مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (39) العدد (6) 2017
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (39) No. (6) 2017

Improve performance and raise the efficiency of force sensor to measure the weight in full-bridge circuit configuration

Abd AlhadiAlqassas •

(Received 15 / 2 / 2017. Accepted 26 / 12 / 2017)

□ ABSTRACT □

In engineering applications, electrical measurement of mechanical quantities can often be found. It is also widely used in engineering applications force measurements, using strain gauge which is one of the most popular transducers in measuring strain. A strain of mechanical element can be found due to stress because of influence of applied external forces which made a deformation on the form of the element, but it is necessary to observance elastic of the element.

Applied force causes tiny differences in resistance of strain gauge. To accurate measurements and increasing sensitivity during measure, this research present how to employ four strain gauge elements, electrically connected to form a Wheatstone bridge circuit. After a theory about forces on mechanical element, knowing configuration of strain gauge and how to measure force using a half bridge circuit which doesn't give accurate results because of low sensitivity. Developing strain gauge conjunction with various measuring circuits, especially in Wheatstone bridge configuration to raise measurement efficiency, which is the goal of this research.

Key words: stress, strain, strain gauge, Wheatstone bridge, transducer

•**Academic Assistant, Department of Communication and Electronics, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia ,Syria.**

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (39) العدد (6) 2017
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (39) No. (6) 2017

تحسين أداء ورفع كفاءة حساس القوة لقياس الوزن بمساعدة دارة جسر كامل

عبد الهادي القصاص•

(تاريخ الإيداع 15 / 2 / 2017. قُبِل للنشر في 26/ 12 / 2017)

□ ملخّص □

في بــعض التطبيقات الهندسية كثيرا ما يتم التعامل مع المقاديـر الميكانيكيـة التي يـكون من الضروري قياسها كهربائيا، وتكون القـوة من أحد المقـاديـر الفيزيائيـة القابلـة للقياس كهربائياً باستخدام مقياس التشوه (strain gauge)الذي يكون من أكثر محولات القياس شيوعا في قياس الانفعال (strain).ينتج انفعال عنصر ميكانيكي بسبب الإجهاد الذي يتعرض له تحت تأثير قوى خارجية مطبقة تؤدي إلى تشوه شكل العنصر، ولكن يجب مراعاة قدرة تحمل العنصر للقوى المطبقة ضمن حدود الأمان حتى لا يفقد مرونته.

تؤدي القوة المطبقة إلى تغييرات صغيرة جداً في مقاومة مقياس التشوه ومن أجل قياسات دقيقة وزيادة الحساسية أثناء القياس يقترح هذا البحث استخدام أربعة مقاييس تشوه متصلة كهربائياً لتشكيل دارة جسر واتستون (Wheatstone bridge)، وذلك بعد إجراء دراسة نظرية عن القوى المؤثرة على عنصر ميكانيكي، والتعرف على تصميم مقياس التشوه، وكيفية قياس القوة باستخدام دارة نصف جسر التي لا تعطي نتائج قياس دقيقة نظراً للحساسية المنخفضة، وتطوير كيفية وصل مقياس التشوه مع مختلف دارات القياس، خاصةً في تكوين جسر وتستون لرفع كفاءة القياس وهو ما يعتبر هدف هذا البحث.

الكلمات المفتاحية: الإجهاد، الانفعال، مقياس التشوه، جسر واتستون، محولات القياس.

•قائم بالأعمال معاون، قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

مقدمة:

تتأثر الخصائص الميكانيكية لسلك معدني بالقوة المطبقة عليه التي تسبب إجهاد ميكانيكي له. لا يمكن قياس الإجهاد الميكانيكي بحد ذاته، لذلك يجب ربط مفهوم الانفعال المقاس مع خصائص أخرى للسلك من أجل حساب الإجهاد عند تطبيق القوة. هنالك العديد من الحساسات التي تقيس الانفعال ولعل أشهرها مقياس التشوه الذي يحول القوة، الضغط، الالتواء، الوزن إلى مقاومة كهربائية متغيرة تبعاً للقوة المطبقة وبالتالي يتغير الجهد على طرفيها، لكن التغيرات في المقاومة تكون صغيرة جداً (من مرتبة ميلي أوم) ومن ثم تغير الجهد أيضاً عليها لا يتعدى بضعة ميلي فولت أي أن هناك صعوبة في تقييم نتائج القياس نظراً للحساسية المنخفضة، كما أن استخدام مضخم للجهد المقاس على المقاومة يؤدي إلى أخطاء كبيرة وذلك لكون مقاومة الدخل للمضخم كبيرة ولعدم خطية العلاقة بين دخله وخرجه، لذلك أفضل حل لزيادة الحساسية ولتقليل من أخطاء القياس استخدام دارة جسر واتستن لإعطاء النتائج بدقة عالية.

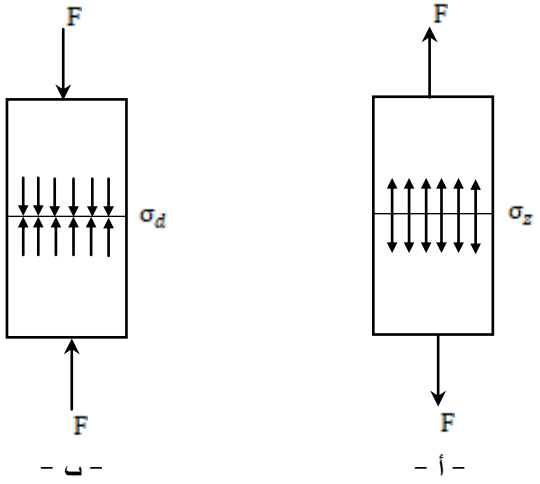
أهمية البحث وأهدافه:

تهدف هذه الدراسة إلى تحديد كيفية توصيل مقياس الانفعال مع دارة قياس جسر واتستن كامل لزيادة دقة قياس الأوزان التي تؤثر على تشوه السلك المرن تحت تأثير الإجهاد. ودراسة تغير مقاومة السلك المرن تبعاً للقوة المطبقة.

طرائق البحث ومواده:

1- القوى المؤثرة على سلك معدني:

من المعلوم أنه إذا تم تسليط قوة مباشرة بصورة منتظمة ومتساوية على مقطع من سلك مرن، فإن القوى الداخلية للسلك ستتوزع بشكل منتظم أيضا وعلى هذا الأساس يقال أن السلك تعرض إلى إجهاد ميكانيكي.



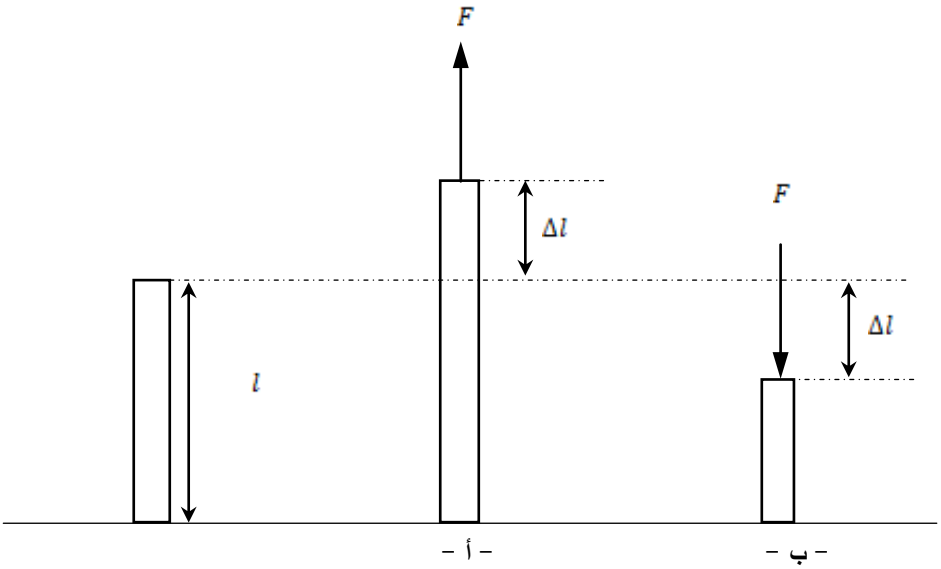
الشكل (1) القوى المؤثرة على سلك مرن

فإذا كانت القوة المطبقة هي قوة شد تنشأ القوى الداخلية كقوى شد σ_z(Tension Forces) الشكل (1-أ)،أما قوة الضغط تولد القوى الداخلية كقوى ضغط σ_d(Compression Forces) الشكل (1-ب).

وعليه فإن الإجهاد الميكانيكي σ هو القوة المؤثرة عمودياً F على مساحة المقطع العرضي Aللسلك حسب العلاقة (1):

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad [N/mm^2] \qquad (1)$$

يستجيب السلك على الإجهاد بالانفعالεحيث يزداد طول السلك بمقدار ΔLالشكل (2–أ)،أو ينقص بمقدار ΔL كما الشكل (2–ب).



الشكل (2)تغير طول السلك بتأثير القوة

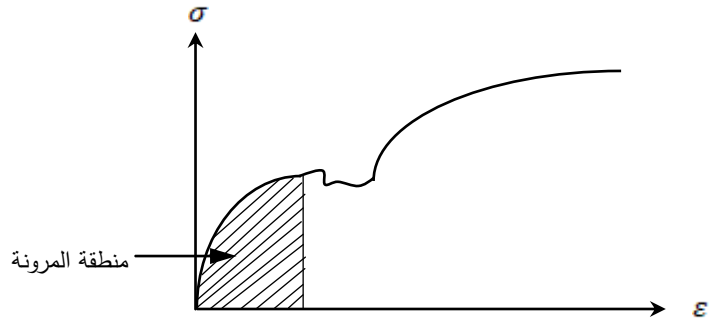
تعرف نسبة تغير الطول Δl إلى الطول الحقيقي l بالانفعال (تغير الطول النسبي) ε:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \qquad (2)$$

إن إجهاد الشد يسبب تشوه السلك بزيادة طوله لذلك يتم اعتماد الإشارة الموجبة (+) للدلالة على الانفعال الناتج $+\varepsilon$، في حين تستخدم الإشارة السالبة (–) للدلالة على الانفعالε – الناتج عن إجهاد الضغط.

تعتبر خاصية معامل المرونة التي تتميز بها أغلبية سبائك الحديد ذات حدود لا يجب تجاوزها بزيادة القوى المطبقة حتى لا يفقد الجسم مرونته فتصاب المادة بتشوه جزئي. إن السلوك المرن للمادة ضمن حدود المرونة لها يضمن علاقة طردية بين الإجهاد الميكانيكي σوالانفعال ε، وتكون النسبة بينهما ثابتة من أجل المادة الواحدة. يعرف ثابت التناسب بمعامل المرونة E الذي يتعلق بنوع المادة ويكون مقياس لصلابتها أي قدرة المادة على استرجاع حالتها الأصلية بعد زوال القوى المؤثرة عليها:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad [N/mm^2] \qquad (3)$$

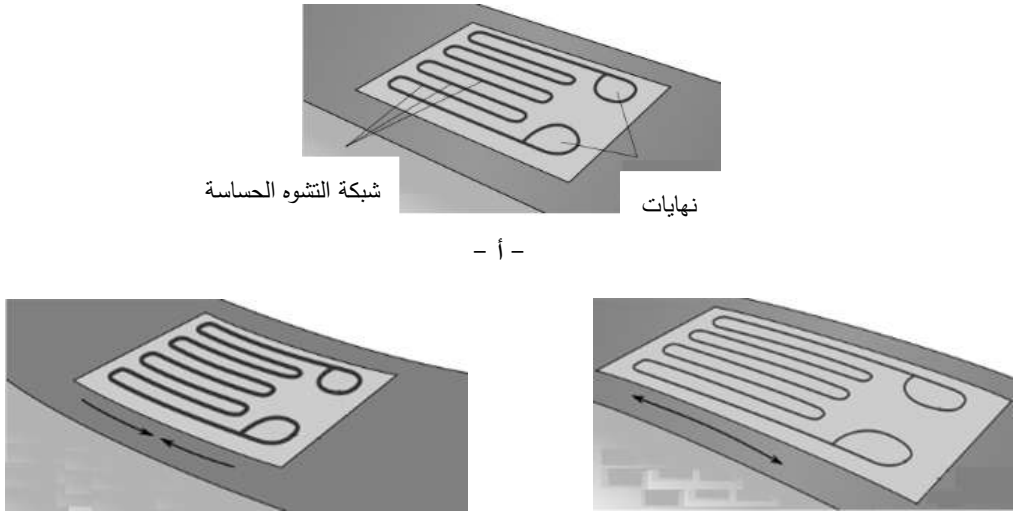


الشكل (3) منحني التشوه–الإجهاد

من أجل الحصول على خواص المرونة لمادة نقوم بتجربة الشد حيث نعرض سلك مرن إلى حمل شدي متزايد تدريجياً حتى نصل إلى مرحلة يفقد فيها السلك مرونته ويتم تسجيل تغير طول السلك لمعيار طولي معين مع الحمل المتزايد باستخدام أجهزة قياس الاستطالة وبعد ذلك تستخدم البيانات في رسم منحني الإجهاد–الانفعال خلال فترة التحميل.

2- مقياس التشوه:

يعتبر مقياس التشوه أساس هام لقياس المقادير الميكانيكية بتحويلها إلى إشارات كهربائية قابلة للقياس. وهو حساس معدني لا يقيس القوة المطبقة بحد ذاتها، إنما يقيس التشوه الحاصل في شكل الجسم الناتج عن تطبيق القوة، ومن هنا جاءت تسمية مقياس التشوه على أنه مقياس لتشوه المعدن.



الشكل (4)مقياس التشوه

يكون مقياس التشوه عبارة عن شريحة معدنية رقيقة على شكل شبكة مترسبة على مادة بلاستيكية رفيعة حيث أن الشريحة المعدنية يمكن اعتبارها سلك كهربائي له خصائص معينة من حيث الطول والقطر والخامة وغالبا الخامات تكون من سبائك من النيكل كروم او البلاتين او كونستنتان والأخير هو المستخدم في البحث ويغلف المقياس لسهولة التعامل معه وعلى تماسكه وعزله كهربائيا عن العنصر الميكانيكي ويثب على الجسم المراد قياس تشوهه باستخدام مادة

لاصقة مناسبة، الشكل (4–أ).عندما ينفعل الجسم تحت تأثير أي كمية فيزيائية (كتلة، ضغط، قوة، عزم دوران، إزاحة، زاوية التواء) يحدث تشوه في شكل الجسم وينفعل معه المقياس محدثاً تغير في شكل الشريحة المعدنية وبالتالي تتغير مقاومتها الكهربائية ففي حالة الشد تزداد المقاومة الشكل (4–ب) بينما تنخفض قيمتها في حالة الضغط الشكل (4–جـ).

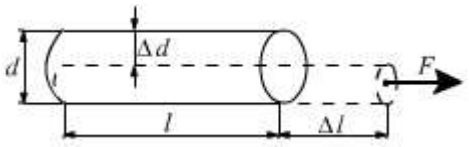
كما هو موضح في الشكل (5) فان خطوط الشريحة المعدنية هي كسلك معدني مرن يمكن حساب مقاومته الكهربائية R تبعاً لكل من طوله الحقيقي l ومساحة مقطعه العرضي A ومقاومته النوعية ρ كما العلاقة:

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (4)$$

عند تطبيق قوة شد F يتمدد السلك طولياً بمقدار Δl، بالتالي تتغير المقاومة الكهربائية لمقياس التشوه بمقدار ΔR ويعطى التغير النسبي في المقاومة بالعلاقة(5):

$$\frac{\Delta R}{R} = k \frac{\Delta l}{l} = k.\varepsilon \quad (5)$$

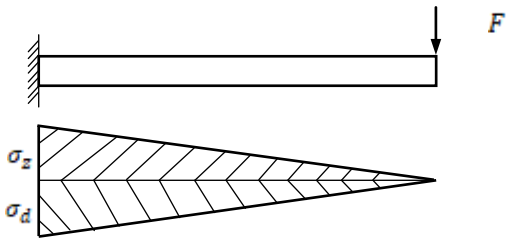
حيث k معامل المقياس ويتعلق بنوع مادة سلك مقياس التشوه، ε الانفعال وقيمته قريبة من (2) من أجل الموصلات المعدنية.



الشكل (5)الناقل وتأثير قوة الشد عليه

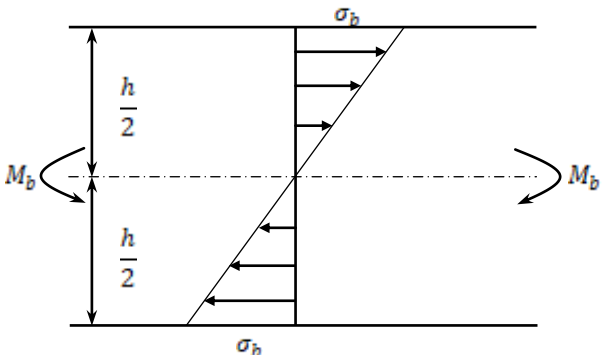
3– إجهادات الانحناء:

عند تثبيت سلك من أحد طرفيه وتطبيق قوة على النهاية الحرة تتولد كل من إجهادات الشد الموجبة σ_z وإجهادات الضغط السالبة σ_d على جانبي السلك، وهذا ما يعرف بإجهاد الانحناء σ_b، الشكل (6).



الشكل (6) إجهادات الانحناء على سلك

لا يكون توزع إجهاد الانحناء σ_b ثابت القيمة على كامل المقطع العرضي للسلك، بل يزداد خطيا بدءا من الصفر حتى يصل إلى قيمته العظمى على السطح عند الحواف.



الشكل (7) توزع إجهاد الإنحناء على المقطع العرضى لسلك

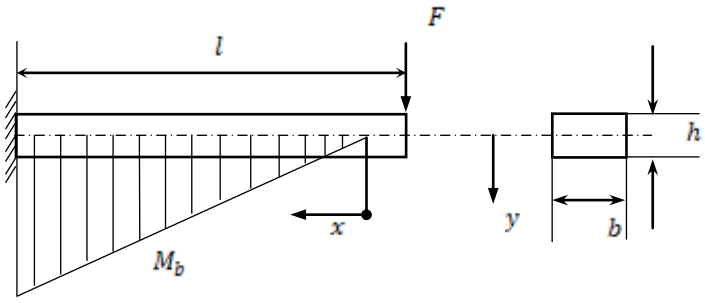
يرتبط إجهاد الانحناء بعزم الفتل M_b الذي يزداد بدءاً من النقطة التي تطبق عليها القوة F باتجاه نقطة الارتكاز. يتم حساب عزم الفتل على بعد x من نقطة تطبيق القوة F من العلاقة (6):

$$M_b = F.x \qquad (6)$$

بالتالي يعطى إجهاد الانحناء لسلك مثبت من أحد طرفيه بالعلاقة(5):

$$\sigma_b = \pm\frac{M_b}{W_b} \qquad (7)$$

حيث W_b هو معامل يتعلق بالمقطع العرضي للسلك، ففي حال كان المقطع العرضي مستطيل الشكل طوله b وعرضه h:

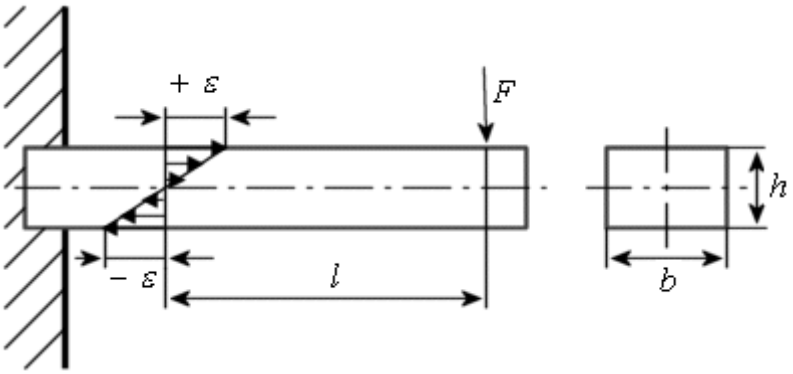


الشكل (8)عزم الفتل لسلك

$$W_b = \frac{b.h^2}{6} \qquad (8)$$

النتائج والمناقشة:

عند تطبيق قوة F على نهاية سلك مثبت من أحد طرفيه، يزداد طول السطح العلوي للسلك $+\varepsilon$ لأنه تحت تأثير الشد، بينما ينقص طول السطح السفلي $-\varepsilon$ لأنه تحت تأثير الضغط.



الشكل (9) السلك مرن وتأثير القوة المطبقة

ضمن منطقة المرونة تتناسب القوة المطبقة مع التشوه كما العلاقة(9):

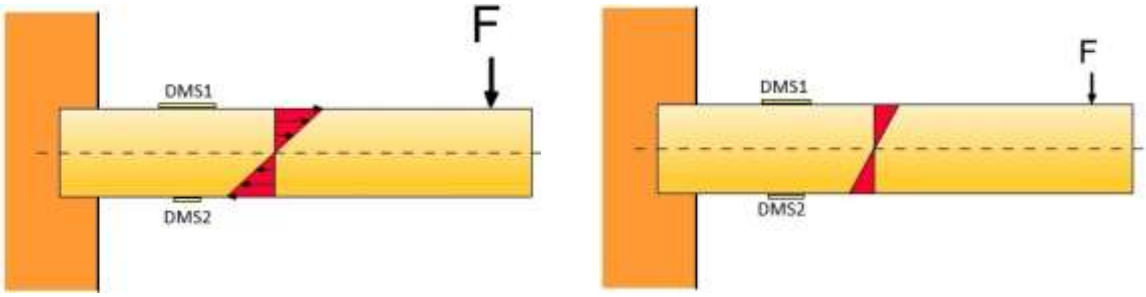
$$\varepsilon = \frac{l}{W_B E} F \qquad (9)$$

حيث:

- l البعد عن نقطة تطبيق القوة.
- E معامل المرونة للسلك، العلاقة (3).
- W_B عزم المقاومة للسلك العلاقة(8).

إذا أردنا قياس تشوه هذا السلك نستخدم مقياس تشوه مثبت أعلى السلك DMS1 ذو المقاومة R_1 وآخر DMS2 مثبت أسفله مقاومته R_2، الشكل (10).

في الشكل (10–ب) تسبب زيادة القوة المطبقة تشوه طول السلك، حيث يزداد طول السطح العلوي للسلك وتزداد معه مقاومة مقياس التشوه العلوي R_1 بمقدار ΔR لأنه تحت تأثير الشدويتم استخدام الإشارة الموجبة للدلالة على الانفعال الناتج $+\varepsilon$، بينما ينقص طول سطحه السفلي وتنقص مقاومة مقياس التشوه السفلي R_2 بمقدار ΔR لأنه تحت تأثير الضغط ويتم استخدام الإشارة السالبة للدلالة على الانفعال الناتج $+\varepsilon$.



– ب – – أ –

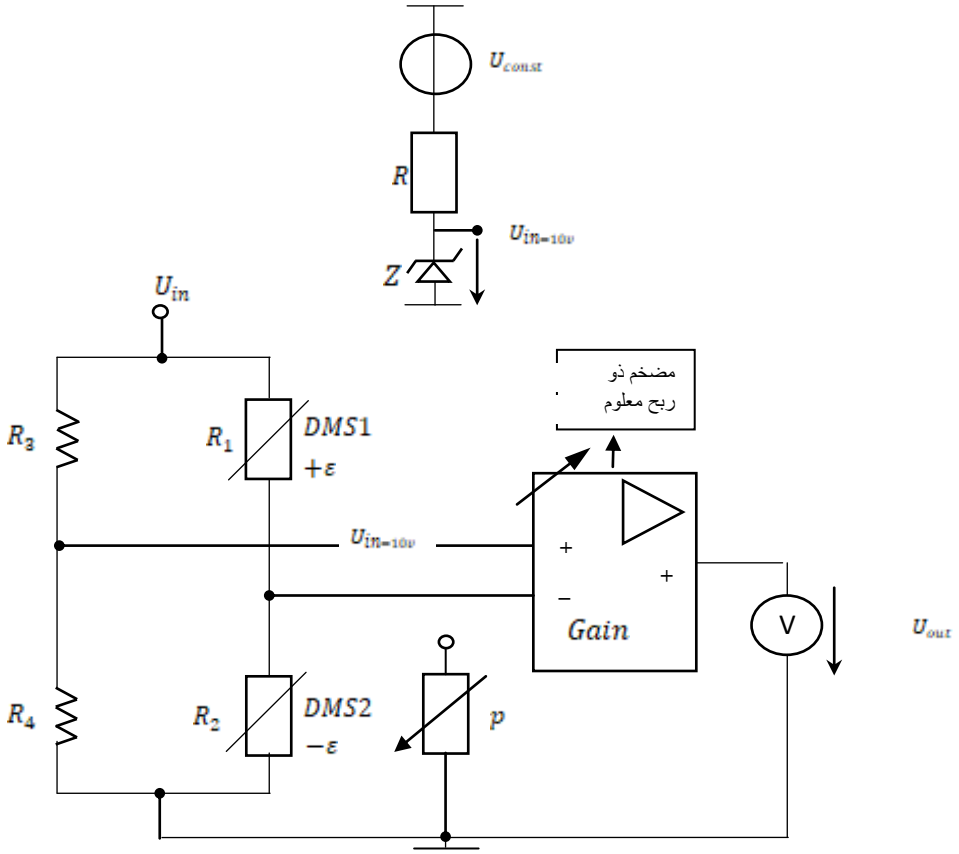
الشكل (10) تثبيت مقاومتيين على السلك

– أ – القوة المطبقة صغيرة

– ب – القوة المطبقة عظمى

يتم وصل المقياسDMS1 ذو المقاومة R_1 والمقياس DMS2 ذو المقاومة R_2 بتشكيلة دارة نصف جسر مع مقاومتين ثابتتين R_3 و R_4، تغذى دارة نصف الجسر بجهد مستمر U_{in} يتم الحصول عليه بالاستعانة بديود زنير Z ذو توصيل عكسي للحفاظ على مستوى الجهدمن منبع التغذية المستمرة U_{const}، يعاير جهد خرج الجسر$\mathbf{U_{out}}$ في حالة عدم تطبيق أي قوة لأن يكون صفراً وذلك باستخدام مقسم جهد P،وتتم معايرة الجسر عن طريق الاختيار الصحيح للمقاومات المكونة له وعندئذ نستطيع الاستعانة بالجسر من أجل القياسات الدقيقة، وإن عملية معايرة الجسر تعني أن تكون الجهود على المقاومات المتقابلة متساوية وبذلك ينتج جهد خرج صفري ، وقبل البدء بعملية القياس ووضع وزن على مقياس الانفعال المرتبط بالجسر تتم المعايرة باستخدام مقسم جهد Pحيث يتم تحريكه بحيث تزداد احدى المقاومتين وتنقص الأخرى بقيمة متناسبة للحصول على توازن الجسر وبالتالي على جهد صفر في خرج الجسر، تطبق الأوزان المختلفة على السلك وقراءة جهد خرج الجسر حيث أن الجهد الخارج من الجسر بالميلي فولت لذلك يجب تضخيمه ويتم ذلك عن طريق مضخم ذو ربح معلومGain.

يتم اختيار عناصر الجسر كما يلي:



الشكل (11) مقياس التشوه بتوصيلة نصف جسر

$$R_1 = R + \Delta R$$
$$R_2 = R - \Delta R \qquad \textbf{(10)}$$
$$R_3 = R_4 = R = 120\Omega$$

فإن جهد الدارة الجسرية U_{out} يُعطى بالعلاقة التالية:

$$U_{out} = U_{R_1} - U_{R_2}$$
$$U_{out} = U_{in}\frac{R_1}{R_1 + R_2} - U_{in}\frac{R_3}{R_3 + R_4}$$
$$U_{out} = U_{in}\frac{R + \Delta R}{R + \Delta R + R - \Delta R} - U_{in}\frac{R}{R + R} \quad (11)$$
$$U_{out} = \frac{U_{in}}{2}.\frac{\Delta R}{R}$$

من العلاقة (5) والتعويض نجد أن:

$$U_{out} = \frac{U_{in}}{2}.k.\varepsilon \quad (12)$$

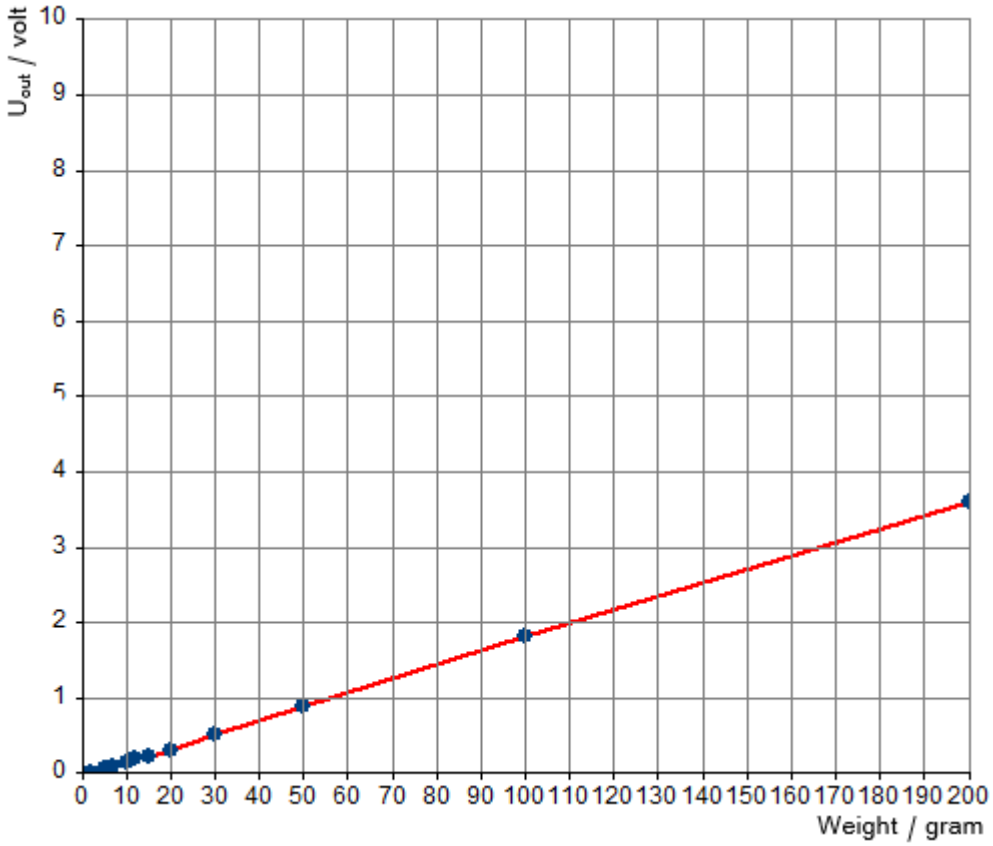
وعند تحميل السلك المرن بأوزان مختلفة ترتب نتائج القياس في الجدول(1):

الجدول (1) نتائج مقياس التشوه بتوصيلة نصف جسر

$weight(g)$	$Gain$	$U_{out}(v)$
2	1000	0.01
5	1000	0.06
10	1000	0.14
15	1000	0.23
20	1000	0.31
30	1000	0.53
50	1000	0.88
80	1000	1.43
120	1000	2.12
150	1000	2.57
180	1000	3.34
200	1000	3.61

ويظهر الشكل (12) المنحني البياني لخصائص حساس القوة بتركيبة دارة نصف جسر حيث يكون منحني خطي بدءاً من الصفر وذو حساسية منخفضة.

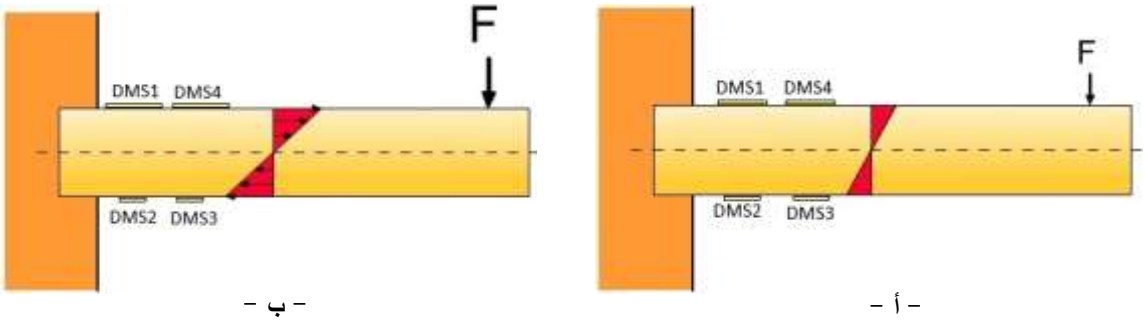
علما أن النتائج مأخوذة عند درجة حرارة الغرفة وهي(25) درجة مئوية .



الشكل (12)منحني خصائص حساس القوة بتوصيلة نصف جسر

بما أن تغيرات التشوه ضئيلة جداً تم في بحثنا هذا اقتراح تركيب أربعة مقاييس تشوه لزيادة كفاءة القياس وتحسين الفعالية، باستخدام مقياسي تشوه مثبتين على أعلى السلكDMS1 و DMS4 مقاومتهما R_1 و R_4 على الترتيب، ومقياسي تشوه آخرين DMS2 و DMS3 مثبتين على أسفله مقاومتهما R_2 و R_3 على الترتيب.

إن زيادة القوة المطبقة تسبب تشوه طول السلك الشكل (13)، حيث يزداد طول السطح العلوي للسلك وتزداد معه مقاومتي المقياسين العلويين R_1 و R_4 كل منهما بمقدار ΔR بسبب تأثير الشد ويتم استخدام الإشارة الموجبة

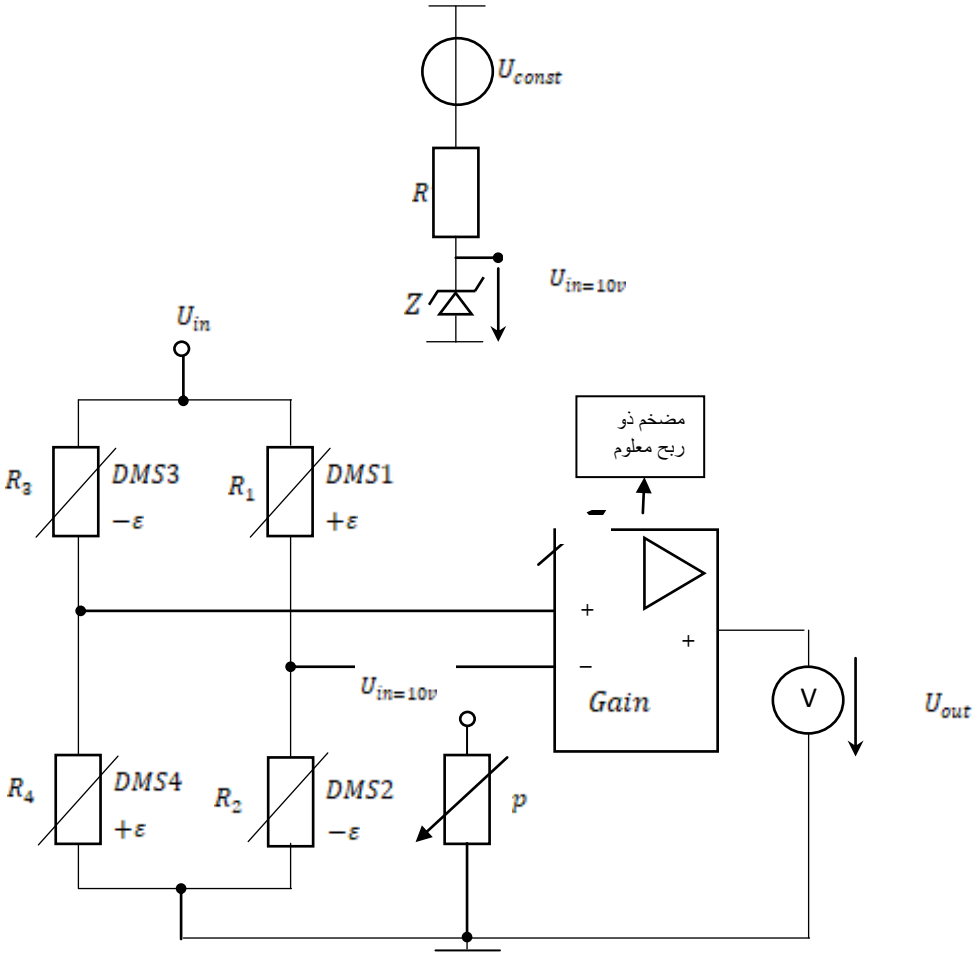


– ب – – أ –

الشكل (13) تثبيت أربعة مقاومات على السلك

– أ – القوة المطبقة صغيرة

– ب – القوة المطبقة عظمى



الشكل (14) مقياس التشوه بتوصيلة جسر كامل

للدلالة على الانفعال الناتج $+\varepsilon$، بينما ينقص طول سطحه السفلي وتنقص مقاومتي المقياسين السفليين R_2 و R_3 كل منهما بمقدار ΔR بسبب تأثير الضغطويتم استخدام الإشارة السالبة للدلالة على الانفعال الناتج $+\varepsilon$.

توصل المقاييس الأربعة بتشكيلة دارة جسر كامل، تغذى دارة الجسر بجهد مستمر U_{in} يتم الحصول عليه بالاستعانة بديود زينر Z ذو توصيل عكسي للحفاظ على مستوى الجهدمن منبع التغذية المستمرة U_{const}،يعاير جهد خرج الجسر U_{out} في حالة عدم تطبيق أي قوة لأن يكون صفراً وذلك باستخدام مقسم جهد P، تطبق الأوزان المختلفة على السلك وقراءة جهد خرج الجسر حيث أن الجهد الخارج من الجسر بالميلي فولت لذلك يجب تكبيره وتضخيمه و يتم ذلك عن طريق مضخم ذو ربح معلوم Gain .

يتم اختيار عناصر الجسر كما يلي:

$$R_1 = R_4 = R + \Delta R$$
$$R_2 = R_3 = R - \Delta R \quad (13)$$

فإن جهد الدارة الجسرية U_{out} يُعطى بالعلاقة التالية:

$$U_{out} = U_{R_1} - U_{R_2}$$
$$U_{out} = U_{in}\frac{R_1}{R_1 + R_2} - U_{in}\frac{R_3}{R_3 + R_4}$$
$$U_{out} = U_{in}\frac{R + \Delta R}{R + \Delta R + R - \Delta R} - U_{in}\frac{R - \Delta R}{R - \Delta R + R + \Delta R} \quad (14)$$
$$U_{out} = U_{in}.\frac{\Delta R}{R}$$

من العلاقة (5) والتعويض نجد أن:

$$U_{out} = U_{in}.k.\varepsilon \quad (15)$$

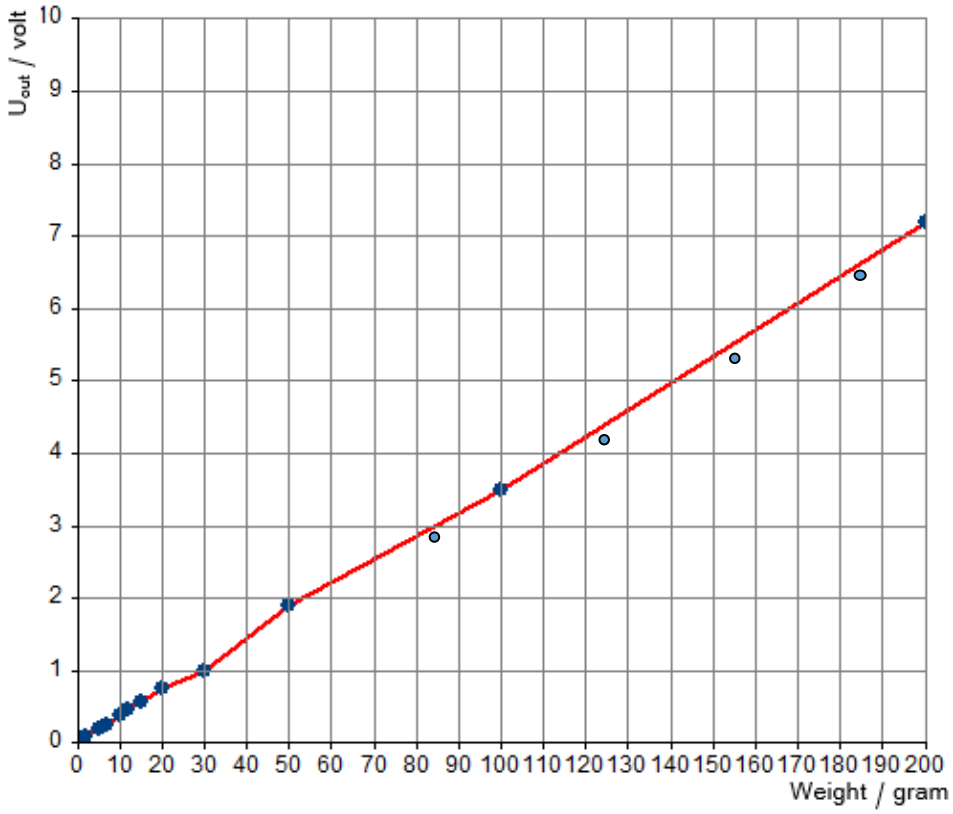
وترتب نتائج القياس في الجدول التالي:

الجدول (2)نتائج مقياس التشوه بتوصيلة جسر كامل

$weight$(g)	$Gain$	U_{out}(v)
2	1000	0.08
5	1000	0.19
10	1000	0.39
20	1000	0.77
30	1000	1.01
50	1000	1.90
80	1000	2.88
120	1000	4.34
150	1000	5.47
180	1000	6.58
200	1000	7.20

ويظهر الشكل (15) المنحني البياني لخصائص حساس القوة بتركيبة دارة جسر كامل حيث نلاحظ أن الحساسية قد تضاعفت بالمقارنة مع دارة نصف الجسر ويكون منحني خطي بدءاً من الصفر.

علما أن النتائج مأخوذة عند درجة حرارة الغرفة وهي (25) درجة مئوية .



الشكل (15)منحني خصائص مقياس التشوه بتوصيلة نصف جسر

الاستنتاجات والتوصيات:

إن مقياس التشوه مهم جداً في الحياة العملية ولا يمكن الاستغناء عنه ويدخل ضمن تقنيات مقياس التشوه كل من نوعي الهندسة الميكانيكية والكهربائية حيث من أجل اختبار مرونة المادة يكون ضرورياً معرفة الإجهاد الذي يحدث ضمن المادة بسبب قوة مؤثرة وهذا يسمح بإعطاء فكرة حول استقرار المادة بغض النظر عن شكلها وحجمها. تكون غاية هذا البحث اكتساب خبرة عملية مع تقنيات قياسات مقاومة الانفعال وكيفية استخدام جسر واطسطن في تقنيات القياس حيث استطعنا بتوصيلة الجسر الكامل التعامل مع التغيرات الصغيرة جداً وزيادة حساسية المقياس بمقدار الضعف، وجاء اقتراح تعديل تصميم المقياس ليعطي فكرة جيدة عن كيفية الاستفادة من الجسور في رفع كفاءة القياس.

المراجع:

[1] ADAM, B. H., *"The design and construction of an interferometer for the measurement of strain in thin metal films"*, Progress In Electromagnetics Research Symposium Proceedings, KL, MALAYSIA, March, 2012,pp.700-703.

[2] VISHAY PRECISION GROUP., *"Micro -measurements, Introduction to stress analysis by the photo-stress method"* University Teknologi Petronas, 2011,pp.520-523.

[3] JAMES, W.P, and DOYLE, F., *"Manual on experimental stress analysis, Society for Experimental Mechanics"*.84 J. MANOJLOVIĆ, P. JANKOVIĆ, 1989.

[4] HOFFMANN, K., *"An Introduction to Measurements using Strain Gauges"*, Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt, Germany, 1989,pp.15-20.

[4] HOFFMANN, K., *"Applying the Wheatstone bridge circuit"*, HBM Company, 2001,pp.7-13.

[5] SKELTON, J. R., *"A transducer for measuring tensile strains in concrete bridge girders"*, Experimental Mechanic,2006,pp. 325-332.