

حساسات ومجسات

المحاضرة الثانية

د.م. خولة حموي

khawla.hamwi@gmail.com

العام الدراسي: ٢٠٢٣-٢٠٢٤

عناوين المحاضرة

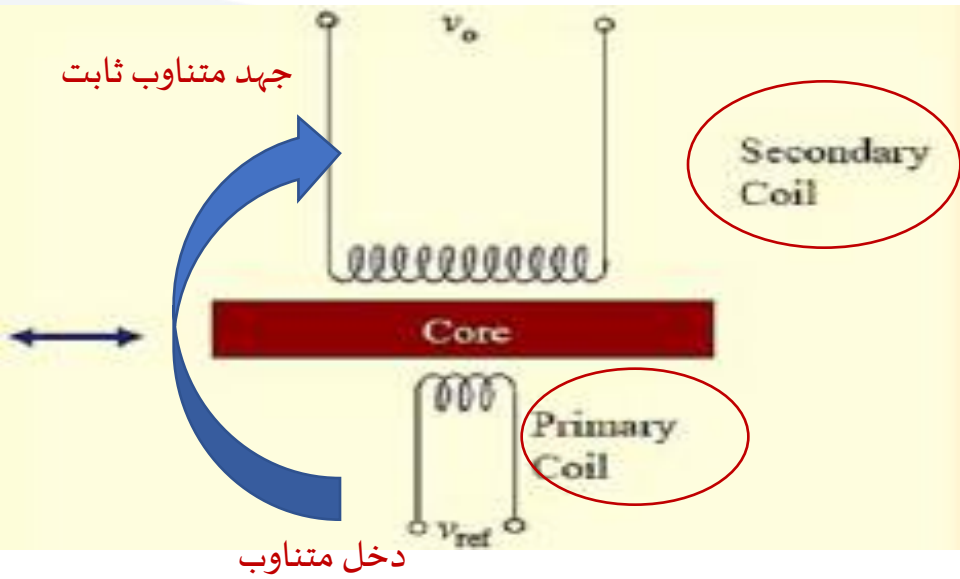
- الحساسات ثنائية الحثية
- المحول التفاضلي الخطي المتغير (LVDT)
- البنية
- مبدأ العمل
- الدارة المكافئة
- ملائمة الإشارة
- فوائد ومساوئ وتطبيقات
- مثال
- المحول التفاضلي الدوراني المتغير (RVDT)
- حساس التقارب ثنائي الحثية

الحساسات ثنائية الحثية

• تتكون هذه الحساسات من وشيعتين (أولية و ثانوية)

• يُطبق على الوشيعة الأولية جهد دخل متناوب يولد في الوشيعة الثانوية جهداً متناوباً ثابتاً.

• تعتمد قيمة (مطال) هذا الجهد على الحقل المغناطيسي المتبادل بين الوشيعتين.



LVDT, RVDT, mutual induction proximity probe

تحريك القلب المغناطيسي

يتم تغيير قيمة الحقل
المغناطيسي بين الوشيعتين

resolver, synchro transformer

تحريك الوشيعة

المحول التفاضلي الخطي المتغير (LVDT)

Linear Variable Differential Transformer (LVDT)

البنية

جهد متناوب يمتلك نفس تردد
الجهد المطبق على وشيعة
الدخل

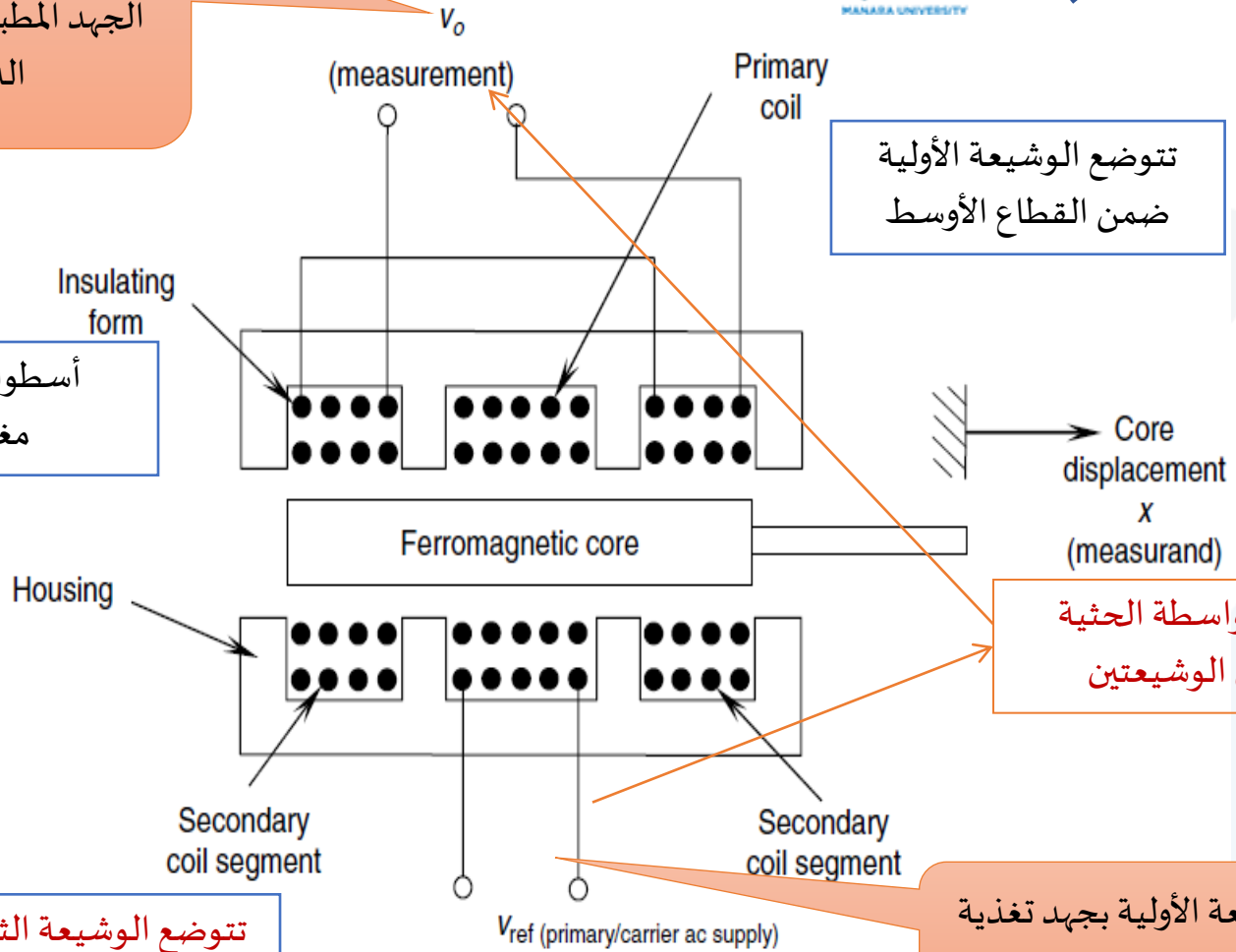
تتوضع الوشيعة الأولية
ضمن القطاع الأوسط

أسطوانة عازلة غير
مغناطيسية

سوف يتولد بواسطة الحثية
المتبادلة بين الوشيعتين

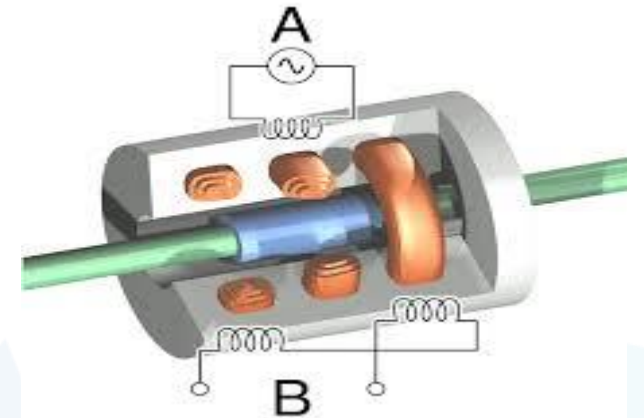
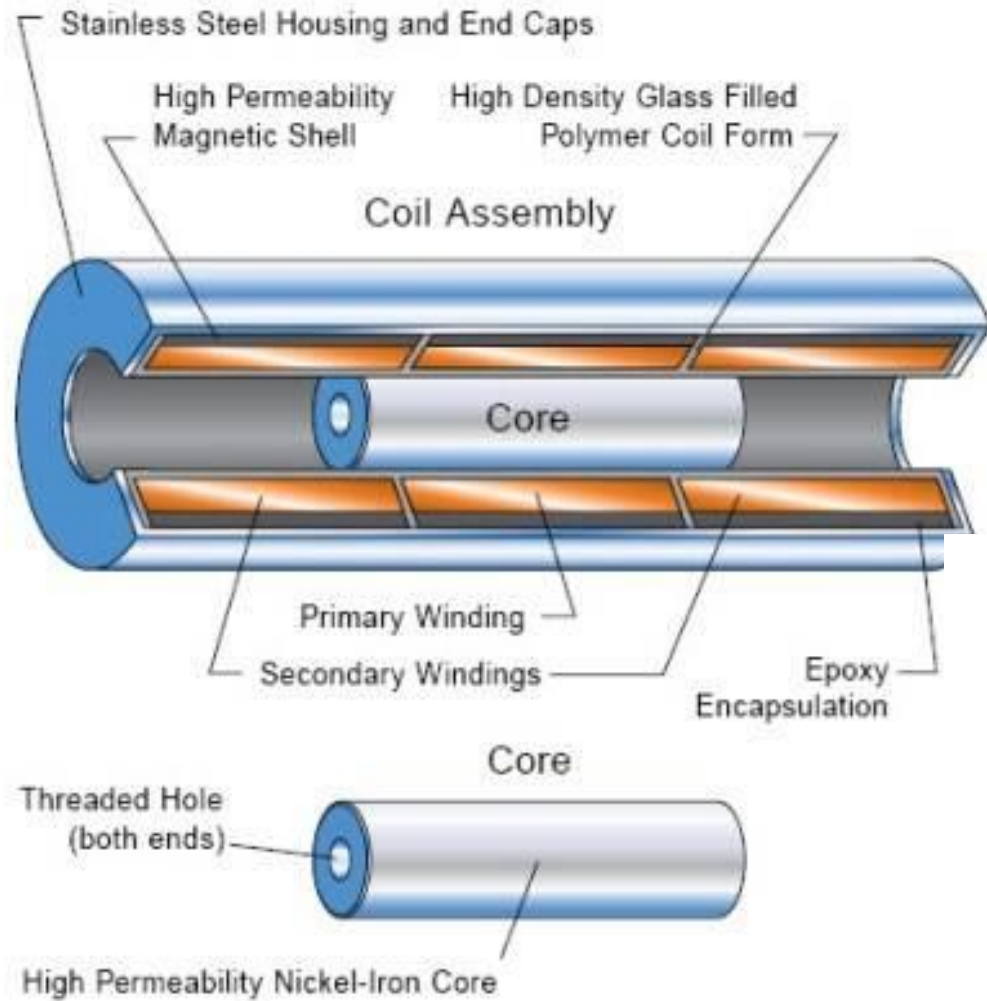
تتوضع الوشيعة الثانوية بشكل متناظر
ضمن القطاعين الطرفيين

تُغذى الوشيعة الأولية بجهد تغذية
متناوب



Schematic diagram of LVDT

المحول التفاضلي الخطي المتغير (LVDT)

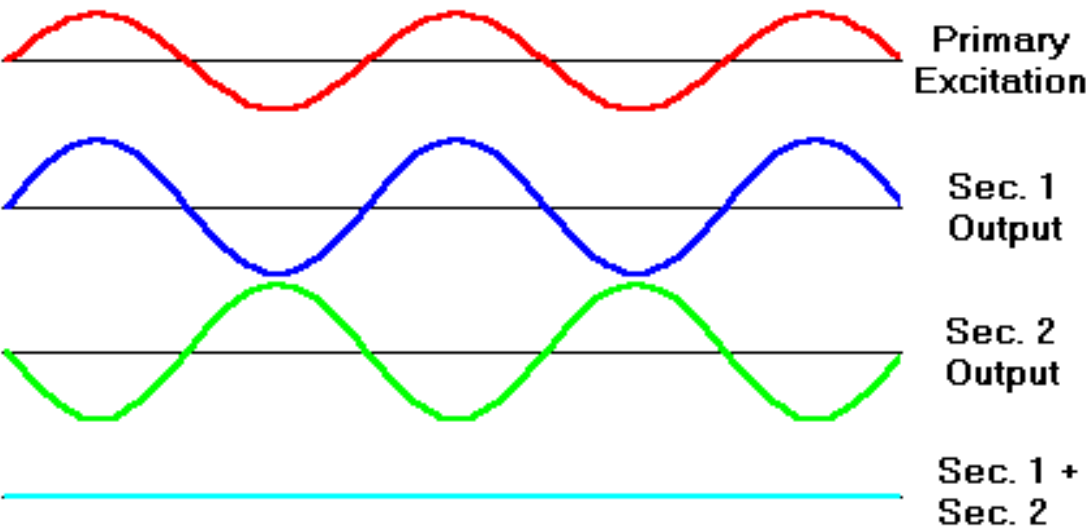


المحول التفاضلي الخطي المتغير (LVDT)

مبدأ العمل

عندما يتحرك القلب تتغير العازلية بين الوشيعتين ويتغير بالتالي الحقل المتبادل

← الجهدان المولّدان في جزأي الوشيعة الثانوية سيتغيران بناء على موقع القلب المغناطيسي



• بما أن الوشيعة الثانوية مقسومة إلى قسمين موصولين على التسلسل وبشكل متعاكس

← عندما يكون القلب المغناطيسي في المركز يكون جهد الخرج معدوم (الموضع الصفري)

- في مجال العمل الخطي، يتناسب جهد الخرج مع موضع (حركة) القلب المغناطيسي
- يعطي الـ LVDT معلومات عن مطال إشارة الخرج واتجاه الحركة. يمكن تحديد اتجاه الحركة من خلال:

- فك تعديل الإشارة

- زاوية الطور بين جهد الدخل وجهد الخرج

المحول التفاضلي الخطي المتغير (LVDT)

الدارة المكافئة

الحثية المتبادلة الناتجة عن الحقل المغناطيسي المتبادل بين
قطاعات (وشائع) LVDT

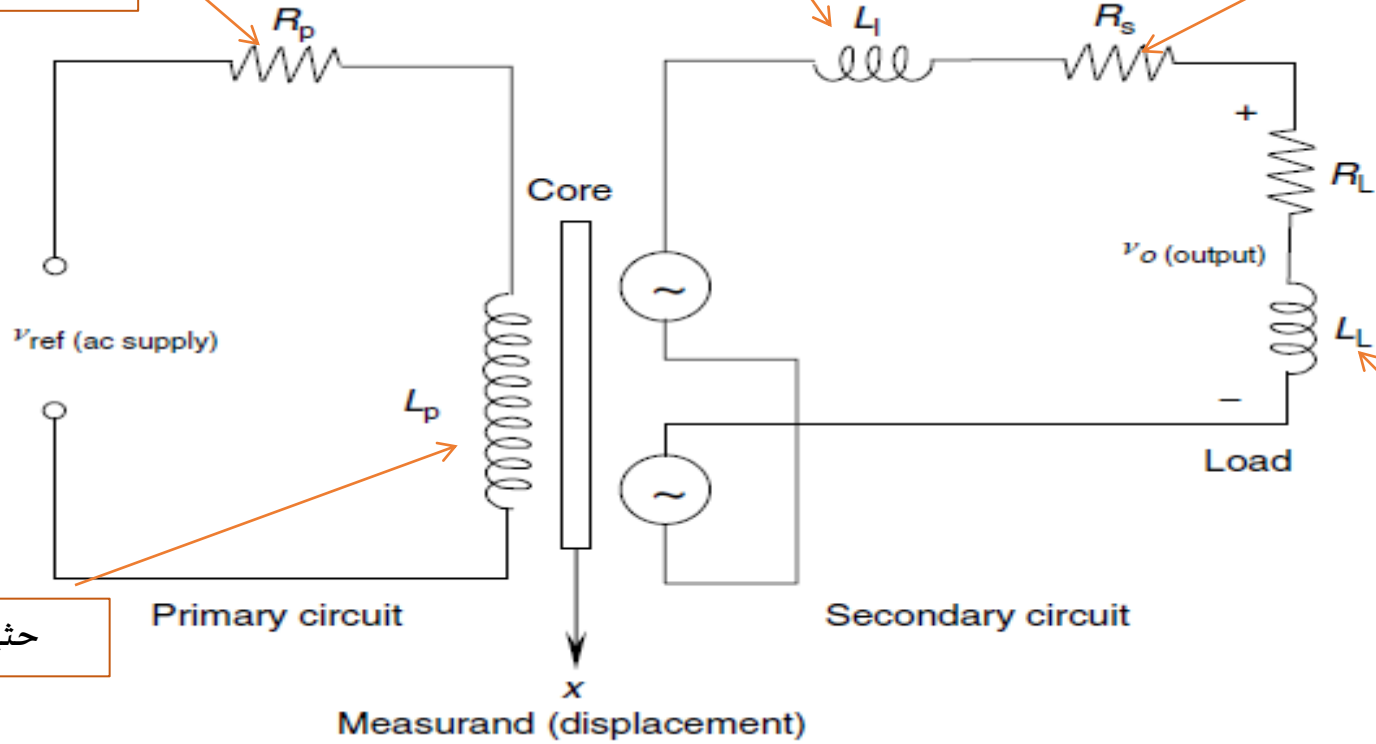
مقاومة الوشيعة الأولية

المقاومة الكلية للوشيعة الثانوية

مقاومة الحمل

حثية الحمل

حثية الوشيعة الأولية

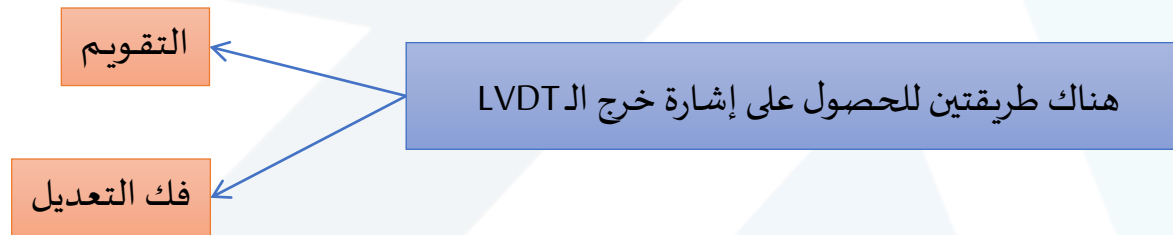


An equivalent circuit for a differential transformer

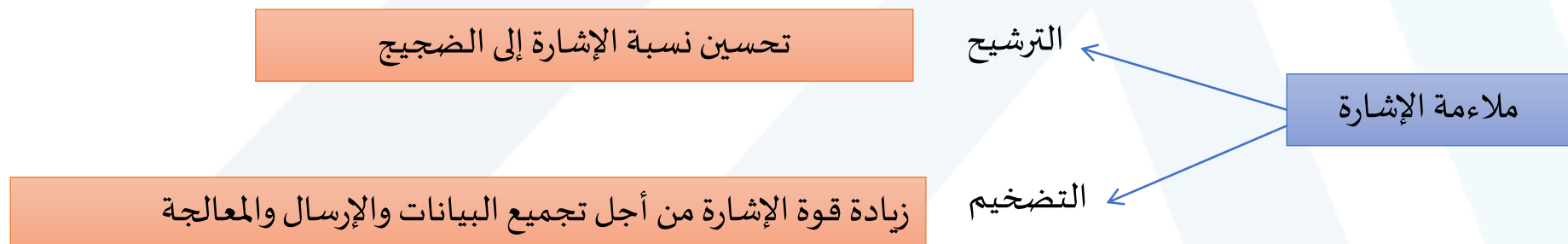
المحول التفاضلي الخطي المتغير (LVDT)

ملاءمة الإشارة

مما سبق، نجد أن تردد الحامل سيكون موجوداً في إشارة الخرج وبالتالي من الضروري العمل على إلغاء تأثير هذا التردد وذلك بغية جعل إشارة الخرج تتناسب فقط مع الانتقال



لتنفيذ هاتين الطريقتين نحتاج إلى مجموعة من دارات الملاءمة وأهمها:

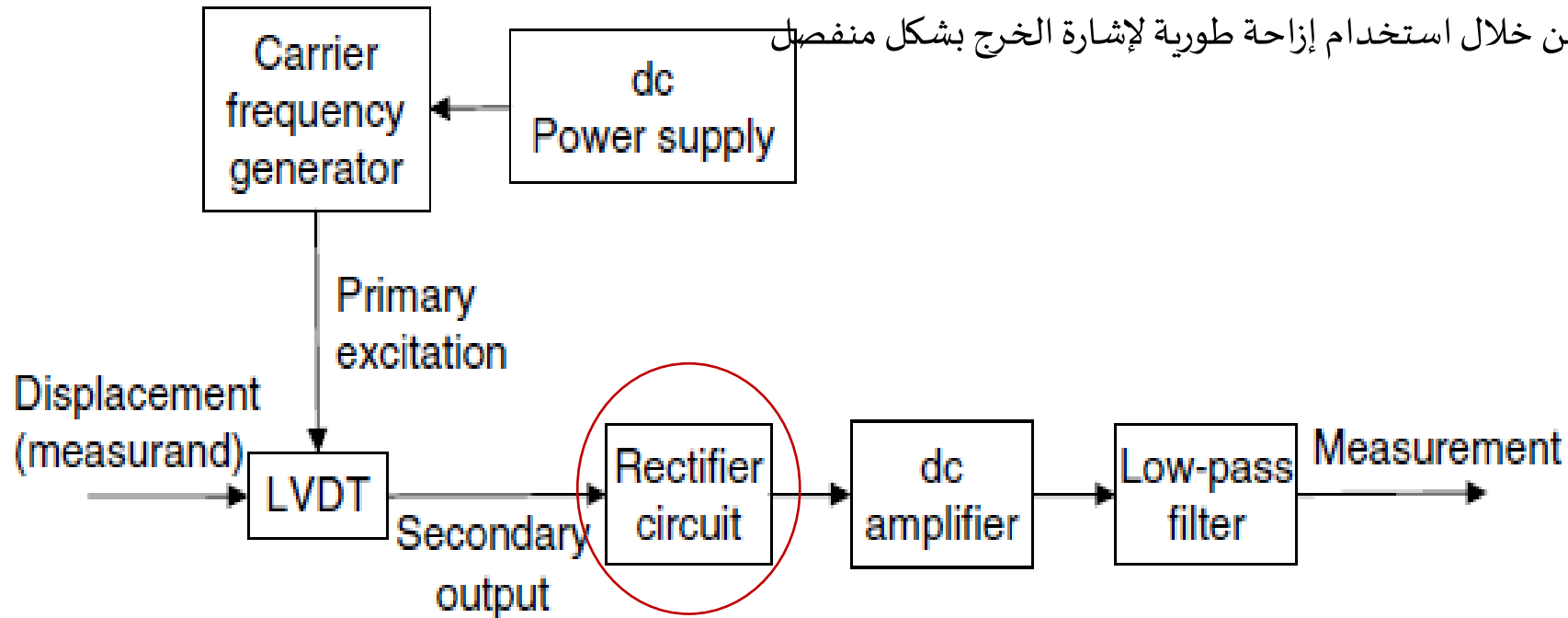


المحول التفاضلي الخطي المتغير (LVDT)

ملاءمة الإشارة

التقويم

- تُقَوِّم إشارة الخرج المتناوبة للحصول على إشارة مستمرة
- تُضَخِّم هذه الإشارة ثم تُرَشِّح بمرشح تمرير منخفض بغية حذف مركبات الضجيج ذات الترددات العالية
- يمكن تحديد اتجاه الحركة من خلال استخدام إزاحة طورية لإشارة الخرج بشكل منفصل



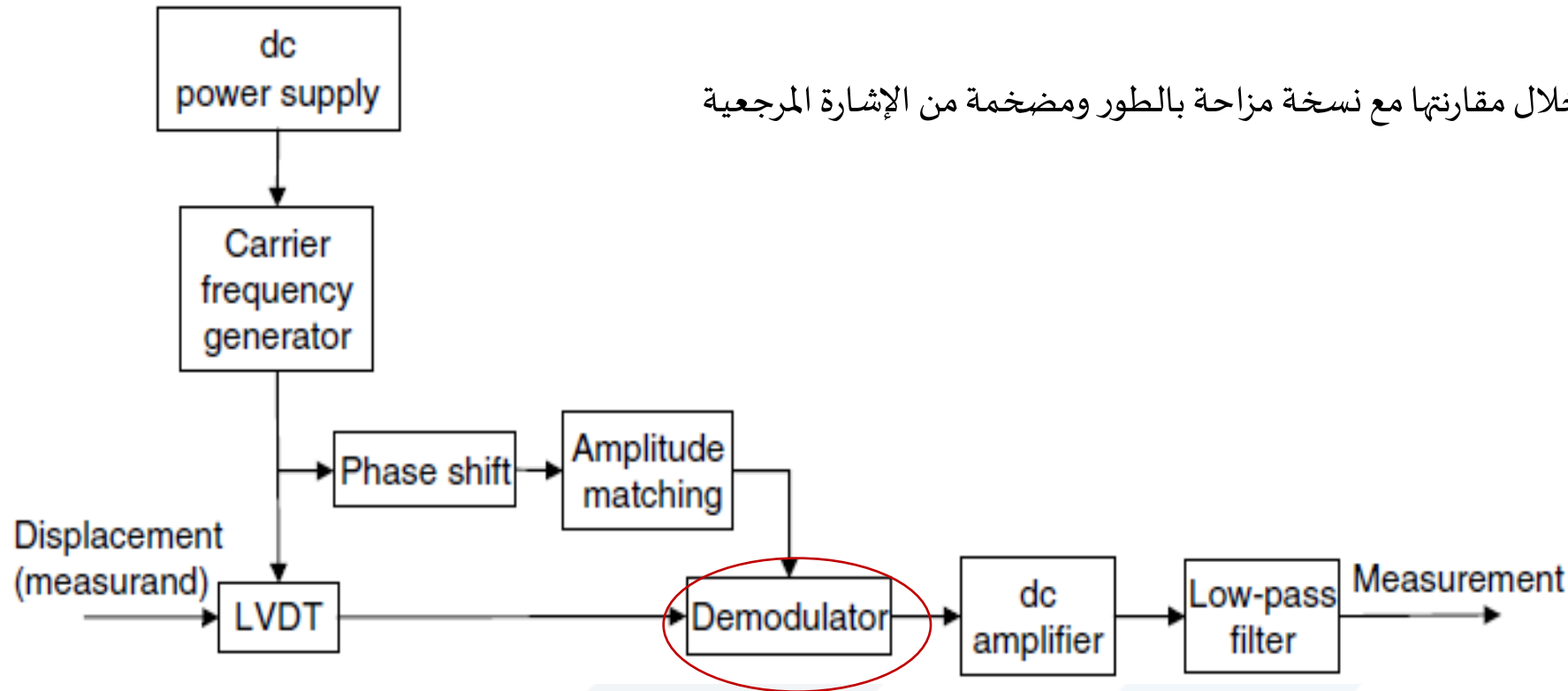
Signal-conditioning methods for a differential transformer. Rectification

المحول التفاضلي الخطي المتغير (LVDT)

ملاءمة الإشارة

فك التعديل

- يُحذف تردد الحامل من إشارة الخرج من خلال مقارنتها مع نسخة مزاحة بالطور ومضخمة من الإشارة المرجعية



Signal-conditioning methods for a differential transformer. Demodulation.

المحول التفاضلي الخطي المتغير (LVDT)

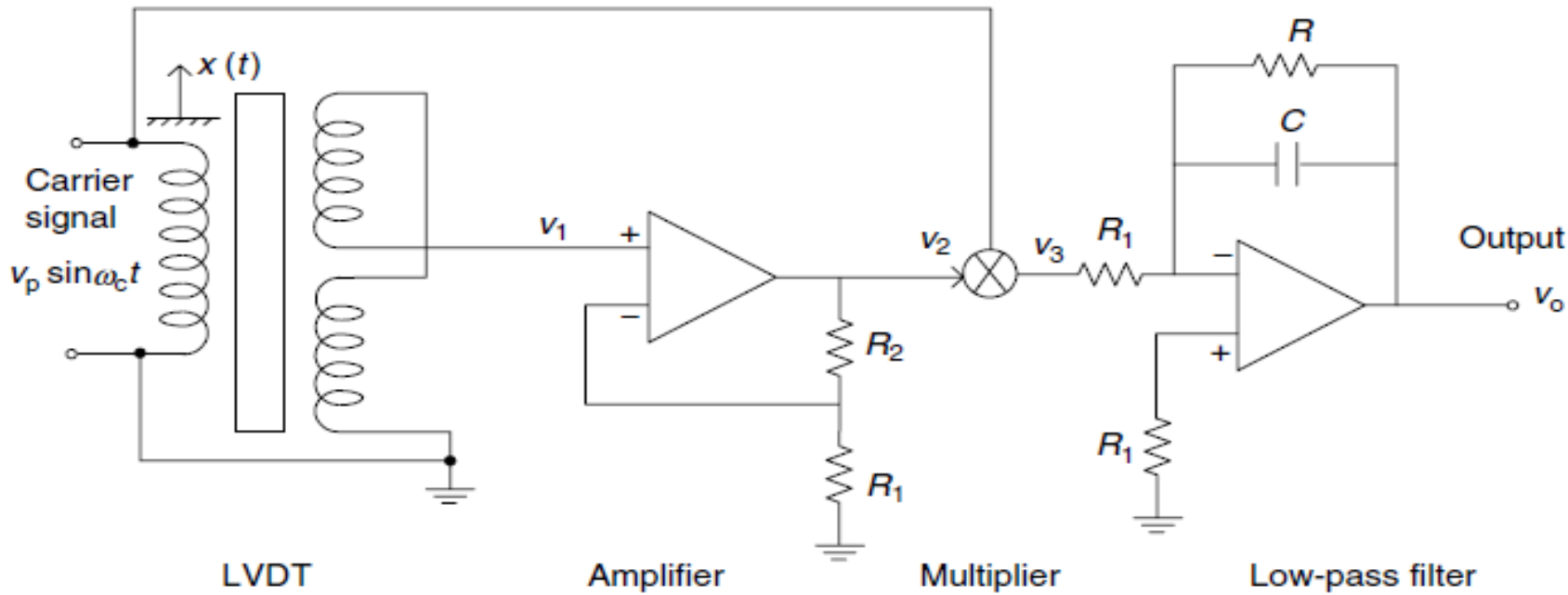
محاسن ومساوئ وتطبيقات

- ممانعة خرج منخفضة $\sim 100 \text{ ohm}$
 - لا يوجد فيه مقاومة احتكاك حيث لا يوجد اتصال ملموس بين القلب المتحرك والوشائع
 - متوفر بحجوم صغيرة ورخيصة نسبياً
 - دقة عالية بالمقارنة مع مقياس الجهد (Potentiometer)
 - استهلاك منخفض للطاقة
 - قياس اتجاهية الانتقال (موجب / سالب)
- توليد جهود عالية يحتاج انتقالات عالية جداً
 - حساسية للحقول المغناطيسية
 - يتأثر أداء هذا الحساس بالاهتزازات وتغيرات الحرارة
- يُستخدم الـ LVDT لقياس الانتقال الخطي من أجزاء من المليمتر إلى السنتيمتر
 - يُستخدم كحساس ثانوي في قياس القوة أو الوزن أو الضغط

المحول التفاضلي الخطي المتغير (LVDT)

مثال

يبين الشكل مخطط لنظام ملائمة الإشارة لحساس LVDT. متغيرات النظام وبارامترات مبينة على الشكل.



Signal-conditioning system for an LVDT.

$X(t)$: انتقال قلب الحساس (القيمة المقاسة)

ω_c : تردد إشارة جهد الحامل

V_o : إشارة الخرج للنظام (القياس)

المحول التفاضلي الخطي المتغير (LVDT)

مثال

١. اشرح وظائف مكونات النظام المبينة في الشكل

LVDT: يمتلك وشيعة أولية يطبق عليها جهد الدخل $v_p \sin wct$. يوصل القلب المغناطيسي مع الجسم المتحرك والذي سيقاس انتقاله $x(t)$. الوشائع الثانوية موصولة على التسلسل وبشكل متعاكس لذلك يكون خرج ال LVDT معدوماً عند الوضع الصفري، يمكن أيضاً تحديد اتجاه الحركة.

دائرة المضخم: مضخم غير عاكس، يضخم إشارة خرج ال LVDT والتي تمثل إشارة حامل متناوبة بتردد w_c

دائرة الضارب: تولد هذه الدارة جداء الإشارة الأولية (الحامل) مع الإشارة الثانوية (خرج ال LVDT). تعتبر هذه الخطوة هامة من من أجل فك تعديل خرج ال LVDT.

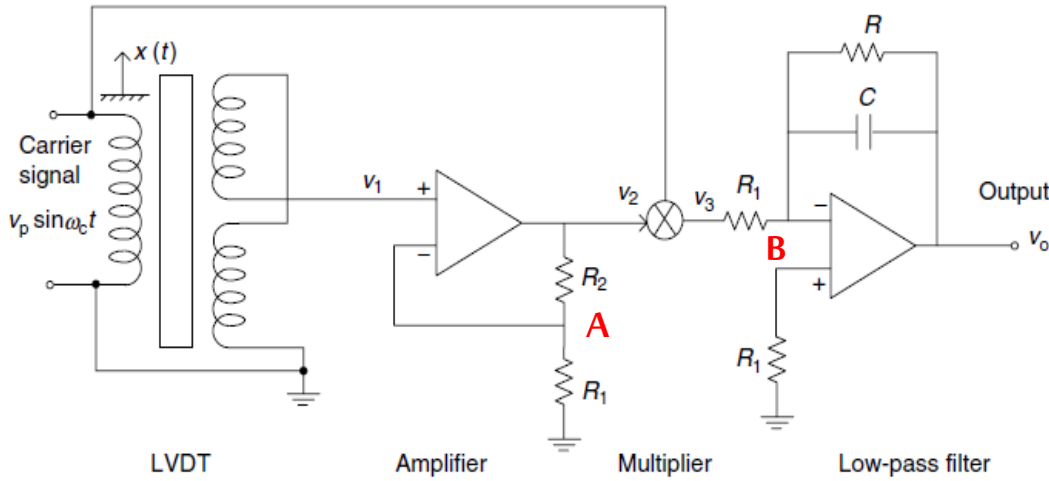
تمتلك إشارة الجداء ترددات عالية ($2w_c$) تضاف إلى إشارة التعديل $x(t)$. يقوم **مرشح تمرير ترددات منخفضة** بحذف هذه الترددات للحصول على إشارة غير معدلة والتي تتناسب مع انتقال القلب المغناطيسي $x(t)$.

المحول التفاضلي الخطي المتغير (LVDT)

مثال

٢. اكتب معادلات المضخم ودارة الترشيح واستخدم تلك المعادلات في التعبير عن إشارات الجهود

$v_p \sin wct$ الأولية $V1, V2, V3, V_o$ المبينة على الشكل باعتبار إشارة الدخل المطبقة على الوشيعة الأولى



باعتبار الجهود على مدخلي مكبر العمليات متساويين تقريباً والتيارات على

$$\frac{v_2 - v_1}{R_2} = \frac{v_1}{R_1}.$$

هذه المداخل معدومة. بتطبيق قانون توازن التيار عند النقطة A:

$$k = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = \text{amplifier gain.}$$

وربح المضخم

$$v_2 = kv_1 \quad \text{حيث}$$

بما أن المدخل غير العاكس لمكبر العمليات الثاني مؤرض ← جهده يساوي الصفر وبالتالي الجهد عند النقطة B أيضاً يساوي الصفر. بتطبيق قانون توازن التيار عند B

نحصل على:

$$\frac{v_3}{R_1} + \frac{v_o}{R} + C\dot{v}_o = 0.$$

المحول التفاضلي الخطي المتغير (LVDT)

مثال

$$\tau \frac{dv_o}{dt} + v_o = -\frac{R}{R_1} v_3,$$



$$\frac{v_3}{R_1} + \frac{v_o}{R} + C\dot{v}_o = 0.$$

نضرب المعادلة بـ R

$\tau = RC = \text{filter time constant}$

$$k_o = R/R_1.$$

حيث ربح المرشح

$$\frac{v_o}{v_3} = -\frac{k_o}{(1 + \tau s)}$$

تابع التحويل في مستوى لابلاس يعطي بالعلاقة:

$$\frac{v_o}{v_3} = -\frac{k_o}{(1 + \tau j\omega)}.$$

تابع التحويل في مستوى التردد يعطي بالعلاقة:

$$v_1 = v_P r x(t) \sin \omega_c t,$$

$$v_2 = v_P r k x(t) \sin \omega_c t,$$

$$v_3 = v_P^2 r k x(t) \sin^2 \omega_c t$$

بإهمال الإزاحة الطورية في الـ LVDT يكون لدينا الإشارات كالتالي:

$$v_3 = \frac{v_P^2 r k}{2} x(t) [1 - \cos 2\omega_c t].$$

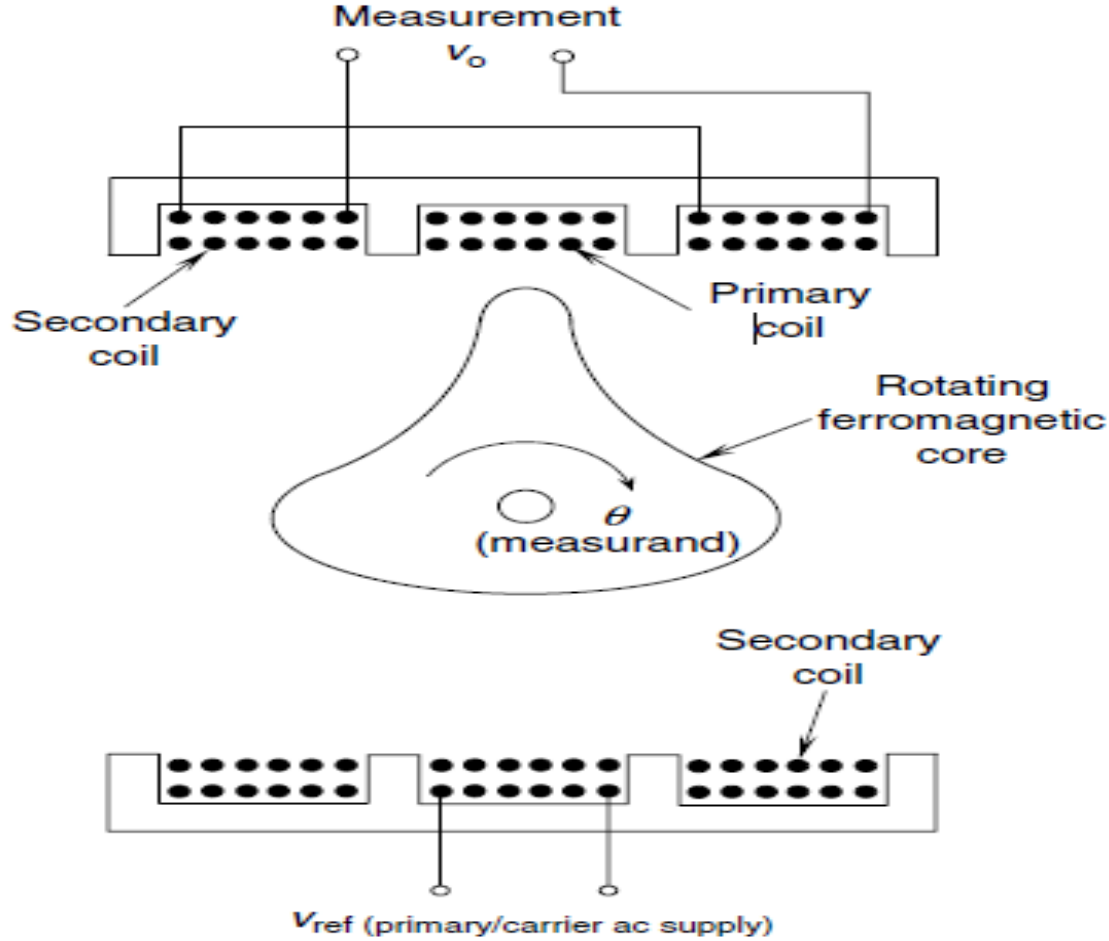
أو يمكن كتابة V3

$$v_o = \frac{v_P^2 r k_o}{2} x(t).$$

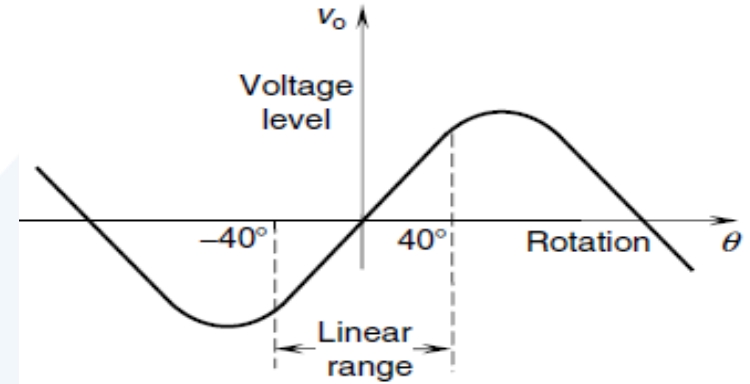
باستخدام مرشح تمرير الترددات المنخفضة سيتم حذف التردد $2\omega_c$ وبالتالي تصبح علاقة الخرج :

المحول التفاضلي الدوراني المتغير (RVDT)

Rotary Variable Differential Transformer (RVDT)

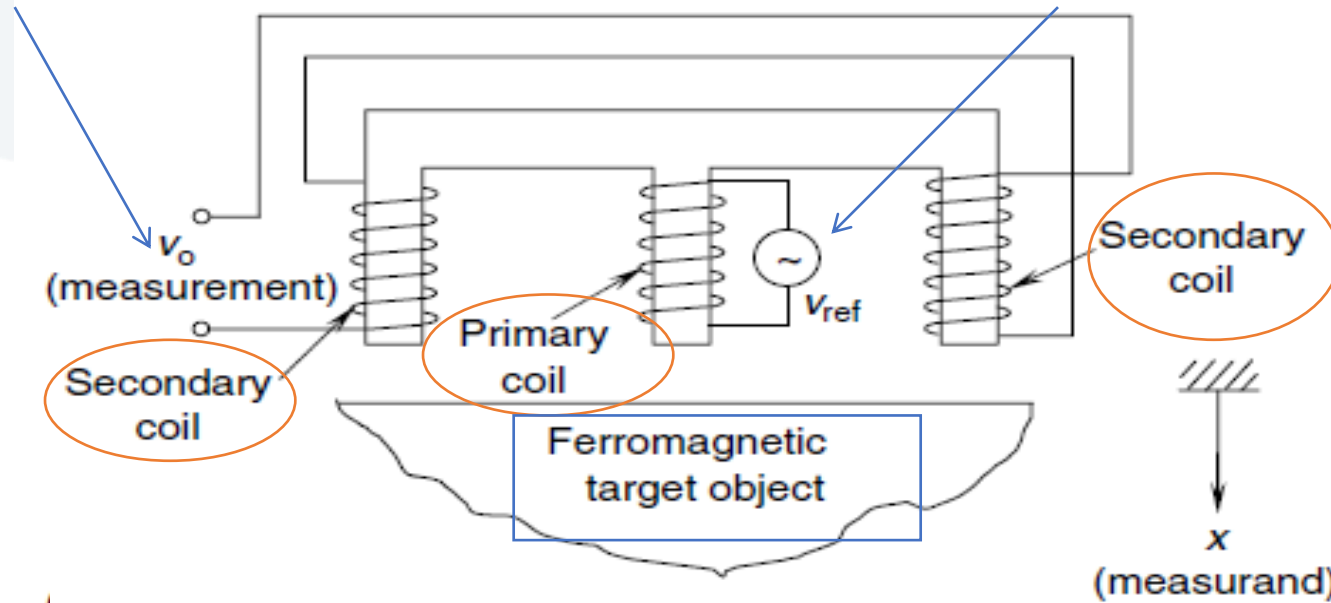


- يعمل بنفس آلية ال LVDT باستثناء أنه في حالة ال RVDT يُستخدم قلب ممغنط **دوّار**.
- وبالتالي فهو يقيس **الانتقال الزاوي** مباشرة دون الحاجة إلى استخدام محولات لاختية
- **مجال القياس الخطي** عادة يساوي $\pm 40^\circ$ مع خطأ عدم خطية أقل من 1%.

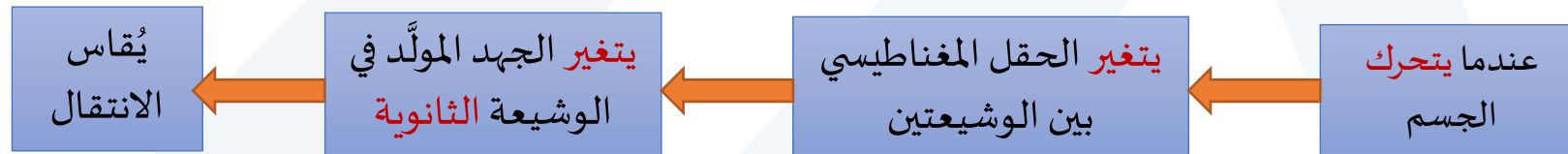


حساس التقارب ثنائي الحثية

Mutual-Induction Proximity Sensor



- على عكس الـ LVDT و RVDT، تُجمَع الجهود المولَّدة في قسمي الوشيعة الثانوية في هذا النوع من الحساسات



حساس التقارب ثنائي الحثية

- يستخدم هذا النوع من الحساسات في العديد من التطبيقات التي تقيس الانتقال **دون وجود احتكاك** مباشر وبالتالي **الحمل الميكانيكي** في هذا النوع من الحساسات **مهم**
- تطبيقات

١. القياسات المتعلقة بالروبوتات والتحكم بالفجوة بين رأس الروبوت وساحة العمل

٢. قياس السرعة الزاوية للحالة الثابتة وذلك من خلال حساب عدد الدورات في واحدة الزمن

٣. تحديد المستوى (مثال: مراقبة مستوى السائل أثناء تعبئة عبوات)

٤. قياس الاهتزاز في الآلات الدورانية

