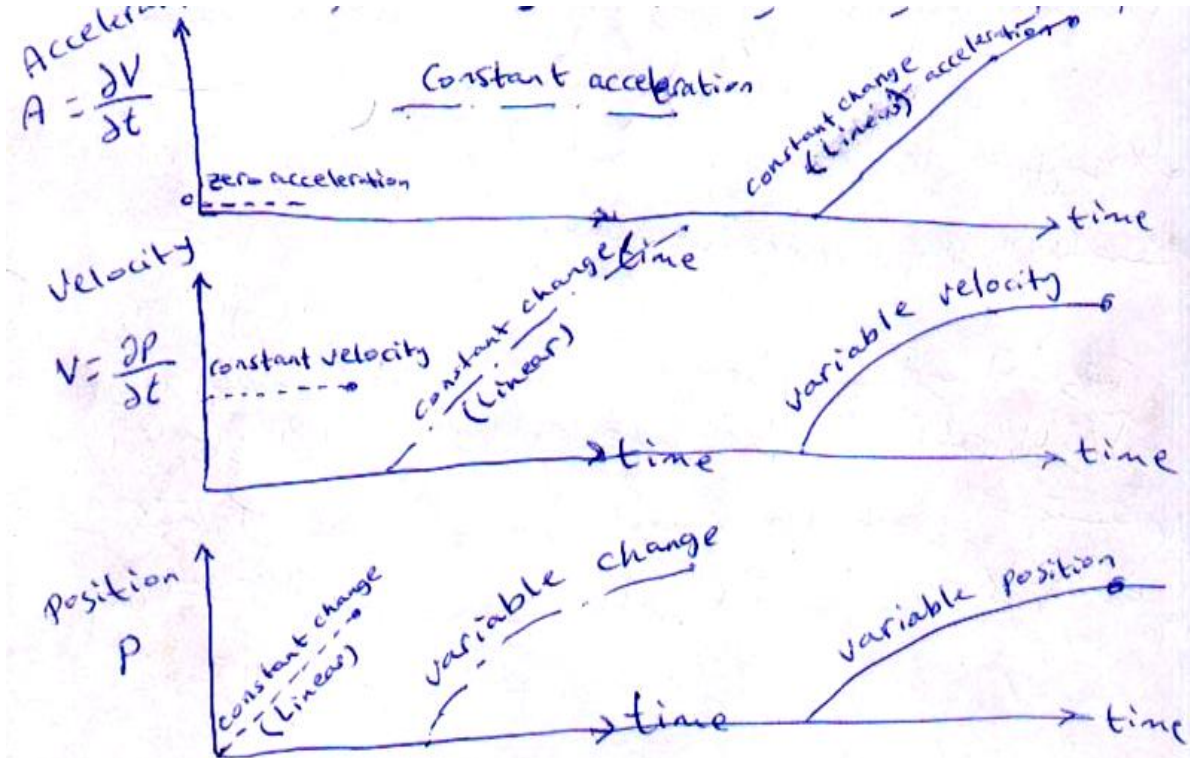


السيطرة على السرعة والموقع (CONTROL OF SPEED AND POSITION)

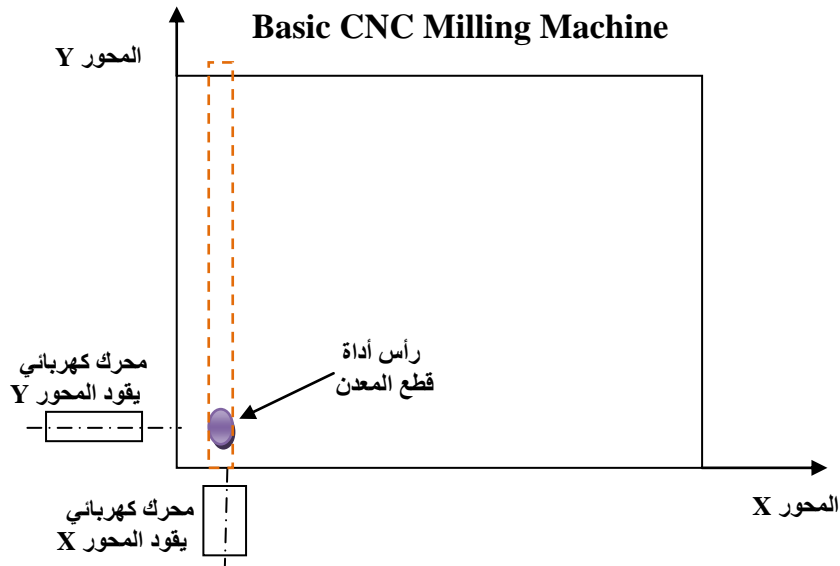
عند بناء منظومات الحركة الميكانيكية – كهربائية تتطلب في الكثير من التطبيقات مراقبة والسيطرة على المتغيرات التالية:

Position, Velocity, Acceleration, Force and Torque

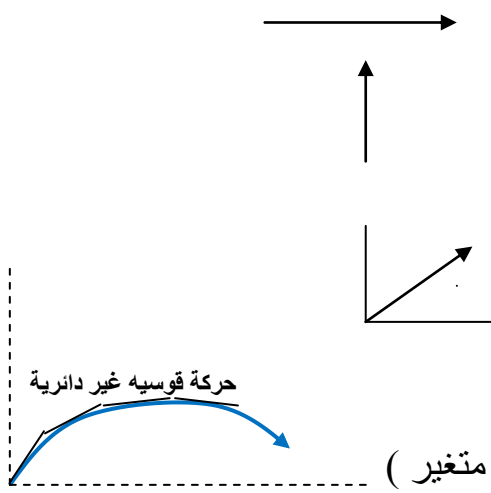
غالباً ما تستخدم مخططات الزمن (*Time domain*) لوصف القيم اللحظية للمتغيرات التي تتطلب المراقبة وتكمن الحاجة للسيطرة على هذه المتغيرات نتيجة للتغيرات العديدة التي تطرأ سواء لتحقيق متطلبات عمله الحقيقية أو المتغيرات المحيطة كالبينة وغيرها .



على سبيل المثال لنفترض وجود منظومة ذات محوري حركة متعامدين (إحداثيات Y- X) *Cartesian coordinate* لرأس قطع معدن (*Metal cutting spindle*)



ولغرض إجراء عمليات القطع للإشكال المطلوبة يستوجب الحركة المسيطر عليها لكل من محوري X و Y ضمن مجموعة من خيارات الحركة وكما يلي:-

- حركة محور X فقط
 - حركة محور Y فقط
 - حركة محوري X و Y
بسرعة ثابتة ومتساوية
 - حركة محوري X و Y
بسرعة متغيرة لكل منهما (وقد يكون بتسارع متغير)
- 

لعملية برمجة المسار المطلوب للحركة يتبع بصورة عامة استخدام محصلة السرعة المطلوب إجراء الحركة وفقها وبالتالي حساب السرعة النسبية لكل من محاور الحركة. أن معرفة السرعة النسبية لكل من محاور الحركة يعني إمكانية حساب زمن التجهيز للتيار الخاص بكل محرك وفقاً لما يلي :

$$V_{motor} = \frac{\text{Required Position} - \text{Current Position}}{\text{Time}}$$

Required Position: النقطة التي يتطلب الوصول لها عند الحركة

Current Position: الموقع الحالي

V_{motor} : السرعة النسبية للمحرك

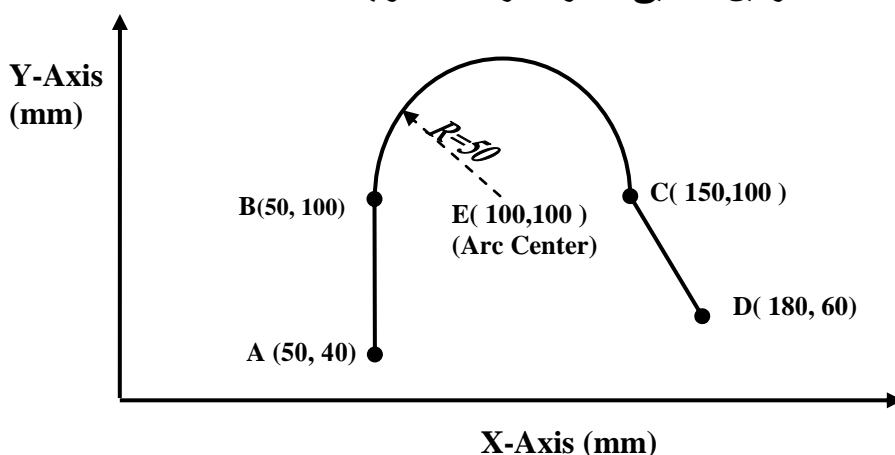
Time : الزمن اللازم لتجهيز التيار

(ملاحظة هامة : يتم إجراء التحويل اللازم بين الحركة الدورانية والحركة الخطية وفقاً للمعادلات الأساسية الخاصة بالتحويل وباستخدام قيم المتغيرات للأجزاء الميكانيكية المربوطة على المحرك مثل صندوق التروس **Gear Box** والجرائد المسننة أو أعمدة القيادة **Power Screws**)

من الناحية النظرية (**Theoretical point of view**) وبإهمال قيم المؤثرات المتغيرة فإن السيطرة على الموقع وعلى السرعة تكون سهلة للغاية بأسلوب السيطرة المفتوحة (**Open Loop**) سواء تم استخدام محركات تيار مستمر أو متناوب أو خطة إلا إن ذلك من الناحية العملية غير ممكن لوجود متغيرات عديدة ضمن النظام، تتعلق بعزم القصور الذاتي والشروع بالحركة من قيمة التوقف أو تحقيق الاستجابة المطلوبة لتغيير السرعة (الزمن اللازم لتحقيق الاستجابة على سبيل المثال تغيير سرعة المحرك من 500 rpm إلى

800rpm لا يتم فجأة على هيئة عتبة *Step* وإنما سيكون تدريجي حسب نمط النظام المستخدم (وكذلك التأثير بالأحمال المتغيرة أثناء الحركة لمتغيرات ضمن النظام التصميمي للأجزاء او وجود أحمال خارجية وغيرها من الأسباب الأخرى) (يلاحظ إن الحصول على حركة مسار معينة قد تقتضي إجراء تغييرات عديدة في سرع المحركات في المنظومة بشكل يتناسب مع المسار المطلوب) .

مثال / منظومة حركة ذاتية ذات محوري حركة (x, y) يقودهما محركان نوع DC. يراد إجراء حركة مسار خطي و دوراني كما مبين في الشكل أدناه ، للانتقال من النقطة A خطياً إلى النقطة B ، ثم قوسياً بمسار نصف دائرة مركزها النقطة E للوصول إلى النقطة C ومن ثم بحركة خطية إلى النقطة D ، إذا علمت بأنه يتطلب انجاز الحركة بسرعة ثابتة خلال (9) ثواني وان زمن إرسال الإشارة المرسل لكل من المحركين هو (0.5) ثانية. عد جدول السرعة الخطية التي يتطلب انجازها تزامناً من قبل المحركين لتحقيق مسار الحركة المطلوب.



No. sect	Sx	Sy	Vx $\frac{dx}{dt}$	Vy $\frac{dy}{dt}$	V $= \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$
A → 1	0	14.84	0	29.68	29.68
1 2	0	14.84	0	29.68	"
2 3	0	14.84	0	29.68	"
3 4	0	14.84	0	29.68	"
4 5	2	14.05	4	28.1 ≈ 28.38	
5 6	6	13	12	26 ≈ 28.63	
6 7	10	11	20	22 ≈ 29.7	
7 8	12.5	8.5	25	15 ≈ 29.1	
8 9	14	4	28	8 ≈ 29.1	
9 10	15.0	1	30	2 ≈ 30.07	
10 11	14	4.5	28	9 ≈ 29.4	
11 12	12	9	24	18 ≈ 30	
12 13	8.7	12.5	17.4	25 ≈ 30.4	
13 14	5	18.9	10	28.8 ≈ 29.5	
14 15	4	14	8	28 ≈ 28	
15 16	8.904	11.875	17.8	23.75 ≈ 29.684	
16 17	8.904	11.875	"	"	"
17 → D	8.904	11.875	"	"	"

$$N = \frac{T}{t} = \frac{97}{0.5} = 186 \text{ ثواني}$$

$$S = \frac{S_T}{N} = \frac{267.08}{18} = 14.84$$

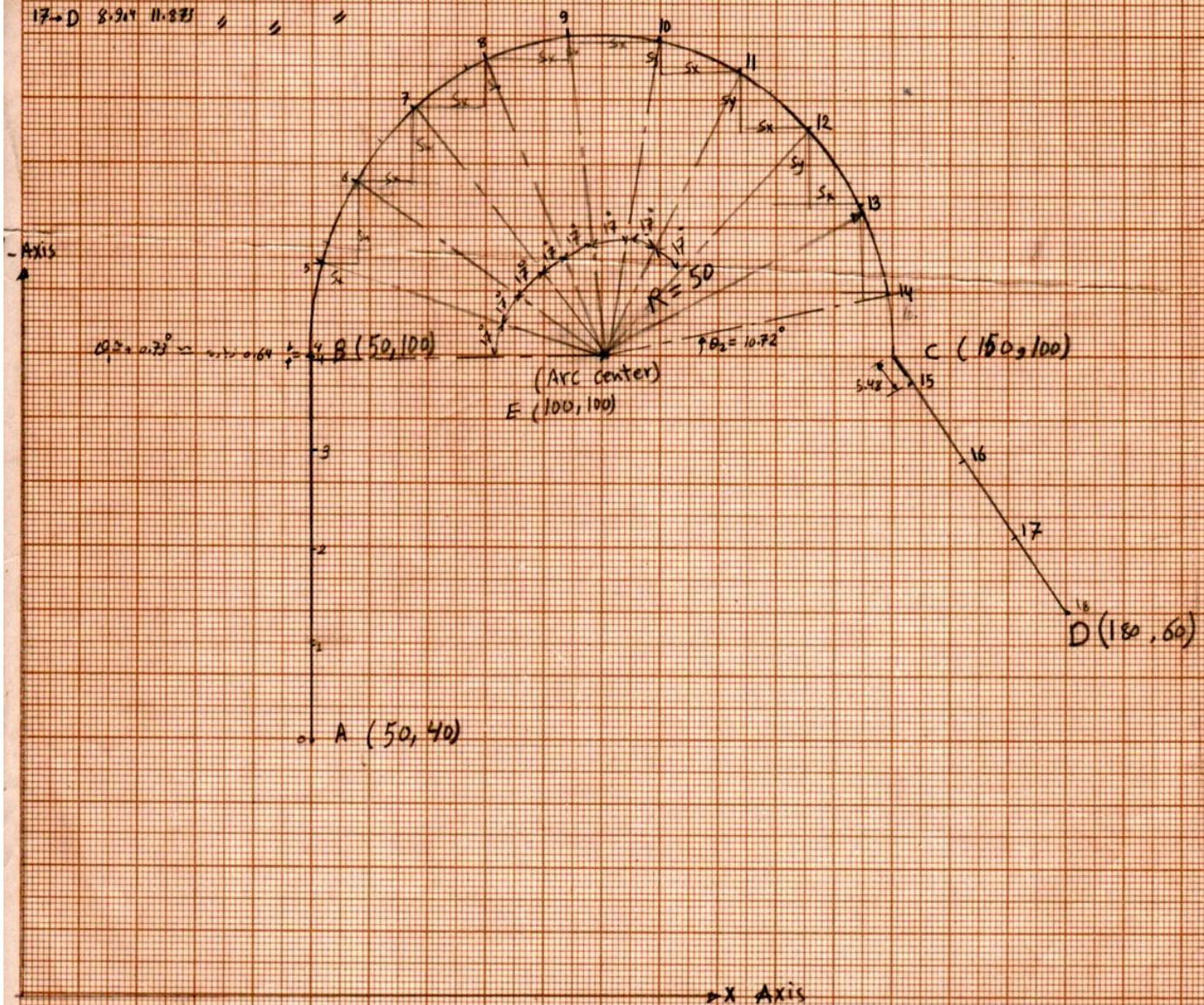
$$S_T = AB + \text{Arc}(BC) + CD$$

$$= 60 + \frac{\pi(100)}{2} + 50 = 267.08 \text{ mm}$$

$$V_T = \frac{S_T}{T} = \frac{267.08 \text{ mm}}{9 \text{ sec}} = 29.676 \frac{\text{mm}}{\text{sec}}$$

$$10 \times \theta_{\text{sector}} = 180^\circ + \theta_1 - \theta_2 = 180^\circ + 0.72^\circ - 10.72^\circ = 170$$

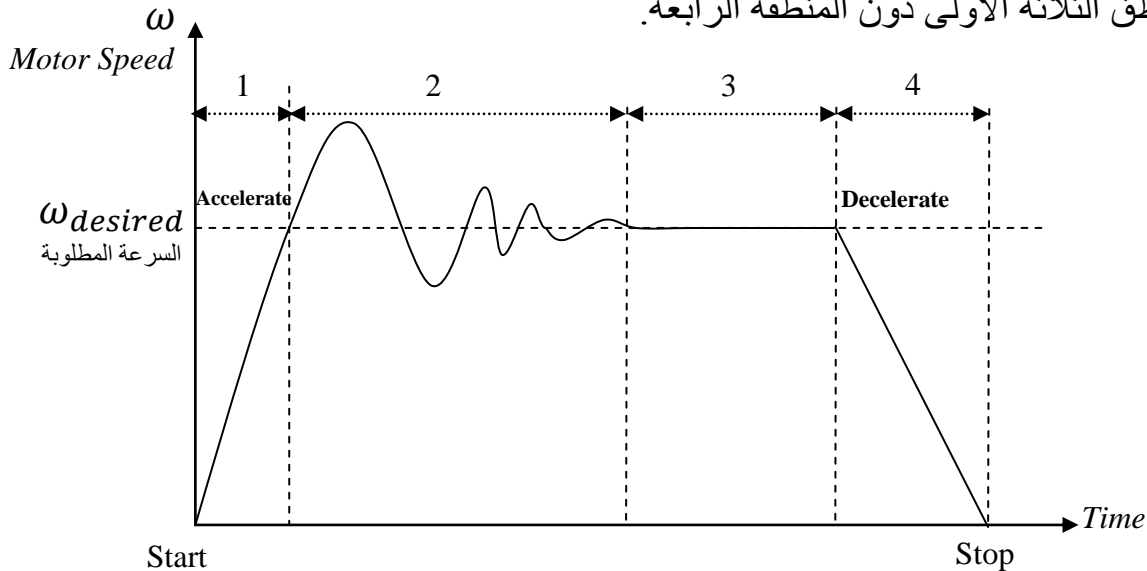
$$\theta_{\text{sector}} = 17^\circ$$



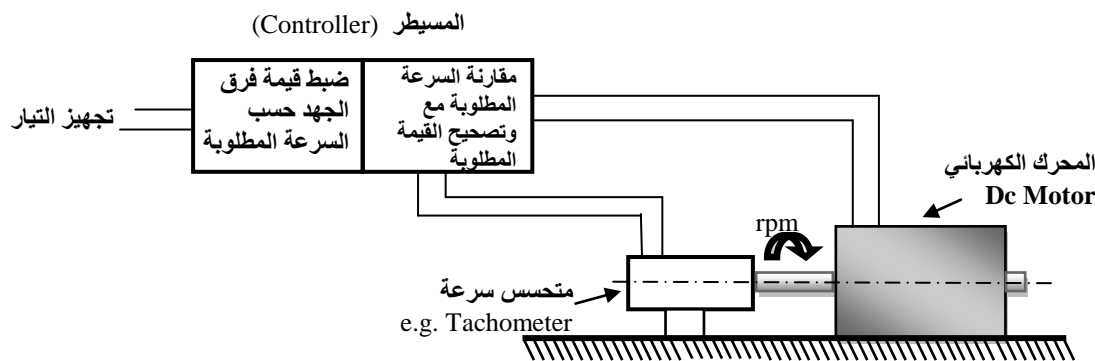
لو فحسنا بعمق المخطط الزمني لاستجابة محركات التيار المستمر أو المتناوب (*DC or AC Motors*) لبدء الحركة ولنفتراض بأنه قد تم تشغيل المحرك وإيقافه نلاحظ وجود أربعة مناطق مميزة ضمن المدى الزمني لتشغيل المحرك وهذه المناطق هي:

1. **منطقة الشروع (Starting of Motor):** - وهي تضم الفترة الزمنية اللازمة للوصول بسرعة المحرك إلى السرعة الدورانية المطلوبة ويلاحظ في هذه المرحلة بأنه يتطلب من المحرك التغلب على عزم القصور الذاتي ومتغيرات الخاصة بالمحرك (التصميمية) مثل الاحتكاك ومقاومة الفحمات *Brushes* وبالتالي يلاحظ زيادة سرعة المحرك مع الزمن وصولاً إلى السرعة المطلوبة (السرعة المطلوبة في محرك التيار المستمر *DC Motor* يحددها فرق الجهد المجهز وثابت المحرك *constant*) ، إما السرعة المطلوبة في محرك التيار المتناوب *AC Motor* فيحددها التردد وعدد الأقطاب ويلعب فرق الجهد مع التيار دوره في تحديد قيم القدرة الخاصة بالمحرك وفقاً لأسلوب الربط للمحرك وتصميمه الداخلي.
2. **منطقة الاستجابة نحو الاستقرار:** - إن الزخم المتولد Momentum الذي يمتلكه الجزء الدوار من المحرك سوف يجعله يتجاوز قيمة السرعة المطلوبة (overshoot) وعندها يبدأ المحرك بالتباطؤ للوصول إلى حالة الاستقرار من خلال التذبذب بالسرعة بأعلى أو أقل قليلاً من السرعة المطلوبة.
3. **منطقة استقرار السرعة (Stability):** - حيث تصل سرعة المحرك ضمن هذه المنطقة مساوية لمقدار السرعة المطلوبة من المحرك طالما ظلت قيمة الممانعة (Load) ثابتة.
4. **منطقة التوقف (Braking zone):** - وتتطلب هذه المرحلة زمناً للوصول إلى حالة السكون تتناقص ضمن السرعة بشكل يتناسب مع منظومة التوقف (الفرملة المستخدمة) كأن تكون ميكانيكية أو كهربائية (من خلال عكس اتجاه التيار) أو غيرها من الأساليب المستخدمة.

(ملاحظة): - في حالة تغيير سرعة المحرك من سرعة إلى سرعة أخرى فيظهر تأثير المناطق الثلاثة الأولى دون المنطقة الرابعة.



ونتيجة لما ذكر أنفاً فإن الاستجابة للموقع (*Position*) للمنظومة سيتخلف عن ما هو مطلوب أصلاً مما ينتج خطأ في الوصول إلى الموقع المطلوب بالإضافة إلى خلل في الموقع اللحظي المتوقع عند حركة المنظومة ولذلك فقد تم تطوير منظومات المحركات لتكون ما يسمى بالمحرك المؤازر (*Servo Motor*) من خلال إضافة متحسس لسرعة للمحرك يعمل على قياس السرعة لحظياً وإرسال النتائج لعملية القياس إلى مسيطر المحرك المؤازر الذي يقوم بمقارنة القيمة المقاسة مع القيمة المطلوبة للسرعة وبالتالي إجراء التعديل على قيمة التيار المجهز للمحرك (ليتباطئ أو ليتسارع) بما يتجاوز قيمة الفرق الناتج ، وكما هو معروف فإن محركات التيار المستمر (*Dc motor*) هي الأسهل في السيطرة على سرعتها وبالمقارنة مع محركات التيار المتناوب (*Ac motor*) فلذلك فقد ظهرت المحركات المؤازرة (*Servo Motor*) المستندة على محركات التيار المستمر (*Dc motor*) أصلاً و اتسعت تطبيقاتها لتشمل تطبيقات عديدة مثل المكان المبرمجة (*CNC Machines*) و الإنسان الآلي (*Robot*) وغيرها . ومؤخراً مع تطور الإلكترونيات أصبح بالإمكان تطوير مسيطرات لتغيير السرعة لمحركات التيار المتناوب *Ac* (تذكر بأن تغيير السرعة لمحركات التيار المستمر (*Dc motor*) من خلال فرق الجهد اما محركات التيار (*Ac motor*) فإن تغيير سرعتها يعتمد على أساس تغيير قيمة التردد (*Frequency*)).

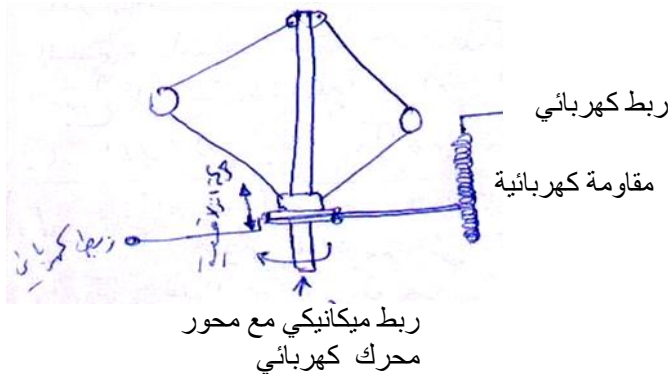


الشكل أعلاه يبين مكونات منظومة محرك مؤازر (تيار مستمر) *Dc – servo motor* ، هنالك عدة أنواع من مقاييس السرعة المستخدمة في المحركات المؤازرة وتضم هذه الأنواع ما يلي:

1- مقياس الكره المتأرجحة الكهروميكانيكي

(FLY BALL ELECTRO- MECH. VELOCITY SENSOR)

يعتمد مبدأ هذا المتحسس على أساس قوة الطرد لكتلة كروية أثناء الدوران فتؤدي هذه القوة إلى تغيير موقع كتلة تربط مع مقاومة كهربائية متغيرة .

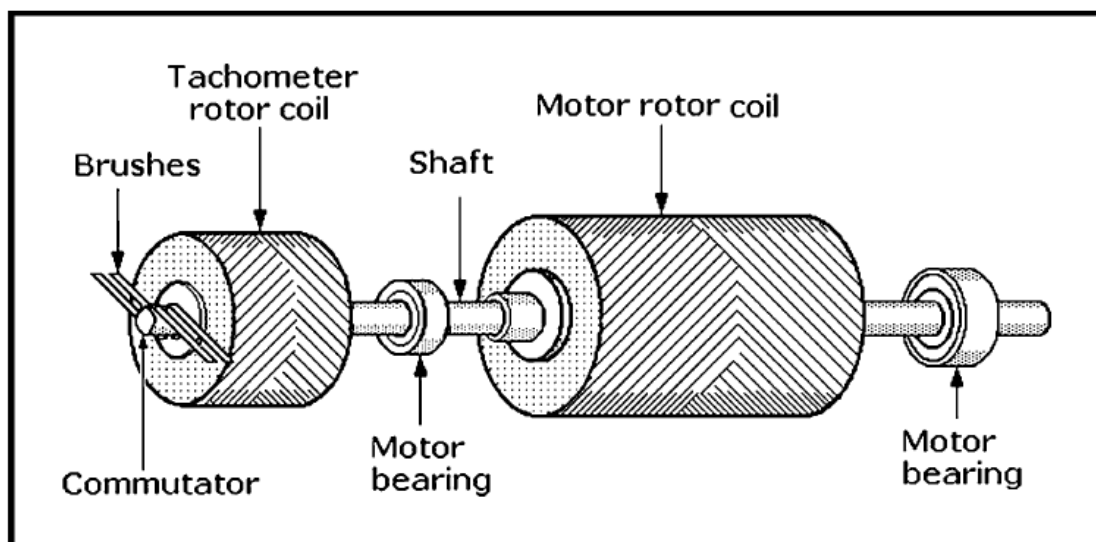


2- مقياس السرعة (Tachogenerator) (Tacho Meter)

إن مبدأ عمل هذا المتحسس كما هو واضح من أسمه هو عمل مولد كهربائي (يعتمد على حركة الفيض المغناطيسي وبالتالي يولد فرق جهد خارج وهناك نوعين منه نوع يولد تيار متناوب Ac ونوع يولد تيار مستمر Dc يحتاج إلى دائرة تعديل الإشارة ($Rectifying$) لتيتم استخدامها ومقارنتها بشكل أسهل في الإشارة الراجعة ($Feedback$) لتصحيح قيم التيار المرسل إلى المحرك.

إما النوع الأول الذي يولد تيار مستمر Dc فيتطلب استخدام معدل (مراكم) $Commutation$ وهذا في بعض الأحيان يعني محدد لكل ما يتطلب من صيانة (تبدل الفحمات) وغيرها. كما تجدر الإشارة إلى إن النوع الأول الذي يولد Ac فإن هناك مشاكل وتعقيدات كهربائية تظهر عند زيادة التردد بشكل كبير.

يتم ربط متحسس السرعة ($Tacho Meter$) بواسطة ربطه ميكانيكياً مع محور الدوران للمحرك وبالتالي فإن سرعة دوران ستكون مساوية لسرعة دوران المحرك.

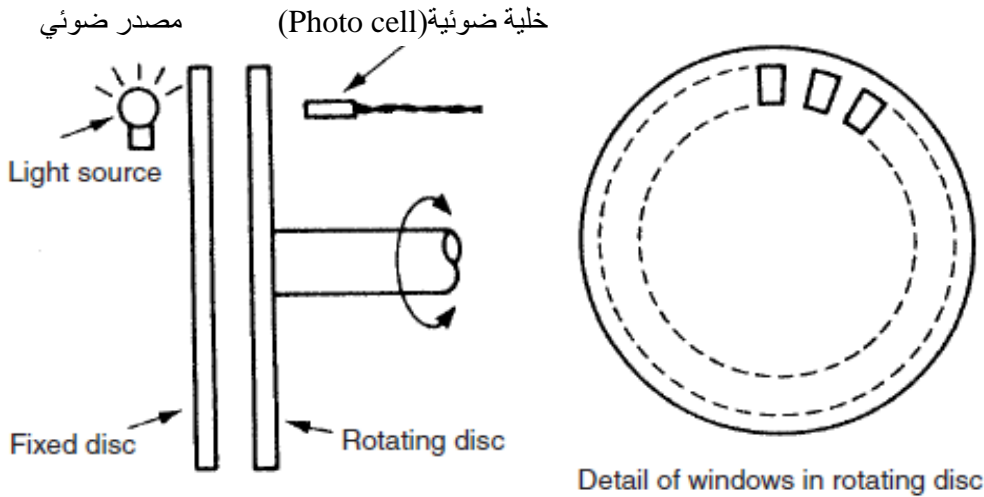


3- مولد النبضات (Pulse Generator or Encoder)

(يخدم هذا النوع من المتحسسات قياس الموقع والسرعة)
بدأ مؤخراً مع تطور المكونات الإلكترونية باستخدام المتحسسات التي تولد النبضة لقياس السرعة، وهناك عدة أنواع من هذه المتحسسات المستخدمة لتوليد النبضات ويختلف مبدأ عملها حسب تصميم كل منها وأشهر الأنواع المستخدمة حالياً من هذه المتحسسات تعمل على الأسس التالية:

أ- الخلايا الضوئية (photo cells)

ويتألف من خلية ضوئية photo cell ومصدر ضوئي وصفيحة دائرية مثقبة بعدد من الثقوب حول محيطها وتثبت هذه الصفيحة مع عمود الدوران للمحرك فعند دوران المحرك ستتولد الإشارة الخارجة من الخلية الضوئية على هيئة عدد من النبضات ومن خلال ربط هذا المتحسس مع عداد (counter) لحساب عدد النبضات ومن خلال تحديد مدى زمن معين فإن قيمة عدد النبضات الناتجة خلال وحدة الزمن ستكون مؤشراً لسرعة المحرك حيث إن معرفة عدد الثقوب الموجودة في الصفحة (والموجودة ضمن قيم زوايا ثابتة) يتيح حساب قيم سرعة المحرك.



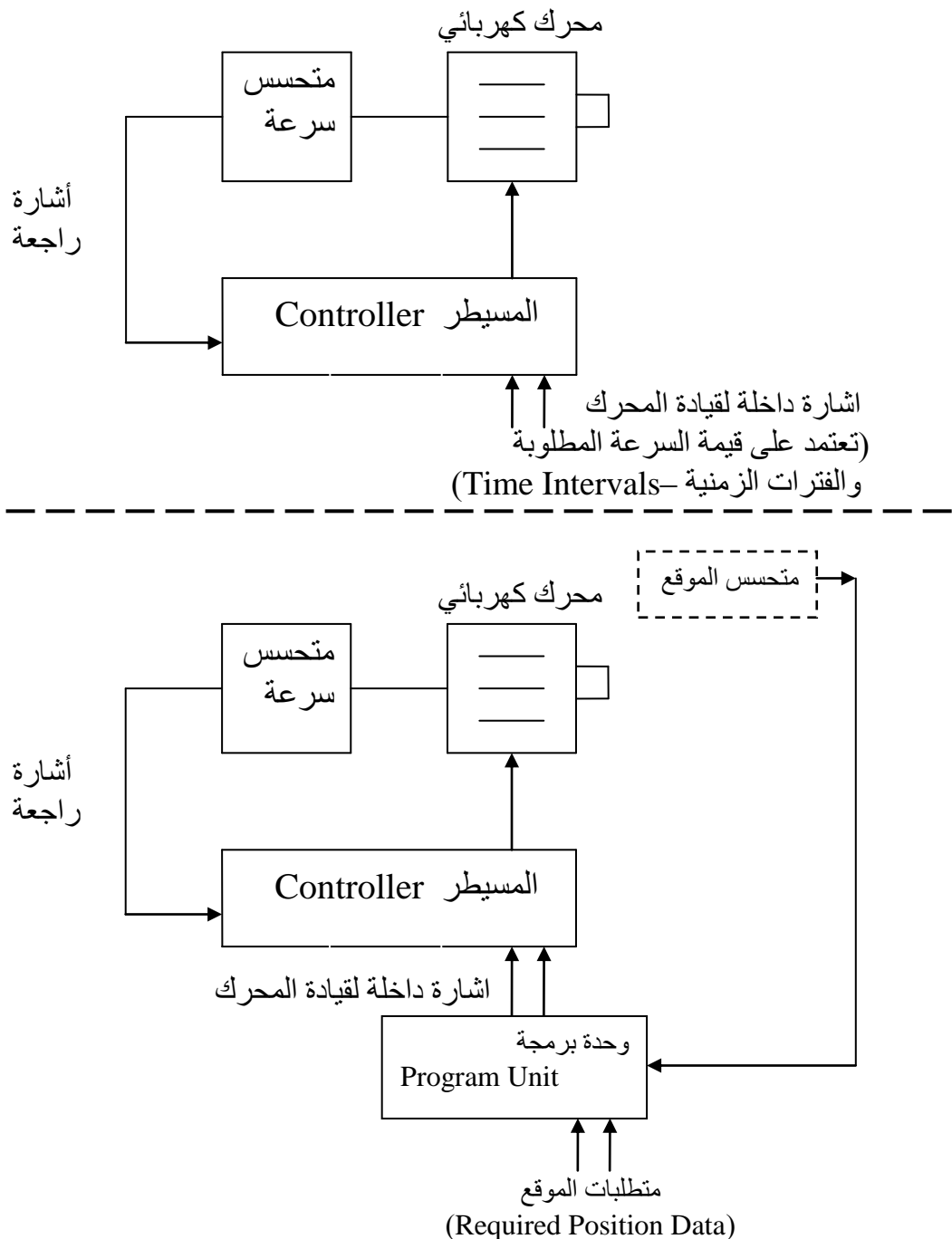
ب- الحث الكهربائي (Induction) أو المغناطيسي

(بعض الأنواع منه تسمى المتحسس التقاربي (Approximate sensor))
يعتمد مبدأ هذا النوع على حدوث تغير في المجال الحثي أو المغناطيسي أثناء مرور مقاومة (جزء معدني) ضمن المجال فيتم تصميم محور المتحسس على هيئة عمود ذو شقوق متعددة موازية لمحوره فعند دوران العمود (والذي يربط مع المحرك فإن الشقوق المعدنية ستتم ضمن المجال المغناطيسي وتسبب الحث الكهربائي فتظهر الإشارة المسجلة على هيئة نبضات).

متحسسات الموقع (position sensors)

ان استخدام متحسسات السرعة ضمن منظومة الحركة كجزء من وحدات المحرك المؤازر (Servomotor) لاتضمن الوصول الى الموقع المطلوب فالبرغم من ان تحسس السرعة ينجز ويستخدم كأشارة راجعة بهدف تصحيح السرعة فإن الاخطاء (Errors) الناتجة من التسارع والتباطئ والتوقف ومناطق عدم الاستقرار عند حركة المحرك كلها ستخلق اخطاء للوصول الى الموقع المحدد وعليه فعندما يراد برمجة مسار حركة مكون من عدة نقاط محددة ضمن المسار فإن الاخطاء ستتراكم (Accumulation position errors) مما يفقد دقة المنظومة .

ان اضافة متحسس للموقع (Position Sensor) ضمن المنظومة سيضيف دورة اشارة عكسية (اشارة تغذية راجعة feedback signal) لاحظ الشكل أدناه.

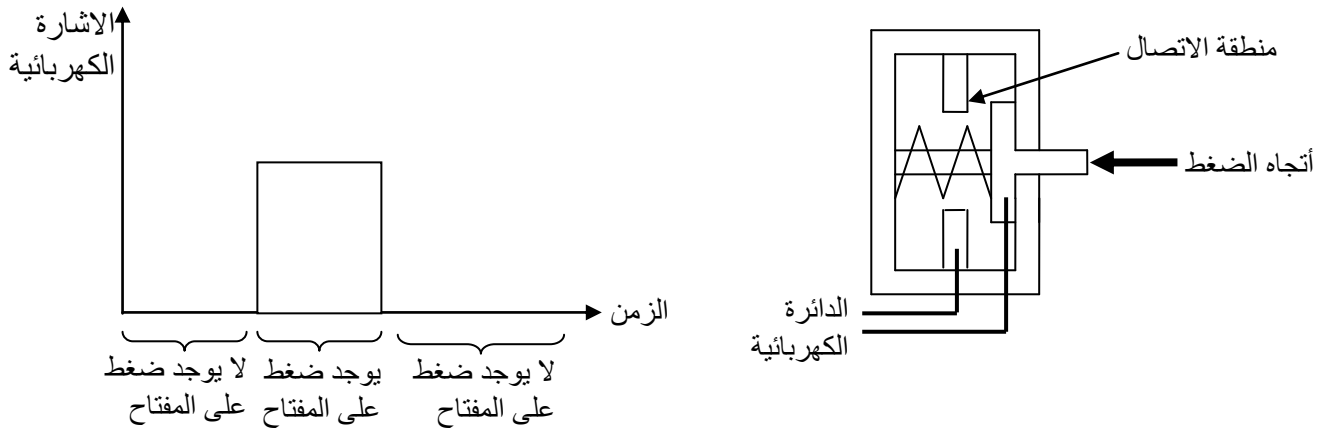


هنالك عدة أنواع من متحسسات الموقع ويمكن تقسيمها بشكل اساس الى نوعين رئيسيين هما:-

1- متحسسات الموقع المطلقة او المشفرات المطلقة (Absolute Position Sensor)

2- متحسسات الموقع المتراكمة او المشفرات التزايدية (Incremental Position Sensor)

أن مبدأ عمل متحسسات الموقع المطلقة (Absolute – Type) يستند بقيام المتحسس بأرسال إشارة كهربائية خارجة (output signal) تتناسب مع الموقع الحركي له (كأن يكون موقع خطي او زاوي linear or angular position) يمكن اعتبار متحسس تحديد الموقع limit switch أبسط انواع متحسسات الموقع المطلقة وفيه يقوم المتحسس الخاص بتحديد الموقع بأرسال إشارة كهربائية فقط عند وصول المنظومة الحركية الي الموقع الموجود فيه هذا المتحسس (أو بالعكس من خلال فصل الإشارة الكهربائية عن ذلك) ومبدأ عمله .



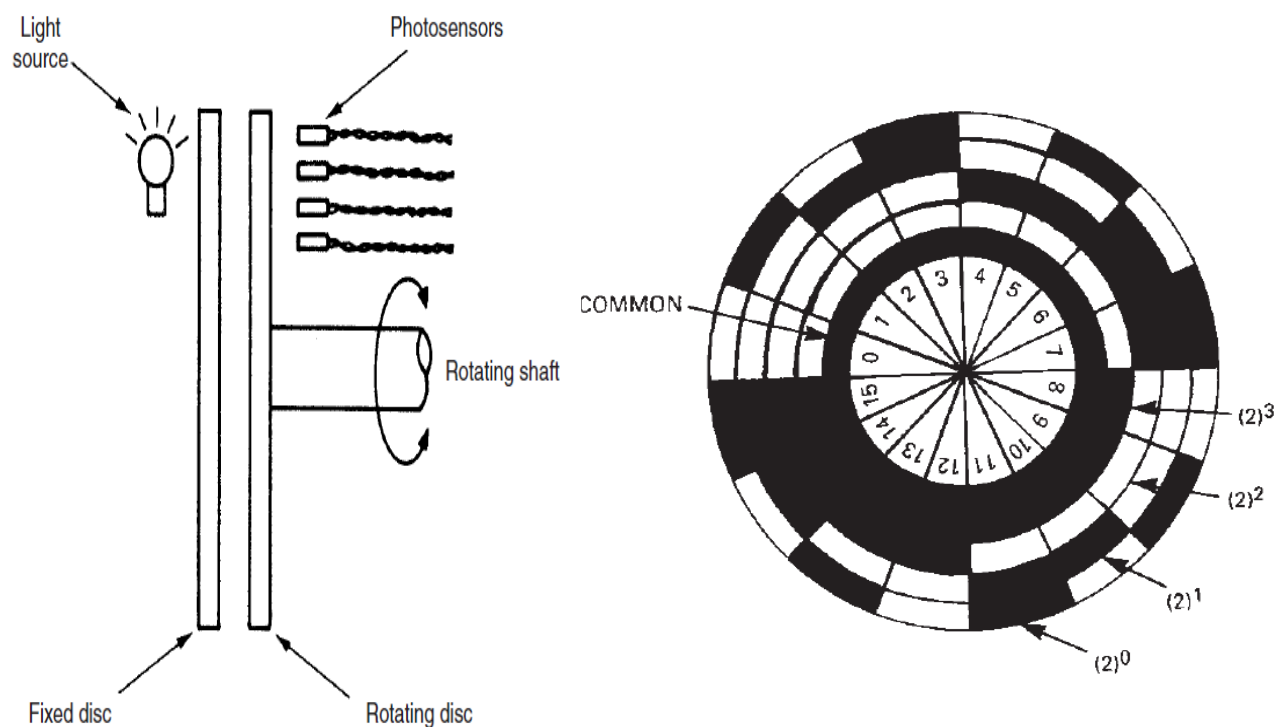
شكل_ يوضح عمل متحسس الموقع التماس (limit Switch)

فهذا النوع من المتحسسات سوف يرسل إشارة كهربائية (يحرر الإشارة الكهربائية) فقط عن ضغط المفتاح اي ان

يمكن تصميم متحسسات الموقع المطلقة بقيم متعددة من خطوات الموقع (Resolution) ويعتمد مبدأ عمل هذا المتحسسات على الاساس الرقمي (النظام الثنائي) Binary Code فعلى سبيل المثال يتألف المتحسس الزاوي المطلق ذو الستة عشر قيمة ضمن الدورة الواحدة من قرص ذو اربع مسارات.....

LSB- المسار الخارجي هو للإشارة ذات القيمة الاقل

MSB-المسار الداخلي هو للإشارة ذات القيمة الاعلى



Coded disc shaft encoder.

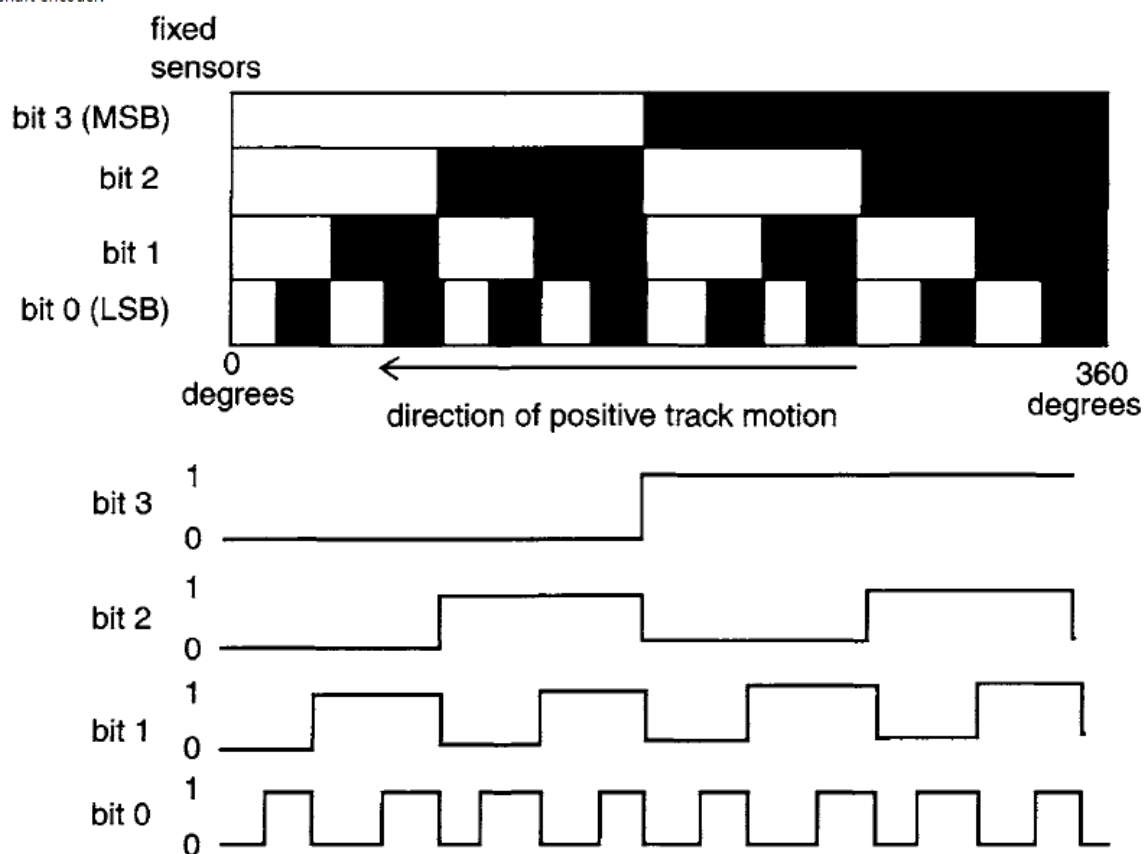


Figure 8.6 4-bit binary code absolute encoder disk track pattern.

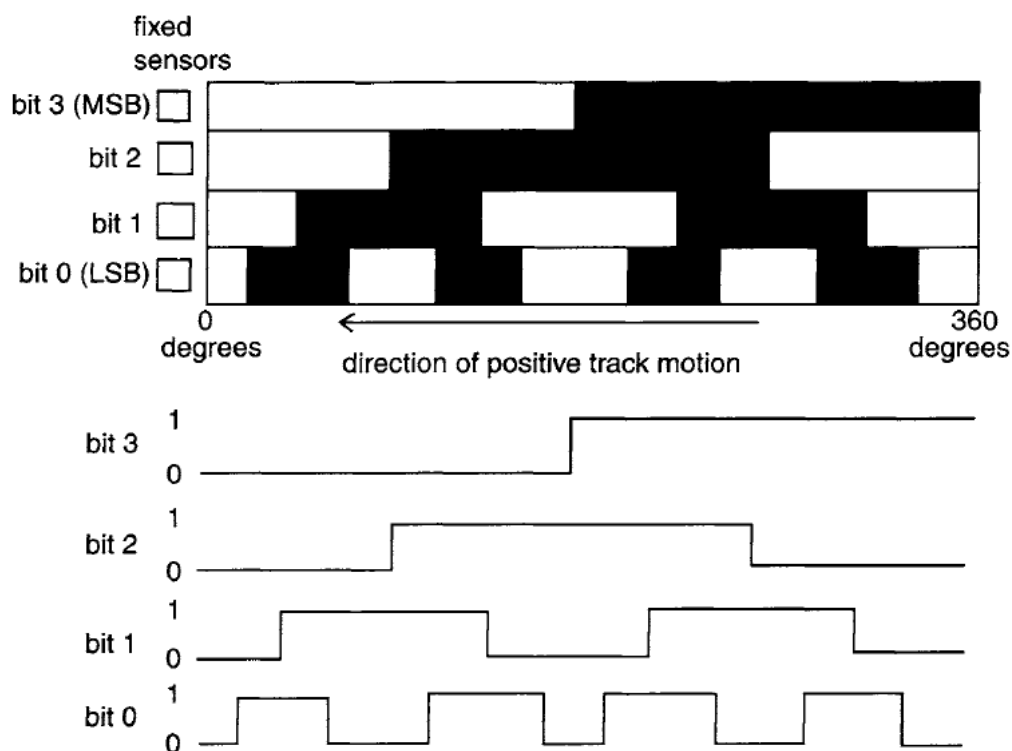


Figure 8.5 4-bit Gray code absolute encoder disk track pattern.

Table 8.1 4-bit Gray and natural binary codes

Decimal code	Rotation range (deg.)	Binary code	Gray code
0	0–22.5	0000	0000
1	22.5–45	0001	0001
2	45–67.5	0010	0011
3	67.5–90	0011	0010
4	90–112.5	0100	0110
5	112.5–135	0101	0111
6	135–157.5	0110	0101
7	157.5–180	0111	0100
8	180–202.5	1000	1100
9	202.5–225	1001	1101
10	225–247.5	1010	1111
11	247.5–270	1011	1110
12	270–292.5	1100	1010
13	292.5–315	1101	1011
14	315–337.5	1110	1001
15	337.5–360	1111	1000

ومن خلال ذلك يمكن تحسس قيم الاشارات الخارجية لتحديد القيمة الزاوية للجزء (منظومة الحركة) ان تحسس القيم الخارجة للاشارات يتم من خلال استخدام احدى التقنيات الممكنة مثل المتحسس الضوئي وفي هذا الحالة فأن المسارات ضمن القرص ستكون مثقوبة عند القيم 1 بما يتيح انتقال الضوء من مصدر الضوء الذي يكون على القرص الى وحدة المتحسس الضوئية الخلية الضوئية Photo cell التي تكون في هذه الحالة اسفل القرص ويلاحظ هنا بان عدد المسارات (اربع في الحالة اعلاه) اي ان المتحسس الزاوي ذو 256 موقع ضمن الدورة الواحدة يضم (ثمانية خلايا ضوئية) كم يمكن اعتماد مبدأ آخر لنقل الاشارات الكهربائية بدلاً من المبدأ الضوئي مثل الحث الكهربائي او التوصيل الكهربائي المباشر وغيرها من الطرق المختلفة .

كما هو معلوم فأن منظومات الحركة قد تحتاج الى أنجاز الحركة باتجاهين اتجاه تزايدى واتجاه تناقصى ولذلك فأن المتحسسات الخاصة بالموقع ذات القيمة المطلقة (Absolute-Type) تتيح اجراء حسابات الموقع من خلال معرفة الموقع الحالي والموقع الجديد وأجراء عمليات الجمع الجبري بينهما شريطة أن لا تزيد قيمة الفترة الزمنية (Time interval resolution (times عن دورة واحدة فعند ذلك سيفشل النظام في معرفة الموقع التفضيلي للمنظومات الحركية عند استعمال المتحسسات ذات الاحداثيات المطلقة (Absolute sensor) في منظومات الحركة المستمرة اي انها تقيس بالنسبة الى نقطة مرجعية اما شفرة جراي (Gray) فتتغير بمقدار بت واحد بين المواضع المتتالية.

أن متحسسات الموقع التراكمية (Incremental type) تعتمد على توليد نبضات (pulses) او نمط معين من الاشارة عند حركتها وتكون هيئة هذه النبضات او نمط الاشارة تكراري (Periodical type). ولذلك فأن استخدام هذا المتحسسات في المنظومات الذاتية يكون من خلال ربطها مع عدادات (Counters) تزايدية او تناقصية وبالتالي فأن القيم المسجلة في العداد تتيح معرفة كمية الحركة الفعلية المنجزة .

ولغرض زيادة عدد الخطوات (او قيمة الـ Resolution) خلال وحدة المسافة بالإضافة الى معرفة اتجاه الحركة تزايدى او تناقصى يلجأ الى استخدام قناتين لتسجيل الإشارة الخارجة بدلا من قناة واحدة .
بحيث تتقدم إحدى هاتين القناتين بقيمة ربع الدورة التكرارية للإشارة.

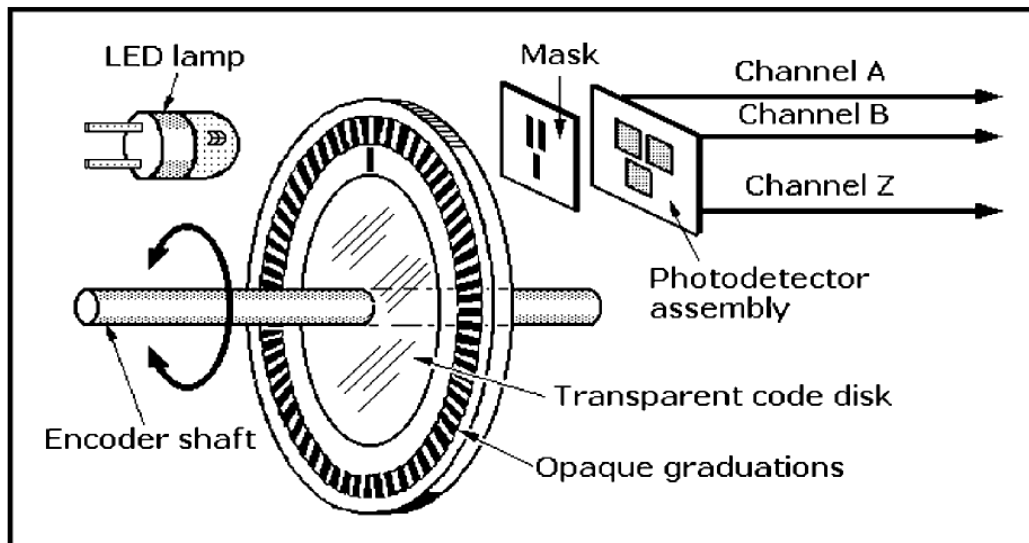


Fig. 1 Basic elements of an incremental optical rotary encoder.

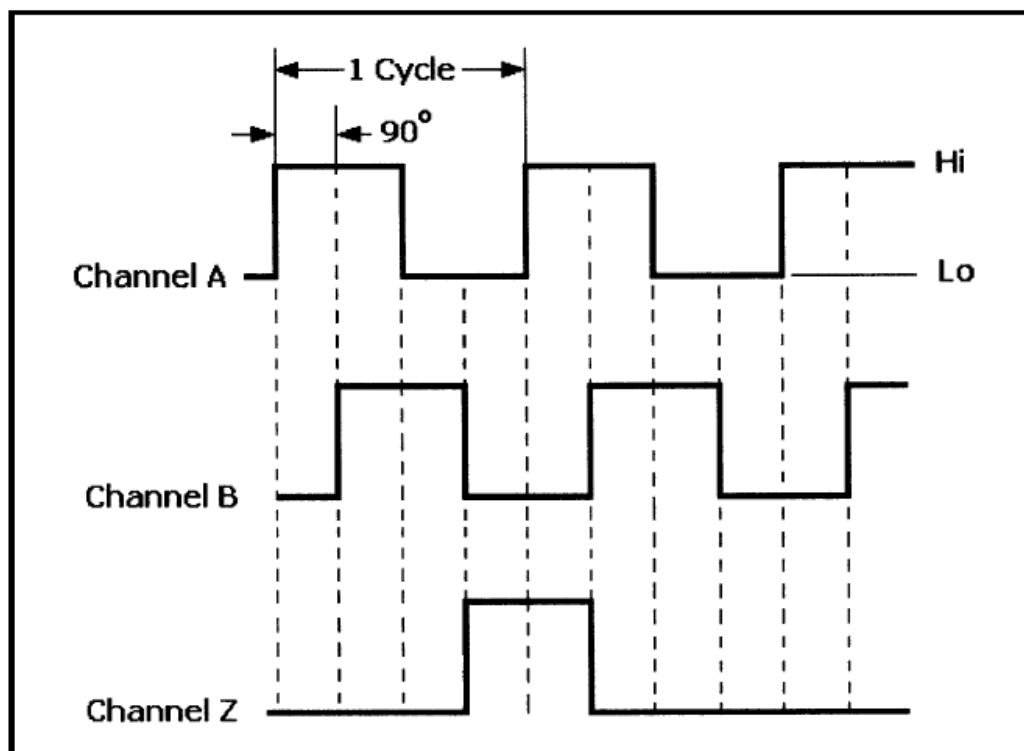
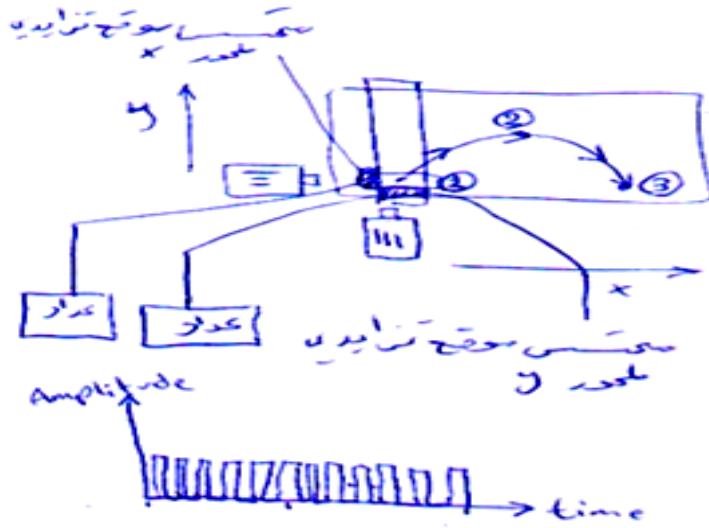


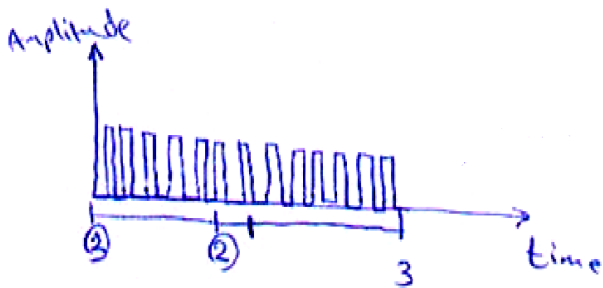
Fig. 3 Channels A and B provide bidirectional position sensing. If channel A leads channel B, the direction is clockwise; if channel B leads channel A, the direction is counterclockwise. Channel Z provides a zero reference for determining the number of disk rotations.

ولكي نوضح هذا المفهوم نلاحظ مايلي:-

لنفرض منظومة الحركة بمحورين متعامدين ومستخدم فيها بالإضافة الى المحركات ومسيطراتها متحسين للموقع (لتحسس الموقع على المحور X وعلى المحور Y) فأذا ما أريد انجاز حركة المنظومة ضمن المسار القوسي من النقطة 1 مرورا بالنقطة 2 ثم وصوله الى النقطة 3 فيلاحظ أن حركة المحرك X هي في حالة تزايد دائما وبذلك فإن نمط الإشارة الخارجة من متحسس الموقع للمحرك X ستكون على هيئة نبضات ويصبح عددها الذي يجمعه العداد مربوط مع هذا المتحسس دليل على الموقع الذي تم الوصول له مع الاخذ بنظر الاعتبار القيمة المقابلة لكل نبضة مع المسافة الحقيقية للحركة



أما المحرك Y فإن حركته لتحقيق نفس المسار 1 ← 2 ← 3 تتطلب تزايد عند الانتقال ضمن المسار الحركي من النقطة 1 الى النقطة 2 وبعد ذلك يتطلب التناقص (اي الدوران باتجاه حركة معاكس) لتحقيق المسار المطلوب من النقطة 2 الى 3 فلو نظرنا الى نمط الإشارة الخارجة من متحسس الموقع للمحرك y ستكون أيضا على هيئة نبضات (pulses)

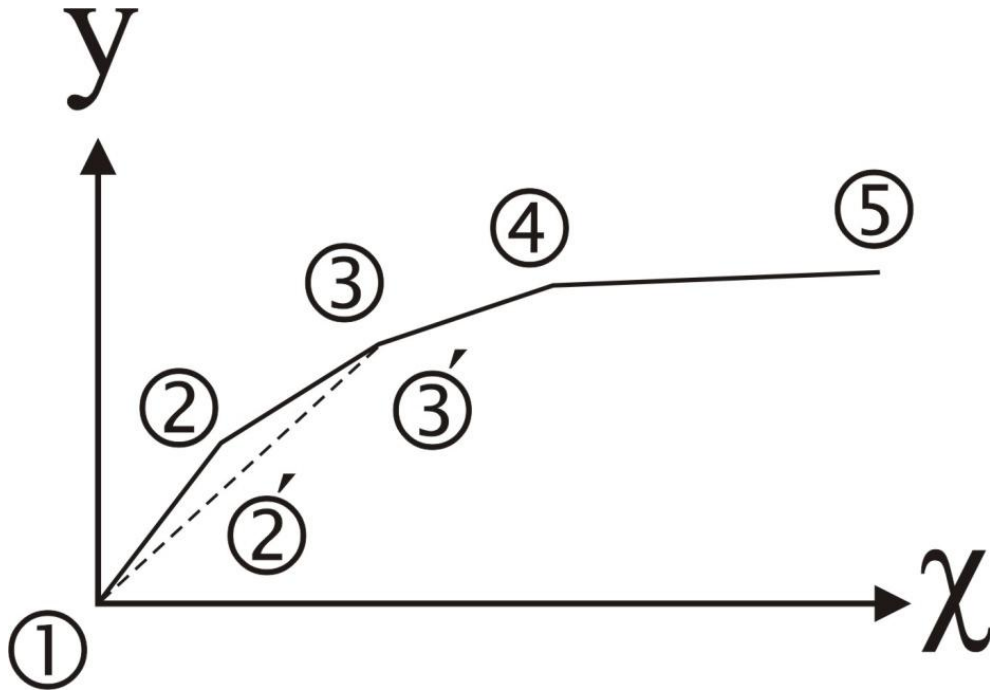


دون ان يتبين من هذا خلال هذه الإشارة كون الحركة تمت بالاتجاه التزايدى او التناقصى للموقع وبالتالي سيعمل العداد على إضافة عدد النبضات الواردة له دون الاخذ بنظر الاعتبار فيما اذا كانت الحركة بالاتجاه التزايدى او التناقصى .

ولغرض تلافي هذا الحالة غالبا ما يتم تصميم متحسسات الموقع التزايدية من خلال استخدام ثلاث خلايا ضوئية يتم وضعها بحيث تولد اشارتين الفرق بينهما 1/4 دورة تكرارية (1/4 Cycle اي بما يمثل زاوية (90 درجة) فمن خلال الخليتين (A and B) يمكن تحديد اتجاه الدوران اما (Z) فيمكن حساب عدد الدورات .

اما مبدا العمل لمنظومات الحركة التي تستخدم متحسسات الموقع كاشارة راجعة تعمل كما ياتي :

1. عند بدا تشغيل منظومة الحركة فان عدادات الموقع Position Counters المرتبطة مع متحسسات الموقع ستؤشر قيمة موقع اولية Initial Position .
2. عند اعطاء الامر للمنظومة للحركة من الموقع الاول الى موقع محدد مطلوب Required Position ستقوم عدادات الموقع بتحديث بيانات الموقع اثناء الحركة بناء على الارشادات المرسلة من متحسسات الموقع المرتبطة معها لنحصل على معلومات الموقع الذي تم الوصول له Current Position والذي يجب من الناحية النظرية ان يكون مساوي للموقع المحدد المطلوب Required Position . ولاسباب تعود الى الازخات التي تحدث اثناء الحركة (ازخات الاستجابة للمحركات) فان احداثيات الموقع الذي تم الوصول له ستكون مختلفة من الناحية العملية عن احداثيات الموقع المحدد المطلوب Required Position .
3. عند الانتقال من خلال الحركة الى موقع جديد قادم فان الاحداثيات المسجلة للموقع الحالي (Current Position) الذي تم الوصول له تستخدم في حساب نمط اشارات القيادة المرسلة الى محركات الحركة للوصول الى الموقع التالي (Next Position) وبالتالي سيتم تقليل خفاء الموقع وبعكس ذلك فان الخفاء في الموقع سيتراكم ضمن تسلسل النقاط التي يتطلب الوصول لها . ولتوضح هذه الحالة بشكل اكثر لناخذ المثال التالي :

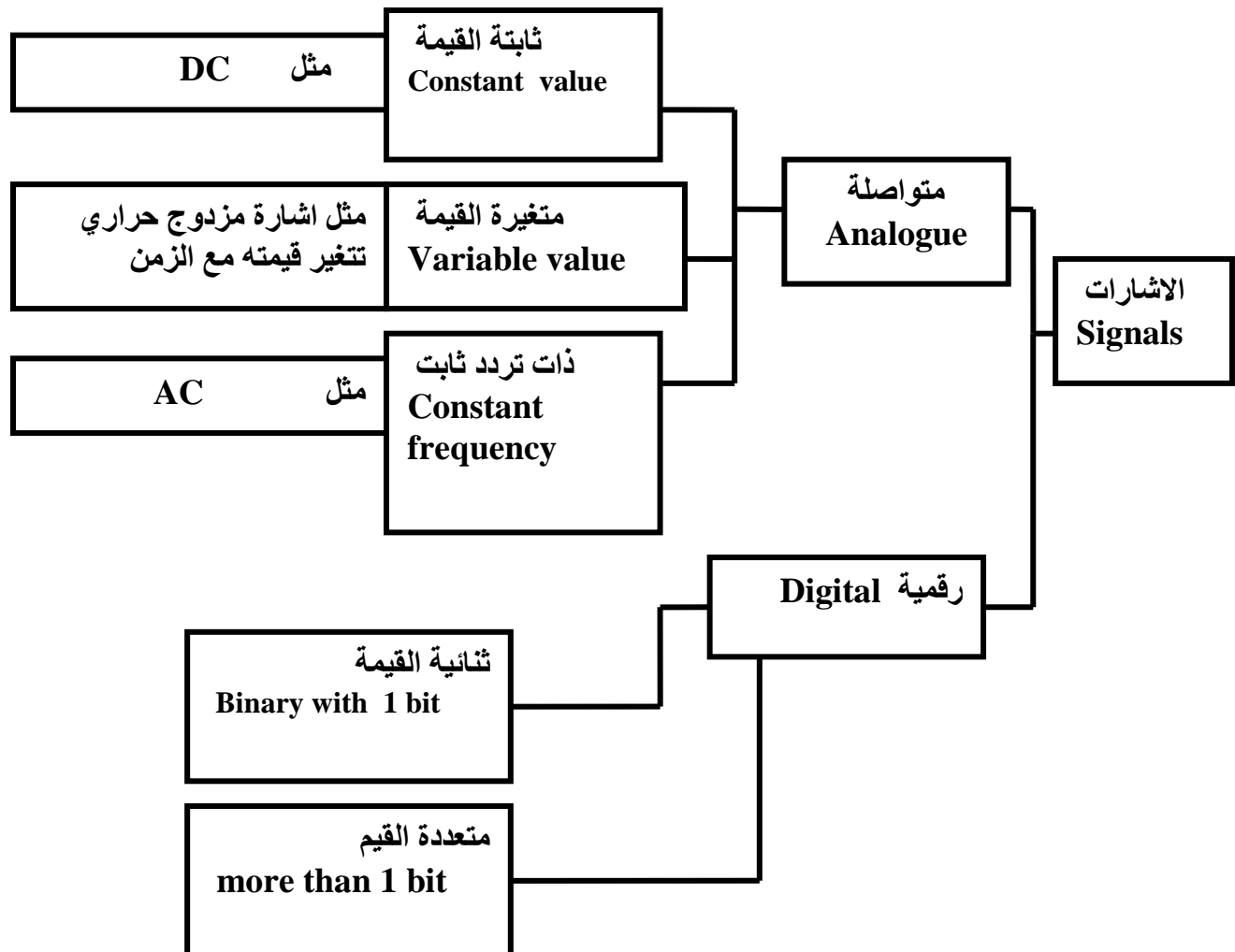


لو اريد انجاز الحركة على المسار المحدد اعلاه من النقطة 1 الى النقطة 5 مروراً بالمواقع 2 و 3 و 4 فعند تشغيل العدة فان احداثيات الموقع الاولي (Initial Position) سيسجل احداثيات موقع النقطة (1) .

الماكينة ستتحرك باتجاه النقطة (2) من خلال اشارات القيادة المرسلة الى محركات x و y بقيم نسبية لتحقيق الميل المطلوب لخط المسار (1 ← 2) [الاشارات المرسلة للقيادة هي السرعة المطلوبة من كل محرك (فرق الجهد في محرك DC) وكذلك الفترة الزمنية Time التي ستعطى فيه هذه الاشارة للمحرك] ؛ ولاسباب تتعلق باخطاء الاستجابة للمحركات وغيرها من الاخطاء الاخرى فان الماكينة ستتحرك وتصل الى موقع قريب من النقطة (2) وليس عند النقطة (2) التي تمثل احداثيات النقطة التي يتطلب الوصول اليها (Required Position) وعليه فان الاحداثيات التي يسجلها عداد الموقع ستمثل احداثيات النقطة (2") والتي تمثل احداثيات النقطة التي تم الوصول اليها Current Position (لاحظ الخط المتقطع في الشكل اعلاه) . اي ان المسار المتحقق هو (1 ← 2') بدلا من المسار (1 ← 2) .

والان لكي تتحرك الماكينة وصولاً الى النقطة (3) فان مسار الحركة المطلوبة لتلافي الخطاء الحادث في احداثيات النقطة (2) هو في اتباع المسار (2' ← 3) وليس باتباع المسار (2 ← 3) ففي حالة اتباع المسار (2 ← 3) فان الخطاء الناتج للوصول الى النقطة (3) سيزداد باضافة خطأ الاحداثيات المسجل اصلاً عند النقطة (2) اما في الحالة اتباع المسار (2' ← 3) فان ذلك يعني تلافي الخطاء المسجل عند النقطة (2) وبالتالي يعني الوصول الى نقطة (3') التي تكون اقرب باحداثياتها الى النقطة (3) .

الاشارة المتوصلة (المستمرة) والاشارة الرقمية (Analogue & Digital Signal):
 تعرفنا من خلال دراسة المتحسسات والمحركات والمسيطرات عليها بان هناك انماط مختلفة من الاشارات المتولدة او المرسله او المستقبله بين المكونات الرئيسية والفرعية في المنظومات ويمكن تقسيم الانماط المختلفة للاشارات الى ما يلي :

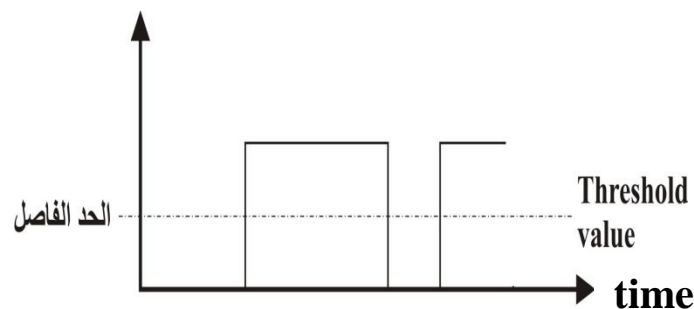


في المنظومات الذاتية نجد الحاجة الى ارسال او استقبال الاشارات بين المكونات الفرعية للمنظومة وبالتالي فهناك حاجة الى :

1. ارسال اشارة متواصلة Analogue واستلامها.
2. او ارسال اشارة رقمية Digital واستلامها.
3. او ارسال اشارة متواصلة Analogue واستلامها من قبل احدى المكونات التي تتعامل مع الاشارات الرقمية Digital .
4. او ارسال اشارة رقمية Digital واستلامها من قبل احدى المكونات التي تتعامل مع الاشارات المتواصلة Analogue .

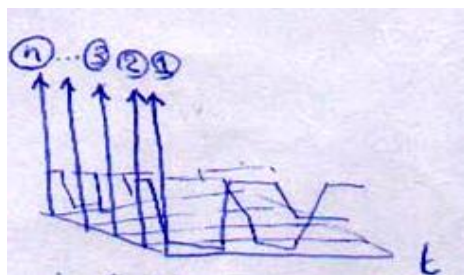
الحالة 1 اعلاه لاتوجد معضلة في انجازها فعلى سبيل المثال ارسال اشارة قيادة (تجهيز قدرة كهربائية) الى محرك كهربائي من خلال مصدر كهربائي ذو تيار مستمر او تيار متناوب وحسب مايتطلب نوع المحرك الكهربائي .

الحالة 2 وهي في ارسال اشارة رقمية Digital واستلامها كاشارة رقمية Digital هنا نحتاج اولاً ان نتعرف عن ماتعنيه معنى الاشارة الرقمية Digital Signal من الناحية الفيزيائية . سبق وان بينا بان الاشارة الرقمية نوعان ففي النوع الاول (Binary of 1 bit) فان وصف الاشارة مع محور الزمن يكون كما يلي :



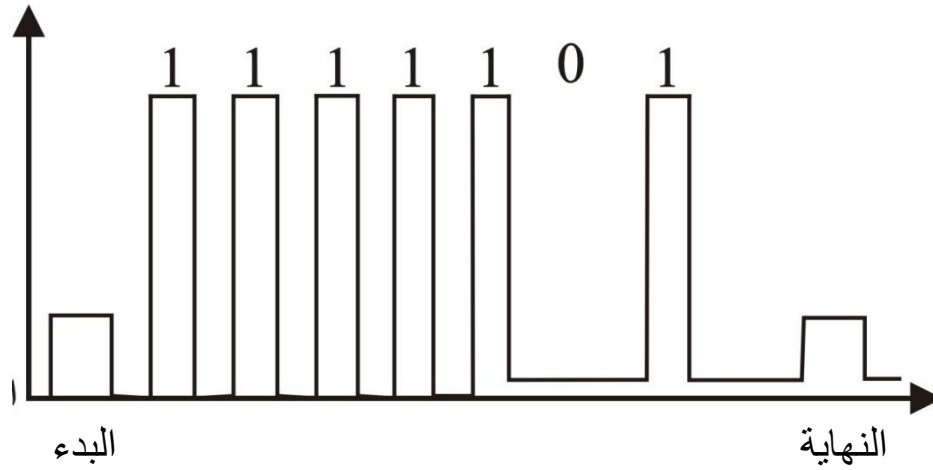
هنا نلاحظ بان الاشارة تكون ضمن منطقتين (مستويتين) يفصل بينهما قيمة محدودة تسمى حد الفاصل Threshold Value فاذا كانت الاشارة اعلى من هذه القيمة ستكون قيمتها 1 واذا كانت اقل منها ستكون قيمتها (0) صفر ضمن التمثيل الثنائي Binary .

اما النوع الثاني من الاشارات الرقمية (متعددة القيم More than 1 bit) فانها غالبا ما تمثل مع محور الزمن على انها ذات قنوات متعددة (Multi channel).



مثال تطبيقي لهذا النوع ارسال الاشارات الرقمية ضمن القناة المتوازية parallel ports

وفي حالة الحاجة الى ارسالها او تمثيلها ضمن قناة واحدة فينتطلب ذلك وضع صيغ قياسية تتيح تمثيل هذه الاشارة الرقمية وتسمى هذه الصيغ القياسية بما يسمى بالبروتوكولات الخاصة بارسال واستلام الاشارات الرقمية وكمثال تطبيقي لهذا النمط ارسال واستلام الاشارات القمية ضمن القناة المتسلسلة (Serial Ports).

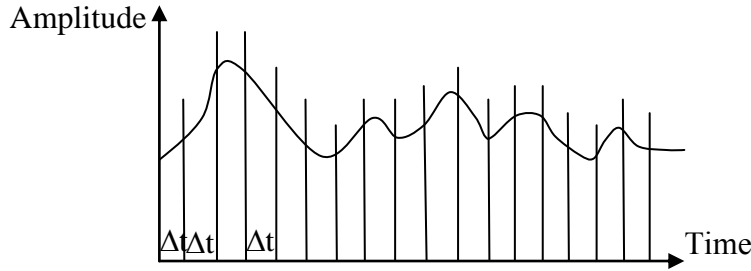


اما عملية ارسال اشارة متواصلة analogue واستلامها كاشارة رقمية digital فان ذلك يتطلب استخدام وحدة تحويل الاشارات المتواصلة الى اشارات رقمية (Analogue to Digital Converters) ويرمز لها بعض الاحيان ADC .

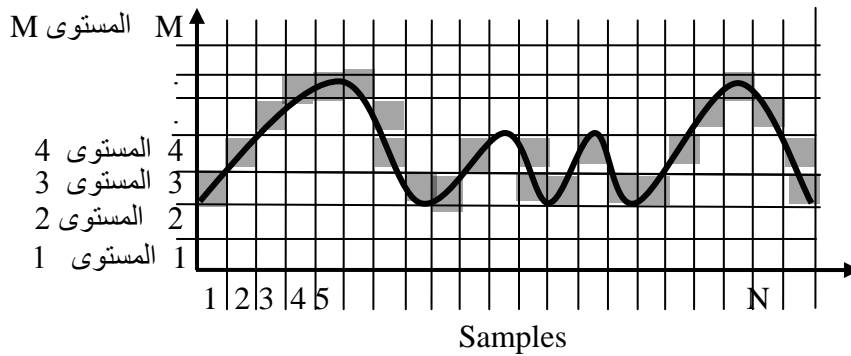
في حين تطبيق ارسال اشارة رقمية Digital واستلامها كاشارة متواصلة Analogue استخدام وحدة تحويل الاشارات الرقمية الى اشارات متواصلة (Digital to Analogue Converters) ويرمز لها في بعض الاحيان DAC .

تحويل الإشارة المتواصلة Analogue الى إشارة رقمية Digital وبالعكس .

ان المفهوم الفيزيائي لتحويل الإشارة المتواصلة Analogue Signal الى إشارة رقمية Digital Signal يمكن في اجراء تقطيع للإشارة ضمن فترات زمنية محدودة ($\Delta t = \text{Time_Intervals}$).



وهذه العملية تسمى التقطيع (Discretion) يلاحظ بان قيمة Δt هي التي تحدد عدد العينات التي يتم الحصول عليها خلال وحدة الزمن وهذا ما يسمى بمعدل النمذجية (Sampling Rate) ان عملية التقطيع للإشارة ضمن فترات زمنية محددة تؤدي الى تحويل الإشارة المتواصلة الى إشارة متقطعة ضمن المحور X الا ان عملية التحويل للإشارة الى إشارة رقمية (Digital Signal) تتطلب كذلك تجزئة القيمة المتواصلة للإشارة ضمن المحور Y الى عدد محدد من المستويات بدلا من القيم المتواصلة.



ولاغراض تخص كفاءة الخزن الحاسوبية للإشارات الرقمية (Digital Signal) الناتجة من عملية التحويل غالبا ما يكون عدد المستويات المتاحة هو 2^b حيث تمثل b عدد المراتب bits اللازمة لتمثيل قيمة المستويات المتاحة .

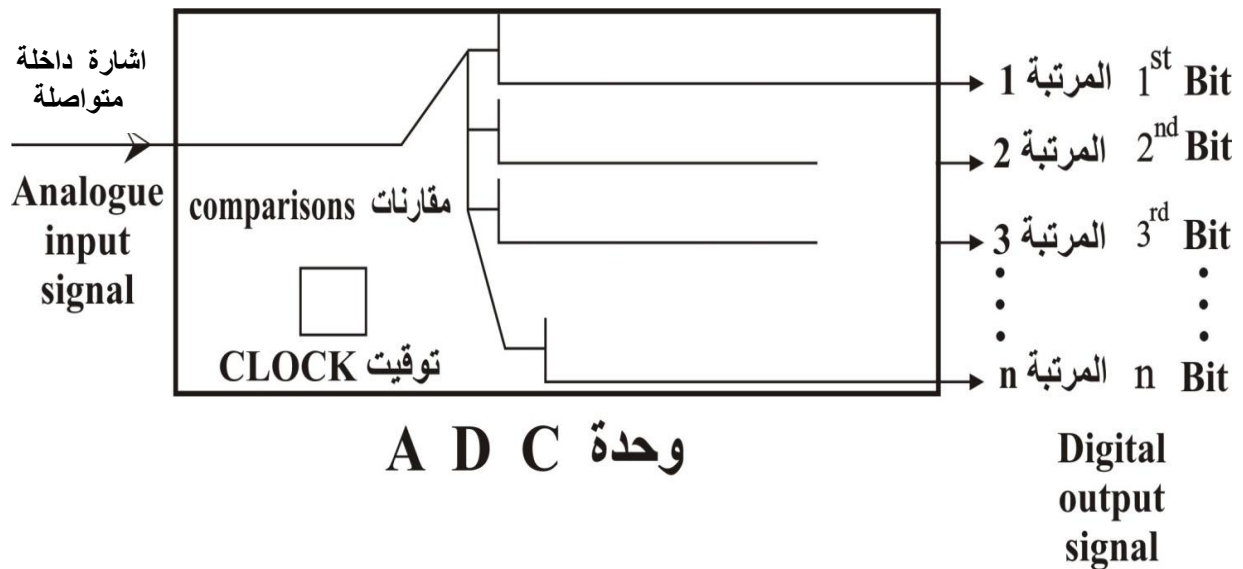
$$M = 2^b$$

وان قيمة M هي عدد المستويات المتاحة .
في حين سيكون عدد العينات (النماذج) الناتجة من عملية تحويل الإشارة الى إشارة رقمية (N) حيث ان :

$$N = \frac{T}{\Delta t}$$

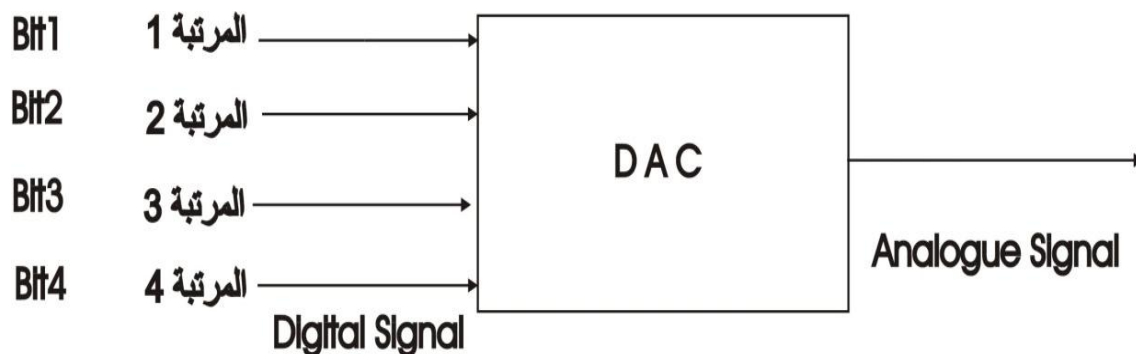
T : زمن الإشارة المطلوب تحويلها

ان اجراء تحويل الاشارة من اشارة متواصلة (Analogue) الى اشارة رقمية (Digital) تنجز ضمن وحدات تحويل الاشارة ADC والتي تضم اجزاء الكترونية وساعة توقيت (CLOCK) تخدم الاجزاء الالكترونية في مقارنة الاشارة الواردة مع عدد المراتب المتاحة لها في حين تخدم ساعة التوقيت تقطيع الاشارة حسب قيمة Δt المستخدمة والتي تحددها قيمة معدل Sampling rate :



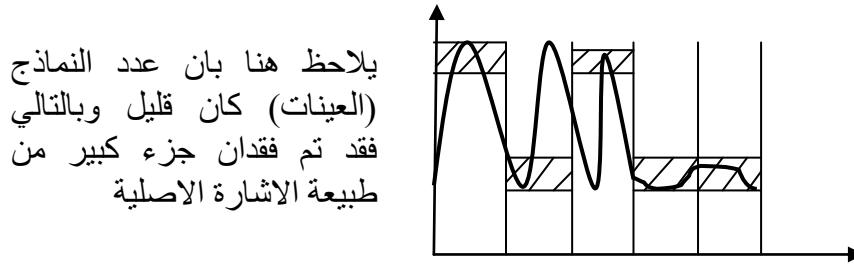
وهنا تجدر الاشارة الى إمكانية تشفير (Coding) الاشارات المتولدة الخارجة (الاشارات الرقمية Digital signals) وحسب تسلسل مراتبها ضمن إشارة واحدة ذات نمط محدد Known pattern.

اما محولات الاشارة الرقمية الى اشارة تماثلية متداخلة Digital to Analogue Convertors فهي تعمل بالشكل المعاكس لـ ADC فتدخل الاشارة الرقمية الى وحدة لتحويل والذي يحتوي على دائرة الكترونية ذات مراكم (مجمع الاشارة) حيث تضاف قيم الاشارات الواردة من المراتب التسلسلة للاشارة الرقمية وبالتالي تتولد الاشارة المتواصلة (التماثلية) لتخرج من وحدة التحويل :



يجب ان يؤخذ بنظر الاعتبار مايلي عند تحويل الاشارات بين المتواصلة والرقمية او بالعكس :

1. ان عدد العينات Samples التي تحدد على ضوء معدل النمذجة Sampling rate يجب ان يكون كافيا لملاحظة التغير الناتج في الاشارة الاصلية فعلى سبيل المثال :



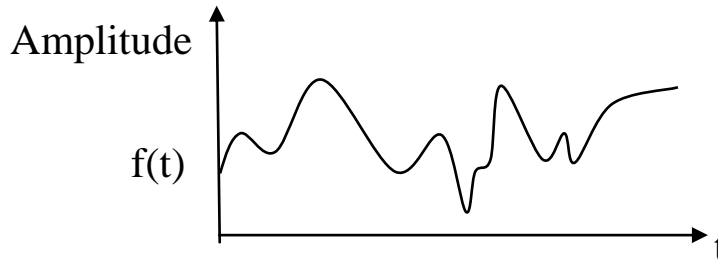
وبصورة عامة يجب ان لا تقل عدد العينات عن 5 عينات للاشارات ذات الطبيعة المتناوبة.

2. عند الرجوع بالاشارة من اشارة رقمية الى اشارة متواصلة Analogue فان هنالك تغير طفيف سيحصل نتيجة عملية التحويل وقد يستحيل الحصول على نفس الاشارة عند تحويلها الى اشارة متواصلة ويعامل ذلك كجزء من قيمة الخطا للنتائج في المنظومة .

الاشارات ومعالجة الاشارات **Signals and Signal Processing**

لقد سبق وان بينا بان تمثيل الاشارات Signals يتم من خلال استخدام مدى الزمن Time Domain والذي غالبا مايتم تمثيل الزمن فيه ضمن المحور X في حين تمثيل قيمة الاشارة اللحظية ضمن المحور Y حيث:

تصبح هنالك قيمة واحدة ضمن المحور Y لكل قيمة ضمن المحور X .

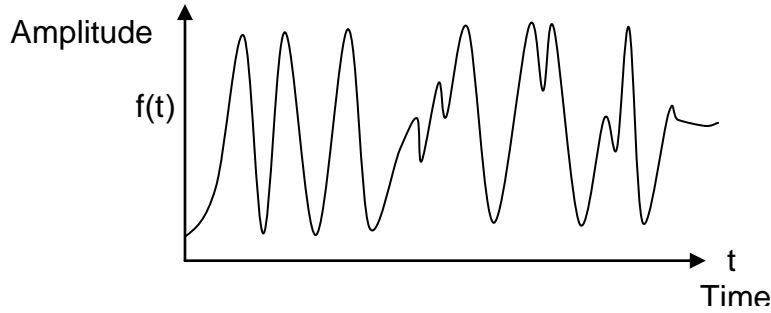


ان الانظمة الذاتية (Automatic Systems) تتطلب في الكثير من التطبيقات مراقبة قيمة الاشارة وتمييز او قياس التغير اللحظي الحاصل عليها بما يسهل من انجاز الواجبات والفعاليات المطلوبة من المنظومة الذاتية.

ان انتقال الاشارات بين الوحدات المختلفة من المنظومة الذاتية يعرضها الى التأثير بالمؤثرات المحيطية والتي تؤدي الى اضافة ضوضاء ما الى الاشارات المنقولة علاوة على ما يجري من تغيرات فجائية في قيم الاشارات الناتجة من التغيرات الفيزيائية وما تتطلبه من زمن (تاخر زمني) للحاق بالقيمة المطلوبة . ان هدف معالجة الاشارات (Signal Processing) هو في تحليل الاشارات المستلمة بما يتيح فهما او استلال لبعض المعلومات منها عن طبيعة تلك او ان اتخاذ الاجراءات اللازمة لتحسين الاشارة وازالة الضوضاء او بما يتيح موائمتها مع متطلبات المنظومة . هنالك العديد من المعالجات المعروفة للاشارات ويتم قسم منها في مجال الزمن (Time Domain) في حين يتم قسم اخر منها في مجال التردد (Frequency Domain) او في مجال ذو علاقة بمجال التردد . في سلسلة هذه الملاحظات سناخذ امثلة عن بعض المعالجات وبكل تأكيد فاننا لانهدف الى تغطية الموضوع بالكامل لانه اكبر من ان يتم تغطيته ضمن المدى الزمني المتاح لهذه المحاضرات .

التقييم والاستقراء الاحصائي للاشارات ضمن مدى الزمن

(Statistical Assessment and Evaluation of Signals in the Time Domain)



لنفترض بان لدينا اشارة تتغير قيمتها مع الزمن $f(t)$ يمكن اجراء التقييم والاستقراء لهذه الاشارة من خلال العديد من المعايير الاحصائية وفيما يلي البعض منها:

$$\text{Mean} = \frac{1}{t} \int_0^t f(t) dt$$

وقد يكون من الاسهل ونحن نتعامل مع المبادئ التطبيقية للموضوع بان نصف قيم المعايير الاحصائية من خلال الاشارات المتقطعة بدلا من الاشارات المتواصلة وبذلك يمكن اعادة صياغة معادلة المتوسط (mean) كما يلي :

$$\text{Mean} = \frac{1}{n} \sum_{n=0}^{N-1} f(n)$$

اصغر قيمة مسجلة ضمن الاشارة :

$$\text{Min} = \min_{n=0 \text{ to } N-1} (f(n))$$

اكبر قيمة مسجلة ضمن الاشارة :

$$\text{Max} = \max_{n=0 \text{ to } N-1} (f(n))$$

المدى Range :

$$\text{Range} = (\text{max} - \text{Min})_{n=0 \text{ to } N-1}$$

جذر متوسط المربعات (R.M.S) Root Means Square

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} f^2(n)}$$

معيان الانحراف المعياري (Standard Deviation)

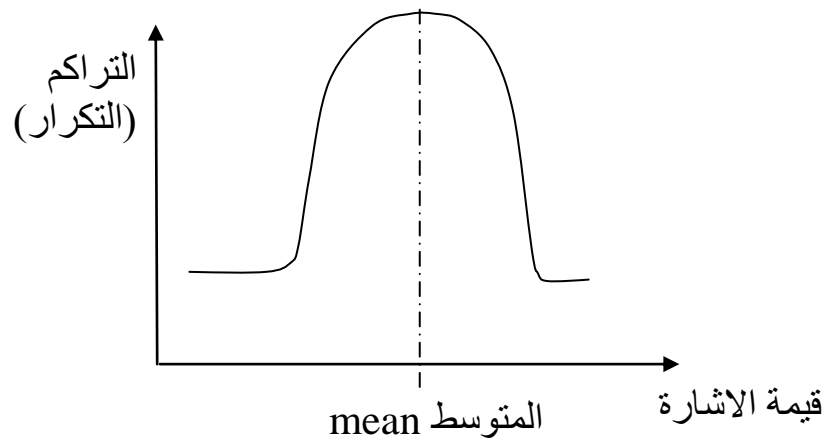
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} (f(n) - \text{mean})^2}{N}}$$

معيان الاختلاف (Variance)

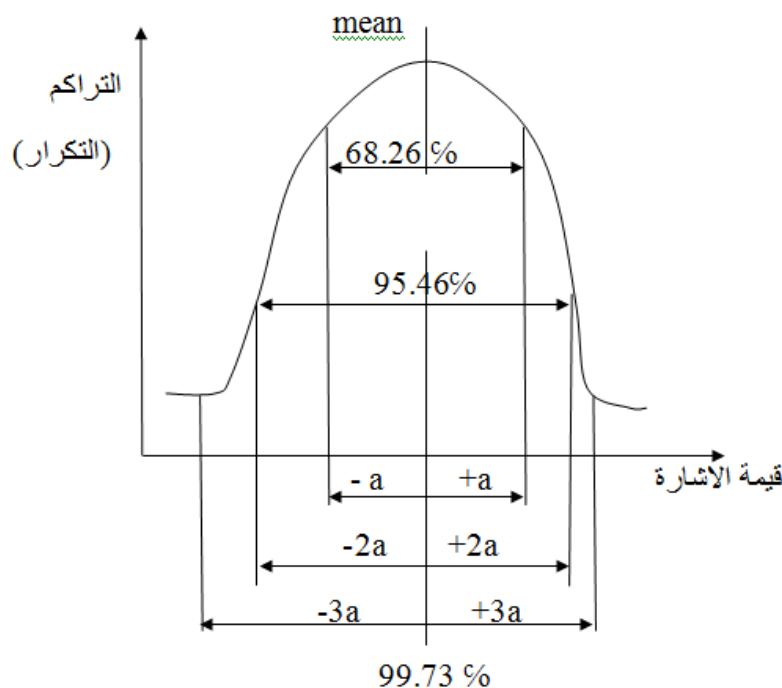
$$\text{Variance} = \sigma^2 = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} (f(n) - \text{mean})^2}{N}$$

العلاقة بين الإشارة والتوزيع الطبيعي :

من المعروف ان التوزيع الطبيعي يأخذ الشكل الجرسى أدناه. ومن خلال اجراء العلاقة بين هذا التوزيع والإشارة فان محور X سيمثل قيم الإشارة (Amplitude) في حين سيمثل محور Y قيمة التراكم او التكرار للإشارة (عدد العينات التي تحمل القيمة المعينة) .



ان التوزيع الطبيعي Normal Distribution يوفر خواص محددة تساعد في تقييم نمط الإشارة ومعرفة مدى اقترابها من القيم العشوائية فمن خصائص هذا التوزيع مايلي :



هناك عدة طرق لتحليل الإشارة ومن بين هذه الطرق معامل الترابط (correlation Coefficient) وإن تطبيقات دالة الترابط واسعة ضمن الأنظمة الذاتية سواء للأجزاء الميكانيكية أو للأجزاء الكهربائية. ويتم إيجاد معامل الترابط لقياس قوة العلاقة ونوعها بين الإشارات ويمكن تمثيلها رياضياً:-

د صادق حسين باخي

$$R = \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[N(\sum x^2) - (\sum x)^2] [N(\sum y^2) - (\sum y)^2]}}$$

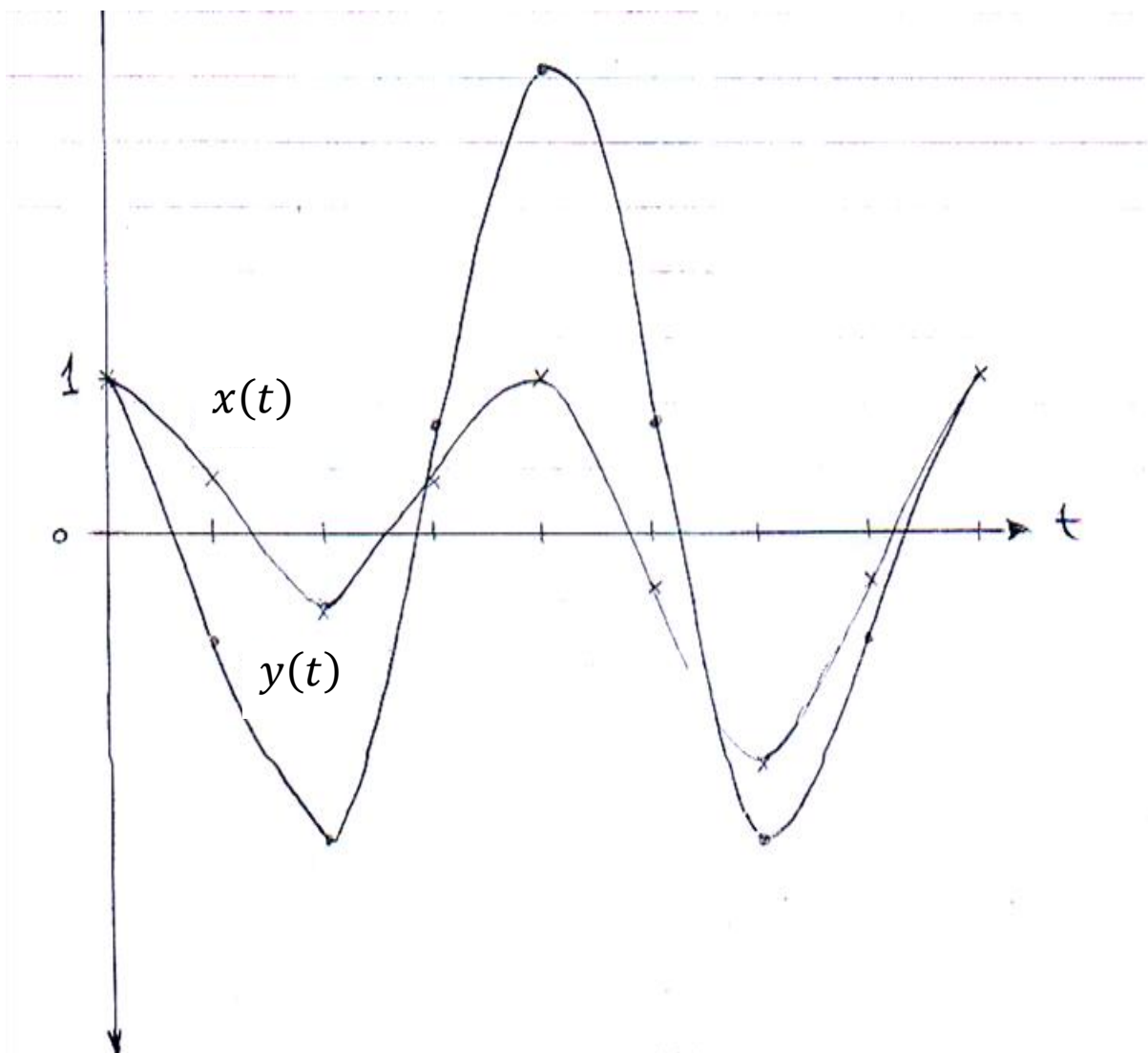
$$R = \frac{8 \times 8 - 0 \times 0}{\sqrt{[8 \times 5 - 0^2][8 \times 20 - 0]}}$$

$$R = +0.8$$

قيمة معامل الترابط يشير الى علاقة طردية قوية (اي تشابه كبير) بين الارشارتين.

نرسم الدالتين كما هي :

$x(t), y(t)$



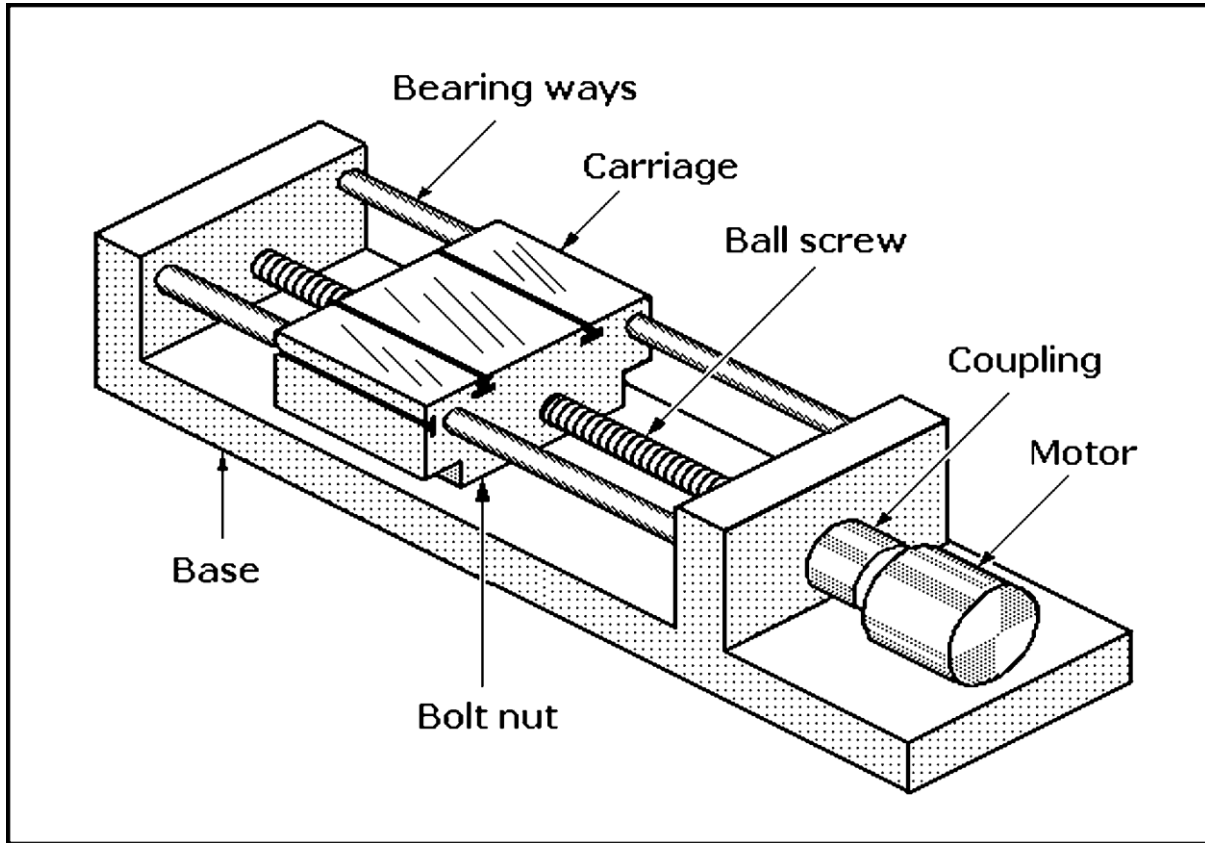


Fig. 6 Ball screw-driven single-axis slide mechanism without position feedback sensors.

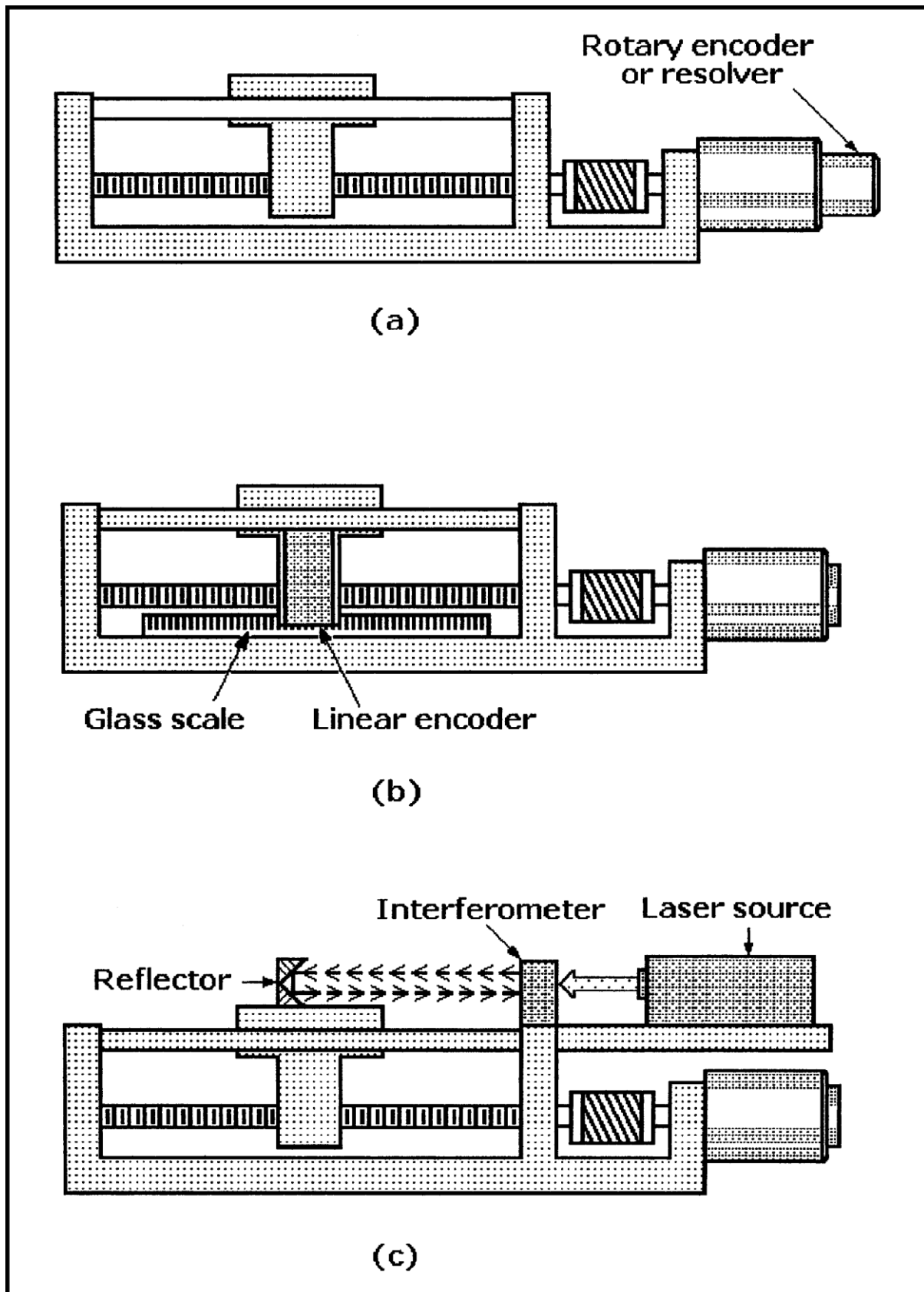


Fig. 7 Examples of position feedback sensors installed on a ball screw-driven slide mechanism: (a) rotary encoder, (b) linear encoder, and (c) laser interferometer.