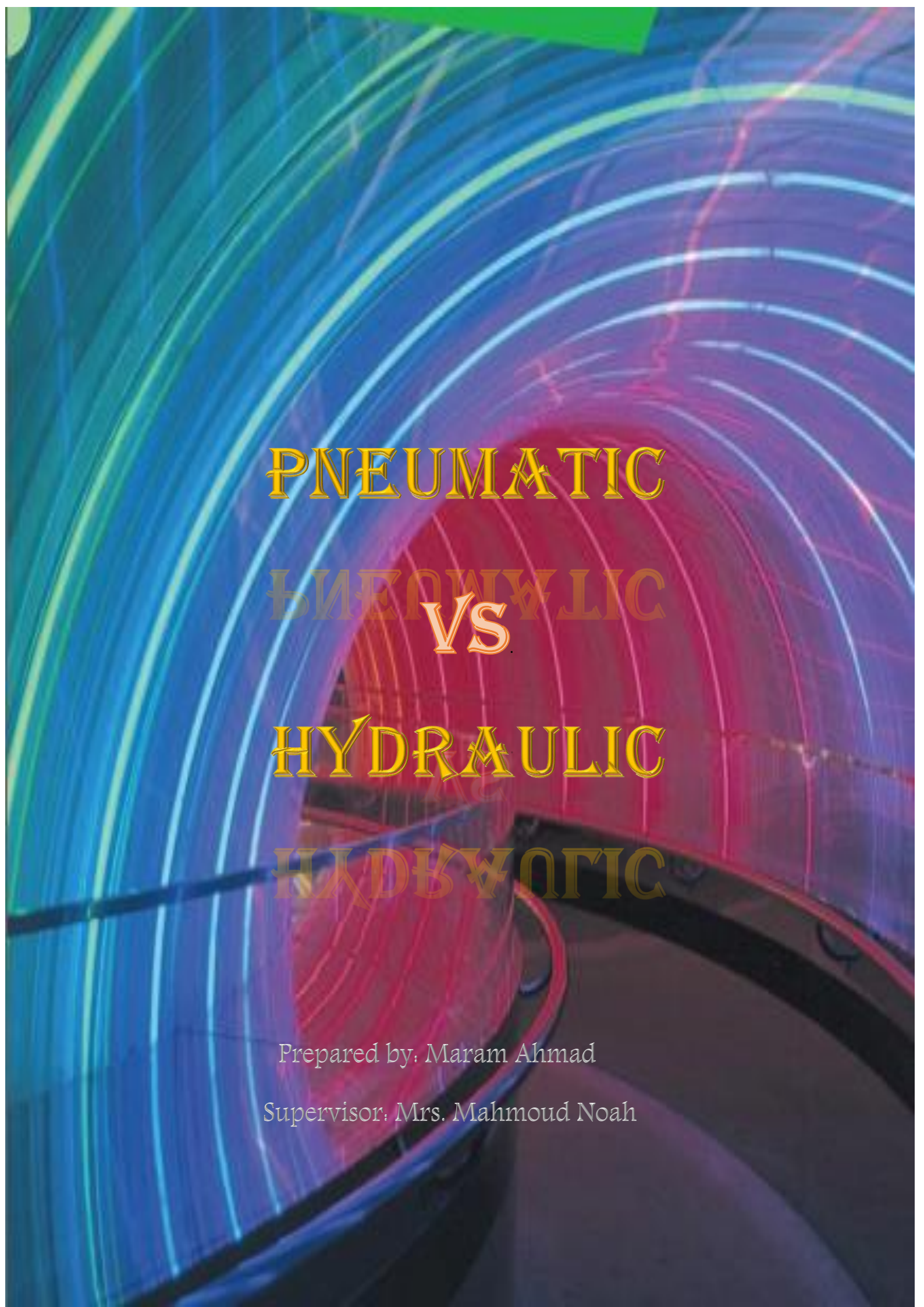


Prepared by: Maram Ahmad

Supervisor: Mrs. Mahmoud Noah

Pneumatic
Vs.
Hydraulic

تقديم: مرام أحمد

تاريخ: 1/11/2015

ملخص

يقدم هذا البحث مقارنة بين الأنظمة الهيدروليكية والبنيوماتيكية بناء على سلوك الموائع في كل منها وأقسامها الأساسية واستناداً على هذه المقارنة سوف نعرض بعض التطبيقات الأساسية لكل منها في المجالات الصناعية.

الفهرس:

المقدمة..... 4

1-المبادئ الأساسية في ميكانيك الموائع..... 5

1-1 الضغط والتدفق..... 5

1-2 القوى الناتجة عن الأنظمة الهيدروليكية والبنيوماتيكية..... 6

1-3 قانون باسكال..... 6

2-سلوك الموائع (اللزوجة)..... 7

2-1 ما هي اللزوجة..... 7

1-3 استنتاج قانون نيوتن للزوجة..... 7

1-3 حساب اللزوجة عند الغازات..... 10

1-3 حساب اللزوجة عند السوائل..... 11

3-أقسام الأنظمة الهيدروليكية والبنيوماتيكية..... 11

1-3 أقسام النظام البنيوماتيكي..... 11

2-3 أقسام النظام الهيدروليكي..... 14

4-تطبيقاتها..... 15

1-4 روبوت sand flea jumping robot..... 15

2-4 الروافع والأيدي الاصطناعية..... 16

3-4 محرك السيارة car engine..... 16

5-جدول المقارنة..... 17

6-الخاتمة..... 18

7-فهرس الأشكال والجداول والرسوم التوضيحية..... 19

8-المراجع..... 20

المقدمة:

تعد الأنظمة الهيدروليكية والبنيوماتيكية عاملاً مهماً في صناعة الروبوتات والآلات الصناعية الحديثة كالسيارات والرافع الآلية والأيدي الصناعية وغيرها .....

تعمل مثل هذه الأنظمة على نقل طاقة الموائع المضغوطة وتحويلها إلى طاقة حركية يمكن الاستفادة منها إذ يستخدم الهواء وبعض الغازات الأخرى في الأنظمة البنيوماتيكية، فيما تستخدم أنواع معينة من الزيوت في الهيدروليكية.

وهنا بالطبع نتساءل ما الذي يميز هذه الأنظمة عن المحركات الكهربائية العادية؟؟

ما يميز هذه الأنظمة عن المحركات الكهربائية الاعتيادية -بالرغم من سلبياتها المتعلقة بالضجة الكبيرة الصادرة عن المضخات داخلها وحاجتها المستمرة لعمليات الفلترة ودراساتها الفيزيائية الأكثر تعقيداً – هو قدرتها على توفير طاقة وقوة كبيرة جداً قادرة في شروط معينة سنراها لاحقاً أن تحمل أوزان تقدر بمئات الأطنان والتي تعجز المحركات الكهربائية عن حملها .

ولكن ما هي أوجه الاختلاف بين الأنظمة الهيدروليكية والبنيوماتيكية , هل إحداها أفضل من الأخرى أو أن كل منها مناسب لتطبيق أو آلة معينة ؟؟؟؟

في هذا البحث سنتناول أقسام هذه الأنظمة وأهم خواص الموائع المستخدمة فيها وصولاً إلى جدول يبين أهم الفروقات بينها وأهم التطبيقات المستخدمة فيها بناء على هذه المقارنة.

1-المبادئ الأساسية في ميكانيك الموائع

1-1 الضغط والتدفق

تتمثل طاقة المائع بمتحولين أساسيين هما الضغط والتدفق، نعرف الضغط بأنه القوة المطبقة على واحدة المساحة، أما التدفق فهو قيمة الحجم المتدفق في واحدة الزمن، وبما أن الأنظمة البنيوماتيكية تستخدم الغاز _القابل للضغط إلى حد ما _ كمائع فسنتعامل عندها بمصطلح التدفق الكتلي Q_m, أما في الأنظمة الهيدروليكية فنحن نستخدم الزيت الغير قابل للانضغاط بالتالي سنبقى عندها مع مصطلح التدفق العادي Q.

تتعدد وحدات قياس الضغط ومنها: الباسكال (*Pascal P*) وهي الوحدة الدولية لقياس الضغط، والبار (*bar*) والميغا بار (*mega bar*) حيث يوضح الجدول الآتي [1]آلية التحويل بين هذه الوحدات.

	pascal (Pa)	megapascal (Mpa)	bar (bar)	lbs-sq-in (psi)
1 Pa	1	10^{-6}	10^{-5}	145.04×10^{-6}
1 Mpa	10^6	1	10	145
1 bar	10^5	0.1	1	14.5
1 psi	6895	6.895×10^{-3}	0.06895	1

جدول 1

يبين آلية التحويل بين وحدات قياس الضغط

أما التدفق فيقاس ب (الغالون بالدقيقة *gallons per minutes)* (*(* أو (عدد اللترات بالدقيقة *liters per minutes*) أو المساحة بالثانية (*cubic meters per second (SI unit* ويوضح الجدول التالي [2]آلية التحويل بين هذه الوحدات:

	gallon/minute (gpm)	liter/minute (lpm)	cubicmeter/second (m^3/s)
1 gpm	1	3.785	6.31×10^{-5}
1 lpm	0.264	1	1.67×10^{-5}
1 m^3/s	1.585×10^4	6×10^4	1

جدول 2 يبين آلية التحويل بين وحدات التدفق

[1] .Sun, W. D. a. Z. (2009). "Fluid Power System Dynamics." University of Minnesota: 9

[2] .Sun, W. D. a. Z. (2009). "Fluid Power System Dynamics." University of Minnesota: 11

1-2القوى الناتجة عن استخدام الأنظمة الهيدروليكية والبنيوماتيكية:[3]

الشكل 1 الحفارة caterpillar 345D

من أبرز إيجابيات استخدام الأنظمة المعتمدة على طاقة الموائع هي القوة الكبيرة الناتجة عنها والتي تعطيها بوساطة أسطوانات دقيقة وصغيرة نسبياً، فمثلاً تمتلك أسطوانة الحفارة *caterpillar 345D* (انظر الرسم التوضيحي المجاور) قطراً داخلياً قدره *7.5in* ويبلغ ضغط السائل داخلها *5511Psi*، بالتالي فالقوة الناتجة تحسب بالعلاقة:

$$F = P.S = 5511.\pi.\left(\frac{7.5}{2}\right)^2 = 243\,468\ lbs$$

أي أن هذه الحفارة قادرة على حمل ما يزيد عن 120 طن

والتي يستحيل أن تقدمها المحركات الكهربائية.

1-3قانون باسكال (Pascal law):

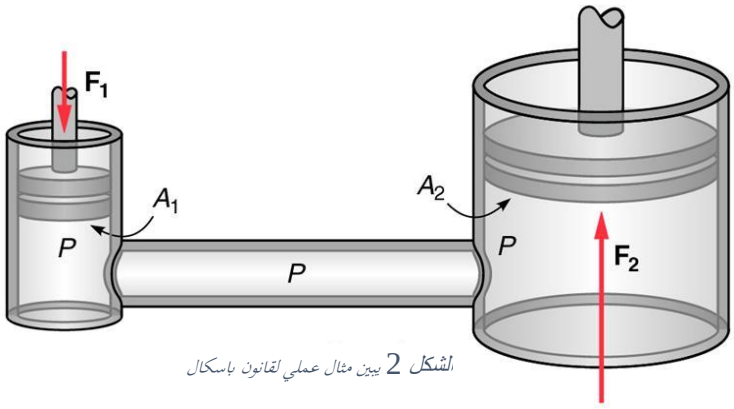
عبر العالم الفرنسي بليز باسكال عن أحد أهم مبادئ ميكانيك الموائع وهو أن أي تغير في الضغط المطبق على مائع ساكن مضغوط محصور في وعاء ينتقل بكامله إلى كل نقاط المائع وإلى جدران الوعاء.[4]

يبين الشكل التالي الجهاز الذي استخدمه العالم باسكال لتطوير هذا القانون، يمثل الشكل اسطوانتين مختلفتين مساحة مقطع الأولى *s1* ومساحة مقطع الثانية *s2* بحيث *s1>s2*، وتتصل الأسطوانتان بأنبوب. وتكون كل من الأسطوانتين مغلقة بمكبس يمكنه الحركة دون احتكاك (الاحتكاك مهمل)، تُملأ الأسطوانتان والأنبوب بالزيت الذي نفترضه غير قابل للانضغاط والتسرب من الأنابيب.

وجد باسكال أنه مثلاً لو كانت كتلة المكبس (*piston*) الأول *10kg* مثلاً ومساحة مقطعه $10m^2$ فسوف يطبق ضغط على السائل ينتقل بشكل متساوي عبر كل نقاط السائل حتى يصل إلى المكبس الثاني فيطبق عليه الضغط نفسه *1Pa* ولكن لو اعتبرنا أن *s2* $20\ m^2$ فسوف تتضاعف القوة المؤثرة على هذا المكبس (طبعاً مع المحافظة على نفس قيمة الطاقة)

يمكن أن نعبر عن قانون باسكال بالشكل التالي:

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$



الشكل 2 يبين مثال عملي لقانون باسكال

[3] Sun, W. D. a. Z. (2009). "Fluid Power System Dynamics " University of Minnesota: 17.

[4] الفيزياء-الثالث الثانوي –كتاب الطالب-الجمهورية العربية السورية (2012)

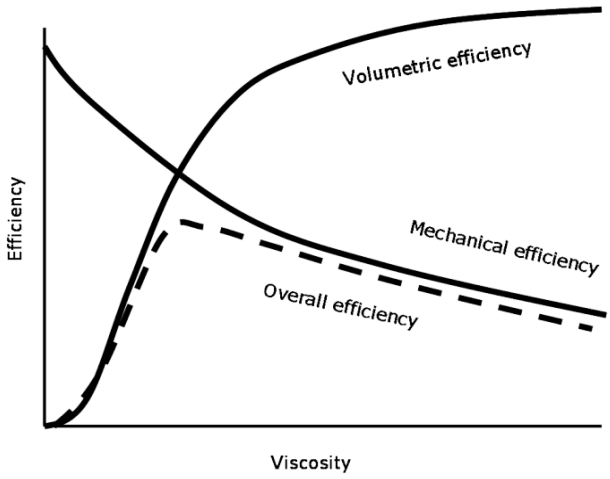
2-سلوك المائع (اللزوجة viscosity):

2-1 ماهي اللزوجة؟

يعتمد سلوك المائع بشكل رئيسي على الكثافة واللزوجة.

لزوجة مائع هي مقياس لمقدار قوة الاحتكاك الداخلي بين طبقات المائع مع بعضها أثناء الجريان بسبب قوة الروابط بين جزيئاتها أو اصطدام جزيئاتها ببعضها البعض، بعض السوائل كالماء لها لزوجة منخفضة خلافاً للعسل مثلاً فهو ثخين ولزوجته عالية جداً. في حال كانت اللزوجة منخفضة فسوف يتسرب السائل من العوازل مسبباً خسارة حجمية في الفاعلية، وفي الطرف الآخر لو تخطت اللزوجة الحد المتوسط فسوف يصعب ضخ السائل داخل الأنابيب والصمامات مسببة خسارة في الفاعلية الميكانيكية.

يبين الشكل التالي هذه المفارقة ويدل أن الموائع ذات اللزوجة المتوسطة هي الأفضل في الأنظمة الهيدروليكية والبنيوماتيكية.[5]



رسم توضيحي *1* خط بياني لتحديد اللزوجة المثلى المطلوبة للمائع

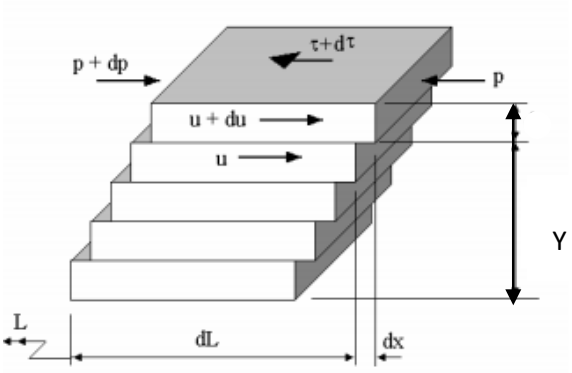
ولكن يجب أن نشير إلى ملاحظة مهمة أن كل آلة بحسب عملها تتطلب مائع له لزوجة معينة، فمثلاً لزوجة المائع المستخدم في السيارات العادية يقدر ب 40 Pa-s وسنتكلم عن هذه الواحدة لاحقاً، أما في الدبابة مثلاً والتي تحتاج لعزم كبير جداً فنحن بحاجة إلى زيت لزوجته 100 Pa-s تقريباً.

2-2استنتاج قانون نيوتن للزوجة:[6]

نفترض أن المائع ينقسم إلى طبقات رقيقة جداً متصلة مع بعضها البعض، فلو وضعنا المائع بين صفيحتين إحداهما العليا متحركة والسفلى ثابتة لا تتحرك (تجربة نيوتن لقياس اللزوجة) فسوف يتعرض لقوة تدعى قوة القص (*shear force*) تسبب تشوه في طبقات المائع حيث تتحرك الطبقة الملامسة للصفيحة العليا بسرعة الصفيحة المتحركة ونرمز لها ب u_0 وتبدأ السرعة بالنقصان كلما اتجهنا ضمن الطبقات السفلى حتى تنعدم عند الطبقة الملامسة للصفيحة السفلى وعند دفع هذا المائع ليتحرك بين طبقتين من المعدن فيظهر التشوه كما في الشكل التالي:

[5] Sun, W. D. a. Z. (2009). "Fluid Power System Dynamics." University of Minnesota: 13.

[6] K. Stephan and K. Lucas, Viscosity of Dense Fluids, Plenum, New York (1979)



الشكل 3

بالنسبة للطبقات الوسطى بين الطبقتين السفلى والعليا: تبين أن سرعتها تتناسب خطياً مع السرعة u_0 تبعاً للبعد عن الصفيحة وفق الآتي:

$$u_x = u_0 . \frac{y}{Y}$$

حيث Y هي البعد بين صفيحتي المعدن

y هي بعد الطبقة المدروسة عن الصفيحة المتحركة

تسبب قوة القص ما يدعى بضغط القص (*shear stress*) ورمزه τ والذي يتناسب طرداً مع سرعة الصفيحة المتحركة وعكساً مع المسافة بين الصفيحتين Y:

$$\tau = \frac{Force}{Area} = shear\ stress \propto \frac{u_0}{Y} = \mu . \frac{u_0}{Y}$$

ندعو الثابت بين ضغط القص ومنحدر السرعة $(\frac{u_0}{Y})$ باللزوجة الديناميكية (*dynamic viscosity*) التي تقاس بوحدة باسكال بالثانية $(Pa.s)$ وفقاً للنظام الدولي *SI* أو السنتي بويز (*cent poise cP*) حيث: *1 cP =0.001 Pa.s*

وعلى اعتبار أن السرعة متغيرة خطياً بين الصفيحتين فيمكننا تعديل العلاقة السابقة لتصبح:

$$shear\ stress = \tau_{x,y} = -\mu . \frac{du_x}{dy}$$

تدعى هذه المعادلة بمعادلة نيوتن للزوجة، وكما نعلم في الفيزياء فالقوة تساوي الكتلة في التسارع:

$$Force = mass. acceleration = mass. \frac{velocity}{time} = \frac{momentum}{time}$$

بالتالي تصف هذه المعادلة أيضاً معدل تغير كمية الحركة ضمن الصفيحتين.

إذا قسمنا وضربنا الطرف اليميني من المعادلة بمقدار كثافة المائع فسوف نحصل على:

$$\tau_{x,y} = -\frac{\mu}{\rho}\left(\rho . \frac{du_x}{dy}\right) = -v\left(\rho . \frac{du_x}{dy}\right)$$

في المعادلة أعلاه نعرف بمصطلح جديد يدعى اللزوجة الحركية للمائع (*Kinetic viscosity*) تعطى قيمتها ب:

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$

تقاس اللزوجة الحركية بواحدة ستوك (*stoke St*) وفقاً للنظام الدولي *SI*.

نلاحظ أن الحرارة الناتجة عن مرور المائع في الأنابيب ناتج بالإضافة لاحتكاكه مع إطار الأنبوب عن احتكاك طبقاته مع بعضها البعض.[7]

يبين الجدول التالي مقارنة بين اللزوجة عند بعض السوائل والغازات:

Fluid	Temperature °C	Density kg m^{-3}	Viscosity kg s^{-1} m^{-1}	Momentum diffusivity m^2 s^{-1}
Hydrogen	0	8.93×10^{-2}	8.40×10^{-6}	9.41×10^{-5}
	20.7	8.30×10^{-2}	8.80×10^{-6}	1.06×10^{-4}
	229	4.86×10^{-2}	1.26×10^{-5}	2.59×10^{-4}
	490	3.19×10^{-2}	1.67×10^{-5}	5.24×10^{-4}
	825	2.22×10^{-2}	2.14×10^{-5}	9.64×10^{-4}
Air	0	1.30×10^{0}	1.71×10^{-5}	1.32×10^{-5}
	18	1.22×10^{0}	1.83×10^{-5}	1.50×10^{-5}
	229	7.08×10^{-1}	2.64×10^{-5}	3.73×10^{-5}
	409	5.21×10^{-1}	3.41×10^{-5}	6.55×10^{-5}
	810	3.28×10^{-1}	4.42×10^{-5}	1.35×10^{-4}
	1134	2.53×10^{-1}	5.21×10^{-5}	2.06×10^{-4}
Water	0	1.00×10^{3}	1.79×10^{-3}	1.79×10^{-6}
	20	9.98×10^{2}	1.01×10^{-3}	1.01×10^{-6}
	60	9.83×10^{2}	4.69×10^{-4}	4.77×10^{-7}
	100	9.58×10^{2}	2.84×10^{-4}	2.96×10^{-7}
Molten iron	1550	7.21×10^{3}	6.70×10^{-3}	9.29×10^{-7}
	1600	7.16×10^{3}	6.10×10^{-3}	8.52×10^{-7}
	1700	7.06×10^{3}	5.60×10^{-3}	7.93×10^{-7}
	1800	6.96×10^{3}	5.30×10^{-3}	7.61×10^{-7}
High-iron slag	1200	4.50×10^{3}	3.50×10^{-1}	7.78×10^{-5}
Low-iron slag	1500	3.50×10^{3}	5.00×10^{-1}	1.43×10^{-4}

جدول 3 يبين قيم اللزوجة الميكانيكية لموائع شائعة الاستخدام

[7] Fowler, M. (2006). "Viscosity."

تتبع الغازات والسوائل البسيطة قانون نيوتن للزوجة وندعوها الموائع النيوتنية (Newtonian fluids). أما المحاليل البوليميرية، الوحل الشديد، الصمغ والطلاء فندعوها باللانيوتنية.

نلاحظ من الجدول نتيجة مهمة:

على اعتبار أن لزوجة الماء والغازات قليلة فهذا يسمح بتسربها من الأنابيب أثناء انتقالها إلى المكابس لتحريكها وهذا ما يسبب نقص في الفاعلية الحجمية عندها ولذلك فالأنظمة البنيوماتيكية غير قادرة على إعطاء قوة كبيرة كافية لحمل أثقال كبيرة كما في الأنظمة الهيدروليكية.

ولتقليل تسرب المائع في الأنظمة البنيوماتيكية يضطر المصنعون على تقصير طول الأنابيب قدر الإمكان لتخفيض كمية الغاز المسرب. [8]

2-3حساب مقدار اللزوجة عند الغازات:[9]

عندما لا تتوفر أجهزة قياس اللزوجة نلجأ إلى قياس لزوجة الغازات نظرياً وبكل حال فقد طورت النظرية الجزيئية للغازات لكي نستطيع توقع سلوكها دون الحاجة على اختبار ذلك عملياً. ينص قانون لزوجة الغازات على ما يلي:

$$\mu = \frac{26.7x10^{-6}(MT)^{\frac{1}{2}}}{\sigma_c^2 \Omega_\mu}$$

حيث أن μ هي لزوجة الغاز

M الوزن الجزيئي بالغرام

T درجة الحرارة المطلقة بالكلفن

σ_c قطر التصادم

Ω_μ مساحة الاصطدام

بالنسبة لما يخص المقارنة التي نجريها فلا يهمنا من المعاملات إلا الحرارة

فمن القانون نجد أنه عند ازدياد الحرارة تزداد اللزوجة حيث تزداد سرعة جزيئات الغاز ويزداد تصادمها وبالتالي تزداد عملية احتكاكها ببعضها مما يزيد من لزوجة الغاز.

وبالتالي كلما زادت حرارة الغاز تزداد لزوجته وتنقص سرعة تدفقه والعكس صحيح[10].

---

[8] Sun, W. D. a. Z. (2009). "Fluid Power System Dynamics." University of Minnesota: 13.

[9] K. Stephan and K. Lucas, Viscosity of Dense Fluids, Plenum, New York (1979)

[10] ابراهيم, ع. م. ع. ا. أ.-ص. م. ص. إ.-ع. ع. ا. (2001). "الموائع."

2-4حساب اللزوجة عند السوائل:[11]

يختلف قانون لزوجة السائل تماماً عن الغاز وذلك لأن تأثر السوائل بالحرارة والكثافة يختلف عن تأثر الغازات بها، حيث ينص قانون اللزوجة عند السوائل على:

$$\mu = \mu_0 . e^{\frac{E_u}{RT}}$$

حيث: μ_0 هي اللزوجة عند درجة حرارة مرجعية.

و E_u هو المقدار الحراري للزوجة.

كما قلنا يهمنا من القانون العلاقة التي تربط اللزوجة عند السوائل مع الحرارة، وكما نلاحظ من القانون تتناسب اللزوجة عكسياً مع الحرارة، حيث يزداد اهتزاز جزئيات السائل عند ازدياد حرارته وبالتالي تزداد المسافة بينها ويقل احتكاكها ببعضها البعض.

عندما تزداد حرارة السائل تزداد سرعة تدفقه وتنخفض لزوجته والعكس صحيح إذا نقصت حرارة السائل تنقص سرعة التدفق وتزداد اللزوجة.[12]

وهذا هو سبب انتظارك بضع دقائق قبل تحريك سيارتك في الشتاء أو في الصباح الباكر حتى يسخن زيتها قليلاً حيث يكون زيت السيارة بارداً إلى درجة أن سرعة تدفقه بطيئة جداً.

وهنا نذكر سلبية في الأنظمة الهيدروليكية وهي الحاجة الدائمة لتغيير الزيت كل فترة ولكن لماذا؟

كما قلنا فإن احتكاك جزيئات المائع مع بعضها البعض هو ما يطلق الحرارة وليس احتكاكها مع إطار الأنابيب، وبالتالي فالحرارة الناتجة عن احتكاك جزيئات الزيت سوف تسبب مع الزمن نقص في لزوجة هذا الزيت وبالتالي تسربه وهذا ما يسبب احتراقات ونقص في القوة الناتجة.

لذلك نحن بحاجة دوماً لتغيير الزيت في النظام الهيدروليكي.

3-أقسام النظام الهيدروليكي والبنيوماتيكي:

3-1أقسام النظام البنيوماتيكي:

الغازات المستخدمة في النظام البنيوماتيكي:[13]

يعد الهواء خليط من الغازات التي تنقسم في الظروف الجافة إلى 78% نيتروجين, 21% أوكسجين و 1%غازات أخرى، وتبتعد خواص الهواء عند مزجه بمواد أخرى عن خواص الغازات المثالية. على كل حال فإن الأنظمة البنيوماتيكية الصناعية تستخدم الهواء عند درجة حرارة $(+20c^0)$ وضغط $(p \leq 1.0MPa)$.

---

[11] K. Stephan and K. Lucas, Viscosity of Dense Fluids, Plenum, New York (1979)

[12] ابراهيم, ع. م. ع. ا. أ.-ص. م. ص. إ.-ع. ع. ا. (2001). "الموائع."

[13] Stephan and K. Lucas, Viscosity of Dense Fluids, Plenum, New York (1979

قابلية الضغط للهواء:

تؤثر قابلية الضغط الكبيرة عند الهواء بشكل كبير على خواص الأنظمة البنيوماتيكية. فيزيائياً تعتبر هذه الخاصية مقلوب معامل الحجم الذي يعبر عنه وفق العلاقة التالية:

$$\beta = \frac{\Delta p}{\Delta V}$$

حيث: β هي معامل الحجم.

Δp تعبر عن تغير الضغط المطبق على الغاز.

ΔV فتعبر عن تغير الحجم.

بالتالي فإن الانضغاطية عند الغاز تقدر ب:

$$k = \frac{1}{\beta}$$

وتقدر واحدة الانضغاطية ب (Pa^{-1}) في النظام الدولي SI.

RESULT

من سلبيات هذه الخاصية هي تضاعف عمل المضخة (compressor) المطلوب مقارنة مع عمل المضخة في الأنظمة الهيدروليكية

لزوجة الهواء:

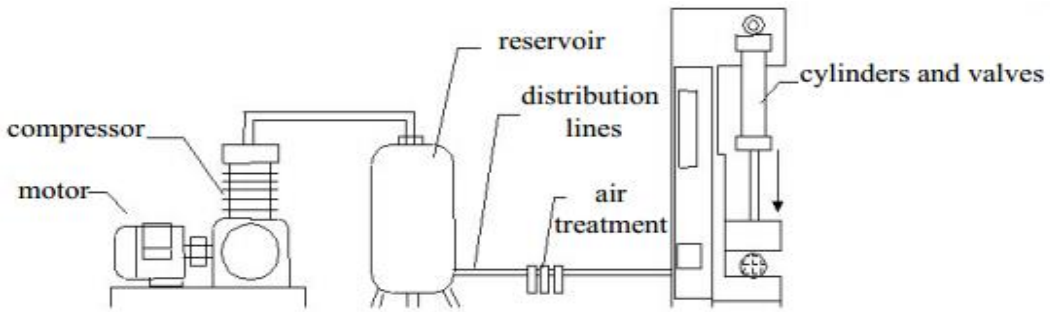
كما قلنا سابقاً تنخفض لزوجة الهواء والغازات عموماً مقارنة بالسوائل، كما تختلف قيمتها مع اختلاف الحرارة والضغط، ولكن وفق الضغط والحرارة التي ذكرناها مسبقاً تقدر اللزوجة الديناميكية للهواء ب $1{,}85.10^{-5} Ns/m^2$.

RESULT

كما ذكرنا سابقاً فمن أهم سلبيات اللزوجة المنخفضة للهواء هي قابلية التسرب حيث تقل النسبة المئوية لفاعلية الأنظمة البنيوماتيكية نتيجة التسرب والتي تفرض استخدام العوازل في مكونات النظام.

ولكن من إيجابيات هذه الخاصية هي انخفاض قيمة الضغط المفقود داخل الأنابيب بسبب اللزوجة حيث يعطنا ذلك الحرية في استخدام أنابي ذات قطر صغير مقارنة بالأنظمة الهيدروليكية.

كيف يعمل النظام البنيوماتيكي:[14]



الشكل 4 أقسام النظام البنيوماتيكي

[14] http://designer.mech.yzu.edu.tw

يتألف النظام بداية من ضاغط (*compressor*) يعد مصدر الطاقة فيه ويقاد عادة بمحرك (*motor*) يقوم بضغط الغاز إلى الحد المطلوب حيث يحول الطاقة الحركية للمحرك إلى طاقة كامنة يخزنها الغاز المضغوط، ثم يحتجز الغاز بعد ذلك في صهريج معدني قوي يدعى الخزان(*reservoir*).

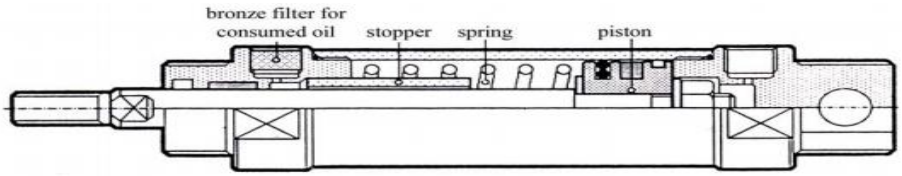
سينتقل الهواء بعد ذلك إلى الأسطوانات المحركة(*cylinders*) ولكن قبل ذلك يمر بثلاث أجهزة (منقي الهواء (*air filter*) والذي ينقي الهواء من الشوائب والرمل وغيرها.... ومنظم الضغط (*pressure regulator*) الذي يعدل ضغط الغاز، وأخيراً المزلقة أو أداة التزييت (*lubricator*) والتي تضيف الزيت للغاز) .

تعد الأسطوانات المحركة (*cylinders*) هي الجزء المحرك في النظام البنيوماتيكي والذي يحول الطاقة المختزنة في الغاز إلى طاقة حركية تحرك المكبس (*piston*) الموجود داخله.

وتتعدد أنواع هذه الأسطوانات ولكن أهمها:

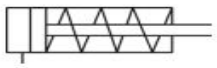
الأسطوانة أحادية الحركة:

يمتلك هذا النوع من الأسطوانات منفذ واحد يدخل منه الهواء المضغوط وبالتالي لا يستطيع أن يسبب الحركة سوى باتجاه واحد فقط. يثبت في الأسطوانة على الطرف الآخر نابض يقوم بإعادة الأسطوانة إلى وضعها الأصلي بعد غياب تأثير الغاز عليها وهنا نجد سلبية في استخدام هكذا نوع من الأسطوانات وهي أن اندفاع الأسطوانة إلى الأمام يكون قليل لأن جزء من القوة يضيع على مقاومة شد النابض. ولحل هذه المشكلة يقوم المصنعون بزيادة قطر الأسطوانة لزيادة القوة المؤثرة كما ذكرنا سابقاً في قانون باسكال.



Cross section of a single acting cylinder

(a) Single acting cylinder

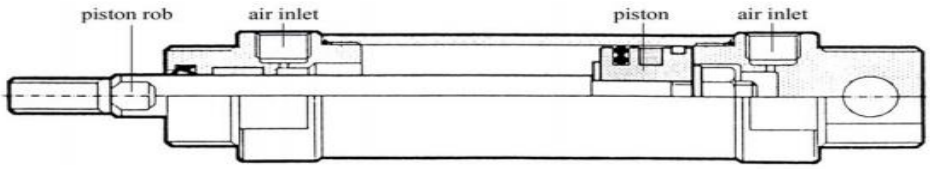


(b) Pneumatic symbol of a single acting cylinder

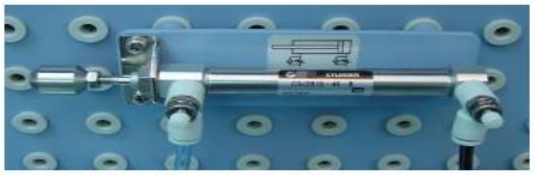
الشكل 5 الأسطوانة أحادية الحركة وترميزها العلمي

الأسطوانة ثنائية الحركة (*double acting cylinder*):

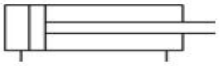
يتوفر لهذه الاسطوانة منفذين، يدخل الهواء من أحدهما ليدفع البستون(*piston*) في الاتجاه الخارجي بينما يعود ليدخل من المنفذ الآخر ليرجع البستون إلى وضعه الأول. ويتم توجيه الهواء إلى المنفذ المطلوب عن طريق الصمامات الموجهة (*control valves*) والتي نستطيع من خلالها أن نغير مسار جريان الغاز.



Cross section of a double acting cylinder



(a) Double acting cylinder



(b) Pneumatic symbol of a double acting cylinder

الشكل 6 الأسطوانة ثنائية الحركة والترميز العلمي لها

2-3 مكونات النظام الهيدروليكي:[15]

السائل المستخدم في الأنظمة الهيدروليكية:

يجب أن يمتلك السائل في الأنظمة الهيدروليكية بشكل أساسي القدرة على نقل الطاقة. ويوجد اعتبارات أخرى لتحديد السائل اللازم وضعه كقدرته على تبديد حرارته داخل الأنابيب والمبرد والخزان. وأن تبلغ لزوجته الحد الوسط بحيث لا تتسرب من الأنابيب وبالوقت ذاته ألا تكون لزجة إلى حد أن تعيق التدفق، كما يجب ألا تسبب تآكل مكونات النظام وأن يكون أمدها طويلاً دون فقدها لخواصها الكيميائية الأولية.

استخدم سابقاً الماء لأنه آمن، رخيص، متوفر وغير ضار بالبيئة، إلا أن لزوجته منخفضة وتسبب تسربه من الأنابيب كما أن مجاله الحراري بين التجمد والغليان صغير جداً (من0 إلى 100^0) كما يعتبر بيئة ملائمة لانتشار البكتريا المتعددة.

استعيض عن الماء حديثاً بزيوت البترول والتي تعتبر رخيصة الثمن، طويلة الأمد ولها لزوجة مناسبة.

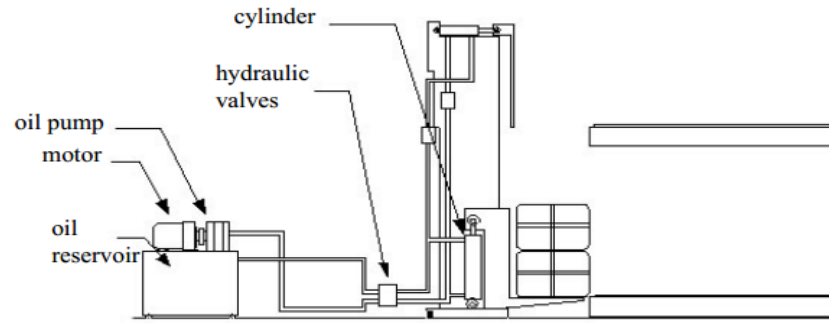
تتعدم تقريباً قابلية الانضغاط عند الزيوت مما يمكن الأنظمة الهيدروليكية من حمل أوزان كبيرة جداً في الروافع مثلاً.

تتماثل تقريباً مكونات النظام الهيدروليكي والبنيوماتيكي باستثناء أن هذه الأنظمة تعد مغلقة (closed systems) أي تعتمد على سائل مضغوط موجود داخل خزانات وليس الهواء الخارجي، ويسبق الخزان فيها المحركات على عكس الأنظمة البنيوماتيكية.

ومن إيجابيات هذه الأنظمة أيضاً أننا غير مجبورون بالتقيد بطول معين للأنابيب خوفاً من التسرب حيث أن لزوجة الزيوت العالية تمنع التسرب، إلا أننا نضطر لتقليل قطر الأنابيب المستخدمة لمنع ضياع الطاقة نتيجة المقاومة العالية للتدفق.

[15] Hydraulics Circuits, Components, Schematics, Hydrostatic Drives and Test Equipment" Toro university ".

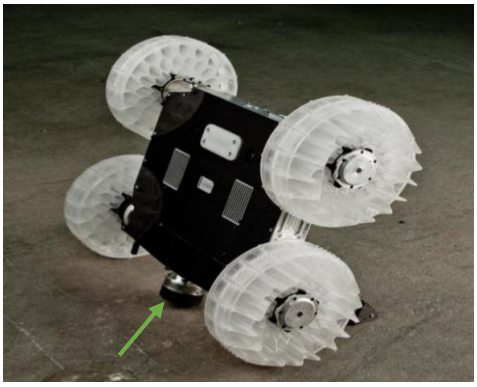
لاحظ المخطط التالي الذي يبين مكونات هذا النظام.



الشكل 7 أقسام النظام

4-بعض تطبيقات الأنظمة الهيدروليكية والبنيوماتيكية

4-1روبوت sand flea jumping robot:[16]



الشكل 8 روبوت sand flea jumping robot

يعد هذا الروبوت والذي يزن 3kg فقط واحداً من إنجازات المختبر الأمريكي لتصميم الروبوتات (Boston Dynamics) حيث يستطيع أن يقفز لارتفاع 8 متر باستخدام نظام بنيوماتيكي ذكي جداً يحرك مكبس مثبت خلف هذا الروبوت.

يسير هذا الروبوت بطريقة طبيعية على أربعة عجلات مصنوعة من مادة البوليميت غالباً الماصة للصدمات، وعنما يريد القفز فإنه يحرك محاور مثبتة من الخلف مسببة ميله بزاوية مدروسة مسبقاً ثم يسبب النظام البنيوماتيكي _والذي يستخدم غاز ثاني أكسيد الكربون كمائع _على تحريك بستون يقع خلف الروبوت بسرعة عالية جداً قاذفة الروبوت إلى مسافة عالية جداً تصل إلى 8 متر.

أين تكمن فائدة استخدام نظام بنيوماتيكي في هذا الروبوت؟

كما قلنا فإن ثقل الروبوت هو 3kg فقط بالتالي لسنا بحاجة إلى نظام هيدروليكي لرفع مثل هذا الثقل. إضافة إلى ذلك نحن بحاجة إلى سرعة كبيرة لتسبب مثل هذه القفزة وتدفق الهواء داخل الأنابيب أسرع بكثير من الزيت، فيتدفق كانفجار داخل الأسطوانة مسبباً ارتفاع الروبوت.

4-2الأيدي والأذرع الصناعية:

تستخدم الأنظمة البنيوماتيكية لتصميم الأيادي الصناعية والتي تتميز بقدرتها على الحركة بتواترات عالية واستفادتها من الوسط المحيط بحيث نتجنب بذلك استخدام خزانات للمائع المضغوط.

ولكن نشير إلى أنه مع مثل هذه الصناعات تستخدم كلا الأنظمة الهيدروليكية والبنيوماتيكية وذلك بحسب عزم الذراع المطلوب والثقل المراد من الذراع حملها.

[16] ".Owano, N. (2012). "Sand Flea robot is set to leap into reconnaissance

4-3الروافع الآلية (excavator):

تعتمد صناعة الروافع الآلية بشكل أساسي على أنظمة الهيدروليك وذلك لأن عمل هذه الروافع يتطلب أن تحمل أوزان كبيرة جداً قد تصل إلى مئات الأطنان وتختلف بناء على ذلك نوع الزيوت المستخدمة وقطر الأنابيب التي تسير فيها فكلما زادت الأوزان المطلوب حملها توجب زيادة قطر الانابيب إلى حد معين لكي نقلل من ضياع الطاقة الحركية نتيجة احتكاك الزيت بالأنابيب بسبب لزوجته العالية.

4-4محرك السيارة (car engine):[17]

من أهم تطبيقات هذه الأنظمة محرك السيارة، سوف نتطرق بالتفصيل إلى آلية عمل محرك السيارة.

عندما نفكر ملياً نستطيع أن نستنتج بأن المحركات الكهربائية العادية أو الأنظمة البنيوماتيكية غير قادرة على تحريك دواليب سيارة أو شاحنة أو غيرها من وسائط النقل التي تكون بحاجة إلى قوة كبيرة لتحركها. ولذلك تستخدم الأنظمة الهيدروليكية لتحريك السيارات

يمكن أن نعرف المحرك بانه القسم الأساسي من السيارة والذي يحول طاقة انفجار او احتراق الوقود إلى طاقة حركية تحرك المسننات في علبة السرعة (*manual or automatic transmission*) والتي تتحكم بدروها بحركة العجلات.

كيف يعمل المحرك؟

عندما تستخدم مفتاح سيارتك لتشغيل السيارة فهذه العملية تحرض عمود المرفق وعمود الكامات –الذي يفتح الصمامات الدخول والخروج بشكل دوري متناوب –على الدوران.

يتألف عمود المرفق من أربعة نتوءات أو مرافق بحيث يكون اتجاه النتوءان الطرفيان إلى الأسفل والداخليان إلى الأعلى.

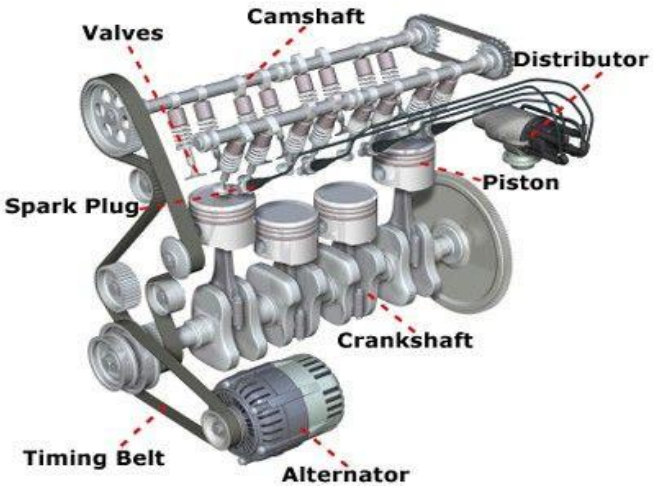
تحمل هذه النتوءات أذرع التوصيل التي تحمل المكابس في أعلاها وعند دوران عمود المرفق والكامات، تمر كل منها بواحد من الأشواط الأربعة التالية:

1-شوط السحب

2-شوط الضغط

3-شوط الانفجار

4-شوط الطرد



الشكل 9 رسم توضيحي لمحرك السيارة

ينقسم المحرك بشكل أساسي إلى الأجزاء التالية:

1-الموزع (distributer)

2-الأسطوانات (cylinders)

3-عمود المرفق (the crank shaft)

4-الأذرع الواصلة (connecting rods)

5-المكابس(pistons)

6-شمعات الاشتعال (spark plugs)

7-حواقن الزيت (fuel injectors)

8-صمامات الدخول والخروج (intake and exhaust valves)

9-عمود الكامات (cam shaft)

10-السيور المسننة

[17] كتاب محركات الاحتراق الداخلي-الصف الثاني الثانوي الصناعي- وزارة التربية السورية

لنشرح كل من هذه الأشواط:

عندما يتحرك المكبس إلى الأسفل يفتح صمام الدخول ليسمح لمزيج الزيت والهواء أن يشغل المساحة الفارغة في الأسطوانة وهذا ما ندعوه بشوط السحب. في نهاية هذا الشوط يغلق صمام الدخول ويعاود المكبس صعوده للأعلى تحت تأثير الانفجار الذي حصل في إحدى المكابس الأخرى المعاكسة لهذا المكبس (سنتكلم عن شوط الانفجار لاحقاً) مطبقاً بذلك ضغطاً كبيراً على المزيج المحبوس في الأسطوانة، ويستمر في الصعود إلى أن يصل المزيج إلى حد الانفجار وندعو هذا الشوط بشوط الضغط.

عندما ينفجر المزيج يجبر المكبس على النزول وبالتالي يجبر المكابس المعاكسة على الصعود وهذا ما نسميه بطور الانفجار. في نهاية هذا الطور يصعد المكبس ويفتح صمام الخروج ليسحب الغازات الناتجة عن الاحتراق في طور الطرد ثم يعود المكبس ليمر بطور السحب وهكذا.....

بالتالي نلاحظ أنه في كل دورة للأطوار الأربعة يتعرض أحد المكابس لطور الانفجار الذي يسبب حركة المكابس الأخرى لتدخل في دورة جديدة وتكرر هذه العملية بشكل مستمر مسببة دوران المسننات في علبة السرعة والتي تتحكم بدورها في سرعة عجلات السيارة.

5-جدول المقارنة النهائي:

نبين في الجدول التالي ملخص للبحث يتضمن مقارنة بين نظام الهيدروليك والبنيوماتيك وفق الآتي:

على اعتبار أن لزوجة الغازات قليلة فهذا يسمح بتسربها في الأنظمة البنيوماتيكية من الأنابيب أثناء انتقالها إلى المكابس لتحريكها وهذا ما يسبب نقص في الفاعلية الحجمية ولذلك فالأنظمة البنيوماتيكية غير قادرة على إعطاء قوة كبيرة كافية لحمل أثقال كبيرة كما في الأنظمة الهيدروليكية
تزداد لزوجة الغازات بازدياد الحرارة في الأنظمة البنيوماتيكية بينما تقل لزوجة الزيوت في أنظمة الهيدروليك مع ازدياد الحرارة، بالتالي فالحرارة الناتجة عن احتكاك جزيئات الزيت سوف تسبب مع الزمن نقص في لزوجة هذا الزيت وبالتالي تسربه وهذا ما يسبب احتراقات ونقص في القوة الناتجة. لذلك نحن بحاجة دوماً لتغيير الزيت في النظام الهيدروليكي
إن انضغاطية الغازات أكبر بكثير من انضغاطية السوائل والزيوت وهذا ما يسبب بالإضافة للزوجتها المنخفضة عدم قدرة الأنظمة البنيوماتيكية على حمل أثقال كبيرة كالتي تحملها أنظمة الهيدروليك إضافة إلى أن ذلك يحتم عمل إضافي مضاعف على مضخات الغاز مقارنة بمضخات الزيت في الأنظمة الهيدروليكية.
بالنسبة لطول الأنابيب في كلا النظامين نلاحظ أن المصنعين يضطرون لتقصير طول الأنابيب في الأنظمة البنيوماتيكية مقارنة بالأنظمة الهيدروليكية وذلك لتجنب أكبر قدر من التسرب.
بالنسبة لقطر أنابيب الأنظمة الهيدروليكية فيتوجب أن تكون كبيرة بما يكفي لتقلل من الاحتكاك الكبير بين الزيت وسطح الأنبوب نتيجة لزوجته الزائدة، وهذا من إيجابيات اللزوجة المنخفضة عند الغازات والتي تسمح بتقليل قطر الأنابيب في الأنظمة البنيوماتيكية.
تتماثل تقريباً الأجزاء المكونة لكلا النظامين إلا أن المضخة تسبق الخزان في الأنظمة البنيوماتيكية بعكس الهيدروليكية

اعتماداً على ما سبق نستطيع أن نستنبط من خصائص الموائع المستخدمة في الأنظمة الهيدروليكية والبنيوماتيكية على مدى فاعليتها في حمل الأوزان الثقيلة والتي تفوق بها المحركات الكهربائية بشكل كبير وهذا ما يجعلها المكون الرئيسي المحرك للأذرع الاصطناعية والروافع الآلية والسيارات.....

ولكن من ناحية المقارنة بين كل من الأنظمة الهيدروليكية والبنيوماتيكية فلا نستطيع أن نحكم مطلقاً ما هو الأفضل ولكن يمكن أن نختار الأنسب بينهما للمشروع البحثي أو الإنتاجي المراد تصميمه.

فمثلاً لا يمكننا استخدام النظام البنيوماتيكي لتصميم رافعة آلية أو محرك شاحنة أو سفينة مثلاً وذلك لمشاكل استخدام الهواء المضغوط من التسرب إلى مشكلة الانضغاطية وغيرها والتي تقلل من الطاقة الناتجة إلى الصمامات.

وفي نفس الوقت لا يمكننا استخدام النظام الهيدروليكي في روبوت كروبوت (*sand flea jumping robot*) وذلك لبطء تدفق الزيت خلال الأنابيب.

بالنهاية نرى أن ظروف المشروع هي التي تحدد الأفضل والأنسب للعمل به وكل من الأنظمة الهيدروليكية تملك خصائص إيجابية وأخرى سلبية.

وشكراً لصبركم.....

فهرس الأشكال:

الشكل 1 الحفارة CATERPILLAR 345D 6
الشكل 2 يبين مثال عملي لقانون باسكال 6
الشكل 3 6
الشكل 4 أقسام النظام البنيوماتيكي 6
الشكل 5 الأسطوانة أحادية الحركة وترميزها العلمي 6
الشكل 6 الأسطوانة ثنائية الحركة والترميز العلمي لها 6
الشكل 7 أقسام النظام الهيدروليكي 6
الشكل 8 روبوت SAND FLEA JUMPING ROBOT 6
الشكل 9 رسم توضيحي لمحرك السيارة 6

فهرس الجداول:

جدول 1 5
جدول 2 يبين آلية التحويل بين وحدات التدفق 5
جدول 3 يبين قيم اللزوجة الميكانيكية لموائع شائعة الاستخدام 6

فهرس الرسوم التوضيحية:

رسم توضيحي 1 خط بياني لتحديد اللزوجة المثلى المطلوبة للمائع 6

References……

1- Sun, W. D. a. Z. (2009). "Fluid Power System Dynamics." University of Minnesota

2- K. Stephan and K. Lucas, Viscosity of Dense Fluids, Plenum, New York (1979)

3- Fowler, M. (2006). "Viscosity."

4- Owano, N. (2012). "Sand Flea robot is set to leap into reconnaissance

5- Hydraulics Circuits, Components, Schematics, Hydrostatic Drives and Test Equipment.Toro University.

المراجع العربية……

1ـكتاب محركات الاحتراق الداخلي-الصف الثاني الثانوي الصناعي-وزارة التربية السورية

2ـالفيزياء-الثالث الثانوي ــكتاب الطالب-الجمهورية العربية السورية (2012)