

Lecture 5



محولات الإشارة التثابئية

(Analog signal conditioning)

دارات الجسور

Bridge circuits

2. دارات الجسور Bridge circuits

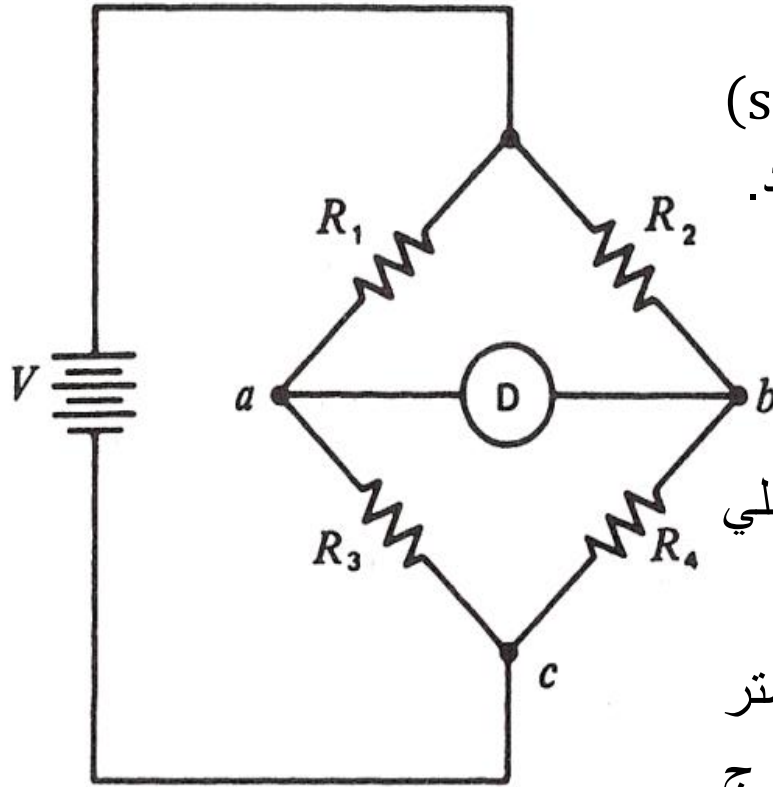
تعتبر دارات الجسور من أكثر دارات الملائمة استخداما في أنظمة التحكم نظرا للميزات التالية:

الميزات الأساسية لدارات الجسور في أنظمة التحكم:

- تستخدم دارات الجسور لتحويل تغيرات الممانعة إلى تغيرات جهد.
- من أهم ميزات دارات الجسور إمكانية الحصول على جهد خرج مساوي للصفر عند بداية مجال تغيرات مقاومة الحساس، وهذا ما يساعد في تصميم أنظمة تحكم ضمن مجالات عمل مختلفة.
- توفر إمكانية زيادة الحساسية (sensitivity) لتغيرات الممانعة عن طريق التضخيم أو التكبير.
- قياس القيمة الستاتيكية للممانعة.

(a) جسر واتستون: (Wheatstone Bridge)

تعتبر جسور دارات التيار المستمر من أبسط دارات الجسور. يبين الشكل الدارة المكافئة لجسر واتستون



تعتبر هذه الجسور من إحدى تطبيقات محولات الإشارة (signal conditioning) المستخدمة في أنظمة التحكم، والتي تعتمد على تحويل تغيرات الممانعة إلى تغيرات جهود.
حيث:

(D): يمثل كاشف جهد (voltage detector) بين عقدي خرج الجسر (a,b).

يربط خرج الجسر عادة في التطبيقات الحديثة على دخل مضخم تفاضلي (differential amplifier) بممانعة دخل عالية.

تتم عادة عمليات المعايرة والتصفير لإشارة خرج الجسر باستخدام مقياس غلفانومتر (galvanometer) بحساسية عالية وممانعة دخل منخفضة لتحسس التيار على خرج الجسر.

من أجل تحليل دائرة الجسر نعتبر أن ممانعة الخرج لانهائية (الدائرة مفتوحة).

نرمز لفرق الكمون بين (a,b) بالمعادلة:

$$\Delta V = V_a - V_b \quad \text{حيث:}$$

V_a : تمثل كمون النقطة (a) بالنسبة للنقطة (c).

V_b : تمثل كمون النقطة (b) بالنسبة للنقطة (c).

V : تمثل جهد التغذية للجسر.

يتحدد كمون V_a من مجزئ الجهد بين R_1, R_3 بالمعادلة التالية:

$$V_a = \frac{V \cdot R_3}{R_1 + R_3} \quad (2)$$

$$V_b = \frac{V \cdot R_4}{R_2 + R_4} \quad (3)$$

بحل المعادلات (1 - 2 - 3) نجد

$$\Delta V = \frac{V \cdot R_3}{R_1 + R_3} - \frac{V \cdot R_4}{R_2 + R_4} = V \frac{R_2 \cdot R_3 - R_1 \cdot R_4}{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4)} \quad (4)$$

تبين المعادلة (4) قيمة فرق الكمون على طرفي الكاشف (ΔV) كتابع لجهد التغذية وقيم مقاومات الجسر. يكون فرق الجهد (ΔV) مساويا للصفر عند تحقيق الشرط

$$(R_2 \cdot R_3 = R_1 \cdot R_4) \quad (5)$$

وهو ما يمثل شرط اتزان الجسر، حيث نلاحظ أن شرط اتزان الجسر لا يتعلق بجهد التغذية (V). يستخدم شرط اتزان الجسر من اجل معايرة الجسر وتحديد نقطة الأساس في القياس (التصفير).

تطبيق 1:

بفرض أن مقاومات جسر واتستون تعادل القيم التالية:

$$R_1 = 1000\Omega , R_2 = 842\Omega , R_3 = 500\Omega$$

والمطلوب إيجاد قيمة مقاومة الحساس (R_4) عند اتزان الجسر ($\Delta V = 0$).

الحل:

يتحدد شرط اتزان الجسر بالعلاقة

$$(R_2 \cdot R_3 = R_1 \cdot R_4)$$

بالتعويض بقيم المقاومات نستنتج قيمة مقاومة الحساس (R_4):

$$R_4 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1} = \frac{842 \cdot 500}{1000} = 421 \Omega$$

تطبيق 2:

بفرض أن مقاومات جسر واتستون تعادل القيم التالية:

$$R_1 = R_2 = R_3 = 120\Omega \quad , R_4 = 121\Omega$$

والمطلوب إيجاد قيمة جهد خرج الجسر عندما يطبق جهد تغذية للجسر يعادل (10 V).

الحل:

نحدد قيمة جهد خرج الجسر وفق المعادلة (4) وبفرض ممانعة الخرج لانهاية :

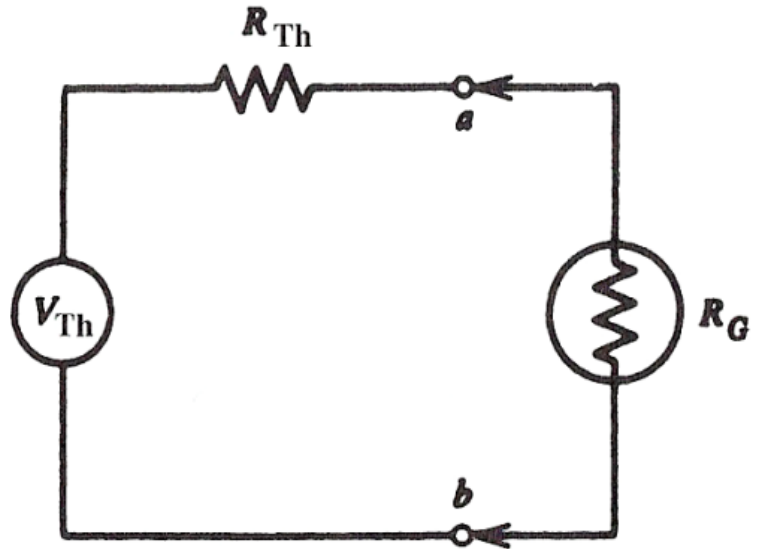
$$\Delta V = V \frac{R_2 \cdot R_3 - R_1 \cdot R_4}{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4)} = -20.7 \text{ mV}$$

لاحظ أن جهد الكاشف بقيمة سالبة وهذا يعني أن $(V_a < V_b)$.

1. كاشف الغلفانومتر: (galvanometer detector)

يستخدم كاشف الغلفانومتر (galvanometer detector) في **عمليات المعايرة والتصفير** نظرا للممانعة الداخلية المنخفضة التي يتمتع بها، لذلك يستخدم لتحقيق شرط توازن الجسور والذي يتمثل بتيار مساويا للصفر والذي يوافق أيضا حالة $(\Delta V = 0)$.

يتم تحديد تيار الكاشف في حالات عدم اتزان الجسر بدلالة قيم المقاومات وباستخدام نظرية ثيفنن ، حيث :



$$V_{th} = V \frac{R_2 \cdot R_3 - R_1 \cdot R_4}{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4)} \quad (6)$$

$$R_{th} = \frac{R_1 \cdot R_3}{(R_1 + R_3)} + \frac{R_2 \cdot R_4}{(R_2 + R_4)} \quad (7)$$

الشكل التالي يبين الدارة المكافئة للجسر حسب ثيفنن:

يتحدد تيار الكاشف (G) بالعلاقة التالية:

$$I_G = \frac{V_{th}}{(R_{th} + R_G)} \quad (8)$$

يتم تحديد أساس القياس عند تحقق الشرط ($V_{th} = I_G = 0$) والذي يتوافق مع شرط اتزان الجسر والمحدد بالمعادلة (5).

تطبيق 3:

بفرض أن مقاومات جسر واتستون تعادل القيم التالية:

$$R_1 = R_2 = R_3 = 2k\Omega \quad , R_4 = 2.05k\Omega$$

وبفرض أن مقاومة الكاشف المستخدم لتحديد نقطة أساس القياس (offset current) كانت تعادل ($R_G = 50\Omega$).

والمطلوب إيجاد قيمة تيار الكاشف ، وذلك عندما يطبق جهد تغذية للجسر يعادل ($5 V$).

الحل:

يتحدد تيار الكاشف (G) بالعلاقة (8)

$$I_G = \frac{V_{th}}{(R_{th} + R_G)}$$

$$V_{th} = V \frac{R_2 \cdot R_3 - R_1 \cdot R_4}{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4)} = 5 \frac{2 * 2 - 2 * 2.05}{(2 + 2)(2 + 2.05)} = -30.9mV$$

$$R_{th} = \frac{R_1 \cdot R_3}{(R_1 + R_3)} + \frac{R_2 \cdot R_4}{(R_2 + R_4)} = \frac{2 * 2}{(2 + 2)} + \frac{2 * 2.05}{(2 + 2.05)} = 2.01 k\Omega$$

ومنه نحدد تيار الكاشف (I_G):

$$I_G = \frac{V_{th}}{(R_{th} + R_G)} = \frac{-30.9mV}{(2.01 k\Omega + 0.05k\Omega)} = -15.0 \mu A$$

تدل الإشارة السالبة في تيار الكاشف على أن سريان التيار يكون بالاتجاه المعاكس من اليمين إلى اليسار (من b الى a).

تميزية الجسر: (Bridge resolution)

تعتمد تميزية (resolution) دارة الجسر على تميزية الكاشف المستخدم في تحديد نقطة اتزان الجسر (bridge offset)، لذلك تتحدد تميزية كاشف الجهد بتميزية المقاومة المتغيرة في الجسر. فإذا كانت تميزية الكاشف تعادل ($100\mu V$) فإن هذا يحدد القيمة الاصغرية لتغيرات المقاومة المقاسة باستخدام هذا الكاشف.

تطبيق 3:

بفرض أن مقاومات جسر واتستون تعادل القيم التالية

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 120\Omega$$

وبفرض أن مجال القياس ($0 - 200mV$) ويتم إظهار القياس على مقياس رقمي بثلاث خانة قبل الفاصلة وخانة بعد الفاصلة ($3\frac{1}{2}$ digi DVM).

والمطلوب إيجاد تميزية مقاومة الحساس (R_4)، وذلك عندما يطبق جهد تغذية للجسر يعادل ($10 V$).

الحل:

يقاس المجال بالمقياس الرقمي (199.9 mV – 000.0) لذلك تكون القيمة الصغرى للمقياس معادلة (0.1mV) أو (100μV)، لذلك يجب تحديد التغير في قيمة المقاومة (R_4) والذي يحدث تغيير في جهد الخرج يعادل (0.1mV) والذي يعادل (1bit) رقمي.

بتطبيق المعادلة (4) نستنتج التغير الاعظمي لقيمة المقاومة والذي يعادل قراءة اصغرية للمقياس (0.1mV) والذي يمثل تميزية المقاومة

$$\Delta V = (100\mu V) = \frac{V \cdot R_3}{R_1 + R_3} - \frac{V \cdot R_4}{R_2 + R_4} =$$
$$= \frac{10V * 120\Omega}{240\Omega} - \frac{10V * R_4}{120\Omega + R_4}$$

بحل المعادلة نحدد القيمة الاعظمية المقاسة للمقاومة المتغيرة R_4 : $R_4 = 119.9952 \Omega$

ومنه نحدد تميزية المقاومة $\Delta R_4 = 120 - 119.9952 = 0.0048 \Omega$

يتحدد أساس القياس للجهد (0.1mV) ويمكن أن يكون (-0.1mV) بزيادة قيمة المقاومة (R_4).
بنفس الطريقة يمكننا تحديد تميزية المقاومة (R_4) وأساس القياس باستخدام (galvanometer detector).

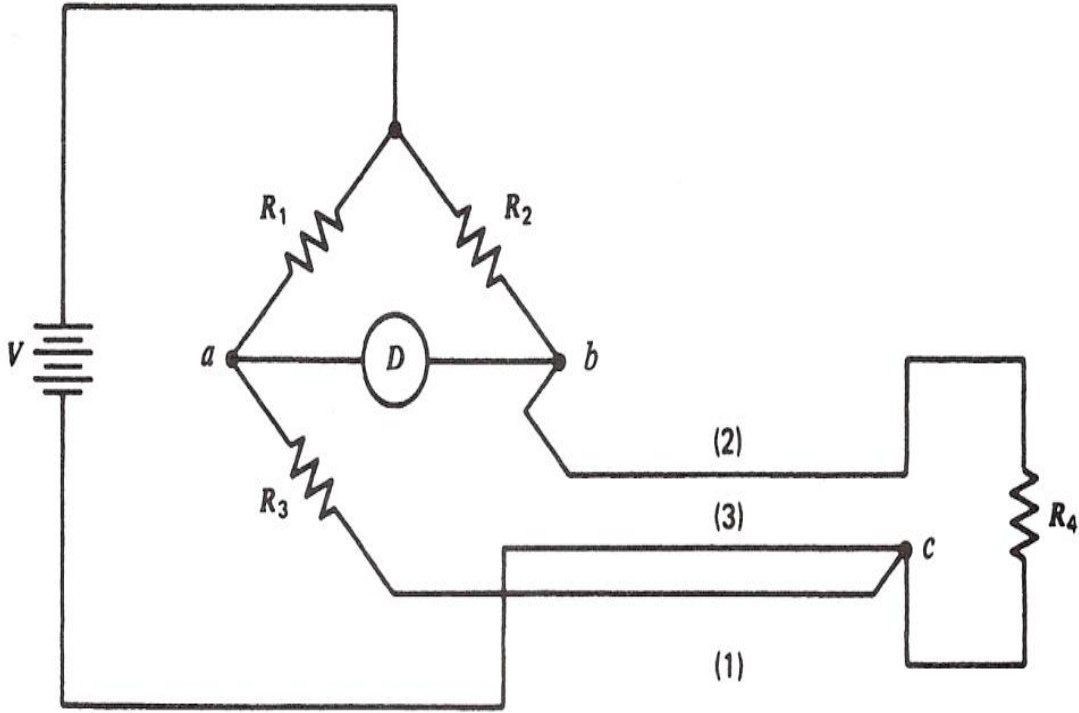
1. تعويض أطراف الوصل: (Lead compensation)

يتطلب في بعض التطبيقات توضع دائرة الجسر على مسافة من موقع تركيب الحساس. تلعب مقاومة أسلاك التوصيل دوراً مؤثراً في المعايرة والتصفير نتيجة وجود مقاومات لأسلاك وصلات أطراف الحساس (R_4) مع دائرة الجسر.

يجب أن تتم معايرة توازن الجسر في مثل هذه الحالات بوجود مقاومات الوصلات، وذلك بسبب أن مقاومة الوصلات يمكن تتأثر ببعض العوامل مثل (التردد – درجة الحرارة- الاجهادات- الأبخرة الكيميائية) منعا لتأثير هذه العوامل على نقطة أساس القياس.

تتم عملية تفادي هذه المشكلة باستخدام مفهوم تعويض أطراف الوصل: (Lead compensation).

يبين الشكل طريقة توصيل دائرة الجسر مع مقاومة خرج الحساس (R_4)، حيث نلاحظ توصيل السلك (3) إلى طرف جهد التغذية ومقاومة السلك هذا لن تؤثر على اتزان الجسر. بينما يتم توصيل السلك (2) بين احد أطراف خرج الحساس والعقدة (b)، إن أية تغيرات في مقاومة السلك (2) سوف تضاف إلى تغيرات (R_4)، يتم تعويض أو حذف هذه التغيرات بوصل السلك (1) بين الطرف الثاني من خرج الحساس مع طرف (R_3) الواقعة في الذراع المقابل للمقاومة (R_4).



تدل معادلة شرط توازن الجسر ($R_2.R_3 = R_1.R_4$) على انه إذا كانت تغيرات (R_4) تساوي تغيرات (R_3) فان ذلك لن يؤثر على نقطة أساس القياس. تستخدم هذه الترتيبات في تعويض تغيرات مقاومات التوصيل في الحالات التي تتطلب أسلاك توصيل بأطوال كبيرة.