



جامعة المنارة

كلية الهندسة

هندسة الميكاترونك

مقرر التجهيزات والقياسات الكهربائية

## Lecture 6

المشفرات الضوئية

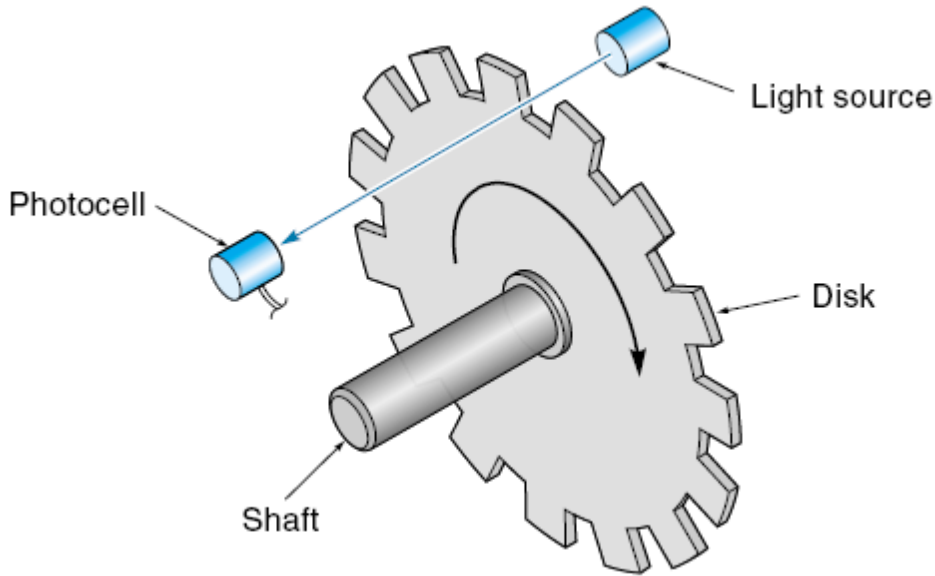
**Optical Encoders**

مدرس المقرر  
أ.د. بسام عطية

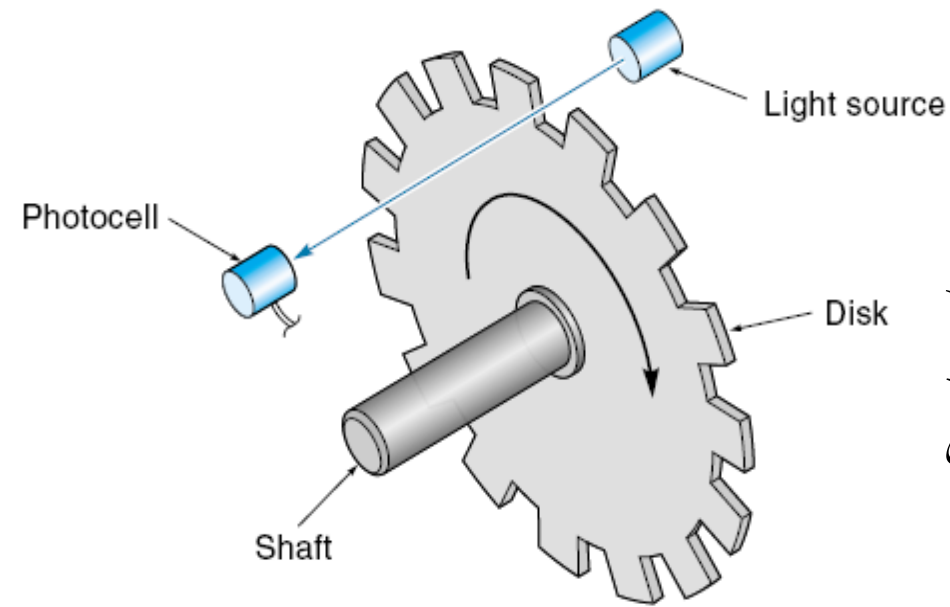
## المشفر الضوئي الدوار: Optical Rotary Encoders

تستخدم المشفرات الضوئية بشكل عام كمقاييس لتحديد وضعية المحاور الدوارة وسرعة دورانها (تحديد زاوية وسرعة دوران محور المحرك الكهربائي).

يظهر المشفر الضوئي الدوار بيانات الموقع الزاوي بشكل رقمي مباشر دون استخدام محول ADC converter.



يبين الشكل القرص المسنن (slotted disk) والمثبت على المحور (shaft). يركب على جانبي القرص وبشكل متقابل مرسل ضوئي (light emitter) وحساس ضوئي (light detector) تعمل على الأشعة تحت الحمراء (IR infra-red light) مشابهة لمبدأ أجهزة التحكم للتلفزيونات (television remote controls) والتي تعمل أيضا على أطوال موجات تساوي طول موجة الأشعة تحت الحمراء.



يُثبت القرص على محور دوار، يراد تحديد وضعيته أو سرعة دورانه أو التحكم بسرعة دورانه. يتحسس المستقبل الضوئي الضوء في حال عدم توفر حاجز بين المستقبل والمرسل. تستقبل الحساسات الضوئية الضوء بشكل متقطع من خلال الفراغات بين أسنان القرص.

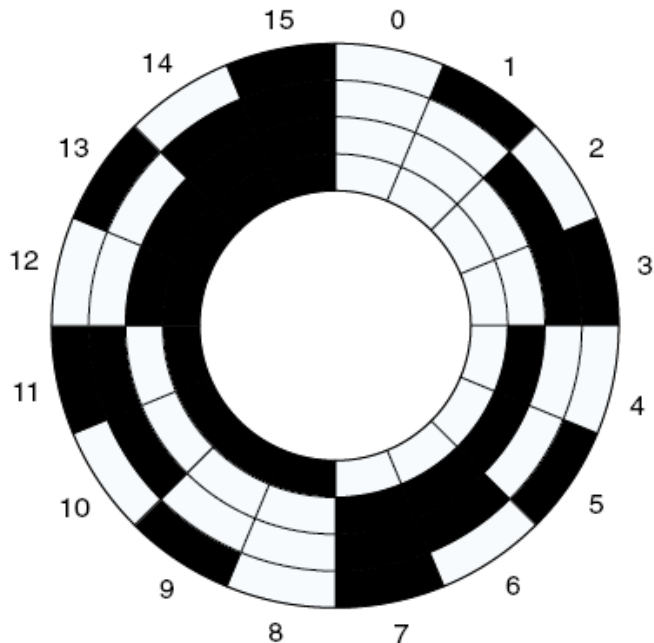
بذلك يتشكل على خرج الحساس الضوئي نبضات منطقية (logic pulses) 1 0 1 0

**يوجد نوعان من المشفرات:**

### 1. المشفر المطلق: absolute encoder

يتشكل من قرص زجاجي بأربع دوائر و  $2^4 = 16$  قطاع. تطلّى بعض المناطق حسب الشكل باللون الأسود المانع لمرور الضوء حسب ترتيب العد الثنائي.

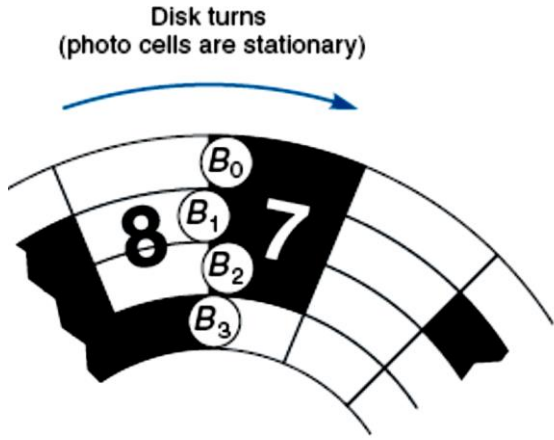
يركب على طرفي القرص أربع حساسات ضوئية يشكل كل منها 1 bit من كلمة الخرج الرقمية output digital word والتي تتشكل من 4-bit ترسل إلى الخرج.



**يتحدد (resolution)** من نسبة الزاوية الكلية (360 درجة) إلى عدد القطاعات في القرص (16) والتي تعادل  $360^\circ/16 = 22.5^\circ$ ، من أجل تحسين التمييزية يمكن زيادة عدد الدوائر (tracks) حسب الحاجة.

فعلى سبيل المثال: إذا كان القرص يتشكل من 8 دوائر، يوجد  $2^8 = 256$  حالة بذلك تكون التمييزية ( $360^\circ/256 = 1.4^\circ/\text{state}$ ) وهذا يعني أننا بهذا التمثيل نستطيع تحديد زاوية صغيرة تعادل (1.4 درجة) فقط (لا تتحسس الزوايا الأقل من 1.4)، ومن أجل 10 دوائر ( $2^{10} = 1024 \text{ states}$ ) بذلك تكون التمييزية ( $360^\circ/1024 = 0.35^\circ/\text{state}$ ) وهذا يعني أننا بهذا التمثيل نستطيع تحديد زاوية صغيرة تعادل (0.35 درجة) فقط (لا تتحسس الزوايا الأقل من 0.35).

**تمتاز هذه المشفرات بعدم حاجتها إلى محول (ADC)** بحيث يظهر إشارة الخرج مباشرة بشكل رقمي ويحدد الموقع المطلق للهدف، في حين يقوم المشفر النسبي (incremental encoder) بتحديد الموقع النسبي. من سيئاته انه غالي الثمن نتيجة حاجته إلى عدد من الحساسات المثبتة بشكل دقيق.



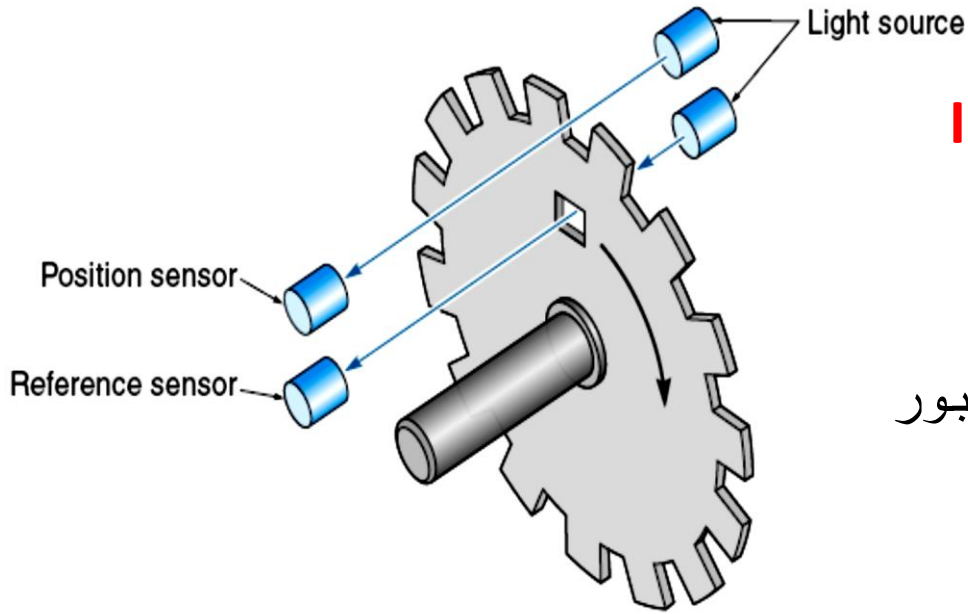
8	5	7	
0	1	1	$B_0$
0	0	1	$B_1$
0	1	1	$B_2$
1	0	0	$B_3$

↑  
Erroneous state

إذا تم تثبيت الحساسات بشكل غير دقيق فان ذلك سوف يؤدي إلى أخطاء في معلومات الخرج الشكليين مثل هذه الحالات.

عند الانتقال من القطاع 7 الذي يوافق حالة الخرج (0111) إلى القطاع 8 والذي يجب أن يوافق حالة الخرج 8 (1000) ، نجد في حال عدم تمرکز الحساسات على خط مستقيم كما هو مبين في الشكل والذي يشكل خطأ في تثبيت الحساس  $B_1$  (يتقدم عن بقية الحساسات) حيث يتم تحول وضعيته من 1 إلى 0 قبل الحساسات الأخرى والذي يمثل الوضع في القطاع (0101) 5.

لاحظ أن القرص محدد لعداد ثنائي عند الانتقال من قطاع إلى آخر والذي يشكل زيادة 1 bit.



## 2. المشفرات الضوئية النسبية: Incremental Optical Encoders

يبين الشكل طبيعة القرص المستخدم والذي يتشكل من أسنان على المحيط.

يتم تحديد الموضع بناء على عدد الأسنان التي تعبر الحساس الضوئي. إن عبور سن عبر الحساس يمثل زاوية محددة تعتمد على عدد الأسنان المشكلة للقرص.

يحتاج هذا النظام إلى تحديد نقطة مرجعية للقياس باستخدام حساس مرجعي (reference sensor)، يركب أمام فتحة في

القرص أو باستخدام مفتاح نهاية شوط (limit switch).

نحتاج في بعض التطبيقات بالإضافة إلى تحديد موضع المحور الدوار تحديد تغيرات الموضع وتحديد اتجاه الدوران والمثال

التالي يبين ذلك:

**مثال:**

**المطلوب تصميم نظام دوران قرص بعدد أسنان 360 عندما يكون القرص في الوضعية المرجعية ووفق تتابع المراحل التالية:**

a. المرحلة الأولى: دوران القرص 100 سن بالاتجاه الموجب.

b. المرحلة الثانية: دوران القرص 30 سن بالاتجاه السالب.

c. المرحلة الثانية: دوران القرص 45 سن بالاتجاه الموجب.

**الحل:**

بما أن عدد أسنان القرص 360 فإن كل سن يوافق درجة واحدة.

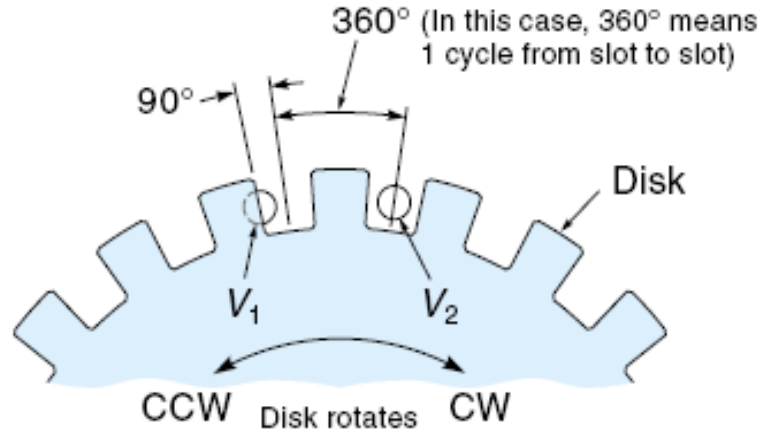
إن دوران القرص 100 سن في الاتجاه الموجب يعادل دوران القرص 100 درجة في الاتجاه الموجب، و دوران 30 سن في

الاتجاه السالب يوافق دوران القرص بزاوية معاكسة تعادل 30 درجة والتي توافق زاوية مرجعية تعادل 70 درجة و دوران 45 سن

بالاتجاه الأمامي يوافق دوران القرص بزاوية موجبة تعادل 45 درجة والتي توافق زاوية مرجعية تعادل 115 درجة.

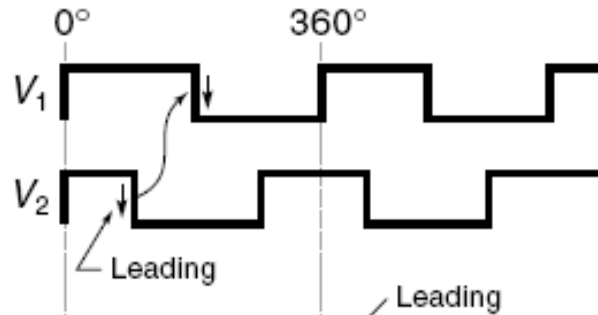
## لا يمكننا باستخدام حساس وحيد (absolute encoder) تحديد اتجاه الدوران.

(a) Two-photosensor arrangement to determine direction

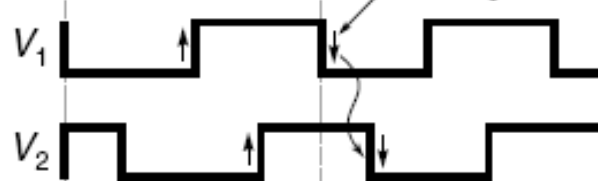


### إشارات الحساسات في الاتجاهين العكسي CCW والأمامي CW.

(b) CCW—Photocell waveforms for counterclockwise



(c) CW—Photocell waveforms for clockwise



يبين الشكل طريقة تشكيل القرص بحساسين V<sub>1</sub> و V<sub>2</sub> يوضعان بانزياح محدد والتي تمثل حالة V<sub>1</sub> (off) و V<sub>2</sub> (on).

عند دوران القرص بالاتجاه المعاكس CCW يصبح V<sub>1</sub> في حالة on في حين يحافظ V<sub>2</sub> على حالة on وباستمرار الدوران ينتقل V<sub>2</sub> إلى حالة off وبعد تأخير زمني يصبح الحساسان في وضع off.

### بمقارنة الحالتين نجد:

عند الدوران بالاتجاه العكسي CCW يكون V<sub>2</sub> leads V<sub>1</sub> by 90°.

عند الدوران بالاتجاه الأمامي CW يكون V<sub>1</sub> leads V<sub>2</sub> by 90°.

من هذا الاختلاف نحدد جهة دوران القرص.



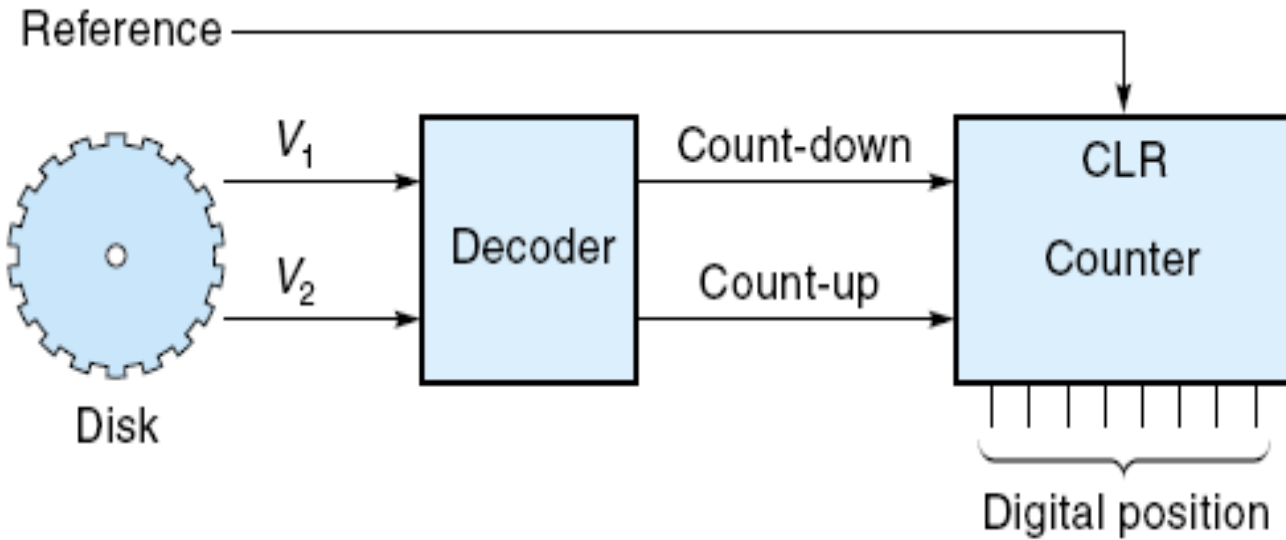
## فك الشفرة: $V_1$ and $V_2$ Decoding

الدارات الملحقة مع هذه المشفرات تكون ابسط من دارات المشفر المطلق إلا أنها **لا تعطي التمثيل الثنائي مباشرة على الخرج** وتحتاج إلى دارات خاصة لتحويل الإشارات الضوئية إلى العد الثنائي.

**تتألف هذه الدارات من جزئيين:**

**الأول:** فك الشيفرة (Decoder) يحدد اتجاه الدوران.

**الثاني:** يمثل عداد صاعد هابط (Counter up-down).



نلاحظ أن خرج Decoder يحوي على طرفين

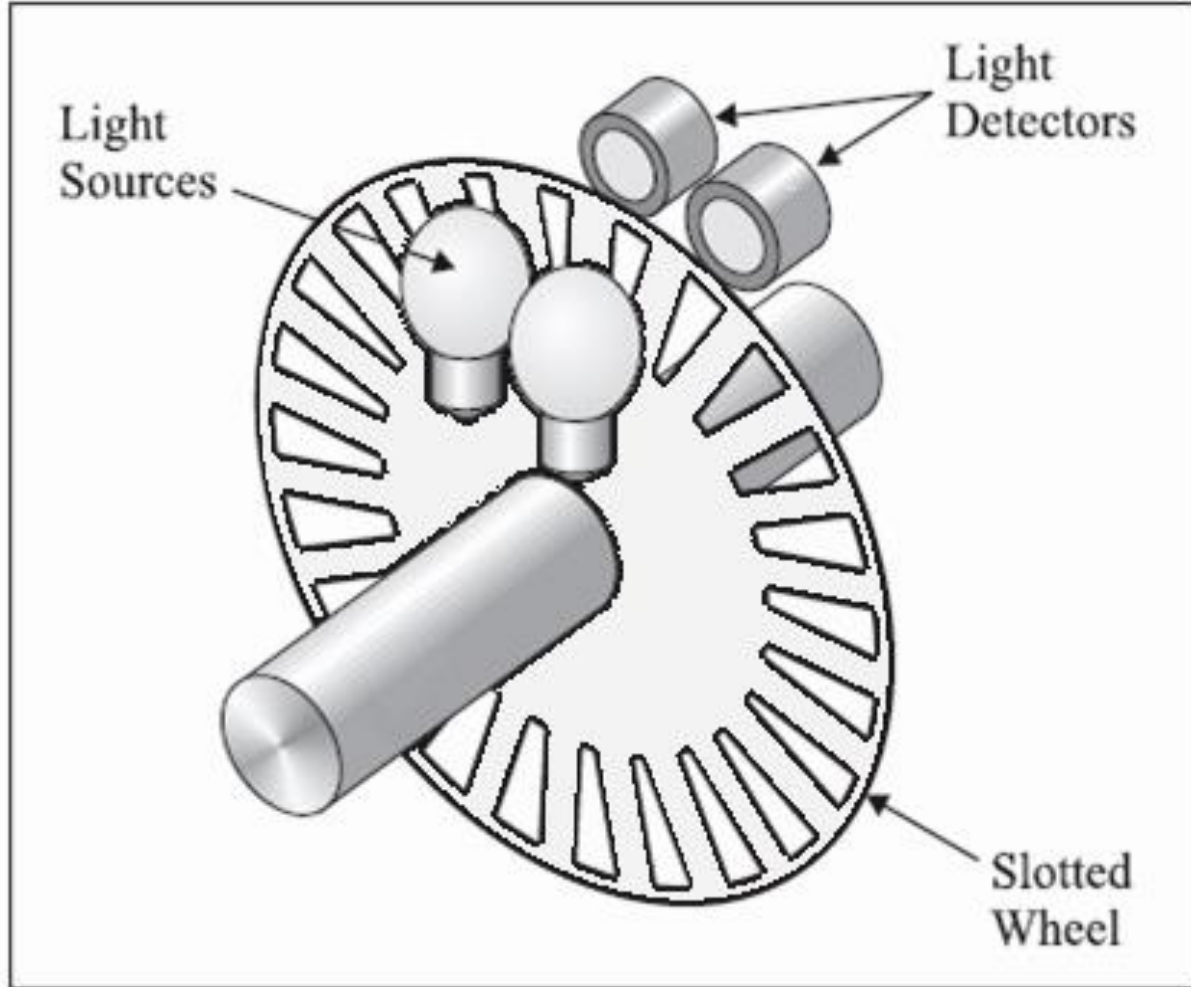
“count-down” and “count-up”.

يتم تفعيل إشارة العد التنازلي **count-down عند الدوران العكسي**، بينما يتم تفعيل إشارة العد المتزايد **count-up عند الدوران بالاتجاه الأمامي**.

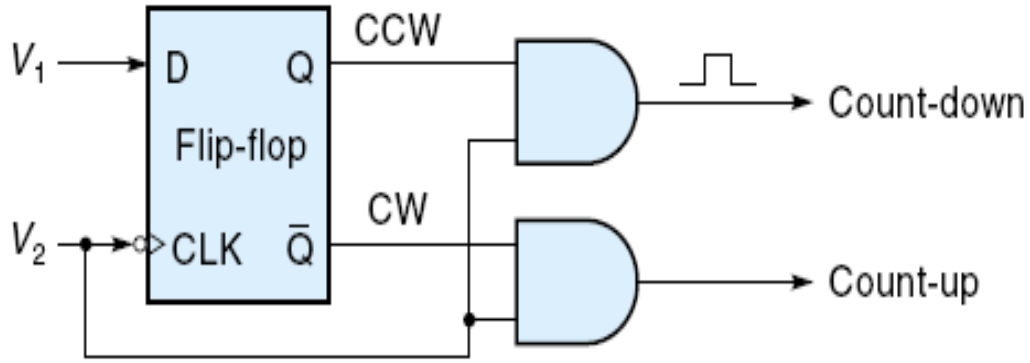
تشكل هذه الإشارات دخل لعداد up-down counter (TTL 74193).

يبدأ العداد بالعد من القيمة المرجعية التي تعادل الصفر (يتم التصفير عادة باستخدام الحساس المرجعي reference sensor).

## يمكن تشكيل قرص المشفر بشكل آخر:



يفصل ما بين المستقبلات والمرسلات الضوئية قناع (قرص) بلاستيكي (plastic mask) اسود اللون مفرغ بشكل قطاعات متساوية الأبعاد على محيط القرص



دائرة Decoder

الشكل التالي يبين دائرة Decoder والتي تتشكل من

AND gates single D-type flip-flop and two

لفهم الية عمل Decoder نعود الى اشارات الحساسات V1 و V2.

نميز اتجاه الدوران من الشروط التالية:

عند الدوران بالاتجاه العكسي: يتحول V2 الى جهد منخفض عندما يكون V1 بجهد عالي .

عند الدوران بالاتجاه الامامي: يتحول V2 الى جهد منخفض عندما يكون V1 بجهد منخفض .

نربط V2 الى negative-going clock of the flipflop و V1 مع دخل D.

عند تحول V2 إلى جهد منخفض (دوران عكسي) وسوف يظهر على خرج المساك (Q) إشارة V1 وسوف يظهر جهد على

الخرج count-down.