الباب الثانى

العناصر الإلكتروهيدروليكية

العناصر الإلكتروهيدروليكية

٢ / ١ - الصمامات الاتجاهية Direction control valves :

تصمم الصمامات الاتجاهية لتوجيه السائل الهيدروليكى عند الوقت اللازم بالطريقة التى تسمح بأداء معين مثل إدارة محرك هيدروليكى أو حركة أسطوانة للأمام أو للخلف وهكذا. ويسمى الصمام الاتجاهى تبعًا لعدد فتحاته وكذلك تبعًا لعدد مواضع تشغيله، **وفيما يلى رموز ثلاثة أنواع مختلفة من الصمامات الاتجاهية :**

3 2 1

حيث يرمز للصمام بمستطيل مقسم لعدد من المربعات كل مربع يسمى بوضع تشغيل ويوضع على محيط كل مربع فتحات تشغيل الصمام، ويحدد بداخل كل وضع تشغيل (مربع) مسارات التدفق فى هذا الوضع بمجموعة من الأسهم، وعادة يوضع بجوار فتحات الصمام فى الوضع الابتدائى للصمام أحرف تدل على وظيفة كل فتحة.

- فالرمز 1 لصمام بوضعين تشغيل (مربعين) وبثلاث فتحات وهم: P,A,T لذلك يسمى هذا الصمام بصمام اتجاهى 3/2 ومسارات التدفق فى الوضع الأيمن للصمام هى: A→T والفتحة P مغلقة، أما فى الوضع الأيسر فنجد أن مسارات التدفق للصمام هى P→A والفتحة T مغلقة.

- الرمز 2 لصمام بوضعى تشغيل (مربعين) وبأربع فتحات وهى A,B,P,T لذلك يسمى بصمام اتجاهى 4/2 ومسارات التدفق فى الوضع الأيمن للصمام هى: A→T, P→B ومسارات التدفق فى الوضع الأيسر للصمام هى B→T, P→A.

- الرمز 3 لصمام بثلاثة مواضع تشغيل (ثلاثة مربعات) وبأربع فتحات وهى: A,B,P,T لذلك يسمى بصمام اتجاهى 4/3 وجميع فتحاته فى الوضع المركزى

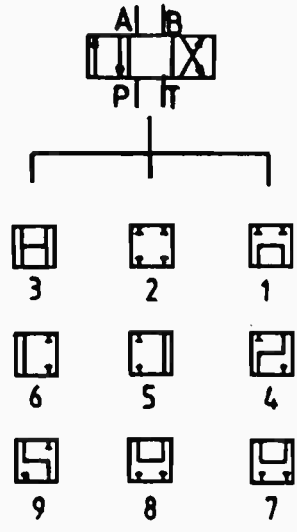
تكون مغلقة ومسارات التدفق فى الوضع الأيمن هى : A→ T, P→ B ومسارات التدفق فى الوضع الأيسر هى : B→ T, P→ A .

ملاحظات :

١- الفتحة P تسمى بفتحة الضغط، وتوصل بوحدة القدرة الهيدروليكية أو بخط الضغط والفتحة T تسمى بفتحة الراجع بالخزان، والفتحات A,B تسمى بفتحات المستخدم، وتوصل بفتحات الأسطوانات أو المحركات .

٢- لكل صمام اتجاهى وضع ابتدائى يعمل عليه الصمام فى أوقات التوقف ووضع ثانوى أو أكثر. وحتى يمكن معرفة اتجاه تدفق السائل الهيدروليكى فى أى وضع تشغيل خلاف الوضع الابتدائى (وهو الوضع المدون عليه رموز الفتحات) تنقل نفس رموز الفتحات من الوضع الابتدائى بنفس الترتيب للأوضاع الثانوية .

٣- تقوم الشركات المصنعة للصمامات الاتجاهية بعرض تصميمات مختلفة للصمامات الاتجاهية 4/3 تختلف فى الوضع المركزى (التعادل) وفيما يلى الأشكال المختلفة لوضع التعادل لهذه الصمامات .



حيث إن :

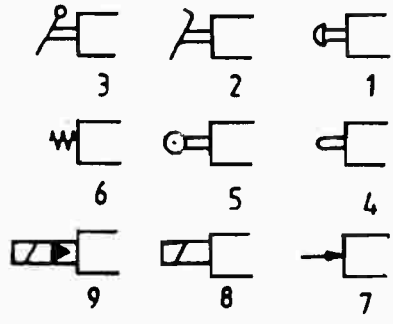
وضع التعادل الدوار (الرمز 1) يساعد على السماح لخرج المضخة بالعودة مباشرة للخزان وقت الراحة وبالتالى يمنع ارتفاع درجة حرارة الزيت .

ووضع التعادل المغلق (الرمز 2)، يستخدم عند توصيل أكثر من صمام على التوازى مع وحدة قدرة واحدة وذلك لتشغيل أكثر من مستخدم، ويستخدم هذا الوضع أيضاً عند الرغبة لإيقاف المستخدم (أسطوانة أو محرك) فى أى لحظة عند وضع معين.

والوضع المفتوح (الرمز 3)، يستخدم للسماح لخرج المضخة بالعودة للخزان وقت الراحة، وكذلك لجعل عنصر الفعل (أسطوانة أو محرك) حر الحركة فى هذا الوضع.

أما باقى الأوضاع المبينة فلكل منها استخدام، وسوف نتعرض لأكثر هذه الأوضاع فيما بعد.

٤- يوضع على جانبى المستطيل المعبر على الصمام وسائل تشغيل الصمام والتى تقوم بنقل الصمام من وضع تشغيل لآخر، وهناك أنواع مختلفة لهذه الوسائل رموزها كما يلى:



ووسائل تشغيل الصمامات الاتجاهية كما يلى:

- تشغيل الصمام بضاغط يدوى (الرمز 1).
- تشغيل الصمام ببدال يعمل بالقدم (الرمز 2).
- تشغيل الصمام بذراع تشغيل له عدة مواضع (الرمز 3).
- تشغيل الصمام بخابور من الصلب للعمل كصمام نهاية مشوار (الرمز 4).
- تشغيل الصمام ببكرة دفع للعمل كصمام نهاية مشوار (الرمز 5).

- تشغيل الصمام بياى للعودة للوضع الابتدائى (الرمز 6) .
- تشغيل الصمام بإشارة ضغط هيدروليكية (الرمز 7) .
- تشغيل الصمام بملف كهربى (الرمز 8) .
- تشغيل الصمام بملف كهربى سابق التحكم (الرمز 9) .

وسوف نتناول فى الفقرات التالية البوبينات الكهربية المستخدمة فى تشغيل الصمامات الاتجاهية، وكذلك الأنواع المختلفة للصمامات الاتجاهية حسب التصميم .

٢ / ١ / ١ - البوبينات الكهربية Electrical solenoids :

تتكون البوبينة الكهربية بصفة عامة من قلب مغناطيسى وملف كهربى، ويمكن الحصول على قوة دفع وجذب من البوبينات الكهربية، وهناك نوعان من البوبينات الكهربية أحدهما يعمل بالتيار المتردد والآخر يعمل بالتيار المستمر :

أولاً : بوبينات التيار المتغير :

إن بوبينات التيار المتغير ذات التركيب المتشابه لبوبينات التيار المستمر تسحب تياراً كبيراً من المصدر الكهربى يؤدى لاحتراقها إذا وصلت بالمصدر الكهربى لفترة زمنية أكبر من 45 ثانية نتيجة للارتفاع المفرط فى درجة حرارتها وللتغلب على هذه المشكلة تم تصميم قلبها على شكل T، وبالتالى تصبح التيارات الدوامية المتولدة فى القلب المغناطيسى داخل مسارات مغلقة مما يقلل من التيار المسحوب ويمنع احتراق البوبينة مهما طالت فترة توصيلها بالمصدر . ومن أهم أسباب تلف بوبينات التيار المتغير ما يلى :

١- وجود مشكلة ميكانيكية فى الصمام الاتجاهى تمنع حركة القلب المغناطيسى للبوبينة، وأهم أسباب المشاكل الميكانيكية فى الصمامات الاتجاهية : هو وجود شوائب فى الزيت نتيجة لتحلل الزيت الكيميائى .

٢- وصول تيار كهربى لبوبينتى الصمام الاتجاهى ذى البوبينتين فى لحظة واحدة .

٣- وصول عدة مرات تشغيل البوبينات إلى حوالى ١٥٠٠٠ مرة تشغيل تقريباً .

ثانيًا : بوبينات التيار المستمر :

لها تصميم أقوى بكثير فى التركيب من بوبينات التيار المتغير ولها المميزات التالية :

١- لا تحترق عند توقف القلب المغناطيسى فى منتصف الشوط نتيجة لمشكلة ميكانيكية .

٢- لا تحترق عند وصول تيار كهربى لبوبينتى الصمام الاتجاهى ثنائى البوبينة فى آن واحد .

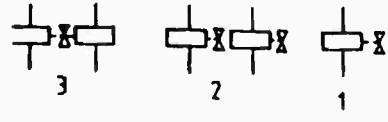
٣- يتراوح عمر بوبينات التيار المستمر 25000 مرة تشغيل تقريبًا . ولكن هناك عيوبًا لهذه البوبينات أدت لتحديد استخداماتها وهى كما يلى :

أ- مكلفة فى التصميم .

ب- تحتاج لمصدر كهربى خاص .

جـ- زمن استجاباتها كبير بالمقارنة بزمن استجابة بوبينات التيار المتغير والشكل (٢-١) يعرض قطاعًا فى بوبينة تيار متغير (أ) وقطاع فى بوبينة تيار مستمر (ب) .

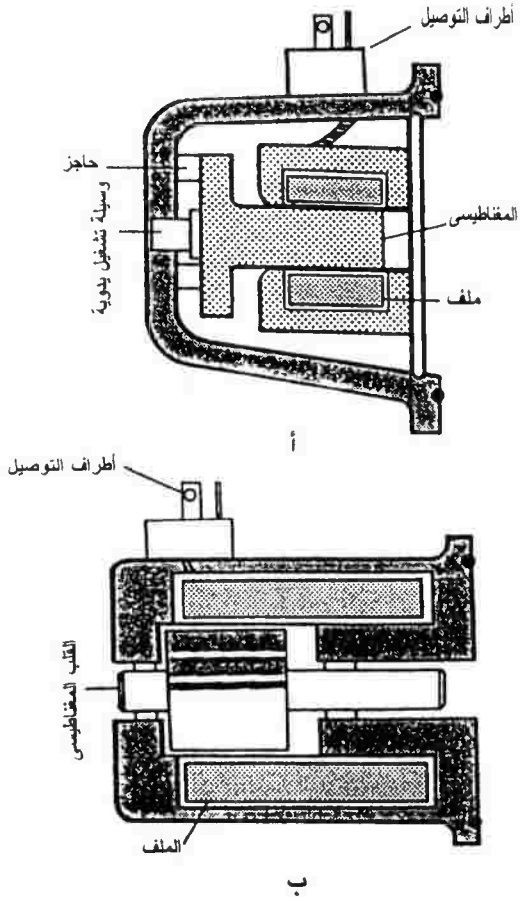
وفيما يلى رموز بوبينات الصمامات الاتجاهية :



حيث إن :

الرمز 1 لبوبينة صمام بملف واحد

الرمز 2 والرمز 3 لبوبينة صمام بملفين .



شكل (٢-١)

٢ / ١ / ٢ - أنواع الصمامات الاتجاهية حسب التصميم:

تنقسم الصمامات الاتجاهية حسب تصميمها إلى:

أ- صمامات اتجاهية قفازة Poppet Valves.

ب- صمامات اتجاهية منزلقة Sliding Spool Valves.

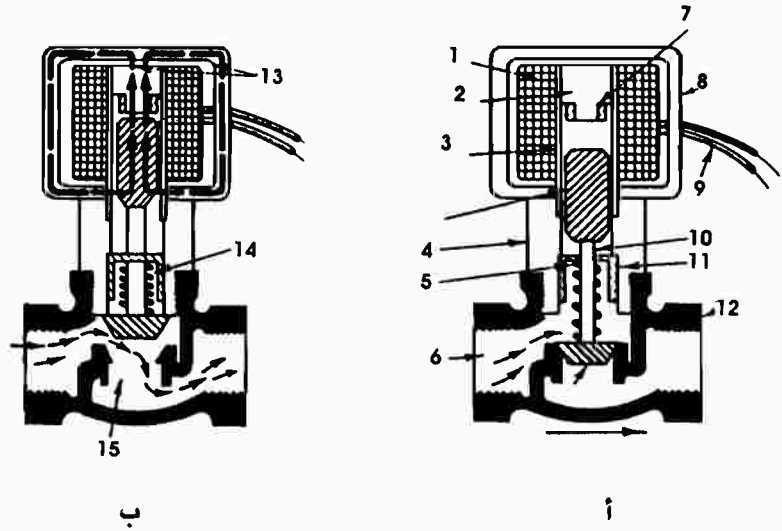
أولاً: الصمامات الاتجاهية القفازة:

تفضل الصمامات الاتجاهية القفازة فى الدوائر ذات التدفقات الكبيرة والتى تحتاج

لسرعة استجابة عالية عند الفتح والغلق، وعادة فإن الصمامات القفازة تكون صمامات 3/2 أو صمامات 2/2، وتتميز هذه الصمامات بخلوها من التسربات وطول أعمارها وعدم حاجاتها للصيانة، ويعاب عليها كبر أحجامها وعدم تنوع تصميماتها وذلك لطبيعة عملها والشكل (٢-٢) يعرض قطاعين لصمام قفاز ٢-٢ بملف وياى **أحدهما** فى الوضع الابتدائى (أ) **والثانى** فى وضع التشغيل أى عند وصول تيار كهربى لملفه (ب).

حيث إن :

ملف كهربى	1	جسم الملف	8
القلب المغناطيسى الثابت	2	أطراف الملف الكهربى	9
أنبوبة يوضع بها القلب المتحرك	3	عمود رفع	10
القلب المغناطيسى المتحرك	4	غلاف ياى الإرجاع	11
غطاء	5	جسم الصمام	12
ياى إرجاع	6	مسار الفيض المغناطيسى	13
ملف كهربى مظلل	7	ياى الإرجاع (مضغوط)	14
		فوهة خنق	15



ب أ

شكل (٢-٢)

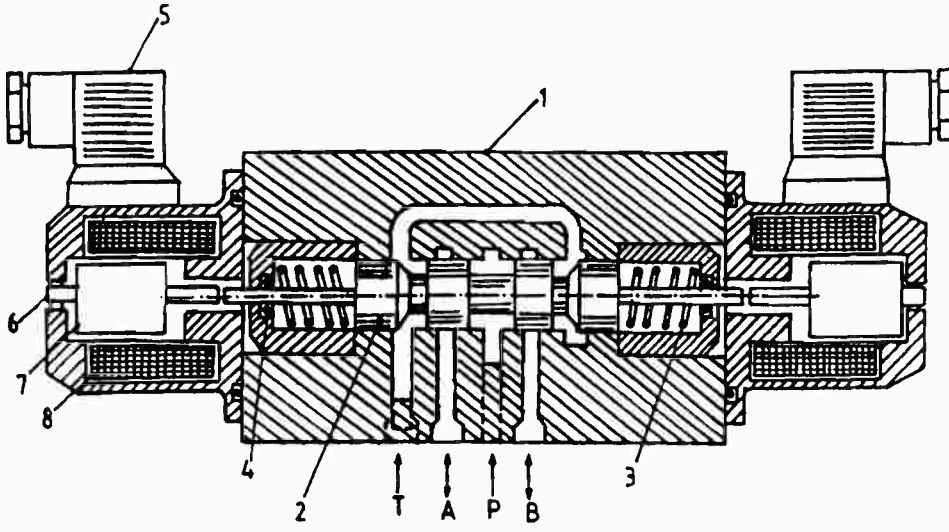
ثانيًا : الصمامات المنزلقة :

تعد الصمامات المنزلقة هى أكثر الصمامات الاتجاهية انتشاراً لتصميماتها المتنوعة، ولكن يعاب عليها حدوث تسربات بها عند أوضاع التشغيل ذات الفتحات المغلقة وذلك نتيجة للخلوصات الموجودة بين العنصر المنزلق للصمام وجسم الصمام والتى تصل إلى (5:15 µm).

والشكل (٢ - ٣) يعرض قطاعًا فى صمام اتجاهى منزلق 4/3 بملفين كهربيين وهو فى الوضع المركزى **حيث إن :**

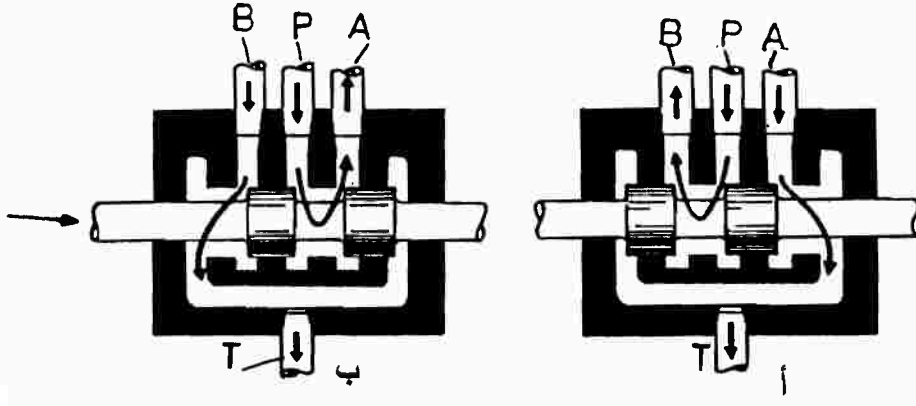
جسم الصمام	1
العنصر المنزلق	2
ياى إرجاع العنصر المنزلق للوضع المركزى	3
حلقة لمنع التسريب	4
مخرج أطراف توصيل التيار الكهربى للبوبينة	5
وسيلة تشغيل يدوية	6
القلب المغناطيسى	7
الملف الكهربى	8

وفى الوضع المركزى للصمام تكون جميع فتحات الصمام مغلقة، وعند وصول تيار كهربى للبوبينة اليسرى يتحرك القلب المغناطيسى للبوبينة اليسرى جهة اليمين دافعًا معه العنصر المنزلق فتفتح المسارات A→T, P→B وبمجرد انقطاع التيار الكهربى عن البوبينة اليسرى يقوم الياى الأيمن بإعادة العنصر المنزلق للوضع المركزى، وعند وصول تيار كهربى للبوبينة يتحرك القلب المغناطيسى للبوبينة جهة اليسار دافعًا معه العنصر المنزلق فتفتح المسارات B→T, P→A وبمجرد انقطاع التيار الكهربى عن البوبينة اليمنى يعود العنصر المنزلق لوضعه المركزى بفعل الياى الأيسر وتعود جميع فتحات الصمام مغلقة مرة أخرى.



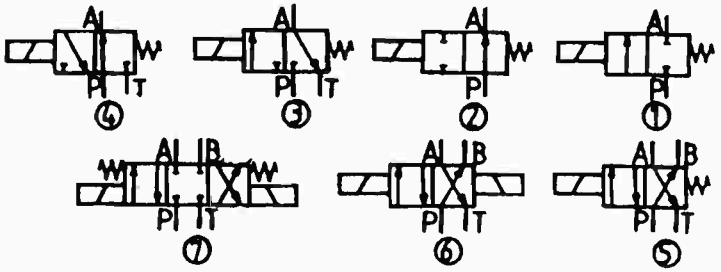
شكل (٢-٣)

والشكل (٢-٤) يوضح نظرية تشغيل الصمامات المنزلقة، حيث يعرض قطاعين لضمام 4/2 فى الوضع الطبيعى (أ) ووضع التشغيل (ب) .



شكل (٢-٤)

فـفى الشكل (أ) فـإن مـسـارات تدفق الصـمـام تكون A→ T, P→B . وفى الشكل (ب) فإن مسارات تدفق الصمام تكون B→T, P→A وفيما يلى رموز الأنواع المختلفة للصمامات الاتجاهية المباشرة .



حيث إن :

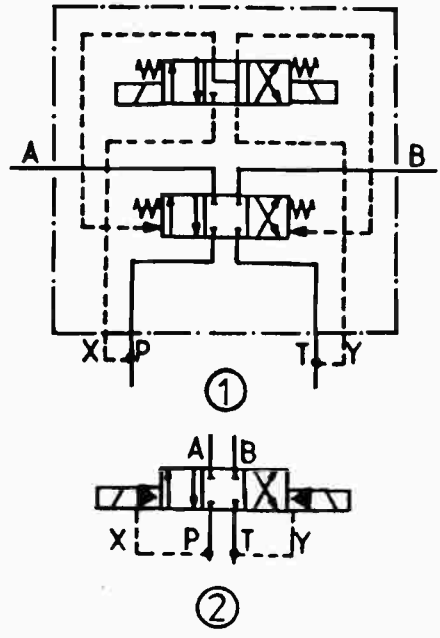
- الرمز 1 لصمام 2/2 بوضع ابتدائى مغلق بملف وياى .
- الرمز 1 لصمام 2/2 بوضع ابتدائى مفتوح بملف وياى .
- الرمز 3 لصمام 3/2 بوضع ابتدائى مغلق بملف وياى .
- الرمز 4 لصمام 3/2 بوضع ابتدائى مفتوح بملف وياى .
- الرمز 5 لصمام 4/2 بملف وياى .
- الرمز 6 لصمام 4/2 بملفين كهربيين .
- الرمز 7 لصمام 4/3 بملفين ويايين .

وحتى يعمل الصمام الإلكتروهيدروليكى (أى الصمام الاتجاهى ذو الملفات الكهربية) يجب أن تكون قوة جذب ودفع البوبينة أكبر من مجموع القوى الآتية :

- قوى الاحتكاك بين المنزلق وجسم الصمام وتزداد بزيادة حجم المنزلق .
- القصور الذاتى للمنزلق والذى يزداد بزيادة حجم المنزلق .
- قوة دفع ياى الإرجاع إن وجد .
- القوة اللازمة لتحريك العنصر المنزلق ضد ضغط الزيت الواقع عليه، وتزداد هذه القوة بزيادة الضغط وزيادة مساحة فتحات الصمام .

ومن هذا يتضح أنه كلما ازداد حجم الصمام ازداد حجم المنزلق ازدادت حجم البوبينة الكهربية للحصول على قوة جذب ودفع كبيرة، وهذا بالطبع غير عملى لذلك فإن الصمامات الهيدروليكية ذات التدفقات الكبيرة تكون سابقة التحكم،

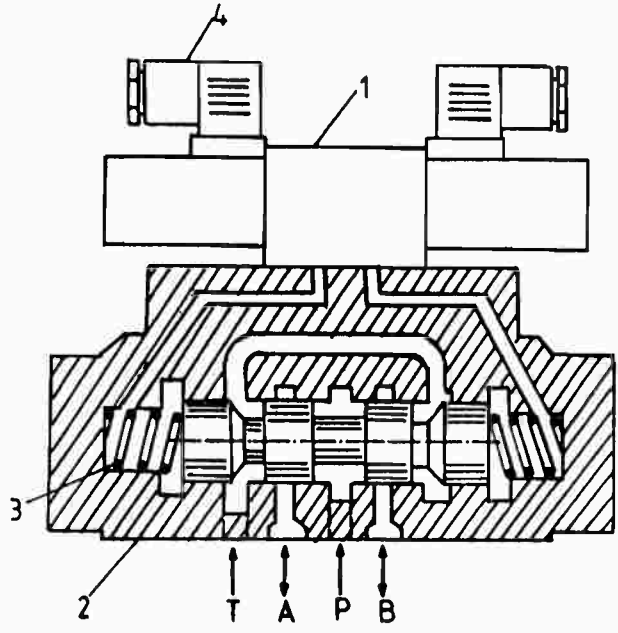
حيث تحتوى الصمامات سابقة التحكم بداخلها على صمامين **الأول**: يسمى صمام الإشارة الهيدروليكية، وهو صمام صغير الحجم ويتم تحريك العنصر المنزلق له بواسطة ملفات كهربية صغيرة أما الصمام **الثانى**: فيسمى الصمام الرئيسى وله حجم يتناسب مع التدفق المطلوب ويتم التحكم فى تحريك العنصر المنزلق الخاص به بواسطة إشارتين هيدروليكيتين قادمتين من مخارج الخدمة لصمام الإشارة، ويرجع انتشار هذا التصميم لإمكانية التحكم فى هذه الصمامات الكبيرة بتيارات صغيرة لصغر حجم البوبينات الكهربية المستخدمة وفيما يلى الرمز المفصل 1 والمختصر 2 لصمام 4/3 سابق التحكم يعمل بملفين كهربيين ويايى إرجاع.



والشكل (٢ – ٥) يعرض قطاعا فى صمام اتجاهى سابق التحكم 4/3 بملفين ويايين.

حيث إن :

صمام التحكم المنزلق	1
الصمام الرئيسى	2
يای إرجاع	3
مخرج أطراف توصيل البوبينة	4



شكل (٢ – ٥)

٢ / ٢ – الصمامات التناسبية Proportional Valves :

تحتوى الصمامات التناسبية على بوبينات كهربية لها قلب مغناطيسى متحرك بعدد لانهائى من المواضع تبعا لقيمة الكمية الكهربية الداخلة سواء

كانت تياراً أو جهداً، وتستخدم الصمامات التناسبية كصمامات تحكم فى التدفق، أو تحكم فى الضغط، أو كصمامات اتجاهية، وتستخدم بعض الدوائر الإلكترونية للتحكم فى الصمامات التناسبية لتحسين أدائها، ولزيادة اتساع مدى التشغيل لها.

وتقوم الشركة المصنعة للصمامات التناسبية بإنتاج طرازات مختلفة من المنظمات الإلكترونية التى تستخدم فى الحكم فى الصمامات التناسبية.

وكما هو الحال فى الصمامات التقليدية فإن الصمامات التناسبية تنقسم إلى نوعين حسب نظرية تشغيلها كما يلى:

١ – صمامات تناسبية مباشرة.

٢ – صمامات تناسبية سابقة التحكم.

وتشبه البوبينات الكهربية المستخدمة فى الصمامات التناسبية لحد كبير البوبينات الكهربية المستمرة المعروضة بالشكل (٢–١) ب.

ولكن هناك نوعين من البوبينات الكهربية للصمامات التناسبية حسب طول شوط القلب المغناطيسى كما يلى:

١ – بوبينة كهربية لها قلب مغناطيسى متحرك بشوط قصير.

٢ – بوبينة كهربية لها قلب مغناطيسى متحرك بشوط طويل.

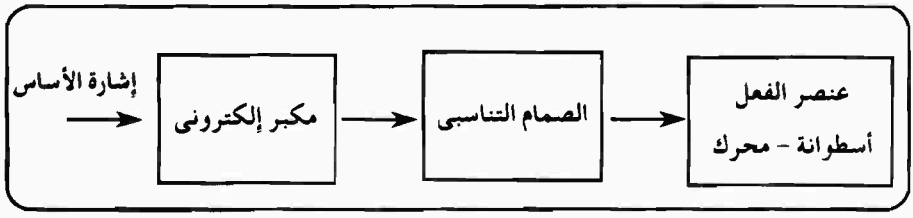
ويستخدم النوع الأول عادة مع الصمامات التناسبية سابقة التحكم، بينما يستخدم النوع الثانى مع الصمامات التناسبية المباشرة.

٢ / ٢ / ١ – أنواع النظم العامة بالصمامات التناسبية.

يمكن تقسيم النظم العامة بالصمامات التناسبية إلى ثلاثة أنواع مختلفة:

١ – نظام الدائرة المفتوحة Open - Loop system:

والشكل (٢ – ٦) يعرض المخطط البلوكى لهذا النظام.

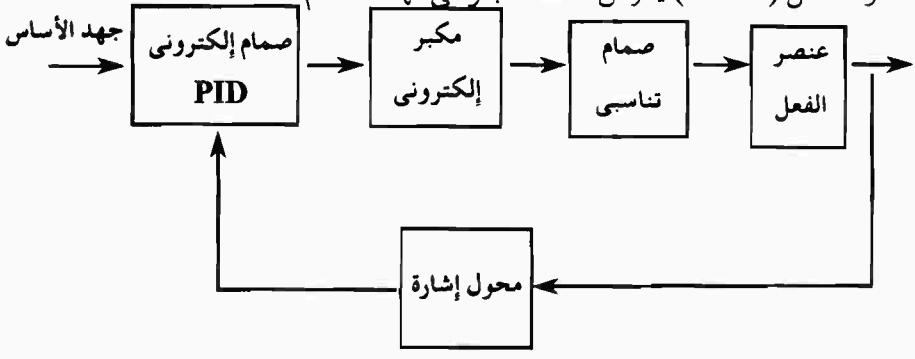


شكل (٢ - ٦)

وهذا النظام هو أبسط النظم المستخدمة لتشغيل الصمامات التناسبية، ويمكن التحكم فى الصمامات التناسبية لهذا النظام مباشرة بالتحكم فى جهد الأساس التى تدخل للمكبر الإلكترونى ويعاب على هذا النظام أنه إذا تعرض لمؤثرات خارجية مثل ارتفاع درجة الحرارة أو تغير لزوجة الزيت أو تغير الحمل، فإن تدفق الصمام التناسبى سيتغير، وبالتالى فإن أداء النظام سيختل، ولتحسين أداء النظام فى هذه الحالة يلزم الأمر إعادة ضبط جهد الأساس وعادة يتراوح ما بين (0 : 10V) .

٢ - النظام ذو الدائرة المغلقة Closed - Loop System :

والشكل (٢ - ٧) يعرض المخطط البلوكى لهذا النظام .



شكل (٢ - ٧)

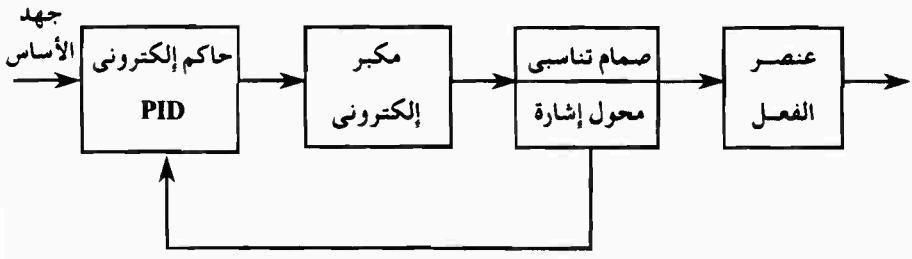
ويحتوى هذا النظام على محول إشارة transducer مثبت على عنصر الفعل سواء كان أسطوانة أو محرك هيدروليكى، ويقوم محول الإشارة بتحويل خرج عنصر الفعل سواء كان إزاحة خطية أودورانية إلى إشارة جهد وتصل هذه الإشارة إلى

الحاكم الإلكترونى PID والذي يحتوى علي مقارن Compartor يقوم بمقارنة الإشارة المرتدة مع إشارة الأساس، وفى حالة وجود أى فرق يتغير خرج PID ، وتباعًا يتغير خرج المكبر الإلكترونى فتتغير قيمة الإشارة الكهربية التى تصل لبوبينة الصمام التناسبى فيتغير تدفق الصمام التناسبى، وبهذا النظام يمكن الوصول للأداء المطلوب لعنصر الفعل مهما تغيرت ظروف التشغيل الخارجية مثل الأحمال.

٣ - نظم ذات صمامات تناسبية بمحولات إشارة.

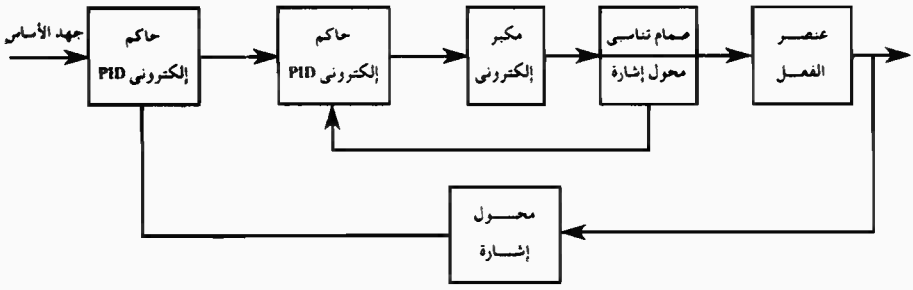
System With Valve - Integrated Feed - back Transducer

الشكل (٢ – ٨) يعرض المخطط البلوكى لهذا النظام



شكل (٢ – ٨)

يحتوى الصمام التناسبى المستخدم فى هذا النظام على محول تفاضلى متغير خطى LVDT ، يثبت العنصر المنزلق للصمام، حيث يقوم هذا المحول بتحويل الإزاحة الخطية للعنصر المنزلق لإشارة كهربية (لمعرفة تركيب ونظرية عمل LVDT انظر الفقرة ٣ – ٣ – ٥) تصل إلى الحاكم الإلكترونى PID لمقارنتها مع إشارة الأساس، وفي حالة وجود أى اختلاف يقوم الحاكم PID بتغيير خرجه فيتغير خرج المكبر الإلكترونى وبالتالى تتغير إشارة التشغيل الكهربية لبوبينة الصمام التناسبى فيتغير وضع العنصر المنزلق،وتباعاً يتغير تدفق الصمام. ويستخدم هذا النظام عادة بدلا من نظام الدائرة المفتوحة خصوصا إذا كان من الصعوبة تثبيت محول إشارة على عنصر الفعل، ويمكن تحسين أداء نظام الدائرة المغلقة باستخدام صمامات تناسبية بمحولات إشارة كما هو واضح من الشكل (٢ – ٩) ويسمى هذا النظام بنظام الدائرة المغلقة المزدوجة.



شكل (٢ – ٩)

ملاحظة :

أهم الأسباب اختلال النظم العامة بالصمامات التناسبية ما يلى :

أ – انقطاع أحد كابلات التغذية المرتدة.

ب – عدم تأريض الشبكة المعدنية لكابلات الصمامات، حيث إن هذه الكابلات تكون عادة مغطاة بشبكة معدنية.

جـ – وجود شوائب فى الزيت الهيدروليكى تعيق من حركة العنصر المنزلق للصمام.

٢ / ٢ / ٢ – الصمامات التناسبية قصيرة المشوار

Short Stroke Proportional Valves

عادة هذا النوع من الصمامات يكون سابق التحكم، ويصل طول مشوار هذه الصمامات ما بين 1:1.5mm، وهذا المشوار الصغير يحدد من مقدار التدفق المار فى الصمام.

والشكل (٢ – ١٠) يعرض قطاعا فى صمام تصريف ضغط تناسبى سابق التحكم.

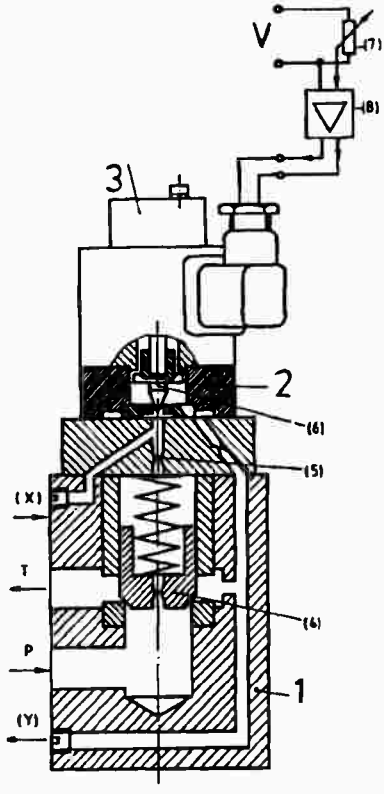
حيث إن :

جسم الصمام	1
صمام التحكم الهيدروليكى	2
البوبينة التناسبية	3

كباس الصمام الرئيسى	4
خانق	5
مخروط صمام التحكم	6
مقاومة متغيرة	7
مكبر إلكترونى	8

فكرة عمل هذا الصمام :

فى البداية يتم ضبط صمام تصريف الضغط التناسبى عند أى ضغط بواسطة المقاومة المتغيرة 7، فيقوم المكبر الإلكترونى 8 بتحويل جهد الأساس القادم من المقاومة المتغيرة 7 إلى تيار لتشغيل البوبينة، وهذا التيار يكون ثابتا عند أى جهد أساس وذلك لوجود نظام تغذية مرتدة داخلى يمنع تغير شدة تيار تشغيل البوبينة عند تغير مقاومة البوبينة نتيجة لتغير درجة الحرارة.



شكل (٢ – ١٠)

وعند الضغط الأقل من الضغط المعاير عليه الصمام والمتناسب مع شدة تيار تشغيل البوبينة يتسرب الزيت الداخل للصمام من الفتحة P عبر الفتحة الضيقة الموجودة في كباس الصمام الرئيسى 4، ويحاول هذا الزيت دفع مخروط التحكم 6، ولكنه يفشل وبالتالى يكون الكباس الرئيسى واقع تحت تأثير قوتين متزنتين الأولى لأسفل وهى ناشئة من قوة دفع الياى والقوة المتولدة من ضغط الزيت المتسرب، والثانية لأعلى وهى ناشئة من القوة المتولدة من ضغط زيت المصدر،وعندما يرتفع ضغط

زيت المصدر عن الضغط المعاير عليه الصمام يتمكن الزيت المتسرب من دفع مخروط التحكم لأعلى ليخرج من الفتحة Y وبالتالى تتغلب القوة الثانية المتجهة لأعلى على القوة الأولى المتجهة لأسفل ويتحرك كباس الصمام الرئيسى لأعلى ويمر الزيت فى المسار P ⟶ T علما بأنه يمكن التحكم في تشغيل الصمام من الفتحة x ، فعند توصيل الفتحة x مثلا بالخزان مباشرة هذا يعنى وجود مسار بديل لتسرب الزيت المتسرب بدلاً من خروجه من الفتحة Y وبالتالى يكون الصمام مفتوحا، كذلك يمكن تقليل الضغط المعاير عليه الصمام بواسطة توصيل الفتحة x بصمام تصريف ضغط آخرمعاير عند ضغط أقل.

وتصل دقة الصمامات التناسبية سابقةالتحكم إلى حوالى 93% أى أن الاختلاف بين إشارة الأساس وخرج الصمام لا يتجاوز 7% .

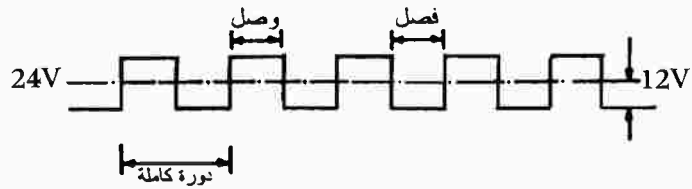
ملاحظة : عادة فإن معظم الصمامات التناسبية قصيرة المشوار لها بوبينة يتم التحكم فيها بالتيار Current Controlled Solenoid.

٢ / ٢ / ٣ - الصمامات التناسبية طويلة المشوار

Long Stroke Proportinonl Valves

تعد هذه الصمامات أكثر الصمامات التناسبية تطورا، ولكى نستطيع فهم طريقة عمل هذه الصمامات نجد أنه من الضرورى معرفة كيفية التحكم في جهد تشغيل بوبيناتها فمن الممكن زيادة القوة المغناطيسية المتولدة من الملف الكهربى بزيادة جهد الدخل له، فإذا افترضنا أننا عرضنا الملف الكهربى للبوبينة لضعف الجهد المقنن له هذا بالفعل سوف يزيد من القوة الناشئة، ولكن سرعان ما يحترق الملف ويمكن التغلب على ذلك باستخدام مبدأ (Pulse width modulation) (PWM).

حيث يستخدم جهد بترددات عالية تتراوح ما بين 2:10 KHZ، فإذاكان جهد المصدر يساوى 24V وبتردد 10 KHZ ، وكانت فترة الوصل تساوى فترة الفصل، فإن القيمة المتوسطة للجهد ستساوى 12V وهذا موضح بالشكل (٢ - ١١).



شكل (٢ - ١١)

وبتثبيت القيمة العظمى لجهد مساوية 24V وبتغيير فترة الوصل والفصل بنسب تتراوح ما بين (1:1-1:100) فإن القيمة المتوسطة للجهد سوف تتغير من : 1%) (100% من جهد التحكم المساوى 12V وكلما زادت قيمة جهد التحكم ازدادت قيمة القوة المغناطيسية للملف الكهربى والعكس بالعكس.

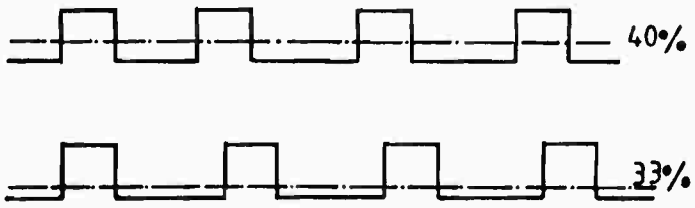
وهناك طريقتان للحصول على PWM وهما :

١ - وصل ثابت الزمن وفصل متغير الزمن (تردد متغير).

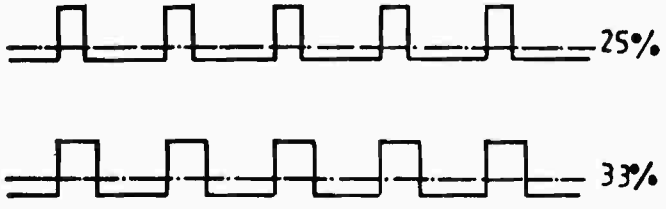
٢ - فصل متغير ووصل متغير للحصول على تردد ثابت (أى زمن ثابت للدورة الكاملة).

وفي الشكل (٢ - ١٢) شكل موجة بتردد متغير لها قيمة متوسطة , 33% 40% جهد التحكم 12V (أ) ، وأيضا شكل موجة بتردد ثابت لها قيمة متوسطة 20% , 10% جهد التحكم 12V (ب).

وعادة يستخدم محول تفاضلى خطى متغير LVDT مع هذه الصمامات، حيث يثبت القلب المغناطيسى للمحول مع العنصر المنزلق للصمام.



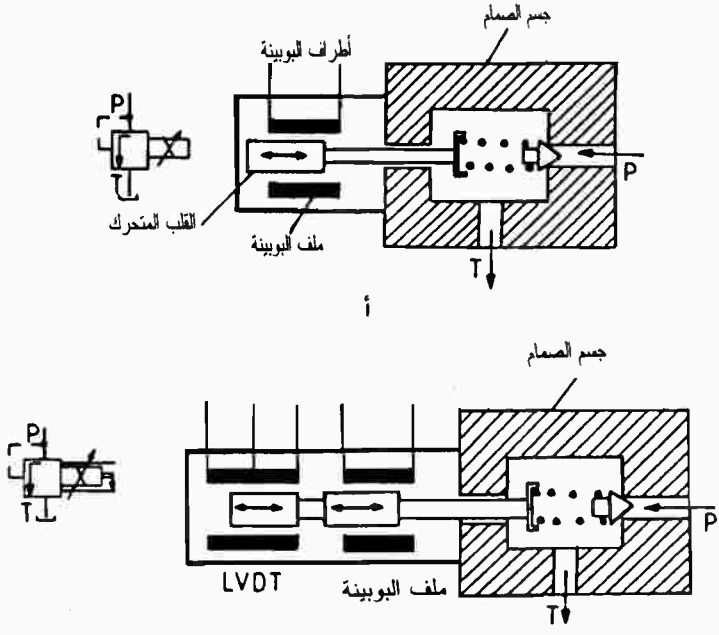
أ



ب

شكل (٢ - ١٢)

والشكل (٢ - ١٣) يعرض قطاعين مبسطين لصمامين تصريف ضغط مباشرين لهما مشوار طويل، أما الشكل (أ) فيعرض قطاعا في صمام تصريف ضغط تناسبى مباشر التشغيل مع رمز الصمام، أما الشكل (ب) فيعرض قطاعًا فى صمام تصريف ضغط تناسبى مباشر التشغيل مزوداً بمحول تفاضلى خطى متغير LVDT مع رمز الصمام.

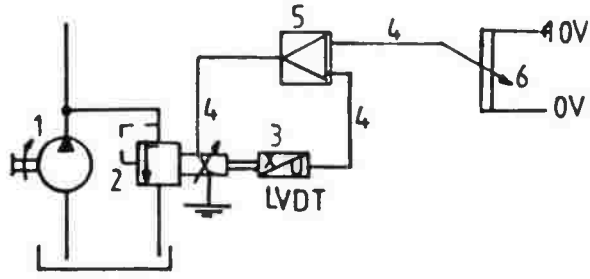


شكل (٢ – ١٣)

وفي الشكل (٢ – ١٤) دائرة إلكتروهيدروليكية بسيطة توضح كيفية التحكم في صمام تصريف ضغط تناسبى بمحول إشارة للتحكم في ضغط التشغيل للمضخة 1 .

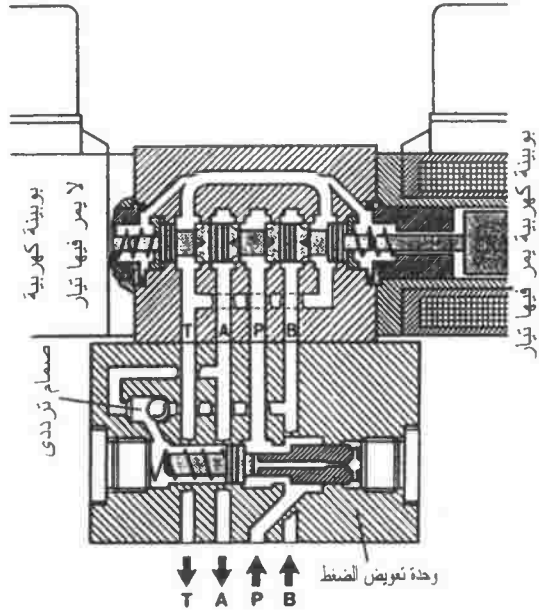
حيث إن :

مضخة هيدروليكية	1
صمام تصريف ضغط مباشر بمحول إشارة	2
محول تفاضلى خطى متغير.	3
خط كهربى	4
مكبر إلكترونى	5
جهد الأساس	6



شكل (٢ – ١٤)

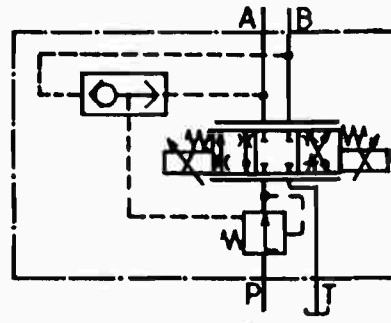
ويتضح من الشكل السابق أن المحول التفاضلى الخطى المتغير LVDT هو محول إزاحة لجهد X/U . ولقد أمكن التغلب على مشكلة الصمامات التناسبية الاتجاهية من تغيرتدفقها عند تغير ظروف تشغيلها، حيث تستخدم وحدة تعويض ضغط Pressure Compensator من أجل الوصول لتدفق ثابت مهما اختلفت ظروف التشغيل (درجة الحرارة – اللزوجة – الأحمال) ووحدة التعويض المستخدمة تكون على شكل قرص يوضع فى مدخل الصمام كما هو واضح من الشكل (٢ – ١٥).



شكل (٢ – ١٥)

حيث تقوم وحدة تعويض الضغط بتثبيت فرق الضغط بين ضغط مدخل ومخرج الصمام، فعند ارتفاع درجة الحرارة يقل الضغط عند المدخل فتغلق وحدة تعويض الضغط لرفع الضغط عند مدخل الصمام، وبالتالى يثبت فرق الضغط بين مدخل ومخرج الصمام، وأيضا عند زيادة الأحمال يزداد الضغط عند مدخل الصمام فتفتح وحدة تعويض الضغط لتثبيت فرق الضغط وبذلك يثبت تدفق الصمام.

وفيما يلى رمز وحدة تعويض الضغط الذى يوضح فكرة عمل هذه الوحدة:



وتصل دقة الصمامات التناسبية المباشرة (ذات المشوار الطويل) إلى حوالى 99% أى أن الاختلاف بين إشارة الأساس وخرج الصمام لا يتجاوز 1%.

ملاحظة: عادة فإن معظم الصمامات التناسبية طويلة المشوار لها بوبينة يتم التحكم فيها بالجهد (Voltage Controlled Solenoid).

وفيما يلى رموز الأنواع المختلفة للصمامات التناسبية طويلة المشوار، حيث إن:

الرمز 1 لصمام خنق تناسبى

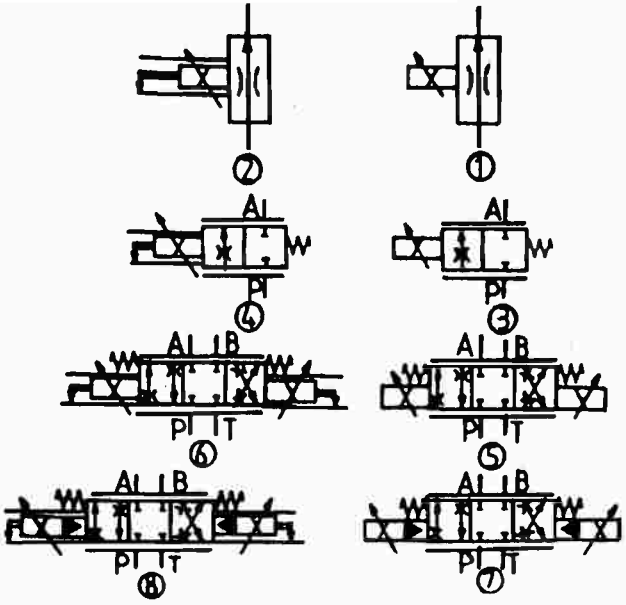
الرمز 2 لصمام خنق تناسبى بمحول إشارة LVDT

الرمز 3 لصمام اتجاهى تناسبى 2/2

الرمز 4 لصمام اتجاهى تناسبى 2/2 بمحول إشارة LVDT

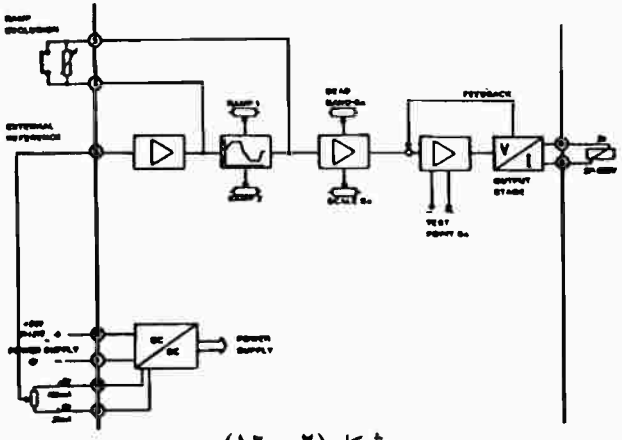
الرمز 5 لصمام اتجاهى تناسبى 4/3

الرمز 6 لصمام اتجاهى تناسبى 4/3 بمحول إشارة LVDT



٢ / ٢ / ٤ - المكبرات الإلكترونية :

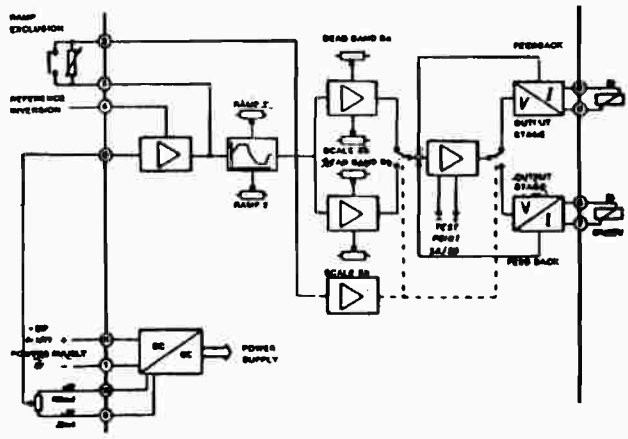
فى الشكل (٢ - ١٦) المخطط البلوكى لأحد المكبرات الإلكترونية المستخدمة فى التحكم فى الصمامات التناسبية المستخدمة فى النظم المفتوحة، حيث يقوم هذا المكبر بالتحكم فى تيار تشغيل صمام تناسبى بملف واحد وهو من إنتاج شركة ATOS .



شكل (٢ - ١٦)

وفى الشكل (٢ - ١٧) المخطط البلوكى لأحد المكبرات الإلكترونية المستخدمة فى التحكم فى الصمامات التناسبية المستخدمة فى النظم المفتوحة، حيث يقوم هذا

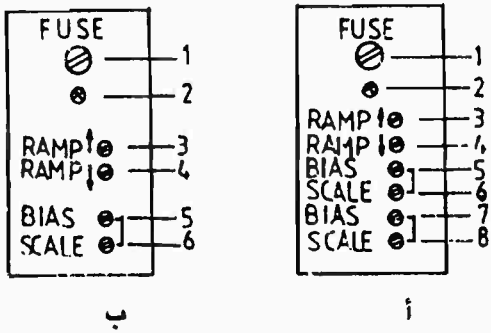
المكبر بالتحكم فى تيار صمام تناسبى اتجاهى بملفين وهو من إنتاج شركة ATOS .



شكل (٢-١٧)

وفيما يلى بعض المواصفات الفنية لهذه المكبرات الإلكترونية :

المواصفة	مكبر يتحكم فى صمام بملف واحد	مكبر يتحكم فى صمام بملفين
المصدر الكهربى	24 VDC أو 12V DC	24 VDC أو 12V DC
مقاومة الدخل	≥ 10 KZ	≥ 10 KZ
تيار الانحياز	0: 70% Imax	0: 70% Imax
مدى درجة الحرارة	- 10: 50°C	- 10: 50°C
أقصى قدرة داخلة	35 W	50 W
مدى تغير جهد الأساس	0: + 10 V	+ 10 V: - 10 V



ب أ

وفى الشكل (٢ – ١٨) مخطط توضيحى يعرض نقاط الضبط المختلفة على جسم مكبر إلكترونى يتحكم فى صمام تناسبى بملف واحد (أ)، ومكبر إلكترونى يتحكم فى صمام تناسبى بملفين (ب).

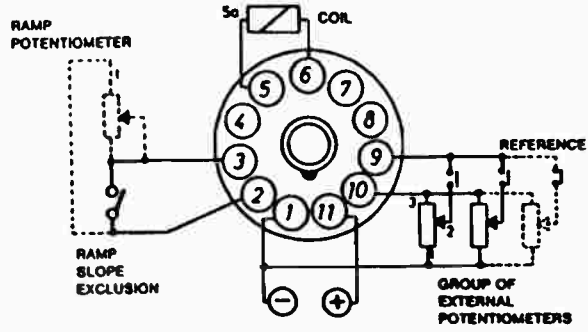
حيث إن:

شكل (٢– ١٨)

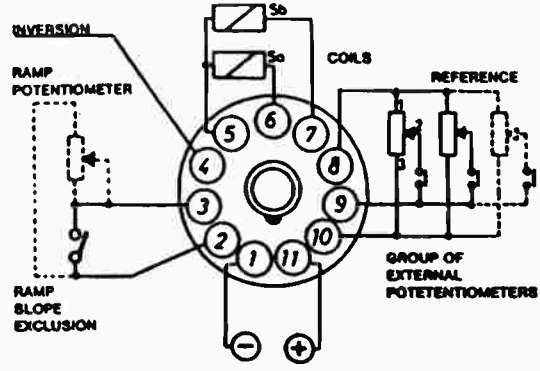
مصهر	1
لمبة بيان وصول مصدر القدرة الكهربية	2
مكان ضبط زمن التصاعد ↑ Ramp	3
مكان ضبط زمن الهبوط ↓ Ramp	4
مكان ضبط الانحياز للملف a	5
مكان ضبط المدى للملف a	6
مكان ضبط الانحياز للملف b	7
مكان ضبط المدى للملف b	8

وفى الشكل (٢ – ١٩) عرض للمخطط الكهربى لكل من المكبر الإلكترونى الذى يتحكم فى صمام تناسبى بملف واحد (أ)، والمكبر الإلكترونى الذى يتحكم فى صمام تناسب بملفين (ب) علمًا بأن قيمة المقاومات المستخدمة للحصول على جهد أساس متغير تتراوح قيمتها عادة ما بين 2:10KΩ.

ويلاحظ أن جهد الأساس يوصل بالنقطة 9، فى حين أن المقاومات المتغيرة تواصل بين النقطتين 9,1 فى حالة المكبر الإلكترونى ذى الملف وبين النقطتين 8,9 فى حالة المكبر ذى الملفين ويتم التحكم فى زمن الصعود وزمن الهبوط Ramp ↑, Ramp ↓ بمقاومة متغيرة موصلة مع النقط 2,3 ويمكن إلغاء زمن الصعود والهبوط بعمل قطر بين النقطتين 2,3. ويمكن الحصول على جهد الأساس من خلال مقاومات متغيرة كما فى هذا الشكل، أو من خلال مولد إشارات يتم توصيله بالنقطتين 1,9.



أ

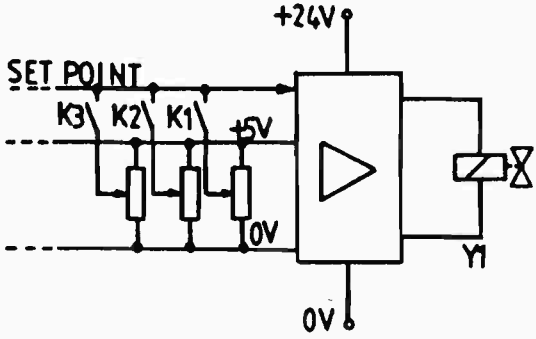


ب

شكل (٢ - ١٩)

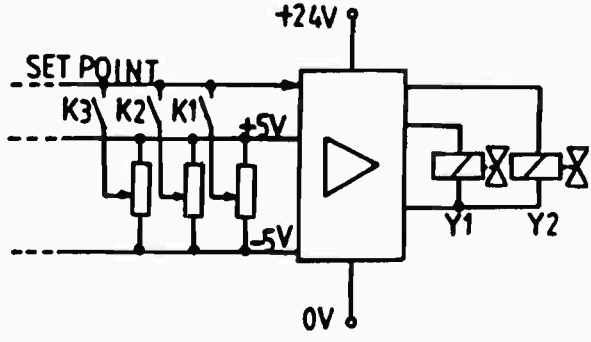
ملاحظات:

- النقاط (1:11) هى نقاط توصيل موجودة فى قاعدة المكبر الإلكترونى.
- هناك اختلاف بين الشركات المصنعة للدوائر الإلكترونية للصمامات التناسبية فى تكنولوجيا التصنيع، ويمكن معرفة طريقة استخدام هذه الدوائر من خلال تعليمات الشركات المصنعة.
- والشكل (٢-٢٠) يعرض رمز مكبر إلكترونى للتحكم فى صمام تناسبى بملف كهربى واحد، حيث يتم تغذيته بجهد كهربى مستمر 24V كمصدر قدرة، أما



شكل (٢-٢٠)

جهد الأساس فيتراوح ما بين :0 +5V ويوصل مدخل المكبر الإلكترونى بثلاث مقاومات متغيرة الأولى موصلة بالريشة K1، والثانية موصلة بالريشة K2، والثالثة موصلة بالريشة K3 وذلك للحصول على ثلاثة جهود أساس مختلفة، فعندما تغلق الريشة K1 نحصل على جهد الأساس الأول، وعندما تغلق K2 نحصل على جهد الأساس الثانى. وهكذا والشكل (٢-٢١) يعرض رمز مكبر إلكترونى يتحكم فى صمام تناسبى بملفين كهربيين.

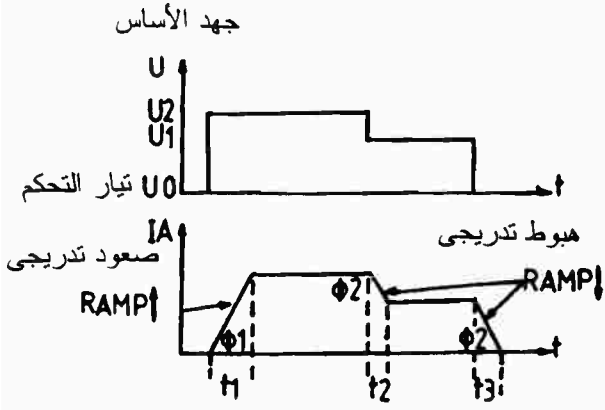


شكل (٢-٢١)

٢ / ٢ / ٥ - ضبط المكبر الإلكترونى:

١ - يتم ضبط تيار تشغيل بوبينة الصمام التى يتم التحكم فيها بالتيار من مسمار ضبط Scale، ويتم معرفة تيار تشغيل البوبينة الكامل من المواصفات الفنية للصمام.

٢ - يتم ضبط زاوية الصعود والنزول بواسطة مسمارى ضبط ↓ Ramp ↑, Pamp للحصول على تغير تدريجى للكمية المتحكم فيها والتى تتحكم فى البوبينة (تيار أو جهد) والشكل (٢ - ٢٢) يبين العلاقة بين جهد الأساس مع الزمن



شكل (٢-٢٢)

وكذلك تيار التحكم فى بوبينة يتم التحكم فيها بالتيار عند زاوية صعود مقدارها Φ1. وزاوية هبوط Φ2. ويلاحظ أن زمن الصعود والنزول يتناسب عكسيًا مع قيمة الزاوية وطرديًا مع مقدار التغير فى جهد الأساس.

ويمكن تعريف زمن الصعود بأنه الزمن اللازم لزيادة تيار التحكم، أو التحكم فى بوبينة الصمام التناسبى عند زيادة جهد الأساس وصولاً للقيمة المقابلة لجهد الأساس الجديد ويمكن تعريف زمن الهبوط بأنه الزمن اللازم لانخفاض تيار التحكم، أو جهد التحكم فى البوبينة التناسبية عند انخفاض جهد الأساس وصولاً للقيمة المقابلة لجهد الأساس الجديد.

٣ – فى حالة المكبر الإلكترونى الذى يتحكم فى الصمام التناسبى ذى الملفين فإنه إذا كان جهد الأساس يتراوح ما بين (0: +5V) يعمل الملف Y1، وإذا كان جهد الأساس يتراوح ما بين (0: -5V) يعمل الملف Y2.

٢ / ٣ – الصمامات المؤازرة Servo Valves:

ظهرت الصمامات المؤازرة فى نظم التحكم الهيدروليكية منذ 50 عامًا أى قبل الصمامات التناسبية. ولفظ مؤازرة يعنى تعضيد وتقوية، ويستخدم هذا اللفظ فى نظم التحكم مثال ذلك: التوجيه المؤازر للسيارة فيمكن التحكم فى عجلة القيادة للسيارة بقوة صغيرة من خلال يد السائق، وينتج عن ذلك قوة كبيرة تؤثر على العجلات الأمامية للسيارة وتعمل على دورانها.

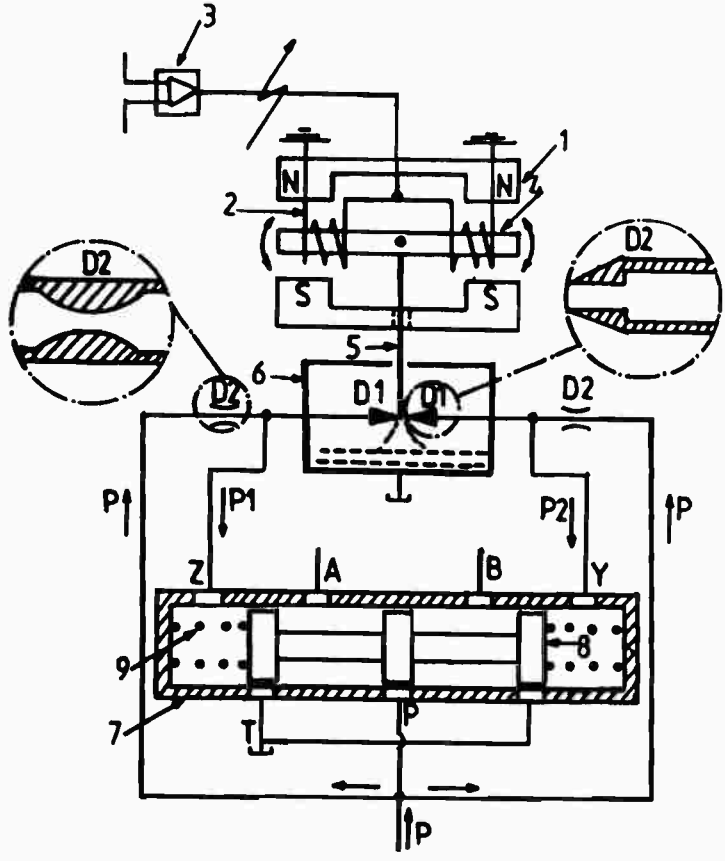
وأكثر الصمامات المؤازرة المعروفة هى صمامات اتجاهية منزلقة، ويعمل العنصر المنزلق لهذه الصمامات تحت تأثير الضغوط الهيدروليكية المتولدة بواسطة محرك العزم Torque motor.

ومبدأ عمل الصمامات المؤازرة هو تكبير إشارة كهربية صغيرة مؤثرة على الصمام.

للحصول على ضغوط ومعدلات تدفق كبيرة تتناسب مع الإشارة الكهربية. ونحب أن نوجه القارئ إلى أن الصمامات المؤازرة الانزلاقية ليست هى فقط المتاحة، ولكن هناك صمامات مؤازرة دوارة، إلا أننا سوف نتناول الصمامات المؤازرة المنزلقة لأنها هى الأكثر انتشاراً فى الصناعة، وتستخدم الصمامات المؤازرة عادة فى نظم التحكم الإلكتروهيدروليكية المغلقة مثل: التحكم الدقيق فى السرعة أو التحكم الدقيق فى الموضع.

٢ / ٣ / ١ - تركيب الصمامات المؤازرة المنزلقة ونظرية عملها:

الشكل (٢-٢٣) يبين مخططًا توضيحيًا مبسطًا لصمام مؤازر منزلق بمرحلتين وهما: مرحلة توليد فرق الضغط، ومرحلة تكبير فرق الضغط (المكبر الهيدروليكى).



شكل (٢-٢٣)

ويتكون الصمام المؤازر ذو المرحلتين من :

- محرك العزم .
- غرفة توليد فرق ضغط التشغيل ΔP .
- صمام التحكم المرحلة الأولى (مرحلة توليد فرق الضغط) : **وتتكون من :**

أ - **محرك العزم** : ويتكون محرك العزم من مغناطيس دائم Permanent Magnet 1، وملفين كهربيين Electric Coils 2 يتم تغذيتهما من وحدة تكبير إلكترونية Electronic Amplifier 3 بتيار التحكم والعضو الدوار لهذا المحرك هو قلب مغناطيسى دوار 4 مثبت فيه لسان Reed 5، ويوضع القلب المغناطيسى واللسان داخل ماسورة مرنة تعمل كيای إرجاع وتمنع تسرب الزيت الهيدروليكى للملفات الكهربية 2. وعند مرور تيار كهربى فى الملفات الكهربية لمحرك العزم يتولد عزم إدارة للقلب المغناطيسى الدوار 4، ويعتمد اتجاه دوران القلب المغناطيسى على قطبية التيار المار فى ملفات التحكم، أما قيمة العزم وزاوية الدوران فتعتمد على شدة تيار التحكم. وبمجرد انقطاع تيار التحكم تقوم الماسورة المرنة بإعادة القلب المغناطيسى 4 واللسان 5 للوضع الابتدائى .

ب - **غرفة توليد فرق ضغط تشغيل المنزلق** : يمر الزيت المضغوط القادم من المضخة عبر ماسورتين كل منهما تحتوى على خانق D2 وفونية D1، ويوضع لسان محرك العزم 5 فى الوضع المركزى بين الفونيتين D1، ويتجمع الزيت المتدفق عبر الخوانق D2 والفوانى D1 داخل غرفة مغلقة 6، لمنع انتقال الزيت للملفات الكهربية 2، ويسمح للزيت المتجمع فى الغرفة المغلقة، بالعودة للخزان ونتيجة لوجود اللسان بين الفونيتين D1 يرتد ضغط عكسى، هذا الضغط يزداد كلما قلت المسافة بين الفونية واللسان، وفى الوضع المركزى للسان يكون

$$P_1 = P_2 = \frac{P}{2}$$

حيث إن P_1 هو الضغط المرتد من الماسورة اليسرى، P_2 هو الضغط المرتد من الماسورة اليمنى P هو ضغط مصدر الضغط والقادم من المضخة .

وفى الوضع المركزى يكون فرق الضغط $\Delta P = P_1 - P_2$ مساويًا الصفر لتساوى الضغط المرتد P_1 والضغط المرتد P_2 . أما عند مرور تيار فى ملفات التحكم 2 فإن القلب المغناطيسى الدوار 4 سيدور جهة عقارب الساعة أو عكسها معتمداً على

قطبى تيار التحكم، فإذا تحرك جهة عقارب الساعة فإن اللسان 5 سيتحرك تباعًا جهة عقارب الساعة، وبالتالى يقترب من الفونية D_1 للماسورة اليسرى ويبتعد عن الفونية D_1 للماسورة اليمنى، وتباعًا يصبح $P_1 > P_2$ أى أن فرق الضغط ΔP سيكون أكبر من الصفر.

المرحلة الثانية: (المكبر الهيدروليكى):

وتتكون هذه المرحلة من صمام تحكم 7 يحتوى على عنصر منزلق 8 وبايات إعادة للوضع المركزى للصمام 9.

فعند مرور تيار فى ملفات التحكم 2، فإن القلب المغناطيسى الدوار 4 سيدور جهة عقارب الساعة أو عكسها، فإذا تحرك جهة عقارب الساعة فإن $P1 > P2$، وبالتالى فإن العنصر المنزلق 8 سيتحرك جهة اليمين فيفتح المسارين $B \rightarrow T$, $P \rightarrow A$ ويكون معدل التدفق لصمام التحكم 7 متناسبًا مع فرق الضغط ΔP، وهذا بالطبع يعتمد على شدة تيار التحكم.

وفى الشكل (٢ - ٢٤) صمام مؤازر منزلق بثلاث مراحل وهى:

١ - مرحلة توليد فرق الضغط.

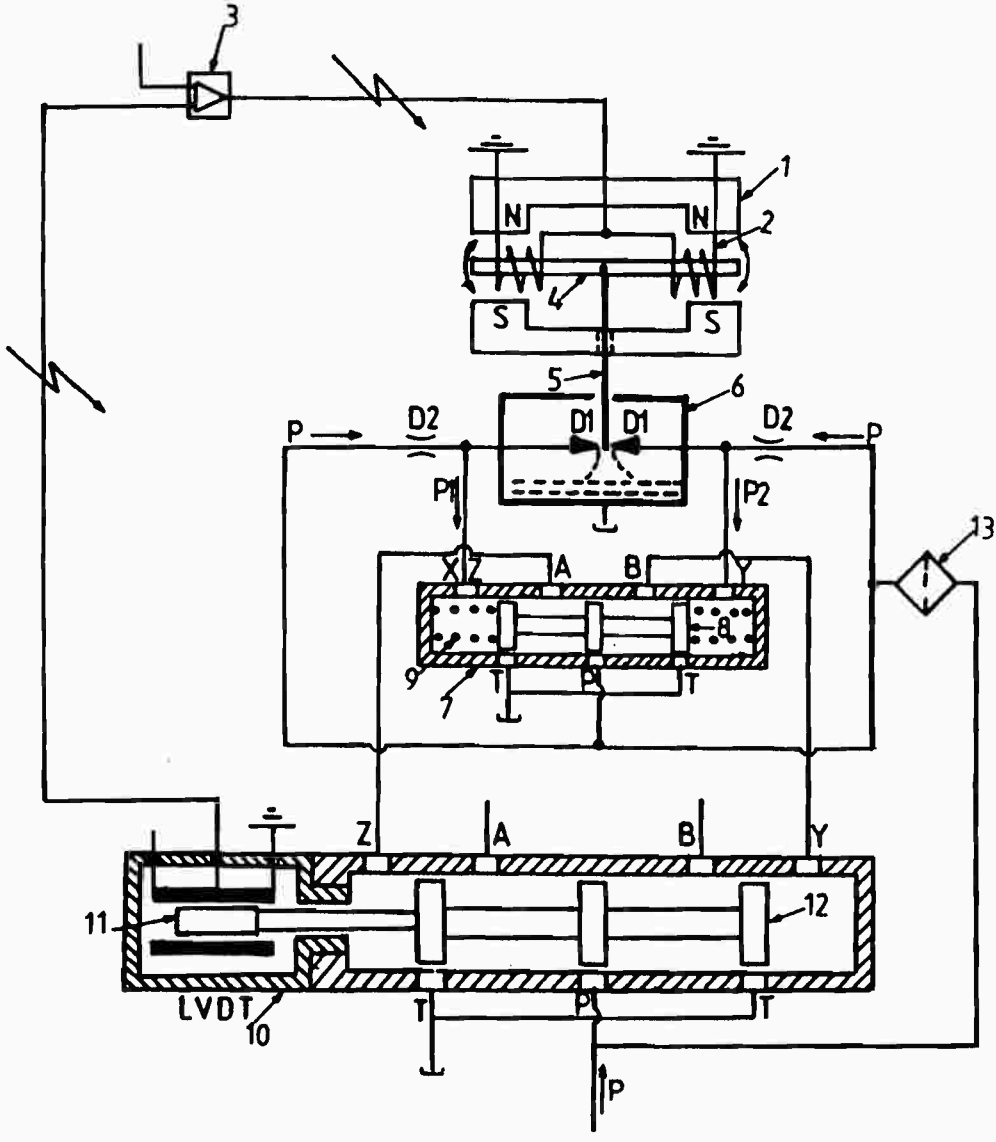
٢ - مرحلة تكبير فرق الضغط (المكبر الهيدروليكى).

٣ - الصمام الرئيسى.

وهذا الصمام مزود بمحول تفاضلى خطى متغير LVDT (انظر الفقرة ٣-٣-٥) بحيث إن القلب المغناطيسى المتحرك للمحول التفاضلى 11 مثبت مع العنصر المنزلق للصمام الرئيسى 12، ويقوم المحول التفاضلى الخطى المتغير LVDT بتحويل إزاحة العنصر المنزلق للصمام الرئيسى 12 إلى جهد يعتمد قيمته وإشارته على مقدار واتجاه الإزاحة (علمًا بأن المحول التفاضلى الخطى المتغير يحتوى بداخله على دائرة إلكترونية) ويتم مقارنة خرج المحول بجهد الأساس بواسطة المكبر الإلكترونى 3 كما فى الصمامات التناسبية، ويقوم المكبر الهيدروليكى فى هذا الصمام بالتحكم فى الصمام الرئيسى (المرحلة الثالثة) علمًا بأن هذا الصمام يستخدم للتحكم فى معدلات التدفق العالية.

ملاحظة :

يصل معدل الترشيح للمرشح 13 إلى حوالى 5μm لتجنب استقرار اللسان 5 فى أحد الجانبين (يميناً أو يساراً) عند وجود شوائب فى الزيت .



شكل (٢ – ٢٤)

وبصفة عامة فإن الصمامات المؤازرة تتميز بالدقة المتناهية النظير، لذلك فهى تستخدم عادة فى الاستخدامات التى تتطلب دقة عالية جداً تفشل الصمامات المتناسبة فى الوصول إليها.

أما عيوب الصمامات المؤازرة فيمكن تلخيصها فيما يلى:

١ – يؤدى وجود الخوانق والفوانى فى الصمامات المؤازرة إلى حدوث انخفاض فى الضغط يصل إلى 70 bar وهذا الانخفاض فى الضغط يؤدى إلى ارتفاع درجة حرارة الزيت ولذلك يلزم رفع ضغط المصدر لتعويض هذا الانخفاض.

٢ – حركة العنصر المنزلق لصمام التحكم تكون صغيرة جداً، لذلك فإن التدفق القليل لزيت المصدر فى صمام التحكم 7 يؤدى لزيادة سرعة الزيت داخل صمام التحكم ويؤدى ذلك لحدوث تآكل للعنصر المنزلق ويقلل من عمره.

٣ – صغر المسافة بين اللسان والفوانى D1 والتى تصل إلى 0.7 :0.6 وصغر القطر الداخلى للفوانى D1 والتى تصل إلى 0.25 µm يساعد على استقرار اللسان فى أحد الجانبين (يميناً أو يساراً) عند وجود أى شوائب فى الزيت مما يؤدى لحدوث خلل فى أداء الصمام المؤازر، لذلك يجب أن يصل معدل الترشيح للزيت الهيدروليكى إلى أقل من 5µm وهذا بالطبع مكلف جداً.

٤ – مرتفعة السعر مقارنة بالصمامات التناسبية فيصل سعرها لأكثر من الضعف.

وفيما يلى أهم أسباب اختلال أداء الصمامات المؤازرة:

١ – استقرار اللسان فى أحد الجانبين نتيجة لوجود شوائب فى الزيت.

٢ – انقطاع كابل التغذية المرتدة.

٣ – عدم تأريض الشبكة المعدنية لكابلات الصمامات المؤازرة، فهى عادة تكون كابلات مغطاة بشبكة معدنية.

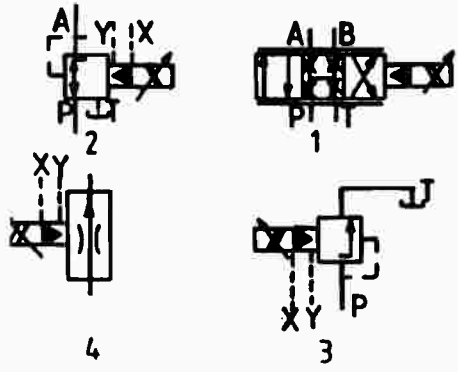
وفيما يلى رموز الصمامات المؤازرة وهى كما يلى:

الرمز 1 لصمام مؤازر اتجاهى 4/3.

الرمز 2 لصمام تنظيم ضغط مؤازر.

الرمز 3 لصمام تصريف ضغط مؤازر.

الرمز 4 لصمام تنظيم تدفق مزدوج بتعويض ضغط مؤازر.



ملاحظة:

اتجهت الشركات المصنعة للصمامات المؤازرة أخيراً لتخصيص مضخة هيدروليكية صغيرة الحجم، ومزودة بمرشحات دقيقة جداً، وذلك لتغذية غرفة توليد فرق الضغط للصمامات المؤازرة من أجل تقليل التكلفة التى تنشأ من إعداد كل الزيت المستخدم فى الصمامات المؤازرة، بمعدل ترشيح يصل إلى 5μm، لعدم الحاجة لهذا المعدل فى زيت صمام التحكم والصمام الرئيسى.