الخطوة 12) أو تبقى ثابتة غير متغيرة (بعد الخطوة 11 تنفذ الخطوة 13) وبشكل مشابه فإن الكتلة QA إما أن تزداد (الخطوة تنفذ 14) أو تبقى ثابتة غير متغيرة (الوحدة 14 تهمل).

وعلى أساس القيمة التي حسبناها لـ QA في الوحدة 17 يحسب المتغير :

$$WSP1 = \frac{PK > SP > 9,8 > QA}{TN > PD} \quad (33)$$

وبشكل متوافق مع الشرط (11) الذي يكتب على الشكل التالي :

$$j^3 \frac{WSP_1}{y} \quad (34)$$

ووفقاً للقيمة QI تحسب القيمة الصغرى للمضاعف $PMIN = \psi$ التي يجب الأخذ عندها بعين الاعتبار الحد 12 والتي عندها نحصل على علاقة المساواة في الشرط (14). وأخيراً تُحسب المتغيرات المساعدة RB1 و RB2 التي تسمح بتحديد العلاقة (15) على النحو التالي :

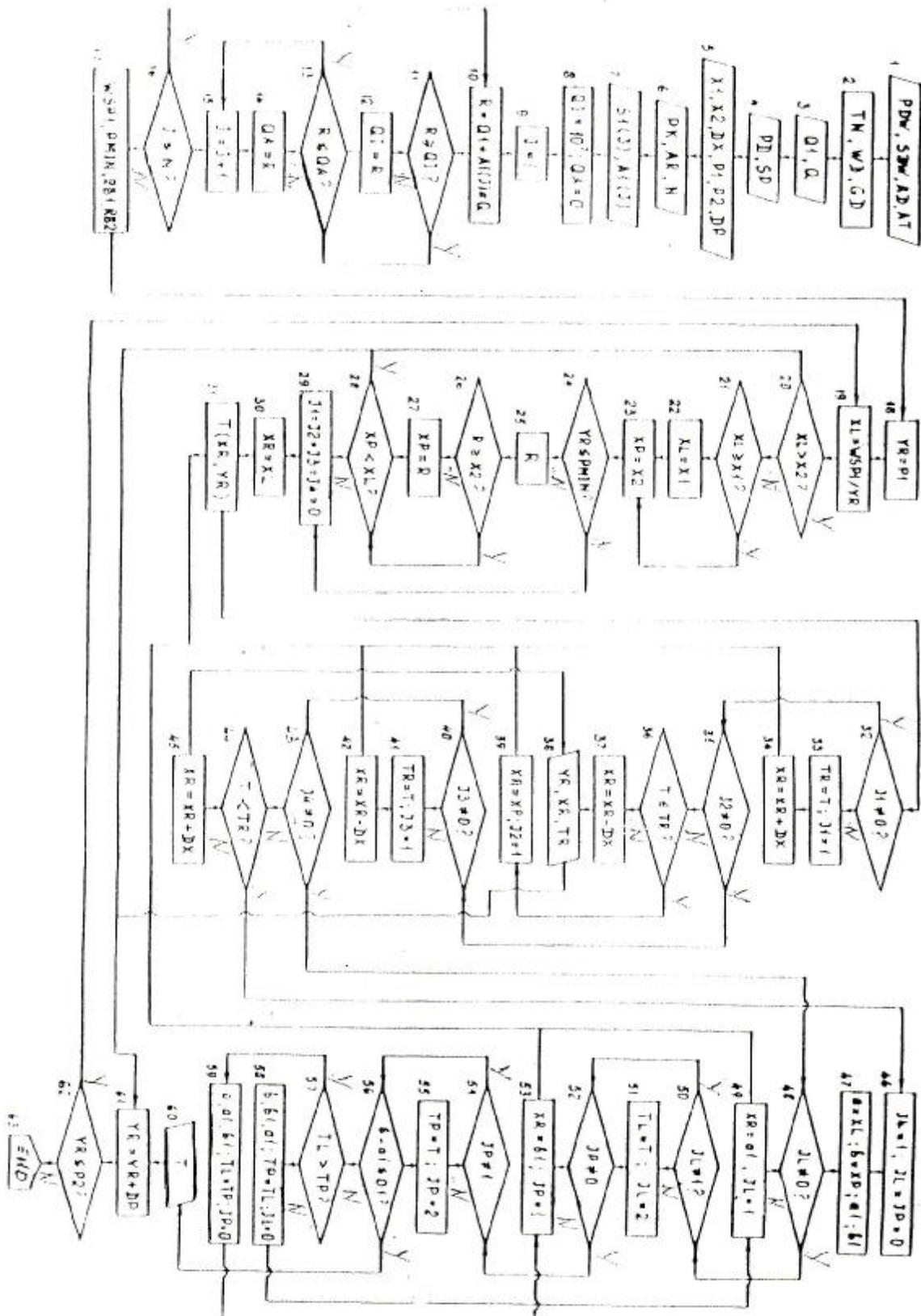
$$D_n = (RB1 \times y^2) - RB2 \quad (35)$$

يفهم تحت المتغير YR في الوحدة 18 القيمة الحالية للمضاعف ψ . القيمة الأولية لـ YR أعطيت في الوحدة 5. أما في الوحدة 19 فتوجد القيمة الصغرى لنسبة التخفيض XL التي يتحقق عندها الشرط (11). في حالة تنفيذ المتراجحة المشار إليها في الوحدة 20 لا توجد قيم مقبولة لنسبة التخفيض وتعطى القيادة للوحدة 61. وتزداد القيمة الحالية للمضاعف YR بمقدار الخطوة DP ويفضل الوحدة 62 يتم تأمين العودة إلى الوحدة 19. نوجد القيمة الحدية الدنيا لنسبة التخفيض XL بفضل الودنتين 21 و 22 اللتين لا تحققان الشرط (11) فقط بل الشرط (18) أيضاً.

وأما في الوحدة 23 فتستأثر القيمة الحدية العليا لنسبة التخفيض j_{max} في الشرط (18) بالمتغير XP. عند تحقيق الشرط المشار إليه في الوحدة 24 ينفذ الحد 12 حصراً وتعطى القيادة إلى الوحدة 29. وفي الحالة المعاكسة في الوحدة 25 يتم إيجاد القيمة الحدية العليا لنسبة التخفيض j التي تحدد من الشرط (17) .

و تحدد من الودنتين 26 و 27 القيمة العليا لنسبة التخفيض XP التي تحقق الشرطين (17) و (18) عند تنفيذ المتراجحة المشار إليها في الوحدة 28 تتعدم القيم المسموح بها لنسبة التخفيض وبلي الوحدة 28 تنفيذ الوحدة 59.

وعند الوصول إلى الوحدة 29 توجد قيم مقبولة لنسبة التخفيض وتكون محددة بالقيم XL و XP. في الوحدة 30 تستأثر القيمة الحدية الدنيا XL بالقيمة الحالية لنسبة التخفيض XR وفيما بعد في الوحدة 31 تحسب دالة الهدف (I). ويتحقق تحديد t في الدورة بالرقم التسلسلي للوصلة J وعند ذلك في كل خطوة يتم اختيار إما العلاقة (7) أو العلاقة (9) .



في حالة التنفيذ الأول للوحدة 32 يكون المفتاح $J_1 = 0$ (انظر الخطوة 29) والقيمة المحسوبة t تستحوذ على المتغير TR انظر الوحدة 33 وبالمفتاح J_1 تمنح قيمة وحيدة. في الوحدة 34 تزداد القيمة الحالية لنسبة التخفيض XP بمقدار الخطوة DX ويتحقق الحساب الدوري لدالة الهدف T. بعد الوحدة 32 تنفذ الوحدة 35 وبما أن $J_2 = 0$ (انظر الخطوة 29) تعطى القيادة بعدها إلى الوحدة 36 .

إذا تمت مخالفة الشرط المذكور في الوحدة فإنه بزيادة XP لا تتناقص دالة الهدف ، وبالتالي ، يتم الحصول على القيمة المثلى لنسبة التخفيض في الحد الأدنى. وفي الوحدة 37 تتحقق العودة إلى هذه القيمة الحدية ويتم في الوحدة 38 إخراج الحل الذي تم الحصول عليه إلى جهاز الطباعة. ثم تنفذ الخطوة 61 .

عند مراعاة الشرط المشار إليه في الوحدة 36 تستحوذ القيمة الحدية العظمى XR على القيمة الحالية لنسبة التخفيض XP (انظر الخطوة 39). وتتغير قيمة المبدل J_2 . تنفذ الوحدة 31 ثم الخطوات 32 و35 و40 وفي النهاية $J_3 = 0$ (انظر الخطوة 29). في الوحدة 41 تحفظ القيمة التي تم إيجادها لدالة الهدف ، بالإضافة إلى ذلك تتغير قيمة المبدل J_3 . وتخفض القيمة الحالية لنسبة التخفيض بمقدار الخطوة DX (انظر الخطوة 42) وتنتقل القيادة إلى الخطوة 31 .

بعد اجتياز الخطوات 32 و35 و40 و43 تنفذ الوحدة 44 بما يتوافق مع الوحدة 29 ويكون لدينا $J_4 = 0$. وعند مخالفة شروطها لا تتناقص دالة الهدف ضمن مجال الحلول المسموح بها ويتم العودة في الخطوة 45 إلى القيمة الحدية ، ثم تنقل القيادة فيما بعد إلى الوحدة 38 .

عند الخروج من الوحدة 44 يتم الحصول على النهاية الصغرى لدالة الهدف T على الإشارة [YES] داخل مجال الحلول المقبولة. وفي الوحدة 46 يستحوذ المبدل J_4 على قيمة وحيدة وبعد العودة إلى الوحدة 31 يجري تنفيذ الخطوات 32 و35 و43 و48.

ويتم إيجاد القيمة الصغرى لدالة الهدف (1) بالطريقة العددية المسماة المقطع الذهبي /Method of Golden section / [7].

حيث أنه في الخطوة 47 تمنح المتغيرات a ، b للقيم الحدية الموافقة للعنصر j لدالة الهدف T. تحسب قيم العنصرين a ، b ضمن هذا المجال بالعلاقة:

$$a_1 = a + \frac{3 - \sqrt{5}}{2}(b - a) \quad ; \quad b_1 = a + b - a_1 \quad (36)$$

عند التنفيذ الأول للوحدة 48 يأخذ المبدل $JL = 0$ ثم يلي ذلك تنفيذ الخطوة 49. تأخذ نسبة التخفيض XR القيمة a_1 /في الوحدة 31 / ويتم حساب القيمة الموافقة لدالة الهدف. بعد العودة إلى الوحدة 48 يجري حساب الوحدة 50. وبما أن $JL = 1$ (انظر الخطوة 49) تنتقل القيادة إلى الوحدة 51 والقيمة الناتجة لدالة الهدف تُمنح للمتغير TL. إن الشرط المصحح في الوحدة 52 غير مأخوذ بالحسبان (انظر الخطوة 46) ويلي تلك الوحدة تنفيذ الوحدة 53. وتأخذ نسبة التخفيض XR القيمة الوسطية الثانية b_1 وتحسب القيمة المناسبة لدالة الهدف T. عند العودة إلى الوحدة 52 يكون التنفيذ اللاحق هو للوحدة 54 وهنا $JP = 1$ (انظر الخطوة 53) وفي الوحدة 55 تكون قيمة دالة الهدف مساوية للمتغير TP .

عند بلوغ الوحدة 56 تكون قيمة دالة الهدف في النقاط الوسطية a_1 و b_1 معروفة. وإذا تمت مراعاة الشرط المشار إليه في هذه الوحدة فإن الحل يعتبر محسوباً وتنقل القيادة إلى الوحدة 60. وهنا تخرج القيم الأقل لـ TP وTL المناسبة لقيمة نسبة التخفيض كحل أمثل إلى جهاز الطباعة. وفيما بعد يجب الانتقال إلى القيمة التالية للمضاعف YR .

و إذا لم تتحقق الدقة المطلوبة في الحل فيجب بعد الوحدة 56 تحليل المتراجحة المشار إليها في الوحدة 57. عند عدم تحقق هذه المتراجحة يتقلص المجال الأولي a ، b إلى المجال a ، b_1 . في الوحدة 58 تستبدل قيمة b بقيمة b_1 ، وقيمة b_1 تستبدل بالقيمة a_1 وفي النهاية يتم حساب قيمة $a_1 = a + b - b_1$. في النقطة الأخيرة تكون قيمة دالة الهدف غير معروفة وبعد الوحدة 58 تعطى القيادة للخطوة 49 . إذا كان الشرط (57) محققاً فإن المجال الأولي a , b في الوحدة 59 يبدل بالمجال a_1 , b . ونبدل هنا قيمة a بقيمة a_1 ، ونبدل قيمة a_1 بقيمة b_1 وتحسب $b_1 = b + a - a_1$. في النقطة الجديدة التي حصلنا عليها تكون قيمة دالة الهدف غير معروفة ولهذا تتم العودة إلى الوحدة 53.

كتابة البرنامج :

يمكن حل الخوارزمية الموصوفة سابقاً باستخدام الحاسوب وهذا يتطلب كتابة البرنامج بإحدى لغات البرمجة العاملة على IBM-PC وقد اختيرت اللغة تريو باسكال /Turbo Pascal 7.00/ لتنفيذ هذه الخوارزمية [8,9] .

وصف البرنامج :

تتألف الحزمة البرمجية من برنامج رئيسي واحد وثلاثة برامج فرعية. حيث يقرأ البرنامج الرئيسي المعطيات ويطبع النتائج وينفذ جزءاً من الخوارزمية السابقة ، أما البرامج الفرعية فهي تعمل من خلال البرنامج الرئيسي وتنفذ مايلي :

يقوم البرنامج الأول بحساب القيمة المطلقة لكل حدود معادلات المسألة ، ويقوم الثاني بتنفيذ طريقة المقطع الذهبي أما الثالث فيقوم بتحديد شروط كل من دالة الهدف والمحددات.

اختبار البرنامج :

لقد تم تطبيق الخوارزمية المقترحة بمساعدة الحاسوب IBM ثم جرب على الرافعة الجسرية من نوع KCB-20 [10].

يبين الشكل (2) عدد الحلول الممكنة للمسألة (1) عند الشروط (11) ، (17) و(18) لآلية الانتقال لهذه الرافعة.

وندرج فيما يلي معطيات مثالنا هذا حيث أنه :

$$PDW = 11KW \quad SDW = 940 \quad r.p.m, \quad AD = 0.22 \quad kg.m^2, \quad AT = 0.125 \quad kg.m^2, \\ Q_1 = 20800 \quad kg, \quad Q = 20000 \quad kg.$$

وتبعاً للمعطيات السابقة فإن :

$$TN = 111.8 \quad N.m, \quad WD = 98.39 \quad sec^{-1}, \quad GD = 0.414 \quad kg.m^2$$

عند تنفيذ الوحدة (4) اعتبر أن $SP = 0,014$, $PD = 0,9$

وبالنسبة للحدود (18) فقد تم إعطاء :

$$X_1 = 60 \text{ m}^{-1}, X_2 = 300 \text{ m}^{-1}, P_1 = 0.3, P_2 = 1.5$$

والخطوة $DX = 5 \text{ m}^{-1}$ والخطوة $DP = 0,05$. وفي الحد (11) اعتبر $PK = 1,2$ وفي الحد (12) وضعنا $AR = 0,5 \text{ m/sec}^2$ وعند كتابة دالة الهدف (1) كان عدد مرات التشغيل لآلية الانتقال $N = 2$ ، وعدد مرات الانتقال $SI(1)$ و $SI(2)$ بقيم واحدة وتساوي $1,2,3,5,10 \text{ m}$. إن هذه القيم موضحة في الشكل (2) إلى جانب منحنيات القيم المثلى (22). وبالنسبة للمسار الحر اتخذ $AI(1) = 0$ وعند نقل الحمولة اعتبر $AI(2) = 1$ تملك آلية التحريك لعربة النقل نسبة تخفيض $z = 118,1 \text{ m}^{-1}$ وهذه القيمة موضحة في الشكل (2) بخط منقط ، وكما يتضح من النتائج المبينة في الشكل (2) فإن القيمة المعطاة z تعتبر قيمة مثلى للإزاحة والنقل $S = 5 \text{ m}$ وعند قيم أخرى لـ S يمكن أن تختلف الحلول المثلى اختلافاً كبيراً عن الحل المدروس .

إن زيادة قيم الانتقال المعطاة S عند تحقيق الحلول المثلى تؤدي إلى انحرافات غير ملحوظة لدالة الهدف (1). وهكذا في حالة تحقيق الحل الأمثل عندما $S = 5 \text{ m}$ والمحافظة على القيم التي حصلنا عليها لـ z و ψ دون تغيير تزداد دالة الهدف بمقدار $3\% \dots 4\%$ في الإزاحات $S = 5 \dots 10 \text{ m}$. فيما لو حافظنا على القيم المثلى لـ z و ψ دون تغيير عند الإزاحات التي حصلنا عليها عندما كان $S = 1 \text{ m}$ فإنه عند الإزاحات $S = 5 \dots 10 \text{ m}$ تزداد دالة الهدف بالنسبة للقيم الصغرى الممكنة بمقدار $36\% \dots 59\%$. إن هذه الحالة تستوجب أن تولي الاهتمام عند إعطاء قيم الإزاحات S . ويوضح الشكل (3) نتائج تحقيق الحل الأمثل لنسبة التخفيض لآلية الانتقال للرافعة المدروسة KCB-20 .

عند تنفيذ الوحدة 1 في الشكل (1) اعتبرنا أن :

$$PDW = 43 \text{ kw}, SDW = 570 \text{ r.p.m}, AD = 4.25 \text{ kg.m}^2, AT = 2.25 \text{ kg.m}^2,$$

وفي الوحدة (2) تم إيجاد :

$$TN = 1441 \text{ N.m}, WD = 59.66 \text{ sec}^{-1}, GD = 16.6 \text{ kg.m}^2$$

وفي الوحدات $3 \dots 6$ اعتبرنا :

$$Q_1 = 85000 \text{ kg}, Q = 2000 \text{ kg}, PD = 0,9, SP = 0.012, X_1 = 16 \text{ m}^{-1}, X_2 = 40 \text{ m}^{-1}, DX = 2 \text{ m}^{-1}, P_1 = 0.3, P_2 = 1.5, DP = 0.05, PR = 1.2, AR = 0.4 \text{ m/sec}^2, N = 2$$

وقد أعطيت قيم إزاحات متساوية وهي: $(20, 40, 80 \text{ m})$ وهذه القيم موضحة في الشكل (3) إلى جانب منحنيات القيم المثلى (22). وعند المشوار الحر أعتبر أن: $AI(1) = 1$ و $AI(2) = 1$. تملك آلية تحريك الرافعة المدروسة نسبة تخفيض مقدارها $z = 27,5 \text{ m}^{-1}$. وتبعاً للشكل (3) الذي نبين عليه القيمة المعطاة بخط منقطع فإن نسبة التخفيض هذه z هي المثلى عند الإزاحات $20 \dots 40 \text{ m}$. وكما في حالة آلية تحريك عربة النقل فإن زيادة قيم الإزاحات المتخذة عند الحل الأمثل تؤدي إلى تقليل انحرافات دالة الهدف (1) عند القيم الصغرى الممكنة .

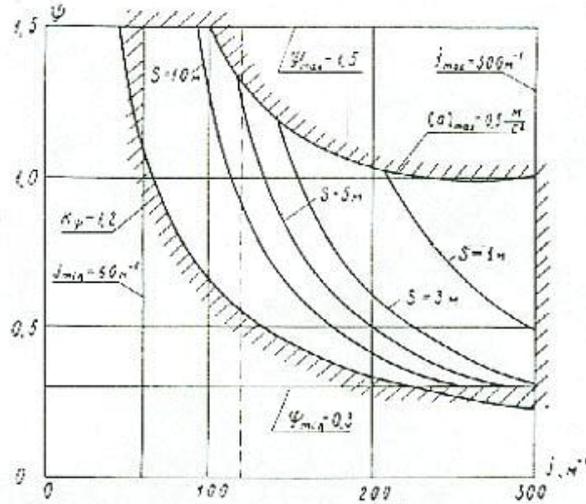
ونرى في الشكل (4) مجال الحلول الممكنة ومنحنيات القيم المثلى (22) المنشأة لأجل آلية الرفع في الرافعة

KCB-20. وفي حالتنا عند تنفيذ الوحدة 1 في الشكل (1) اعتبرنا أن :

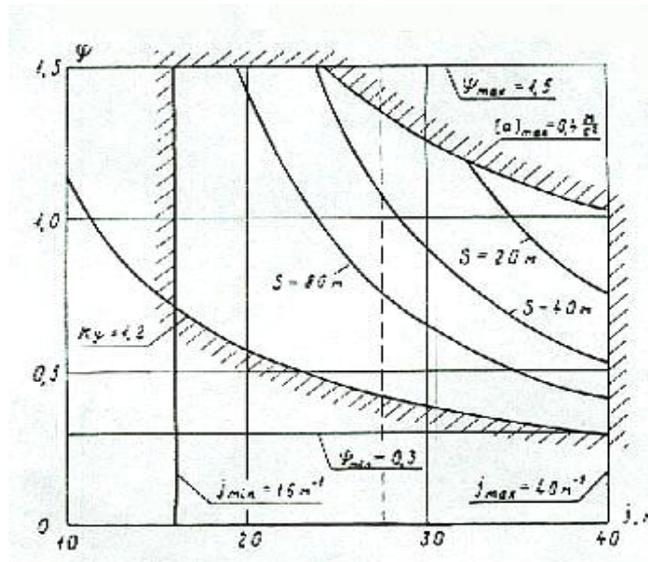
$PDW = 75 \text{ kw}$, $SDW = 570 \text{ r.p.m}$, $AD = 5.60 \text{ kg.m}^2$, $AT = 4.5 \text{ kg.m}^2$,
 $Q_1 = 0$, $Q = 20000 \text{ kg}$, $PD = 0,9$, $SP = 1,0$, $X_1 = 140 \text{ m}^{-1}$, $X_2 = 300 \text{ m}^{-1}$
 $DX = 2 \text{ m}^{-1}$, $P_1 = 0.8$, $P_2 = 1.5$, $DP = 0.05$, $PK = 1.2$, $AR = 0.2 \text{ m/sec}^2$, $N = 1$

والقيم المتغيرة في الوحدة (2) هي :

$TN = 1256 \text{ N.m}$, $WD = 59.69 \text{ sec}^{-1}$, $GD = 12.12 \text{ kg.m}$



الشكل (2) يبين نتائج الحل الأمثل لميكانيزم انتقال العربة في الرافعة الجسرية



الشكل (3) يبين نتائج الحل الأمثل لميكانيزم انتقال الرافعة

والإزاحة S اتخذت مساوية للقيم التالية: (انظر الشكل 4) 0.5, 1.0, 2.0 m

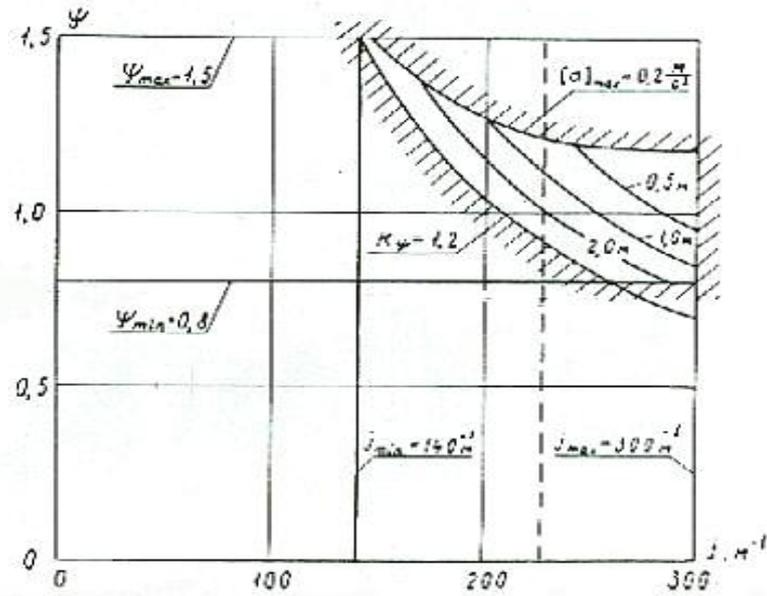
والعامل: $A(1) = 1$

وعند التصميم اتخذت سرعة الرفع مساوية $0,263 \text{ m/sec}$ ، وهذا يتوافق مع قيمة $j = 227 \text{ m}^{-1}$ المبيّنة في الشكل (4) بخط منقطع. وبالمقارنة مع آليات نقل الحركة فإن التحميل الاستاتيكي لآليات الرفع أكبر بكثير جداً وبالنتيجة فإن الحلول الممكنة تنقل بشكل ملحوظ. وتنخفض نسبة قوى العطالة في الحمولة العامة للمحرك. وعند عدم تغيير المحرك فإن تغيير نسبة التخفيض لا تؤثر عملياً على دالة الهدف (1) ، وتحدد نسبة التخفيض المستخدمة لآلية الرفع بالاعتماد على الاستطاعة المختارة للمحرك الكهربائي.

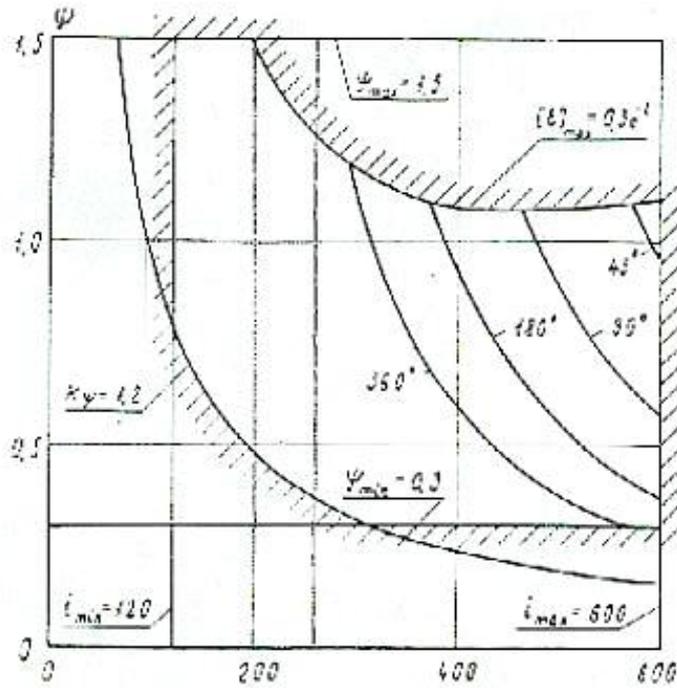
وللحصول على نسبة التخفيض المثلى لآليات التدوير وتطبيقها على الحاسوب يجب إدخال مجموعة إضافات في مخطط الوحدة في الشكل (1). وتدخل في الخطوة 3 مسألة عزم عطالة القسم الدوار QJ ، وعند ذلك تعتبر القيمة المعطاة ثابتة لا تتغير عند تغيير نصف قطر التعليق وإذا لم يكن كذلك فإن عزم العطالة يمكن أن يتغير وقيمه J_n يجب أن تعطى في الوحدة (7). وبما يتوافق مع مواصفات العلاقة (24) في الوحدة 4 فإنها لا تعطى قيمة واحدة لـ SP ولكن قيمتان هما SP_1 و SP_2 المتعلقتان بالثابتين C_1 و C_2 . وعند تنفيذ الوحدة 7 يعطى إضافة لذلك نصف قطر التعليق :

$$T1(J), \quad J = 1,2,\dots,N$$

وتحدد تغيرات الوحدات المتتالية من مواصفات العلاقات (24) و (25) وتعطى الازاحات الزاوية بالدرجات.



الشكل (4) يبين نتائج الحل الأمثل لميكانيزم الرفع في الرافعة



الشكل (5) يبين نتائج الحل الأمثل لميكانيزم الدوران في الرافعة

يبين الشكل (5) مجال الحلول الممكنة للمسألة (1) مع المحددات (28) و(29) والمحددات من النوع (18)

وكذلك منحنيات نسب التخفيض المثلى:

$$i^* = 2^*(\gamma) \quad (37)$$

لآليات تدوير عربة النقل المشار إليها سابقاً .

المعطيات الأساسية :

$$\begin{aligned} PDW &= 7,5 \text{ kw}, SDW = 935 \text{ r.p.m}, AD = 0,120 \text{ kg.m}^2, AT = 0,125 \text{ kg.m}^2, \\ Q_1 &= 1350 \text{ kg}, Q = 20000 \text{ kg}, QJ = 37980 \text{ kg.m}^2, PD = 0,9, SP_1 = SP_2 = 0, \\ X_1 &= 120 \text{ m}^{-1}, X_2 = 600 \text{ m}^{-1} \\ DX &= 2 \text{ m}^{-1}, P_1 = 0,3, P_2 = 1,5, DP = 0,05, PK = 1,2, AR = 0,3 \text{ m/sec}^2, N = 2 \end{aligned}$$

وقد اعتبرت زوايا الدوران S1(1) و S1(2) واحدة وتساوي: 45°، 90°، 180°، 360°. وهذه القيم

موضحة في الشكل (5) بجانب منحنيات القيم المثلى (37). عند تحريك الحمل أعتبر أن: A1(1) = 1, T1(1) = 6,35 m

وفي الحركة العكسية أعتبر أن:

$$A1(1) = 0,2, T1(1) = 2,25 \text{ m}$$

وقد تم الحصول على قيم متساوية للمتغيرات في الوحدة (2) موضحة بالشكل (1) حيث :

$$SDW = 97,86 \text{ sec}^{-1}, TN = 76,6 \text{ N.m}, GD = 0,294 \text{ kg.m}^2$$

تملك آلية تدوير العربة المدروسة نسبة تخفيض $i = 259,7$ وهذه القيمة موضحة في الشكل (5) بخط منقطع. تدل النتائج الحاصلة على إنه عند زوايا الدوران حتى 360° تستخدم نسبة تخفيض أدنى من مجال القيم المثلثية i . إذا انطلقنا من زاوية الدوران $90^\circ \dots 180^\circ$ ، فإن نسبة التخفيض يمكن أن تزداد بـ $1,4 \dots 1,8$ مرة دون زيادة استمرارية الدورة. وتقل سرعة الدوران عند ذلك من $3,6$ حتى 2 دورة بالدقيقة .

النتائج :

- كما هو واضح من الأمثلة المعروضة سابقاً والتي تبين مقدرة المسألة المصاغة على تمثيل نسب التخفيض المثلى لآليات الرفع. فإن أهم النتائج نلخصها بالنقاط التالية :
1. يسمح حل هذه المسائل بالتحكم الأمثل بسرعات الأجزاء العاملة وكذلك تقييم بارمترات الرافعة وفقاً لظروف الاستثمار .
 2. إن النتائج الحاصلة تسمح بالتمثيل التخطيطي الدقيق لنسب التخفيض في ميكانيزمات الرافعات.
 3. إن المعيار المقترح لتحقيق الحل الأمثل هو المعيار الذي يحدد للآليات التي تتصف بعتالة عالية نسبياً للوصلات الطرفية (الأجزاء الموجودة في النهايات والأطراف).

من الأمثلة المعروضة سابقاً نستنتج أن إيجاد نسب التخفيض المثلى لهذه الآليات يمكن أن يحقق اختزالاً ملحوظاً لاستمرارية الدورة وللاستطاعة المستهلكة كذلك. وعند زيادة الانتقال تقل قيمة نسب التخفيض المثلى ، والزيادة في الانتقال تؤدي إلى نقصان كبير في قيمة نسبة التخفيض المثلى ، وهذا يؤدي إلى انحرافات أقل في دالة الهدف عن القيمة المثلى .

المراجع :

.....

1. Salaviof V G, The theoretical principles of design by computer for mechanisms of hoisting machines ; 1991.
2. Kroc L D ; Ofsiankof U N ; Svertshkof A A, The engineering method for the definition of optimum kinematical parametres for the hoisting machines of container ; 1987.
3. Kroc L D, The methods of a founding are the optimal parametres and utilization systems a the turn cranes; 1998.
4. Kozerof U G, The design of the mechanical arms ; 1993.
5. Pordakof S V ; Diatshikof V A ; Autimovef A N, The design of the mechanical arms and robot ; 1986.
6. James L ; Kuester ; Joe H.Mize, Optimization technique with Pascal McMraw-hill Book company ; 1993
7. . Steven C.Chapra ; Raymond P. Canal, Numerical method for Engineering ; 1991.
8. Kafa Samir ; Computers & Programming ; Tishreen university ; 2003.
9. Julien Hennefeld, Turbo Pascal 7.00 – OOP ; Borland 1995.
10. Lobov N.A, Dynamic of hosting cranes, Moscow, Mashinostroenie. 1987.

النماذج المستخدمة لقياس المقدار الزاوي بناء على طول موجة الإشعاع

الدكتور جهاد بدور*

(قبل للنشر في 2004/12/27)

□ الملخص □

تحتاج المتطلبات المتزايدة لدقة القياسات العالمية إلى البحث عن إمكانية تصنيع أجهزة قياس زاوية أكثر دقة ومتمتعة بمبادئ فيزيائية جديدة، تسمح بإدخال تغييرات على مستوى المعايير. يتضمن البحث طريقة لتصميم الليزر التداخلية من أجل قياس المقادير الزاوية، وتحليل العوامل المؤثرة عليها تلك، التي أدت إلى اعتماد الليزر الغازية العاملة على مزيج He-Ne. يسمح تحليل الاحتمالات المختلفة لبناء مخططات إزالة تأثير عدم تجانس القراءة، بإيجاد طريقة جديدة تبين العوامل المؤثرة في دقة القياسات للجزء الكسري من الحزمة الموجية مع زيادة جودة تحليل صورة التداخل، التي تؤدي للوصول إلى مقاييس عملية يتم استخدامها في مجال حتى 15° مع خطأ لتكرار قياس المقدار الزاوي من مرتبة $0.01''$.

*مدرس في قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

The Models Used in the Angular Amount Measurement by the Use of the Wavelength as a Basis

Dr. Jihad Baddour*

(Accepted 27/12/2004)

□ ABSTRACT □

The increasing need for high measurement accuracy leads to the search for the possibility of manufacturing more accurate angular measurement devices with good physical principles that allows changes on the level of parameters.

The research includes a method of designing interfering lasers to measure the angular amounts, and of analyzing the effecting factors that led to the use of the gas-laser tubes (He-Ne).

Analyzing the different probabilities allows building up heterogeneous reading effect-deleting designs through finding out a new way that shows the factors effecting the measurement accuracy of the decimal part of the wave-pattern with the increase in the analysis quality of the interfering picture, the thing that leads to more practical measurements that can be used in a range up to (15') degrees with an angular amount remeasuring error of the rank of (0.01") degree.

*Lecturer, Department Of Mechanical Power, Faculty Of Mechanical And Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

إن استخدام التقنيات المتطورة في الإنتاج يقود إلى متطلبات متنامية بشكل مستمر لدقة قياسات البارامترات الهندسية، بما فيها المقادير الزاوية والتأمين الميتولوجي للعمليات في منطقة القياسات الزاوية غير كافٍ أبداً في الوقت الحاضر حيث يتطلب تحسيناً جوهرياً ولاسيما من ناحية توسيع دائرة المسائل المحلولة ولاسيما بهدف زيادة دقة القياسات. ولقد ظهرت منذ أمدٍ طويلٍ -وما زالت- مسألة إزالة تأثير الانفعال الجانبي على نتائج القياسات الزاوية في شروط الحقل والورشة. ويمكن تقدير الإمكانات الحدية لسلسلة أجهزة القياس الزاوي بمتوسط مربع أخطاء القياسات الزاوية بما لا يقل عن 0.1"، وهذا غير كافٍ في بناء الآلات الضخمة المضبوطة والدقيقة.

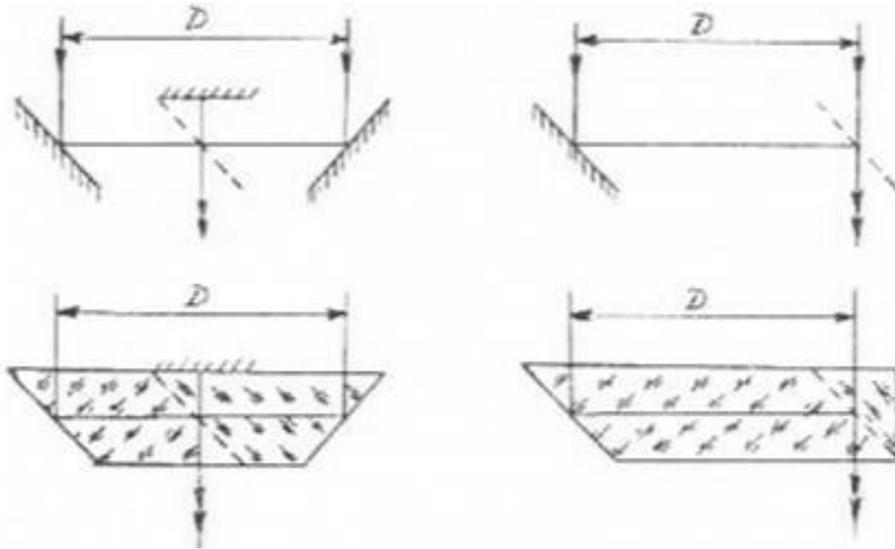
إن إحدى طرق حل المسائل المذكورة أعلاه هي بناء مقاييس زاوية لايزرية متداخلة باستخدام انتشار الأمواج المترابطة (coherent wavelength distribution)، وطول الموجة بمثابة مقياس عمل [1]. إن إمكانية تحقيق هذا النوع من النماذج في العمل تتوقف على جعل البارامتر المقاس نظاماً لتداخل الصورة المحللة. وعند تغيير نظام التداخل في الواحدة أي عند ازاحة الصورة بمقدار حزمة موجية واحدة في مستوي تحليل وضع نطاق التداخل (interference-range)، يمكن التعبير عن التغيير المناسب لعدم التوافق الزاوي a_i بالعلاقة التالية [2]:

$$a_i = l/D \quad (1)$$

حيث:

D - قاعدة استقبال المقياس الزاوي.

إن الجهاز القادر على تحقيق علاقة العمل المعطاة هو عبارة عن حل تصميمي بسيط بما فيه الكفاية، كما هو واضح من الشكل (1)، الذي يبين المخططات المبدئية لمجموعة مرايا الاستقبال ومماثلاتها الموشورية.



شكل (1) المخططات المبدئية لمجموعة مرايا الاستقبال ومماثلاتها الموشورية

وإذا اعتبرنا أن المقدار D يتحدد بتصميم الجهاز الذي يمكن أن تعطى قيمته بأية دقة محددة مسبقاً، فإن الجهاز المدروس يملك مقدرة التحويل المباشر لقيمة المقدار الفيزيائي لطول موجة الإشعاع إلى مقدار زاوي لقيمة تدرجة سلم المقياس للصورة المحللة a_i . وفي مثل هذه الحالة من مستوى التحليل يتم الحصول على سلم القياس الحسابي الخطي. وتخص هذه الميزة عملياً جميع أجهزة القياس الزاوية المتداخلة ذات استخدام انتشار الأمواج المترابطة (coherent wavelength distribution)، وفي المقاييس الزاوية المستخدمة للترابط المؤقت، وحتى في منطقة الزوايا الصغيرة يملك التحويل المباشر علاقة تربيعية بين طول موجة الإشعاع والعرض الزاوي لنطاق التداخلات (interference-range) وذلك على الشكل التالي:

$$a_i = \sqrt{I \cdot K_1}$$

حيث:

K_1 - عامل، يتعلق باختيار مخطط إنشاء الصورة المتداخلة والذي يساوي من أجل الصفيحة المستوية-المتوازية:

$$K_1 = \frac{n}{h}$$

حيث:

n - معامل انكسار الزجاج.

h - سماكة الصفيحة.

إن الخاصية المشار إليها أعلاه هي الميزة الأولى للنماذج القياسية العاملة على أساس المقاييس الزاوية ذات الأمواج المترابطة، وأما الميزة الأخرى لمثل هذه الأجهزة فهي إمكانية التوجيه البسيط بشكل كافٍ لقيمة تدرجة السلم، حيث تستخدم الصورة المتداخلة لهذه الغاية. وكما هو واضح من العلاقة (1) فإن تغيير قاعدة الاستقبال D يسهل الحصول على أية قيمة معطاة مسبقاً للعرض الزاوي لنطاق التداخل. وتحدد دقة إدخال المقدار المطلوب لقيمة التدرجة بعاملين: - ثبات طول موجة الإشعاع.

- ثبات مقدار قاعدة الاستقبال.

وكما هو واضح من تحليل العلاقة (1) فإن الخطأ النسبي لقياس المقدار الزاوي يتعلق بالخطأ في طول موجة الإشعاع ومقدار قاعدة الاستقبال. ويحدد مجال القياسات في أجهزة التداخل بالزيادة العظمى المقاسة لترتيب التداخل كقاعدة والمعبر عنها غالباً بالكمية المثبتة للحزم الموجية المتداخلة. وفي نظام البحث أو عند القياسات الزاوية النسبية يتعلق الحجم الأعظمي للحزم الموجية المتداخلة المسجلة بسعة الجهاز الحسابية، التي يمكن أن تبلغ القيمة من مرتبة $10^6 - 10^7$. ومن الواضح في هذه الحالة أن الخطأ النسبي للقياس يجب أن لا يكون أسوأ من $10^{-8} - 10^{-9}$ ، وهذا يؤدي إلى متطلبات صارمة جداً لمادة تصميم المقياس الزاوي ولثبات طول موجة مصدر الإشعاع. عند ذلك يجب الأخذ بالحسبان صفة عدم الثبات للمادة، وكذلك لطول موجة الإشعاع. وإذا كانا، (المادة وطول الموجة)، يملكان خطأ عشوائياً، (اهتزاز القواعد، حركة مضطربة في الهواء الجوي)، فإنه يمكن إضعاف تأثيرهما باستخدام الطرق الإحصائية لمعالجة نتائج القياسات، لهذا تنخفض الشروط لاستقرار بارامترات المادة والإشعاع. وفي حالة تأثير بعض العوامل الرتيبية (التدرج الحراري، العمليات الفيزيائية والكيميائية داخل الجهاز الرنان لليزر وما شابه)، وعند عدم إمكانية الحساب المسبق لتأثيراتها ومقاديرها، يجب استخدام الليزرات المستقرة وحيدة التردد (single frequency) كمصدر إشعاع للمواد التركيبية في تصميم القاعدة ولوحدات استقبال الجهاز. ولكن بشكل عملي نادراً ما يتجاوز مجال نظام التداخل المقاس القيمة 10^4 سواء عند القياسات النسبية أم المطلقة للمقادير

الزاوية. وهذا الأخير مرتبط بوجود قراءة غير متجانسة للتداخل (interference)، التي تحد من مجال الزوايا المقاسة. وفي مثل هذه القيم لنظام التداخل المقاس يمكن أن ينتهي تأثير عدم استقرار المادة إلى قيمة صغيرة مهملة عند استخدام المعادن المنتشرة بشكل كافٍ أو الخزف الزجاجي كما أن الشروط لاستخدام الليزر أيضاً تنخفض بحدّة، ومن أجل استثمار الجهاز في ظروف حرارية مستقرة نسبياً يمكن استخدام سلسلة الليزر الغازية العاملة على مزيج He-Ne. إذا لم يكن بالإمكان تأمين الاستقرار الحراري لكل مجموعة القياس، فإنه يكفي التثبيت الحراري لمصدر الليزر فقط أو استخدام الضبط الآلي لتردد الإشعاع بخطأ حتى $10^{-5} - 10^{-6}$ ، وهذا محقق في مجموعة سلسلة الليزر المنتجة [3]. في الوقت نفسه يجب أن نعلم أن استخدام الليزر ذات أنصاف النواقل، التي تعطي كذلك إمكانية تثبيت المقادير الزاوية وتغيراتها في المقاييس ذات استخدام الأمواج المترابطة، يتطلب جهوداً إضافية لتأمين استقرارية طول موجة الإشعاع، إما بطريقة الاستقرار الحراري للمشح أو برصد تغير طول الموجة بالدقة المطلوبة، وإدخال عوامل تصحيح في النتيجة النهائية للقياسات [4].

وكما أشرنا سابقاً، إن مجال قياسات القيم المطلقة للزاوية محدود بعدم تجانس قراءة التداخل، التي لم تدرس طرق إزالتها في أجهزة قياس الزاوية. سمح تحليل الاحتمالات المختلفة لبناء مخططات من أجل إزالة تأثير عدم تجانس القراءة على نتيجة القياسات بإيجاد طريقة جديدة أساسية قريبة نظرياً من الطريقة المعروفة للأجزاء الكسرية مع بعض أطوال موجات الإشعاع. إن استخدام مصدر واحد فقط للإشعاع وقناتي استقبال مستقلتين بقواعد استقبال مختلفة حيث تقع الأطوال في علاقة صماء من الشكل $(D_1 = D_2 \sqrt{A})$ مكننا من حل عدم التجانس ضمن المجالات المحددة بالعلاقة التالية:

$$a_{\max} = \frac{\pi}{e} - \frac{1}{\sqrt{A}} \frac{\pi a_i}{\phi} / K_2 \quad (2)$$

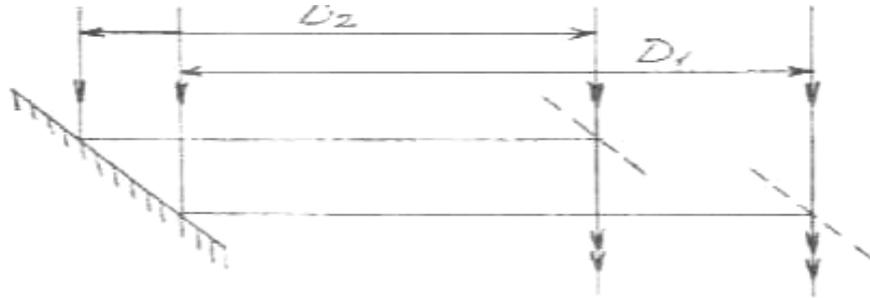
حيث:

a_{\max} - عدم التوافق الزاوي الأعظمي، في المجالات التي يزال فيها عدم التجانس.

A - عدد، لا يعتبر مربعاً كاملاً.

K_2 - الخطأ النسبي في تحديد الجزء الكسري لنظام التداخل.

وبين الشكل (2) أحد احتمالات بناء مخطط مقياس الزاوية مع تركيبة لإزالة عدم تجانس القراءة [5]، مبين في الشكل (2).



شكل (2) مخطط مقياس الزاوية مع تركيبة لإزالة عدم تجانس القراءة

ويتعين مجال القياسات بطول الموجة المشكّلة للمقياس العامل أولاً، وبدقة قياس الجزء الكسري للحزمة الموجية ثانياً. وبالتالي فإن الإمكانيات الكامنة لهذه الطريقة تتعلق بجودة تركيبة القراءة وبالتمثيل التداخلي.

وعند التحليل النظري والبحث التجريبي نجد أنه إذا كان مقدار قاعدة الاستقبال لقناتين مختلفاً بالقيمة \sqrt{A} ، فإنه عندما تكون $A=2$ فيزال عدم التجانس في حدود 40 حزمة موجية تداخلية، أما عندما $A=101$ يزال عدم التجانس في حدود أكثر من 1000 حزمة. عند ذلك يجب الأخذ بالاعتبار أن مجال القياسات يتعين بإمكانية تحقيق القاعدة الصغرى لكن خطأ النتيجة النهائية يتحدد بإمكانية تحقيق القاعدة العظمى. وبهذا المثال الوارد أعلاه مع $A=101$ ، وقاعدة الاستقبال الصغرى 12mm عند تحديد نظام التداخل بخطأ نسبي 1/100، يتحقق خطأ قياس المقدار الزاوي "0.01" في مجال يفوق 15' من أجل $\lambda=0.6328\mu\text{m}$.

ومن الواضح أن زيادة دقة القياسات للجزء الكسري للحزمة الموجية ممكنة عند زيادة جودة تحليل صورة التداخل، التي تؤثر عليها مجموعة عوامل:

أولاً- القناتان المشكلتان للحزم الموجية المتبادلة التأثير اللتان يجب أن تكونا متوازنتين باختلاف المسير بهدف الحصول على تشوهات غير خطية أصغر [6]. وقد سمح لنا تحليل شروط مرور الحزم الموجية في وحدات الاستقبال عند وجود عدم توافق زاوي واختلاف أطوال القناتين بمقدار ΔD بالحصول على العلاقة التالية:

$$DP_a = Dm.l = DD.na^2 / 2 \quad (3)$$

DP_a - الزيادة غير الخطية الإضافية لاختلاف المسير، التي تشوه الطابع الخطي للسلم.

n - معامل انكسار المادة، التي صنعت منها وحدة الاستقبال الموشورية.

حتى إن استخدام الكوارتز ذي $n=1.3$ عند قاعدة استقبال حوالي 63m في المجالات 3.5' يؤدي إلى تشوهات غير خطية من مرتبة 1/17 من عرض نطاق التداخل [7]. إن طرق تخفيض تأثير هذا العامل بسيطة بما فيه الكفاية، بتصغير ΔD عند استخدام مواد بمعامل انكسار أصغر أو تبديل وحدات الاستقبال الموشورية بمرايا. ثانياً- من الضروري موازنة القناتين وفقاً لبارامترات القدرة بهدف الحصول على تباين أعظمي في صورة التداخل [2]. وهذا الشرط أقل صرامة من الشرط السابق ويمكن التعبير عنه بالعلاقة:

$$V = \frac{1.212\sqrt{1+DI/I_0}}{2+DI/I_0} \quad (4)$$

حيث:

V - منظور الحزم الموجية المتداخلة.

DI - عدم التوازن في القدرة للأفقية.

I_0 - القيمة الاسمية لشدة الحزمة الموجية المارة بإحدى الأفقية.

وعند عدم توازن قناتين، في الحالة التي يكون فيها $DI = I_0$ ، يقل التباين فقط بمقدار 5% وعملياً هذا لا

يؤثر على جودة معالجة الصورة.

النتائج:

1- إمكانية استخدام سلسلة الليزررات الغازية العاملة على مزيج He-Ne، لتأمين قياس نظام التداخل بخطأ حتى 10^{-6} - 10^{-5} لتردد الإشعاع.

2 - يمكن زيادة دقة القياسات للجزء الكسري للحزمة الموجية بزيادة جودة تحليل صورة التداخل، التي يؤثر عليها عاملان:

- الزيادة غير الخطية الإضافية لاختلاف المسير، المشوهة للطابع الخطي للسلم،
- ضرورة تأمين موازنة القنوات، وفقاً لبارامترات القدرة للحصول على تباين أعظمي في صورة التداخل.

3 - النتائج الواردة لأبحاث المحولات الزاوية الأساسية باستخدام الأمواج المترابطة فراغياً، تبين إمكانية استخدامها كمقاييس عملية ضمن مجال قياس حتى $15'$ ، وبخطأ تكرار قياس المقدار الزاوي من مرتبة $0.01''$ في مجال واسع بما فيه الكفاية لظروف الاستثمار.

4 - يمكن تطبيق النتائج في أجهزة القياس الدقيقة المستخدمة في الصناعات التقنية عالية الدقة، نتيجة لتخفيض المراحل في مخطط فحص الأخطاء بين المقياس الأولي والمقاييس العملية، وفي الأجهزة المستخدمة في المسح الجوي والخرائط الطبوغرافية.

المراجع:

.....

- [1] - ايفانوف، ف. أ.، بريفاليف، ف. ي. 1987 - *اللايزرات في القياسات الزاوية*، دار معهد الميكانيك الدقيق والبصريات، لينينغراد.
- [2]- SILFVAST, W. T. 1999 – *Laser Fundamentals*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- [3]- SIEGMAN, A. E. 1986 – *Lasers*, Mill Valley, CA: University Science.
- [4]- DERRY, P., FIGUEROA, L., and HONG C.S. 1995- *Semiconductor Lasers*, in *Handbook of Optics*, vol. I, 2 nd ed. (M. Bass, ed.). New York: McGraw-Hill, Chapter 13.
- [5]- كارنكفيتش، ف.ب.؛ خانف، ف.أ. 1985 - *اللايزرات التداخلية الحديثة*، دار العلوم، نوفاسيبيرسك.
- [6] - ايفانوف، ف. أ.؛ بريفاليف، ف. ي. 1993 - *استخدام اللايزرات في أجهزة الميكانيك الدقيق*، دار التقنية، سان بطرسبورغ، روسيا الاتحادية.
- [7]- TANG, C. L. 1995- *Nonlinear Optics*, in *Handbook of Optics*, vol. II, (M. Bass, ed). New York: McGraw-Hill, Chapter 38.