



جامعة المنارة

كلية الهندسة

هندسة الميكاترونك

مقرر التجهيزات والقياسات الكهربائية

## Lecture 7

حساسات الموضع, الانزياح

**Position & Displacement**

مدرس المقرر  
أ.د. بسام عطية

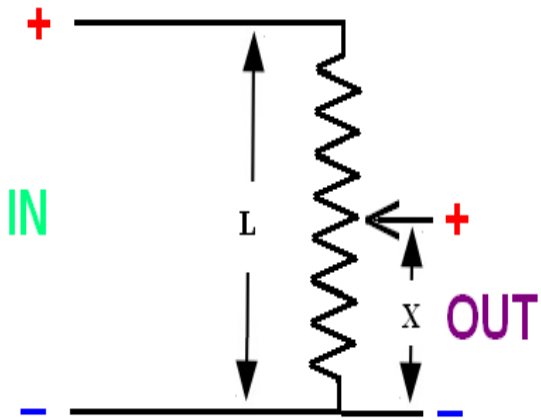
## مقدمة :

تقسم أجهزة قياس الموضع والانزياح إلى نوعين **خطي و زاوي**. يقاس الموضع الخطي والانزياح الخطي بوحدات الطول، بينما يقاس الموضع الزاوي والانزياح الزاوي بالراديان أو الدرجة.

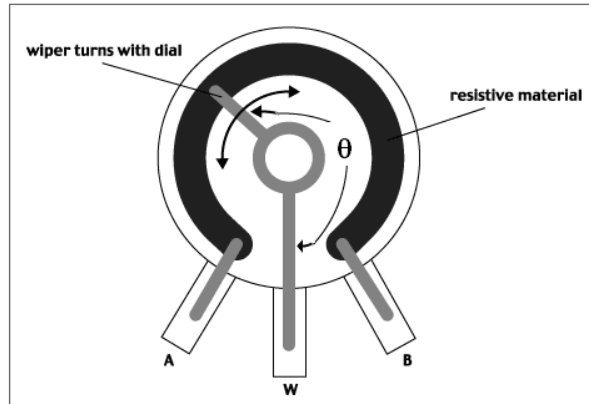
تستخدم حساسات الانزياح لقياس أبعاد الأجسام، أو لتحديد المسافة الفاصلة بين الأجسام (بين البكرات مثلاً) أو لتحديد موضع جسم ما أو قياس سرعته. سوف نستعرض فيما يلي أهم حساسات الموضع والانزياح:

### 1. مقياس فرق الجهد Potentiometer

يستخدم مقسم الجهد على نطاق واسع في نظم الأتمتة الصناعية وذلك كعنصر لتحسس الانزياح الخطي (مقسمات الجهد الخطية) شكل (1)، أو لتحسس الانزياح الزاوي (مقسم الجهد الدوراني). شكل (2).



شكل (1)



شكل (2)

$$V_0 = V_{in} \frac{R_0}{R_T}$$

(1) تعطى العلاقة بين جهد الخرج وجهد الدخل لمقسم الجهد تعطى بالعلاقة التالية:

$$\frac{R_0}{R_T} = \frac{x}{L}$$

حيث  $R_0$  : مقاومة الخرج ،  $R_T$  : المقاومة الكلية للمقسم.

**أ - في حالة المقسم الخطي :**

وبما أن  $L = \text{constant}$  ، فإن :

$$V_0 = K_{POT} \times V_{in} \times x \quad (2)$$

و  $L$  طول المقسم.

$$K_{POT} = \frac{1}{L} \quad \text{حيث}$$

$$\theta_T = \text{Const} \quad \text{حيث ،} \quad \frac{R_0}{R_T} = \frac{\theta}{\theta_T}$$

**ب - في حالة المقسم الدائري (الزاوي) :**

$$V_0 = K_{POT} \times V_{in} \times \theta \quad (3) \quad \text{وبالتالي:}$$

$$K_{POT} = \frac{1}{\theta_T}$$

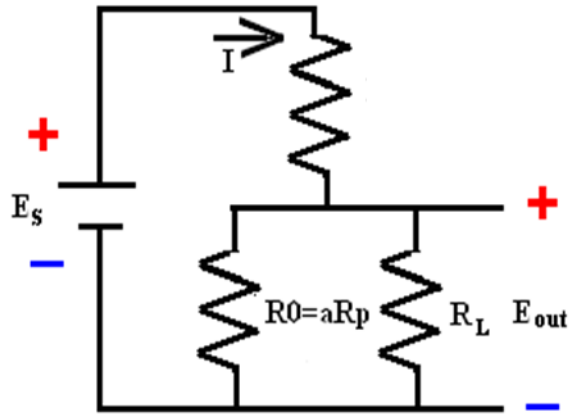
$\theta_T$  : الزاوية الكلية الفعالة للمقسم.

عندما يكون المقسم عبارة عن سلك ملفوف، يحدد تمييز (resolution) المقسم من خلال خطوة الكمون بين الحلقات المتجاورة لعنصر المقاومة، فإذا كان هناك  $N$  لفة في العنصر تكون خطوة الكمون بين اللفات المتجاورة :

$$E_T = \frac{E_S}{N} \quad (4)$$

إن عنصر مقسم الجهد عرضة للخطأ كلما مر تيار خلال السلك المؤدي إلى تلامس الانزلاق، هذا الخطأ يدعى بخطأ التحميل (Loading Error).

في الشكل (3) تم بيان مقسم جهد محمل بعنصر مقاومة، فإذا كان:

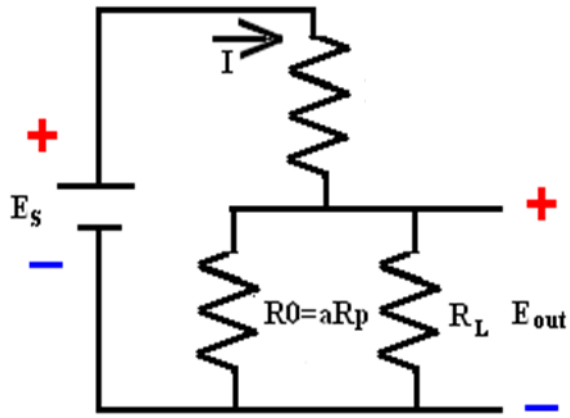


الشكل (3)

$R_P$  : مقاومة مقسم الجهد.

$a$  : تمثل وضعية المنزلة على مقسم الجهد.

$a.R_P$  : قيمة المقاومة بين نقطة التلامس مع المنزلة والنقطة المرجعية.



الشكل (3)

ومن الشكل نجد أن مقاومة الحمل  $R_L$  موصولة على التفرع مع المقاومة  $a.R_p$ ،  
بالتالي نجد أن قيمة جهد الخرج تعطى من الشكل المكافئ (3) بالعلاقة:

$$E_{out} = I \cdot \frac{R_L \times aR_p}{R_L + aR_p} \quad (5)$$

$$I = \frac{E_s}{(R_p - a.R_p) + \frac{R_L \times aR_p}{R_L + aR_p}} \quad (6)$$

حيث يعطى التيار | بالعلاقة :

$$E_{out} = \frac{\frac{R_L \times aR_p}{R_L + aR_p}}{(R_p - a.R_p) + \frac{R_L \times aR_p}{R_L + aR_p}} \times E_s \quad (7)$$

بتعويض العلاقة (6) في (5) نجد :

$$E_{out} = \frac{\frac{R_L \times aR_P}{R_L + aR_P}}{(R_P - a.R_P) + \frac{R_L \times aR_P}{R_L + aR_P}} \times E_S \quad (7) \quad \text{من هذه العلاقة نجد أن :}$$

$$E_{out} = \left( \frac{a}{1 + a.r - a^2 r} \right) \times E_S \quad (8)$$

حيث : وبالتالي يكون خطأ التحميل  $\Delta E$  هو الفرق بين جهد الخرج المحمل  $E_{out}$  وجهد الخرج غير المحمل  $a.E_{out}$  هو :

$$\Delta E = a.E_S - E_{out} = aE_S - \left( \frac{a}{1 + a.r - a^2 r} \right) \times E_S$$

$$\Rightarrow \Delta E = \left( \frac{a^2 r(1 - a)}{1 + a.r - a^2 r} \right) \cdot E_S \quad (9)$$

يتم عادة التعبير عن الخطأ كنسبة مئوية من كامل التدرج للمقسم  $E_s$  كما يلي:

$$\Delta E\% = \left( \frac{a^2 r(1-a)}{1+a.r-a^2 r} \right) \cdot 100 \quad (10)$$



المحولات التفاضلية ذات التغير الخطي

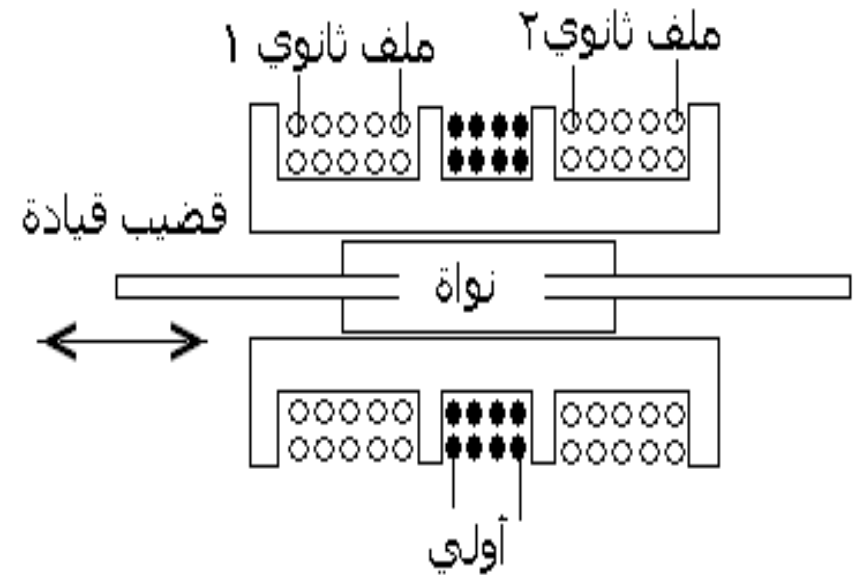
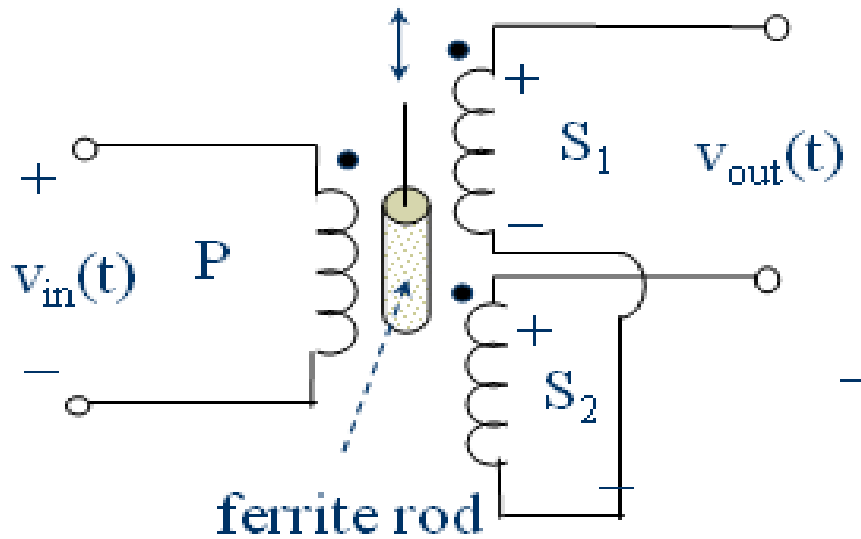
**Linear Variable Differential**

**Transformers**

**(LVDT)**



إن المحول التفاضلي ذو التغير الخطي (LVDT) عبارة عن محول كهرومغناطيسي يستخدم لقياس الانزياح الخطي، يبين الشكل (4) رسماً لـ (LVDT) حيث نجد أنه يتكون من ملف أولي متوضع بين ملفين ثانويين متوضعين على جسم إسطوانى أجوف. ويؤمن القلب المغناطيسي القابل للحركة تراكباً بين الملفات.



الرسم الرمزي للمحول التفاضلي الخطي (LVDT)

مقطع يبين تركيب المحول التفاضلي الخطي (LVDT)

فإذا كان  $V_{in}(t) = V_{m1} \sin \omega t$  فإن :

$$V_{S1}(t) = K_1 \times V_{in}(t)$$

$$V_{S2}(t) = K_2 \times V_{in}(t)$$

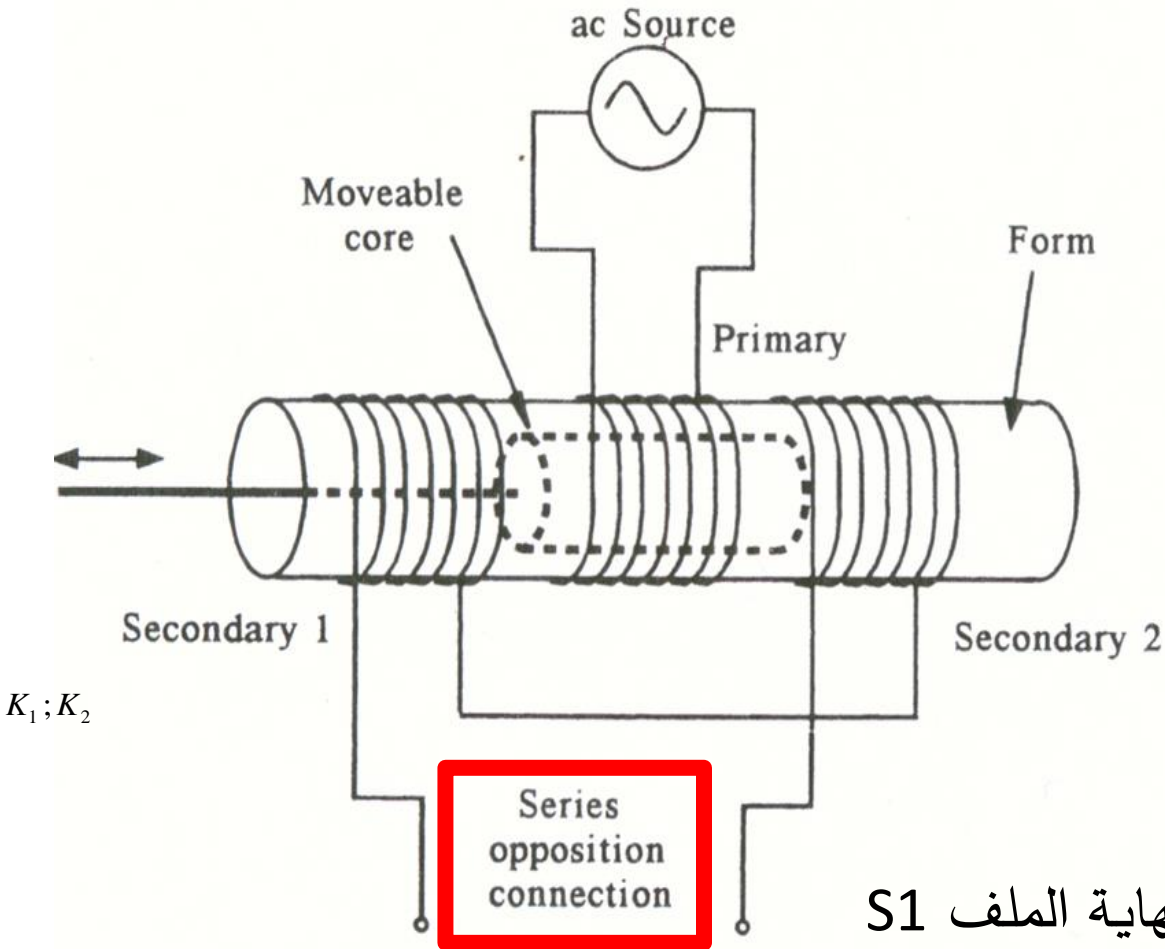
حيث

$K_1; K_2$ : ثوابت تتعلق بدرجة الاقتران (التشابك) المغناطيسي بين الملف الأولي P وكلاً من الملفين الثانويين S1 و S2 ، أو بعبارة أخرى تتعلق هذه الثوابت بوضع القلب المغناطيسي (النواة).

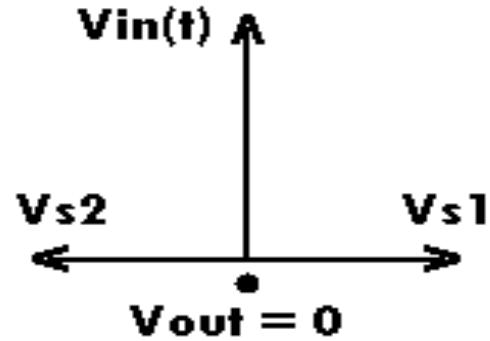
فعند وصل الملفين الثانويين على **التسلسل التعاكسي** ( أي وصل نهاية الملف S1 مع بداية الملف S2 وقياس الخرج بين بدايتي الملفين ، نحصل على قيمة لجهد الخرج تساوي المجموع الجبري لجهد S1 و S2 . أي :

$$V_{Out} = V_{S1}(t) + V_{S2}(t)$$

الشكل الفراغي



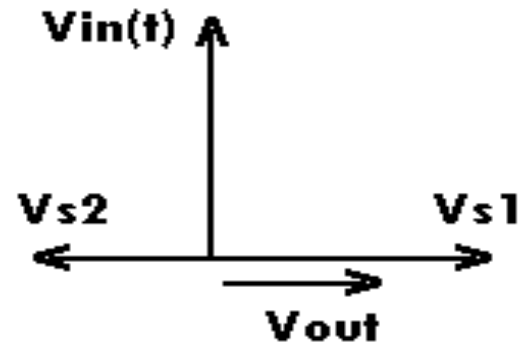
وستكون النتيجة حسب وضعية القلب المغناطيسي وفق ما هو مبين في الحالات الثلاثة التالية.



1- القلب في المنتصف ( أي التشابك بين P و S1 يساوي درجة التشابك بين P و S2 ).

الجهد  $V_{S1}(t)$  يساوي  $V_{S2}(t)$  بالقيمة المطلقة ويعاكسه بالاتجاه وبالتالي يكون:

$$V_{Out} = V_{S1}(t) + V_{S2}(t) = 0$$



2 - القلب منزاح باتجاه الملف S1 بالتالي

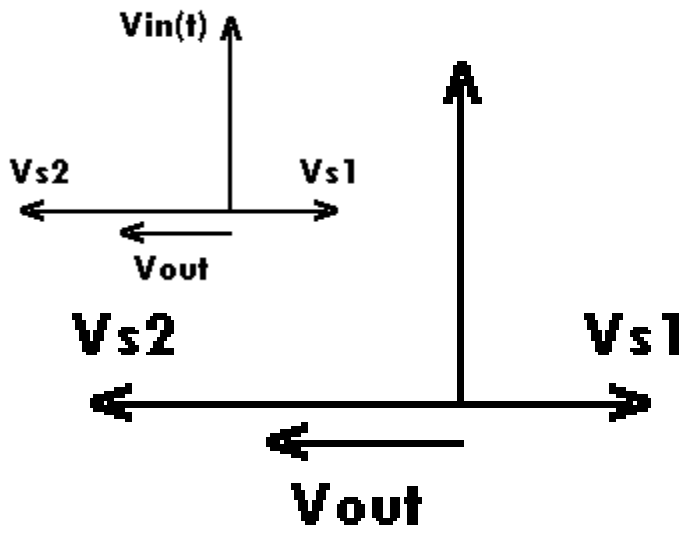
يكون الجهد  $V_{S1}(t)$  أكبر بالقيمة المطلقة من

الجهد  $V_{S2}(t)$  ويعاكسه بالاتجاه وبالنتيجة

يكون الجهد  $V_{Out} = V_{S1}(t) + V_{S2}(t)$  أي :

$$|V_{Out}| = |V_{S1}(t)| - |V_{S2}(t)|$$

$$\cdot V_{S1}(t)$$

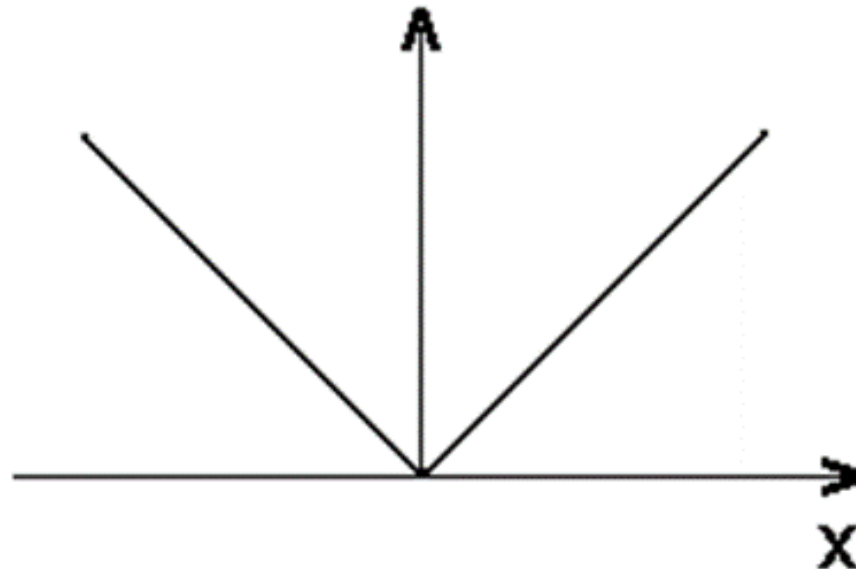


3 - القلب منزاح باتجاه الملف S2 بالتالي يكون الجهد  $V_{S1}(t)$  أصغر بالقيمة المطلقة من الجهد  $V_{S2}(t)$  ويعاكسه بالاتجاه وبالنتيجة يكون الجهد  $V_{Out} = V_{S1}(t) + V_{S2}(t)$  أي  $|V_{Out}| = |V_{S2}(t)| - |V_{S1}(t)|$  وجهته جهة  $V_{S2}(t)$ .

وتكون تبعية جهد الخرج لوضع القلب الحديدي كما في الشكل (5)، حيث يمثل مبدأ الإحداثيات وضعية القلب في المركز.

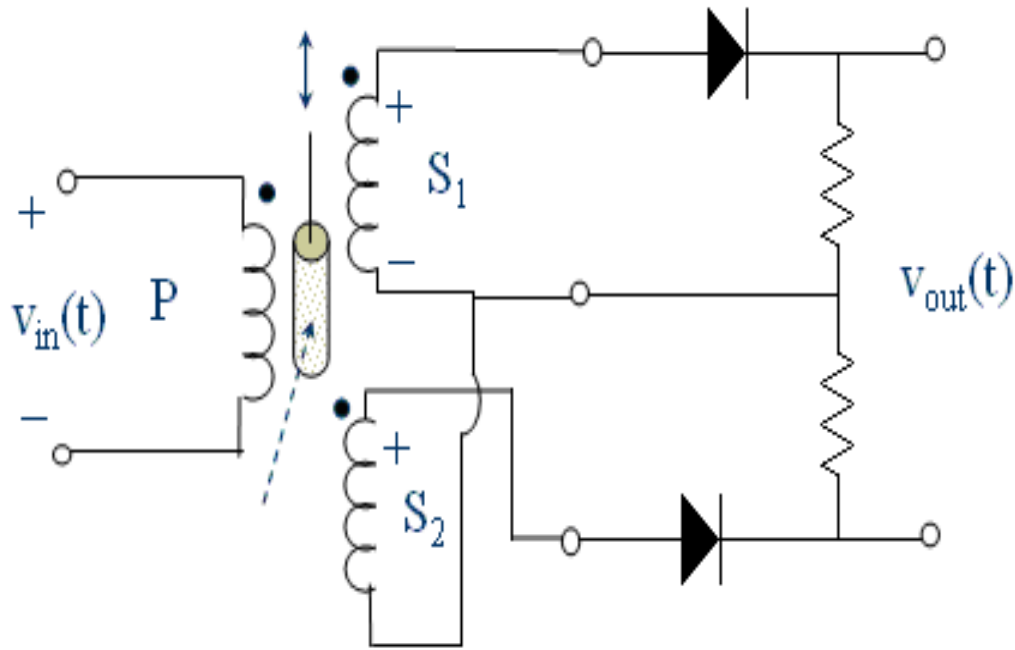
جهد الخرج  $V_{out}$

الشكل (5)

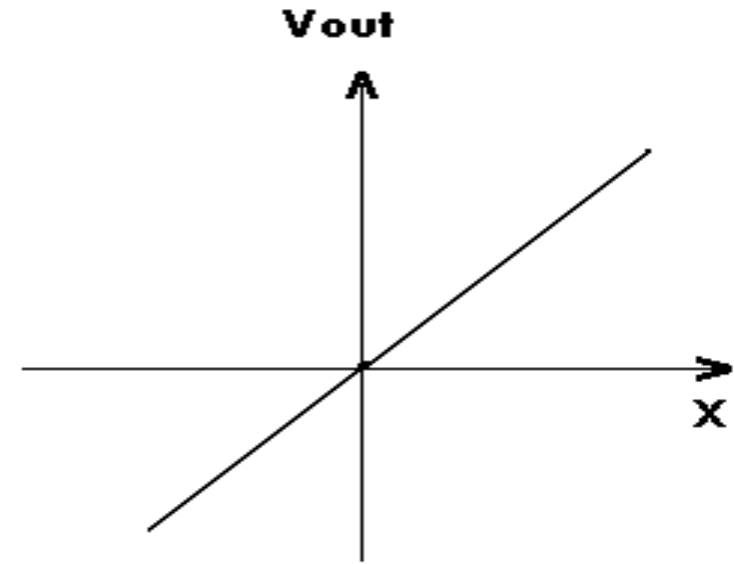


الانحياز

في الشكل (5) يتبين أن جهد الخرج يتغير تبعاً لوضع القلب المغناطيسي، لكن لا يمكن من خلاله معرفة جهة الحركة للقلب. لجعل جهد الخرج يعبر عن القيمة وجهة الحركة يتم وصل ديودين في الخرج كما في الشكل (6) وفي هذه الحالة يكون جهد الخرج كتابع للانزياح كما في الشكل (7).



الشكل (6)



الشكل (7)

## تطبيق:

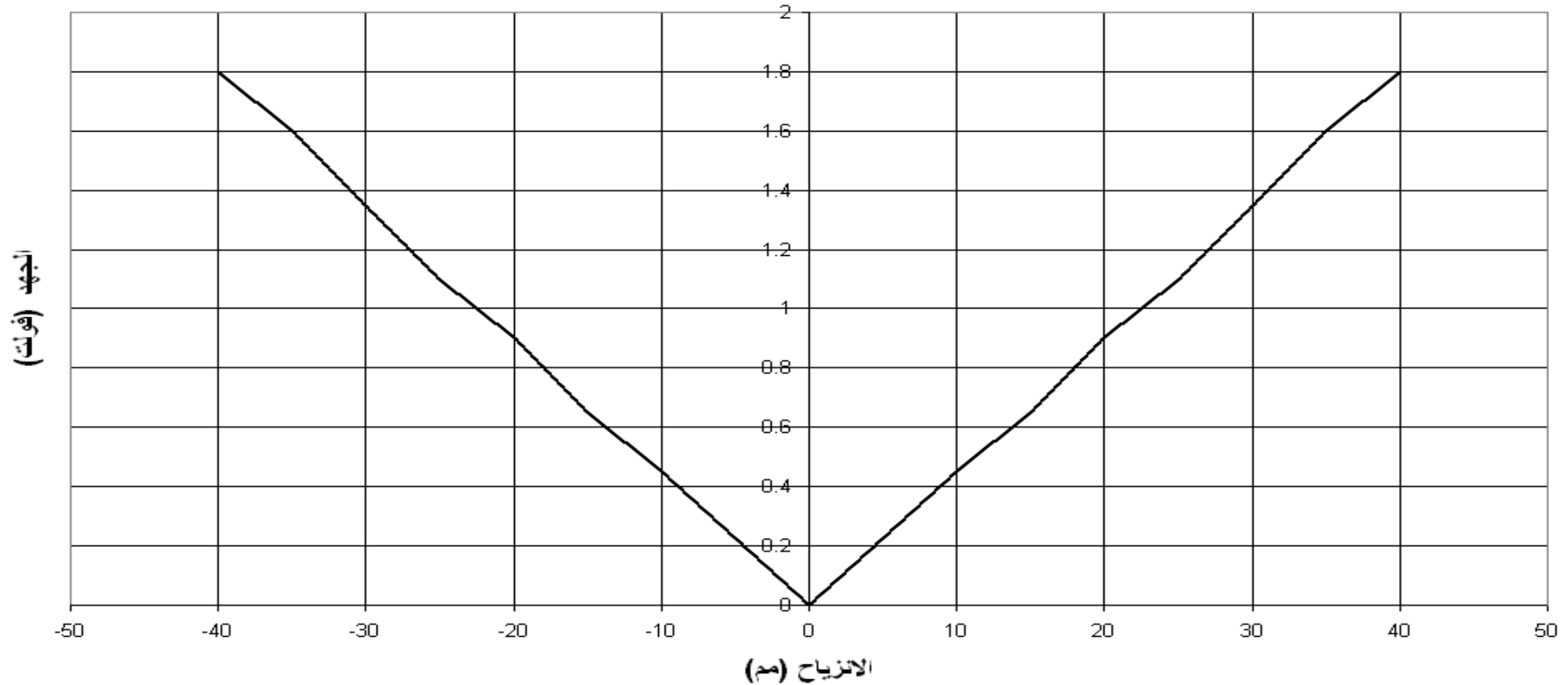
لقد تم تصنيع محول تفاضلي مكون من ثلاثة ملفات، ملف أولي وملفين ثانويين موصولين على التسلسل التعاكسي وطبق على الدخل 11.5 V وكانت النتائج كما هو مبين في الجدول (2).  
مميزات جهد الخرج للمحول LVDT بدون وجود مقوم

0	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	L (mm)
0	0.45	0.65	0.9	1.1	1.35	1.6	1.8	V (volt)
0	-0.1	-0.15	-0.2	-0.25	-0.3	-0.35	-0.4	V DC
40	35	30	25	20	15	10	0	L (mm)
1.8	1.6	1.35	1.1	0.9	0.65	0.45	0	V (volt)
0.4	0.35	0.3	0.25	0.2	0.15	0.1	0	V DC

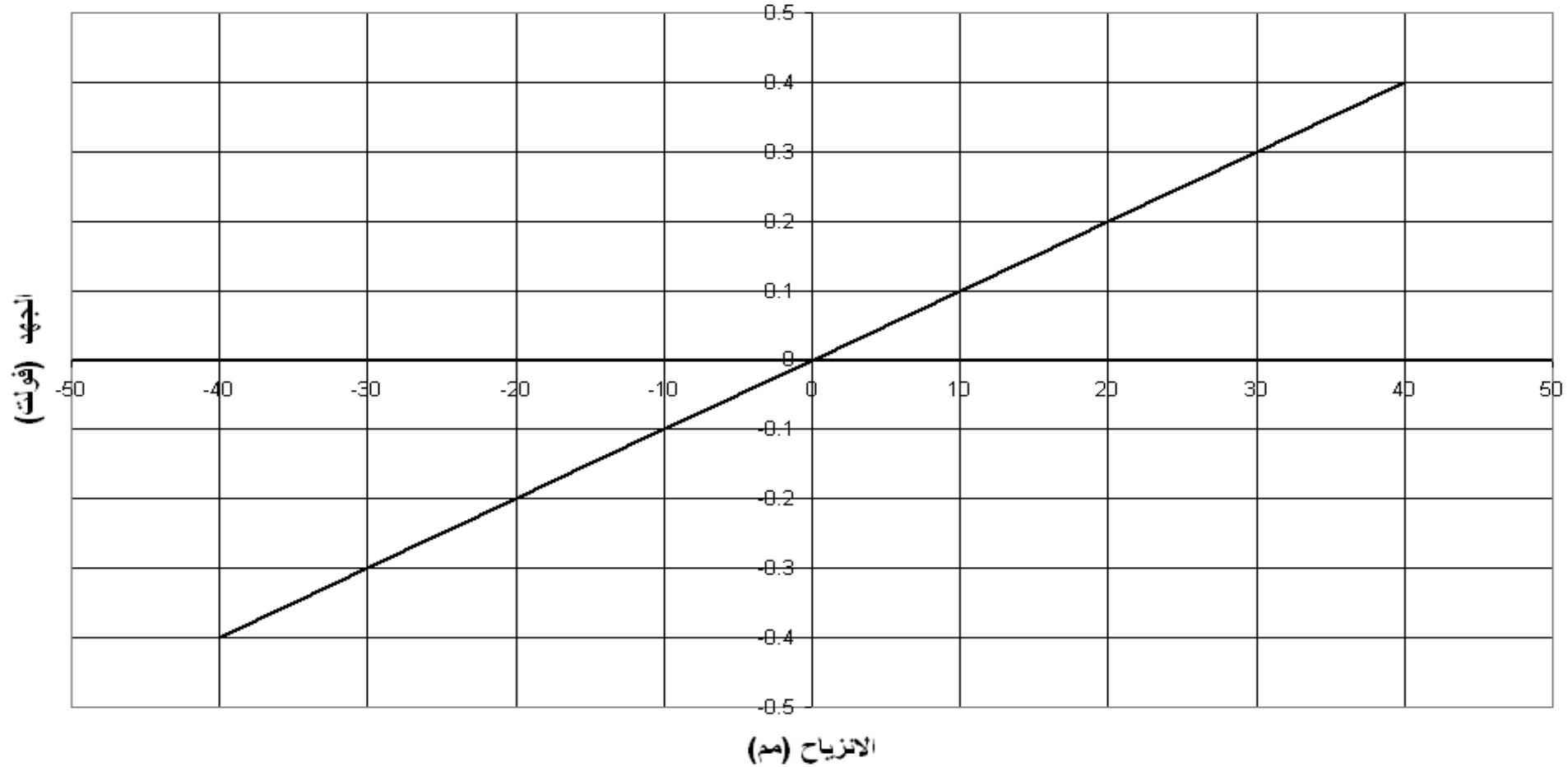


جامعة  
المنارة

تبعية جهد الخرج للمحول التفاضلي بالنسبة لانزياح القلب الحديدي



تبعية جهد الخرج للمحول التفاضلي بالنسبة لانزياح القلب الحديدي عند وضع مقوم في الخرج

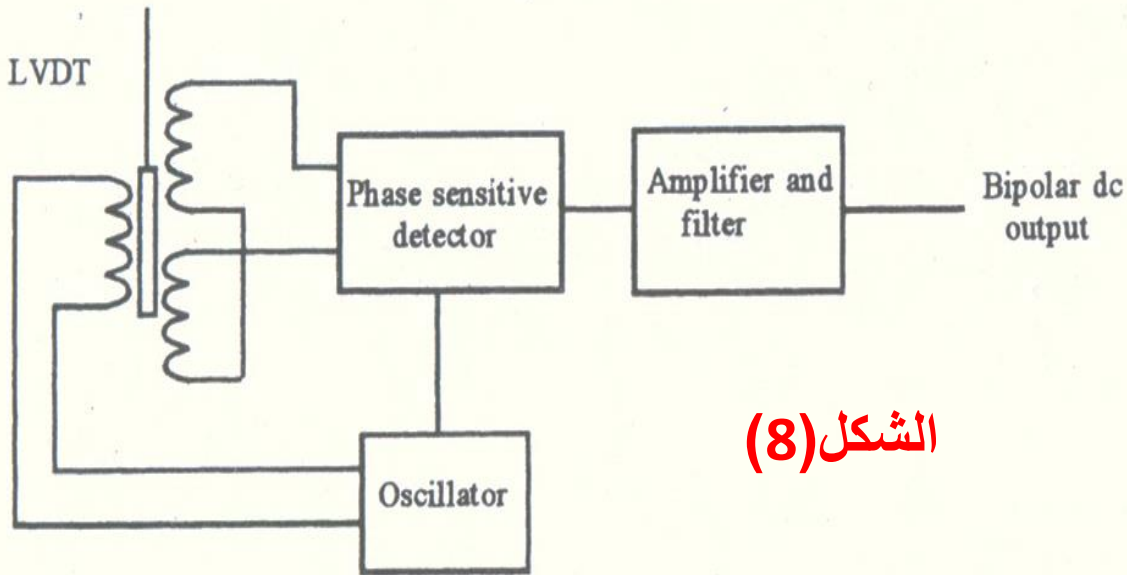






جامعة  
المنارة  
MANARA UNIVERSITY

الشكل (8) يظهر مخطط أكثر ديناميكية (عملية) حيث أنه مزود بدارة تكاملية مصنعة خصيصا من أجل ال LVDTs و يحتوي النظام على مولد إشارة من أجل الوشيعية الأولية و جهاز ( PSD ) ( Phase-sensitive detector ) كاشف حساس للطور بالإضافة إلى دارة (مضخم / فلتر).



يتنوع ال LVDT بمجال خطي على الأقل من  $\pm 25cm$  و حتى  $\pm 1mm$  و زمن الاستجابة يعتمد على التجهيزات التي تتصل بها النواة. تابع النقل الستاتيكي يعطى بالميلي فولت لكل ميليمتر  $mv/mm$ .

مثال : حساس LVDT تتحرك نواته ضمن المجال  $\pm 1.5cm$  بخطأ نسبي قدرة  $\pm 0.3\%$  خارج ذلك المجال و تابع النقل هو  $23.8mv/mm$  إذا تم استعماله من اجل مسار قطعة من  $(-1.2 \leftarrow +1.4) cm$  فما هو جهد الخرج المتوقع وما هو مقدار الخطأ في الموقع ؟

الحل : باستعمال تابع النقل يمكن بسهولة إيجاد جهد الخرج :

$$v(-1.2cm) = (23.8mv/mm)(-12mm) = -285.6mv$$

$$v(1.4cm) = (23.8mv/mm)(14mm) = 333mv$$

$$(\pm 0.003)(23.8mv/mm) = \pm 0.0714mv/mm$$

**مقدار الخطأ :**