Subject : Mechanical and Electronic systems

الموضوع: منظومات ميكانيكية والكترونية

Weekly Hours :Theoretical: 2

Tutorial:

Experimental:2

UNITS: 4

الساعات الأسبوعية: نظري:2

مناقشة:

عملي: 2

عدد الوحدات: 4

week	Contents	المحتويات	الأسبوع
1.	Introduction to Mechanical and Electronic systems	مدخل الى المنظومات الميكانيكية والالكترونية	.1
2.	DC motors	محركات التيار المستمر	.2
3.	Step motors	محركات الخطوة	.3
4.	Hydraulics Actuators and related system components	المشغلات الهيروليكية ومكونات المنظومات الملحقة	.4
5.	pneumatic Actuators and related system components	المشغلات الهوائية (الرئوية) ومكونات المنظومات الملحقة	.5
6.	Some Measuring instruments (Ammeter , Voltmeter , Ohmeter , Oscilloscopes)	بعض اجهزة القياس (التيار ، فرق الجهد ، المقاومة ، عارضة الموجات)	.6
7.	Some Electrical equipment (Relays ,switch contactors Fuses , Circuit breakers and motor starters	بعض معدات الأجهزة الكهربائية (المرحلات ، المفاتيح ، الفواصم ، قواطع الدورة ، محركات بدء الحركة)	.7
8.	Some Electrical components (diodes , transistors , Thyristers , Silicon controlled rectifiers and IC)	بعض الاجزاء الالكترونية (الدايود ، الترانزستور ، الثايرستر ، مقاومات السيطرة السليكونية ، الدوائر المتكاملة)	.8
9.	Some of industrial sensors their working principles and Calibration	بعض انواع المتحسسات الصناعية مبدأ عملها وطرق معايرتها	.9
10.	Speed control systems and servomotors	انظمة السيطرة على السرعة والمحركات المؤازرة	.10
11.	Position control systems	انظمة السيطرة على المواقع	.11
12.	Static and dynamic errors in mechanical system	الاخطاء الاستاتيكية والديناميكية في الانظمة الميكانيكية	.12
13.	Robot – configuration and its mechanical parts	الانسان الآلي – مكوناته واجزائه	.13
14.	Robot – programming and controlling	الانسان الآلي – برمجته والسيطرة عليه	.14
15.	Intelligent systems	الانظمة الذكية	.15
16.	Analogue to digital convectors and digital to analogue convectors	محولات الاشارة من اشارة تماثلية الى رقمية ومن اشارة رقمية الى تماثلية	.16
17.	Some signal processing techniques an introduction	بعض اساليب معالجة الاشارة مدخل	.17
18.	Auto correlation and cross correlation functions	دالتي العلاقة الترابطية الذاتية والمتبادلة	.18
19.	Fourier transform	تحويلات فورير	.19
20.	Some statistical processing of signals and the amplitude probability density function	بعض المعالجات الاحصائية للاشارة ومنحني التراكم APDF	.20
21.	Filters	المرشحات للاشارة	.21
22.	Computer vision	الحاسوب ذو القابلية على الرؤيا	.22
23.	Image processing	معالجة الصور الحاسوبية	.23
24.	Pattern recognition	تمييز الانماط للصور الحاسوبية	.24
25.	Acoustic signal processing	معالجة الاشارة الصوتية	.25
26.	Speech recognition	تمييز الكلام	.26
27.	Applications of mechatronic system	بعض تطبيقات الانظمة الميكاترونية	.27

28.	Automated guided vehicles	العربات المسيرة ذاتيا	.28
29.	CNC machines	المكائن المبرمجة	.29
30.	Expert systems	الانظمة الخبيرة	.30

ملاحظة هامة: ان هذه المحاضرات قد تم اعدادها من قبل مدرس المادة بالاستعانة بعدد كبير من المصادر العلمية ومن غير المتوقع ان يحد الطالب جميع فقرات المادة العلمية المعطاة في هذه المحاضرات ضمن كتاب واحد او كتابين.

المصطلحات الرئيسية: (تعاريف مختصرة)

١- المعدات الذاتية Automated Machines او المنظومات الذاتية Automated systems

ولدت كلمة Automation خلال الحرب العالمية الثانية في عام ١٩٤٠ حيث تم صياغتها من قبل شركة فورد Ford لصناعة السيارات لتعني بمناقلة الاجزاء ذاتياً ضمن خطوط التجميع للسيارات. ومنذ ذلك الوقت توسع معنى هذه الكلمة لتصبح اليوم تعني بكافة الفعاليات المنجزة من قبل المعدات دون تدخل الانسان اي انها اليوم تعني بالفعاليات التي تعوض عن الدور البشري في أي تلك الفعاليات سواء للفعاليات التي تتطلب جهد عضلي او فكري او غير ذلك. ويطلق على الانظمة التي تعمل بشبه ذاتياً بالانظمة الشبه ذاتية Semiautomatic Systems.

٢- الميكاترونكس Mechatronics (الميكا- الكترونيك):-

مع تطور التكنولوجيا العالمية والقفزات السريعة في حقل الالكترونيات والحواسيب أصبح ترابط العلوم الهندسية في الاختصاصات المختلفة أمراً لابد منه ليسهل أنجاز خطوات مضافة في طريق التطوير المضاف للتكنولوجيا.

ان بداية صنعة الميكاترونكس تعود الى منتصف القرن الماضي حيث انتقلت سريعاً الى اليابان عام ١٩٥٠ حيث بدأت في أمريكا ثم انتقلت الى اوربا في نهايات الستينات من القرن الماضي وبالتالي انتقلت الى آسيا وغيرها. ان سبب ولادة هذا التخصص الهندسي المختلط هو نتيجة الحاجة حيث من النادر اليوم ايجاد معدات ذاتية او شبه ذاتية ميكانيكية فقط دون ان يدخل في تصميمها وتصنيعها اجزاء كهربائية او الكترونية.

٤- مكائن السيطرة العددية Computerized Numerical Control CNC Machines

ظهرت الحاجة بعد الحرب العالمية الثانية الى تطوير معدات انتاج ذا القابلية على انتاج اجزاء ذات اشكال هندسية معقدة وخصوصا الاجزاء المعوسة الكبيرة لاغراض صناعة الطائرات. وفي عام ١٩٥٠ ظهرت اولى مكائن التفريز المسيطر عليها الكترونيا حيث تم تطويرها من قبل معهد MIT في امريكا. وفي عام ١٩٥٢ تم بناء اول مكنة مماثلة سيطر عليها الكترونيا من قبل شركة Alfred Herbert ومن ثم من قبل شركة Ferranti. ان مكائن الانتاج (مكائن العدد) التقليدية Conventional Machine tools تتميز بالميزات الثلاث التالية: ا- القدرة على مسك الجزء المطلوب تشغيله وكذلك مسك عدة القطع بشكل ثابت وآمن. ب- تسليط قوة كافية لتتبع لعدة القطع أنجاز فعاليات القطع بمعدلات اقتصادية. ج- القدرة على حركة العدة و (او) الجزء المطلوب تشغيله بما يمكن المكنة من انتاج الشكل الهندسي المطلوب وبدقة مقبولة. ولما كانت الحاجة الى انتاج اجزاء ذات اشكال هندسية معقدة وكذلك الحاجة الى انتاج اجزاء ذات دقة عالية بالابعاد فأن المكائن التقليدية يصعب من خلالها تحقيق ذلك. وعليه فقد تم تطوير مكائن السيطرة العددية والتي تتألف من جزئين رئيسيين هما ا- مكنة الانتاج ب- المسيطر والمرجع للمكنة وتكون هذين الجزئين متر ابطين لتتبع انجاز فعاليات السيطرة المطلوبة على المكنة.

جامعة الفلوجة
كلية الهندسة
قسم هندسة المكائن والمعدات
المرحلة الثالثة

ستتناول مجموعة المحاضرات عدد غير قليل من المصطلحات الهندسية والتي سيأتي تعريفها ضمن الفقرات المختلفة ومن الأمثلة على تلك المصطلحات الذكاء الاصطناعي، الحقيقة الافتراضية، انظمة الرؤية الحاسوبية، أنظمة التصميم والتصنيع المعان بالحاسوب، العربات السيرة ذاتيا، معالج الاشارات وغيرها من المستقبل المؤتمتة، المحسسات، مصطلحات أخرى.

4

مقدمة حول الميكاترونكس Introduction to Mechatronics

يبين الشكل (١) موقع الميكاترونكس ضمن حقول الهندسة والمعرفة المختلفة حيث تمثل حقول المعرفة الاربعة التالية الاساس في هندسة الميكاترونكس

أ. الهندسة الميكانيكية.
ب. الهندسة الكهربائية والالكترونية.
ج. السيطرة والانظمة
د. الحاسبات والبرمجة

فعلى سبيل المثال فأن حقول المعرفة التالية وتفاصيلها تعتبر من الاساسيات اللازمة في هندسة الميكاترونكس

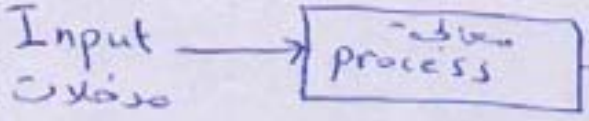
الميكانيك (Static, Advanced dynamics, Vibration) (theory of Machines, Mechanical Design

الكهرباء والالكترونيك (Electrical systems, Electrical and Electronics components, Digital systems, Measurements of electrical signals, Signal processing)

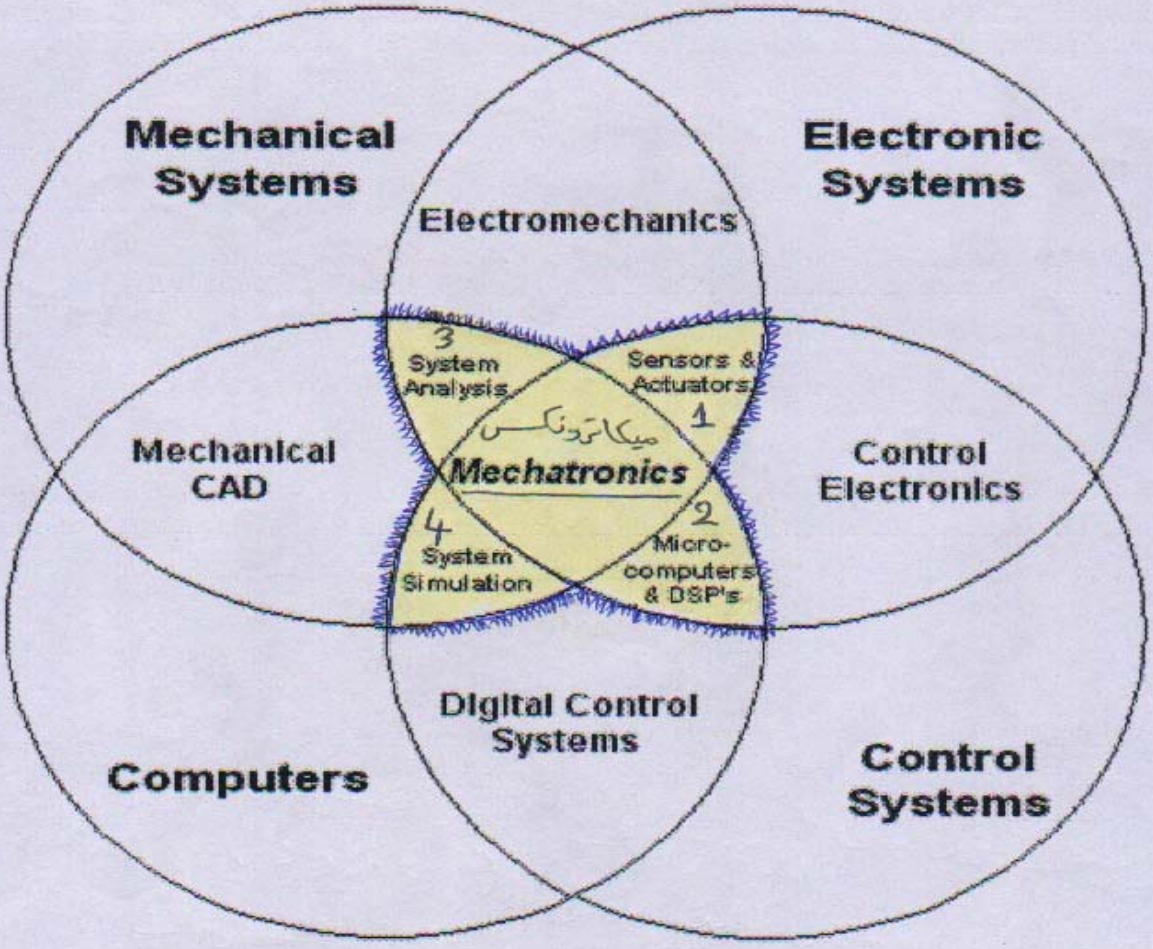
السيطرة والانظمة (System control (Hardware design and interfacing)

الحاسبات والبرمجة (Programming and software engineering)

وكما اسلفنا فأن الميكاترونكس تعنى بتصميم المنظومات لذا يتطلب معرفة تفصيلية لمعنى كلمة منظومة (System) او نظام. يمكن تعريف النظام على انه الفعاليات المتتالية الاتية:



ويلاحظ في النموذج اعلاه للنظام بأن المدخلات تعالج لتوليد المخرجات اذ يمثل هذا النموذج من الانظمة ما يسمى بالانظمة المفتوحة



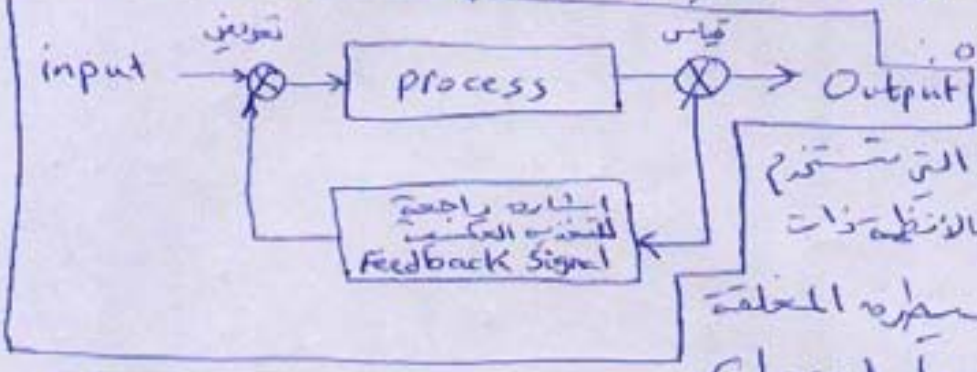
الشكل رقم (١) موقع الميكاترونكس ضمن حقول الهندسة والمعرفة

DSP = Digital signal processing

CAD = Computer aided design

٦

او انظمة الدوره المفتوحة Open loop Systems حيث ان توليد المخرجات هو ناتج دون الحاجة الى تقييم لمعرفة مدى انطباقه مع المطلوب من النظام. ولذلك فقد تطور الانظمة لتتبع تقييم او قياس لقيم المخرجات بهدف معرفة مدى انطباقها مع ماطلوب أصلاً وبالتالي فأن نتائج القياس او التقييم ستخدم في توليد اشاره راجعة (اشاره تغذية عكسية او راجعة) الى النظام بهدف الاقتراب من تحقيق الهدف المطلوب عند توليد المخرجات من خلال التعويض عن قيم الانحراف الناتج لاحظ الشكل ادناه.



وتسمى الانظمة التي تستخدم هذا النمط بالانظمة ذات اسلوب السيطره المغلقة Closed loop control systems حيث تتبع الانظمة التي تستخدم هذا النمط بتحقيق سيطره اعلى من مثيلاتها التي تستخدم انظمة الدورة المفتوحة. ولو تعمقنا بالنظر الى نمط الانظمة ذات اسلوب السيطره المغلقة نلاحظ وجود فعاليتين رئيسيتين وكما يلي:

١. الفعاليه الاولى وتخص الاجراء المتخذ في معالجة المدخلات لتحقيق المخرجات (وهذه الفعالية هي الفعاليه الوحيده المستخدمة في الانظمة ذات نمط الدوره المفتوحة)

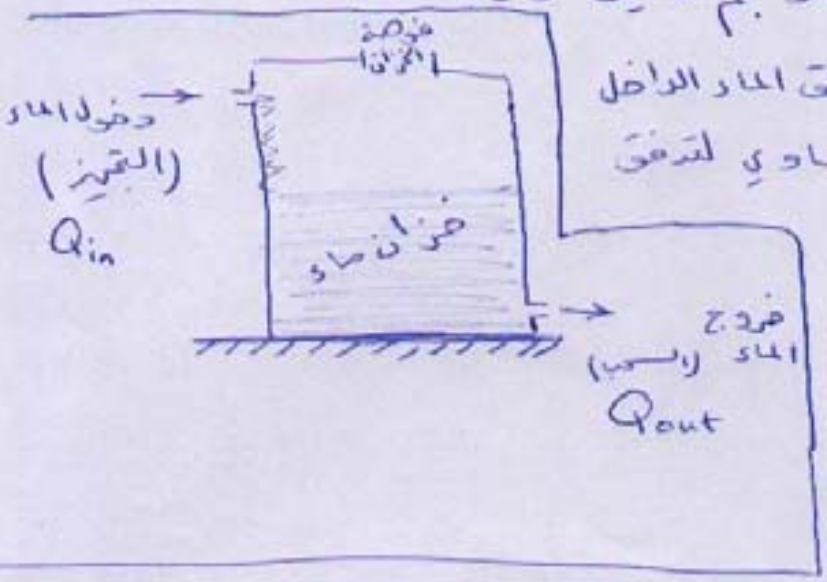
٢. الفعالية الثانية وتخص القياس والتقييم للمخرجات بهدف توليد اشاره تغذية راجعة تهدف الى التعويض عن قيم الانحراف عن الهدف المطلوب توليده من المخرجات

ان وجود الفعالية الثانية يتيح أنجاز عمليات السيطرة اللازمة ضمن المنظومة بما يحقق حقة اعلى في تحقيق الهدف.

7

ولو أخذنا امثلة بسيطة على أستخدام انظمة السيطرة اعلاه لنوضح الفرق بينهما :

لنتصور خزان ماء ذو حجم معين وليكن ١م٣ :



يلاحظ في حالة كون تدفق الماء الداخل الى الخزان Q_{in} مساوي لتدفق الماء الخارج من الخزان Q_{out}

$$Q_{in} = Q_{out}$$

فأن كمية الماء الموجوده اصلاً في الخزان تبقى ثابتة

اما في حالة كون :

$$Q_{in} < Q_{out} \quad \ldots\ldots ①$$

فان ذلك سيؤدي الى نقصان في كمية الماء في الخزان تدريجياً حتى يفرغ الخزان كلياً وبالتالي تتحول كمية الماء الخارجة الى كمية مساوية للماء المجهز .

اما الحالة الثانية عندما تكون :

$$Q_{in} > Q_{out} \quad \ldots\ldots ②$$

فأن كمية الماء المجهزه والتي هي أكبر من كمية الماء الخارجة ستؤدي الى زياده مستوى كمية الماء المخزونة في الخزان وستمر ذلك حتى يمتلئ الخزان ويبدأ بالتفايض خارجاً من فوهة الخزان .

يتبين من المنظومة البسيطة اعلاه بأن هنالك حاجة للسيطرة عليها بما يؤمن ادائها لـ (Functionality) المتمثل بدخول الماء وكميته وخروج الماء وكميته .

ولنتصور الآن أستخدام كل من اسلوبي السيطرة انفة الذكر ضمن هذه المنظومة . ففي حالة أستخدام اسلوب الدورة

8

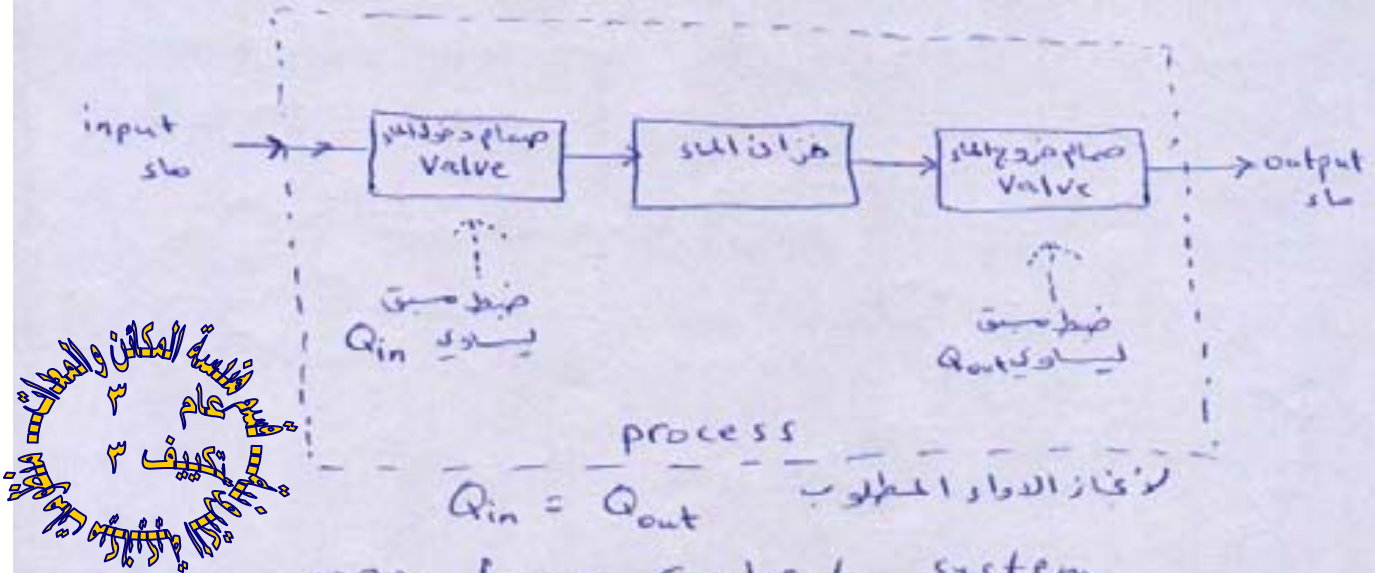
المفتوحة Open loop فأن ذلك يتطلب المعرفة المسبقة بكمية الماء الخارجة (او المطلوب خروجها كمعدل دقة) ليتسنى ضبط كمية الماء الجهزة الى الخزان

Q_{out} ? $\Rightarrow$ Q_{out} = Constant

Constant = Q_{in}

يلاحظ هنا فأن أستخدام هذا الأسلوب من السيطرة يتطلب المعرفة المسبقة لطبيعة الخزان Q_{out} وتحديدها بدقة فأن اي اختلاف يحدث اثناء تشغيل المنظومة في كمية الماء الداخل Q_{in} او كمية الماء الخارج Q_{out} (ضمن الحدود التي لا يستوعبها الخزان) ستؤدي الى فشل الاداء للمنظومة. وهنا يمكن ان نطلق تسمية حدود الخطأ المسموح Accepted Error على الكمية الزائدة او الناقصة (ضمن الحدود التي يستوعبها الخزان. ان مصطلح الخطأ المسموح Aucepted Error يقود بالتالي الى ما يسمى (حدود الدقة للمنظومة System Accuracy level).

ان أستخدام اسلوب السيطرة اعلاه يتمثل كما يلي

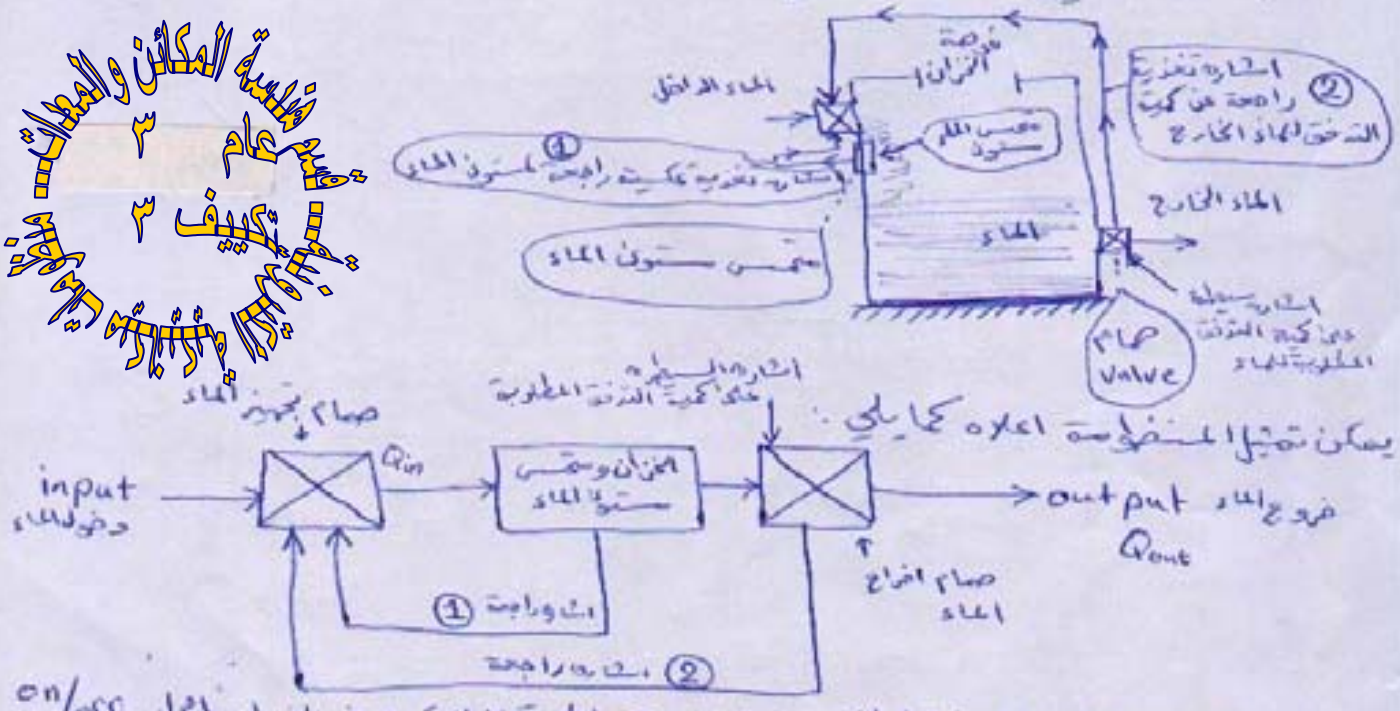


open loop Control system

٩

س: يتطلب تصميم خزان ماء لمنظومة ذات أسلوب سيطرة بأسلوب الدورة المفتوحة. اذا علمت ان معدل السحب او الاستهلاك للماء نهاراً (١٤ ساعة) هو ٤ لتر بالدقيقة وأن معدل السحب او الاستهلاك للماء ليلاً (١٠ ساعات) هو ١ لتر بالدقيقة في حين يبلغ معدل تجهيز الماء للخزان نهاراً (١٤ ساعة) بمعدل ١ لتر بالدقيقة في حين يتم تجهيز الخزان بالماء ليلاً بالكميات المطلوبة وبما لا يزيد عن ٧ لتر بالدقيقة. أحسب قيمة التدفق لصمام دخول الماء المطلوب ضبطه لعمل المنظومة بشكل سليم. (ملاحظة أستخدم عامل أمان لخزان الماء (حجم الخزان يساوي ضعف الاستخدام اليومي كحد أدنى لمستوى الماء).

ولو تم أستخدام أسلوب السيطرة المغلقة لتصميم منظومة الخزان فأنه يمكن أضافة اشارة تغذية راجعة او أكثر للمنظومة وحسب نمط السيطرة على المتغيرات المطلوب وضعه ضمن المنظومة



يمكن تمثيل المنظومة اعلاه كما يلي:

① اشارة راجعة تبين هل ان مستوى الماء هو المستوى الاعظم في الخزان ام لا on/off

② اشارة راجعة تبين كمية الماء المتدفق او الخارج من الخزان

١٥

يلاحظ من المنظومة اعلاه بانها تضم أشارتين التغذية الراجعة. الاشارة الراجعة الاولى تحدد مستوى الماء في الخزان من خلال مستوى الماء والذي يؤشر امتلاء او عدم امتلاء الخزان ليرسل اشارة راجعة من نوع on/off حيث في حالة امتلاء الخزان سيتم ارسال اشارة ولتكن off التي بدورها ستستلم من قبل صمام تغذية الماء ستقوم بأغلاق هذا الصمام لتفادي تفايض الماء في الخزان. وعندما يقل مستوى الماء في الخزان عن مستوى الامتلاء فأن المحسس سيرسل اشارة بنمط ثنائي وليكن on لتستلم من قبل صمام تغذية الماء فتتم تشغيله من جديد لمواصلة تزويد الخزان بالماء.

اما اشارة التغذية الراجعة الثانية والتي تتولد من صمام خروج الماء لتمثل كمية التدفق الناتج من الصمام (لاحظ وجود اشارة سيطرة مجهزة للصمام تتبع السيطرة على كمية التدفق للماء الخارج). ان اشارة التغذية الراجعة ستكون من نمط اشارة متغيرة القيمة تناسبياً مع كمية الماء المتدفق الخارج Propotional signal. تستلم اشارة التغذية الراجعة من قبل صمام تغذية الماء لتقوم بأعادة ضبطه الى المستوى الملائم لصمام أخراج الماء.

ان الاستنتاج الواضح من استخدام الاسلوبين أنفي الذكر بأن أسلوب السيطرة المغلقة Closed loop يعطي نتائج أفضل شريطة ان تتوفر للمنظومة فرصة ادخال الكميات المطلوبة من الماء من ضمن محيط المنظومة، الا انه وكتأكيد فأن هذا الاسلوب السيطرة هو أعلى كلفة وكتاج الى مستوى اعلى في الصيانة علاوة على ان دقة عمل المنظومة وكذلك المعولية عليها System Reliability يعتمد على دقة عمل وصولية الاجزاء المستخدمة في بناء المنظومة.

هنالك انواع اخرى من اساليب السيطرة المستخدمة في المنظومات الميكاترونيكية منها السيطرة بأسلوب التغذية السابقة Feed forward control system واسلوب السيطرة المتكيفة Adaptive control system.

١١

بالعودة الى الشكل رقم (١) نجد بأن أحدى الاركان الاساسية لهندسة الميكاترونكس والتي تدخل ضمن بناء المنظومات الميكاترونيكية هي المحركات (المشغلات) Actuators والمتحسسات Sensors. فالمحرك او المشغل Actuators هو ذلك الجزء الذي يولد الاستجابة المطلوبة في المنظومة وغالباً ماتكون هذه الاستجابة هي استجابة حركة (سواء بشكل مباشر او غير مباشر) ومن الأمثلة على المحركات او المشغلات Actuators المستخدمة في المنظومات الميكاترونيكية هي:

١. المحركات الكهربائية Electrical actuators
٢. المحركات الهيدروليكية Hydraulic actuators
٣. المحركات الهوائية (الرئوية) Pneumatic actuators

وسيأتي تفصيل كل هذه الانواع لاحقاً ضمن سلسلة المحاضرات المخصصة لهذه المادة.

اما المتحسسات Sensors فتعرف على انها مكونات او اجزاء فيزيائية تقوم بتحويل القيم الفيزيائية الداخلة لها او المحاسة الى اشارة كهربائية خارجة من المتحسس تتناسب بقيمتها مع القيمة الفيزيائية المحاسة (ان مصطلح تتناسب هنا لايعني بالضرورة ان تكون هنالك علاقة خطية او غيرها من العلاقات الرياضية الاخرى بل تعني توليد اشارات محددة لكل قيمة محاسة) وهنالك العديد من انواع المختلفة للمتحسسات من بينها على سبيل المثال لا الحصر متحسسات الرؤية والموقع والقوة والرؤية والتتابع والضغط والتلامس ... الخ.

اما الركن الثاني من اركان هندسة الميكاترونكس فيتعلق بموضوع معالجة الاشارات والحاسبات الميكروية فكما اسلفنا فأن المتحسسات تولد اشارة كهربائية وان المشغلات او المحركات تحتاج الى اشارة كهربائية لتأمين القدرة اللازمة للحركة وبالتالي فان هنالك حاجة لاجراء المعالجات اللازمة على الاشارات الكهربائية بهدف تعديلها او تحويلها الى الصيغ اللازمة او الملائمة للاستخدام ضمن المنظومة

12

الميكاترونيكية وهنا يلاحظ بأن عملية الوصف الهندسي للاشارات الكهربائية هو من خلال تحديد القيمة لها زمنياً اي انه عند تمثيلها بيانياً فأن أحد أهم اساليب التمثيل البياني لها هو من خلال جعل المحور السيني كمحور للزمن وجعل المحور الصادي كمحور لقيمة الاشارة اللحظية. وتجدر الاشارة الى ان هنالك انواع مختلفة من الاشارات الكهربائية فعلى سبيل المثال الاشارات المتواصلة والاشارات الرقمية. اما الحاكمات الدقيقة والحاسوبية ففيها يستخدم الاشارات الرقمية Digital Signals وبالتالي فهنالك حاجة لاجراء التحويل من نمط اشارة الى اخر بما يلائم الجزء المعني من المنظومة الميكانيكترونية (الميكاترونية). ان هذين الموضوعين (معالجة الاشارة والحاسوب) يتطلب دراسة وفهم لكيفية التعامل معهما سواء من خلال البرمجة او وضع تصميم الفعاليات المطلوبة من كليهما ليتمكنا من أنجاز الواجبات المطلوبة منهما ضمن المنظومة الميكاترونية.

اما الركن الثالث من اركان هندسة الميكاترونكس فيتعلق بتحليل النظام System Analysis ويعني بدراسة كافة الفعاليات التي يقوم بها النظام الميكاترونيكي وتحليل هذه الفعاليات والعلاقة الزمنية بينهما بما يحقق الاستقرارية والاستجابة اللازمة من المنظومة وبالتالي فأن اساليب التحليل قد تشمل التحليل الحركي وتحليل القوى والعزوم والتحليل الكهربائي والمغناطيسي والحراري وتحليل الاهتزازات وغيرها من اساليب التحليل الهندسي للنظام.

اما الركن الرابع من اركان هندسة الميكاترونكس فهو ما يتعلق بمحاكاة او مضاهاة النظام System Simulation في الكثير من الانظمة يعتبر بناء منظومة ما عملية مكلفة جداً لان بناء النموذج الاول Prototype يتم بأسلوب التصنيع اليدوي دون أستخدام المعدات الدائية او غيرها وبالتالي فأن تقييم النموذج الادائي سيكون ذو كلفة عالية جداً قد لا يمكن تأسيسها ومن المحتمل فأن نتائج التقييم الادائي للنموذج قد

13- يشير الفشل النموذج او تطلبه اجراءات تحويرية جذرية في تصميمه او تنفيذه. ولتلافي ذلك فأن اسلوب المضاهاة او المحاكاة Simulation من خلال بناء نماذج للنظام غير حقيقية او غير فيزيائية (على سبيل المثال التمثيل الحاسوبي) ستتيح اجراء الكثير من فعاليات التقييم الادائي للمنظومة وبالتالي قد تغني عن بناء نموذج اختباري حقيقي وفي هذه الحالة فأن ذلك سيوفر كلف غير قليلة تصل في بعض الاحيان الى 90% من كلف المشروع التصميمي.

ان عملية التكامل بين هذه الاركان هي صميم عمل المهندس الميكاترونيكي ولذلك فأن هذا التخصص الهندسي يتطلب معارف شبه تفصيلية بالعلوم الهندسية التي تم تحديدها ضمن الشكل رقم (١).

مثال على منظومة ميكاترونيكية منزلية — غسالة ملابس ذاتية Automatic washing Machine

ان تصميم وبناء غسالة ملابس ذاتية منزلية يتطلب العديد من المهام من ضمنها مايلي:

- مهم متطلبات النظام
  * حجم او وزن الملابس المطلوب وضعها في الغسالة
  * حجم وعاء الغسيل (حوض الغسيل)
  * نظام الماء المجهز و المفرغ
  * نظام تجهيز سوائل التنظيف المختلفة (مساحيق الغسيل او سوائل الغسيل)
  * فعاليات الحركة المطلوبة لوعاء الغسل (حركة سريعة او بطيئة باتجاه واحد او باتجاهين)
  * تسلسل فعاليات الغسيل المطلوبة وعلاقتها بحركة وعاء الغسل (مرحلة الغسل، مرحلة الشطف مرحلة التشنيف، مرحلة التجفيف)
  * مدى سهولة الاستخدام للمنظومة
  * المسؤولية او العمر للمعدة
  * السعر المتوقع لبيع المنظومة

14

- نوع مشغل العدة Actuators
* محرك كهربائي من اي نوع AC / DC مجمه ومواصفاته
* مضخة افراغ الماء نوعها مجمها ومواصفاتها
* نظام التوقف للمشغل Braking system مخصوصا لحالات الطوارئ او الايقاف الفجائي.

- المحسسات Sensors
* محسس مستوى الماء
* محسس كمية السوائل او وزنها (الحمل)
* محسس الموازنة Balance اثناء الدوران
* محسس غلق الباب واية محسسات مضافة اخرى.

- نظام السيطرة والبرمجة
* ويعتمد اختياره على وفق التصميم المطلوب للعدة

هنالك العديد والعديد من المنظومات الميكاترونيكية الموجودة حالياً سواء في البيوت او المحلات او الطرق وفي كافة جوانب الحياة فعلى سبيل المثال

- سجلات الصوت والفيديو
- مكائن الخياطة
- السيارات
- المكائن الانتاجية
- المعدات المطبخية (خلاطات اللحم وغيرها)
- الساعات
- الابواب الذاتية والسلالم الكهربائية والمصاعد

وتكاد القائمة لا تنتهي لو اردنا ان نعدد المعدات الميكاترونيكية التي نراها او نتعامل بها في حياتنا اليومية

فيزياء عام ٣ تعريف ٣ جامعة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات

الحساسات والمبدلات

(Sensors and Transducers)

الأهداف العامة للمحاضرة :

- تعريف وكيفية تصنيف الحساسات والمبدلات.
- كيفية اختيار الحساسات والمبدلات وفقاً للتطبيقات المختلفة.
- معرفة الأنواع الأساسية للحساسات والمبدلات.

قسم هندسة المكائن والمعدات
3
تصنيف
3

المحتويات

الموضوع

١- مقدمة

٢- مفاهيم عامة

٢- ١ تعريف الحساسات والمبدلات

٢- ٢ تصنيف الحساسات المبدلات

٢- ٣ اختيار الحساسات والمبدلات

٣- الأنواع الأساسية للحساسات والمبدلات

٣- ١ حساس ومبدل الإزاحة الأومي

٣- ٢ حساس ومبدل مقياس الإجهاد

٣- ٣ الحساس والمبدل الحثي

٣- ٣- ١ مقياس السرعة الدوارة

٣- ٣- ٢ المقياس الكهرومغناطيسي لقياس سرعة تدفق الموائع

٣- ٤ الحساس والمبدل السعوي

٣- ٤- ١ مقياس الإزاحة الدورانية

٣- ٤- ٢ مقياس الإزاحة الخطية

٣- ٤- ٣ مقياس الضغط

٣- ٥ مبدل بلورة بيزو الكهربية(مبدل الكهربية الإجهادية)

٣- ٦ حساسات ومبدلات الحرارة

٣- ٦- ١ مقياس حرارة المقاومة الكهربية

٣- ٦- ٢ المزدوج الحراري

٣- ٦- ٣ المجس الحراري

٣- ٧ حساسات ومبدلات كهروضوئية

٣- ٧- ١ الحساسات والمبدلات ذات انبعاث ضوئي

٣- ٧- ٢ الحساسات والمبدلات ذات موصلية ضوئية

٣- ٧- ٣ الحساسات والمبدلات ذات فولطية ضوئية

٦ -١ مقدمة Introduction

أحدى الوظائف المهمة للإلكترونيات علمياً وعملياً وصناعياً هي عملية قياس الكميات الفيزيائية مثل الموضع ودرجات الحرارة والقوة والضغط ومعدل تدفق مائع....إلخ.

وللحساسات والمبدلات وظائف مهمة في أنظمة التحكم المختلفة، فهي الأجهزة التي تأخذ على عاتقها مسؤولية تحويل الكميات الفيزيائية المختلفة إلى كميات كهربائية قابلة للقياس والتكبير والنقل بالإضافة إلى إمكانية دخولها في أنظمة التحكم. كما أنه يسهل تسجيل هذه الكميات الكهربائية كقاعدة هامة للبيانات والمعلومات ويسهل أيضاً التعامل معها عن طريق أجهزة التحكم والكومبيوتر.

٦ -٢ مفاهيم عامة General concepts

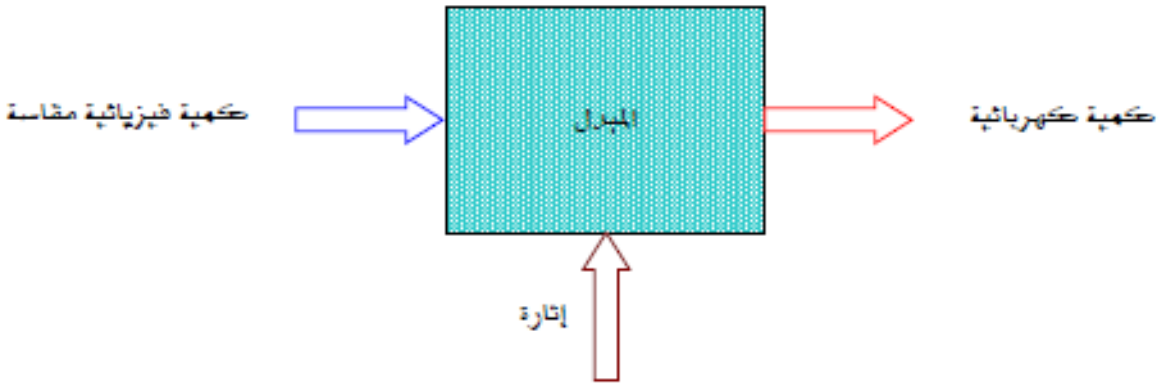
٦ -٢ -١ تعريف الحساسات والمبدلات

الحساس على وجه العموم هو أي جهاز يمكنه أن يحول الطاقة من صورة ما إلى صورة أخرى، إلا أن المبدل يعني الوظائف التالية:

(١) الإحساس بالكميات المقاسة

(٢) إخراج إشارة كهربائية متناسبة مع الكمية المقاسة يمكن قياسها بواسطة جهاز قياس خارجي.

أي أن المبدل يمكن أن يعتبر مترجماً من لغة الكميات الفيزيائية الموضوعة تحت المراقبة إلى لغة الكميات الكهربائية، كما هو موضح في شكل رقم (٦ -١).



شكل رقم (٦ -١) رسم تخطيطي للمبدل.

٦ -٢ -٢ تصنيف الحساسات المبدلات **Classification of sensors and transducers**

يمكن تصنيف الحساسات والمبدلات حسب تطبيقاتها، أو طبقاً للكميات الفيزيائية المحولة، أو طبقاً لخواصها، أو طبقاً لحالات القياس، كما سيأتي فيما بعد.

٦ -٢ -٣ اختيار الحساسات والمبدلات **Selection of sensors and transducers**

يجب مبدئياً اختيار الحساس أو المبدل بحيث يناسب التطبيق أو الوظيفة المنوط به القيام بها ويجب مراعاة الآتي:

(١) مدى القياس: يجب على المبدل أن يعمل في حدود مدى القياس المطلوب.

(٢) الحساسية: يجب على الحساس أو المبدل أن يحظى بدرجة معقولة من الحساسية بحيث يعطى خرجاً كهربائياً كافياً.

(٣) التفاعل مع التردد: يجب على المبدل أن يتفاعل بطريقة مناسبة مع التردد وكذلك بالنسبة للإثارة تجاه الرنين.

(٤) التناسب مع الظروف المحيطة: يجب على الحساس أو المبدل أن يناسب الظروف المحيطة به من حرارة وضغط جوي ومجالات مغناطيسية وكهربائية وخلافه.

(٥) أقل حساسية: يجب أن يحظى الحساس أو المبدل بقدر أدنى من الحساسية للشعور بالكمية المقاسة.

(٦) دقة القياس قد يتعرض الحساس أو المبدل إلى أخطاء في القياس نتيجة تكرارية عمليات القياس وأخطاء المعايرة وأيضاً بالإضافة إلى أخطاء الحساسية للمؤثرات الأخرى غير الكميات المقاسة.

(٧) التناسب مع ظروف الاستخدام: بالنسبة للكميات المقاسة كهربائياً وميكانيكياً يجب أن يؤخذ في الاعتبار وزن وأبعاد الحساس أو المبدل.

(٨) أبعاد أطراف التوصيل: يجب أن يؤخذ في الاعتبار أبعاد كابلات التوصيل بالنسبة للحساس أو للمبدل من حيث الطول ومساحة المقطع وخلاف، كذلك نسبة التشويش على إشارة القياس خاصة في حالة استخدام مكبر الإشارة وكذلك حدود التفاعل مع التردد.

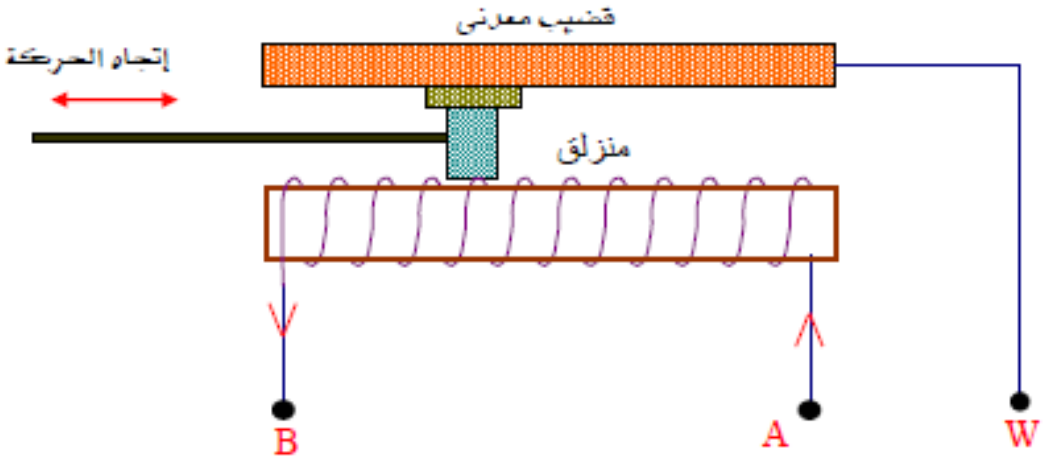
وسنوجز هنا بعض أنواع الحساسات والمبدلات وهي أكثر الأنواع شيوعاً وشهرة من حيث نظرية عملها وأين يمكن استخدامها والكميات المحولة و المقاسة بواسطتها.

٦ -٣ الأنواع الأساسية للحساسات والمبدلات Basic types of sensors and transducers

٦ -٣ -١ حساس ومبدل الإزاحة الأومي Resistive position transducer

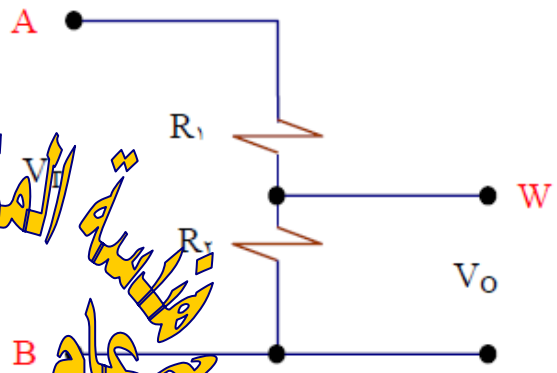
الفكرة الأساسية لحساس أو مبدل الإزاحة الأومي هو أن الكمية المقاسة المتغيرة تحدث تغيراً في مقاومة الجزء الحساس من المبدل. فمن المتطلبات الأساسية في القياسات الصناعية وعمليات التحكم هو أن تستطيع أن تستشعر موضع شيء ما أو المسافة التي تحركها هذا الشيء.

ويعتبر حساس أو مبدل الإزاحة الأومي أحد حساسات أو مبدلات بيان الإزاحة حيث يمكنه استشعار موضع كائن ما باستخدام عنصر مقاومة أومية ملفوفة بانتظام على قضيب عازل للكهرباء ومنزلق متصل بالكائن المراد تبيان موضعه وقابل للانزلاق ملامساً لعنصر المقاومة وملامساً في نفس الوقت لقضيب معدني ذي مقاومة صغيرة نسبياً بالنسبة لعنصر المقاومة الأومية، كما هو مبين بشكل رقم (٦ -٢).



شكل رقم (٦ -٢) حساس الإزاحة الأومي.

وبهذا فإن المقاومة مابين المنزلق وأحد أطراف عنصر المقاومة الأومية يعتمد على وضع الكائن المراد قياس وضعه أو إزاحته كما هو مبين بالشكل رقم (٦ -٣). وعلى ذلك فإن النقطة W تدل على وضع الكائن المراد قياسه ما بين وضعين قياسيين: وضع A ووضع B.



شكل رقم (٦ -٣) الدائرة المكافئة لحساس الإزاحة الأومي

وعلى هذا يمكن كتابة المعادلات الرياضية كما يأتي:

$$I = \frac{V_T}{R_1 + R_2} \qquad (٦ - ١)$$

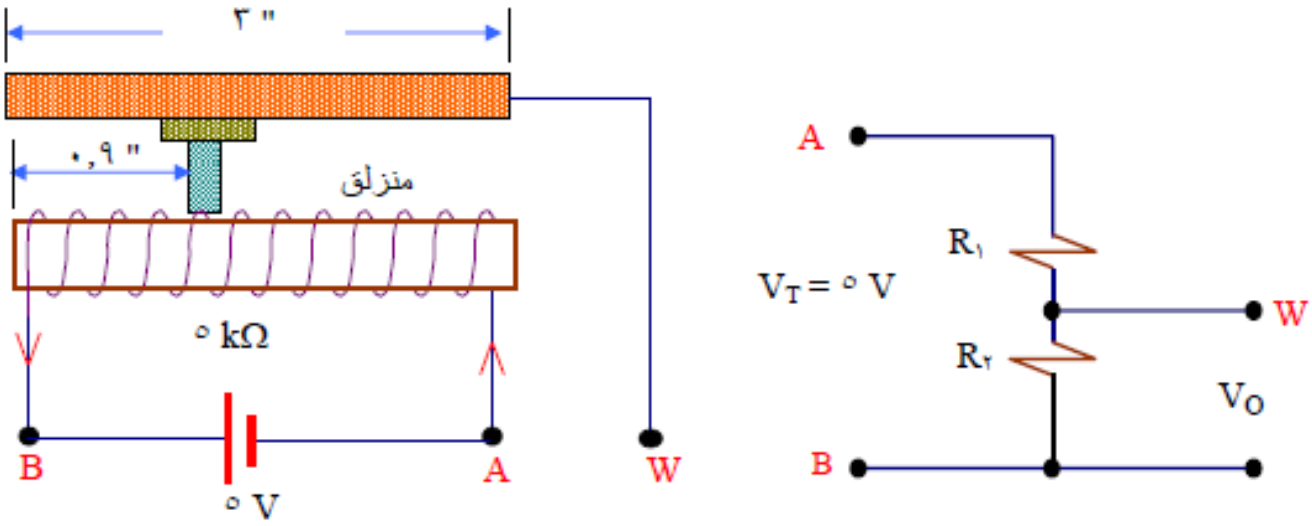
$$V_O = I R_2 \qquad (٦ - ٢)$$

$$\frac{V_O}{V_T} = \frac{IR_2}{I(R_1 + R_2)} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \qquad (٦ - ٣)$$

و يتضح من هذا أن مبدل الوضع الأومي يوضح أن جهد الخرج Vo يتناسب تناسباً طردياً مع وضع المنزلق إذا كانت المقاومة موزعة بانتظام على المسافة AB .

مثال رقم (٦ -١)

شكل رقم (٦ -٤) يبين مبدل إزاحة أومي بطول مسافة قضيبية ٣ inches، وبمقاومة كلية لمقسم الجهد تساوي ٥ kΩ، فإذا كان الجهد المطبق V_T = ٥ V وكان وضع المنزلق على بعد ٠,٩" من نقطة B.احسب جهد الخرج Vo.



شكل رقم (٦ -٤) مبدل الإزاحة الأومي للمثال رقم (٦ -١).

الحل: من المعادلة رقم (٦ -٣):

$$\frac{V_O}{V_T} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_2 = \frac{0.9}{3} \times 5000 = 1500\ \Omega$$

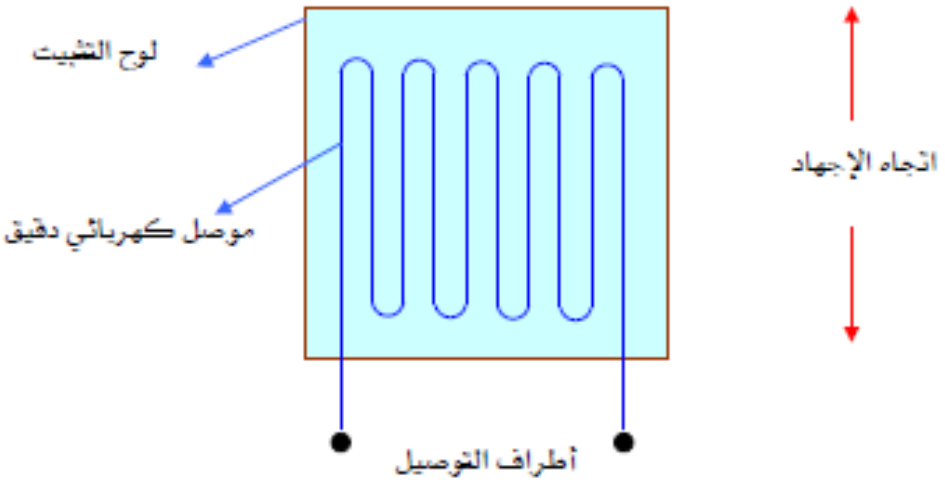
$$\frac{V_O}{V_T} = \frac{1500}{5000}$$

$$V_O = V_T \times \frac{1500}{5000} = 5 \times \frac{1500}{5000} = 1.5\ \text{volts}$$

٦ -٣ -٢- حساس ومبدل مقياس الإجهاد Strain guage transducer

حساس مقياس الإجهاد يعتمد في تشغيله على نظرية تغير المقاومة الكهربائية في الموصلات الكهربائية نتيجة الإجهاد الواقع على هذه الموصلات نتيجة تعرضها لقوة ما. وهو بذلك يستخدم لقياس الوزن أو الضغط أو القوة الميكانيكية أو الإزاحة.

ويعتمد تركيب حساس مقياس الإجهاد كما هو مبين بشكل رقم (٦ -٥) على تثبيت موصل كهربائي دقيق بطريقة تموجية إلى الأمام وإلى الخلف على لوح تثبيت محكم اللصق على الجزء المراد قياس الإجهاد به.



شكل رقم (٦ -٥) حساس مقياس الإجهاد.

ويؤدي إجهاد الشد إلى استطالة اللوح وبالتالي استطالة الموصل الكهربائي (زيادة في طول الموصل)، وبما أن كمية المادة الموجودة في الموصل لا تتغير أي أن كتلته ثابتة وحجمه أيضاً، فإن زيادة طوله يؤدي إلى نقص في مساحة مقطعه، وبالتالي تتزايد مقاومة الموصل تبعاً لقانون المقاومة:

$$R = \rho L/a \qquad (٦ -٤)$$

حيث:

R: المقاومة الكهربائية

ρ: المقاومة النوعية للمادة المصنع منها الموصل

L: طول الموصل

a: مساحة مقطع الموصل

ويؤدي الإجهاد بالتالي إلى:

(١) تزايد طول الموصل (وبالتالي نقص في مساحة مقطعه).

(٢) تزايد مقاومة الموصل.

والعلاقة بين الزيادة في طول الموصل ΔL والطول الابتدائي للموصل L تسمى مقياس الإجهاد G ، حيث:

$$G = \frac{\Delta L}{L} \qquad (٦-٥)$$

وهي مجرد نسبة ليس لها أبعاد تدل على مقدار الإجهاد الواقع على الموصل.

وحيث إن التغير في المقاومة الكهربائية للموصل تعتمد على التغير في مساحة مقطع الموصل بالإضافة إلى التغير في طول الموصل، فإن نسبة التغير في المقاومة تكون أكبر من نسبة التغير في الطول، وبذلك يمكن تعريف ثابت المقياس K كما يلي:

$$K = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} \qquad (٦-٦)$$

وهذا الثابت يكون دائما أكبر من ١.

ومن المعروف أن هناك علاقة تناسبية قياسية تربط ما بين الضغط الداخلي (Stress) و الإجهاد (Strain) تسمى بمعامل اللدونة (Modulus of Elasticity (E))، حيث يمكن تمثيل هذه العلاقة رياضياً من العلاقات الآتية:

$$E = \frac{S}{G} \qquad (٦-٧)$$

حيث:

E: معامل اللدونة

S: الضغط الداخلي

G: الإجهاد

ويمكن تمثيل الضغط الداخلي S بالعلاقة الآتية:

$$S = \frac{F}{A} \qquad (٦-٨)$$

حيث:

F: القوة وتقاس بوحدة kg

A: مساحة المقطع وتقاس بوحدة m^2

وبذلك يقاس الضغط الداخلي بوحدة kg/m^2، وبما أن الإجهاد G ليس له أبعاد لأنه مجرد نسبة، تكون بالتالي أبعاد معامل اللدونة E هي نفس أبعاد الضغط الداخلي S أي: kg/m^2.

وبالنسبة لمقياس الإجهاد فإنه من المطلوب أن يكون على درجة عالية من الحساسية وهذا يعني قيمة كبيرة لثابت المقياس K، وبالعودة إلى معادلة ثابت المقياس K، فإن القيمة العالية له تعني تغير كبير للمقاومة (لسهولة قياسها) بالنسبة للتغير في الطول.

مثال رقم (٦ -٢)

ثبت حساس مقياس إجهاد ذو ثابت مقياس $K = 2$ على لوح من الصلب ثم عرض لإجهاد قدره $G = 1\times10^{-6}$ ، فإذا كانت المقاومة الابتدائية $R_0 = 130\ \Omega$ ، احسب التغير في المقاومة ΔR.

الحل

من المعادلة رقم (٦ -٦) لثابت المقياس:

$$K = 2 = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = \frac{\Delta R/R_0}{G} = \frac{\Delta R/130\ \Omega}{1\times10^{-6}}$$

$$\Delta R = 2\times130\times1\times10^{-6} = 260\ \mu\Omega$$

مثال رقم (٦ -٣)

قضيب من الصلب ذو مقطع دائري قطره 0.02 m وطوله 0.4 m ، عرض لقوة شد مقدارها 33000 kg ، حيث معامل اللدونة $E = 2\times10^{10}\ kg/m^2$ ، احسب الاستطالة ΔL.

الحل

نبدأ بحساب مساحة مقطع القضيب A كما يلي:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi}{4}\times(0.02)^2 = 3.14\times10^{-4}\ m^2$$

ومن المعادلة رقم (٦ -٧) لمعامل اللدونة E:

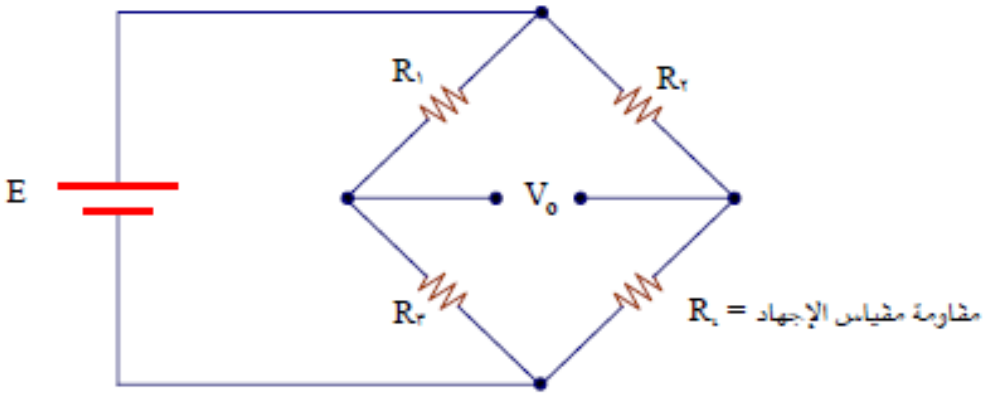
$$E = \frac{S}{G} = \frac{F/A}{\Delta L/L} = \frac{F\times L}{A\times\Delta L}$$

$$\therefore \Delta L = \frac{F\times L}{A\times E} = \frac{33000\ kg\times0.4\ m}{3.14\times10^{-4}\times2\times10^{10}} = 2.1\times10^{-3}\ m = 2.1\ mm$$

إلى هنا ويعتبر مقياس الإجهاد نوع من أنواع الحساسات حيث إنه يستطيع ترجمة الإجهاد إلى تغير في المقاومة، ولكن لكي يعمل مقياس الإجهاد كمبدل (Transducer)، يجب أن يكون خرج الجهاز على صورة إشارة كهربائية.

إضافة الإشارة الكهربائية إلى حساس مقياس الإجهاد

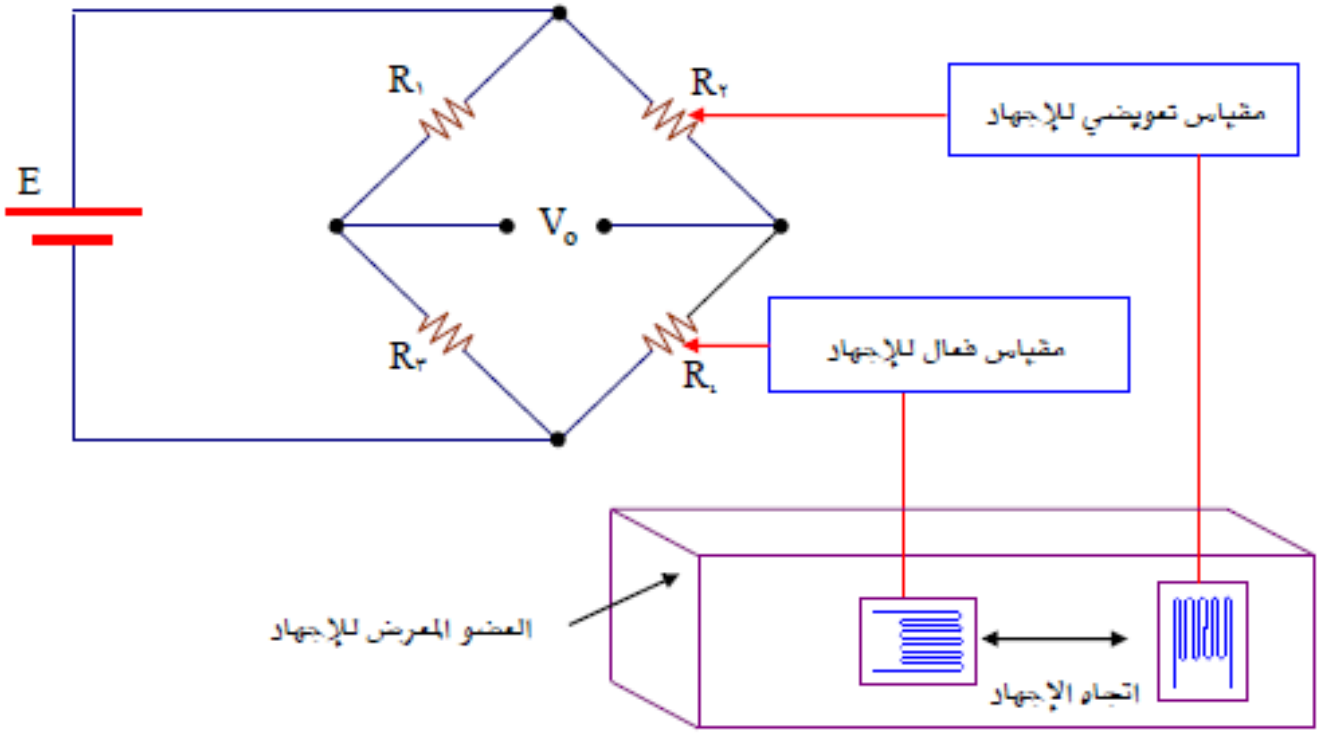
في العادة يستخدم مقياس الإجهاد كذراع رابع في قنطرة ويتستون (المتزنة في حالة عدم وجود أي إجهاد)، وبالتالي يمكن تحويل الإجهاد إلى تغير في مقاومة الذراع الرابع، وبالتالي إلى قيمة للجهد V_o الذي يمكن قياسها، كما هو مبين بالشكل رقم (٦ -٦).



شكل رقم (٦ -٦) تحويل حساس مقياس الإجهاد إلى مبدل.

ويمكن استخدام هذه الطريقة عندما يكون التغير في درجة حرارة التشغيل ليس بالدرجة التي تؤثر على دقة القياس، أو في الحالات التي لا تتطلب دقة عالية في القياس. أما في حالات التغير الكبير في درجة حرارة التشغيل، فإن المقاومة تتأثر بهذا التغير في درجة الحرارة وتتغير قيمتها تبعاً لذلك، وعلى هذا فإن المقاومة تتغير نتيجة للإجهاد، بالإضافة إلى تغيرها نتيجة للتغير في درجة الحرارة. وهذا يؤدي إلى نتيجة خاطئة بالطبع، ولهذا يجب إلغاء تأثر المقاومة بدرجة الحرارة.

ولإلغاء تأثير تغير المقاومة نتيجة تغير درجة الحرارة يمكن استخدام النظام التعويضي التالي والموضح بالشكل رقم (٦ -٧). حيث يمكن استخدام مقياس الإجهاد في الذراع الرابع لقنطرة ويتستون كمقياس فعال (تأثير إجهاد + تأثير حرارة)، وفي الذراع الثاني (ذراع تناسب الاتزان) يمكن استخدام مقياس إجهاد آخر كمقياس تعويضي، وهذا المقياس يمكن تثبيته في اتجاه متعامد على اتجاه الإجهاد بحيث لا يتأثر بالإجهاد ولكنه يتأثر فقط بالحرارة، وبالتالي فإن الذراعين المتناسبين يكون أحدهما متأثراً بالإجهاد والحرارة أما الآخر يكون متأثراً بالإجهاد فقط، وبالتالي يمكن إلغاء تأثير الحرارة.



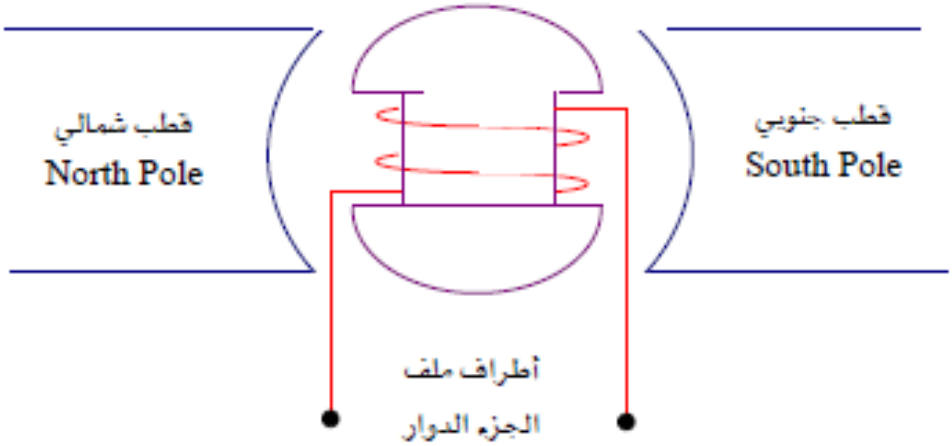
شكل رقم (٦ -٧) النظام التعويضي لمبدل مقياس الإجهاد لإلغاء تأثير درجة الحرارة.

٦ -٣ -٣ الحساس والمبدل الحثي Inductive transducer

يستخدم الحساس والمبدل الحثي نظرية عمل المولد الكهربائي في توليد جهد كهربائي بين أطراف الموصل في حالة وجود حركة نسبية بين الموصل والمجال المغناطيسي. هذه الحركة النسبية تكون هي في الغالب الكمية المراد قياسها. وفيما يلي سنتعرض لنوعين من أنواع المبدلات الحثية.

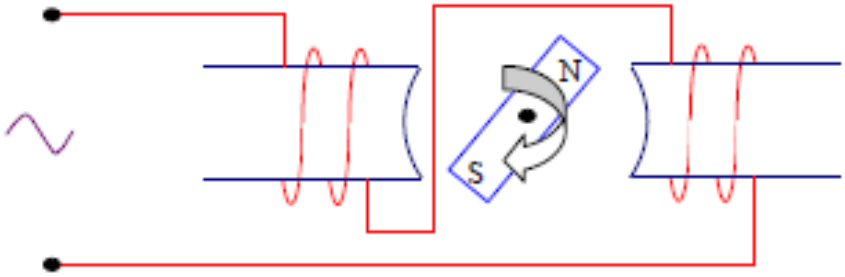
٦ -٣ -٣ -١ مقياس السرعة الدوارة (Tachometer)

شكل رقم (٦ -٨) يبين مقياس السرعة الدوارة وهو مبدل حثي يمكنه تحويل السرعة الدوارة مباشرةً إلى إشارة كهربائية فهو عبارة عن مولد تيار مستمر ذي أقطاب دائمة المغناطيسية يمكنه توليد جهد مستمر بقيمة ثابتة مقدارها (١٠ mV/r.p.m)، و بذلك يمكنه تغذية مقياس جهد (Voltmeter) معاير لقياس السرعة مباشرة، حيث يتم ربط العضو الدوار لمقياس السرعة بالجزء الدوار المطلوب قياس سرعته.



شكل رقم (٦ -٨) مقياس السرعة الدوارة مولد تيار مستمر

وللخروج من مشاكل ماكينات التيار المتردد ، يمكن أيضاً تصميم مقياس السرعة على هيئة مولد تيار متردد بأن يكون العضو الدوار هو الأقطاب المغناطيسية ويتم توليد جهد كهربائي بطريق الحث في ملف موجود في العضو الثابت كما هو موضح بشكل رقم (٦ -٩) .



شكل رقم (٦ -٩) مقياس السرعة الدوارة مولد تيار متردد.

وعن طريق هذه التركيبة يمكن لإشارة الجهد (المتردد) أن تنقى بواسطة فلاتر كهربائية ويمكن أيضاً تكبير هذه الإشارات بالإضافة إلى الميزة الهامة لماكينات التيار المتردد من هدوء الصوت قياساً بأجهزة التيار المستمر.

وأحد التطبيقات المهمة لهذا المبدل هو قياس التردد ، حيث إن هناك علاقة مباشرة بين التردد وسرعة الدوران تربطهما العلاقة الرياضية التالية:

$$n = \frac{120\ f}{P} \qquad (٦ -٩)$$

حيث:

n: سرعة الدوران وتقاس بوحدة لفة لكل دقيقة (r.p.m.)

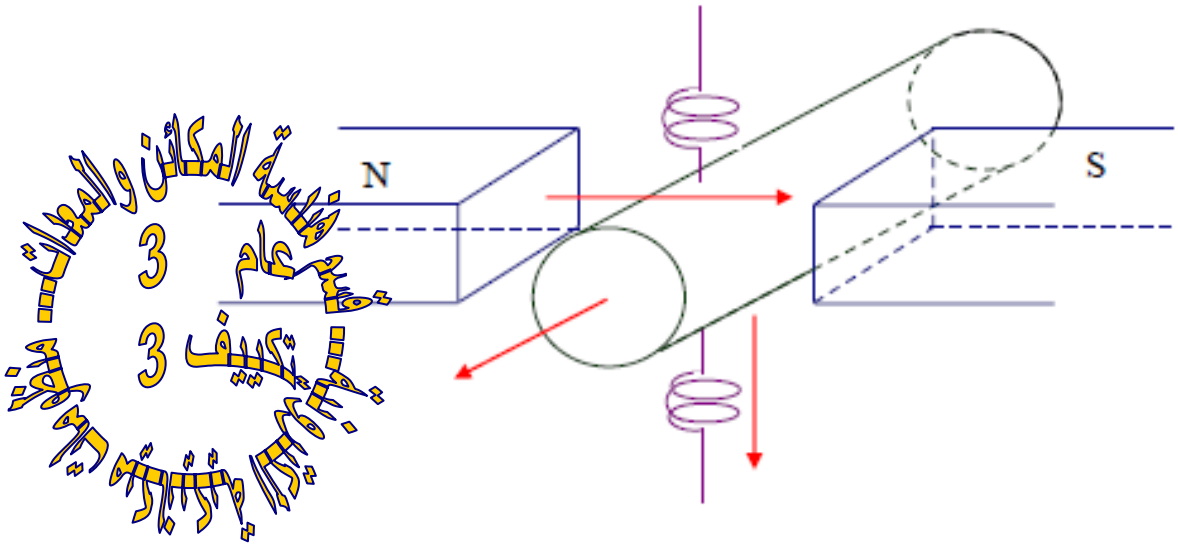
f: التردد ويقاس بوحدة cycle/sec = Hertz

P: عدد الأقطاب المغناطيسية الموجودة بالمقياس

٦ -٣ -٣ -٢ المقياس الكهرومغناطيسي لقياس سرعة تدفق الموائع

Electro-magnetic transducer

تطبيق آخر للمبدل الحثي هو مقياس سرعة تدفق الموائع الجيدة التوصيل للكهرباء حيث يمكن اعتبار المبدل جزء من مقطع أنبوب يتدفق فيه المائع الموصل للكهرباء والمحاط بأنبوب رديء التوصيل للكهرباء أو عازل للكهرباء، وعن طريق أقطاب جيدة التوصيل للكهرباء مثبتة داخل الأنبوب على امتداد قطره وعمودية على كل من اتجاه سريان المائع واتجاه المجال المغناطيسي، كما في شكل رقم (٦ -١٠) وموصلة باثنين من الملفات الموصلة كهربائياً عكس بعضهما، يمكن الحصول على جهد يتناسب مع سرعة سريان المائع داخل الأنبوب، حيث يعتبر المائع في هذه الحالة موصل يقطع خطوط المجال المغناطيسي بسرعة v تساوي.



مجموعة المكائن والمعدات
قسم عام
3
تكييف
3

شكل رقم (٦ -١٠) المقياس الكهرومغناطيسي لقياس سرعة تدفق الموائع

ويمكن حساب الجهد الناتج من العلاقة الرياضية الآتية:

$$E = B L v \qquad (٦-١٠)$$

حيث:

E: الجهد الناتج أو القوة الدافعة الكهربائية المتولدة ويقاس بوحدة الفولت (volts)

B: كثافة المجال المغناطيسي مقاسة بوحدة التسلا (Tesla = Weber/m^2)

v: سرعة سريان المائع وتقاس بوحدة متر/ثانية (m/sec)

يسمى مقياس التدفق بالمقياس الكهرومغناطيسي لتدفق الموائع، الذي من مميزاته عدم التأثير على الضغط داخل الأنبوب كما أنه يصلح لقياس سرعات عالية جداً ولكن في المقابل لا يصلح هذا المقياس للسرعات البطيئة (أقل من foot/sec ١) إلا إذا تجاوزت موصلية السائل siemens/m ٠.٥. ومن عيوب هذا النظام أيضاً أن الأقطاب لابد أن تكون دائماً نظيفة وجيدة التوصيل للكهرباء، وفي كثير من الأحيان في الأغراض الصناعية يمكن أن تتكون كثير من الترسبات على هذه الأقطاب حيث تؤدي إلى أخطاء في عملية القياس.

مثال رقم (٦ -٤)

جهاز كهرومغناطيسي لقياس سرعات التدفق، ذو قطر أنبوب = ١.٢٥ cm، إذا كانت كثافة المجال المغناطيسي = ٠.٢ Tesla، وكان جهد المقياس قدره =٢٥ mV، احسب سرعة تدفق المائع.

الحل

بتطبيق معادلة رقم (٦ -١٠) للجهد:

$$E = B L v$$

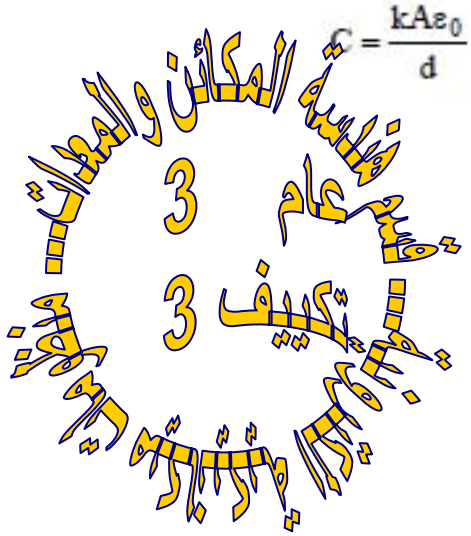
يمكن حساب السرعة v:

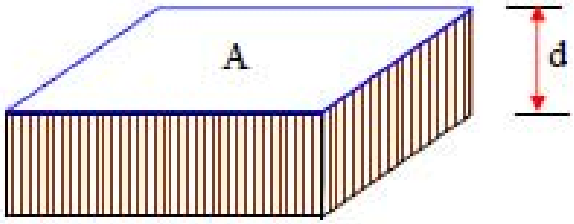
$$v = \frac{E}{B L} = \frac{25 \times 10^{-3}}{0.2 \times 1.25 \times 10^{-2}} = 10 \text{ m/sec}$$

٦ -٣ -٤ الحساس والمبدل السعوي Capacitive transducer

من المعروف أن السعة الكهربائية C للمكثف ذي اللوحين المتوازيين والموضح في شكل رقم (٦ -١١) تعطى من العلاقة:

$$C = \frac{kA\varepsilon_0}{d} \quad \text{(Farads)} \qquad (٦-١١)$$





شكل رقم (٦ -١١) المكثف ذو اللوحين المتوازيين.

حيث:

C: السعة الكهربائية وتقاس بوحدة الفاراد (Farad)

k: ثابت العازل المستخدم بين اللوحين وهو بدون أبعاد

A: مساحة اللوح وتقاس بوحدة المتر المربع (m^2)

d: المسافة بين اللوحين وتقاس بوحدة المتر (m)

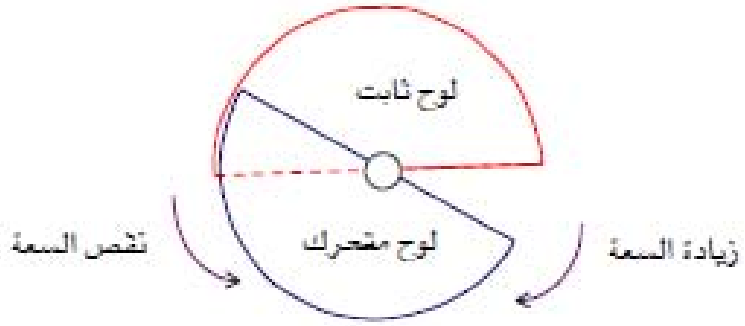
ε: سماحية الهواء أو الفراغ Permittivity وتقاس بوحدة الفاراد/متر، وهي قيمة معروفة ($\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ Farad/m)

ويعتمد الحساس أو المبدل السعوي على المعادلة الرياضية السابقة حيث التغير في المسافة بين اللوحين أو التغير في المساحة المشتركة بين اللوحين يؤدي بالتالي إلى تغير في قيمة سعة المكثف.

وفيما يلي بعض الأمثلة للحساسات السعوية بأشكال وتطبيقات مختلفة.

٦ -٣ -٤ -١ مقياس الإزاحة الدورانية Rotational movement transducer

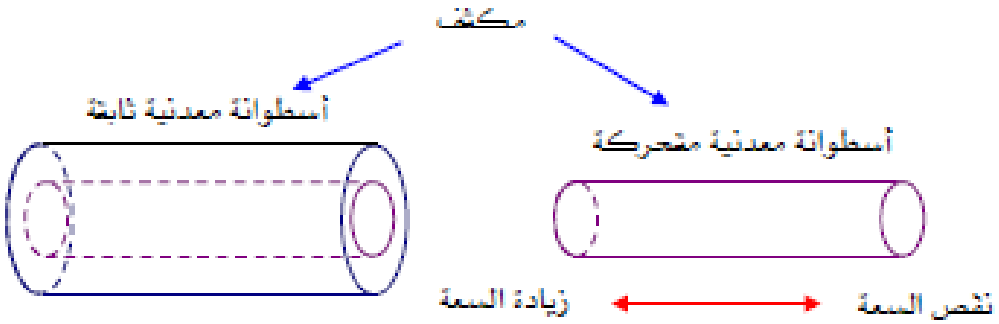
وهو عبارة عن مكثف ذي لوحين على شكل أنصاف دوائر مشتركين في المحور أحدهما ثابت والآخر قابل للحركة حول المحور المشترك كما هو مبين بشكل رقم (٦ -١٢). وتودي حركة اللوح إلى زيادة المساحة المشتركة بين اللوحين أو نقصها على حسب اتجاه الحركة ويودي بالتالي إلى تغير سعة المكثف.



شكل رقم (٦ -١٢) مقياس الإزاحة الدورانية.

٦ -٣ -٤ -٢ مقياس الإزاحة الخطية **Linear movement transducer**

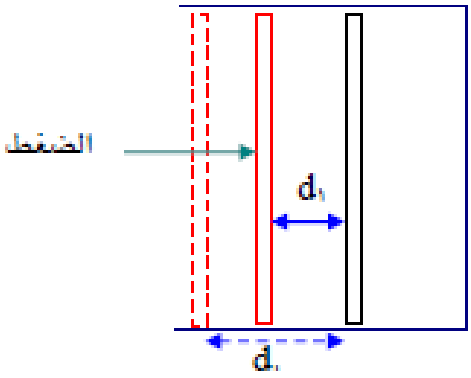
وهو عبارة عن مكثف ذي قطبين على شكل أسطوانتين مشتركتين في المحور أحداهما ثابتة والأخرى قابلة للحركة على امتداد المحور المشترك كما هو مبين بالشكل رقم (٦ -١٣). وتؤدي حركة الأسطوانة إلى زيادة المساحة المشتركة بين الأسطوانتين أو نقصها على حسب اتجاه الحركة ويؤدي بالتالي إلى تغير سعة المكثف.



شكل رقم (٦ -١٣) مقياس الإزاحة الخطية.

٦ -٣ -٤ -٢ مقياس الضغط **Pressure transducer**

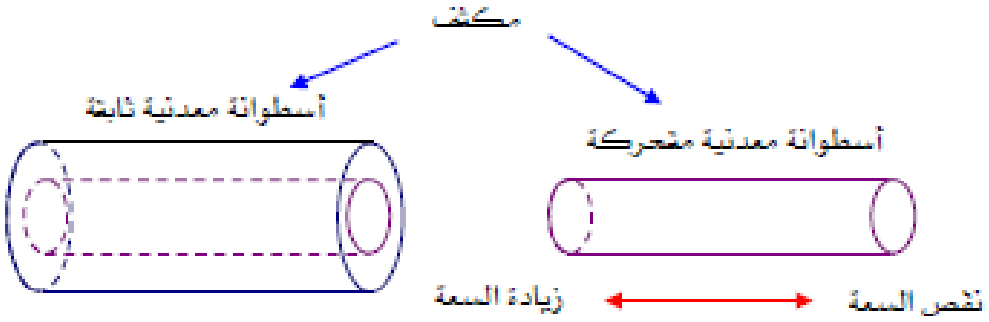
وهو عبارة عن مكثف ذي لوحين متوازيين أحدهما ثابت والآخر على شكل غشاء رفيق قابل للحركة في اتجاه المسافة بين اللوحين كما هو مبين بالشكل رقم (٦ -١٤). وتؤدي حركة اللوح إلى زيادة المسافة بين اللوحين أو نقصها على حسب اتجاه الحركة ويؤدي بالتالي إلى تغير سعة المكثف. ويستخدم هذا الحساس في قياس الضغط حيث يؤثر الضغط على الغشاء الرفيق ويحركه فيغير المسافة بين اللوحين من المسافة الابتدائية d إلى المسافة الجديدة d ، وعن طريق قياس السعة يمكن قياس قيمة الضغط.



شكل رقم (٦ -١٤) مقياس الضغط.

٦ -٣ -٤ -٢ مقياس الإزاحة الخطية **Linear movement transducer**

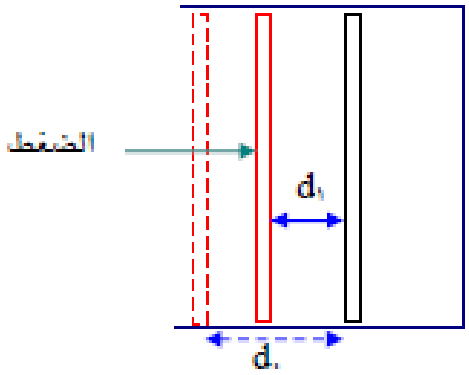
وهو عبارة عن مكثف ذي قطبين على شكل أسطوانتين مشتركتين في المحور أحداهما ثابتة والأخرى قابلة للحركة على امتداد المحور المشترك كما هو مبين بالشكل رقم (٦ -١٢). وتودي حركة الأسطوانة إلى زيادة المساحة المشتركة بين الأسطوانتين أو نقصها على حسب اتجاه الحركة ويودي بالتالي إلى تغير سعة المكثف.



شكل رقم (٦ -١٢) مقياس الإزاحة الخطية.

٦ -٣ -٤ -٣ مقياس الضغط **Pressure transducer**

وهو عبارة عن مكثف ذي لوحين متوازيين أحدهما ثابت والآخر على شكل غشاء رقيق قابل للحركة في اتجاه المسافة بين اللوحين كما هو مبين بالشكل رقم (٦ -١٤). وتودي حركة اللوح إلى زيادة المسافة بين اللوحين أو نقصها على حسب اتجاه الحركة ويودي بالتالي إلى تغير سعة المكثف. ويستخدم هذا الحساس في قياس الضغط حيث يؤثر الضغط على الغشاء الرقيق ويحركه فيغير المسافة بين اللوحين من المسافة الابتدائية d إلى المسافة الجديدة d، وعن طريق قياس السعة يمكن قياس قيمة الضغط.



شكل رقم (٦ -١٤) مقياس الضغط.

تدخل القوة الخارجية إلى المبدل من خلال فتحة الضغط والتي تسلط قوة أعلى البلورة وتسبب توليد جهد كهربائي بين سطحين من أسطحها يتناسب مع مقدار الضغط المؤثر.

٦ -٣ -٦ حساسات ومبدلات الحرارة

يمكن تقسيم حساسات ومبدلات الحرارة إلى الأنواع التالية:

(أ) مقياس حرارة المقاومة الكهربائية Resistance thermometer.

(ب) المزدوج الحراري Thermo Couple.

(ت) المجس الحراري Thermistor.

وسوف نتعرض بإيجاز لكل من الأنواع الثلاثة.

٦ -٣ -٦ -١ مقياس حرارة المقاومة الكهربائية

يصنع مقياس حرارة المقاومة من عناصر حساسة ونقية من البلاتين أو النحاس أو النيكل والتي تتأثر مقاومتها الكهربائية بطريقة ملحوظة بدرجة الحرارة طبقاً للمعادلة الآتية:

$$R = R_0 \left[1 + \alpha \, \Delta t\right] \qquad (٦ -١٢)$$

حيث:

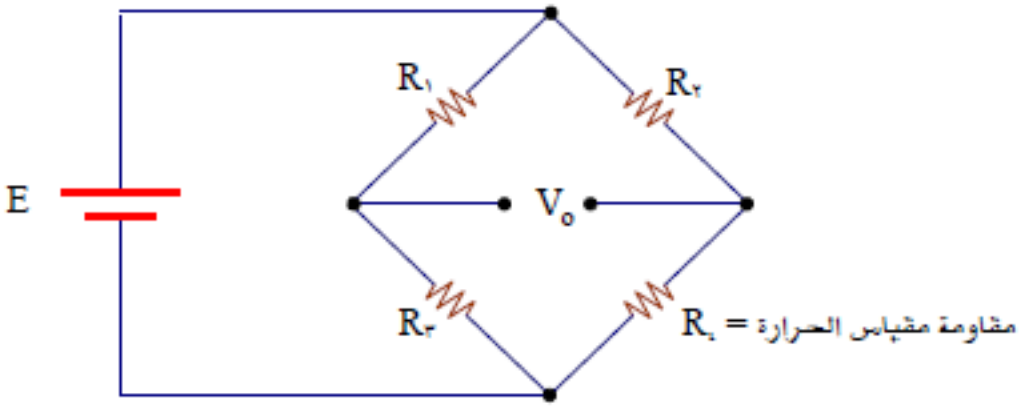
R : مقاومة الموصل عند درجة حرارة t مقاسة بالدرجات المئوية

R_0 : مقاومة الموصل عند درجة حرارة مرجعية (عادة عند $20\ ^\circ C$)

Δt : الفرق بين درجة حرارة التشغيل ودرجة الحرارة المرجعية

α : المعامل الحراري للمقاومة

والمواد السابقة تتميز بأن معاملها الحراري α كبير ولذلك فالتغير في المقاومة ملحوظ نتيجة التغير الصغير في درجة الحرارة. والتغير في المقاومة ΔR يمكن قياسه باستخدام قنطرة ويتستون التي يمكن معايرتها لبيان درجة الحرارة المتسببة في تغير المقاومة كما هو مبين بشكل رقم (٦ -١٦).

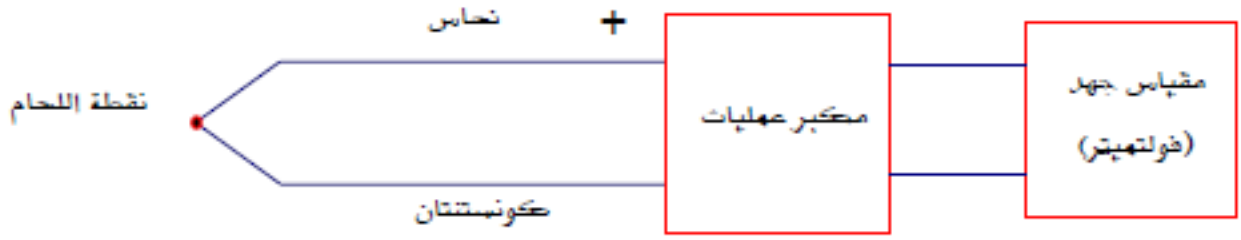


شكل رقم (٦ -١٦) مبدل مقياس حرارة المقاومة الكهربائية.

٦ -٣ -٦ -٢ المزدوج الحراري Thermo-couple

من الخواص الفيزيائية المهمة أنه عند توصيل طرفي سلكين مصنعين من معدنين مختلفين مع بعضهما، يتولد جهد كهربائي بين طرفيهما الآخرين. وهذا الجهد يتناسب مع فرق درجات الحرارة مابين درجة حرارة الطرفين المتصلين معا و درجة حرارة الطرفين الآخرين. كمثال على ذلك عند توصيل طرف سلك مصنع من مادة النحاس الأحمر Copper مع طرف سلك مصنع من مادة الكونستنتان Constantan، يمكن الحصول على جهد يقاس بوحدة الملي فولت (mV) بين الطرفين الآخرين، ويعتبر النحاس هو القطب الموجب، ويزداد هذا الجهد بزيادة درجة حرارة الوصلة.

ويتم تكبير هذا الجهد بواسطة مكبر عمليات Operational Amplifier ثم قراءته على مقياس الجهد الذي يعاير ليقرأ الحرارة مباشرة، كما هو مبين بالشكل رقم (٦ -١٧).



شكل رقم (٦ -١٧) مبدل المزدوج الحراري.

والعلاقة الرياضية الآتية تصف العلاقة بين الجهد الكهربائي الناتج و درجات الحرارة:

$$E = c\,(T_1 - T_2) + k\,(T_1^2 - T_2^2) \quad mV \qquad (٦-١٣)$$

حيث:

E : الجهد الكهربائي الناتج ويقاس بوحدة المللي فولت.

c و k : ثوابت تعتمد على مادة المزدوج الحراري

T_1 : درجة حرارة الطرفين الموصلين معاً (الوصلة الساخنة) وتقاس بالدرجات السلزيوس (المئوية)

T_2 : درجة حرارة الطرفين غير الموصلين معاً (الأطراف الباردة) وتقاس بالدرجات السلزيوس (المئوية)

مثال رقم (٦-٦)

احسب الجهد الكهربائي الناتج من مزدوج حراري مصنع من مادتي النحاس و الكونستنتان، إذا كان الثابت $c = 3.75\times10^{-2}$ و الثابت $k = 4.5\times10^{-5}$ حيث وضعت الوصلة الساخنة في درجة غليان الماء ووضعت الوصلة الباردة في الثلج.

الحل

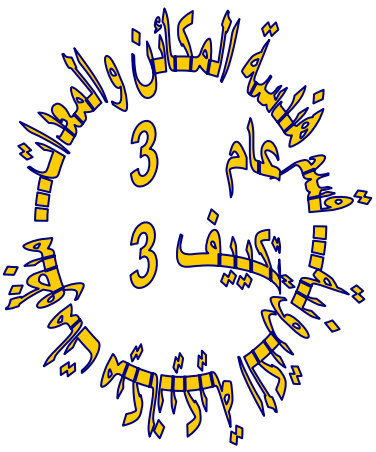
من المعروف أن درجة حرارة غليان الماء هي: $T_1 = 100\,°C$ و درجة حرارة الثلج هي: $T_2 = 0°C$. وبتطبيق المعادلة رقم (٦-١٣) التي تصف العلاقة بين الجهد الكهربائي الناتج و درجات الحرارة:

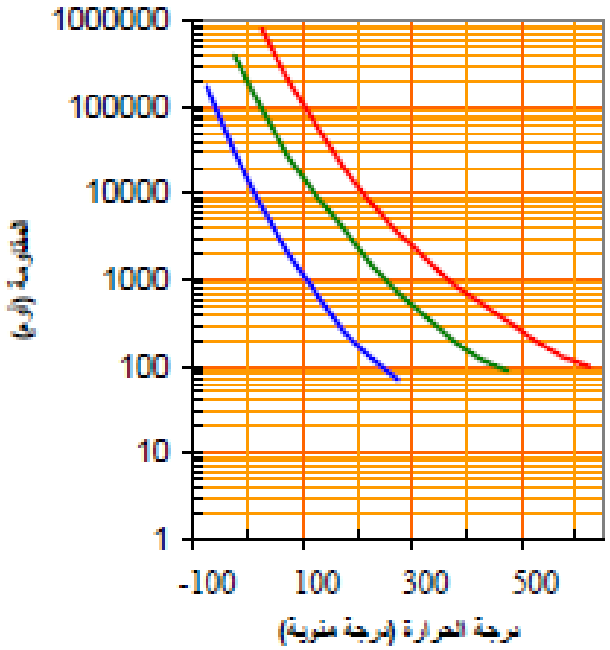
$$E = c\,(T_1 - T_2) + k\,(T_1^2 - T_2^2) \quad mV$$

$$E = 3.75\times10^{-2}\,(100 - 0) + 4.5\times10^{-5}\,(100^2 - 0^2) = 4.2\,mV$$

٦-٣-٦-٣- المجس الحراري Thermistor

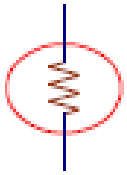
من المعروف أن المقاومة الكهربائية لمعظم المواد تتغير مع درجة الحرارة. ومن الخواص المهمة لمواد أشباه الموصلات أن معاملها الحراري سالب أي أن مقاومتها تقل بارتفاع درجة الحرارة. والقيمة العددية لهذا المعامل الحراري السالب تكون عادة كبيرة. ويوضح شكل رقم (٦-١٨) العلاقة بين المقاومة ودرجة الحرارة لمجموعة من المجسات الحرارية.





شكل رقم(٦ -١٨) العلاقة بين المقاومة ودرجة الحرارة لمجموعة من المجسات الحرارية.

ويتركب المجس الحراري من خليط يتكون من أكثر من نوع من المواد السابقة الذكر مثل أكاسيد المعادن مثل المنجنيز والنيكل و الكوبالت والنحاس واليورانيوم وغيرها وتتراوح قيمة المقاومة من 0.5 Ω إلى 75 MΩ . شكل رقم (٦ -١٩) يوضح رمز المجس الحراري.



شكل رقم (٦ - ١٩) رمز المجس الحراري

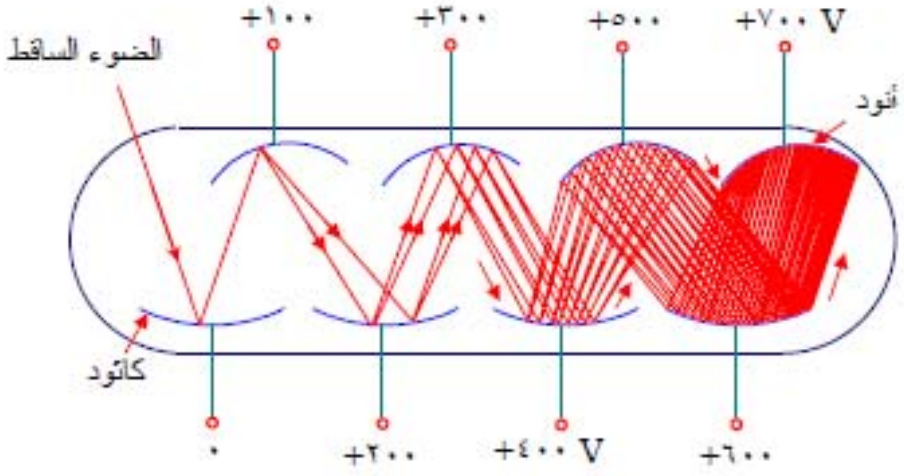
٦ -٣ -٧ حساسات ومبدلات كهروضوئية **Photo – Electric Transducers**

الحساسات والمبدلات الكهروضوئية يمكن تقسيمها إلى ثلاثة أنواع:

٦ -٣ -٧ -١ الحساسات والمبدلات ذات انبعاث ضوئي

هناك بعض المواد التي تتسم بخاصية انبعاث للإلكترونيات تحت تأثير الضوء، حيث يتسبب سقوط الأشعة الضوئية على المهبط (Cathode) في انبعاث الإلكترونات من سطحه. وكمثال لأجهزة الانبعاث الضوئي هو الأنبوب الضوئي المضاعف الذي يتكون من أنبوب زجاجي مفرغ يحتوي على مهبط

ضوئي (Photo Cathode) ومصعد (Anode) بالإضافة إلى عدة أقطاب كهربائية (Electrodes) تسمى دينودز (Dynodes) كل منها متصل بجهد كهربائي يتدرج في الارتفاع من جهة المهبط إلى جهة المصعد، كما هو مبين بالشكل رقم (٦ -٢٠).



شكل رقم (٦ -٢٠) الأنبوب الضوئي المضاعف.

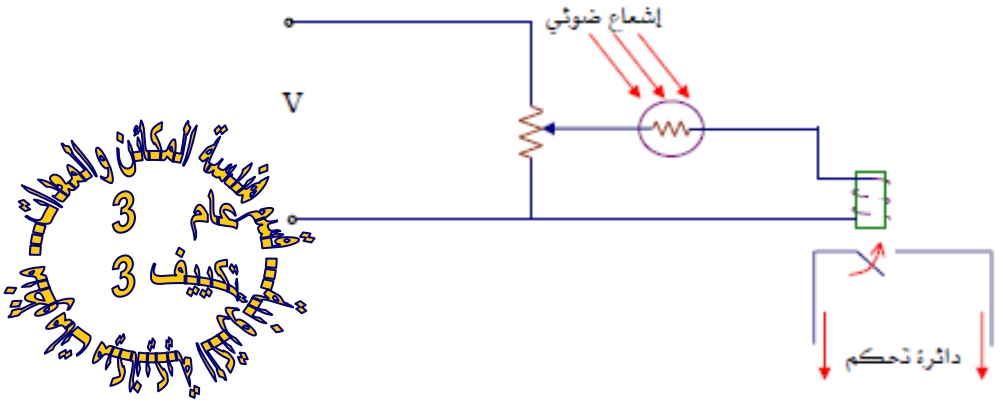
نتيجة لسقوط الضوء على المهبط تنبعث الإلكترونات منه وتنجذب إلى الأنود الأول بسرعة عالية (حيث جهده أعلى) وتصطدم به مسببة انبعاث عدد أكبر من الإلكترونات بما يسمى بظاهرة الانبعاث الثانوي، ويتكرر نفس الشيء بين الأنود الأول و الأنود الثاني (ذي الجهد الأعلى) وهكذا يمكن تحويل الضوء إلى تيار كهربائي ذي قيمة محسوسة (من ١٠٠μA إلى ١mA).

٦ -٣ -٧ -٢ الحساسات والمبدلات ذات موصلية ضوئية

وهي نوعية أخرى من الحساسات الضوئية، حيث تتأثر أنواع معينة من المواد بالضوء ويظهر هذا التأثير على صورة نقص في مقاومتها النوعية وزيادة بالتالي في قيمة موصليتها. والتركيب الفعلي لهذا النوع من الحساسات يكون على شكل خلايا (موضح أحداها في شكل رقم (٦ -٢١))، حيث توضع المقاومة المصنوعة من المادة المعنية (مثل كبريتيد الكادميوم) على صورة تموجية بين قطبين معدنيين على قاعدة من السيراميك داخل غلاف معدني ذو نافذة زجاجية (لمرور الضوء من خلالها)، ويتسبب سقوط الضوء في نقص مقاومة المادة بين القطبين.

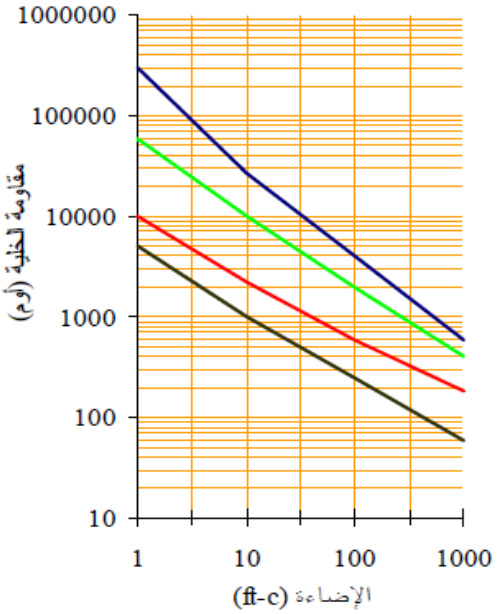
شكل رقم (٦ - ٢١) الرمز الكهربائي للخلية الضوئية و تركيب الخلية الضوئية.

ويتم توصيل الخلية في الدائرة الكهربائية المبينة بالشكل رقم (٦ -٢٢)، حيث يسقط الضوء من خلال النافذة الزجاجية على المقاومة الضوئية فتقل قيمتها، فتسمح بمرور تيار في الملف المغناطيس، فيجذب مفتاح التشغيل في دائرة التحكم في نظام ما.



شكل رقم (٦ -٢٢) استخدام الخلية الضوئية في دائرة تحكم.

وشكل رقم (٦ -٢٣) يبين علاقة تغير المقاومة مع شدة الضوء الساقط لبعض المواد التي تصنع منها الخلايا.



شكل رقم (٦ -٢٣) علاقة تغير المقاومة مع شدة الضوء الساقط لبعض المواد

٦ -٣ -٧ -٣ الحساسات والمبدلات ذات فولطية ضوئية

الخلايا الفولطية الضوئية أو الخلايا الشمسية (كما يطلق عليها غالباً) تنتج جهداً كهربائياً بين طرفيها عند تعرضها للضوء وبالتالي تنتج تياراً عند توصيلها بحمل ما. وتصنع هذه الخلايا من مواد أشباه موصلات (أهمها السليكون أو السيلينيوم).

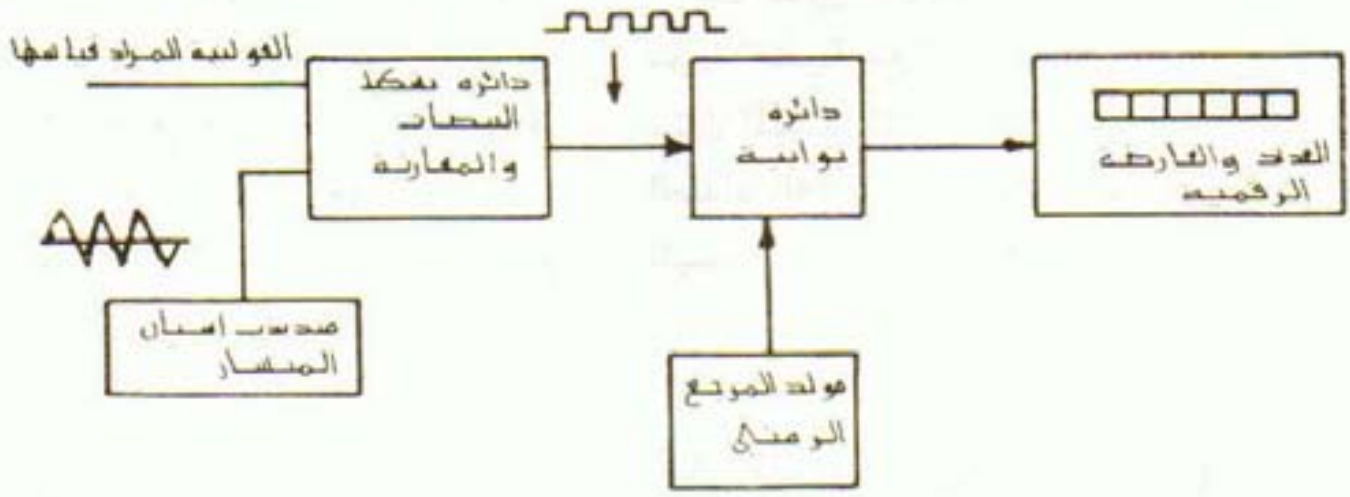
6·10 الفولتميتر الرقمي Digital Voltmeter

2· مبدأ التحويل (Convertion Principle)

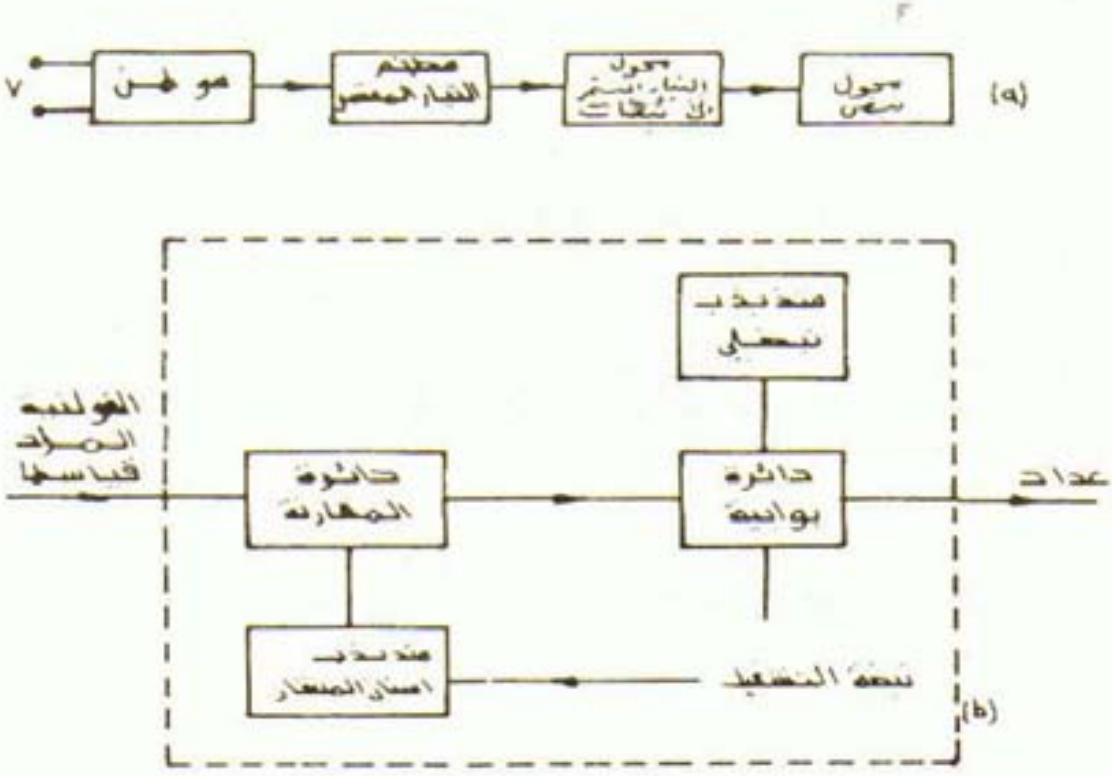
ان جهاز القياس الالكتروني الشائع الاستعمال بكثرة بسبب دقته الكبيرة وسهولة وسرعة قراءته هو الفولتميتر الرقمي، حيث تظهر نتيجة القياس بشكل ارقام متسلسلة على العارضة الرقمية· والذي يعتمد على مبدأ التحويل تكون عملية تشغيله على اساس تحويل الفولتية المراد قياسها الى فولتية نابضة ذات تردد يتناسب مع اتساع الفولتية (volage amplitude) المراد قياسها· ويقاس هذا التردد بوساطة عداد الكتروني (Electronic counter) بالاشارة الى الشكل (6·13) تتم تغذية الفولتية المراد قياسها الى دائرة تشكيل النبضات حيث تقارن الفولتية المقيسة مع فولتية اسنان المنشار (Sawtooth voltage) التي قيمتها تتغير بصورة خطية مع الزمن كما هو ظاهر في المخطط الكتلي· وفي اللحظة التي تبدأ بها فولتية اسنان المنشار تفتح دائرة بوابية (gate–circuit) لتمرير الاشارات من مولد المرجع الزمني للنبضات الى العداد (counter)· وتغلق البوابة ثانية حال تساوي فولتية اسنان المنشار مع الفولتية المقيسة في مولد المرجع الزمني للنبضات حيث يستخدم متذبذب بلوري ذو تردد ثابت واستقرارية عالية لزيادة دقة القياس·

ويعد عدد النبضات المرسلة بمثابة قياس لقيمة الفولتية· وسيقوم المثال التالي بتوضيح ذلك· لنفترض ان فولتية اسنان المنشار ترتفع بمقدار (1) فولت لكل ملي ثانية وتردد مولد النبضات هو (100) كيلوهرتز· فاذا كانت الفولتية المراد قياسها هي (5·37) فولت، عندها سيعمل العداد لمدة (5·37) ملي ثانية وخلال هذا الوقت سوف يتسلم المولد (537) نبضة والعداد عندها يؤشر بـ (537) ويؤشر مفتاح المدى بصورة ذاتية موضع النقطة العشرية·

ويتضح من المثال العدد المعطى ان الوقت اللازم لاجراء القياس هو (5·37) ملي ثانية فقط· تتكون العارضة الرقمية من اربعة اقسام رقمية مع اشارة للنقطة العشرية، وايضا توجد اقسام اضافية للوحدات (مثل الفولت او الملي فولت)، القطبية للاشارة، وتستحصل المعلومات الاخيرة بوساطة تحسس مولد النبضات·



الشكل (6-13) فولتميتر رقمي يعمل بمبدأ التحويل



الشكل (6-14) فولتميتر رقمي (نوع - المحول)

مثال (1)

ربح الفولتميتر لمكبر عند تغذيته لحمل مقاومة مقدارها (1) كيلواوم يساوي (40) ديسيبل. اوجد اتساع فولتية وقدرة الاشارة في الحمل، حينما تكون الاشارة الداخلة تساوي (10) ملي فولت

$$20 \log \frac{V2}{V1} = 40$$

$$\log \frac{V2}{V1} = 2$$

$$\frac{V2}{V1} = 100$$

$$V2 = 100 \times 10 = 1000 \text{ mv} = 1.0 \text{v} \quad \text{فولت}$$

$$P2 = \frac{V_2^2}{Ri} = \frac{(1.0)^2}{1000} = 1 \text{ mW} \quad \text{ملي واط}$$

مثال (2)

مثل القدرة المفقودة في المقاومة (15) اوم بالديسيبل نسبة الى (1) ملي واط حينما يكون الجذر المتوسط التربيعي للفولتية يساوي (1.5) فولت

$$P2 = \frac{(1.5)^2}{15} \times 100 = 150 \text{ m w}$$

مستوى القدرة بالديسيبل بالنسبة الى (1) ملي واط

$$10 \log \frac{150}{1} = 10 \times 2.176 = 21.76 \text{ dB}$$

مقياس التيار (الأميرية) Ammeter

ان مقياس التيار يقوم بقياس قيمة التيار المار عبر نقطة معينة في الدائرة الكربائية وصانع نوعين رئيسيين من مقاييس التيار هي:

م - مقياس التيار السلكي المباشر Direct-wire Ammeter.

ب- مقياس التعليق الحلقي (Clampmeter)

النوع الاول يستخدم لقيم التيار الواطئة في حين يستخدم النوع الثاني لقياس قيم التيار العالية وعليه لاقرار النوع المطلوب تطلب تحديد قيم التيار المطلوب قياسه. فالنوع الاول يعطي دقة قياس اعلى لقيم التيار الواطئ خصوصاً تلك التي تقل عن ١ أمبير.

ان مقياس التيار السلكي المباشر يتطلب اجراء الربط له في الدائرة الكربائية على التوالي مع الحمل وعليه فان أجراء عملية الربط تتطلب ايقاف المصدر المجهز للقدرة للدائرة ثم اجراء عملية الربط وبالتالي اعادة ايصال المصدر المجهز للقدرة. ولذلك فانه في حالة تعذر أمكانية الطفاء (أيقاف) المصدر المجهز للقدرة عن الدائرة فأن الخيار يصبح أفضل لاستخدام النوع الثاني من مقاييس التيار (مقياس التعليق الحلقي) وكذلك فان النوع الثاني هو المفضل عند قياس تيار ذو قيمة عالية.

قياسات القدرة والطاقة الكهربائية

Electrical Power and Energy Measurement

٧٠ مدخل

عند تسليط فولتية على موصل سوف يمر التيار فيه وكمية التيار والفولتية هو مؤشر للقدرة في الموصل ان القدرة الانية في موصل يمكن حسابها من حاصل ضرب التيار والفولتية

$$P = I.V \quad \ldots\ldots 7.1$$

وحدة القدرة هي الواط (W) وهو يساوي امبيراً واحداً من التيار المار في موصل والذي ينتج هبوطاً في الفولتية مقداره امبير واحد.

ان الغرض من امرار تيار في اية دائرة كهربائية هو نقل الطاقة من محل الى اخر. ومن ذلك ينتج ان الخلاصة النهائية لتحليل اية دائرة كهربائية هي حساب معدل انتقال الطاقة اي القدرة الناتجة او المصروفة في الدائرة. عندما يكون الحمل مقاومة يمكن ايجاد متوسط القدرة من تعريف الجذر المتوسط التربيعي في الدائرة اي انه

$$P = I^2R \quad \ldots\ldots 7.2$$

القدرة الظاهرية = القدرة الحقيقية

$$P = IV \quad \ldots\ldots 7.3$$

عندما يكون الحمل مقاومة

اما في الدوائر الحثية والسعوية حيث هنالك فرق في الطور بين الفولتية المسلطة والتيار المار لذلك فأن القدرة المتكونة اقل من تلك القيمة التي نحصل عليها نتيجة ضرب الفولتية في التيار، حيث ان حاصل ضرب الفولتية والتيار في دوائر التيار المتناوب يسمى بالقدرة الظاهرية

القدرة الظاهرية

$$S = VI \quad \ldots\ldots 7.4$$

القدرة الحقيقية

$$P = VI \cos \Theta \quad \ldots\ldots 7.5$$

ويدعى ($\cos \Theta$) عامل القدرة (Power Factor)

هنالك انواع مختلفة من مقاييس القدرة وهي تعتمد على مدى التردد، مستوى القدرة الضائعة، ونوع الحمل المطلوب قياس القدرة المستلمة منه. ويدعى جهاز القدرة بالواطميتر (Watt-meter) واكثر الانواع انتشاراً لقياس القدرة هو الواطمي الداينوميتري.

٧٠٢ الواطميتر الداينوميتري Dynamometer Wattmeter

يمكن استخدام الداينوميتر اداة لقياس القدرة وفي هذه الحالة فان التيار في الملف المتحرك يتناسب مع الفولتية بينما يمر التيار خلال الملفين الثابتين. لذلك فان العزم يتناسب مع متوسط حاصل ضرب الفولتية والتيار كما انه يؤخذ بنظر الاعتبار ان الفولتية والتيار يكونان بنفس الطور لان ذلك يقلل من العزم الناتج لذلك فأن العزم يتناسب مع القدرة في الدائرة ويعمل المقياس كواطميتر كما في الشكل (٧٠١).

يمكن قياس القدرة المتناوبة والمستمرة بوساطة الواطميتر الداينوميتري. لنفرض ان المطلوب قياس قدرة متناوبة، ان القدرة في دائرة تعتمد على الفولتية والتيار لذلك فأن هذه الكميات هي التي يجب ان تجهز الى المقياس. ويوضح الشكل (٧٠١) كيفية ربط الدائرة.

يأخذ الواطميتر فرق الطور بين الفولتية والتيار بشكل تلقائي. ولذلك فهو مقدار القدرة المناسبة للفولتية المسلطة والتيار المار.

ان نهايات الواطميتر يؤشر عليها بحروف مختلفة ويبين الشكل (٧٠١) احد الاصطلاحات المستعملة بهذا الصدد، حيث يرمز (M) الى المصدر و (L) الى الحمل فاذا ماعكس اي من الربطين يقرأ المقياس قراءة سالبة. ويمكن ان يعطب نتيجة ذلك.

٧٠٣ قياس القدرة الحقيقية والظاهرية وعامل القدرة

يمكن قياس القدرة الحقيقية والظاهرية وعامل القدرة بربط اميتر وفولتيتر مع الواطميتر كما هو مبين في الشكل (٧٠٢) وسوف نوضح ذلك من خلال مثال عددي.

مثال:

اميتر وفولتيتر مربوطة كما في الشكل (٧٠٢) لغرض ايجاد عامل القدرة، القدرة الحقيقية، والقدرة الظاهرية فاذا كانت قراءة الاميتر (10A) والواطميتر (1800W) والفولتيتر (240 V) فمن قراءة الاميتر والفولتيتر يمكن حساب القدرة الظاهرية

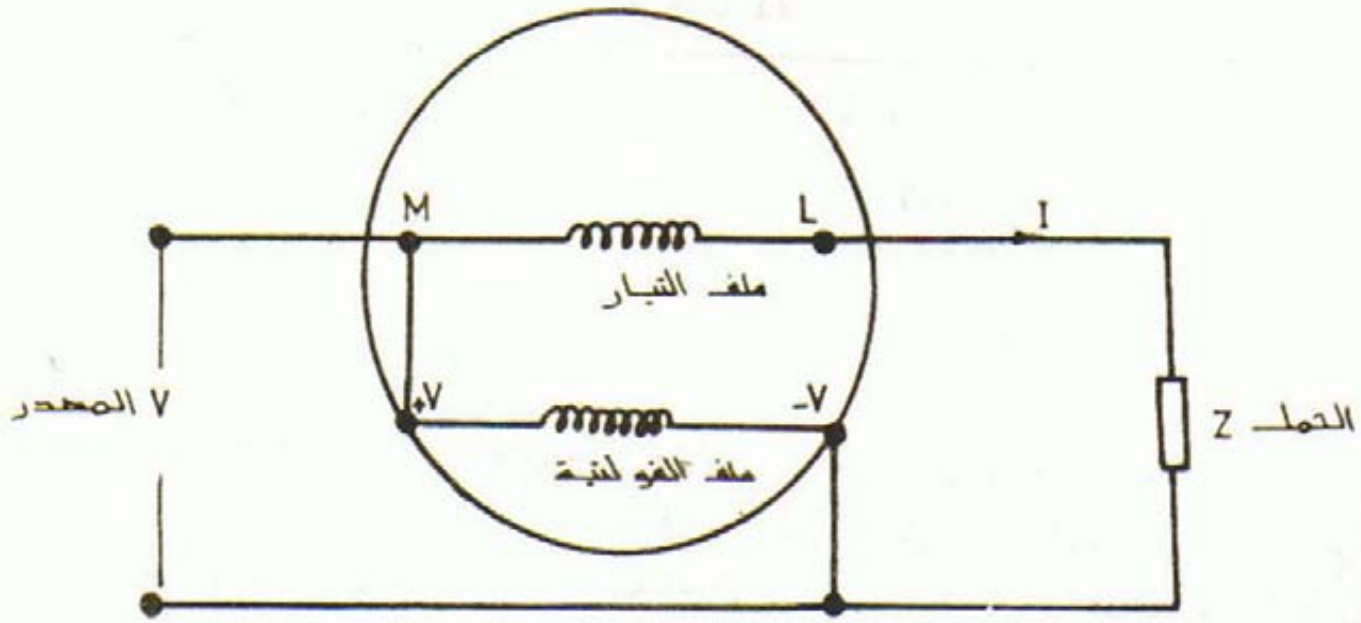
$$P=VI=240\times10=2400\ VA$$

القدرة الحقيقية هي قراءة الواطميتر نفسه وتساوي (1800 W)

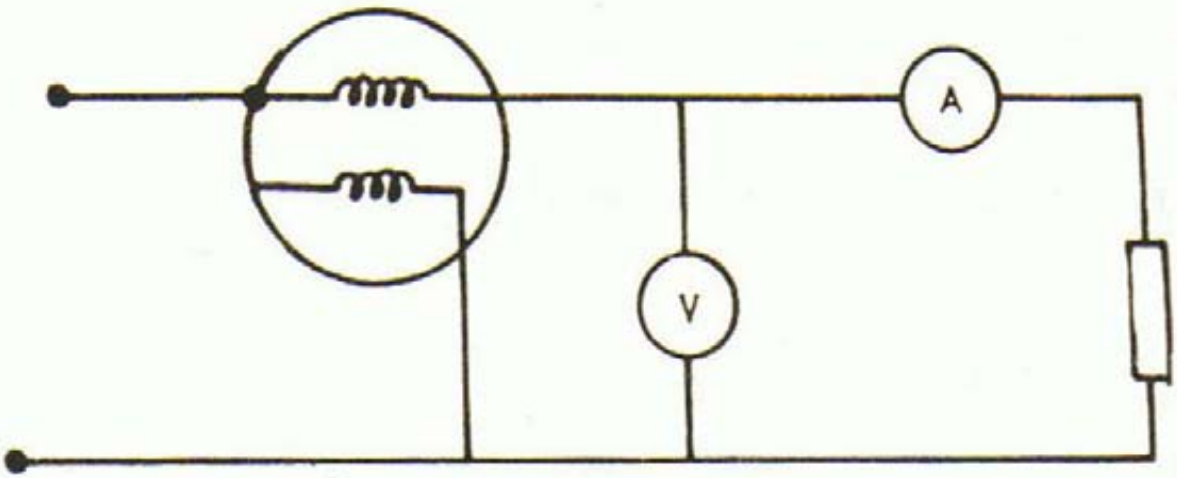
عامل القدرة: يمكن حسابه من المعادلة التالية

$$\text{Cos}\ \theta = \frac{P}{S} = \frac{VI\ \text{Cos}\ \theta}{VI} = \frac{\text{القدره الحقيقيه}}{\text{القدرة الظاهرية}}$$

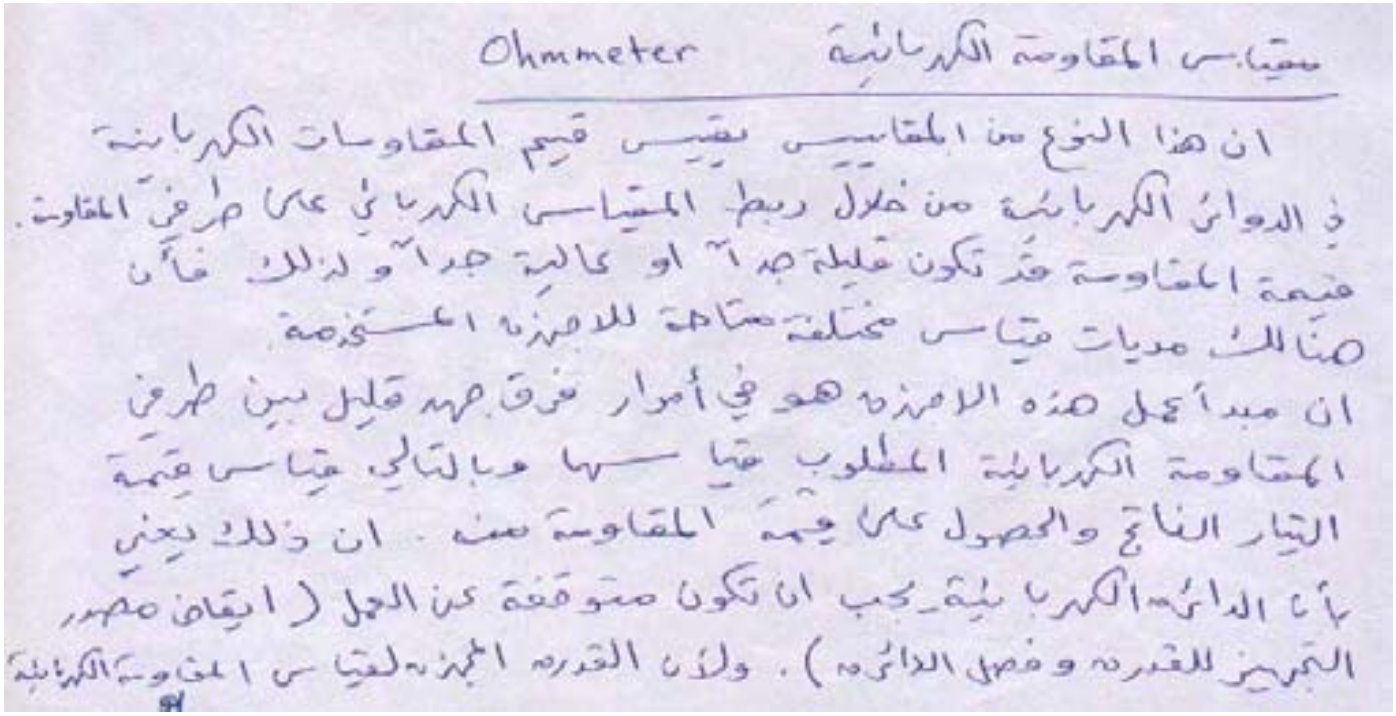
$$= \frac{1800}{2400} = 0.75$$



الشكل (7.1) الواطميتر الدايناموميتري



الشكل (7.2) قياس القدرة الحقيقية والظاهرية وعامل القدرة



مقياس المقاومة الكهربائية Ohmmeter

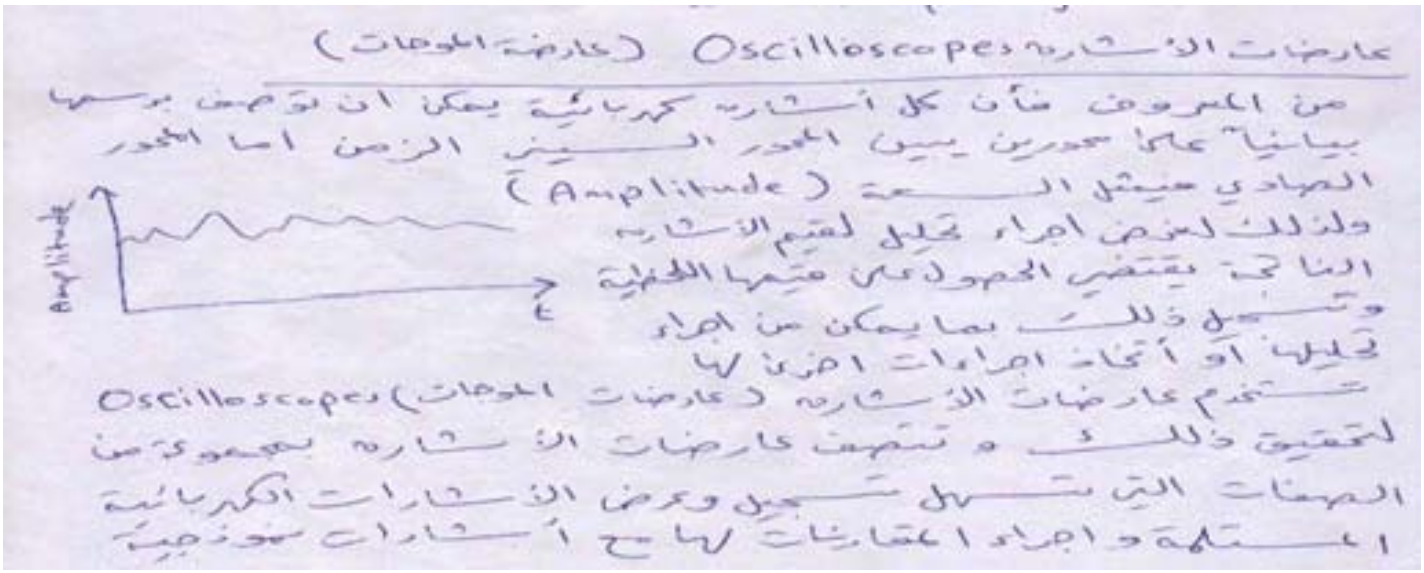
ان هذا النوع من المقاييس يقيس قيم المقاومات الكهربائية في الدوائر الكهربائية من خلال ربط المقياس الكهربائي على طرفي المقاومة. قيمة المقاومة قد تكون قليلة جداً او عالية جداً ولذلك فأن هنالك مديات قياس مختلفة متاحة للاجهزة المستخدمة.

ان مبدأ عمل هذه الاجهزة هو في أمرار فرق جهد قليل بين طرفي المقاومة الكهربائية المطلوب قياسها وبالتالي قياس قيمة التيار الناتج والحصول على قيمة المقاومة منه. ان ذلك يعني بأن الدائرة الكهربائية يجب ان تكون متوقفة عن العمل (ايقاف مصدر التجهيز للقدرة وفصل الدائرة). ولان القدرة المجهزة لقياس المقاومة الكهربائية

تأتي من نفس جهاز القياس وغالباً ما تكون بطارية الجهاز فأن قيمة فرق الجهد لهذه البطارية قد يضعف حسب عمر البطارية ولذلك فتظهر الحاجة الى ضبط مؤشر القياس على نقطة الصفر من خلال وسيلة ضبط متاحة لهذه الاجهزة.

(ان تشغيل اجهزة قياس المقاومة الكهربائية يجب ان تجرى على الدوائر المفتوحة (الموقوفة عن العمل) ويجب ضبط مؤشر القياس على نقطة الصفر قبل إجراء القياس لتعويض حالة البطارية) كما يجب ان يتم ربط الجهاز على التوازي مع المقاومة المطلوب قياسها. ويجب اختيار مدى قياس مناسب لاجراء القياس من خلال ضبط مفتاح الاختيار للمديات (Selector switch).

هنالك انواع اخرى من المقاييس الكهربائية مثل مقياس تسرب الموجات المايكروية Microwave leakage detector ومقياس اوكداد التردد Frequency counter ومقياس الصوت والضوضاء.



عارضات الاشارة Oscilloscopes (عارضة الموجات)

من المعروف بأن كل أشارة كهربائية يمكن ان توصف بوسطها بيانياً على محورين يمثل المحور العمودي السعة (Amplitude) والمحور الافقي يمثل الزمن اما ولذلك لغرض اجراء تحليل لقيم الاشارة الناتجة يقتضي الحصول على قيمها اللحظية وتسجيل ذلك بما يمكن من اجراء تحليلها او اتخاذ اجراءات اخرى لها

Amplitude

t

تستخدم عارضات الاشارة (عارضات الموجات) Oscilloscopes لتحقيق ذلك و تتصف عارضات الاشارة بمجموعة من المهمات التي تسهل تسجيل وعرض الاشارات الكهربائية المستلمة و اجراء المقارنات لها مع أشارات نموذجية

او قيم معيارية من خلال أتاحة ضبط المدى والسعة المتاحة لشاشة العرض كما تؤمن بعض عارضات الاشارة القول لعرض مجال التردد Frequency domain بدلاً من مجال الزمن Time domain حيث يكون المحور السيني ممثلاً لقيم الترددات الناتجة في حين يمثل المحور الصادي سعة الموجة عند تلك الترددات.
وتتيح اغلب عارضات الاشارة امكانية استلام أكثر من أشارة واحدة في وقت واحد عن طريق قنوات ادخال متعددة Multi input channels.
ان وجود تقسيمات وخطوط بيانية على شاشة العرض في أجهزة عرض الاشارة تسهل من عملية التقييم والتحليل للاشارة.
كما تجدر الاشارة الى ان بعض عارضات الاشارة توفر أمكانية توليد أشارات مرجعية تتيح اجراء عمليات المقارنة للاشارات المستلمة معها او أتخاذ اية اجراءات تحليلية اخرى.
وهنالك انواع أخرى من عارضة الموجات تمتلك امكانية تسجيل وخزن الاشارات المستلمة رقمياً و بالتالي أمكانية نقلها الى الحاسوب عن طريق وصلات ربط قياسية متاحة.

هنالك عدة مصطلحات تخص الخطأ في أجهزة القياس وتتضمن: Resolution أصغر وحدة قياس، Accuracy الدقة، Range المدى، Reliability الموثوقية، Repeatability التكرارية، التأخر الزمني Time lag، الانحراف Drift تتطلب فهم هذه الاستجابة بشكل كامل وتضم الصفحة اللاحقة جدول من التعاريف المصطلحات لبعض هذه المصطلحات. كما تضم الصفحة التي تليها اجراءات المعايرة للخطأ والناتج عن عمليات القياس وكذلك بعض انواع الخطأ التي تنتج عند أستخدام اجهزة القياس.

3. INSTRUMENT ERRORS

Any given instrument is prone to errors either due to aging or due to manufacturing tolerances. Here are some of the common terms used when describing the performance of an instrument.

3.1 RANGE

The range of an instrument is usually regarded as the difference between the maximum and minimum reading. For example a thermometer that has a scale from 20 to 100°C has a range of 80°C. This is also called the FULL SCALE DEFLECTION (f.s.d.).

3.2 ACCURACY

The accuracy of an instrument is often stated as a % of the range or full scale deflection. For example a pressure gauge with a range 0 to 500 kPa and an accuracy of plus or minus 2% f.s.d. could have an error of plus or minus 10 kPa. When the gauge is indicating 10 kPa the correct reading could be anywhere between 0 and 20 kPa and the actual error in the reading could be 100%. When the gauge indicates 500 kPa the error could be 2% of the indicated reading.

3.3 REPEATABILITY

If an accurate signal is applied and removed repeatedly to the system and it is found that the indicated reading is different each time, the instrument has poor repeatability. This is often caused by friction or some other erratic fault in the system.

3.4 STABILITY

Instability is most likely to occur in instruments involving electronic processing with a high degree of amplification. A common cause of this is adverse environment factors such as temperature and vibration. For example, a rise in temperature may cause a transistor to increase the flow of current which in turn makes it hotter and so the effect grows and the displayed reading DRIFTS. In extreme cases the displayed value may jump about. This, for example, may be caused by a poor electrical connection affected by vibration

3.5 TIME LAG ERROR

In any instrument system, it must take time for a change in the input to show up on the indicated output. This time may be very small or very large depending upon the system. This is known as the response time of the system. If the indicated output is incorrect because it has not yet responded to the change, then we have time lag error.

A good example of time lag error is an ordinary glass thermometer. If you plunge it into hot water, it will take some time before the mercury reaches the correct level. If you read the thermometer before it settled down, then you would have time lag error. A thermocouple can respond much more quickly than a glass thermometer but even this may be too slow for some applications.

When a signal changes a lot and quite quickly, (speedometer for example), the person reading the dial would have great difficulty determining the correct value as the dial may be still going up when in reality the signal is going down again.

3.6 RELIABILITY

Most forms of equipment have a predicted life span. The more reliable it is, the less chance it has of going wrong during its expected life span. The reliability is hence a probability ranging from zero (it will definitely fail) to 1.0 (it will definitely not fail).

3.7 DRIFT

This occurs when the input to the system is constant but the output tends to change slowly. For example when switched on, the system may drift due to the temperature change as it warms up.

4. INSTRUMENT CALIBRATION

Most instruments contain a facility for making two adjustments. These are

- The RANGE adjustment.
- The ZERO adjustment.

In order to calibrate the instrument an accurate gauge is required. This is likely to be a SECONDARY STANDARD. Instruments calibrated as a secondary standard have themselves been calibrated against a PRIMARY STANDARD.

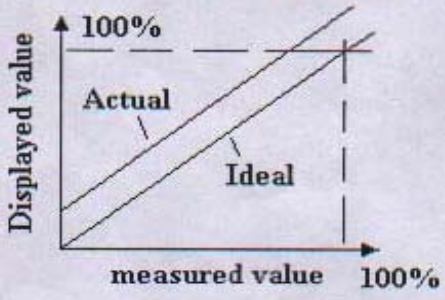
4.1 PROCEDURE

An input representing the minimum gauge setting should be applied. The output should be adjusted to be correct. Next the maximum signal is applied. The range is then adjusted to give the required output. This should be repeated until the gauge is correct at the minimum and maximum values.

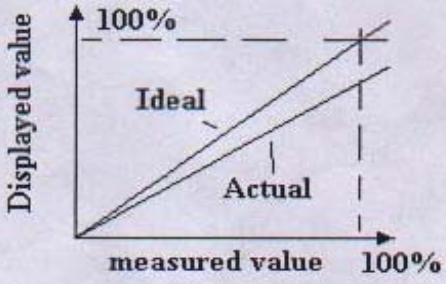
4.2 CALIBRATION ERRORS

RANGE AND ZERO ERRORS

After obtaining correct zero and range for the instrument, a calibration graph should be produced. This involves plotting the indicated reading against the correct reading from the standard gauge. This should be done in about ten steps with increasing signals and then with reducing signals. Several forms of error could show up. If the zero or range is still incorrect the error will appear as shown.



Zero error

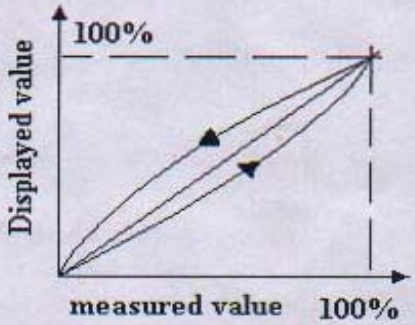


Range error

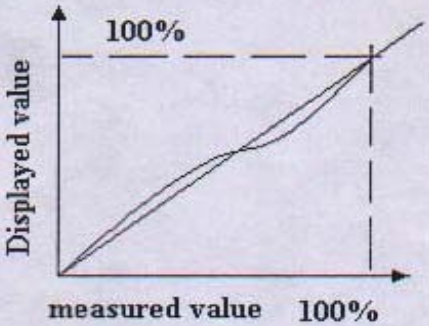
HYSTERESIS and NON LINEAR ERRORS

Hysteresis is produced when the displayed values are too small for increasing signals and too large for decreasing signals. This is commonly caused in mechanical instruments by loose gears and linkages and friction. It occurs widely with things involving magnetisation and demagnetisation.

The calibration may be correct at the maximum and minimum values of the range but the graph joining them may not be a straight line (when it ought to be). This is a non linear error. The instrument may have some adjustments for this and it may be possible to make it correct at mid range as shown.



Hysteresis



Linearity error

المحركات الكهربائية Electric Motors

المحرك الكهربائي يقوم بتحويل الطاقة الكهربائية الى حركة ميكانيكية وهو ما يشكل معكوس اداء المولد الكهربائي في كثير من التفصيلات. يتشابه تكوين المحرك الكهربائي مع المولد الكهربائي.

ان معظم المحركات الكهربائية تعمل بواسطة الفيض المغناطيسي ولكن توجد بعض المحركات تعمل بوسائط اخرى مثل التأثير الـ Piezoelectric

ان المبادئ الاساسية لعمل اي محرك كهربائي يعمل على أساس الفيض المغناطيسي هي في تولد قوة ميكانيكية على سلك عندما يقوم التيار الكهربائي وموجود ضمن حقل مغناطيسي وتكون هذه القوة المتولدة ذات اتجاه عمودي على السلك والحقل المغناطيسي. ولذلك فأن المحركات الدوارة ترتب بشكل تؤدي فيه هذه القوة المتولدة عزما على محور الدوران للجزء الدوار من المحرك.

ان معظم المحركات الكهربائية هي دورانية ولكن تتوفر بعض الانواع التي توفر حركة خطية Linear type Motors.

يتكون المحرك بصورة عامة من جزئين رئيسيين هما الجزء الساكن Stator والجزء المتحرك الدوار Rotor.

يحتوي المحرك على مغانط كهربائية متألفة من ملفات كهربائية (أسلاك كهربائية ملتفة حول القلب غالبا ما يسمى بـ Armature) وذلك فأن الـ Armature هو ذلك الجزء من المحرك الذي يسلط عبره فرق الجهد للتيار الداخل الى المحرك. ولذلك فأنه أعتمادا على نوع التصميم المعتمد للمحرك فأن الـ Armature يمكن ان يكون الجزء الساكن Stator او الجزء المتحرك الدوار Rotor.

تاريخيا تم اختراع المحرك الكهربائي من قبل العالم مايكل فراداي في عام 1821.

انواع المركات الكهربائية

يمكن تقسيم انواع المركات الكهربائية الى الانواع التالية:

١- مركات التيار المتناوب AC Motors

ويمكن ان تكون على نوعين بشكل عام هي:

أ- ذات الطور الواحد Single phase

ب- ذات الثلاثة أطوار Three phase

ان مركات التيار المتناوب تتوفر ضمن مدى واسع من القدرة يتراوح بين 100 واط و ميكاواط. توفر مركات التيار المتناوب قدرة عالية و كزم دوران عالي ولذلك فأنها مناسبة عند التطبيقات التي تحتاج الى قدرة كما انها توفر كفاءة عالية ومعولية جيدة اما اسلوب السيطرة عليها لتحقيق السرع المختلفة فأنها ولغاية وقت قريب كانت تعتبر من الفعاليات المعقدة حيث تحتاج الى السيطرة على التردد Frequency من خلال السيطرة على قيمة التردد المجهز فنصورة عامة يتم حساب السرعة الناتجة من مرك تيار متناوب كما يلي:

$$N_{AC\,motor} = \frac{120\ Frequency}{Number\ of\ Poles}$$

هنالك نوعين من مركات التيار المتناوب. النوع الاول ويسمى المرك الحثي Induction Motor و في بعض الاحيان يسمى (مرك لاتزامني) لأن سرعة دورانه الناتجة اقل من سرعة المجال المغناطيسي للجزء الساكن وهذا النوع يكون ذو سرعة اقل من القيمة الناتجة في المعادلة اعلاه بقيمة تسمى الانزلاق Slip والتي تزيد قيمتها بزيادة العزم

المتولد ولذلك فأن هذا النوع يكون ذو سرعة تقريباً ثابتة لناتج المعادلة آنفة الذكر في حالة عدم وجود حمل (load) (ممانعة). الا ان سرعته تنخفض للأنواع القياسية من هذا النوع لحدود ٢ ← ٣٪ ولأنواع متخصصة منه قد تصل قيمة الانزلاق لحدود ٧٪ من السرعة. كما يتوفر نوع متخصص من هذا النوع من المحركات يسمى محرك العزم يمكن تشغيله وتسليط حمل عالي عليه لغاية بلوغ قيمة الانزلاق slip قرابة ١٠٠٪ اي ان سرعته في هذه الحالة تصل الى الصفر (تذكر هنا بأن معادلة القدرة هي (Power = F * V

ان قيمة الانزلاق slip هي:

$$slip = \left(N_{\substack{\text{according}\\\text{to the}\\\text{above}\\\text{equation}}} - N_{\text{Actual}} \right) \Big/ N_{\substack{\text{according}\\\text{to the}\\\text{above equation}}}$$

اما النوع الثاني من محركات التيار المتناوب فهي المحركات التزامنية ويسمى كذلك لان سرعة دورانها متناوب سرعة دوران المجال المغناطيسي للجزء الساكن stator للمحرك.

بصورة عامة تكون محركات التيار المتناوب قليلة الوزن وذات هيكل تصميمي معقد.

ان المحركات ذات الثلاثة اطوار توفر امكانية سيطرة افضل وتكون ملفات الحث لها متعددة

٢- محركات التيار المستمر DC motors

يعود أكتشافها الى العالم زينوب كرام عام 1873 .

النوع التقليدي من محركات التيار المستمر DC motor تضم Armature دوار نتيجة للتنافر الناتج من مغناطيس كهربائي ذو وصلتين ربط Two Poles . ولكي يتم ضمان اجراء الدوران فأن هنالك محتاج دوار سمن المراكم Commutator يعمل بواسطة عكس اتجاه التيار الكهربائي مرتين في كل دوره وبذلك فأن الـ Armature يستمر بالدوران كنتيجة لعملية الدفع والسحب التي يؤمنها السلوب عكس أتجاه التيار الكهربائي . فعند وصول نقطة الربط (وصلة الربط) Electromagnet Armature الى Poles الـ وصلة = الربط للمغناطيس الدائم فأن المراكم يعكس التطبيق Polarity للمغناطيس الكهربائي الخاص بالـ Armature وبالتالي يواصل المحرك دورانه حيث ان الزخم يضمن بقاء المحرك بالدوران خلال زمن تبديل أتجاه التطبيق .

ان محركات التيار المستمر DC motors تعتمد على مقداري الفولتية والتيار المجهز الى ملفات المحرك وكذلك على الحمل المسلط على المحرك وعزم التوقف للمحرك

$W = K * V$ Voltage
$T = C * I$ Amperage

ويمكن تثبيت حقيقة بأن :

سرعة المحرك DC motor تتناسب مع الفولتية

عزم المحرك DC motor يتناسب مع التيار

ولذلك فأن السيطرة على المحركات من نوع التيار المستمر تتم من خلال السيطرة على فرق الجهد المسلط او التيار المجهز .

ان هذا النوع من المحركات يمكن ان يوفر عزم عالي جداً عند السرع الواطئة وهذه ميزة يضاهي فيها انواع محركات التيار المتناوب

ولكن يجب الانتباه بأن هنالك محدوديات لمحركات التيار المستمر ذات التصميم الكلاسيكي حيث ان تصميمها يتطلب وجود موصلات Brushes (تسمى بالعربي الفحمات) وهذه الموصلات يؤدي احتكاكها الى خسائر بالقدرة وكلما زادت سرعة دوران المحرك كانت هنالك حاجة الى استخدام ضغط أعلى على هذه الموصلات لضمان ملامستها مع الجزء الدوار للمحرك. ان العادة من وجود هذه الموصلات تتلخص بمايلي: (ضوضاء ميكانيكية وكهربائية)

١- ضوضاء عند تشغيل المحرك
٢- محدوديات للسرع العالية
٣- يتطلب ابدال هذه الموصلات كلما تهرأت بفعل الاحتكاك

لذلك فأن التصميمات الحديثة لهذه المحركات قد قلبت اجزاء المحرك بدلاً من وضع المغانط الدائمية على الجزء Stator فأنها توضع على الجزء الدوار Rotor ويكون الملف الكهربائي على الجزء Stator ولذلك فلا حاجة لوجود هذه الموصلات Brushes وتسمى هذه النوعية من المحركات Brushless DC Motors.

تمتاز محركات التيار المستمر بكونها محركات مطاوعة متوفرة على مدى واسع من القدرات يتراوح بين اجزاء من الواط الى عدة مئات من الكيلوواط وتمتاز بسهولة السيطرة على سرعتها.

هنالك نوعيتين رئيسيتين من محركات التيار المستمر هما:
- ذو الملفات المربوطة على التوالي للحصول على عزم عالي وسرعة واطئة ففي هذه الحالة سيحتفظ التيار بقيمته وبالتالي فأن العزم عالي في حين ستنخفض قيمة الفولتية وبالتالي ستكون السرعة واطئة ونذكر هنا بأن القدرة هي حاصل ضرب العزم في السرعة

$P = T \times V$

ذو الملفات المربوط على التوازي للحصول على سرع عالية وعزم قليل.

كما توجد انواع توفر النوعين معاً (توالي وتوازي) للحصول على موازنة بين السرعة والعزم.

ان محركات التيار المستمر توفر امكانية الحصول على سرع عالية تفوق 3000 دورة في الدقيقة مما يجعلها مناسبة لاستخدامات متعددة وسهولة السيطرة عليها فأن محركات التيار المستمر تعتبر المفضلة عند الحاجة لاستخدامها في مواقع تحتاج الى دقة سيطرة عالية على السرعة او العزم وكذلك عند الحاجة الى محركات ذات صغر حجم وكذلك عند الحاجة الى محركات التيار المستمر قليلة وذات كفاءة عالية الا ان محركات التيار المتناوب هي اعلى سعراً من مثيلاتها ذات التيار المتناوب

امثلة أستخدام محركات التيار المستمر (المكائن المبرمجة CNC والروبوتات - الانسان الآلي - المراوح والمثاقب وسواقات الاقراص CD و Disk كذلك ماسحات الزجاج في السيارات ... الخ

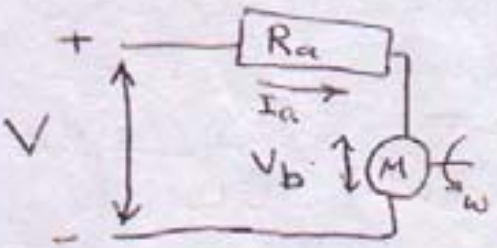
القواعد الاساسية لمحركات التيار المستمر

القاعدة الاولى

$$T = C \Phi I_a$$

T ← Torque
C ← Torque constant
I_a ← Current of Armature

القاعدة الثانية



$$V = I_a R_a + V_b$$

$$V = I_a R_a + K_b \omega$$

K_b ← Constant back emf

القاعدة الثالثة

$$R_a I_a + K_b \omega = V \quad \text{---} (1)$$

$$T = C I_a \quad \text{---} (2)$$

C ← Torque constant

من المعادلة (2) from (2) $I_a = \frac{T}{C}$

وتعويض ذلك في المعادلة (1)

$$R_a \frac{T}{C} + K_b \omega = V$$

$$\omega = \frac{V}{K_b} - R_a \frac{T}{C \cdot K_b}$$

محركات الخطوة step Motors

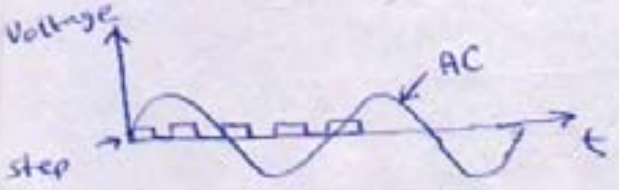
تؤمن محركات الخطوة step Motors حركة زاوية (دورانية لجزء من الدورة تتناسب مع عدد النبضات المرسلة للمحرك) وغالباً ما تقسم الدورة الكاملة الى عدد من الخطوات كل منها بقيمة 2.5 درجة او 7.5 درجة او 15 درجة.

أن أحدى ميزات محركات الخطوة هي في امكانية استخدامها في المنظومات الزاوية (التي تتطلب السيطرة على الموقع والسيطرة على السرعة) من خلال استخدام الدوائر المفتوحة Open_Loop وبذلك تكون المنظومة بهذا تقنية اقل سعراً من حالة استخدام محرك تيار مستمر DC motor مع وحدة تحسس السرعة Tacho. meter.

اما أهم سلبيات استخدام محركات الخطوة هي محدودية القدرة والدقة القليلة عند استخدام نظم السيطرة المفتوحة في حالة وجود أحمال عالية

تعتبر محركات الخطوة من محركات التيار المتناوب التزامنية الخاصة التصميم Synchronous AC motor ويعتمد مبدأ عملها على اساس التأثير الرقمي Digital excitation على كل من ملفاته ولأن هنالك فرق جهد ثابت يستخدم عند محافظة المحرك على موقعه لذلك فأن هذه المحركات تسمى أحيانا محركات تيار مستمر DC motors .

من المعروف ان محركات التيار المتناوب التزامنية تولد الحركة بناءً على تغير زاوية المجال المغناطيسي المتولد ولذلك ففي الحالة العامة فأن سرعة حركة محركات التيار المتناوب تتأثر (يسيطر عليها) من قيمة تردد التيار المجهز وعليه فأن الحركة الناتجة تكون حركة مستمرة سلسة Smooth . اما في حالة محركات الخطوة Step motor فعلى الرغم من أن مبدأ تغير زاوية المجال المغناطيسي هي الأساس في توليد الحركة فأن تجهيز أشارة رقمية (نبضية) تجعل المجال المغناطيسي في هذه الحالة يحافظ على زاوية لفترة زمنية أطول وبالتالي فأن محرك الخطوة Step motor سيحافظ على موقعه Position لزمن يساوي زمن النبضة الواحدة وفي نفس الوقت سيولد عزم معاكس لعزم الحمل على المحرك (والذي يحاول تحريك محرك الخطوة) بعيداً عن موقعه الحالي .



وعند استلام النبضة اللاحقة فأن محرك الخطوة سيغير زاوية المجال المغناطيسي المتولد بشكل مماثل مما يتيح للمحرك فأجراء الحركة الزاوية المطلوبة في حالة عدم وجود حمل أكثر من العزم المتاح او كون العزم الذاتي أقل من ما تتطلبه الحركة وهكذا فأن زمن النبضات المجهزة الثابتة سيؤدي الى الحصول على سرعة ثابتة . ويجب ملاحظة ان السرعة المخطط للمحرك ستتأثر بشكل مؤثر ضمن زمن النبضة الواحدة ولذلك فأن توليد سرعة ثابتة حقيقية لمحرك الخطوة هي عملية ليست سهلة على الرغم من امكانية ارسال نبضات التيار بسرعة ثابتة للمحرك ان حركة محرك الخطوة Step motor تتزامن مع تردد النبضات المجهزة للمحرك .

هنالك نوعين رئيسيين من محركات الخطوه هي
١- محرك خطوه ذو مغناطيس دائم في الجزء الدوار Rotor (النوع المستخدم)
٢- محرك خطوه ذو الممانعة المغناطيسية وبذلك فأن العزم المتولد هو نتيجة أختلاف الممانعة المغناطيسية ضمن المجال المغناطيسي المتولد.

من التطبيقات التي تستخدم محركات الخطوة الاجهزة الالكترونية كالطابعات والراسمات وسواقات الاقراص المغناطيسية.

فوائد محركات الخطوه

- يسيطر عليها لتحقيق الموقع المطلوب (Position control) من خلال أستخدام اسلوب السيطرة المفتوحة (Open loop)
- ان المسيرات لمحركات الخطوه تكون بشكل سهل من خلال استخدام وحدات المعالجة الدقيقة microprocessors والدوائر المنطقية Logic circuits.
- ان أخطاء الموقع تكون محدودة باستخدام السيطرة المفتوحة اذا كان الحمل المسلط على محرك الخطوه ضمن المدى المقبول.
- كنتيجة لاستخدام السيطرة المفتوحة فأن المنظومة ستستغني عن أستخدام المتحسسات واجهزة القياس وبالتالي ستكون منظومة السيطرة أرخص سعراً.

المساوئ

- تتوفر خاصية قدرات محدودة فقط وتوفر عزوم قليلة بالمقارنة مع محركات التيار المستمر.
- لديها محددات كبيرة في تحقيق السرع العالية.
- تحتوي على أهتزازات عالية كنتيجة لاستخدام النبضات.
- أخطاء في السيطرة تحدث في حالة فقدان بعض النبضات او زيادة الحمل على المحرك.

يمكن حساب زاوية الخطوه وفقاً لما يلي:

$$\text{step angle} = \frac{360^\circ}{S}$$

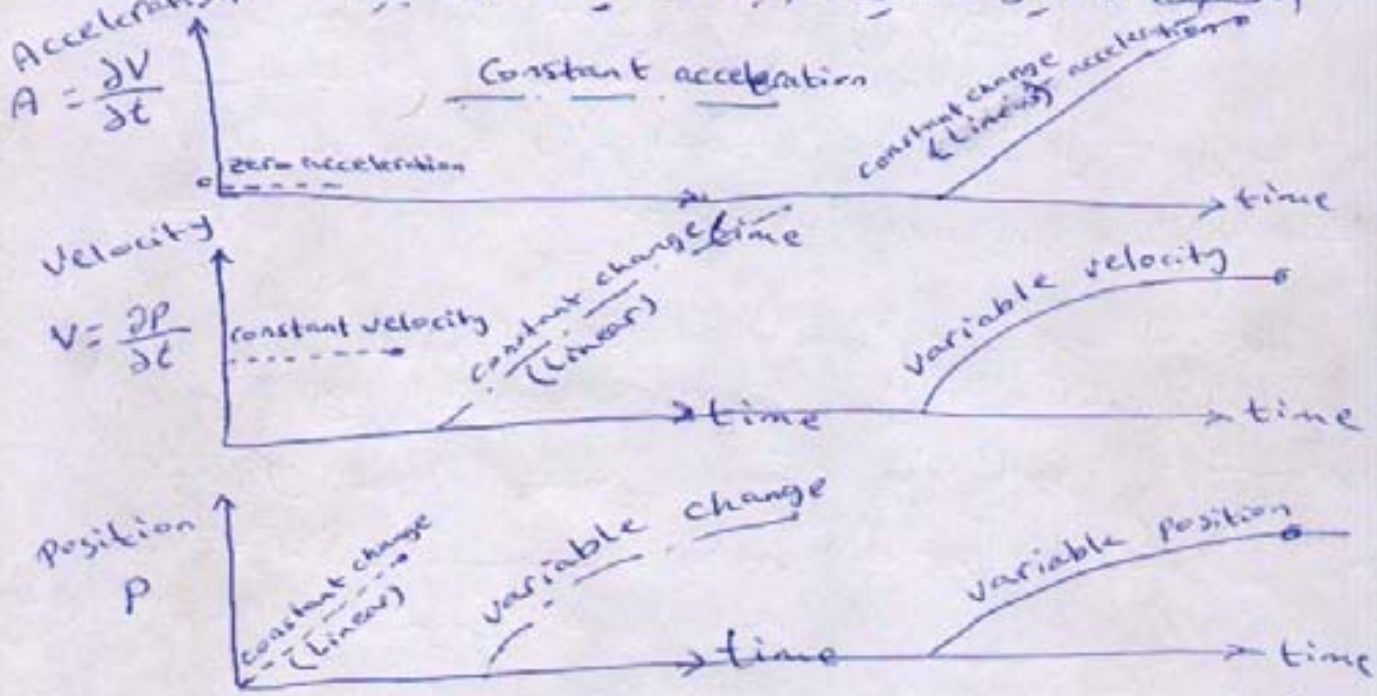
S = Number of phases * Numbe of rotor teeth

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 :

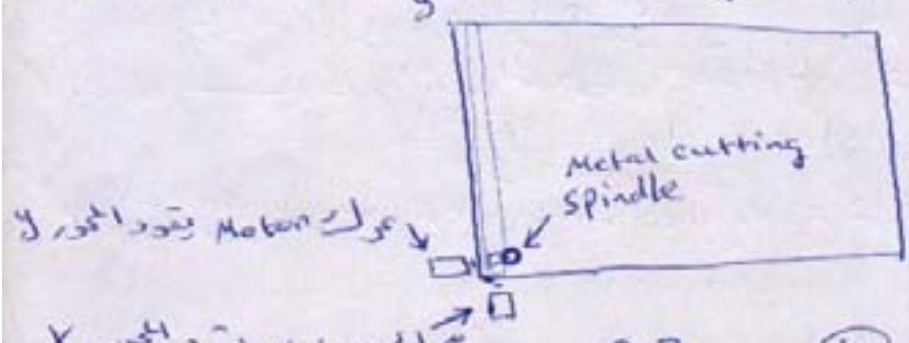
Position , Velocity , Acceleration
Force and Torque

غالبا ما تستخدم مخططات الزمن (Time Domain) لوصف القيم اللحظية للمتغيرات التي تتطلب المراقبة على سبيل المثال



تكمن الحاجة للسيطرة على هذه المتغيرات نتيجة للتغيرات الحديثة التي تطرأ على النظام سواء لتحقيق متطلبات عمله الحقيقية او المتغيرات المحيطية كالبيئة وغيرها .

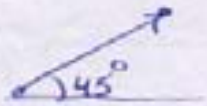
على سبيل المثال لنفترض وجود منظومة ذات محوري حركة متعامدين (أحداثيات س - ص Cartesian Coordinate) رأس قطع مكائن



(Metal cutting spindle)
ماكنة حفر بسيطة (ماكنة تفريز)
Basic CNC Milling machine

لغرض اجراء عمليات القطع للأشكال المطلوبة يستوجب الحركة العمودية على كل من محوري X و Y من مجموعة من خيارات الحركة وكما يلي:

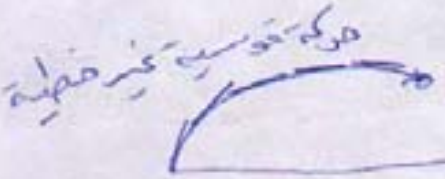
- حركة محور X فقط
- حركة محور Y فقط



- حركة محوري X و Y بسرعة ثابت متساوية

- حركة محوري X و Y بسرعة ثابتة لكل منها ولكن بمقدار مختلف

$$Ang = \tan^{-1} \frac{V_y}{V_x}$$



- حركة محوري X و Y بسرع متغيرة لكل منهما (وقد يكون بتسارع متغير).

لعملية برمجة المسار المطلوب الحركة (تتبع بصورة عامة) أستخدام محددة السرعة المطلوب اجراء الحركة وفقها وبالتالي أستخدام محددة السرعة لكل من محاور الحركة. ان معرفة حساب السرع النسبية لكل من محاور الحركة يعني امكانية حساب السرع النسبية لكل من محاور الحركة يعني امكانية حساب زمن التحهيز للتيار الخاص بكل محرك وفقاً لما يلي:

$$V_{motor} = \frac{\text{Required position} - \text{Current position}}{time}$$

Required position: النقطة التي تتطلب الوصول لها عند الحركة

Current Position: الموقع الحالي

V_{motor}: السرعة النسبية للمحرك

time: الزمن اللازم لتحهيز التيار

ملاحظة هامة: يتم اجراء التحويل اللازم بين الحركة الدورانية والحركة الخطية وفقاً للعلاقات الأساسية الخاصة بالتحويل وباستخدام قيم المتغيرات الأجزاء الميكانيكية المربوطة على المحرك مثل (Power screws) متغيرات السرع Gear box والجرائد المسننة او أعمدة القيادة

$V_{linear} \rightleftharpoons \omega$

position $\rightleftharpoons$ angular position

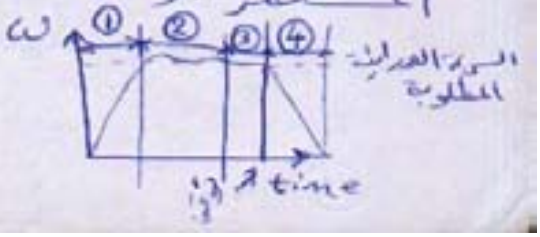
Acceleration $\rightleftharpoons$ α angular acceleration

من الناحية النظرية Theoritical point of view وبإهمال قيم المؤثرات المتغيرة فأن السيطرة على الموقع وعلى السرعة تكون سهلة للغاية بأسلوب السيطرة المفتوحة Open loop سواء تم استخدام محركات تيار مستمر او متناوب او خطوة الخ

ان ذلك من الناحية العملية غير ممكن لوجود متغيرات عديدة ضمن النظام تتعلق بعزم القصور الذاتي والشروع بالحركة من قيمة التوقف او تحقيق الاستجابة المطلوبة لتغير السرعة (الزمن اللازم لتحقيق الاستجابة على سبيل المثال تغير سرعة المحرك من 500RPM ← 800RPM لا يتم فجأة على هيئة عتبة step Ramp وانما سيكون تدريجي حسب نمط النظام المستخدم)

وكذلك التأثر بالأحمال المتغيرة اثناء الحركة سواء لمتغيرات ضمن النظام التصميمي الأجزاء او وجود أحمال خارجية وبرغم من الأسباب الآنفة (يلاحظ ان الحصول على حركة مسار معين قد تقتضي اجراء تغييرات عديدة في سرع المركبات في المنظومة بشكل يتناسب المسار المطلوب)

لو فحصنا بعمق المخطط الزمني لبدء الحركة لكل من محركات التيار المستمر او المتناوب DC or AC motor ولنفترض بأنه قد تم تشغيل المحرك وأيقافه نلاحظ وجود أربعة مناطق مميزة ضمن المدى الزمني لتشغيل المحرك وهذه المناطق هي:



① منطقة الشروع starting of moter وهي تعثر الفترة الزمنية اللازمة للوصول بسرعة المحرك الى السرعة الدورانية المعلومة ويلاحظ في هذه المرحلة بأنه يتطلب من المحرك التغلب على عزم العصور الذاتي ومتغيرات الخاصة بالمحرك (التصميمية) مثل الاحتكاك ومقاومة الفحمات Brushes وبالتالي يلاحظ زيادة سرعة المحرك مع الزمن وصولاً الى السرعة المطلوبة

DC moter (السرعة المطلوبة في محرك التيار المستمر (Constant) يحددها فرق الجهد المجهز وثابت المحرك)

AC moter (السرعة المطلوبة في محرك التيار المتناوب يحددها التردد وعدد الاقطاب ويلعب فرق الجهد مع التيار دوره في تحديد قيم القدرة الخاصة بالمحرك وفقاً لاسلوب الربط للمحرك وتصميمه الداخلي)

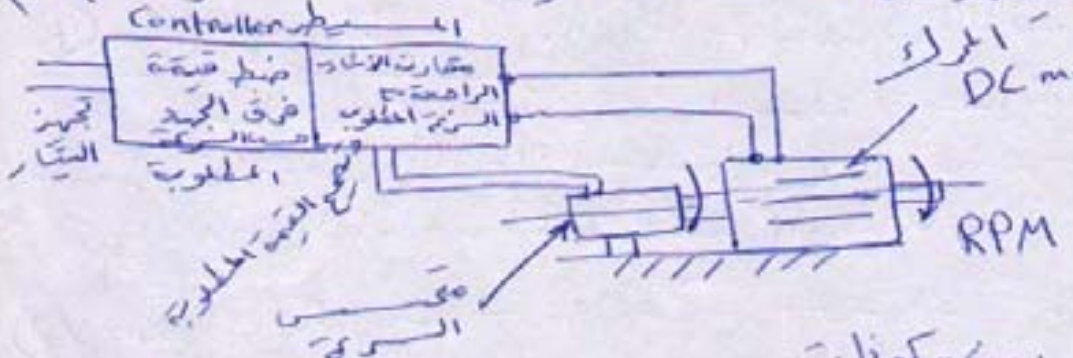
② منطقة الاستجابة نحو الاستقرار ان الزخم المتولد Momentum الذي يمتلكه الجزء الدوار من المحرك سوف يجعله يتجاوز قيمة السرعة المطلوبة (Overshoot) وعندها يبدأ المحرك بالتباطؤ للوصول الى حالة الاستقرار من خلال التذبذب بالسرعة بأعلى او أقل قليلاً من السرعة المطلوبة

③ منطقة استقرار السرعة stabiling حيث تصل سرعة المحرك ضمن هذه المنطقة مساوية لمقدار السرعة المطلوبة من المحرك طالما ظلت قيمة الممانعة (Load) ثابت .

④ منطقة التوقف Braking zone : وتتطلب هذه المرحلة زمناً للوصول الى حالة السكون تتناقص ضمنه السرعة بشكل يتناسب مع منظومة التوقف (الفرملة المستخدمة) كأن تكون ميكانيكية او كهربائية (من خلال عكس أتجاه التيار) او غيرها من الاساليب المستخدمة

(ملاحظة) في حالة تغيير سرعة المحرك من سرعة الى سرعة اخرى فيظهر تأثير المناطق الثلاثة الاولى دون المنطقة الرابعة

وتتمة للذكر أنفاً فأن الاستجابة للموقع Position للمنظومة تختلف عن ماهو مطلوب أصلاً مما ينتج خطأ في الوصول الى الموقع المطلوب بالإضافة الى خلل في الموقع المتوقع عند حركة المنظومة ولذلك فقد تم تطوير منظومات المركات لتكون مايسمى بالمحرك الموازر Servo Motor من خلال أضافة حساس للسرعة للمحرك يعمل على قياس السرعة لحظياً وارسال الناتج لعملية القياس الى مسيطر المحرك الموازر الذي يقوم بمقارنة القيمة المقاسة مع القيمة المطلوبة للسرعة وبالتالي اجراء التعديل على قيمة التيار المجهز للمحرك (لتباطئ او تسارع) بما يتجاوز قيمة الفرق الناتج. وكما هو معروف فأن محركات التيار المستمر DC motor هي الأسهل في السيطرة على سرعتها بالمقارنة مع محركات التيار المتناوب AC motor فلذلك فقد ظهرت المركات الموازرة Servo motor المستندة على محركات التيار المستمر DC motors أصلاً وأتسعت تطبيقاتها لتشمل تطبيقات حديثة كالمكائن العدد CNC machines والانسان الآلي Robot وغيرها. ومؤخراً مع تطور الالكترونيات أصبح بالإمكان تطوير مسيطرات لتغيير السرعة لمحركات التيار المتناوب AC (تذكر بأن تغيير السرعة لمحركات التيار المستمر DC motors تتم من خلال فرق الجهد المجهز اما محركات التيار المتناوب AC motors فأن تغيير سرعتها يعتمد على أساس تغيير قيمة التردد Frequency)

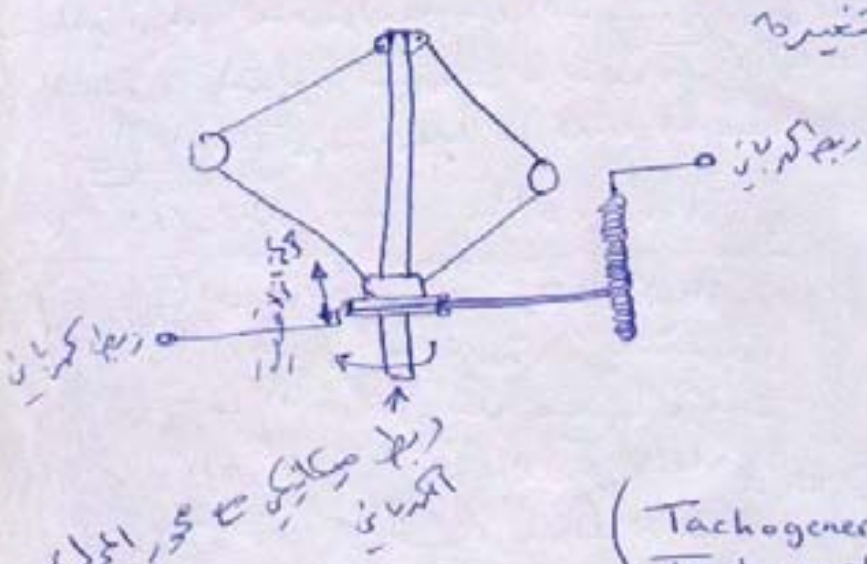


الشكل اعلاه يبين مكونات منظومة محرك موازر (تيار مستمر) DC-servo motor

هنالك عدة انواع من متاييس السرعة المستخدمة في المكائن الحقيقية وتهم هذه الانواع مايلي:

١- متياس الكرة المتأرجحة الكرو ميكانيكي Fly ball electro-mech. velocity sensor

يعتمد مبدأ هذا المتحسس على اساس قوة الطرد المركزية اثناء الدوران فتؤدي هذه القوة الى تغيير موقع عتلة ربط مع مقاومة كهربائية متغيرة



٢- متياس السرعة (Tachogenerator / Tachometer)

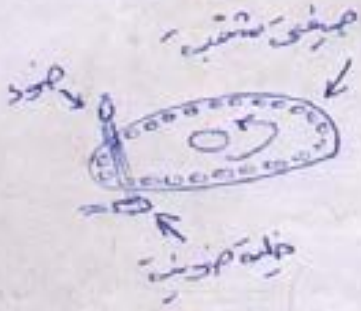
ان مبدأ عمل هذا المتحسس كما هو واضح من أسمه هو عمل مولد كهربائي لذا يعتمد على مبدأ قانون فيض الفضاء المغناطيسي وبالتالي يولد فرق جهد خارج وهنالك نوعين من هذا النوع يولد تيار متناوب AC ونوع يولد تيار مستمر DC. النوع الاول تيار متناوب AC يحتاج الى دائرة تعديل الاشارة Rectifying لتتبع استخدامها وقياسها بشكل اسهل في الاشارة الراجعة Feedback لتصحيح قيم التيار المرسلة الى المحرك. اما النوع الاول الذي يولد تيار مستمر DC فيتطلب استخدام معدل (مراكم) Commutator وهذا في بعض الاحيان يعني جهد لكل ما يتطلب من صيانة (تبديل الفحمات) وغيرها. كما تجدر الاشارة الى ان النوع الاول الذي يولد AC فأن هنالك مشاكل وتعقيدات كهربائية تظهر عند زيادة التردد بشكل كبير

ربط متحسس السرعة Tacho meter ثم بواسطة ربطه ميكانيكياً مع محور الدوران للمحرك وبالتالي فأن سرعة دورانه ستكون مساوية لسرعة دوران المحرك

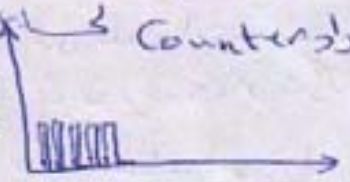
٣- مولد النبضات Pulse generaten (يخدم هذا النوع من المتحسسات قياس الموقع والسرعة) or encoden

بدأ مؤخراً مع تطور المكونات الالكترونية استخدام المتحسسات التي تولد النبضة لقياس السرع. هنالك عدة انواع من هذه المتحسسات المستخدمة لتوليد النبضات ويختلف عمل كل منها واشهر الانواع المستخدمة حالياً من هذه المتحسسات تعمل على الاسس التالية:

١- الخلايا الضوئية photo cells



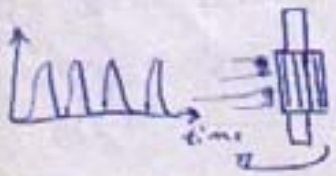
ويتألف من خلية ضوئية photo cell ومصدر ضوئي وصفيحة دائرية مثقبة بعدد من الثقوب حول محيطها وتثبت هذه الصفيحة مع محور الدوران للمحرك فعند دوران المحرك ستتولد الاشارة الخارجة من الخلية الضوئية على هيئة عدد من النبضات ومن خلال ربط هذا المتحسس مع عداد Counter لحساب عدد النبضات ومن خلال تحديد مدة زمن معين Δt فأن قيمة عدد النبضات التي تولد خلال وحدة الزمن ستكون مؤشراً لسرعة المحرك



حيث ان معرفة عدد الثقوب الموجودة في الصفيحة (والموجودة هنا ٣٦ ثقب) وزوايا ثابتة) يتيح حساب قيم سرع المحرك.

ب- الحث الكهربائي Induction او المغناطيسي (يعتبر هذا النوع من الانواع شبه التقاربي Approximate sensor) (يتميز المتحسس

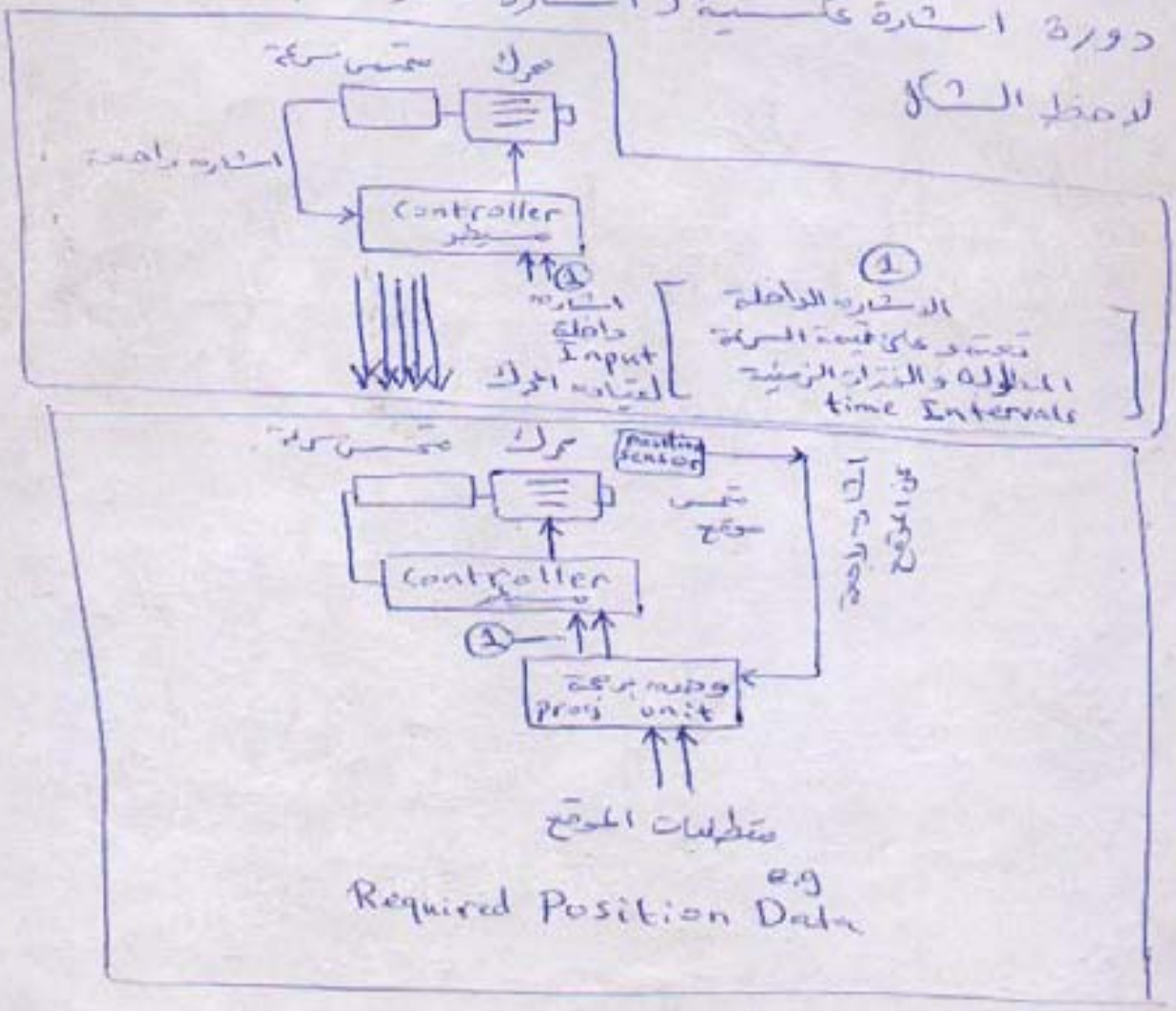
يعتمد عمل هذا النوع على حدوث تغيير في المجال الكهربائي او المغناطيسي اثناء مرور مقاومة (جزء معدني) من المجال فيتم تصميم محور المتحسس على هيئة عمود ذو شقوق متعددة موازية لمحوره فعند دوران العمود (والذي يرتبط مع المحرك) فأن الشقوق المعدنية ستمر من المجال المغناطيسي وتسبب الحث الكهربائي فتظهر الاشارة المولدة على هيئة نبضات



متحسسات الموقع Position Sensors

ان استخدام متحسسات الحركة ضمن منظومة التحكم يجرد من وحدات الحركة الكهربائية Servomotor لتضمن الوصول الى الموقع المطلوب بالرغم من ان تحسس الحركة يغذي ويستخدم كأشارة راجعة لتصحيح الحركة فأن الاخطاء Errors الناتجة من التسارع والتباطؤ والتوقف ومناطق عدم الاستقرار عند حركة الحركة كلها ستخلق اخطاء للوصول الى الموقع المحدد وعليه عندما يراد برمجة مسار حركة يكون ما عنده نقاط محددة ضمن المسار فأن الاخطاء ستتراكم مما يفقد دقة المنظومة ، Accumulation of position errors

ان أضافة متحسس للموقع Position sensor ضمن المنظومة سيزيد دورة اشارة عكسية (اشارة تغذية راجعة Feedback signal) لاحظ الشكل

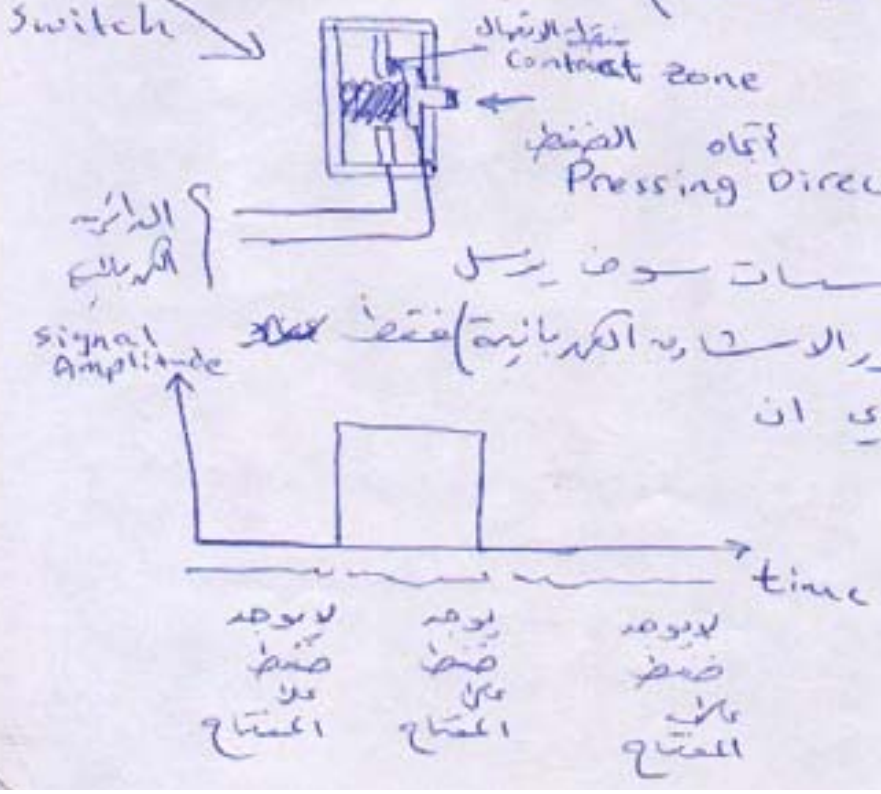


هنالك نوعين من متحسسات الموقع ويمكن تقسيمها بشكل أساسي الى نوعين رئيسيين هما:

١- متحسسات الموقع المطلقة Absolute position sensor

٢- متحسسات الموقع التراكمية Incremental-type position sensors

أن جميع متحسسات الموقع المطلقة Absolute-type ستقوم بتوليد اشارة كهربائية خارجة Output signal تتناسب مع الموقع الحركي (خطي او زاوي) (linear or Angular position) للمتحسس بأرسال أشارة كهربائية فقط عند وصول المنظومة الحركية الموقع المطلوب حيث هذا المتحسس (او بالعكس عند خلو الموقع الموجود حيث هذا المتحسس من خلال فصل الاشارة الكهربائية عند ذلك).



هذا النوع من المتحسسات سوف يرسل اشارة كهربائية (يمرر الاشارة الكهربائية) فقط عند ضغط المفتاح اي ان

يمكن تقسيم محسسات الموقع المطلق بقسم مستوحاه من خصائص الموقع (Resolution) ويعتمد مبدأ عمل هذه المحسسات على Binary code (النظام الثنائي) على الاساس الرقمي مثل المثال يتألف المحسس الرادي المطلق ذو الثمانية قيم من الدورة الواحدة من قرص ذو (ثلاثة مسارات

المسار الخارجي هو للاشارة ذات القيمة الاقل LSB

المسار الداخلي هو للاشارة الاكثر قيمة MSB

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 المحسس الضوئي وفي هذه الحالة فان المسارات من القرص ستكون منقوشة عند القيم 1 بما يتيح انتقال الضوء من مصدر الضوء الذي يكون امام القرص الى وحدة المحسس الضوئية الخلية الضوئية photo cell التي تكون في هذه الحالة اسفل القرص ويلاحظ ايضا بأن عدد الخلايا الضوئية يجب ان يكون مساوي لعدد المسارات (ثلاثة في الحالة اعلاه) اي ان المحسس الزاوي ذو 256 موقع ضمن الدورة الواحدة يضم (ثمانية خلايا ضوئية) كما يمكن اعتماد مبدأ اخر لنقل الاشارات الكهربائية بدلا من المبدأ الضوئي مثل الحث الكهربائي او التوصيل الكهربائي المباشر وغيرها من الطرق المختلفة.

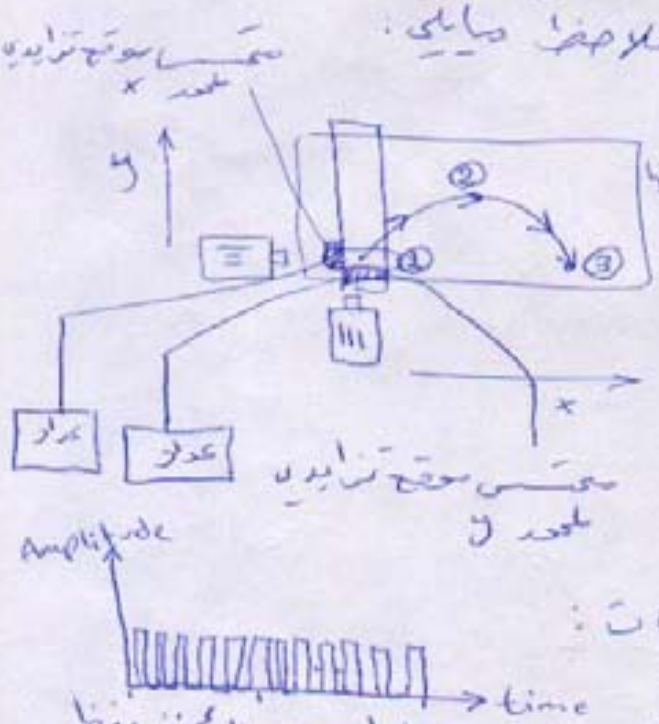
هنالك نوع أخر من متحسسات الموقع المطلقة للمتحسس الزاوي ويتمثل بمحللات الموقع الزاوي Angular Position Resolvers حيث ترتبط هذه المتحسسات مع محور الحركة للعمود (على سبيل المثال) لتدور معه او مع منظومة الحركة المرتبط به وبعتمد مبدأ عمل هذا النوع من المتحسسات الزاوية على مبدأ توليد أشارة كهربائية في الملفات الموجوده في الجزء الثابت من المتحسس على هيئة اشارة كهربائية تناسب قيمتها مع القيمة الجيبية التماسية الجيبية للأشارة واخرى تناسب قيمتها مع القيمة الجيبية للأشارة وفي بعض الاحيان يتضمن هذه المتحسسات بما يعرف بالمقاومة المتغيرة الجيبية - الجيب تماسية Sine-Cosine potentiometer ولذلك من خلال معرفة القيمة المتولدة للأشارة ومعرفة قيمة الأشارة القصوى التي يفترض تولدها يمكن حساب الموقع الزاوي لمنظومة الحركة. وتوفر هذه المتحسسات قدم جيده من الدقة بحدود ± 6 minutes اي (0.1°) وبتكرارية Repeatability تصل الى ± 2 minutes اي (0.033°).

كما هو معلوم فأن منظومات الحركة قد تحتاج الى أنجاز الحركة بأتجاهين أتجاه تزايدي وأتجاه تناقصي ولذلك فأن المتحسسات الخاصة بالموقع ذات القيمة المطلقة Absolute-type تتبع الموقع من خلال معرفة الموقع الحالي والموقع اجراء حسابات الجمع الجبري بينهما شريطة ان لا تتزيد قيمه الجديد واجراء عمليات Time Interval عن دوره واحدة فعند ذلك الفترة الزمنية Resolution(time) يمثل النظام في معرفة الموقع التفصيلي للمنظومة الحركية عند استعمال

المتسسات ذات الاحداثيات المطلقة Absolute Sensors في منظومات الحركة المستمرة.

أن متسسات 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 هذه المتسسات في المنظومات الذاتية يكون من خلال ربطها مع عدادات Counters تزايدية او تناقصية والتالي فأن القيم المسجلة في العداد تتبع معرفة كمية الحركة المنفذة (او قيمة الـ Resolution) خلال المنزه. ولغرض زيادة عدد الخطوات وحدة المسافة بالاضافة الى معرفة أتجاه الحركة تزايدي او تناقصي يلجأ الى أستخدام قناتين لتسجيل الاشارة الخارجة بدلاً من قناة واحدة بحيث تتقدم أحدى القناتين بقيمة ربع الدورة التكرارية للاشارة. ولكي نوضح هذا المفهوم نلاحظ مايلي:

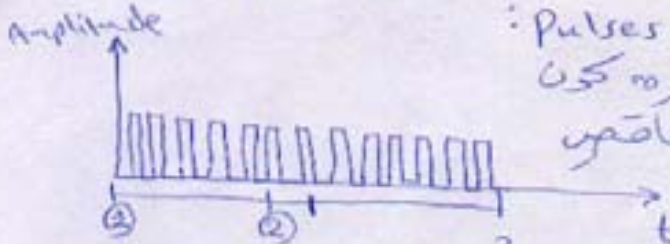


لنفرض منظومة الحركة بمحورين متعامدين ومستقيم فيها بالاضافة الى الحركات المستقيمة (لمتسس الموقع على المحور X وعلى المحور y) فاذا اردنا أجراء حركة المنظومة من النقطة ① مرورا بالنقطة ② ثم وصولا الى النقطة ③ فيلاحظ ان حركة المحرك X هي في حالة تزايد دائما وبذلك فان نمط الاشارة الخارجة من متسس الموقع للمحور X ستكون على هيئة نبضات ويصبح عددها الذي يحسبه العداد المربوط مع هذا المتسس دليل على الموقع الذي تم الوصول له مع الاخذ بنظر الاعتبار القيمة المقابلة لكل نبضة من القيمة الحقيقية للحركة.

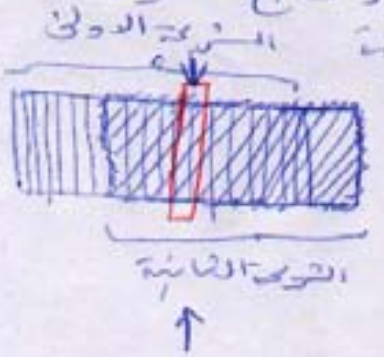
③ ← ② ← ①

اما المحرك y فأن حركته لتحقيق نفس المسار

تتطلب تزايد عند الانتقال من المسار الحركي من النقطة (1) الى النقطة (2) وبعد ذلك يتطلب تناقص (اي الدوران باتجاه عكسي) لتحقيق المسار المطلوب من النقطة (2) الى (3) فلو نظرنا الى نمط الاشارة الخارجة من محسس الموقع للمحور Y ستكون أيضاً على هيئة نبضات Pulses:



دون أن يتبين من خلال هذه الاشارة كون الحركة تمت بالاتجاه التزايدي او التناقصي للموقع وبالتالي سيعمل العداد على أضافة عدد النبضات الواردة له دون الأخذ بنظر الاعتبار فيما اذا كانت الحركة بالاتجاه التزايدي او التناقصي. ولغرض تلافي هذه الحالة غالباً ما يتم تصميم محسس الموقع التزايدية من خلال توليدها اشارتين جيبيتين بدلاً من النبضات وتختلف الاولى عن الاخرى بكونها مختلفة عنها بالطور بقيمة $\frac{1}{4}$ دورة تكرارية $\frac{1}{4}$ cycle اي بما يمثل (90°) ولكي يكون التصميم مناسب لتحقيق عالية Resolution عالباً ما يتم أستخدام مبدأ الأقراص الضوئية (أقراص موير Moire) حيث فيه تتم الحركة النسبية بين شريحتين شفافتين موشى عليهما بمجموعة من الخطوات المعتمة والقريبة من بعضها البعض ومتوازية وتوضع هاتين الشريحتين احدهما فوق الاخرى بما يحقق زاوية ميلان معينة وعند انزلاق هاتين الشريحتين احدهما على الاخرى نتيجة لحركة المنظومة فأن الخطوط تتقاطع فيما بينها فاذا تم مراقبة هذه الخطوط باتجاه عمودي تبدو وكأن هذه الخطوط تتحرك نحو الاعلى (او نحو الاسفل حسب اتجاه الحركة)



بما يشبه الخداع البصري وهذه الظاهرة يتم أستثمارها من خلال وضع خليتين للمحسس الضوئي Photo cells فتتولد الاشارتا لحالة بما يشبه الاشارة الجيبية ولأن ضمن ذلك فرق موقعي بين موقع عليها الخليتين بما يحقق طور زاوي بقيمة 90° فأن احدى الاشارتين الحالة

من الخلية الضوئية ستشبه الاشارة الجيبية SineWave في جنين ستشابه الاشارة المتولدة في الخلية الضوئية الثانية مع الاشارة الجيبية التماضي CosineWave . ومن خلال تحليل ضدين الاشارتين نعرف كونهما يتزايدان او يتناقصان بالقيمة او الاشارة يمكن التوصل الى تحديد الاتجاه الناتج للحركة .

ان نمط الاشارة المتولدة من متحسس الموقع التزايدي هي اشارة مستمرة (متواصلة) Analogne signal في حين تتولد اشارة ذات هيئة اشارة رقمية Digital-type signal من متحسسات الموقع المطلقة

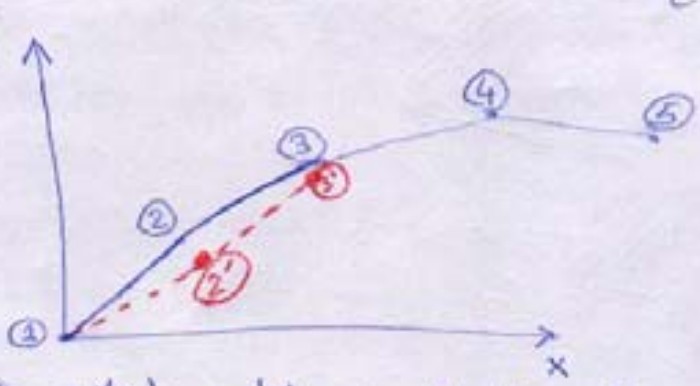
ان مبدأ العمل لمنظومات الحركة التي تستخدم متحسسات الموقع كأشارة راجعة تعمل كما يلي :

١- عند بدأ تشغيل منظومة الحركة فأن عدادات الموقع ستؤشر الى Position Counters المرتبطة مع متحسسات الموقع قيمة موقع اولية Initial position .

٢- عند اعطاء الأمر للمنظومة للحركة من الموقع الاولي الى موقع محدد مطلوب Required Position ستقوم عدادات الموقع بتحديث بيانات الموقع اثناء الحركة بناء على الاشارات المرسلة من متحسسات الموقع المرتبطة معها للحصول 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 (اخطاء الاستجابة للحركات) فأن احداثيات الموقع الذي تم الوصول له تكون مختلفة من الناحية العملية عن احداثيات الموقع المحدد المطلوب Required Position .

٣- عند الانتقال من خلال الحركة الى موقع جديد قادم فأن الاحداثيات المسجلة للموقع الحالي الذي تم الوصول له

ستتم في حساب نمط اشارات القيادة Current position
المرسلة الى محركات الحركة للوصول الى الموقع التالي Next position
وبالتالي سيتم تقليل خطأ الموقع وبكسر ذلك فأن الخطأ في
الموقع سيتراكم عند تسلسل النقاط التي تتطلب الوصول
لها. ولتوضيح هذه الحالة بشكل أكثر لنأخذ المثال التالي،



لو أردنا انجاز الحركة على المسار المحدد اعلاه من النقطة ① الى
⑤ مروراً بالمواقع ② و ③ و ④ فعند تشغيل المعدة فأن احداثيات
الموقع الاولية Initial position تسجل احداثيات موقع النقطة ①.
الماكنة ستتحرك باتجاه النقطة ② من خلال اشارات القيادة
المرسلة الى محركات X و Y بقيم نسبية لتحقيق الميل المطلوب
لخط المسار ① ← ② [اشارات المرسلة للقيادة هي
الزاوية المطلوبة من كل محرك (وفق المعادلة لحالة محرك DC) وكذلك
الفترة الزمنية Time الذي ستحتاجه هذه الاشارة للمحرك]
ولاسباب تتعلق باخطاء الاستجابة للمحركات وغيرها من الاخطاء الاخرى
فأن الماكنة ستتحرك وتصل الى موقع قريب من النقطة ② وليس
عند النقطة ② التي تمثل احداثيات النقطة التي يتطلب الوصول اليها
وعليه فأن الاحداثيات التي سيحملها عداد الموقع Required position
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' بدلاً من المسار ① ← ②

والآن لكي تتحرك الماكنة وصولاً الى النقطة ③ فأن مسار الحركة الحلول لتلافي الخطأ الحادث في احداثيات النقطة ② هو في اتباع المسار ②' ← ③ وليس باتباع المسار ② ← ③ ففي حالة اتباع المسار ② ← ③ فأن الخطأ الناتج للوصول الى النقطة ③ سيزداد بأضافة خطأ الاحداثيات العمل أصلاً عند النقطة ② اما في حالة اتباع المسار ②' ← ③ فأن ذلك يعني تلافي الخطأ العمل عند النقطة ② وبالتالي يعني الوصول الى نقطة ③' التي تكون اقرب بأحداثياتها الى النقطة ③.

الاشارة المتواصلة (المستمرة) والاشارة الرقمية
Analogue and Digital Signals

تعرفنا من خلال دراسة الحساسات والمحركات والمعالجات عليها بأن هنالك انماط مختلفة من الاشارات المتولدة او المرسلة او المستقبلة بين المكونات الرئيسية والفرعية في المنظومات ويمكن تقسيم الانماط المختلفة للاشارات الى ما يلي:

في المنظومات الذاتية تحتاج الى ارسال او استقبال الاشارات

بين المكونات الفرعية المنظومة وبالتالي فهنالك حاجة الى:

١- ارسال اشارة متواصلة Analogue واستلامها.

٢- او ارسال اشارة رقمية Digital واستلامها.

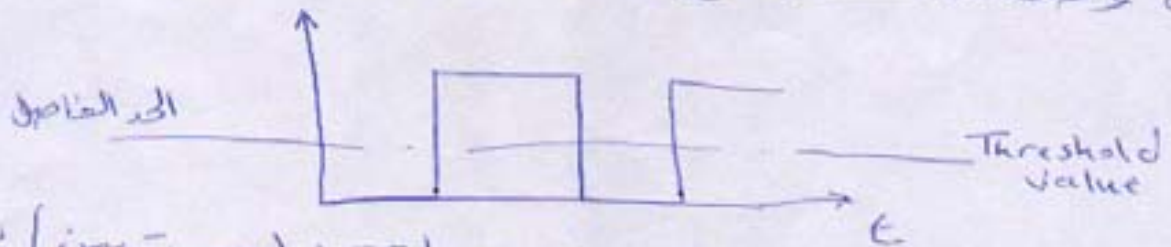
٣- او ارسال اشارة Analogue متواصلة واستلامها من Digital

قبل احدى المكونات التي تتعامل مع الاشارات الرقمية.

٤- او ارسال اشارة رقمية Digital واستلامها من قبل احدى المكونات التي تتعامل مع الاشارات المتواصلة Analogue

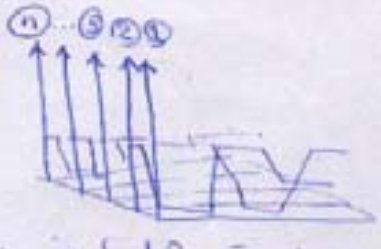
الحالة 1 اعلاه لاتوجد معضلة في أنجازها فعلى سبيل المثال ارسال اشارة قيادة (تجهيز قدرة كهربائية) الى محرك كهربائي من خلال مصدر كهربائي ذو تيار مستمر او تيار متناوب وحسب ماتتطلبه نوع المحرك الكهربائي.

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



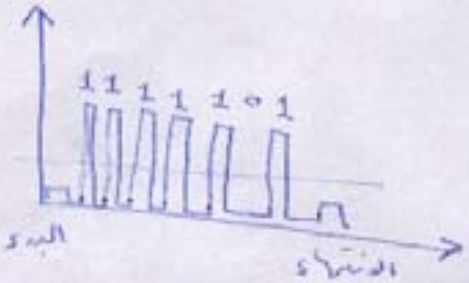
هنا نلاحظ بأن الاشارة تكون على مستطيلتين (مستويين) يفصل بينهما Threshold value فاذا كانت الاشارة اعلى من هذه القيمة ستكون قيمتها 1 واذا كانت اقل منها ستكون قيمتها (0) صفر ضمن التمثيل الثنائي Binary.

أما النوع الثاني من الإشارات الرقمية (متعددة القنوات) فإنها غالباً ما تمثل مع محور الزمن (More than 1 bit) أنها ذات قنوات متعددة Multi channel



مثال تطبيقي لهذا النوع إرسال الإشارات الرقمية ضمن القناة المتوازية Parallel Ports

وفي حالة الحاجة الى إرسالها او تمثيلها ضمن قناة واحدة فيتطلب ذلك وضع صيغ قياسية تتيح تمثيل هذه الإشارة الرقمية وتسمى هذه الصيغ القياسية بما يسمى بالبروتوكولات الخاصة بإرسال واستلام الإشارات الرقمية ومثال تطبيقي لهذا النمط إرسال واستلام الإشارات الرقمية ضمن القناة المتسلسلة Serial ports.



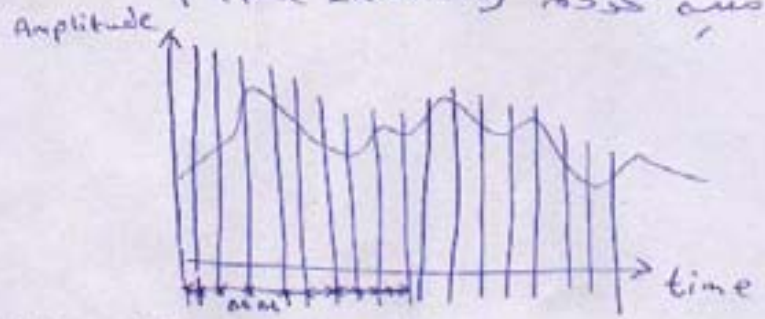
أما عملية إرسال الإشارة متواصلة Analogue واستلامها كإشارة رقمية Digital فإن ذلك يتطلب استخدام وحدة تحويل Analogue to Digital Converters الإشارات المتواصلة الى إشارات رقمية ويرمز لها بعض الاحيان ADC.

في حين يتطلب تطبيق إرسال اشارة رقمية Digital واستلامها كإشارة متواصلة Analogue استخدام وحدة تحويل الإشارات الرقمية الى إشارات متواصلة Digital to Analogue Converters

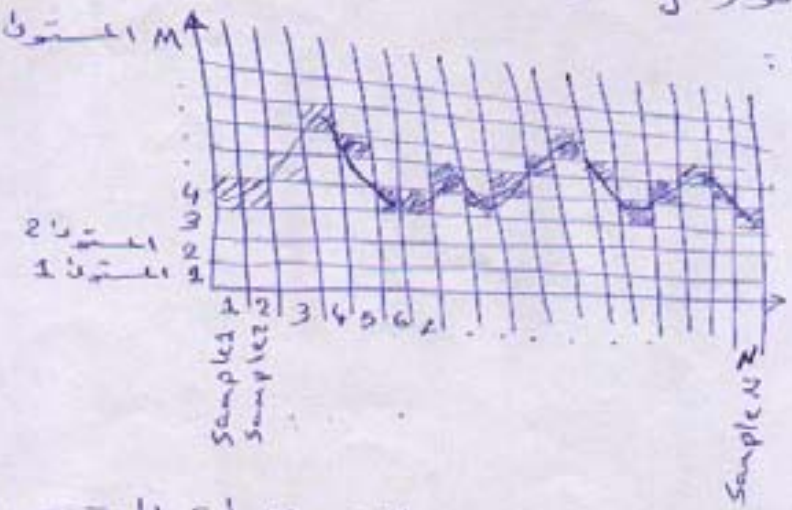
ويرمز لها في بعض الاحيان بـ DAC.

تحويل الاشارة المتواصلة Analogue الى اشارة رقمية Digital وبالعكس

ان المفهوم الفيزيائي لتحويل الاشارة المتواصلة Analogue signal الى اشارة رقمية Digital signal يكمن في إجراء تقطيع للاشارة ضمن فترات زمنية محددة (Time Intervals) :



وهذه العملية تسمى عملية التقطيع Discretion يعرف بأن قيمة Δt هي التي تحدد عدد العينات التي يتم الحصول عليها خلال وحدة الزمن وهذا ما يسمى بمعدل النمذجة (Sampling Rate). ان عملية التقطيع للاشارة ضمن فترات زمنية محددة تؤدي الى تحويل الاشارة المتواصلة الى اشارة متقطعة ضمن المحور X الا ان عملية التحويل الى اشارة رقمية Digital signal تتطلب كذلك تجزئة القيمة المتواصلة للاشارة ضمن المحور Y الى عدد محدد من المستويات بدلا من القيم المتواصلة :



ولأغراض تخص كفاءة الخزن الحاسوبية للاشارات الرقمية Digital signal فان عملية التحويل غالبا ما يكون عدد المستويات الناتج من

هو 2^b حيث تمثل b عدد المرات bits اللازمة لتمثيل قيمة المستويات المتاحة حيث أن :

$$2^b = M$$

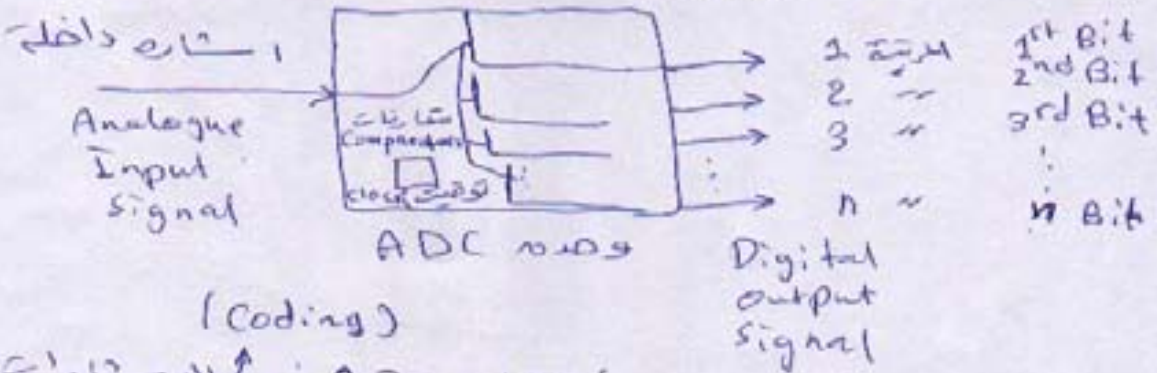
وأن قيمة M هي عدد المستويات المتاحة .

في حين سيكون عدد العينات (النماذج) الناتجة من عملية تحويل الاشارة الى اشارة رقمية (N) حيث أن :

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

T : زمن الاشارة المطلوب تحويلها

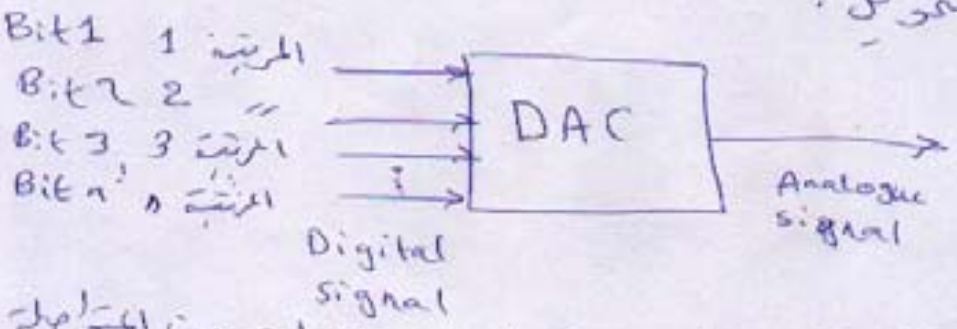
ان أجراء تحويل الاشارة من أشارة متواصلة Analogue الى اشارة رقمية Digital تتم ضمن وحدات تحويل الاشارة ADC والتي تضم أجزاء الكترونية وساعة توقيت (clock) تقوم الاجزاء الالكترونية في مقارنة الاشارة الواردة مع عدد الدرجات المتاحة لها في حين تقوم ساعة التوقيت في تقطيع الاشارة حسب قيمة Δt المستخدمة والتي تحدد لها قيمة معدل العينة Sampling rate :



(Coding)

وهنا تجدر الاشارة الى امكانية تخزين الاشارات المتولدة الخارجة (الاشارات الرقمية Digital signals) وحسب تسلسل مرتباتها ضمن أشارة واحدة ذات نمط معين Known pattern

اما تحويلات الاشارة الرقمية الى اشارة تماثلية متواصلة:
فهي تعمل بالشكل العاكس Digital to Analogue Converters
لـ ADC فتدخل الاشارة الرقمية الى وحدة التحويل
والذي يحتوي على دائرة الكترونية ذات مواكم (مجمع الاشارة)
حيث تتفاعل قيم الاشارات الواردة من المراتب العليا
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 تؤخذ على ضوء معدل النمذجة Sampling rate

- يجب ان يكون كافياً لملاحقة التغير الناتج في الاشارة الاصلية

فعلى سبيل المثال

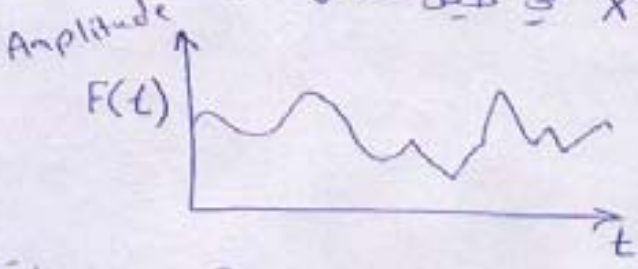
يلاحظ ضآلة عدد العينات المأخوذة لذا كان خلل وبالتالي فقد تم فقدان جزء كبير من طبيعة الاشارة الاصلية

وبصورة عامة يجب ان لاتقل عدد العينات عن 5 عينات للاشارات ذات الطبيعة المتناوبة

② عند الرجوع بالاشارة من اشارة رقمية الى اشارة متواصلة Analogue فأن هنالك تغيير طفيف سيحصل نتيجة عملية التحويل وقد يستحيل الحصول على نفس الاشارة عند تحويلها من اشارة متواصلة الى اشارة رقمية ثم اعادة تحويلها الى اشارة متواصلة اي اشارة رقمية هي اعادة تحويلها الى اشارة متواصلة. ويعامل ذلك كجزء من قيمة الخطأ الناتج في المنظومة.

الاشارات ومعالجة الاشارات
Signals and Signal Processing

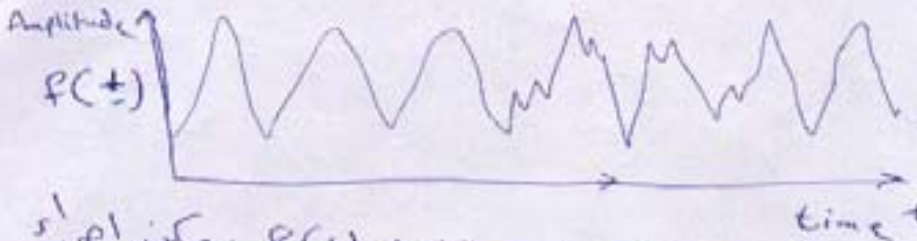
لقد سبق وان بينا بأن تمثيل الاشارات Signals يتم من خلال استخدام مدى الزمن Time Domain والذي غالبا ما يتم تمثيل الزمن فيه ضمن المحور X في حين تمثل قيمة الاشارة المحظية ضمن المحور Y حيث تقع هنالك قيمة واحدة لكل قيمة ضمن المحور X لكل قيمة ضمن المحور X



ان الانظمة الذاتية Automatic system تتطلب في الكثير من التطبيقات مراقبة قيمة الاشارة وتمييز او قياس التغير الحاصل عليها بما يصدر من انجاز الواجبات والفعاليات المطلوبة من المنظومة الذاتية.

ان انتقال الاشارات بين الوحدات المختلفة من المنظومة الذاتية يعرضها الى التأثر بالمؤثرات الخيطية والتي تؤدي الى أضافة ضوضاء ما الى الاشارات المنقولة علاوة على ما يجري من تغيرات فجائية في قيم الاشارات الناتجة من التغيرات الفيزيائية وما تتطلبه من زمن (تأخر زمني) للحاق بالقيمة المطلوبة. أن هدف معالجة الاشارات Signal Processing هو في تحليل الاشارات لاستنباط معلومات منها عن طبيعة تلك او ان أتخاذ الاجراءات اللازمة لتحسين الاشارة وازالة الضوضاء او بما يتيح مواءمتها مع متطلبات المنظومة. وهنالك العديد من المعالجات المعروفة للاشارات ويتم قسم منها في مجال الزمن Time Domain في حين يتم أخر منها في مجال التردد Frequency Domain او في مجال ذو علاقة بمجال التردد. في سلسلة هذه المحاضرات سنأخذ أمثلة عن بعض المعالجات وبكل تأكيد فأننا لا نهدف الى تغطية الموضوع بالكامل لذا أكتفينا 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 بأن لدينا اشاره ما تتغير قيمتها ح الزمن f(t) يمكن اجراء التقييم والاستقراء لهذه الاشاره من خلال العديد من المعايير الاحصائية وفيما يلي البعض منها:

$$Mean = \frac{1}{t}\int_{0}^{t} f(t)\,dt$$

وقد يكون من الاسهل احيانا نتعامل ح المبادئ التطبيقية الموضح بأن نعرف قيم المعايير الاحصائية من خلال الاشارات المتقطعة بدلا من الاشارات المتواصلة وبذلك يمكن اعادة صياغة معادلة المتوسط mean كما يلي:

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

اصغر قيمة محتملة ضمن الاشاره:

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

اكبر قيمة محتملة ضمن الاشاره:

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

المدى Range:

$$Range = \underset{n=0\ to\ N-1}{(Max - Min)}$$

جذر متوسط المربعات Root meas Square
RMS

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

Skewness معيار التماثل لشكل الاشارة حول متوسطها

$$Skewness = \frac{1}{(RMS)^3}\left[\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} f^3(n)\right]$$

Kurtosis معيار التغير الحاد في شكل الاشارة

$$Kurtosis = \frac{1}{(RMS)^4}\left[\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} f^4(n)\right]$$

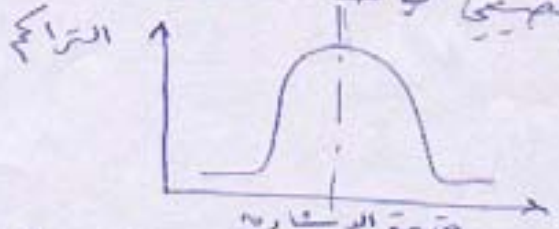
Standard Deviation معيار الانحراف المعياري

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

Variance معيار الاختلاف

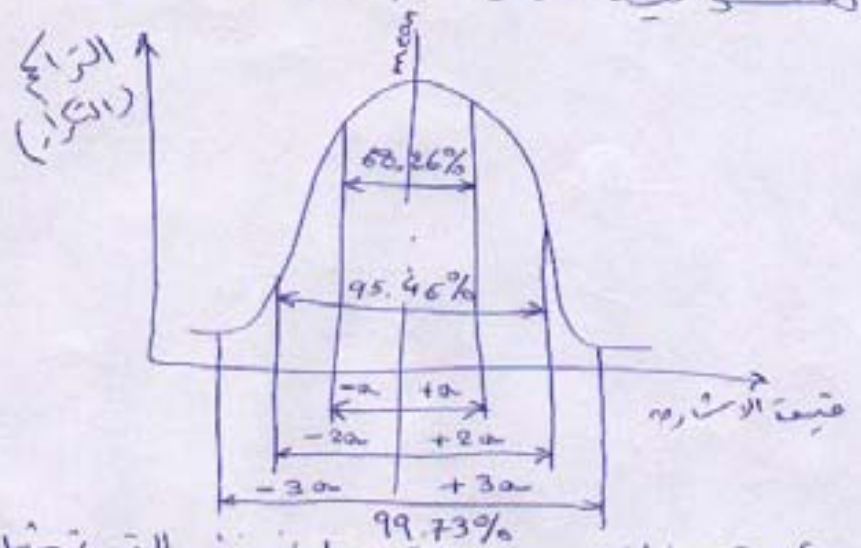
$$Variance = \sigma^2 = \frac{\sum_{n=0}^{N-1}(f(n)-mean)^2}{N}$$

العلاقة بين الاشارة و التوزيع الطبيعي:
من المعروف ان التوزيع الطبيعي يأخذ الشكل الجرسي التالي



ومن خلال اجراء العلاقة بين هذا التوزيع والاشارة فان
محور X سيمثل حجم الاشارة Amplitude في حين
سيمثل محور Y قيمة التراكم او التكرار للاشارة (عدد العينات التي تحمل القيمة المحسنة)

ان التوزيع الطبيعي Normal Distribution يوجد خواص محددة تساعد في تقييم نمط الاشارة ومعرفة مدى اقترابها من القيم العشوائية ضمن خصائص هذا التوزيع مايلي :



كتلة مئوية من المساحة تحت المنحنى والتي تمثل تراكم القيم (تكرار القيم) للاشارة وهذه الحايير تحدم في تقييم الاشارات احصائياً .

ان اجراء التقييم للاشارة بتطبيقات التوزيع الطبيعي يتطلب انشاء منحنى التراكم او مايسمى Amplitude Probability Density Function

APDF او أنشاء منحنى التراكم من نوع Histogram . وفي كلا الحالتين فأن المحور X سيمثل القيم (حدود جاميع القيم Grouping Values) في حين سيمثل المحور Y عدد مرات التكرار للاشارة ضمن القيمة المعينة خلال فترة التقييم (زمن التقييم) .

ان الشكل الناتج لمنحنى التراكم او الـ APDF سيعطي مؤشر عن طبيعة الاشارة كأن يأخذ شكل متماثل او غير ذلك

مثل :