الباب السادس

الحسابات النيوماتيكية

٦-١ اختيار الضاغط

عادة يواجه القائم على اختيار الضاغط المناسب بعض التساؤلات والتي يمكن تلخيصها فيما يلي :

١ ـ ما سعة الضاغط الفعلية المطلوبة بوحدة L/S آخذاً التوسعات المستقبلية في الاعتبار ؟

٢ ـ ما الضغط اللازم للحفاظ على ضغط التشغيل المطلوب عند المستخدمين ؟

٣ ـ ما الغرض الذي سيستخدم فيه الهواء المضغوط ؟

٤ ـ ما عدد ساعات تشغيل الضاغط في اليوم / الأسبوع ؟

٥ ـ ما نوع نظام التحكم المطلوب ؟

٦ ـ ما مقدار الحاجة لخزان الهواء ؟

٧ ـ ما الأجهزة المصاحبة المطلوبة مع الضاغط (مبرد إعادة ـ مجفف ـ مرشح دخول ـ كواتم صوت ... إلخ) ؟

٨ ـ ما طبيعة الضاغط (ثابت أو متنقل) ؟

٩ ـ إذا كان الماء هو وسط التبريد المستخدم للضاغط ، فما هو مدى درجات حرارة الماء ، وما هو معدل تلوث ماء التبريد ؟

١٠ـ ما المواصفات الكاملة للمكان المقترح وضع الضاغط فيه ؟

١١ـ ما ضغط الهواء الجوي للوسط المحيط ؟

١٢ـ ما حدود درجات حرارة الوسط المحيط ؟

١٣ـ ما أقصى رطوبة نسبية متوقعة في الوسط المحيط ؟

١٤ـ ما ارتفاع مكان الضاغط المقترح عن سطح البحر ؟

وفيما يلي أهم المصطلحات الفنية المستخدمة مع الضواغط :

١ ـ أقصى ضغط Max Pressure

يجب أن يكون أقصى ضغط للضاغط أقل من الضغط الأقصى للعناصر النيوماتيكية ، وإن لم يتحقق ذلك فتستخدم بعض الاحتياطات الأمنية لمنع ارتفاع ضغط الضاغط عن الضغط الأقصى للعناصر النيوماتيكية مثل : استخدام مفتاح ضغط كهربى Pressure Switch للتحكم في تشغيل وإيقاف الضاغط .

٢ ـ إزاحة المكبس Piston Displacement

ويستخدم هذا المصطلح في الضواغط الترددية ، ويساوي حاصل ضرب حجم أسطوانة الضاغط × عدد الأشواط فى الثانية .

٣ ـ السعة الفعلية من الهواء الحر Actual Capacity (free air dellevery)

وتعني حجم الهواء الخارج من الضاغط في الثانية منسوباً لظروف الوسط المحيط ، مستخدماً القانون العام للغازات في ذلك .

٤ ـ الكفاءة الحجمية Volumetric Efficiency

وهي النسبة المئوية بين السعة الفعلية إلى إزاحة المكبس وتساوي .

$$\eta_V = \frac{\text{السعة الفعلية}}{\text{إزاحة المكبس}} \times 100$$

مثال ١ :

إذا كان معدل تدفق الهواء المضغوط لضاغط يساوى 9l/s عند درجة حرارة 70°C وضغط قياس يساوى 7 bar .

المطلوب :

أ ـ السعة الفعلية للضاغط إذا كانت درجة حرارة الوسط المحيط 27°C، وضغطه المطلق 1bar .

ب ـ السعة الفعلية للضاغط إذا كانت درجة حرارة الوسط المحيط 15°C ، وضغطه المطلق 5.95 bar .

الإجابة :

يمكن تعيين السعة الفعلية للضاغط مستخدماً القانون العام للغازات .

$$\frac{P_1 v_1}{T_1} = \frac{P_2 v_2}{T_2}$$

وبالتالى فإن :

$$v_1 = \frac{P_2 v_2 T_1}{P_1 T_2}$$

الحالة أ : حيث إن الضغوط المستخدمة فى القانون العام للغازات ضغوط مطلقة ، ولذلك فإن درجات الحرارة المستخدمة مطلقة أيضاً لذلك فإن :

$P_2 = 7 + 1 = 8 bar$

$P_1 = 1 bar$

$T_2 = 27 + 273 = 300\ K$

$T_1 = 15 + 273 = 288\ K$

$V_2 = 9\ L/S$

وبالتالى فإن :

$$V_1 = \frac{8X9X288}{1X300} = 69\ L/S$$

الحالة ب :

P1 = 0.95 bar
T1 = 288 k

P2 = 8 bar
T2 = 300 k

بالتالى فإن :

$V_2 = 9\ L/S$

$$V_1 = \frac{8X9X288}{0.95 \times 300} = 72.6\ L/S$$

وهذا يوضح مقدار تغير السعة الفعلية للضاغط بتغير ضغط الوسط المحيط .

٦ ـ ١ ـ ١ تعيين السعة الفعلية وضغط التشغيل لضاغط :

لتعيين السعة الفعلية لضاغط ؛ يجب حساب قيمة استهلاك الهواء للأحمال Air consumption آخذا المعاملات الآتية فى الاعتبار

١ ـ معامل الاستخدام Use factor (fu) .

٢ ـ معامل التوسعة المستقبلية Future expansion factor (fe) .

٣ ـ معامل تسريب الهواء Air leakage factor (fl) .

أما ضغط تشغيل الضاغط ؛ فيأخذ عادة مساوياً ضغط تشغيل الأحمال آخذا فى الاعتبار قيمة الفقد فى الضغط والناشىء عن نقل الهواء المضغوط من الضاغط للأحمال .

والمثال ٢ سوف يوضح طريقة تعيين السعة الفعلية وضغط التشغيل لضاغط يغذى مجموعة من الأحمال .

مثال ٢ :

الحسابات التالية خاصة بالأقسام المختلفة لمسبك ، علماً بأن معامل الاستخدام للمعدات المختلفة محسوب عند تصميم هذه المعدات .

المعدة أو الماكينة	استهلاك الهواء للوحدة L/S	العدد	الاستهلاك الأقصي للوحدات L/S	معامل الاستخدام	متوسط استهلاك الهواء L/S	ضغط التشغيل bar
المسبك						
منفاخ القوالب	11	3	33	0.5	16.5	5
منضدة دك القوالب	5	2	10	0.2	2	5
مسدس نفخ	8	8	64	0.1	6.4	5
ماكينة سباكه	12	5	60	0.3	1.8	5
رافعة 500 kg	33	3	99	0.1	9.9	5
مدك يدوى متوسط	6	1	6	0.2	1.2	5
مدك يدوي ثقيل	9	1	9	0.2	1.8	5
مطرقة رابش خفيفة	6	2	12	0.35	4.2	5
مطرقة رابش متوسطة	8	3	18	0.35	6.3	5
مطرقة رابش ثقيلة	13	2	26	0.2	5.2	5
ماكينة تجليخ 75 mm	9	2	18	0.3	5.4	5
ماكينة تجليخ 150 mm	25	3	75	0.45	33.75	5
ماكينة تجليخ 200 mm	40	1	40	0.2	8	5
ماكينة تجليخ متوسطة	23	2	46	0.1	4.6	5
ماكينة تجليخ ثقيلة	42	2	84	0.1	8.4	5
وحدة صقل بالرمل خفيفة	32	1	32	0.5	16	5
وحدة ثقل بالرمل ثقيلة	53	1	53	0.5	26.5	5

المعدة أو الماكينة	استهلاك الهواء للوحدة L/S	العدد	الاستهلاك الأقصي للوحدات L/S	معامل الاستخدام	متوسط استهلاك الهواء L/S	ضغط التشغيل bar
ورشة أعمال الصاج						
مثقاب خفيف	6	1	6	0.2	1.2	5
مثقاب متوسط	8	1	8	0.2	1.6	5
مثقاب 12 mm	15	2	30	0.3	9.0	5
آلة عمل قلاووظ	52	1	52	0.05	2.6	5
آلة عمل سلبيات	8	1	8	0.2	1.6	5
آلة إدارة مفكات	8	2	16	0.1	1.6	5
مفتاح ربط بالصدم 20 mm	15	1	15	0.2	3.0	5
مفتاح ربط بالصدم 22 mm	23	1	23	0.1	2.3	5
ماكينة تجليخ 150 mm	25	2	50	0.3	15.0	5
ماكينة تجليخ 200 mm	40	1	40	0.2	8.0	5
ماكينة تجليخ متوسطة	23	2	46	0.3	13.8	5
ماكينة تجليخ ثقيلة	42	1	42	0.2	8.4	5
دقاق برشمة متوسط	18	1	18	0.1	1.8	5
دقاق برشمة ثقيل	22	1	22	0.05	1.1	5
مطرقة رايش خفيفة	6	2	12	0.2	2.4	5
مطرقة رايش متوسطة	8	2	16	0.2	3.2	5
مطرقة رايش ثقيلة	13	1	13	0.1	1.3	5
ونش 6 أطنان	33	1	33	0.05	1.7	5
مسدس نفخ	8	2	16	0.1	1.6	5
ورشة التجميع						
مثقاب خفيف	6	3	18	0.2	3.6	5
مثقاب متوسط	8	5	40	0.3	12.0	5
مثقاب 12 mm	15	6	90	0.35	31.5	5
مثقاب ثقيل	22	1	22	0.1	2.2	5

المعدة أو الماكينة	استهلاك الهواء للوحدة L/S	العدد	الاستهلاك الأقصي للوحدات L/S	معامل الاستخدام	متوسط استهلاك الهواء L/S	ضغط التشغيل bar
مثقاب ثقيل جداً	33	1	33	0.1	3.3	5
ماكينة عمل سلبيات	8	2	16	0.1	1.6	5
وحدة إدارة مفكات	8	2	16	0.2	3.2	5
مفتاح ربط بالصدم خفيف	6	1	6	0.2	1.2	5
مفتاح ربط بالصدم 20 mm	15	2	30	0.2	6.0	5
مفتاح ربط بالصدم 22 mm	23	1	23	0.1	2.3	5
ماكينة تجليخ 75 mm	9	2	18	0.2	3.6	5
ماكينة تجليخ 150 mm	25	1	25	0.1	2.5	5
ماكينة تجليخ متوسطة	23	2	46	0.2	9.2	5
ونش هوائي 500 kg	33	1	33	0.1	3.3	5
ونش هوائي 1000 kg	33	1	33	0.1	3.3	5
مسدس نفخ	8	5	40	0.02	2.0	5
ورشة دهان						
ماكينة تجليخ وتلميع زاوية	8	1	8	0.2	1.6	5
ماكينة تجليخ وتلميع متوسطه	23	1	23	0.3	6.9	5
وحدةصقل بالرمل	38	1	38	0.5	19.0	5
مسدس نفخ	8	1	8	0.1	0.8	5
ونش 6 طن	33	1	33	0.05	1.7	5
مسدس دهان بالرش	5	2	10	0.5	5.0	5
متوسط الاستهلاك الكلي للمسبك					365 L/S	

وبفرض أننا نود عمل توسعة لهذا المسبك في المستقبل لتصبح طاقته الإنتاجية مرة وربع من الحالية فإن معامل التوسعة سيكون Fe = 1.25 ، وبفرض

أن هذا المسبك يتم فحصه بصفة مستديمة ، وعمل صيانة لأي تسربات موجودة ، لذا يمكن اعتبار معامل التسريب FL = 1.05 ، وبالتالي يصبح الاستهلاك الكلي للمسبك مساوياً

$$\dot{V}t = \dot{V}a \times Fe \times FL$$

$$\dot{V}t = 365.0 \times 1.25 \times 1.05 = 479\ L/S$$

وبفرض أن النسبة بين الاستهلاك الكلي للأحمال إلى السعة الفعلية للضاغط تساوي 0.9 .

$$\frac{\dot{V}t}{\dot{V}c} = 0.9$$

لذلك ينتج أن

$$\dot{V}C = 479/0.9$$

$$\simeq 560\ L/S$$

وحيث إن ضغط تشغيل جميع الماكينات والمعدات 5 bar عدا مسدس الدهان لذلك ينصح باختيار ضاغط ضغطه الأقصى أكبر من 5 bar وليكن 10 bar مع استخدام مفتاح ضغط للتحكم في ضغط خزان الضاغط يتم ضبطه عند قيمة عظمى مقدارها 8 bar ، وقيمة فرقية مقدارها 2 bar ، وبالتالي فإن الضاغط سيعمل على المحافظة على الضغط في الخزان في الحدود 8 bar : 6 .

وتستخدم وحدة خدمة بجوار كل ماكينة أو معدة ، بحيث يمكن من خلال هذه الوحدة ضبط الضغط عند القيمة المطلوبة ، وهو 5 bar أما بالنسبة لمسدس الدهان فيتم ضبط وحدة خدمته على ضغط 3 bar .

٦ ـ ١ ـ ٢ اختيار نوع التحكم فى خرج الضاغط

من المعروف أن السعة الفعلية للضاغط يجب أن تكون أكبر من معدل الاستهلاك الكلى للأحمال ، وحيث إن معدل استهلاك الأحمال للهواء المضغوط يتغير من لحظة لأخرى ، لذا كان من الضرورى عمل نظام تحكم يحافظ على ذلك .

وهناك عدة أنواع لأنظمة التحكم المستخدمة مثل :

١ ـ تحكم بالإيقاف والتشغيل Start / Stop control

يقوم هذا النظام بإيقاف الضاغط عند وصول الضغط فى خزان الهواء المضغوط للحد الأقصى المعاير عليه مفتاح الضغط ، ونتيجة لاستهلاك هذا الهواء المضغوط عند الأحمال ؛ ينخفض الضغط وبمجرد انخفاض الضغط بالقيمة الفرقية المعاير عليها مفتاح الضغط ، فإن الضاغط سيدور مرة أخرى للوصول للحد الأقصى المعاير عليه مفتاح الضغط وهكذا .

ويعتبر هذا النظام هو أرخص الأنظمة من حيث تكلفة الطاقة . وعادة فإن عدد مرات البدء والإيقاف للمحرك الكهربى (وسيلة إدارة الضاغط) يجب أن يكون محدودا لارتفاع تيار البدء للمحركات الكهربية مما يسبب فى ارتفاع درجة حراراتها . وينصح بأن تكون عدد مرات البدء لاتزيد عن 6 مرات فى الساعة .

٢ ـ التحكم بالتشغيل بدون حمل No - Load control

يسمح هذا النظام بدوران الضاغط حتى يصل الضغط فى خزان الهواء المضغوط للضغط المعاير عليه مفتاح الضغط بعدها يغلق صمام خط السحب للضاغط ، فيتوقف تدفق الهواء الجوى إلى داخل خط السحب للضاغط ،

وبالتالى يدور الضاغط بدون حمل ويكون حمل المحرك الكهربى فى هذا الحالة حوالى 30% : 20 من الحمل الكامل له . وعندما ينخفض الضغط فى الخزان بالقيمة الفرقية المعاير عليها مفتاح الضغط ؛ فإن صمام خط السحب سوف يفتح مرة أخرى ، وبهذه الطريقة يمكن التقليل من درجة حرارة المحرك الكهربى. (وسيلة إدارة الضاغط) وتصل عدد مرات فتح صمام السحب إلى 30 مرة فى الساعة بحد أقصى . وبهذا النظام يمكن تقليل سعة الضاغط الفعلية لتصبح 90% تقريباً من معدل الاستهلاك الكلى للأحمال مع تقليل القيمة الفرقية لمفتاح الضغط ، وهذا أوفر من حيث التكلفة المبدئية لصغر حجم الضاغط المستخدم .

٣ ـ التحكم المركب Combination Control (Flexomat)

وفى هذا النظام يتم تشغيل الضاغط بدون حمل عندوصول الضغط فى الخزان للحد الأقصى المعاير عليه مفتاح الضغط بشرط ألا تزيد فترة تشغيل الضاغط بدون حمل عن 10 دقائق بعدها يتوقف الضاغط ثم يدور مرة أخرى عند انخفاض الضغط فى الخزان بالقيمة الفرقية لمفتاح الضغط ، وينصح أن يكون عدد مرات بدء المحرك الكهربى لا تزيد عن 6 مرات فى الساعة ؛ بينما يصل عدد مرات فتح صمام السحب إلى 30 مرة فى الساعة بحد أقصى .

٤ ـ التحكم بتغير السرعة Variable Speed Control

يعتبر هذا النظام هو الأمثل للضواغط ذات الإزاحة الموجبة مثل الضواغط الترددية والريشية ، حيث يقوم هذا النظام بتقليل تيار البدء والفرملة للمحركات الكهربية المستخدمة فى إدارة الضواغط ، وذلك باستخدام بادئات اليكترونية ، وبالتالى يمكن بدء هذه المحركات بعدد مرات أكبر من 6 مرات فى الساعة .

٥ ـ التحكم فى مجموعة ضواغط Multi Set Control

يستخدم هذا النظام عندما يكون هناك تغيير كبير فى معدل استهلاك الهواء المضغوط أثناء ساعات اليوم فى المنشأة .

وفى هذا النظام تستخدم مجموعة من الضواغط الصغيرة ، ويتم التحكم فيها مركزياً ، فإذا كان عدد الضواغط المستخدمة 2 مثلاً فعند توقف ضاغط فإن معدل استهلاك القدرة الكهربية سوف ينخفض للنصف أو أقل بالإضافة إلى أن ذلك سوف يزيد من عمر الضاغطين . ويستخدم الميكروبروسيسور فى التحكم فى مجموعة الضواغط ، وذلك للوصول للوضع الأمثل فى التشغيل لتقليل استهلاك القدرة الكهربية ومساواة ساعات التشغيل لجميع الضواغط .

مثال ٣ :

بخصوص نظام التحكم الأمثل لضاغط المسبك (مثال ٢) فيلاحظ أن استهلاك المسبك من الهواء المضغوط يساوى 0.9 من سعة الضاغط الفعلية من الهواء الحر ، وهذا يشجع على استخدام نظام التحكم بدون حمل فى الضاغط لرفع عدد مرات البدء والإيقاف بحد أقصى 30 مرة فى الساعة .

٦ ـ ٢ اختيار أقطار مواسير الشبكة الهوائية :

هناك عاملان هامان عند اختيار أقطار المواسير المستخدمة فى الشبكة الهوائية وهما :

ـ سرعة التدفق : فيجب أن تكون أقل من 10 m /s لتجنب الضوضاء الشديدة عند النقاط ذات السرعات العالية (الصمامات) .

ـ الانخفاض فى الضغط نتيجة للاحتكاك : يجب ألا يزيد عن (0.1 : 0.2 bar) والشكل ٦ ـ ١ يستخدم فى تعيين القطر المناسب للخطوط الهوائية بدلالة معدل

التدفق والانخفاض المسموح فى الضغط ، نتيجة للاحتكاك وطول الخط الهوائى ، وتستخدم المعادلة التقريبية التالية لتعيين المعادل K، والذى يمثل المحور الرأسى للمنحنى المبين بالشكل (٦ – ١).

$$k=1000\ \frac{\Delta\ p(p+1)}{L}$$

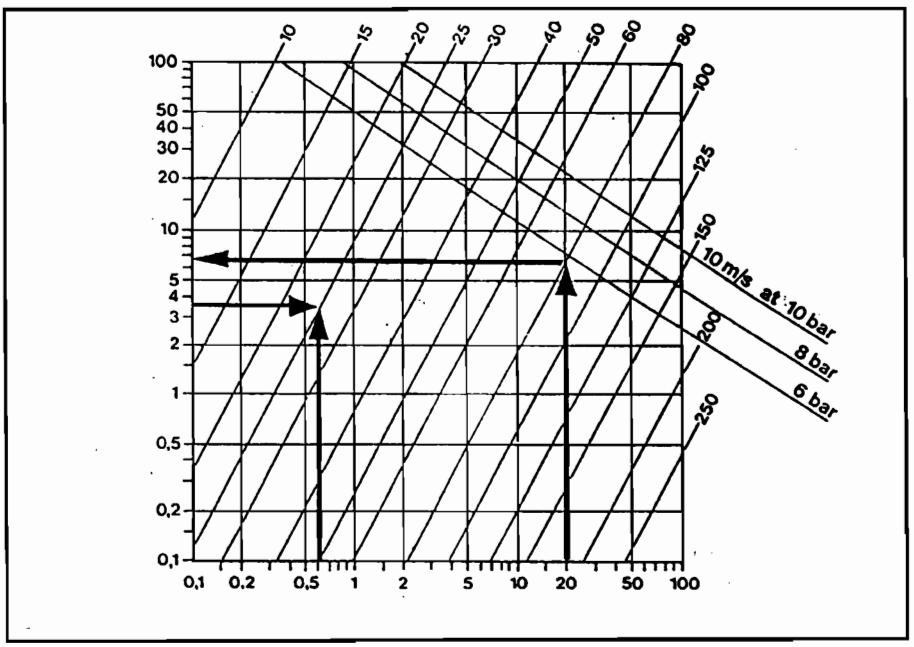
حيث إن :

ΔP الانخفاض فى الضغط نتيجة للاحتكاك بوحدة bar

L طول الخط الهوائى متضمناً الطول المكافئ للأدوات المستخدمة بالمتر

P ضغط التشغيل المقاس (bar).

علما بأن أعلى خطوط حدود الضغطbar 6, 8, 10 تكون سرعة تدفق الهواء المضغوط أكبر من 10m / s .



الشكل ٦ – ١

مثال ٤ :

احسب الانخفاض فى ضغط الهواء المضغوط المار فى خط هوائى طوله 150m وقطره 80 mm بمعدل تدفق $20m^3 / min$ ، وبضغط قياس مقداره 7 bar .

الإجابة :

من الشكل (٦ – ١) نجد أن العامل k يساوى 6.5 تقريباً

وحيث إن : $$k = 1000 \frac{\Delta p (p+1)}{L}$$

لذا ينتج أن

$$\Delta p = \frac{6.5 \times 150}{1000 \times 8} = 0.12 \text{ bar}$$

مثال ٥ :

عين قطر الخط الهوائى المناسب الذى طوله 200m ، ويمر فيه الهواء مضغوط بمعدل $0.6m^3 / min$ عند ضغط مقاس 6 bar إذا كان الانخفاض فى الضغط المسموح به يساوى 0.1 bar .

الإجابة :

$$k = 1000 \frac{\Delta p (p+1)}{L}$$

$$= 1000 \times \frac{0.1 \times 7}{200} = 3.5$$

ومن الشكل ٦ ـ ١ عندتدفق 0.6 m3 / min ومعامل k يساوى 3.5 ينتج أن قطر الخط الهوائى المناسب يساوى 25 mm تقريباً .

والجدول ٦ ـ ١ يبين الطول المكافئ بوحدة m لأدوات التوصيل والصمامات اليدوية ذات الأقطار المختلفة والمصنوعة من الصلب .

الجدول ٦ ـ ١

الصمام أو أداة التوصيل	القطر (mm)								
	25	40	50	80	100	125	150	200	250
صمام بمقعدة Seat valve	6	10	15	25	30	50	60	85	110
صمام كروى ball valve	0.3	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0	2.5	3.5	5
كوع	1.5	2.5	3.5	5	7	10	15	18	25
انحناء بماسورة بحيث r = d	0.3	0.5	0.7	1	1.5	2	2.5	3.4	4.8
انحناء بماسورة بحيث r = 2d	0.15	0.25	0.3	0.5	0.8	1.5	1.5	2	2.8
تيه	2	3	4	7	10	15	20	25	35
ومخفض قطر من 2d إلى d .	0.2	0.7	1.2	2.0	2.5	3.5	4.0	6	8

مثال ٦ :

عين القطر المناسب لخط الهواء الرئيسى لأحد المسابك إذا علمت أن :

طول الخط 300m ويحتوى على محبس كروى وعدد 10 كوع وعدد 5 تيه ، وكان ضغط التشغيل المقاس 8 bar عند درجة حرارة $30^{\circ}c$ وكان الضغط الجوى المطلق 1 bar ودرجة حرارة الوسط المحيط $20^{\circ}c$ ومعدل استهلاك الأحمال للهواء الحر 360 L/s .

الإجابة :

$$Vt = \frac{360x60}{1000} = 21.6.\ m^3 / min$$

فى البداية نحول معدل استهلاك الأحمال من وحدة L/S إلى وحدة m3 / min ويفرض أن الطول المكافئ للأدوات المستخدمة يكافئ 40% من طول الخط الهوائى لذا فإن الطول الكلى المكافئ يساوى L=300x1.4=420m ويفرض ان الانخفاض المسموح به فى الضغط نتيجة للاحتكاك يساوى 0.1 bar لذلك فإن

$$k = \frac{1000\,\Delta\,p\ (p+1)}{L}$$

$$= \frac{1000 \times 0.1\ (8+1)}{420} = 2.1$$

ومن المنحنى الموضح بالشكل ٦ ـ ١ نجد أن قطر الخط الهوائى عند تدفق 3.2m3 / min ومعامل 2.1 يساوى 100mm .

وللتأكد من أن هذا القطر مناسب نعيد الحسابات مرة أخرى فنعين الطول المكافئ للخط الهوائى ويساوى مجموع الطول الفعلى للخط مضافاً إليه الطول المكافئ للأدوات المستخدمة .

حيث يمكن تعيين الطول المكافئ للأدوات المستخدمة كما يلى :

العنصر	الطول المكافئ
عدد ا محبس	1.5
عدد 10 كوع	10x7
عدد 5 تيه	5x10
الطول المكافئ	121. 5m

أى أن الطول المكافئ للخط الهوائى يساوى

$$L=300 + 121.5 = 421.5m$$

ويلاحظ أنه لا يوجد اختلاف يذكر بين الطول المكافئ للخط الهوائى الفعلى والمفروض سابقاً . لذلك فإن الفرض صحيح والحسابات صحيحة .

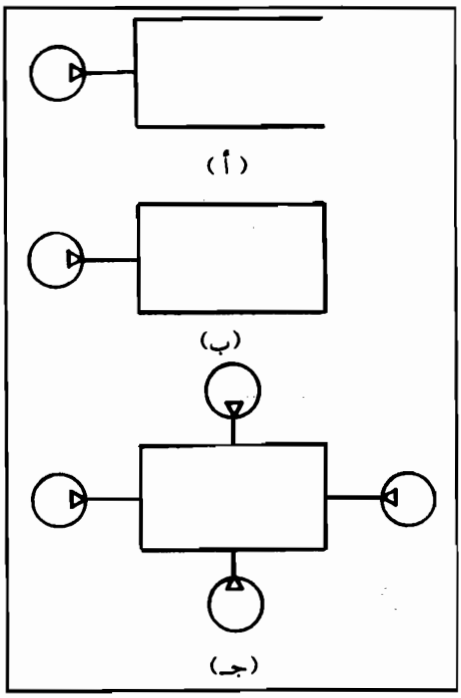
والجدير بالذكر أنه فى الشبكات الهوائية ذات المخارج المتعددة يفترض أن جميع الخطوط الفرعية الخاصة بالأحمال فى نهاية الخط الرئيسى وذلك لتقليل الحسابات اللازمة لتعيين القطر المناسب ؛ علماً بأنه من الممكن استخدام مخفضات أقطار فى الخطوط الرئيسية حيث يقل معدل التدفق فى الخط كلما اقتربنا من نهايته .

وفى الخطوط الهوائية الطويلة يمكن التقليل من فقد الضغط وتحقيق التوزيع المناسب لجميع الأحمال فى آن واحد باستخدام أحد الأنظمة المبينة بالشكل ٦ ـ ٢ وهم :

أ ـ النظام المركزى .

ب ـ النظام الحلقى المركزى .

ج ـ النظام الحلقى الغير المركزى .



الشكل ٦ ـ ٢

٦ ـ ٣ اختيار حجم الخزان المناسب

لتعيين حجم الخزان المناسب تستخدم المعادلة التقريبية التالية :

$$Vtank = \frac{3600\,\dot{V}c}{s\,\Delta p\,k}$$

حيث إن :

Δp	القيمة الفرقية لمفتاح الضغط
$\dot{V}c$	السعة الفعلية للضاغط L/S.
s	عدد مرات تشغيل الضاغط فى الساعة .
k	معامل يعتمد على دورة التشغيل .

ويمكن الحصول على العامل k بدلالة دورة التشغيل كنسبة مئوية وتساوى

$$E\,D\,\% = \frac{\text{الاستهلاك الكلى للأحمال}}{\text{السعة الفعلية للضاغط}} \times 100$$

وذلك من الجدول ٦ – ٢

الجدول ٦ ـ ٢

ED%	50	60	70	80	90
K %	4	4.17	4.76	6.25	11.1

مثال ٧ :

احسب حجم خزان الهواء المناسب لضاغط هوائى سعته الكلية 600 L/s عند ضغط التشغيل 7 bar ، إذا كان عدد مرات التشغيل يساوى 10 مرات فى

الساعة وكانت القيمة الفرقية لمفتاح الضغط 2 bar ؛ علماً بأن الاستهلاك الكلى للأحمال 480 L/S .

الإجابة :

$$ED\ \% = \frac{\text{الاستهلاك الكلي للأحمال}}{\text{السعة الكلية للضاغط}} \times 100$$

$$= \frac{480}{600} \times 100$$

$$= 80$$

ومن الجدول ٦–٢ نجد أن K = 6.25 .

وحيث إن

$$Vtank = \frac{3600\ \dot{V}c}{S\ \Delta P\ K}$$

لذلك فإن

$$= \frac{3600 \times 600}{10.2\ X2X6.25}$$

$$= \frac{17280\ L}{}$$

$$= \frac{17280}{1000} = 17.28\ m^3$$

٦–٤ المعادلات الخاصة بالأسطوانات الهوائية

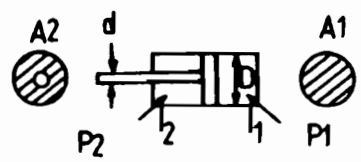
الجدول ٦–٣ يعرض الكميات المختلفة المستخدمة في الأسطوانات .

الجدول ٦–٣

الكمية	الوحدة	الرمـز
حجم الهواء الجوي الحر في شوط الذهاب	L	V_1
حجم الهواء الجوي الحر في شوط العودة	L	V_2
قطر المكبس	mm	D

الكمية	الوحدة	الرمـز
قطر العمود	mm	d
طول الشوط	Cm	L
قوة الدفع في الذهاب	N	F_1
قوة الدفع في العودة	N	F_2
قوة الاحتكاك	N	FR
قوة دفع الياي (الأسطوانات الأحادية)	N	FS
مساحة المكبس	Cm^2	A_1
المساحة الحلقية للمكبس	Cm^2	A_2
الضغط الواقع على المكبس (مقاس)	bar	P_1
الضغط في غرفة عمود المكبس (مقاس)	bar	P_2
عدد أشواط الذهاب (شوط / ثانية)	Str/s	N_1
عدد أشواط العودة (شوط / ثانية)	Str/S	N_2
معدل الاستهلاك الكلي	LiS	$\dot{V}t$

والشكل ٦-٣ يعـرض الكمـيـات المختلفـة الخاصـة بالأسطوانات الهـوائية الثنائية الفعل .



الشكل ٦-٣

أولاً : المعادلات الخاصة بالأسطوانات الأحادية الفعل .

$$F1 = 9.8 \, (P1 \, A1 - FR - FS) \, (N)$$

$$A1 = \frac{\pi \, D^2}{400} \qquad (Cm^2)$$

$$V_1 = \frac{P_1 A_1 L}{1000} \qquad L$$

$$\dot{V}t = N_1 V_1 \qquad L/S$$

ثانياً : المعادلات الخاصة بالأسطوانات ثنائية الفعل .

$$F_1 = 9.8 (P_1 A_1 - P_2 A_2 - FR) \quad (N)$$

$$F_2 = 9.8 (P_2 A_2 - P_1 A_1 - FR) \quad (N)$$

$$A_1 = \frac{\pi D^2}{400} \qquad (Cm^2)$$

$$A_2 = \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} \qquad (Cm^2)$$

$$V_1 = \frac{P_1 A_1 L}{1000} \qquad (L)$$

$$V_2 = \frac{P_2 A_2 L}{1000} \qquad (L)$$

$$\dot{V}t = N_1 V_1 + N_2 V_2 \qquad (L/S)$$

مثال ٨ :

أسطـوانة هوائية قطر مكبسها 5 cm ، وقطر عـمودها 2 cm ، وطول شوطها 50 cm ، وضغط تشغيلها المقاس 6 bar المطلوب :

١ ـ حساب معدل استهلاك الهواء إذا علمت أن عدد الأشواط الفردية للأسطوانة في الثانية هو 6 أشواط .

٢ ـ قوة دفع الأسطوانة في شوط الذهاب والعودة .

$$V_1 = \frac{P_1 A_1 L}{1000}$$

$$= \frac{(6+1) \frac{\pi}{4} \times (5)^2 \times 50}{1000}$$

$$= 6.8 \text{ L}$$

$$V_2 = \frac{P_2 A_2 L}{1000}$$

$$= \frac{(6+1)\ \frac{\pi}{4}\ x\ (5^2 - 2^2)\ x\ 50}{1000}$$

$$= s.8\ L$$

$$\dot{V}t = N_1 V_1 + N_2 V_2$$

وحيث إن عدد الأشواط الفردية 6 .

لذلك فإن

$$N_1 = N_2 = 3$$

$$\dot{V}t = 3 \times 6.8 + 3 \times 5.8 = 37.8\ L / S .$$

$$F_1 = 9.8\ (P_1 A_1 - p_2 A_2 - FR)$$

وحيث إن الهواء الفائض يخرج للهواء الجوى لذلك فإن $P_2=0$ وبفرض أن قوة الاحتكاك تساوى 10 % من قوة الدفع .

لذلك فإن

$$F_1 = 9.8\ (P_1 A_1 - FR)$$

$$= 9.8\ (P_1 A_1 - 0.1\ P_1 A_1)$$

$$= 9.8\ 0.9 \times 6 \times \frac{\pi}{4} \times 5^2$$

$$= 1040\ N$$

وعند العودة فإن

$$F_2 = 9.8\ (P_2 A_2 - P_1 A_1 - FR)$$

لذلك فإن

$$P_1 = 0$$

$$F_2 = 9.8\ (P_2 A_2 - 0.1\ P_2 A_2)$$

$$= 9.8 \times 6 \times \frac{\pi}{4} \times (5^2 - 2^2)$$

$$= 873\ N$$

ويمكن معرفة المواصفات الفنية للأسطوانات ثنائية الفعل ، والخاضعة للمواصفات العالمية Iso بدلالة قوة الذهاب F_1 (N) وقوة العودة F_2 (N) وطول المشوار L (mm) وذلك من الجدول ٦ ـ ٤ .

الجدول ٦ ـ ٤

المواصفات الفنية للأسطوانات الهوائية القياسية الثنائية الفعل

قطر مكبس الأسطوانة (mm)	F1 عند 6 bar(N)	F2 عند 6 bar(N)	حجم وصلات الأسطوانة	قلاووظ عمود المكبس	طول المشوار mm
8	24	16	M5	M4	1:100
10	40	32	M5	M4	1:100
12	55	38	M5	M6	1:200
16	104	87	M5	M6	1:200
20	170	140	G1/8	M8	1:300
25	267	220	G1/8	M10 x1.25	1:500
32	450	380	G1/8	M10 x 1.25	1:2000
40	710	590	G1/4	M12 x 1.25	1:2000
50	1130	940	G1/4	M16 x 1.5	1:2000
63	1800	1610	G3/8	M16 x 1.5	1:2000
80	2900	2610	G3/8	M20 x 1.5	1:2000
100	4550	4260	G1/2	M20 x 1.5	1:2000
125	7360	6880	G1/2	M27 x 2	1:2000
160	12060	11110	G3/4	M36 x 2	1:2000
200	18840	17890	G3/4	M36 x 2	1:2000
250	29450	28280	G1	M42 x 2	1:1100
320	48250	46380	G1	M48 x 2	1:1100

علماً بأن سرعة الأسطوانات الهوائية يجب ألا تتعدى 1000 mm / Sec ، والجدير بالذكر أن M تعنى أن القلاووظ مترى ، G تعنى أن القلاووظ إنجليزى ويمكن معرفة أحجام الأسنان المختلفة ومواصفاتها الفنية من الجدول ٦ ـ ٥ .

الجدول ٦ – ٥

المكافئ الإنجليزى	المكافئ المترى	عدد الأسنان بالبوصة	الخطوة (mm)	القطر الداخلى للقلاووظ (mm) .	القطر الخارجى للقلاووظ (mm) .
	M4		0.7	3.2:3.4	3.8:3.9
	M5		0.8	4.1:4.3	4.8:4.9
	M6		1.0	4.9:5.2	5.7:5.9
	M8		1.25	6.6:6.9	7.7:7.9
G1/8		28		8.5:8.8	9.5:9.7
	M10		1.5	8.4:8.7	9.7:9.9
	M12		1.75	10.1:10.4	11.6:11.9
G1/4		1.9		11.4:11.9	12.9:13.2
G3/8		19		14.9:15.4	16.4:16.7
G1/2		14		18.6:19.2	20.7:20.9
G3/4		14		24.1:24.7	26.2:26.4
G1		11		30.3:30.9	32.9:33.2

والجدول ٦ – ٦ يعطى قيم تقريبية لحجم وصلة الصمام ومعدل تدفقه من الهواء الحر بمعلومية قطر الأسطوانة .

الجدول ٦ – ٦

معدل التدفق L / min	حجم وصلة الصمام	قطر مكبس الأسطوانة (mm)
105	M5	تصل إلى 25
تصل إلى 180	G1/8	25:50
تصل إلى 1140	G1/4	50:100
تصل إلى 3000	G1/2	100:200
تصل إلى 6000	G1 أو G3/4	200:320

مثال ٩ :

عين المواصفات الفنية لأسطوانة ثنائية الفعل طول مشوارها 600 mm وكان الحمل المعرض له عمود الأسطوانة عند الذهاب 1000 N .

الإجابة :

من الجدول ٦ ـ ٤ نجد أن قطر مكبس الأسطوانة 50 mm ، وقوة دفع المكبس عند الذهاب 1130 N ، وعند العودة 940 N عند ضغط 6bar وحجم وصلات الأسطوانة G1/4 وقلاووظ عمود المكبس M 16 X1. 5 أى قطر القلاووظ الخارجى 16 mm وخطوة السنة 1.5 mm .

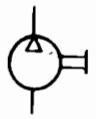
ملحق ـ ١ الوحدات المستخدمة فى النيوماتيك

الجدول التالى يعرض الكميات المختلفة ووحداتها المختلفة ومعامل التحويل من الوحدة الأولى إلى الوحدة الثانية :

الكمية	الوحدة الأولى	الرمز	الوحدة الثانية	الرمز	معامل التحويل
Pressure	Bar	Bar	Atmospher	atm	0,9869
Pressure	Bar	Bar	Kilogram force/ cm^2	kgf/ cm^2	1,0197
Pressure	Bar	Bar	Pound force/Sq. inch (psi)	Ibf/in^2	14,5053
Force	Kilogram force	Kgf	Newton	N	9,8066
Force	Kilogram force	Kgf	pound force	Ibf	2,2045
Weight	Kilogram	Kg	Gramme	g	1000
Weight	Kilogram	Kg	Pound	I b	2,2045
Viscosity	Centistoke	cSt	Engler degree	°E	
Temperature	centigrade	°C	Fahrenheit	°F	
Volume Dis-placement	Cubic centimet-re (10^{-6} m^3)	cm^3	Liter	l	0,001
Volume Dis-placement	centimetre(10^{-4} m^2)	cm^3	Cubic inch (ft^3/ 1728	in^3	0,0610
Length	centimetre(10^{-2} m)	cm	Inch (ft/12)	In	0,3937
Area (Section)	Square centi-metre(10^{-4} m^2)	cm2	Square inch (ft^2/144)	in^2	0,1550
Capacity	Litre	1	Gallon, Uk	Uk gal	0.2199
Capacity	Litre	1	Gallon, Us	Us gal	0,2641
Angle	Degree	·	Radian	rad	0,0174
power	Kilowatt	kW	Horse Power	Hp	1,36
Momentum (torque)	Kilogram force meter	kgfm	Newton metre	Nm	9,8066
Momentum (torque)	Kilogram force meter	kgfm	pound force inch	lbf In	86,7845
Angular Speed	Revolution per minute	Rpm	Radian per sec-ond	rad/ sec	0,1047
Flow	Liter per minute	L/min	Gallon (uk) per minute	(uk) GPM	0,2199
Flow	Liter per minute	L/min	Gallon (uk) per minute	(US) GPM	0,2641

ملحق ـ ٢ الرموز النيوماتيكية

أولاً : الضواغط والمحركات الهوائية :


ضاغط هوائى .

مضخة تغريغ .

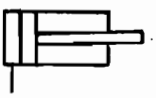
محرك هوائى بسرعة ثابتة يدور فى اتجاه واحد .

محرك هوائى بسرعة ثابتة يدور فى اتجاهين .

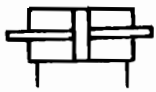
محرك هوائى بسرعة يمكن التحكم فيها ويدور فى اتجاه واحد

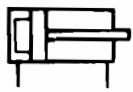
محرك هوائى بسرعة يمكن التحكم فيها ويدور فى اتجاهين .

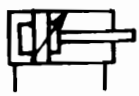
ثانياً : الأسطوانات الهوائية :


أسطوانة أحادية الفعل تعود ذاتياً بفعل حمل خارجى .

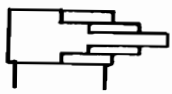
أسطوانة أحادية الفعل تعود ذاتياً بفعل يای إرجاع .

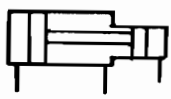

أسطوانة ثنائية الفعل بذراعی دفع .


أسطوانة ثنائية الفعل بمخمد فی اتجاه واحد .


أسطوانة ثنائية الفعل بمخمد حركة متغيرة القيمة فی اتجاهی الحركة .

أسطوانة هوائية دوارة .


أسطوانة تلسكوبية .


أسطوانة تكبير ضغط .

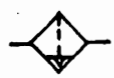
ثالثاً : عناصر ترشيح وتجفيف وتزييت والتحكم فی ضغط الهواء المضغوط

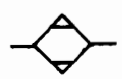
مرشح .

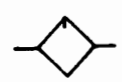
فاصل ماء يدوى .

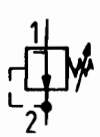
فاصل ماء أوتوماتيكى .

مرشح بفاصل ماء يدوى .

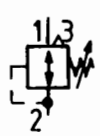

مرشح بفاصل ماء أوتوماتيكى .


مجفف .


مزيتة .

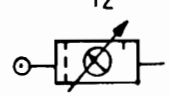


صمام تنظيم ضغط .



صمام تنظيم ضغط بفتحة تصريف .

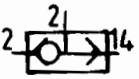
صمام تتابعى .


وحدة خدمة .

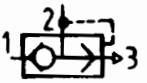
رابعاً : الصمامات اللارجعية والصمامات الخانقة :

صمام لارجعى حر .

صمام لارجعى بياى .



صمام ترددى (بوابة أو) .

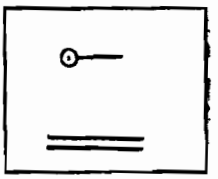


صمام تصريف سريع .

صمام خانق قابل للمعايرة .

صمام خانق لارجعى .

خامساً : خطوط الضغط والوصلات الميكانيكية والهوائية :


مصدر ضغط .

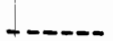
عمود الإدارة .

وصلة ميكانيكية .

خط ضغط الهواء .

خط العادم.

خط التحكم .



وصلة هواء مرنة .

تقاطع خطوط ضغط بدون توصيل .

تقاطع خطوط هواء مضغوط مع التوصيل .

وصلة اختبار ضغط مغلقة .

وصلة اختبار ضغط موصلة مع خط عداد ضغط .

وصلة سريعة مفكوكة .

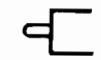
وصلة سريعة مجمعة .

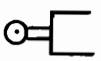
سادساً : وسائل تشغيل الصمامات الاتجاهية :

ذراع تشغيل يعمل باليد .

ضاغط يعمل باليد .

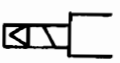
بدال يعمل بالقدم .

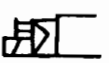
 خابور يعمل بالدفع بكامة متحركة .

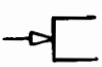
 بكرة تعمل بالدفع بكامة متحركة .

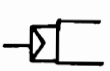
يای إرجاع .

ملف كهربی .

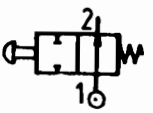
 ملف كهربی سابق التحكم .

 ملف كهربی بوسيلة يدوية سابقة التحكم .

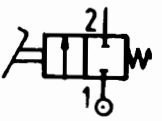
 إشارة ضغط .

 إشارة ضغط سابقة التحكم .

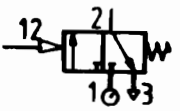
سابعاً : الصمامات الاتجاهية :



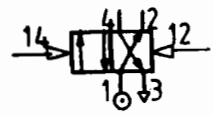
صمام اتجاهی 2/2 بضاغط ويای وبوضع ابتدائی مفتوح.



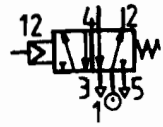
صمام اتجاهی 2/2 ببدال ويای وبوضع ابتدائی مغلق .



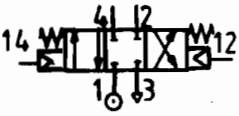
صمام اتجاهی 3/2 بإشارة ضغط ويای .



صمام اتجاهى 4/2 بإشارتى ضغط .



صمام اتجاهى 5/2 بإشارة ضغط وياى إرجاع (سابق التحكم) .



صمام اتجاهى4/3 بإشارتى ضغط وياى إرجاع (سابق التحكم)

ملحق ٣ المصطلحات الفنية النيوماتيكية

الضغط المطلق : ويساوى الضغط المقاس مضافاً إليه الضغط الجوى .	Absolute Pressure .
درجة الحرارة المطلقة : وتساوى درجة الحرارة المقاسة منسوبة إلى الصفر المطلق والذى يساوى 273°k .	Absolute Temperature .
عنصر الفعل : وهو جهاز يقوم بتحويل طاقة الضغط لطاقة حركة مثل الأسطوانات الهوائية .	Actuator
مبرد الإعادة : ويقوم بتبريد الهواء المضغوط ويوضع عادة بعد الضاغط	After cooller
مجفف الهواء المضغوط .	Air dryer .
خزان الهواء : المضغوط الذى يمد الدائرة الهوائية بالهواء المضغوط .	Air reciever .
محرك هوائى .	Air motor .
صمام تصريف ذاتى للماء المتكاثف فى الأنظمة الهوائية .	Automatic drain valve .
تحكم ذاتى (أتوماتيكى) .	Automatic Control .
قانون بويل : وينص على أن حجم أى غاز جاف يتناسب عكسياً مع الضغط عند ثبات درجة الحرارة .	Boyle's Law.
ضبط أى جهاز قياس للحصول على قراءة صحيحة للكمية المقاسة .	Calibrate .
تدريج درجة الحرارة باعتبار أن نقطة تجمد الماء صفر ، ونقطة غليان الماء هى 100 وهذا التدريج مقسم إلى 100 قسم متساوية كل قسم يسمى درجة	Centigrade .

قانون تشارلز وينص على أن حجم الغاز الجاف يتناسب طردياً مع درجة الحرارة عند ثبات الضغط .	Charle's Law .
صمام لارجعى يسمح بمرور تدفق الهواء المضغوط فى اتجاه واحد فقط.	Check Valve .
ويطلق على الهواء الذى ضغطه أعلى من الضغط الجوى بالهواء المضغوط .	Compressed air .
الضاغط : ويقوم برفع ضغط الغازات على سبيل المثال الضاغط الهوائى .	Compressor .
التكثيف وهو التغير من الحالة الغازية للحالة السائلة .	Condensation .
درجة الحرارة التى عندها يكون الهواء مشبعاً تماماً ببخار الماء .	Dew Point .
صمام اتجاهى : يستخدم فى التحكم فى اتجاه تدفق الهواء المضغوط .	Directional Valve .
تشغيل مباشر بالهواء المضغوط .	Direct Pneumatic operation .
مخطط الإزاحة .	Displacement Diagram .
أسطوانة ثنائية افعل تعطى قوة دفع فى شوطيها (الذهاب والعودة) .	Double acting cylinder .
أسطوانة ثنائية الفعل بمخمد للحركة فى نهاية شوط الذهاب والعودة .	Double acting cylinder with cushioniog .

Efficiency	الكفاءة وهى : النسبة بين القدرة الخارجة للقدرة الداخلة كنسبة مئوية.
Gravity Force	قوة الجاذبية الأرضية التي تجذب الأجسام لمركز الأرض .
Horsepower	وحدة قياس القدرة وتسمى : حصان ميكانيكي.
Humidity	الرطوبة وهى وزن بخار الماء في المتر المكعب من الهواء .
Idle return roller	البكرة الخاملة : وتستخدم لتشغيل الصمامات الاتجاهية وتعود لوضعها الطبيعي بمجرد الضغط عليها بجسم متحرك .
Indirect Pneumatic Operation	تشغيل نيوماتيكي مسبق .
Inter Cooler	مبرد بيني : ويقوم بتبريد الهواء المضغوط بين مراحل الضغط المختلفة للضواغط متعددة المراحل .
Kelvin Scale	تدريج كلفن : باعتبار أن نقطة تجمد الماء تساوي 273 ، ونقطة غليان الماء تساوي 373 وكل قسم يسمى درجة .
Kinetic Energy	طاقة الحركة .
Lever Operated	التشغيل بذراع تشغيل .
Logicgate	بوابة منطقية .
Lubricator	مزيت : يقوم بإضافة زيت للهواء المضغوط .
Manual Control	تحكم يدوي .
Mass Production	طريقة الإنتاج لعدد معين من شغلات متماثلة في فترة زمنية محددة .

Meter - In	تنظيم تدفق الهواء الداخل لعناصر الفعل.
Meter - Out	تنظيم تدفق الهواء الخارج من عناصر الفعل .
Muffler (Silencer)	كاتم صوت يقوم بتقليل صوت الضوضاء الناجمة عن خروج الهواء الفائض .
Passage, Pneumatic	مسارات الهواء المضغوط داخل العناصر الهوائية .
Pilot Valve	صمام إشارة: يتحكم في صمام آخر رئيسى.
Pipe	ماسورة .
Piston Type Cylinder	أسطوانة عمود مكبسها له مساحة مقطع أقل من نصف مساحة مقطع المكبس .
Pneumatic	علم يدرس خواص الهواء المضغوط .
Pneumatic Control Panel	مجموعة من العناصر الهيدروليكية مثبتة داخل لوحة تحكم .
Pneumatic Counter	عداد هوائي .
Pneumatic Timer	مؤقت زمني هوائي .
Port	فتحة دخول أو خروج الهواء المضغوط في العناصر الهوائية .
Power	القدرة .
Pressure	الضغط .
Pressure Differential	فرق الضغط بين نقطتين في الدائرة الهوائية .
Pressure Seals	وسائل منع التسريب عند زيادة الضغط .
Pressure gauge	جهاز قياس الضغط .
Pressure Regulator Valve	صمام تنظيم الضغط للتحكم في ضغط الدائرة .

Push Button	ضاغط تشغيل يعمل باليد عند الضغط عليه .
Prime Mover	مصدر القدرة الميكانيكية المستخدم لإدارة الضاغط الهوائي .
Quick Couplig	وصلة سريعة لربط خراطيم الهواء المضغوط المرنة معاً في لحظات .
Quick Exhaust Valve	صمام التصريف السريع ؛ ويستخدم لزيادة سرعة الأسطوانات .
Ram Type cylinder	أسطوانة لها عمود مكبس مساحة مقطعه أكبر من نصف مساحة المكبس .
Reciprocating Compressor	ضاغط ترددي .
Relief Valve (Safty Valve)	صمام تصريف الضغط الزائد (صمام أمان) .
Restrictor	صمام خانق ويقوم بتقليل معدل التدفق .
Roller Operated	التشغيل ببكرة تدفع بواسطة الأجسام المتحركة .
Rotaty Cylinder	أسطوانة دوارة وهذه الأسطوانة تعطي حركة زاوية لا تزيد عن 360° في الاتجاهين.
Service Life	الفترة الزمنية التي يعمل فيها العنصر الهوائي بعدها يصبح أداؤه غير مقبول .
Service Unit	وحدة الخدمة وتوضع عند الأحمال وتقوم بتجفيف وترشيح وتزييت الهواء المضغوط وكذلك تنظيم ضغطه .
Sequence Valve	صمام تتابعي يسمح بمرور الهواء المضغوط عند وصول ضغطه للضغط المعاير عليه الصمام .

Shuttle Valve	صـــمـــام ترددي وهو يكافئ بوابة أو المنطقية.
Shut Off Valve	محبس يدوي للفتح والغلق .
Stepper Sequencer	عناصر تحكم هوائية تستخدم للتحكم الذاتي في العمليات المتعاقبة الهوائية .
Single - acting Cylinder	أسطوانة أحادية الفعل تعطي قوة دفع في اتجاه الذهاب فقط .
Solenoid Operation	التشغيل بملف كهربي .
Spring Return	العودة بياي ميكانيكي .
Step Diagram	مخطط الإزاحة .
Surge	ارتفاع عابر للضغط .
VaCuum	انخفاض الضغط عن الضغط الجوي .
Vapour	بخار الماء .
Volume Plow Rate	حجم الهواء المار عند مقطع معين في الخط الهوائي في زمن معين بوحدة L/S .
Exhaust	العادم وهو الهواء الذي يخرج من الدائرة الهوائية للهواء الجوي .
Fahrenheit	تدريج قياس درجة الحرارة باعتبار أن نقطة تجمد الماء 32، ونقطة غليان الماء 212 مقسم إلى 180 قسماً متساوٍ وكل قسم يسمى درجة .
Feedback	التغذية المرتدة وهو نقل الطاقة من مخرج الجهاز لمدخله .
Filter (Strainer)	مرشح يقوم بتنقية الهواء المضغوط من الأتربة العالقة به .
Filter With Water Separator	مرشح مزود بفاصل للماء العالق بالهواء.

Flow Control Valve	صمام يتحكم في معدل تدفق الهواء المضغوط .
Flow Meter	جهاز قياس معدل تدفق الموائع(غاز ـ سائل) .
Fluid	مائع وهو سائل أو غاز .
Force	القوة وتقوم بتغيير حالة الأجسام من السكون للحركة .
Free Flow	تدفق بدون أي معوقات وذلك بإهمال المؤثرات الخارجية مثل الاحتكاك .
Friction	هو احتكاك جسم بآخر على سبيل المثال احتكاك الغاز عند مروره داخل الأنابيب بالجدران الداخلية لها .
Friction Pressure Drop	هو مقدار النقص في ضغط الهواء المضغوط المتدفق في الأنابيب نتيجة للاحتكاك مع الجدران .
Gage Pressure	الضغط المقاس منسوباً للضغط الجوي .
Gasket	أحد أنواع موانع التسريب وتسمى بجوان ويوضع بين الأجسام الثابتة .

Refrences : المراجع

1 - Stewart, Horryl . Hydraulic and Pneumatic Power for Production . Newyork : Industrial Press.

2 - Compressd Air Hand book . Newyork : Compressed Air and gas Institute .

3 - Hydraulics and Pneumatics Magazine .

4 - Harry L. stewart . Pneumatics and Hydraulics . Newyork : Macmillan Publishing Co .

5 - Pneumatic hand book . England : Trade & Technical Press LTD.

6 - Werner Deppert / kurt stoll . Pnumatic application . Germany : Vogel - Verlag .

7 - Compressed Air pocket Guide . England : domnick hunter .

8 - J.P. Hasebrink , R. Kobler . Fundamentals of Pneumatic Contorl Engineering .

9 - H. Meixner / R. Kobler . Maintenance of Pneumatic equipment . Germany . Festo Didactic .

10- Introduction to pneumatics . Germany : Festo didactic .

11- Bruce E . Mc Cord . Designing Pneumatic Control CirCuits . Newyork : Marcel Dekker, Inc .

12- FluidPower . U.S.A : Navy training Publications Center .

13 - Werner Deppert / kurt stool . Pneumatic Control . Germany. Verlag .

14 - Frant Yeaple . Fluid Power Design Hand book . Newyork : Marcel Dekker, Inc .

15 - J . P . Hasebrink, R. kobler . Fundamental of Pnuematic Control Engineering . Germany Festo Didactic .