المحتويات:

A. قبل أن نبدأ
a. الواحدات و أنظمتها العالمية ٤
b. اساسيات يجب معرفتها ٥

B. عناصر الآلات الميكانيكية
a. المسننات (التروس) Gears ٨
b. العناصر الميكانيكية المرنة Flexible Mechanical Elements ٩
c. عناصر أخرى ١٠

C. مدخل إلى الأنظمة الهيدروليكية

الأنظمة العالمية و الوحدات .

يوجد العديد من الأنظمة العالمية للوحدات Units و لكن أشهر و أهم هذه الأنظمة من ناحية الاستخدام هو النظام العالمي للوحدات International System of Units (SI) أو النظام المتري حيث تستخدم جميع دول العالم هذا النظام باستثناء الولايات المتحدة الأمريكية التي تستخدم U.S.CUSTOMARY Unit (U.S.CS) أو النظام الامبراطوري.

الجداول التالية توضح التحويلات بين النظامين فمثلا من اجل تحويلات التسارع (الصف الأول بالجدول الأول) لدينا :

$$ft/s^2 = 0.305\ m/s^2$$

(حول باقي الوحدات بنفس الطريقة)

CONVERSIONS BETWEEN U.S. CUSTOMARY UNITS AND SI UNITS

U.S. Customary unit		Times conversion factor		Equals SI unit	
		Accurate	Practical		
Acceleration (linear)					
foot per second squared	ft/s^2	0.3048*	0.305	meter per second squared	m/s^2
inch per second squared	$in./s^2$	0.0254*	0.0254	meter per second squared	m/s^2
Area					
circular mil	cmil	0.0005067	0.0005	square millimeter	mm^2
square foot	ft^2	0.09290304*	0.0929	square meter	m^2
square inch	$in.^2$	645.16*	645	square millimeter	mm^2
Density (mass)					
slug per cubic foot	$slug/ft^3$	515.379	515	kilogram per cubic meter	kg/m^3
Density (weight)					
pound per cubic foot	lb/ft^3	157.087	157	newton per cubic meter	N/m^3
pound per cubic inch	$lb/in.^3$	271.447	271	kilonewton per cubic meter	kN/m^3
Energy; work					
foot-pound	ft-lb	1.35582	1.36	joule (N·m)	J
inch-pound	in.-lb	0.112985	0.113	joule	J
kilowatt-hour	kWh	3.6*	3.6	megajoule	MJ
British thermal unit	Btu	1055.06	1055	joule	J
Force					
pound	lb	4.44822	4.45	newton ($kg·m/s^2$)	N
kip (1000 pounds)	k	4.44822	4.45	kilonewton	kN
Force per unit length					
pound per foot	lb/ft	14.5939	14.6	newton per meter	N/m
pound per inch	lb/in.	175.127	175	newton per meter	N/m
kip per foot	k/ft	14.5939	14.6	kilonewton per meter	kN/m
kip per inch	k/in.	175.127	175	kilonewton per meter	kN/m
Length					
foot	ft	0.3048*	0.305	meter	m
inch	in.	25.4*	25.4	millimeter	mm
mile	mi	1.609344*	1.61	kilometer	km
Mass					
slug	$lb-s^2/ft$	14.5939	14.6	kilogram	kg
Moment of a force; torque					
pound-foot	lb-ft	1.35582	1.36	newton meter	N·m
pound-inch	lb-in.	0.112985	0.113	newton meter	N·m
kip-foot	k-ft	1.35582	1.36	kilonewton meter	kN·m
kip-inch	k-in.	0.112985	0.113	kilonewton meter	kN·m

*An asterisk denotes an *exact* conversion factor

Note: To convert from SI units to USCS units, ***divide*** by the conversion factor

U.S. Customary unit		Times conversion factor		Equals SI unit	
		Accurate	Practical		
Moment of inertia (area)					
inch to fourth power	$in.^4$	416,231	416,000	millimeter to fourth power	mm^4
inch to fourth power	$in.^4$	0.416231×10^{-6}	0.416×10^{-6}	meter to fourth power	m^4
Moment of inertia (mass)					
slug foot squared	$slug\text{-}ft^2$	1.35582	1.36	kilogram meter squared	$kg \cdot m^2$
Power					
foot-pound per second	ft-lb/s	1.35582	1.36	watt (J/s or N·m/s)	W
foot-pound per minute	ft-lb/min	0.0225970	0.0226	watt	W
horsepower (550 ft-lb/s)	hp	745.701	746	watt	W
Pressure; stress					
pound per square foot	psf	47.8803	47.9	pascal (N/m^2)	Pa
pound per square inch	psi	6894.76	6890	pascal	Pa
kip per square foot	ksf	47.8803	47.9	kilopascal	kPa
kip per square inch	ksi	6.89476	6.89	megapascal	MPa
Section modulus					
inch to third power	$in.^3$	16,387.1	16,400	millimeter to third power	mm^3
inch to third power	$in.^3$	16.3871×10^{-6}	16.4×10^{-6}	meter to third power	m^3
Velocity (linear)					
foot per second	ft/s	0.3048*	0.305	meter per second	m/s
inch per second	in./s	0.0254*	0.0254	meter per second	m/s
mile per hour	mph	0.44704*	0.447	meter per second	m/s
mile per hour	mph	1.609344*	1.61	kilometer per hour	km/h
Volume					
cubic foot	ft^3	0.0283168	0.0283	cubic meter	m^3
cubic inch	$in.^3$	16.3871×10^{-6}	16.4×10^{-6}	cubic meter	m^3
cubic inch	$in.^3$	16.3871	16.4	cubic centimeter (cc)	cm^3
gallon (231 $in.^3$)	gal.	3.78541	3.79	liter	L
gallon (231 $in.^3$)	gal.	0.00378541	0.00379	cubic meter	m^3

Temperature Conversion Formulas

$$T(°C) = \frac{5}{9}[T(°F) - 32] = T(K) - 273.15$$

$$T(K) = \frac{5}{9}[T(°F) - 32] + 273.15 = T(°C) + 273.15$$

$$T(°F) = \frac{9}{5}T(°C) + 32 = \frac{9}{5}T(K) - 459.67$$

SELECTED PHYSICAL PROPERTIES

Property	SI	USCS
Water (fresh)		
weight density	9.81 kN/m^3	62.4 lb/ft^3
mass density	1000 kg/m^3	1.94 slugs/ft^3
Sea water		
weight density	10.0 kN/m^3	63.8 lb/ft^3
mass density	1020 kg/m^3	1.98 slugs/ft^3
Aluminum (structural alloys)		
weight density	28 kN/m^3	175 lb/ft^3
mass density	2800 kg/m^3	5.4 slugs/ft^3
Steel		
weight density	77.0 kN/m^3	490 lb/ft^3
mass density	7850 kg/m^3	15.2 slugs/ft^3
Reinforced concrete		
weight density	24 kN/m^3	150 lb/ft^3
mass density	2400 kg/m^3	4.7 slugs/ft^3
Atmospheric pressure (sea level)		
Recommended value	101 kPa	14.7 psi
Standard international value	101.325 kPa	14.6959 psi
Acceleration of gravity (sea level, approx. 45° latitude)		
Recommended value	9.81 m/s^2	32.2 ft/s^2
Standard international value	9.80665 m/s^2	32.1740 ft/s^2

SI PREFIXES

Prefix	Symbol	Multiplication factor
tera	T	$10^{12} = 1\,000\,000\,000\,000$
giga	G	$10^{9} = 1\,000\,000\,000$
mega	M	$10^{6} = 1\,000\,000$
kilo	k	$10^{3} = 1\,000$
hecto	h	$10^{2} = 100$
deka	da	$10^{1} = 10$
deci	d	$10^{-1} = 0.1$
centi	c	$10^{-2} = 0.01$
milli	m	$10^{-3} = 0.001$
micro	μ	$10^{-6} = 0.000\,001$
nano	n	$10^{-9} = 0.000\,000\,001$
pico	p	$10^{-12} = 0.000\,000\,000\,001$

Note: The use of the prefixes hecto, deka, deci, and centi is not recommended in SI.

أساسيات يجب معرفتها .

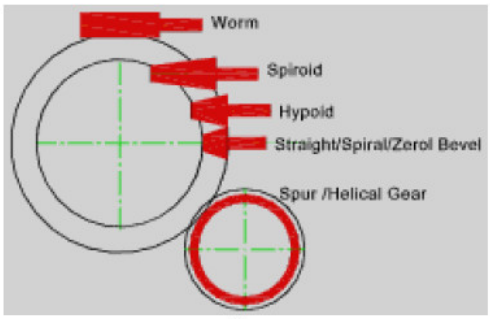
قبل الإبحار في خبايا هذا الفصل يجب أن تطلع على (أو تراجع) بعض المواضيع الأساسية لفهمه و التي لن اشرحها إلا عند الضرورة لأن هذا الكتاب بكل فصوله موجه لطلاب هندسة االميكاترونكس (من السنة الثالثة وما فوق) .

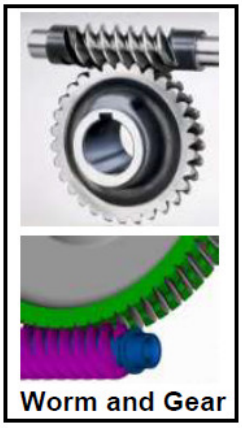
اليك بعض هذه المواضيع (المتعلقة بهذا الفصل) والتي عادة تعطى كمواد جامعية لطلاب هندسة الميكاترونكس في السنتين الأولى و الثانية

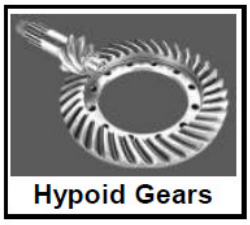
اسم الكتاب أو الموضوع	دار النشر	المؤلف	الهدف من الاطلاع
تقنية مدنية استاتيكا (كتاب استاتيك أو علم السكون)	المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني المملكة العربية السعودية		التعرف على قوانين الاستاتيكا
الميكانيكا و الكينماتيكا و الديناميكا	القدس للنشر و التوزيع	يحيى مضية	التعرف على قوانين الكينماتيكا والديناميكا
الاهتزازات و الأمواج الميكانيكية (الحركة الاهتزازية)	المركز العلمي للترجمة	د.حازم فلاح سكيك	التعرف على القوانين التي تخضع لها الاهتزازات الميكانيكية
تقنية الأنظمة الهيدروليكية و النيوماتية (أساسيات قدرة الموائع)	المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني المملكة العربية السعودية		التعرف على القوانين الأساسية التي نستخدمها في الأنظمة الهيدروليكية و النيوماتية
محاضرات في الترموديناميك			التعرف على القوانين الأساسية للترموديناميك
أساسيات علم الحراريات و الموائع	المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني المملكة العربية السعودية		التعرف على طرق انتقال الحرارة و قوانينها
معجم هندسة الميكانيك المصور	جلال الحاج عبد	جلال الحاج عبد	التعرف على أشهر مصطلحات الميكانيك باللغة الانجليزية

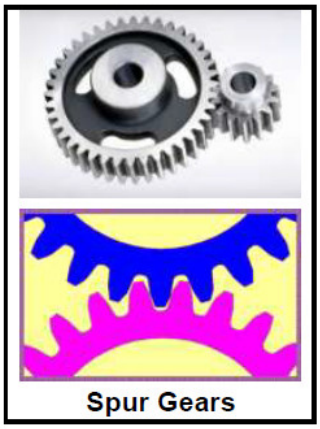
المسننات

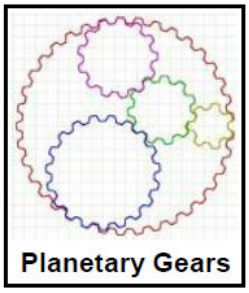
تعتبر المسننات من أهم عناصر التصميم الميكانيكي ان لم تكن أهمها على الاطلاق وتبرز استخدامتها في نظم مضاعفة أو تخفيض السرع أو العزوم و هي على عدة أنواع و أصناف .

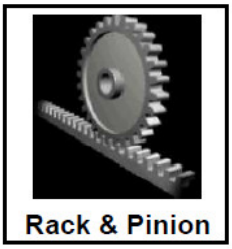












. يوجد أنواع عديدة من المسننات نذكر منها:

١) المسننات الحلزونية **(Spur and helical gears)**.

٢) المسننات المائلة **(Bevel gears)**.

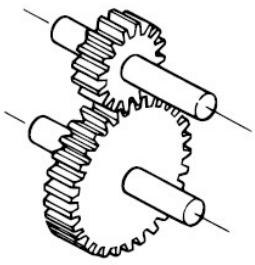
٣) المنشار و المسنن **(The rack and pinion)**.

٤) المسنن اللولبي **(Worm gear)**.

٥) سلاسل المسننات **(Gears trains)**.

Spur Gear

Teeth are straight and parallel to shaft axis. Transmits power and motion between rotating two parallel shafts.



〔Features〕

(1) Easy to manufacture.

(2) There will be no axial force.

(3) Relatively easy to produce high quality gears.

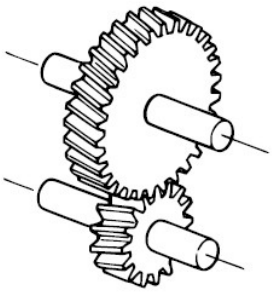
(4) The commonest type.

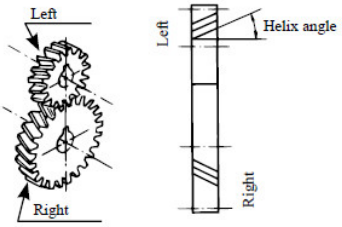
〔Applications〕

Transmission components

Helical Gear

Teeth are twisted oblique to the gear axis.





The hand of helix is designated as either left or right.

Right hand and left hand helical gears mate as a set. But they have the same helix angle.

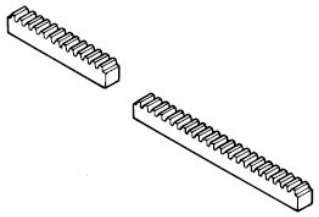
〔Features〕

(1) Has higher strength compared with spur gear.
(2) Effective in reducing noise and vibration compared with spur gear.
(3) Gears in mesh produce thrust forces in the axial directions.

〔Applications〕

Transmission components, automobile, speed reducers etc.

Rack



The rack is a bar containing teeth on one face for meshing with a gear. The basic rack form is the profile of the gear of infinite diameter.

Racks with machined ends can be joined together to make any desired length.

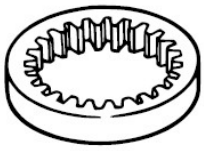
〔Features〕

(1) Changes a rotary motion into a rectilinear motion.

〔Applications〕

A transfer system for machine tools, printing press, robots, etc.

Internal Gear



An annular gear having teeth on the inner surface of its rim.
The internal gear always meshes with the external gear.

〔Features〕

(1) In the meshing of two external gears, rotation goes in the opposite direction. In the meshing of an internai gear with an external gear the rotation goes in the same direction.

(2) Care should be taken to the number of teeth when meshing a large (internal) gear with a small (external) gear, since three types of interference can occur.

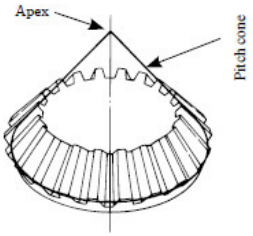
(3) Usually internal gear is driven by external (small) gear.

(4) Allows compact design of the machine.

〔Applications〕

Planetary gear drive of high reduction ratios, clutches etc.

Bevel Gear

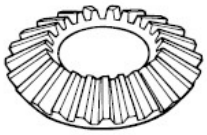


One of a pair of gears used to connect two shafts whose axes intersect, and the pitch surfaces are cones.

Teeth are cut along the pitch cone. Depending on tooth trace bevel gear is classified:

1) Straight bevel gear
2) Spiral bevel gear

1) Straight Bevel Gear



A simple form of bevel gear having straight teeth which, if extended inward, would come together at the intersetion of the shaft axes.

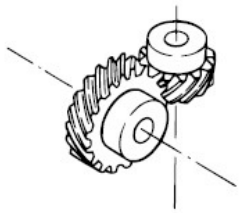
〔Features〕

(1) Relatively easy to manufacture. (2) Provides reduction ratio up to approx. 1:5.

〔Applications〕

Machine tools, printing press, etc. Especially suitable for a differential gear unit.

Screw Gear



A helical gear that transmit power from one shaft to another, non-parallel, non-intersecting shafts.

〔Features〕

(1) Used in a speed reducer and/or a multiplying gear.

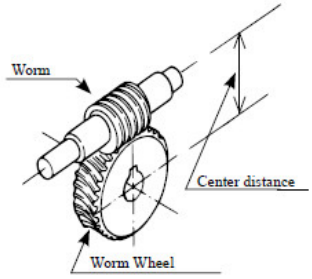
(2) Tends to wear as the gear come in sliding contact.

(3) Not suitable for transmission of high horsepower.

〔Applications〕

Driving gear for automobile. Automatic machines that require intricate movement.

Worm Gear Pair



Worm is a shank having at least one complete tooth (thread) around the pitch surface; the driver of a worm wheel.

Worm wheel is a gear with teeth cut on an angle to be driven by a worm.

〔Features〕

(1) Provides large reduction ratios for a given center distance.

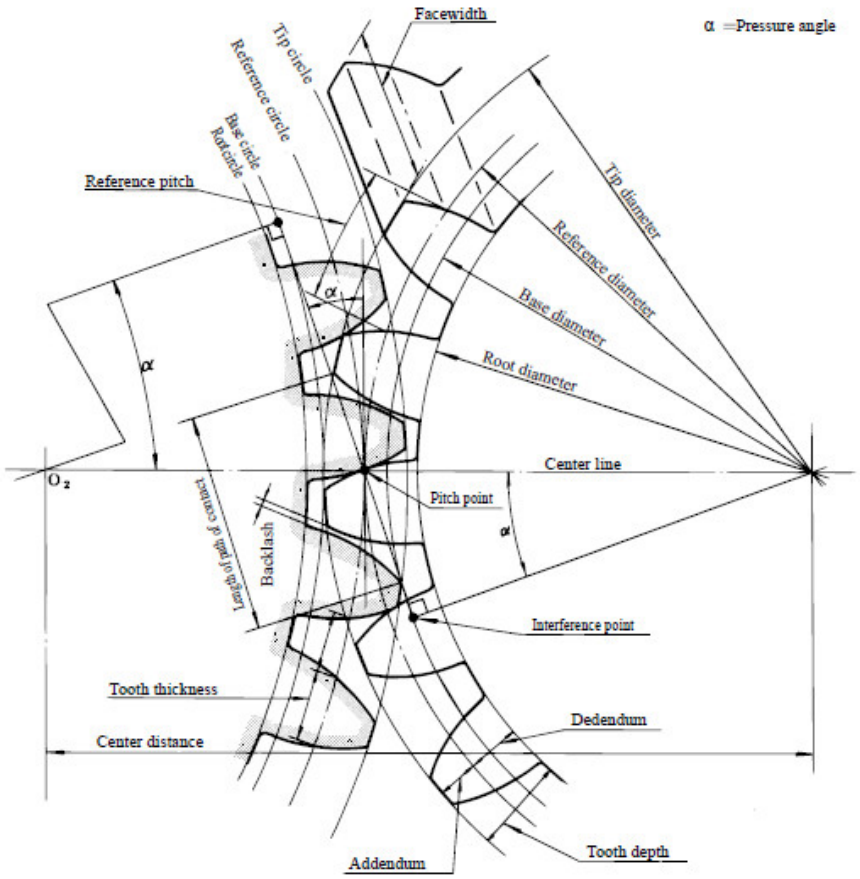
(2) Quiet and smooth action.

(3) A worm wheel is not feasible to drive a worm except for special occasions.

〔Applications〕

Speed reducers, anti-reversing gear device making the most of its self-locking features, machine tools, indexing device, chain block, portable generator, etc.

و الان لابد ان نتعرف على بعض المصطلحات عند دراستنا للمسننات :



قوانين عمل المسننات :

"Module" is the unit of size to indicate how big or small a gear is. It is the ratio of the reference diameter of the gear divided by the number of teeth.

Thus: $m = \dfrac{d}{z}$ $\left(\text{Module} = \dfrac{\text{Reference diameter}}{\text{Number of teeth}}\right)$

The mutual relation between the module and the reference diameter etc. is as follows:

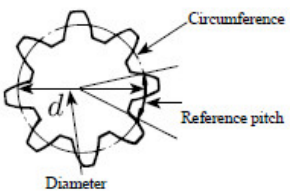
Reference diameter $d = mz$ (Reference diameter = Module × Number of teeth)

Number of teeth $z = \dfrac{d}{m}$ $\left(\text{Number of teeth} = \dfrac{\text{Reference diameter}}{\text{Module}}\right)$

Reference pitch $p = \pi m$ (Reference pitch = π × Module)

Then, what is the reference pitch?

It is equal to the circumference divided by the number of teeth.



$$\text{Reference pitch} = \frac{\text{Circumference } (\pi d)}{\text{Number of teeth } (z)}$$

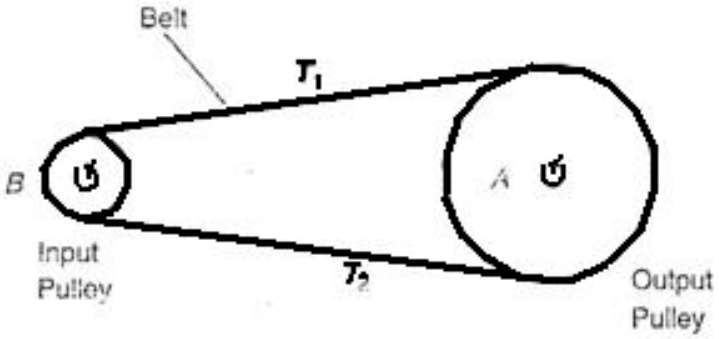
العناصر الميكانيكية المرنة :

تستخدم العناصر الميكانيكية المرنة كالسيور والسلاسل عوضاً عن مجموعات المسننات والمحاور وأجهزة نقل الحركة الأخرى وخاصة عندما تكون مسافة نقل الحركة كبيرة . ولها الوظائف التالية:

- **زيادة العزم بإنقاص السرعة.**
- **إنقاص العزم بزيادة السرعة.**
- **تحويل الحركة الخطية إلى دورانية.**
- **تحويل الحركة الدورانية إلى خطية.**

١- السير الناقل: Belt drives

يوضح الشكل السير الناقل.



العزم على البكرة A :

$$T_A=(T_1-T_2)\ r_A$$

حيث r_A: نصف قطر البكرة A.

العزم على البكرة B :

$$T_B=(T_1-T_2)\ r_B$$

حيث r_B: نصف قطر البكرة B.

ومنه الاستطاعة المقدمة على البكرة A :

$$P_A=(T_1-T_2)\ v$$

حيث v: سرعة السير.

لكن عندما يكون التحميل أكبر من قوى الاحتكاك المسؤولة عن عملية الدوران يحدث الانزلاق slip لمنع الانزلاق يجب أن يكون العزم T_1 كبيراً بما فيه الكفاية .

تنقسم السيور إلى أربعة أنواع رئيسية كما يوجد أنواع فرعية أخرى، وهذه الأنواع هي:

- Flat belt.
- O-ring belt.
- V-belt.
- Timing belt.

١٠-٨-٢- السير: Flat belt

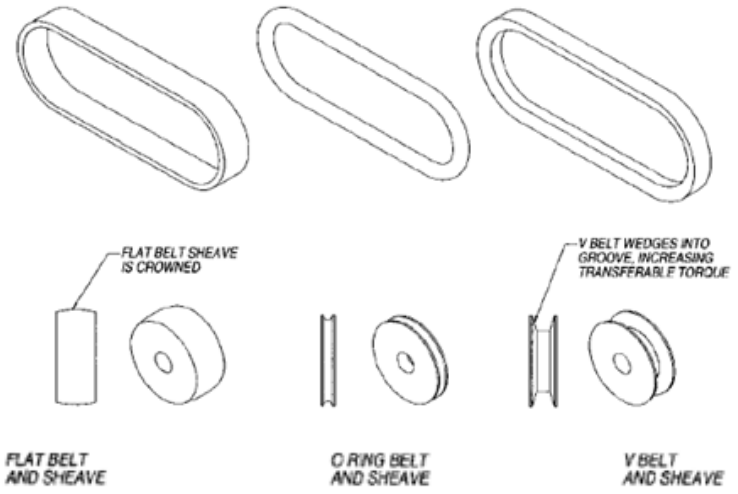
وهي تصميم قديم يستخدم بشكل محدود في وقتنا الحاضر ، وله شكل مسطح وعادة يصنع من الجلد أو من مواد نسيجية بلاستيكية ، ولكن له عدة مساوئ رئيسية منها قصر عمره وفاعليته غير العالية، ويستخدم عادة في التطبيقات ذات الاستطاعة المنخفضة.

١٠-٨-٣- السير: O-ring belt

وتستخدم في بعض التطبيقات وتمتاز بأنها زهيدة التكلفة، ولكنها تعاني من فعاليتها المتوسطة، وتستخدم في تطبيقات الاستطاعة المنخفضة جداً كألعاب الأطفال ومسجلات الكاسيت .....، وهي تعتبر خياراً جيداً في مجال الاستطاعة المنخفضة، وتتطلب قوة شد وتوضعاً مناسباً لكي تعمل بفاعلية ولمدة طويلة .

١٠-٨-٤- السير: V-belt

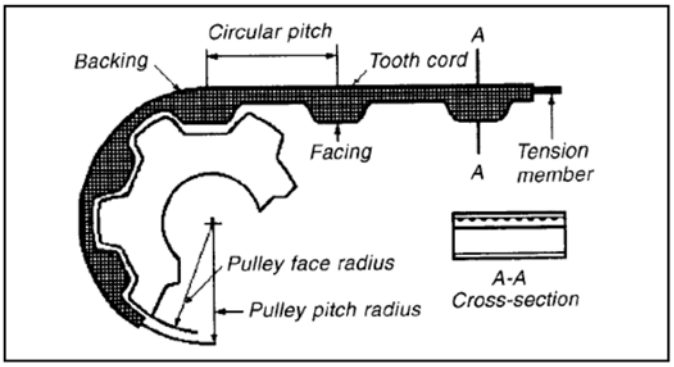
أطلق عليها هذا الاسم لأن شكلها يشبه الزاوية الحادة (الحرف V)، وتصميمها يعتمد على زيادة الاحتكاك مع البكرات وذلك بسبب شكلها وبذلك فهي أكثر فاعلية من النوعين السابقين، وهي تستخدم في تطبيقات نقل الطاقة التي تتراوح استطاعتها من أعشار الحصان إلى بضعة عشرات من الحصان.
الشكل (١٠-٢٧) يبين أمثلة عن الأنواع الثلاثة السابقة مع أشكال بكراتها :



الشكل (١٠-٢٧)

١٠-٨-٥- السيور: Timing belt

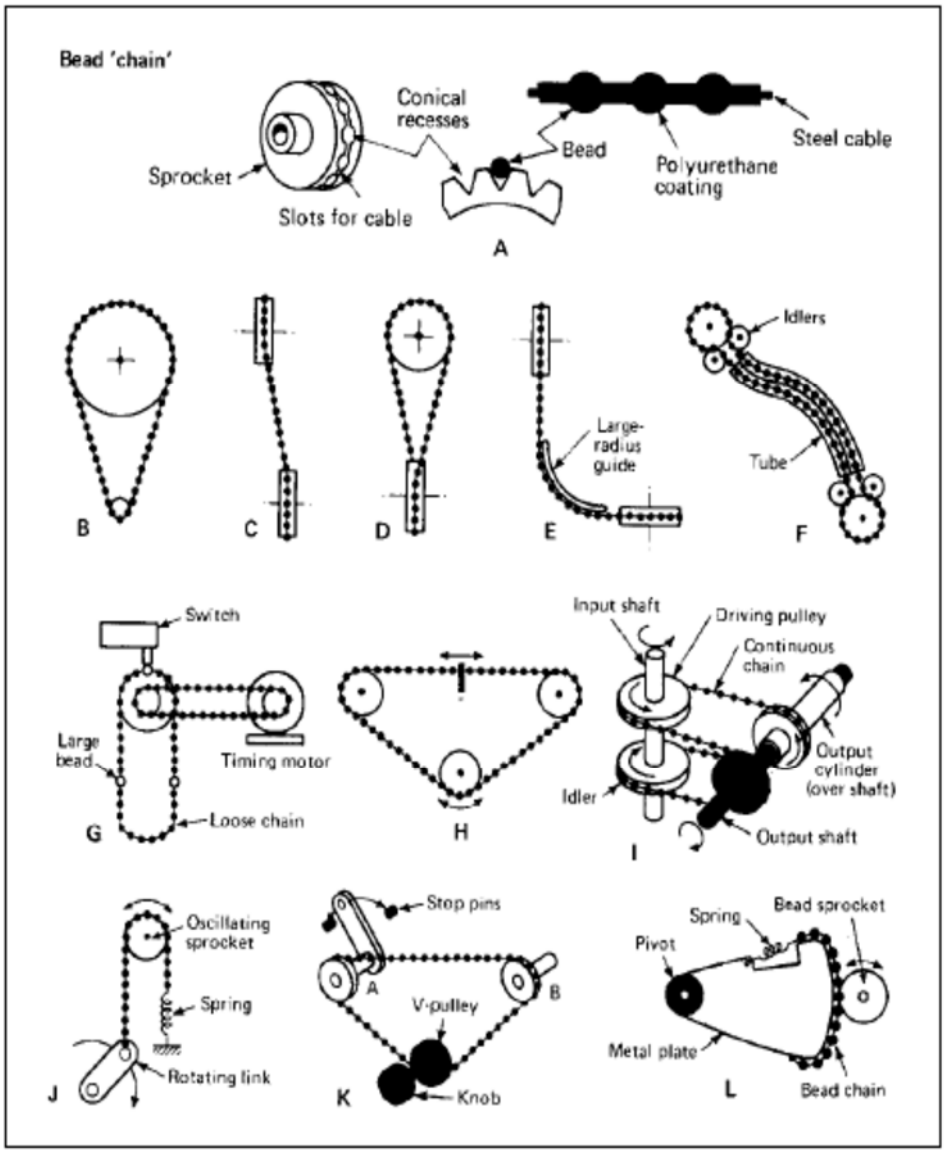
في هذا النوع من السيور تم حل مشكلة الانزلاق في الأنواع الثلاثة السابقة وذلك بتزويد السيور بأسنان مرنة، وهذا التصميم يجعل الحمل موزعاً على الأسنان التي تكون على تماس مع البكرة. لهذا النوع من السيورات عدة أشكال ويعد الشكل ذو المقطع شبه المنحرف أكثرها شيوعاً ولكن تم تطوير نماذج أخرى أكثر فاعلية كالنوع الذي يدعى A trade والذي تكون فيه الأسنان على شكل منحنيات، ويستخدم في التطبيقات ذات العزوم العالية ويمتاز هذا التصميم بأنه يعمل بفاعلية حتى مع السرعات المنخفضة والعزوم الكبيرة والاستطاعات العالية والتي قد تصل إلى 250 حصاناً، ولكنها ذات أسعار مرتفعة نسبياً بالنسبة إلى الجنازير. والشكل (١٠-٢٨) يبين أمثلة عن هذا النوع من السيور:



الشكل (١٠-٢٨)

١٠-٩- السلاسل: Chains

لمنع الانزلاق نستخدم عوضاً عن القشاط الناقل belt drives الجنزير الناقل chain drives وتعتبر من أجهزة نقل الحركة بشكل متزامن، وتصنع عادة من الفولاذ والشكل (١٠-٢٩) يوضح بعضاً من نماذجها:



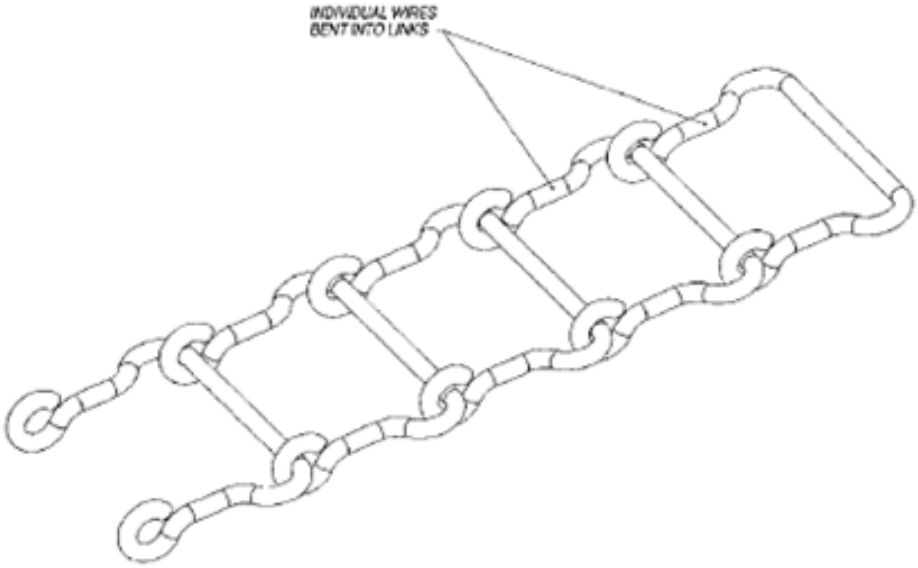
الشكل (١٠-٢٩)

تأتي السلاسل في ثلاثة أصناف أساسية :

- **السلاسل السلمية** Ladder chain.
- **سلاسل البكرة** Roller chain.
- **السلاسل المتواقتة** Timing chain.

١٠-٩-١- السلاسل السلّمية: Ladder chain

وسميت بهذا الاسم لأنها على شكل سلّم صغير (الشكل ١٠-٣٠) وهي ذات بنية بسيطة وتمتاز بسعرها المنخفض وتستخدم في نقل الاستطاعات التي لا تتجاوز ربع حصان.



الشكل (١٠-٣٠)

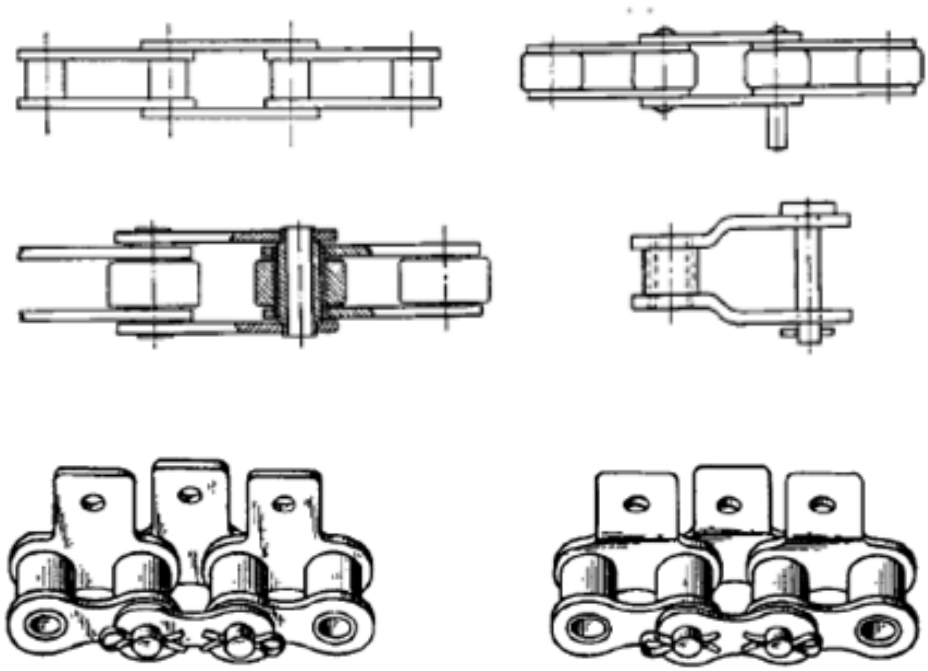
١٠-٩-٢- سلاسل البكرة: Roller chain

وهي من أكثر أجهزة نقل الاستطاعة شيوعاً وفاعلية، وتدعى بهذا الاسم لأنها عبارة عن مجموعة من البكرات الفولاذية الصغيرة المتصلة مع بعضها بوصلات معدنية، وتمتاز بسعرها المنخفض ومتانتها العالية، ولكن لها نقطتي ضعف أساسيتين:

- **غير ملائمة للاستخدام في الأماكن ذات الرمال والأتربة.**
- **وهي مزعجة بعض الشيء.**

ويمكن أن تستخدم في مراحل تحويل السرعات التي قد تصل نسبتها إلى 6:1 عوضاً عن المسننات وذلك مع مراعاة المسافة بين البكرات، والبعد القياسي المستخدم بين البكرات هو أربع بوصات، وعنده يمكن نقل استطاعة 2 حصان على سرعة 300 rpm حتى بدون تشحيم، وعندما تكون المسافة بين البكرات 2.5 بوصة يمكن نقل استطاعة تصل إلى 5 حصان على سرعة 3000 rpm .

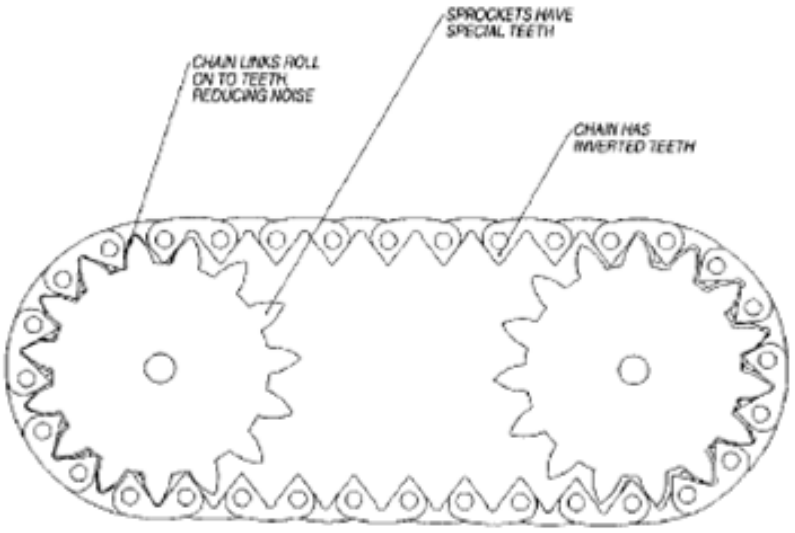
والشكل (١٠-٣١) هذا النوع من السلاسل.



الشكل (١٠-٣١)

١٠-٩-٣- السلاسل المتواقتة: Timing chain

وتدعى أيضاً بالسلاسل الصامتة (الشكل ١٠-٣٢) بسبب حقيقة أنها صامتة جداً حتى عند العمل على سرعات وأحمال عالية جداً، كما أنها أكثر فاعلية من سلاسل البكرات بسبب تصميمها الذكي والذي يوفر نقلاً ناعماً للطاقة من السلسلة إلى البكرة وهي أقل تأثراً بالرمل والأتربة ولكنها ذات تكلفة أعلى بقليل وتحتاج إلى دقة في التعيير.



الشكل (١٠-٣٢)

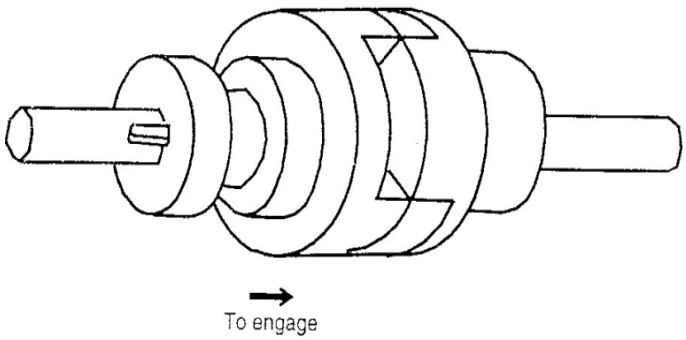
١٠-١٠- الدبرياج: Clutch

يصنف الدبرياج مع أجهزة نقل الاستطاعة بشكل مباشر على العكس من المسننات والجنازير والقشاطات والتي تنقل الاستطاعة بشكل غير مباشر.

وللدبرياج عدة أنواع ومنها :

١٠-١٠-١- الدبرياج: Dog clutch

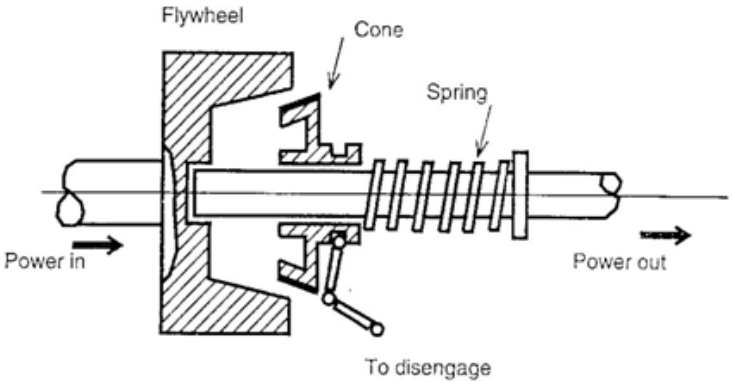
وهو من النماذج البسيطة للدبرياج (الشكل ١٠-٣٣) ويتم التعشيق فيه بشكل تدريجي، حيث يتضاءل الانزلاق تدريجياً مع زيادة سرعة المحور إلى أن ينعدم عندما تتساوى سرعتا المحورين.



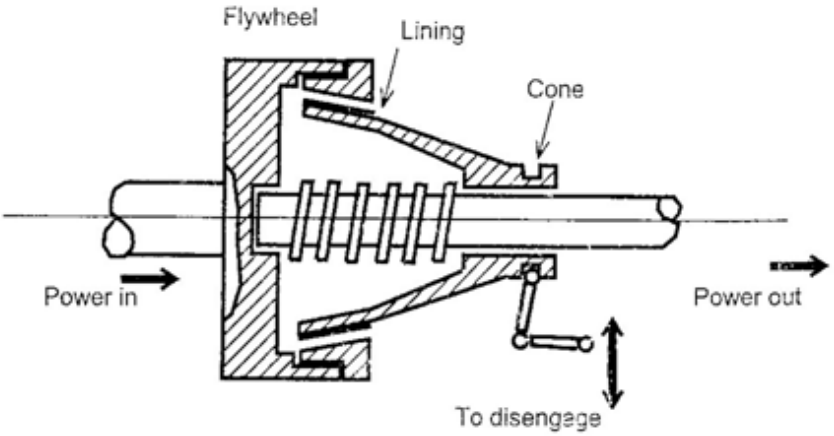
الشكل (١٠-٣٣)

١٠-١٠-٢- الدبرياج المخروطي: Cone clutch

يوجد منه نموذجان دبرياج مخروطي خارجي (الشكل ١٠-٣٤) ودبرياج مخروطي داخلي (الشكل١٠-٣٥).



الشكل (١٠-٣٤)



الشكل (١٠-٣٥)

١٠-١١- المكابح: Breaks

الكبح يعني تخفيض سرعة الجسم المتحرك أو جعله ساكناً، ويوجد ثلاثة أنواع رئيسية من المكابح:

- **المكابح ذات الحزام (**Band breaks**).**
- **المكابح الأسطوانية (**Drum breaks**).**
- **المكابح ذات القرص (**Disk breaks**).**

إن عملية الكبح تؤدي إلى تحويل الطاقة إلى حرارة مما يؤدي إلى انخفاض فعالية الكبح لذلك يجب العمل على تبريد المكابح وذلك للمحافظة على كفاءة الكبح، كما يجب أن تؤمن المكابح العزم المطلوب لعملية الكبح.

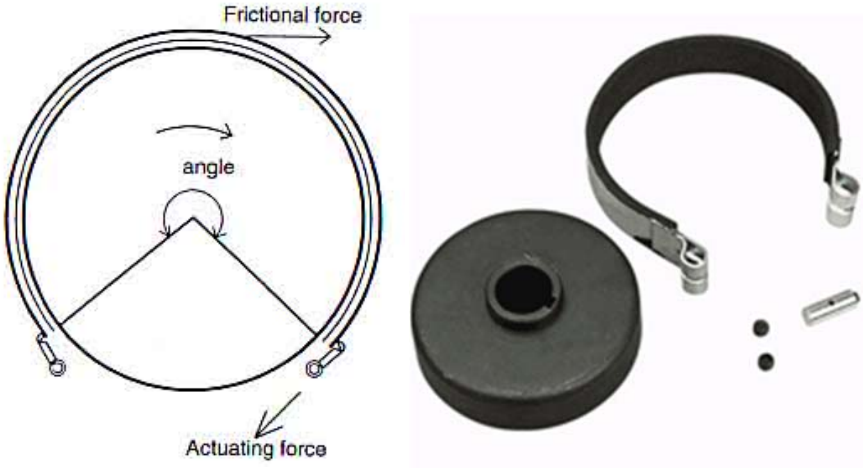
نعرّف مُعامل الكبح بالعلاقة التالية:

$$\text{Brake Factor} = \frac{\text{Retarding Force}}{\text{Actuating Force}}$$

١٠-١١-١- الكابح ذو الحزام: Band Brake

يُلف حزام فولاذي حول قرص من مادة ذات معامل احتكاك عالي، عند تطبيق قوة لشد الحزام على القرص تزداد قوى الاحتكاك وبالتالي مقاومة الحركة ويتناسب معامل الكبح (الفرملة) مع زاوية اللف ومعامل الاحتكاك للمادة.

الشكل (١٠-٣٦) يوضح الكابح ذا الحزام وزاوية اللف.



الشكل (١٠-٣٦)

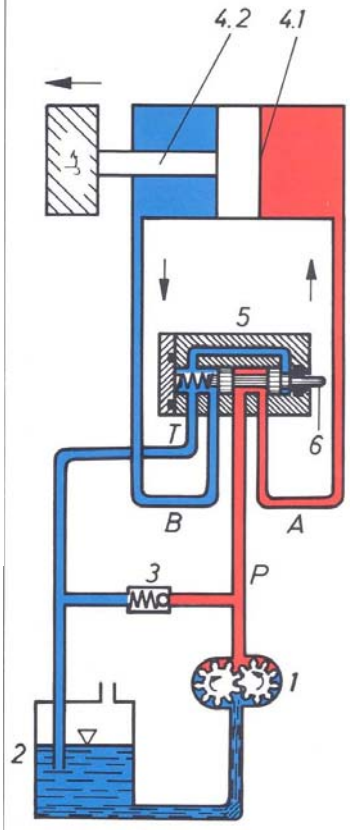
مدخل إلى الأنظمة الهيدروليكية

تتكون الدائرة الهيدروليكية، على العموم من المكونات الهيدروليكية الأساسية الستة التالية:

- خزان : لتخزين الزيت وتجميع الراجع من الدائرة
- مضخة: لدفع وضخ الزيت من خلال النظام
- محرك كهربي أو احتراق لتشغيل المضخة
- صمامات: صمامات تحكم في الاتجاه، في الضغط، ونسبة التدفق
- مشغل: لتحويل طاقة السائل إلى طاقة ميكانيكية أو عزم
- أهواز: لنقل السائل من مكان إلى آخر

أهواز : أنابيب و مجاري .

دارة هيدروليكية بسيطة :



شكل ١

يتم قيادة المضخة 1 عن طريق محرك (محرك كهربي أو آلة احتراق داخلي) (شكل ١) .

تسحب المضخة سائلا من الخزان 2 ، وتدفعه الى خط الضغط المتصل بها ، والمزود بأجهزة تحكم مختلفة ، ومنه الى الاسطوانة 4 (أو المحرك الهيدروليكي) . يستمر سريان السائل في الخط طالما لم يواجه مقاومة لذلك .

يمثل الحمل الذي تحركه الاسطوانة 4 الموجودة في نهاية الخط ، مقاومة لسريان السائل .

لهذا يرتفع ضغط السائل حتى يصل الى القيمة اللازمة للتغلب على هذه المقاومة ، فتتحرك الاسطوانة .

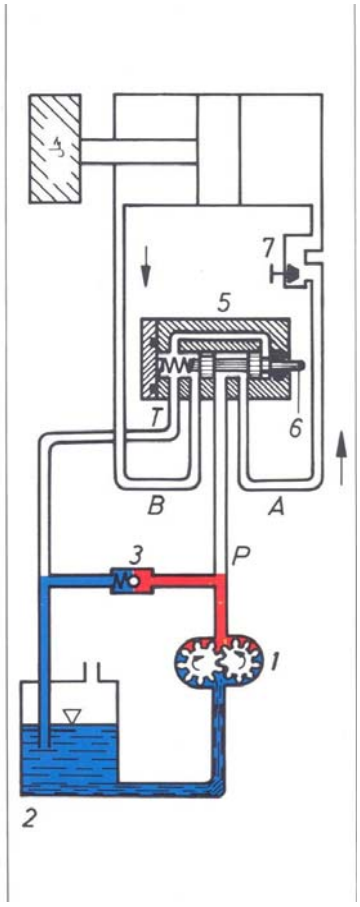
يجب تحديد أقصى قيمة للضغط في الدائرة ، حتى يمكن حماية الدائرة من أخطار الأحمال الكبيرة (والتي يناظرها ضغط مرتفع) .

يتحقق ذلك باستخدام صمام حد ضغط . يدفع زنبرك كرة الصمام الى مقعدها بقوة معينة ، ويؤثر ضغط الدائرة على سطح الكرة المواجه للزنبرك .

وكما سبق ذكره ، يؤثر الضغط على الكرة بقوة تساوى pA في الاتجاه المعاكس لقوة الزنبرك . عندما يرتفع الضغط بحيث تزيد قوة الضغط قليلا عن قوة الزنبرك ، تتحرك الكرة مبتعدة عن مقعدها فيتصل خط الضخ بالخزان .

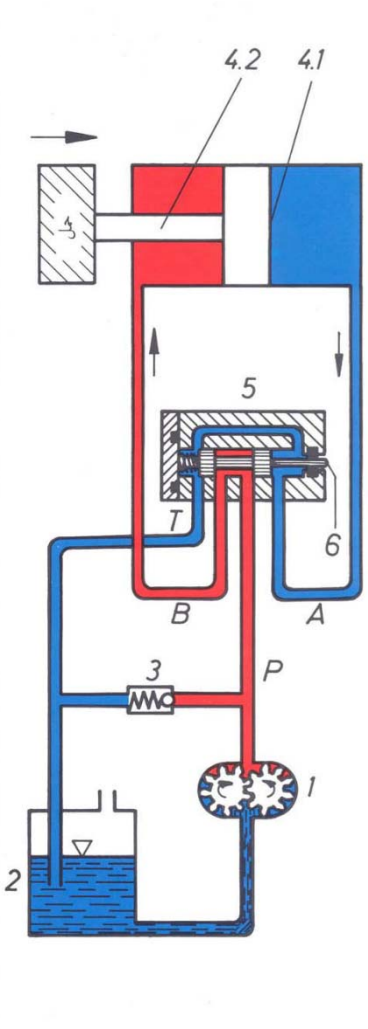
بذلك لايستمر الضغط في الارتفاع .

شكل ٢ يوضح الحالة التي يسري فيها كل السائل الخارج من المضخة الى الخزان ، من خلال الصمام 3 .



شكل ٢

١



شكل ٣

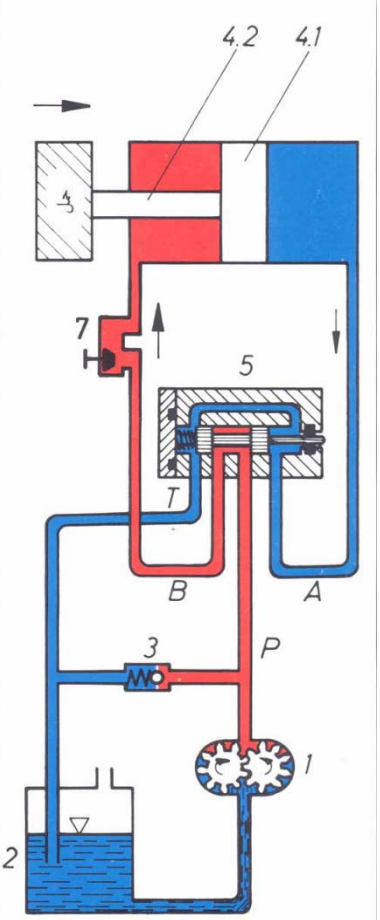
يحدد صمام التحكم 5 (صمام تحكم توجيهى) اتجاه حركة الكباس 4.1 ذى الذراع 4.2 ، سواء لداخل الإسطوانة أو لخارجها .

فى شكل ١١ يمر السائل خلال الصمام من الفتحة P الى الفتحة A ، ومنها الى الإسطوانة .

عند دفع الزلاق 6 الموجود بالصمام 5 الى الوضع الموضح بشكل ٣ ، تتصل الفتحتان P و B. فى هذه الحالة يسرى السائل من المضخة ، عبر الصمام ، الى الناحية الأخرى من الإسطوانة .

يتحرك ذراع الكباس بالتالى الى داخل الاسطوانة ، ويتحرك معه الحمل ، وذلك فى الاتجاه المعاكس لذلك الموضح فى شكل ١١ .

وفى هذا الوضع ، يدفع الكباس السائل الموجود فى غرفة الإسطوانة الأخرى الى الخزان ، وذلك عبر الصمام 5 ، نتيجة اتصال الفتحة A مع الفتحة T .



شكل ٤

للتحكم فى سرعة الإسطوانة ، الى جانب التحكم فى اتجاه الحركة والقوة ، يجب التحكم فى معدل تدفق السائل الذى يصل الى الإسطوانة أو يخرج منها .

يستخدم لتحقيق ذلك صمام خانق 7 (شكل ٤) .

بتغيير مساحة المقطع الذى يمر به السائل (تقليله عن مساحة مقطع الخط) ، يمكن تغيير كمية السائل التى تصل الى الإسطوانة فى وحدة الزمن (يقل معدل التدفق بانقاص مساحة المقطع) .

(ملحوظة : سنتناول بالتفصيل شرح مايحدث عند موضع الخنق فى فصل عن صمامات التحكم فى التدفق)

بانقاص المساحة يتحرك الحمل بسرعة أبطأ .

أما السائل الفائض والناتج عن الفرق بين ماتدفعه المضخة الى الدائرة وما يصل الى الاسطوانة ، فإنه يسرى الى الخزان من خلال صمام حد الضغط ، بما يعنى أن صمام حد الضغط يكون مفتوحا فى هذه الحالة .

ويكون الضغط فى أفرع الدائرة المختلفة كالآتى :

الضغط فى فرع الدائرة المحصور بين المضخة والخانق يساوى الضغط الأقصى المحدد على صمام حد الضغط .

الأنظمة الهيدروليكية والهوائية:

Hydraulic and Pneumatic Systems

إن الأنظمة الهيدروليكية والهوائية متشابهة فالأولى تستخدم سائلاً غير مضغوط بينما الثانية تستخدم الهواء المضغوط.

إن الفائدة من استخدام الهواء المضغوط هي كونه متوافراً وهو غير قابل للاشتعال وبالتالي أي تسرب منه لا يُهدد السلامة، وله تغير مُهمل في اللزوجة مما يؤدي إلى التحكم بأداء النظام.

أما الفائدة من استخدام السائل غير المضغوط فهي كونه يُساعد في الحركة وكون النظم الهيدروليكية تملك سرعة استجابة أكبر من النظم الهوائية التي تملك زمن تأخيرٍ أكبر.

إن مُعظم العناصر المُشكلة لهذه النظم هي المضخات (الضواغط بالنسبة للأنظمة الهوائية)، الصمامات ووحدات الاستقبال كالمحركات.

١٠-٣- المضخات الهيدروليكية: Hydraulic pumps

تُستخدم هذه المضخات لتطبيق الضغط العالي المطلوب في النظام وتُقسم إلى:

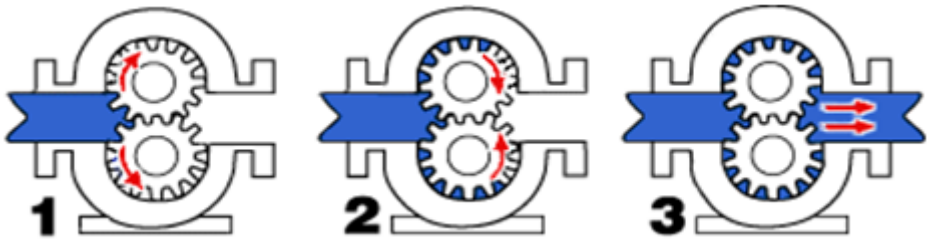
- المضخات المسننة (The Gear pump).
- المضخات ذات الأرياش (The Vane pump).
- المضخات المكبسية (The Piston pump).

١٠-٣-١- المضخات المسننة: The Gear Pump

إن هذا النوع من المضخات يعتمد على تشابك المسننات مع بعضها لضخ السائل من خلال عملية الإزاحة أي يستمر ضخ السائل مع كل دورة، ويوجد نوعان لهذه المضخات:

١- **المضخات ذات المُسننات الخارجية: External Gear pump**

وتحتوي هذه المضخة على مُسننين مُتشابكين مع بعضهما بشكل خارجي حيث تتم إزاحة السائل من مكان الدخول إلى مكان التفريغ من خلال دوران المُسننين بشكل مُعاكس لبعضهما كما هو مُبين بالشكل (١٠-١):



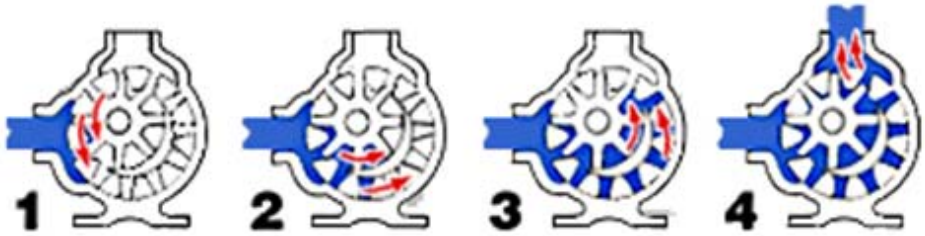
الشكل (١٠-١)

نلاحظ أن تشابك الأسنان يمنع عودة السائل إلى الخلف.

٢- المضخات ذات المُسنن الداخلي: Internal Gear pump

تحتوي هذه المضخة على مُسننين مُتشابكين مع بعضهما بشكل داخلي كما هو مُبين بالشكل (١٠-٢). حيث تتم إزاحة السائل من مكان الدخول إلى مكان التفريغ من خلال دوران المُسننين بنفس الاتجاه كما هو مُبين بالشكل (١٠-٣). نلاحظ أن تشابك الأسنان يمنع عودة السائل إلى الخلف. إن هذا النوع من المضخات رخيص الثمن ولكن قد يُسبب بعض المشاكل في حالات التشغيل التي تتطلب سرعة وضغط كبيرين.

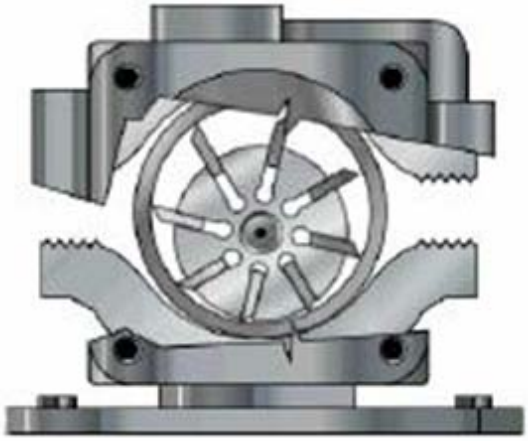
الشكل (١٠-٢)



الشكل (١٠-٣)

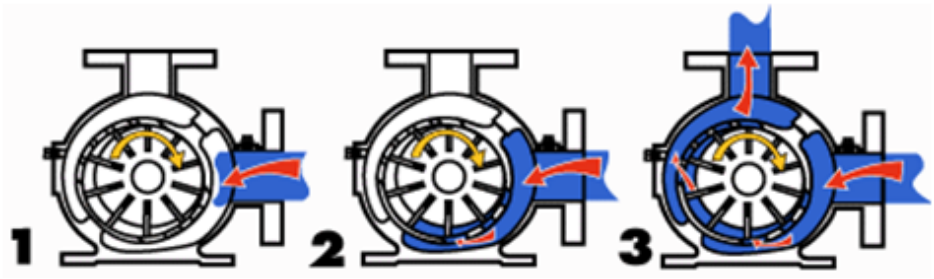
١٠-٣-٢- المضخات ذات الأرياش: The Vane pump

يتألف هذا النوع من المضخات من دوّار مركزه غير مُنطبق على مركز الغلاف الخارجي (Housing) كما هو مُبين في الشكل (١٠-٤).



الشكل (١٠-٤)

إن الدوّار يسمح بمرور كمية كبيرة من السائل من المدخل إلى المخرج والشكل (١٠-٥) يُبين لنا آلية العمل.



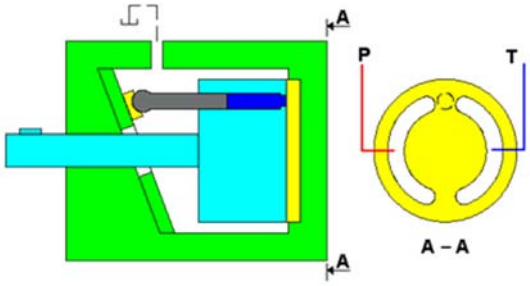
الشكل (١٠-٥)

١٠-٣-٣- المضخات المكبسية: The Piston pump

يتألف هذا النوع من المضخات من عدّة مكابس متوازية ومُثبتة على الدوّار. ترتكز نهايات هذه المكابس على قاعدة ثابتة ولكنها تميل بزاوية β (كما هو مُبين على الشكل ١٠-٦) حيث إن هذه الزاوية تُحدد مقدار الإزاحة لكل مكبس وفق القانون:

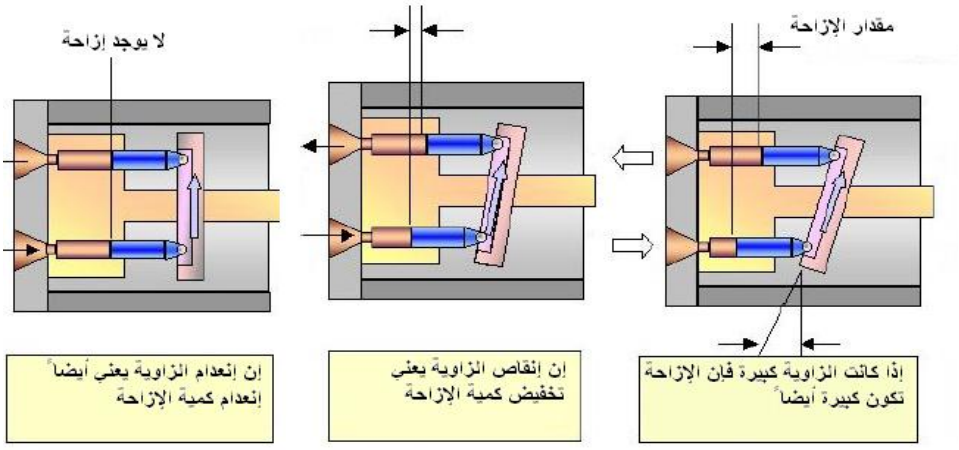
$$x = D \tan \beta$$

ويمكن تغيير هذه الزاوية مما يؤدي إلى تغيير مقدار الإزاحة التي يقوم بها المكبس كما هو مُبين بالشكل (١٠-٦).



الشكل (١٠-٦)

إن الشكل (١٠-٧) يُبين العلاقة بين الزاوية β ومقدار الإزاحة.

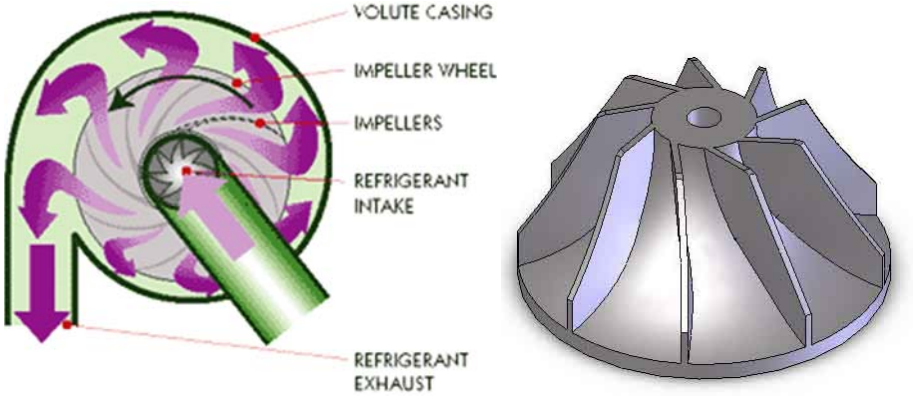


الشكل (١٠-٧)

١٠-٤- الضواغط الهوائية: Pneumatic Compressors

١٠-٤-١- الضاغط الطارد المركزي: The Centrifugal compressor

يعتمد الطارد المركزي على عملية دوران عجلة الدافع (impeller) مما يؤدي إلى توليد قوة مركزية تعمل على دفع الهواء إلى الجزء الحلزوني (volute) كما هو مُبين بالشكل (١٠-٨):



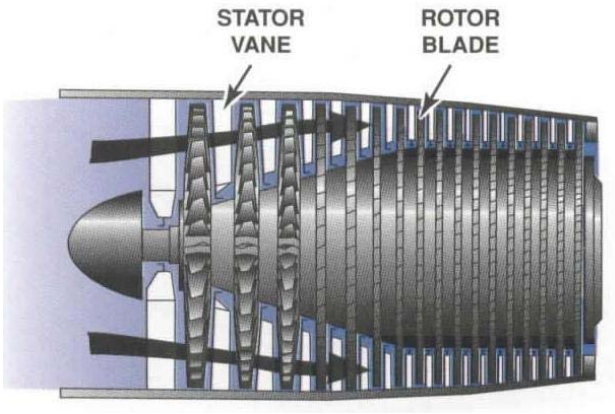
عجلة الدافع

الضاغط الطارد المركزي
الشكل (١٠-٨)

مما سبق نلاحظ أن الهواء يدخل من مركز عجلة الدافع ومن خلال القوى المركزية يتم دفع الهواء إلى الجزء الحلزوني ومنه إلى المخرج. من مميزات هذا النوع سهولة التصميم والتصنيع و لكن قوة الضغط الناتجة عنه أقل من تلك الناتجة عن الضاغط المحوري.

١٠-٤-٢- الضاغط المحوري: The Axial compressor

يتميز هذا الضاغط بقدرته على استيعاب المزيد من تدفق الهواء بالمقارنة مع الضاغط الطارد المركزي من نفس الحجم و ذلك كون فتحة الدخول في هذا النوع من الضواغط أكبر بكثير من فتحة الدخول للضواغط الطاردة المركزية، يُبين لنا الشكل (١٠-٩) بنية الضاغط المحوري.



الشكل (١٠-٩)

نلاحظ أنه يوجد شفرات مرتبطة مع الجزء الثابت وأخرى مرتبطة مع الجزء الدوّار الذي له شكل مُدبب.

١٠-٥- الصمامات: Valves

الصمامات هي العناصر في الأنظمة الهيدروليكية التي تتولى مهمة تنظيم الطاقة الهيدروليكية المنقولة إلى المشغلات. فهي تقوم بقطع أو وصل أو حرف تدفق الزيت في النظام الهيدروليكي حسب الحاجة، وبذلك فالصمامات تتحكم بمقدارين فيزيائيين أساسيين في عملية نقل السوائل هما الضغط والتدفق، ويمكن تصنيف الصمامات حسب العملية التي تؤديها كما يلي :

- **صمامات التوجيه** Directional Valves.
- **صمامات الفصل والوصل** On – Off Valves.
- **صمامات تنظيم الضغط** Pressure regulator valves.
- **صمامات تنظيم التدفق** Flow-rate regulator valves.

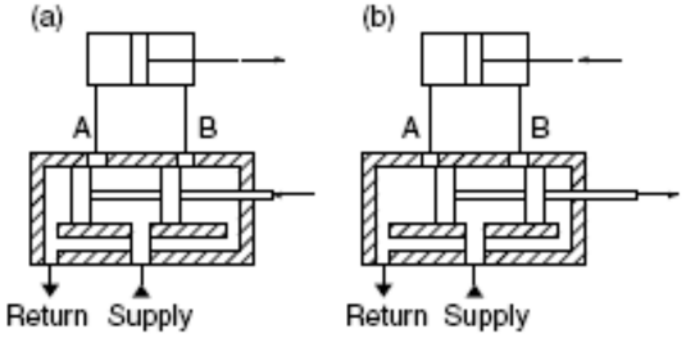
١٠-٥-١- صمامات التوجيه: Directional Valves

تقوم صمامات التوجيه بتحديد مرور واتجاه تدفق تيار الزيت من خلال تحريك أجزاء مناسبة منه عن طريق أوامر خارجية.

يكمن تمييز صمامات التوجيه من خلال الجزء المتحرك وبنيتها الداخلية وعدد الأنابيب التي يمكن أن توصل معها وعدد وضعيات التوجيه المتاحة فيها.

إن الجزء المتحرك يمكن أن يكون من نوع poppet أو من نوع spool. في الصمامات من نوع poppet لا يهم نوع السائل ولا تتأثر بعدم نقاوته، ولكنها تحتاج إلى قوة تشغيل كبيرة لا يكمن تأمينها من القوة الهيدروليكية لضغط الزيت. أما الصمامات من نوع spool فهي تتيح إمكانية الوصل المتزامن وبعدة أشكال لذلك فهي أكثر شيوعاً بسبب قابليتها للتغيير.

إن عدد التوصيلات الممكنة تتحدد بعدد الوصلات الهيدروليكية أو بعدد الطرق المتوافرة من جسم الصمام، كما يتوافق عدد وضعيات التوصيل للصمام مع عدد مخططات التوصيل والتي تمكن الصمام من إنجاز وظيفته عبر التحركات المناسبة للجزء المتحرك منه. والشكل (١٠-١٠) يبين المخطط العملي لصمام من نوع spool بأربع منافذ مع وضعيتين للتوصيل إلى مشغل خطي مزدوج.

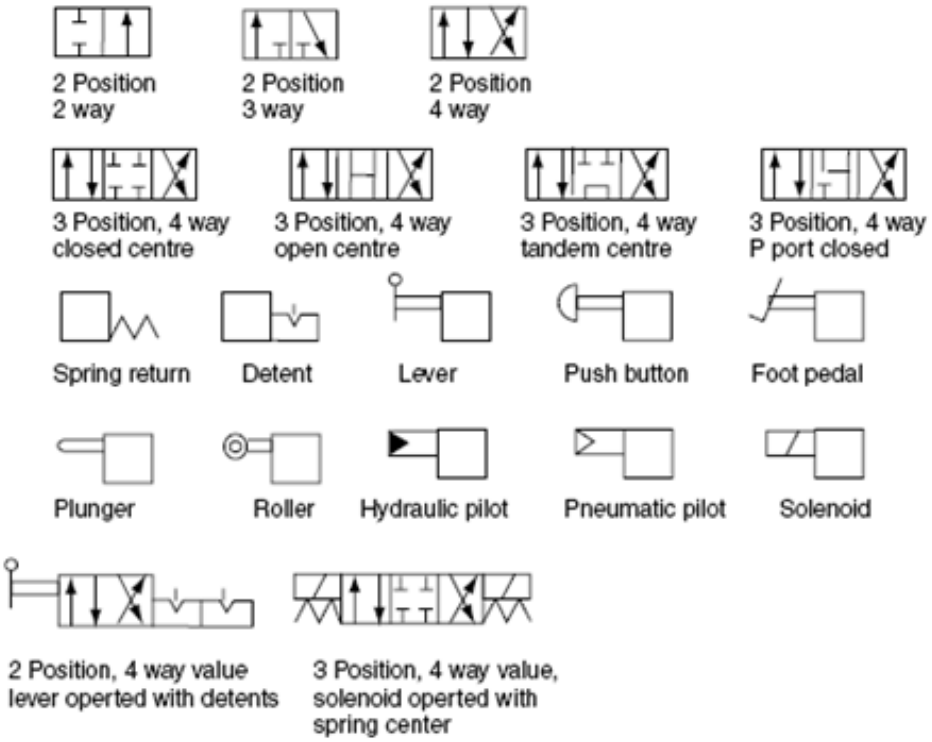


الشكل (١٠-١٠)

في الوضعية الأولى (a) يتصل منفذ التزويد مع المخرج A عبر الحجرة الخلفية من الأسطوانة، بينما تتفرغ الحجرة الأمامية عبر المخرج B، وفي هذه الوضعية يعطي الصمام قوة دفع عبر القضيب المتصل باسطوانته، أما في الوضعية الثانية (b) فتنعكس شروط التغذية والتفريغ نتيجة لحركة أسطوانة الصمام مما يعطي قوة سحب.

يمكن أن يتم التحكم بصمامات التوجيه يدوياً وذلك بتطبيق قوة عضلية، أو ميكانيكية عبر الأجهزة كالروافع، أو هيدروليكياً وهوائياً عبر قوة ضغط الموائع، أو كهربائياً عبر توليد قوة كهرومغناطيسية من ملف مثبت مع الصمام.

وترمز صمامات التوجيه المتعددة الوضعيات كما في الشكل (١٠-١١) :



الشكل (١٠-١١)

١٠-٥-٢- صمامات الفصل والوصل: On – Off Valves

وهي صمامات أحادية الاتجاه أي تسمح بمرور المائع باتجاه واحد فقط، ولأنها لا تسمح بمرور المائع بالاتجاه المعاكس فهي تدعى بصمامات عدم الرجوع.

توضع هذه الصمامات عادة في الدارات الهيدروليكية بين المضخة والمشغل لذلك لا تتفرغ الأنابيب في الدارة الهيدروليكية من المائع عند توقف المضخة عن العمل مما يؤدي إلى منع ضياع الطاقة لإعادة تعبئة الدارة بالمائع كما يؤدي إلى الحفاظ على وضعية المشغل حتى لو كان تحت الحمل.

تتكون صمامات الفصل والوصل من مشغل بكرة معدنية أو مكبس، وتكون مزودة بنابض في حالة صمامات عدم الرجوع لمنع مرور المائع في الاتجاه المعاكس أو عن طريق فرق الضغط بين المدخل والمخرج في حالة الصمامات أحادية الاتجاه.

١٠-٥-٣- صمامات تنظيم الضغط: Pressure Regulator Valves

يوجد نوعان أساسيان لهذا النوع من الصمامات، صمامات التحديد (التحرير) relief valves، و صمامات إنقاص الضغط.

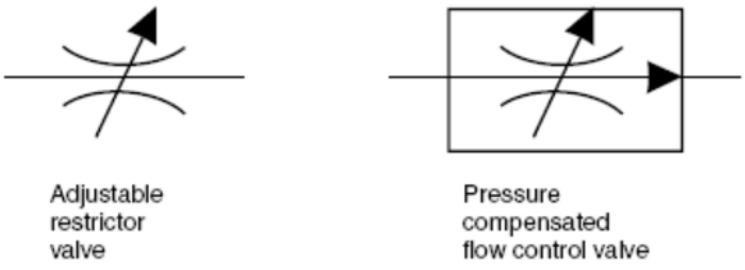
تؤمن صمامات التحرير عمل النظام بشكل صحيح، حيث إنها تقوم بمنع الضغط من تجاوز المستويات الخطرة في هذا النظام، حيث أنه يوجد دائماً صمام ضغط أعظمي في الدارة الهيدروليكية لتفريغ أية زيادة في التدفق لا يستخدمها النظام إلى الخزان، حيث تزود المضخة النظام بالمائع باستمرار، وإذا لم يمتص هذا التدفق من قبل المستخدم ومع عدم وجود صمام ضغط أعظمي فإن الضغط في النظام سوف يصل إلى مستويات غير متوقعة، إن صمامات التحديد يمكن أن تشغل بشكل مباشر أو بشكل غير مباشر (تقاد من الخارج)، في الطريقة الأولى يكون النابض ذا قوة إرجاع حدية تكافئ الضغط الأعظمي للصمام بحيث يضمن فتح الصمام عند وصول الضغط إلى القيمة الأعظمية، أما في الطريقة الأخرى فيتم استخدام صمام قائد يتحكم بالتدفق عوضاً عن النابض.

إن صمامات تنظيم الضغط تحافظ على حد أدنى معين من الضغط بغض النظر عن تغيرات الحد الأعظمي للضغط، ويمكن أن يتم ضبط قيمة الضغط المنظم يدوياً من خلال إشارة قائدة، أو من خلال إشارة تشابهية وفي هذه الحالة يمكن أن يعمل صمام تنظيم الضغط ضمن حلقة مغلقة مزودة بمبدل طاقة يقيس قيمة الضغط.

١٠-٥-٤- صمامات تنظيم التدفق: Flow-rate regulator valves

تقوم هذه الصمامات بالتحكم بكثافة تدفق المائع المار عبرها، عملياً تشكل هذه الصمامات فتحة ذات مساحة متغيرة، و بالتالي يكون معدل التدفق من الصمام تابعاً لمساحة هذه الفتحة و لفرق الضغط بين طرفي الصمام.

في حالة صمام تنظيم التدفق المعوض للضغط pressure-compensated flow regulator valve، يتم تنظيم معدل التدفق بحيث يبقى الضغط فوق حد أدنى (قياسياً يكون 10 Bar) وتتم ضبط قيمته خارجياً بشكل يدوي أو بواسطة حلقة تحكم كهربائية مغلقة، والشكل (١٠-١٢) يمثل الرمز القياسي لصمام تنظيم التدفق :



الشكل (١٠-١٢)

١٠-٦- الصمامات التناسبية وصمامات السيرفو:

Proportional Valves and Servo valves

بدأت صمامات السيرفو بالظهور في نهاية الثلاثينيات وكانت تستخدم للأغراض العسكرية. وظهر النموذج التجاري الأول منها في منتصف الخمسينيات، وفي وقتنا الحاضر تستخدم الصمامات التناسبية وصمامات السيرفو على نطاق واسع في التطبيقات المدنية وأبحاث الفضاء والتطبيقات الصناعية، وبشكل عام تستخدم للتحكم المستمر بتعويض وسرعة وقوة المشغل الهيدروليكي عندما يكون الأداء العالي مطلوباً من دقة وسرعة في الاستجابة سواء في حلقات التحكم المفتوحة أو المغلقة.

تتميز الصمامات التناسبية وصمامات السيرفو من خلال الخصائص التالية :

- إشارات الدخل **Input Signals**.
- الدقة **Precision**.
- العروة **Hysteresis**.
- الخطية بين الدخل و الخرج **Linearity between Input and Output**.

- الحزمة الميتة **Dead Band**.
- عرض الحزمة **Bandwidth**.

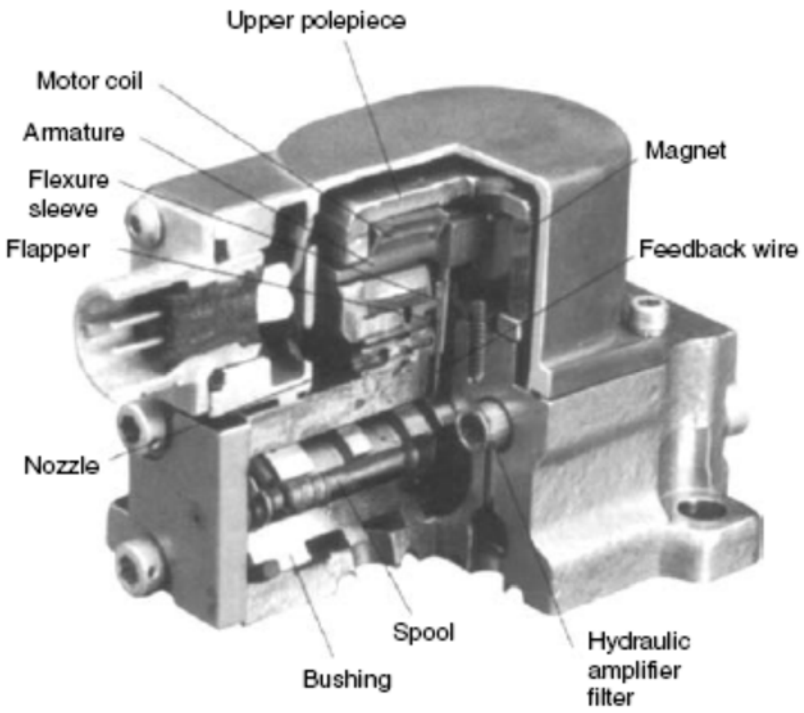
يمكن أن تتميز إشارات الدخل من نوع الإشارة و مجال تغيرها، حيث يمكن أن تكون إشارة تيار (4-20 mA) أو (±10 mA) أو إشارة جهد (قياسياً 0-10 V) وتحدد الدقة من الفرق بين القيمة المطلوبة والقيمة الفعلية التي تم تحقيقها، وتعطى كنسبة مئوية من كامل المجال، أما العروة فهي ناتجة عن الاختلاف في السلوك الذي يبديه العنصر حول نقطة عمل ما عند الجبهتين الهابطة والصاعدة، وتحدد الحزمة الميتة أصغر قيمة للدخل تؤدي إلى ظهور قيمة على الخرج.

يوجد نوعان رئيسيان لصمامات السيرفو هما :

- Nozzle-flapper.
- Jet-pipe.

والشكل (١٠-١٣) يبين مثالاً على النوع الأول Nozzle-flapper :

وهو يتألف من مرحلتين الأولى تتكون من محرك العزم والسطح العريض flapper ونظام من الفوهات والسدادات، والمرحلة الثانية تتكون من صمام مغزلي ومنافذ الخرج.

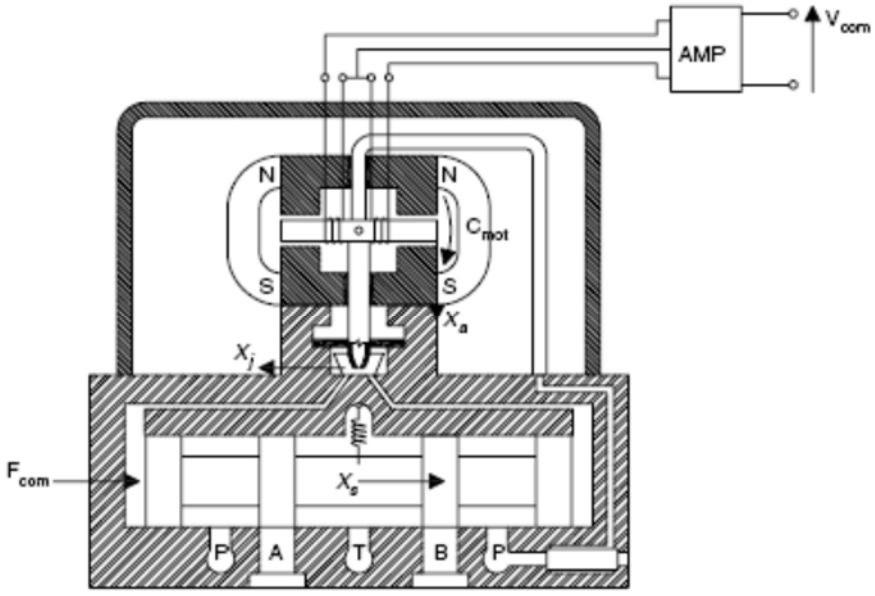


Nozzle-flapper servovalve (Moog).

الشكل (١٠-١٣)

يتكون محرك العزم من ملف ومغناطيس ودوار وأقطاب، ووظيفته نقل العزم إلى الـ flapper.

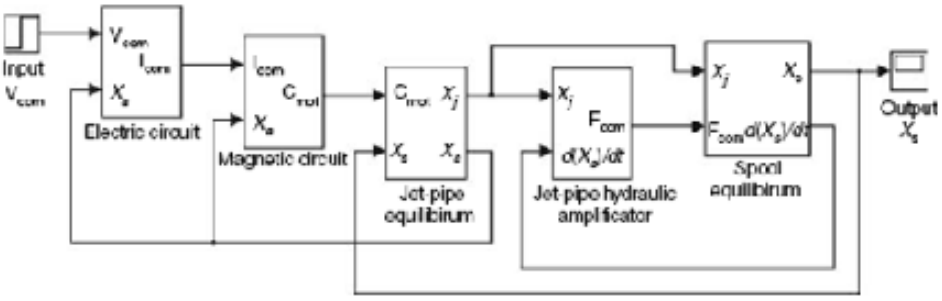
أما الشكل (١٠-١٤) فيبين مثالاً على النوع الثاني Jet-pipe :



Jet-pipe servovalve scheme.

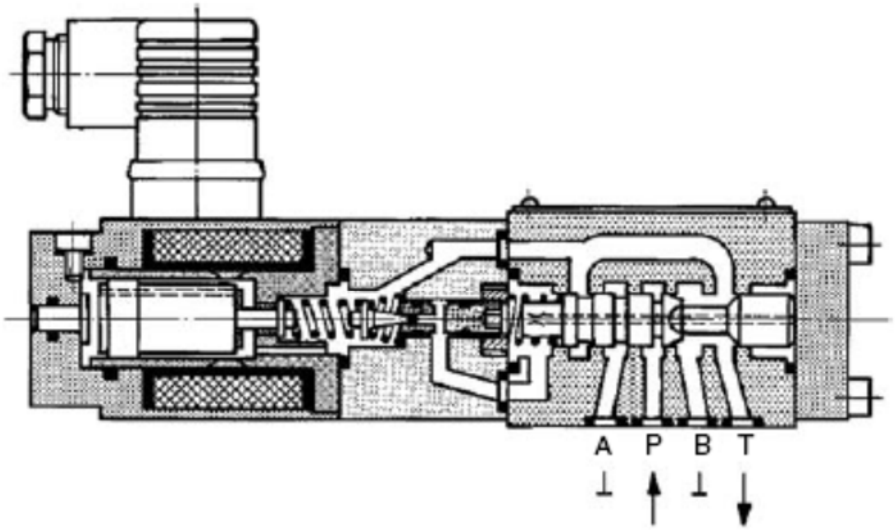
الشكل (١٠-١٤)

كما يبين الشكل (١٠-١٥) المخطط الصندوقي له :



الشكل (١٠-١٥) المخطط الصندوقي لـ Jet-pipe servovalve

كما يبين الشكل (١٠-١٦) مثالاً على صمام تناسبي:



Proportional pressure relief valve (Bosch Rexroth).

الشكل (١٠-١٦)

انتهى الفصل ٢