جَامعة المَنارة
MANARA UNIVERSITY

حساسات ومجسات

المحاضرة الخامسة

د.م. خولة حموي
khawla.hamwi@gmail.com

العام الدراسي: ٢٠٢٣-٢٠٢٤

المجسات الرقمية Digital Transducers

- المرمزالمحوري Shaft encoder
- المرمز الضوئي Optical encoder
- مرمز الاتصال المنزلق Sliding contact encoder
- المرمز المغناطيسي Magnetic encoder
- المرمز الضوئي المتزايد Incremental Optical Encoder
- المرمز الضوئي المطلق Absolute Optical Encoder

المرمزالمحوري Shaft encoder

المرمز: هو أي حساس يولد قراءة مرمزة (رقمية) لقيمة مقاسة

المرمزات المحورية: هي حساسات رقمية تستخدم لقياس السرعة الزاويّة

تطبيقاتها: في أنظمة الروبوتات، في الآلات، أنظمة تخزين المعلومات، الطابعات، والآلات الدوارة

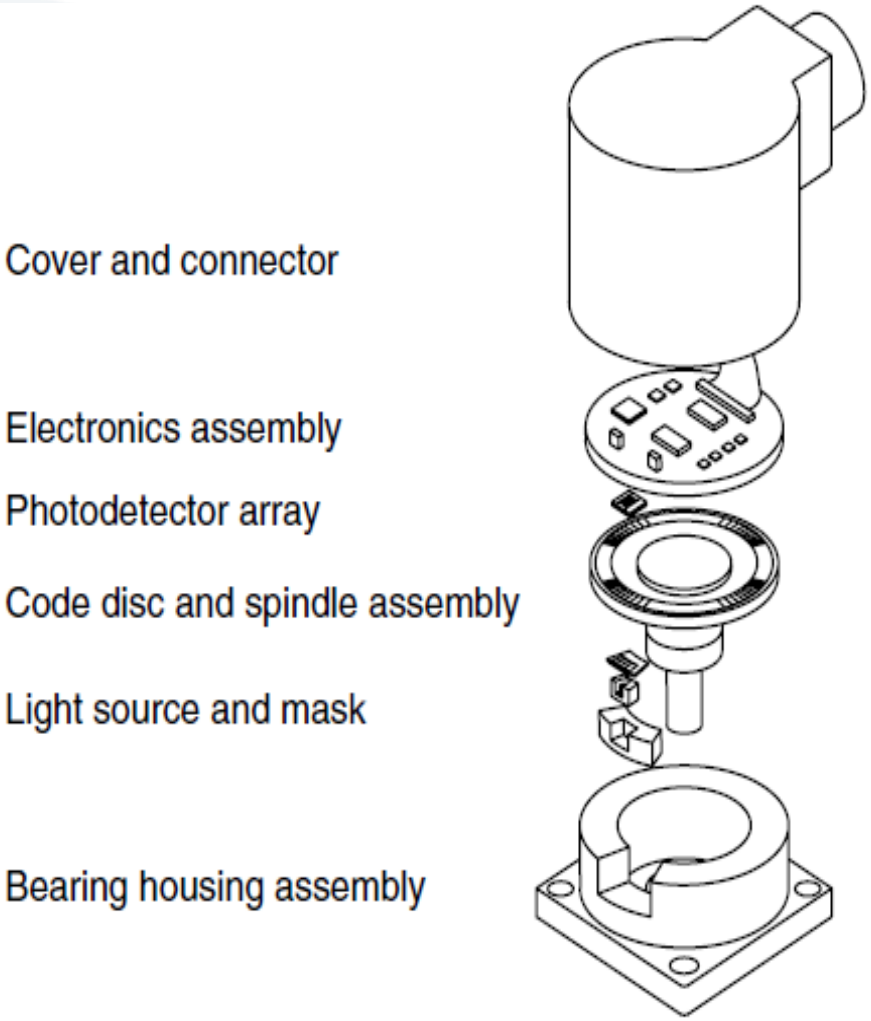
فوائدها: حساسية عالية (حجم الكلمة)، دقة عالية (مقاومة للضجيج)، ملائمة للاستخدام المباشر مع أنظمة التحكم الرقمية دون الحاجة لبعض دارات الملاءمة وبالتالي تخفيض التكلفة

أنواع المرمزات: (١): المرمزات المتزايدة (٢): المرمزات المطلقة

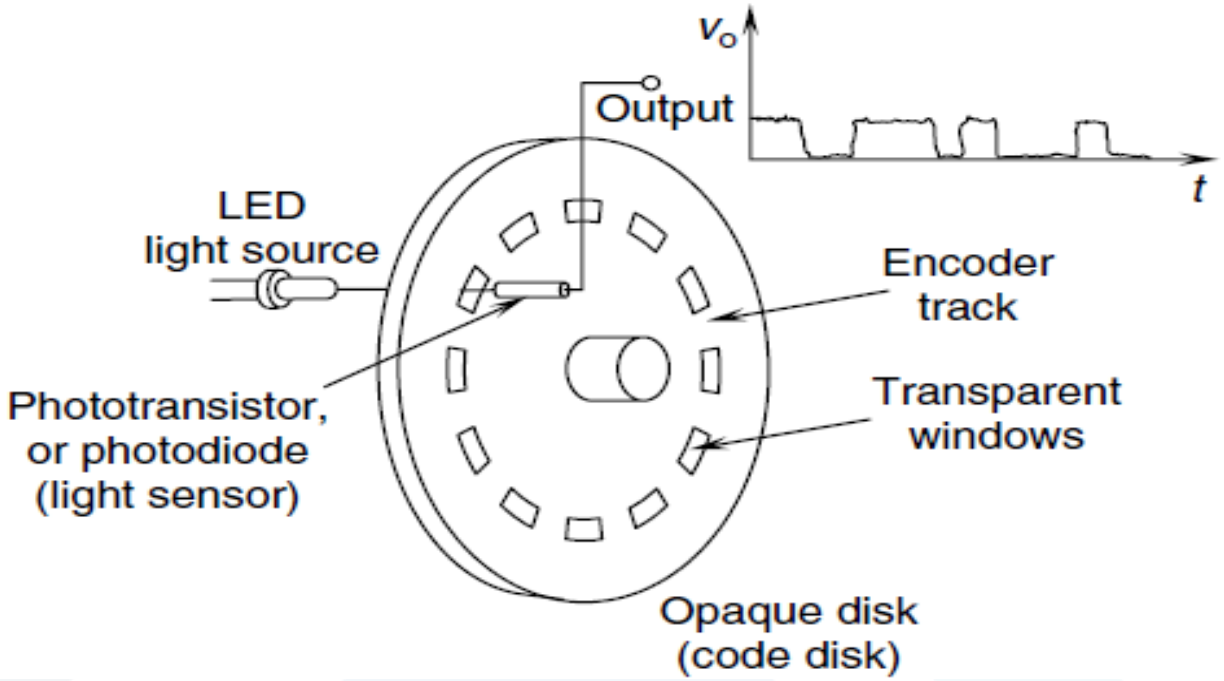
تقنيات توليد إشارة الحساس:

١. طريقة ضوئية
٢. طريقة الاتصال المنزلق
٣. طريقة الإشباع المغناطيسي

المرمز الضوئي Optical encoder

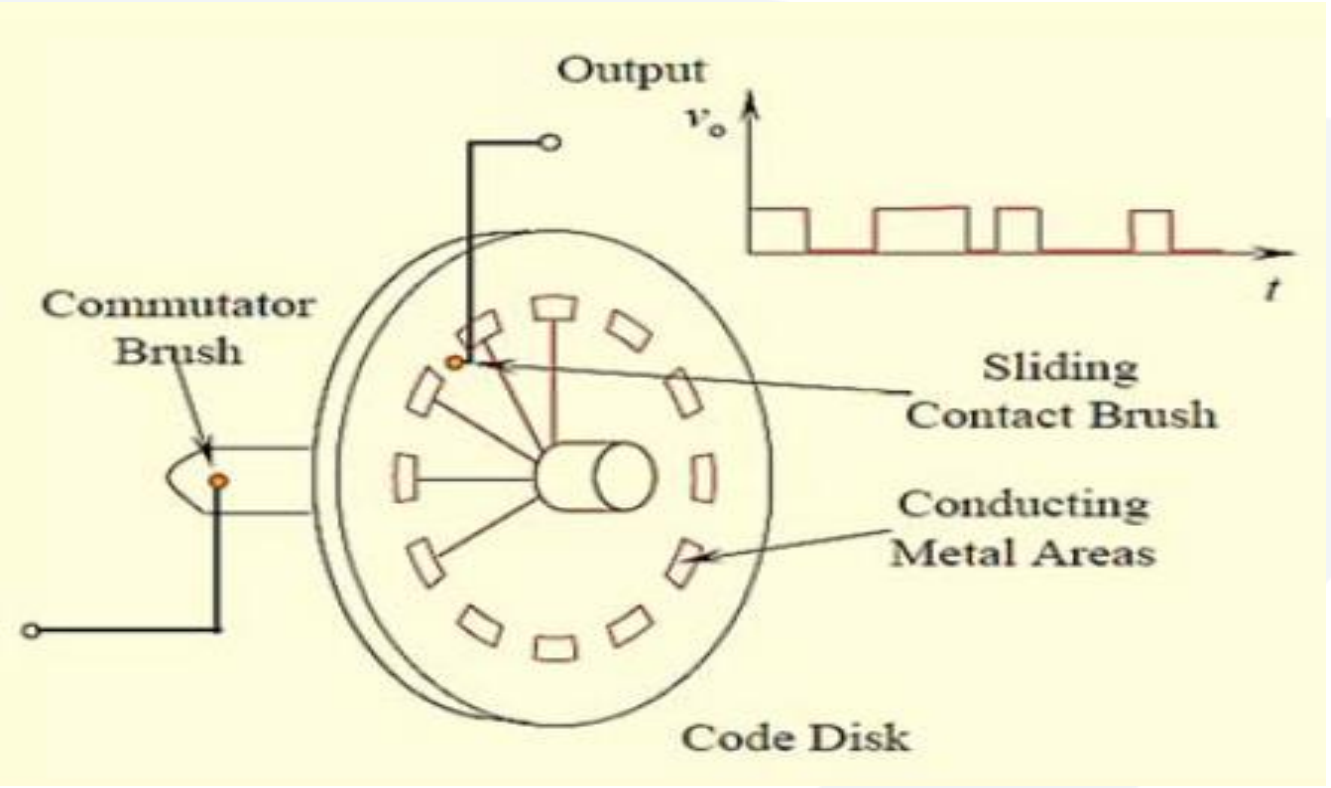


components of a commercial incremental encoder



- يعتبر المرمز الضوئي من أكثر المرمزات شيوعاً وأقل تكلفةً. يمكن أن تستخدم الأنواع الباقية في ظروف عمل خاصة
- تعتمد دقة المرمزالضوئي على دقة طباعة(تنفيذ) النوافذ على الخلفية المصمتة

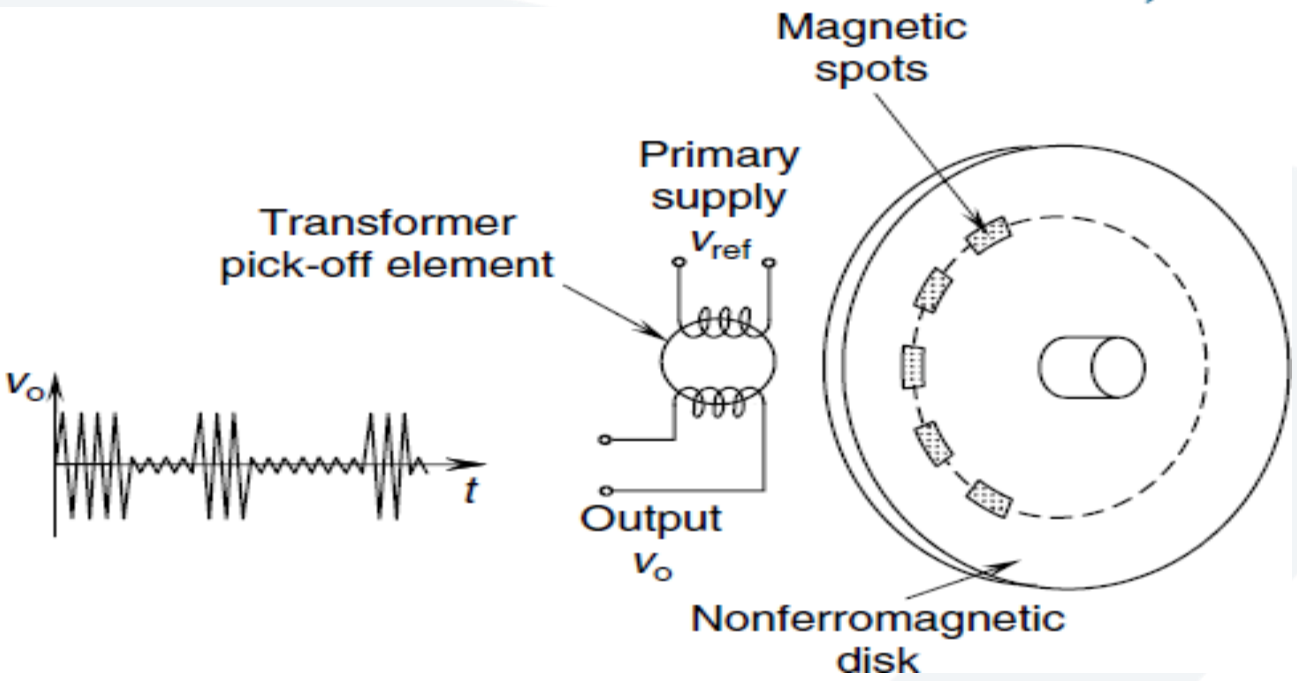
مرمز الاتصال المنزلق



Schematic representation of a sliding contact encoder

- تلامس جهة الاتصال المنزلقة مثل الفرشاة كل مسار ، وعندما يدور القرص ، يتم التقاط إشارة نبضة الجهد بواسطتها
- المزايا: حساسية عالية ، بساطة في البناء ، تكلفة منخفضة
- العيوب: احتكاك ، اهتراء ، ارتداد الفرشاة بسبب الاهتزاز
- تعتمد الدقة على دقة أنماط التوصيل لقرص المرمز

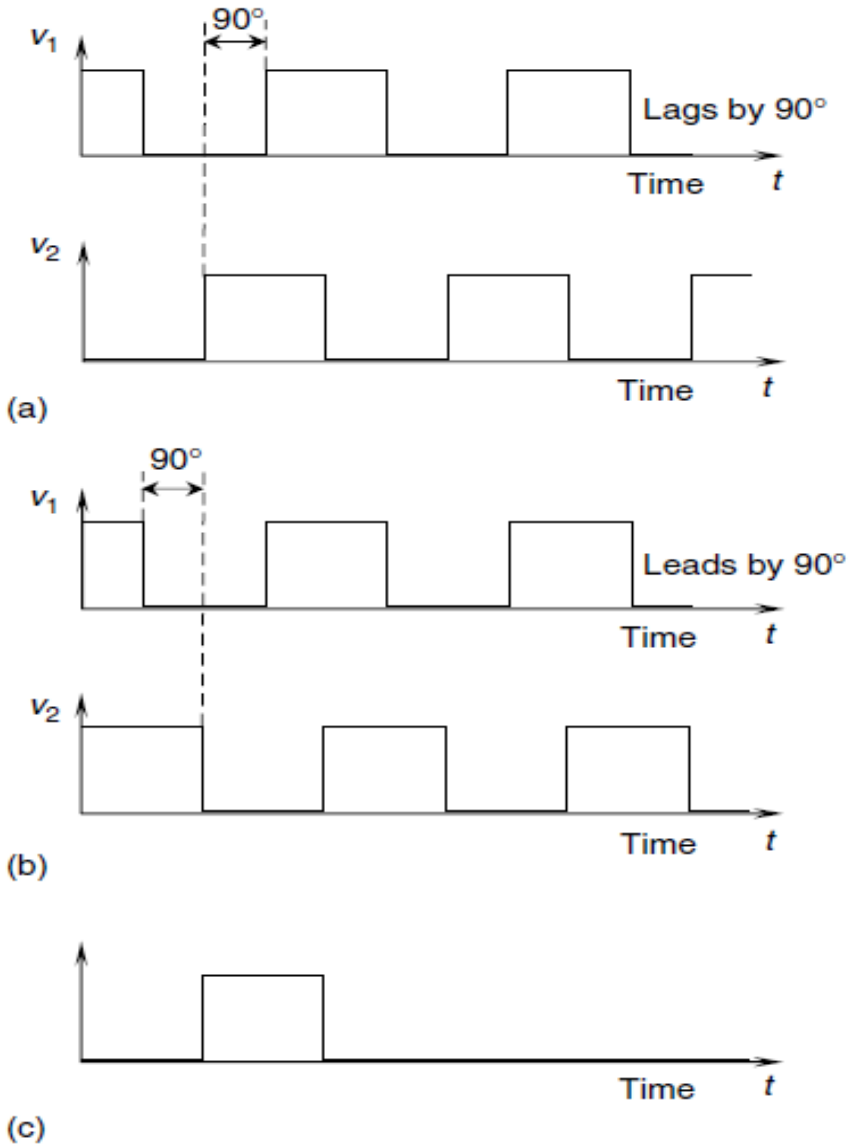
المرمز المغناطيسي Magnetic encoder



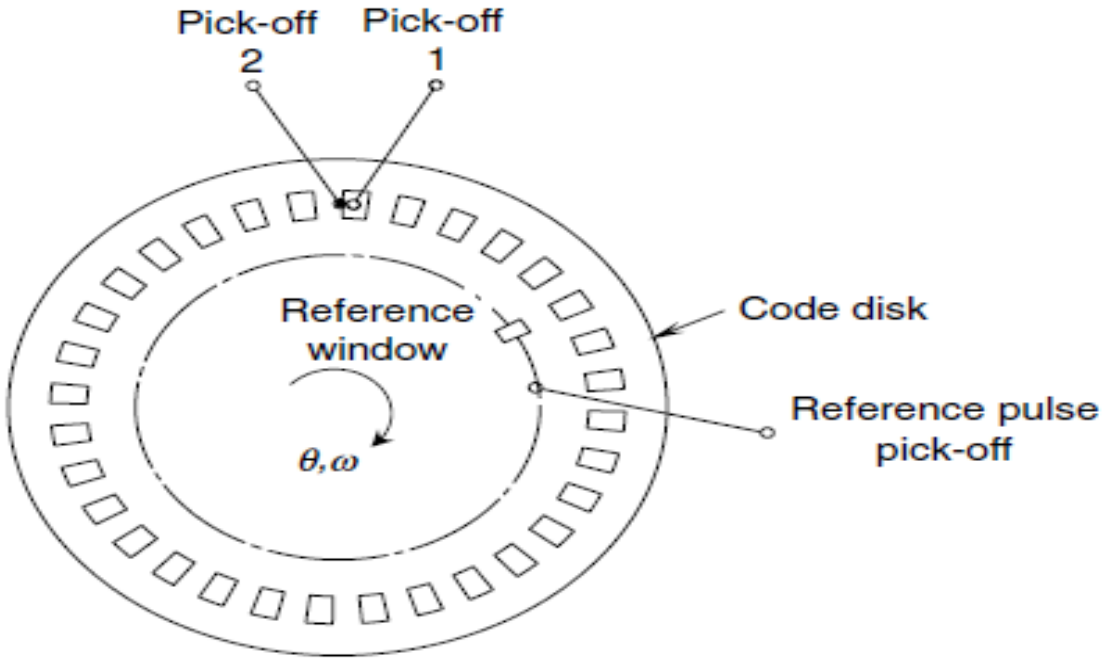
Schematic representation of a magnetic encoder

- يتم طباعة المنطقة المغناطيسية عالية القوة على قرص المرمز
- جهاز التقاط الإشارة عبارة عن محول صغير يحتوي على ملفات أولية وثانوية على قلب مغناطيسي دائري
- الميزة – لا تحتوي المرمزات المغناطيسية على حساسات تلامس

المرمز الضوئي المتزايد Encoder

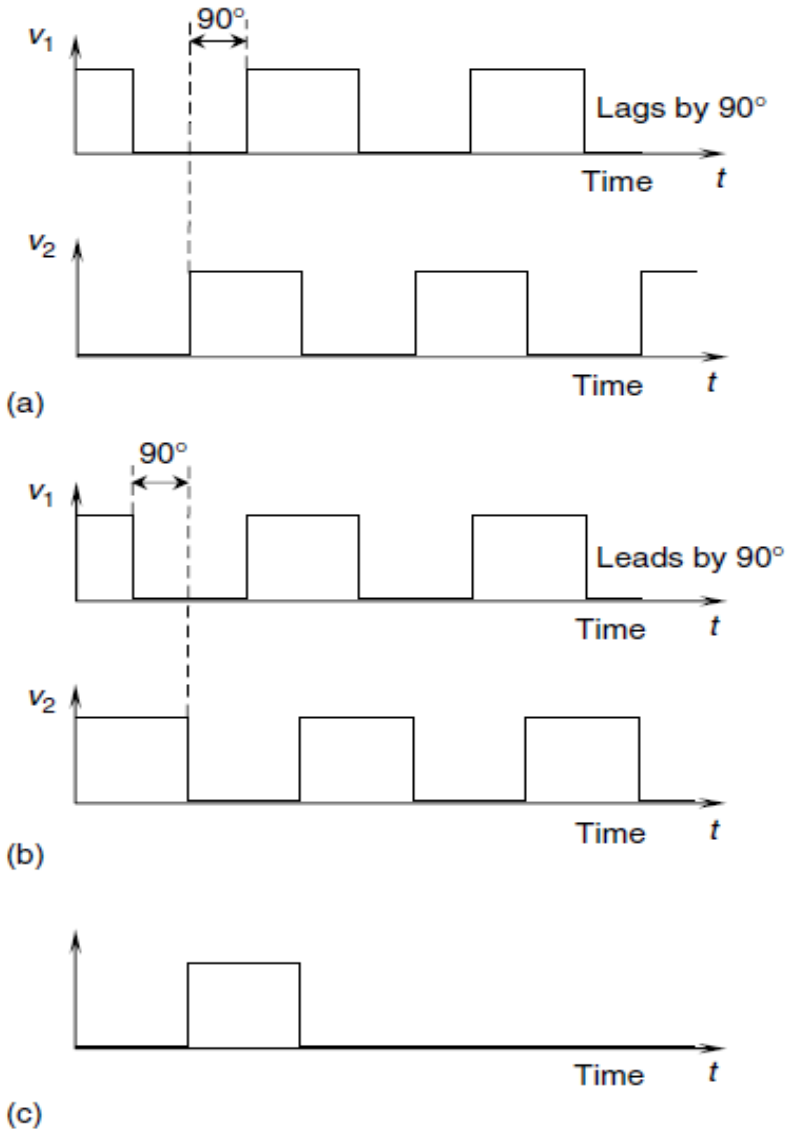


Shaped pulse signals from an incremental encoder (a) for clockwise rotation; (b) for counterclockwise rotation; (c) reference pulse signal.



An incremental encoder disk (offset sensor configuration).

المرمز الضوئي المتزايد : اتجاه الدوران



1

نلاحظ من الإشارات النبضية المُشكَّلة للمرمز:

-في اتجاه عقارب الساعة عندما يتأخر V1 عن V2 بمقدار ربع دورة (أي تأخر طور مقداره 90°)

- في عكس اتجاه عقارب الساعة عندما تسبق إشارة V1 إشارة V2 بمقدار ربع دور

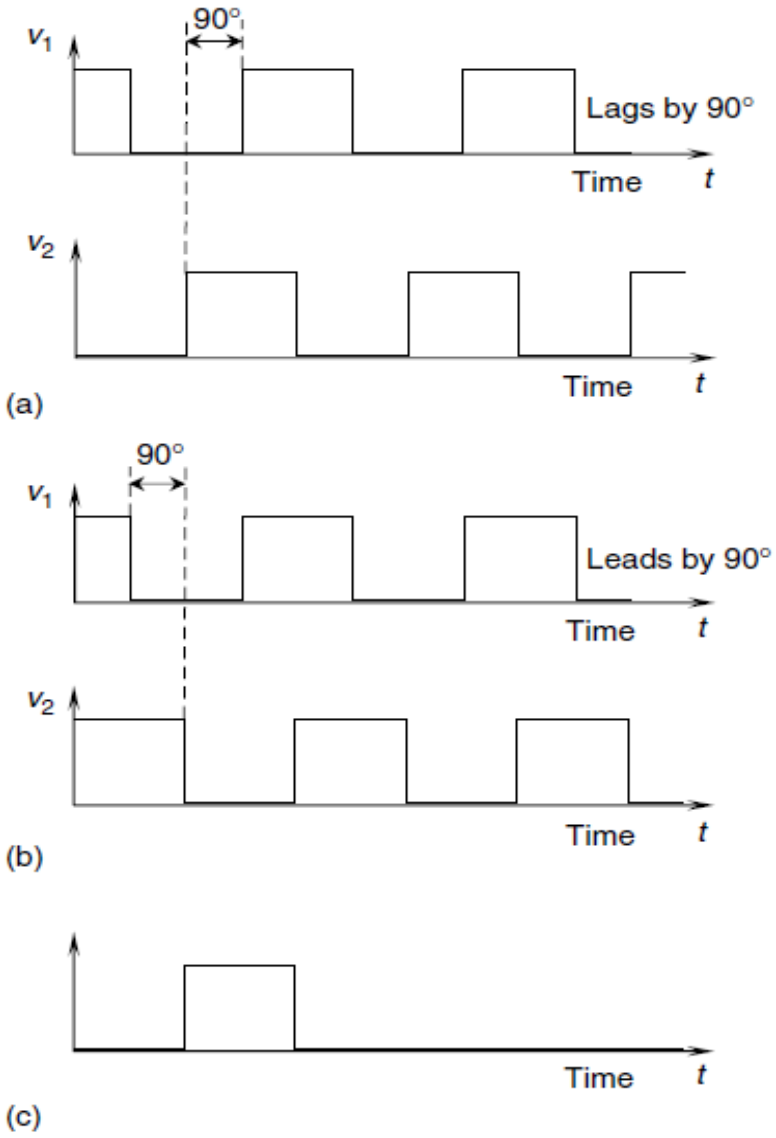
يتم الحصول على اتجاه الدوران من خلال تحديد فرق الطور لإشارات الخرج ، باستخدام دارة كاشف طور

2

تتمثل إحدى طرق تحديد فرق الطور في زمن النبضات باستخدام إشارة نبضات ساعة عالية التردد

افترض أن العد (التوقيت) يبدأ عندما تبدأ إشارة V1 في الارتفاع (أي عند اكتشاف حافة صاعدة)

المرمز الضوئي المتزايد : اتجاه الدوران



2

لنفترض أن n1هو عدد نبضات الساعة حتى الزمن الذي يبدأ فيه v2في الارتفاع، و n2هو عدد نبضات الساعة حتى الزمن الذي تبدأ فيه v1في الارتفاع مرة أخرى

إذا كان n1> n2-n1 ← اتجاه الدوران في اتجاه عقارب الساعة

إذا كان n1 <n2-n1 ← اتجاه الدوران عكس اتجاه عقارب الساعة

يمكن إعطاء طريقة أخرى لاكتشاف الاتجاه. في هذه الحالة ، نكتشف أولاً مستوى مرتفع (منطق مرتفع/ ١ منطقي) في الإشارة v2 ثم نتحقق مما إذا كانت الحافة في الإشارة v1 ترتفع أو تنخفض خلال هذه الفترة.

3

إذا كانت حافة صاعدة للإشارة V1 عندما V2 في المنطق المرتفع ← الدوران مع عقارب الساعة

إذا كانت حافة هابطة للإشارة V1 عندما V2 في المنطق المرتفع ← الدوران عكس عقارب الساعة

المرمز الضوئي المتزايد :
قياس الانتقال والدقة الرقمية

- يقيس المرمز المتزايد الانتقال كعدد نبضات ويقيس السرعة كتردد نبضات
- بفرض أن أقصى عدد ممكن هو M نبضة ومدى المرمز هو θmax ±
- يتم حساب الانتقال الزاوي θ المقابل لعدد النبضات n من العلاقة:

$$\theta = \frac{n}{M}\theta_{max}$$

الدقة الرقمية

تمثل دقة مرمز ما أصغر تغيير في القياس يمكن قياسه بشكل حقيقي

دقة الانتقال الزاوي

$$\Delta\theta = \frac{\theta_{max}}{M}$$

إذا كان حجم البيانات الرقمية المخزنة هو (r) بت مع السماح بوجود بت للإشارة، لدينا:

$$M = 2^{r-1}$$

المرمز الضوئي المتزايد : الدقة الرقمية

الدقة الرقمية تتوافق الدقة الرقمية مع تغيير الوحدة في قيمة البت، لذلك يمكن أن نكتب:

$$\Delta\theta_d = \frac{\theta_{max}}{2^{r-1}}$$

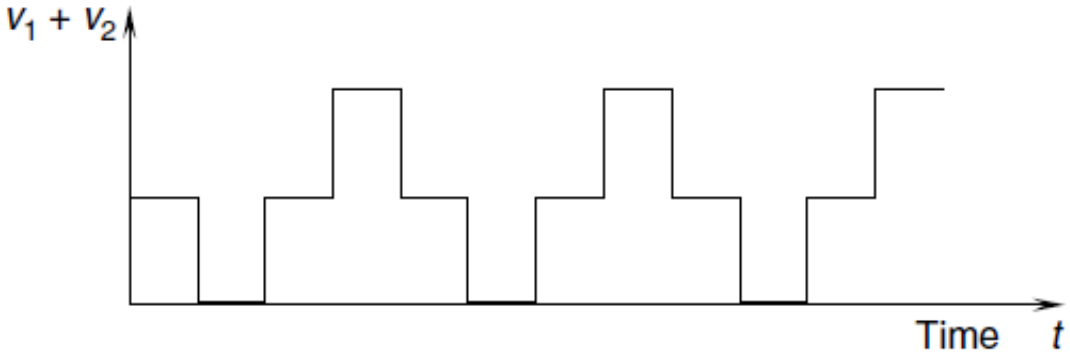
$$\Delta\theta = \frac{\theta_{max}}{M}$$

$$M = 2^{r-1}$$

$$\Delta\theta_d = \frac{180^\circ}{2^{r-1}} = \frac{360^\circ}{2^r}$$

عادةً ، $\theta_{max} = \pm 180$ درجة أو ٣٦٠ درجة

المرمز الضوئي المتزايد : الدقة الفيزيائية



Quadrature signal addition to improve physical resolution

الدقة الفيزيائية

- الدقة الفيزيائية للمرمز محكومة بعدد النوافذ N في قرص المرمز
- إذا تم استخدام إشارة نبضية واحدة فقط (بدون تحسس الاتجاه) وإذا تم اكتشاف الحواف الصاعدة للنبضات فقط، تعطى هذه الدقة 360°/N حيث N عدد النوافذ
- باستخدام كلتا الإشارتين التربيعتين مع الأخذ في الاعتبار التغيرات الصاعدة والهابطة ، فإن الدقة الفيزيائية هي

$$\Delta\theta_{\mathrm{P}} = \frac{360^\circ}{4N}.$$

القيمة الأعلى بين قيمتي الدقة الفيزيائية والدقة الرقمية تمثل قيمة **دقة الانتقال**

ملاحظة:

في التصميم المثالي، الدقة الفيزيائية تساوي الدقة الرقمية

المرمز الضوئي المتزايد :
الدقة الرقمية والدقة الفيزيائية (مثال)

بفرض تصميم مرمز ضوئي متزايد بشكل مثالي، أوجد علاقة تربط البارمترات التالية d, w, r حيث:

d: نصف قطر قرص المرمز

w: عدد النوافذ بواحدة نصف قطر القرص

r: حجم الكلمة (بالبيتات) لقياس الزاوية

بفرض استخدام الإشارات التربيعية. أوجد نصف قطر القرص إذا علمت أن r = 12 و w = 500/cm

الحل: لدينا في هذه الحالة تصميم مثالي وبالتالي الدقتين الفيزيائية والرقمية متساويتين. الدقة الفيزيائية (بفرض استخدام الإشارات التربيعية) تعطى بالعلاقة:

$$\Delta\theta_P = \frac{1}{4}\left(\frac{360}{wd}\right)^\circ .$$

المرمز الضوئي المتزايد :
الدقة الرقمية والدقة الفيزيائية (مثال)

الحل: تتعلق الدقة الرقمية بحجم الكلمة الرقمية كما في العلاقة:

$$\Delta\theta_{\mathrm{d}} = \left(\frac{360}{2^r}\right)^{\circ}$$

من أجل التصميم المثالي،

$$\Delta\theta_{\mathrm{p}} = \Delta\theta_{\mathrm{d}},$$

$$\frac{1}{4}\frac{360}{wd} = \frac{360}{2^r}.$$

$$wd = 2^{r-2}$$

بالفرض لدينا w = 500/cm و r = 12

$$d = \left(\frac{2^{12-2}}{500}\right)\mathrm{cm} = 2.05\ \mathrm{cm}.$$

المرمز الضوئي المتزايد: قياس السرعة

هناك طريقتين لتحديد السرعة باستخدام المرمز الضوئي المتزايد هما:

١. **طريقة عد النبضات**: يُقاس في هذه الطريقة عدد النبضات خلال فترة التقطيع، هي طريقة غير جيدة في حالة السرعات المنخفضة

٢. **طريقة زمن النبضات:** يُقاس في هذه الطريقة زمن دورة واحدة للمرمز، وهي طريقة مناسبة للسرعات المنخفضة

طريقة عد النبضات:

- لحساب السرعة الزاويّة، إذا كان عدد النبضات خلال فترة التقطيع T يساوي n، الزمن الوسطي للنبضة الواحدة تساوي T/n
- إذا كان القرص يحتوي على N نافذة، زاوية النبضة الواحدة تساوي $2\pi/N$

وبالتالي السرعة الزاوية

$$\omega = \frac{2\pi/N}{T/n} = \frac{2\pi n}{NT}.$$

في حال استخدام الإشارات التربيعية، نستبدل N بـ 4N في العلاقة السابقة

المرمز الضوئي المتزايد: قياس السرعة

هناك طريقتين لتحديد السرعة باستخدام المرمز الضوئي المتزايد هما:

١. **طريقة عد النبضات**: يُقاس في هذه الطريقة عدد النبضات خلال فترة التقطيع، هي طريقة غير جيدة في حالة السرعات المنخفضة

٢. **طريقة زمن النبضات**: يُقاس في هذه الطريقة زمن دورة واحدة للمرمز، وهي طريقة مناسبة للسرعات المنخفضة

طريقة زمن النبضات

- يتم في هذه الطريقة قياس زمن نبضة واحدة للمرمز (الزاوية بين نافذتين متتاليتين) بواسطة إشارة نبضات ساعة عالية التردد
- إذا كان تردد نبضات الساعة يساوي f وتم عد m نبضة خلال فترة المرمز(بين نافذتين)، الزمن بين نافذتين يساوي m/f، و الزاوية بين نافذتين تساوي $2\pi/N$

وبالتالي السرعة الزاوية

$$\omega = \frac{2\pi/N}{m/f} = \frac{2\pi f}{Nm}.$$

المرمز الضوئي المطلق

- يولد المرمز المطلق مباشرة كلمة رقمية مرمزة لكل تموضع زاوي متقطع في قرص المرمز
- على عكس المرمز المتزايد، لا يوجد عدّ نبضي مضمن

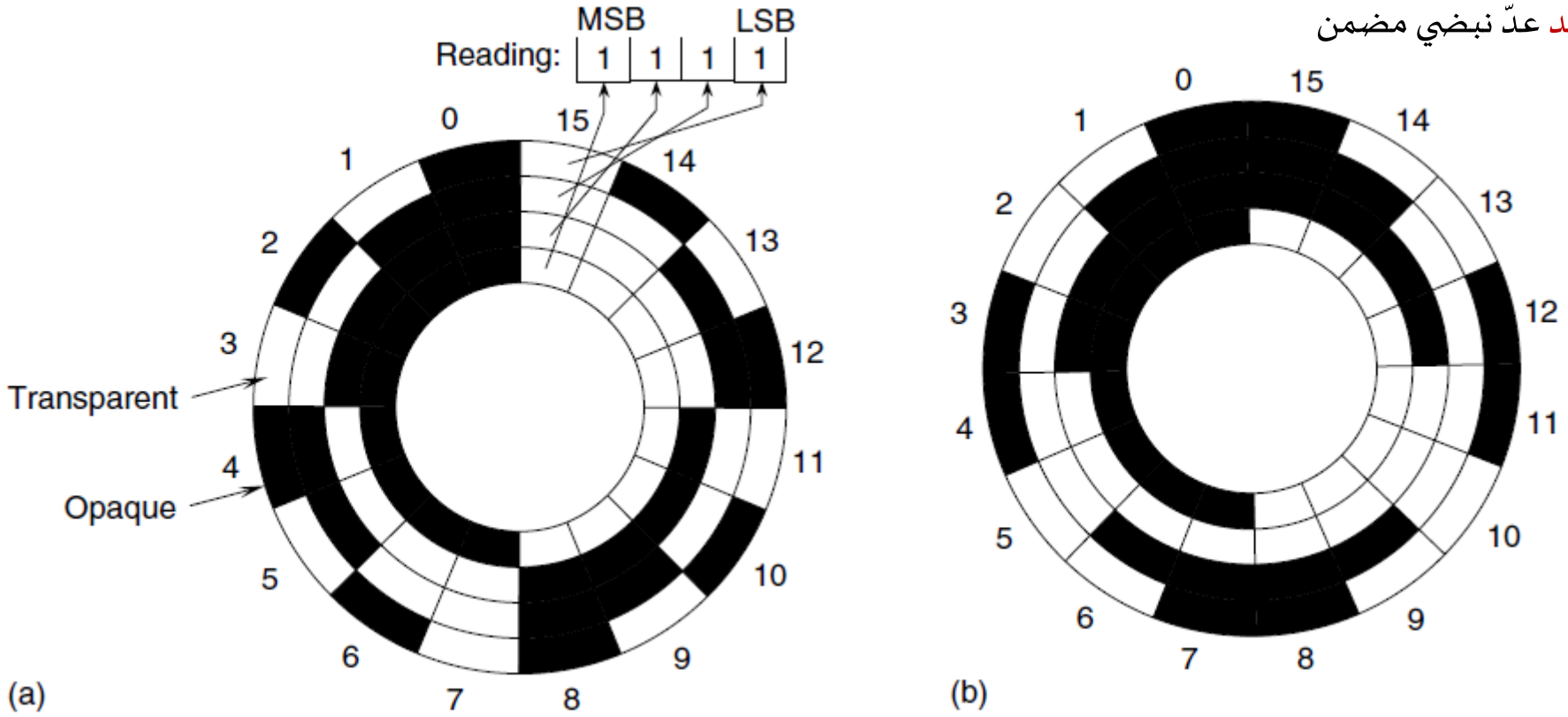


Illustration of the code pattern of an absolute encoder disk: (a) Binary code; (b) a gray code.

المرمز الضوئي المطلق

- إذا كان هناك مسارات، فإن قرص المرمز سيُقسَّم إلى قطاعات عددها يساوي 2^n حيث n عدد بيتات كلمة الترميز. بفرض n=16 فإن قرص المرمز سيُقسم إلى ٦٥٥٣٦ قطاع زاوي قياس كل منها يساوي

$$\Delta\theta = \frac{360^0}{2^{16}} = 0.0055^0$$

الترميز الرمادي

- سيئة الترميز الثنائي أنه يحتاج إلى تبديل أكثر من بت في الانتقال الواحد، وهذا يمكن أن يقود إلى أخطاء في الإشارة المولدة سببها عدم القدرة على ضبط سرعة التبديل
- باعتبار الانتقال من 0011 (3rd sector) إلى 0100 (4th sector)، هنالك ثلاثة بتات تحتاج إلى تبديل، بفرض تبدل البت (LSB) بصورة أسرع من البتين الآخرين فإننا سوف نحصل على 0010 (2nd sector)، الذي يدل على الدوران بالاتجاه المعاكس..
- في الترميز الرمادي، يحتاج كل انتقال إلى تبديل بت واحد فقط

المرمز الضوئي المطلق

- من أجل أحجام صغيرة للكلمات الرقمية، يمكن أن يعطى الترميز على شكل جدول كما هو مبين في الشكل

Sector Coding for a 4-bit Absolute Encoder

Sector Number	Straight Binary Code (MSB → LSB)	A Gray Code (MSB → LSB)
0	0 0 0 0	0 0 0 0
1	0 0 0 1	0 0 0 1
2	0 0 1 0	0 0 1 1
3	0 0 1 1	0 0 1 0
4	0 1 0 0	0 1 1 0
5	0 1 0 1	0 1 1 1
6	0 1 1 0	0 1 0 1
7	0 1 1 1	0 1 0 0
8	1 0 0 0	1 1 0 0
9	1 0 0 1	1 1 0 1
10	1 0 1 0	1 1 1 1
11	1 0 1 1	1 1 1 0
12	1 1 0 0	1 0 1 0
13	1 1 0 1	1 0 1 1
14	1 1 1 0	1 0 0 1
15	1 1 1 1	1 0 0 0

المرمز الضوئي المطلق

قياس السرعة

- يمكن أن يستخدم المرمز المطلق لقياس السرعة الزاوية حيث يمكن استخدام إحدى طريقتين:

١. **طريقة زمن النبضة**: يُقاس الفاصل الزمني بين قراءتين متتاليتين باستخدام نبضات ساعة ذات تردد عالي (2MHz)

تبدأ نبضات الساعة وتتوقف بواسطة كلمة مرمزة ويُستخدَم عداد ليعد نبضات الساعة

٢. **طريقة قياس الزاوية**: يُقاس التغير في الزاوية خلال فترة التقطيع

المزايا والعيوب:

- القياسات جميعها مرمزة وبالتالي لا داعي لاستخدام دارات ملاءمة
- إذا فُقدَت قراءة ما فهذا لن يؤثر على القراءات المتسلسلة
- يحتاج للمراقبة أو التغذية بالطاقة فقط عند أخذ القراءة
- أغلى تكلفة من المرمز المتزايد