

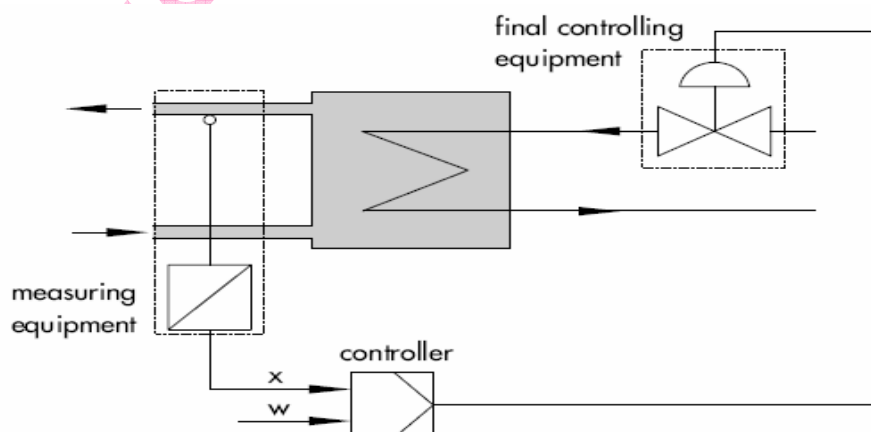
معرفی رگولاتورهای خودکار^۱

- مقدمه

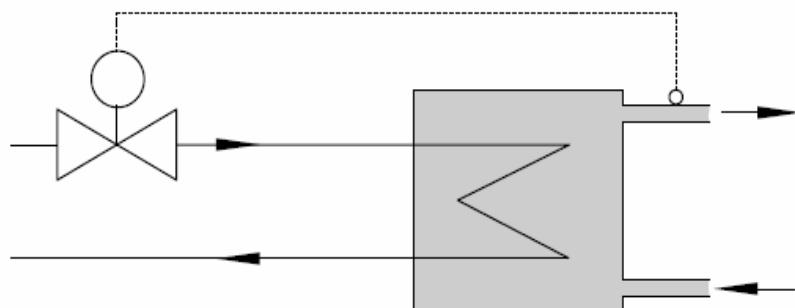
کنترل یک فرایند متغیر نیازمند سه بخش اصولی است که عبارتند از المان اندازه گیری کننده، کنترلر و المان کنترل کننده نهایی بعلاوه اینکه اطلاعاتی از چگونگی استفاده مناسب از متعلقات این المان ها نیز مورد نیاز می باشد. معمولاً این قسمت های حلقه کنترل وسایلی را که می بایستی بوسیله انرژی کمکی تغذیه شوند را از همدیگر جدا می کنند (شکل ۱ را مشاهده کنید).

برای کنترل ساده فشار، شار، فشار تفاضلی یا کنترل حرارت مخزن ها وسایل اندازه گیری بسیار پیچیده ای وجود دارند که البته از نظر اقتصادی نیز بسیار گران هستند. برای این گونه کاربردها می توان از رگولاتورهای خودکار استفاده کرد.

رگولاتورهای خودکار تمامی وظایف موجود در یک حلقه کنترل را انجام می دهند. این رگولاتورها تمامی سنسورهای اندازه گیری کننده، کنترلرها و هر المان کنترلی موجود در یک سیستم را در بر می گیرند. ترکیبی از این قسمت ها تشکیل یک وسیله قدرتمند و معقولانه را می دهد.



شکل ۱ : حلقه کنترل با وسایل اندازه گیری متداول



شکل ۲: حلقه کنترل با رگولاتور خودکار

از آنجایی که رگولاتورهای خودکار به انرژی کمکی از منابع تغذیه جانبی نیاز ندارند هزینه نصب این وسایل نسبت به سایر وسایل اندازه گیری بطور قابل توجهی پایین تر است.

- حوزه عملکرد

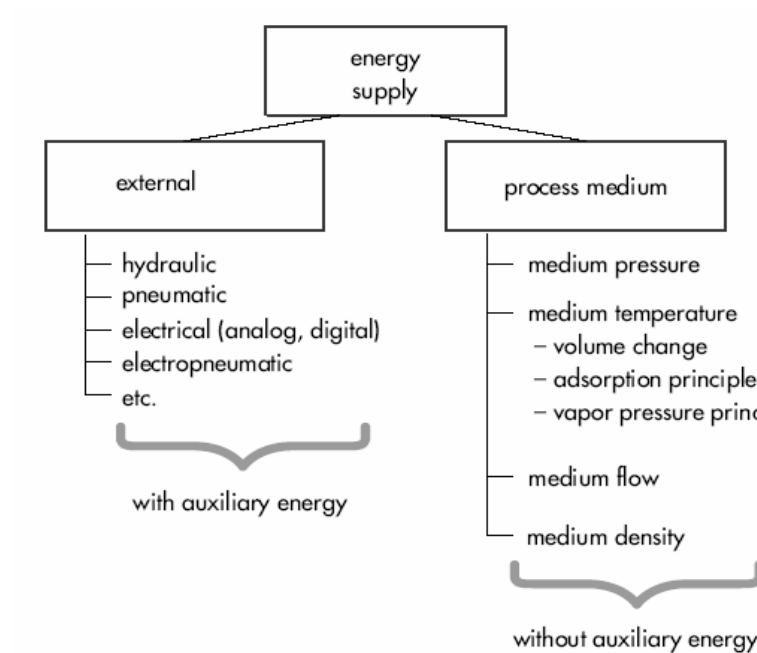
رگولاتورهای خودکار برای کنترل حرارت، فشار، شار و فشار تفاضلی موجود می باشند. این وسایل برای تمامی کاربردهایی که در آنها انحراف متغیر کنترل شده از نقطه تنظیم قابل قبول می باشد و نقطه تنظیم در تمامی زمان ها ثابت باقی می ماند، مناسب می باشند.

همچنین رگولاتورهای خودکار برای کاربردهایی که نیاز به سرمایه گذاری زیادی برای سیستم تغذیه انرژی کمکی مورد نیاز دارند (علاوه بر آنچه که برای سایر امان ها مورد نیاز است) بسیار مناسب می باشد. بنابراین رگولاتورهای خودکار بطور گسترده در شبکه های تغذیه کننده گاز، آب و حرارت مورد استفاده قرار می گیرند.

از آنجایی که رگولاتورهای خودکار در انجام عملیات های کلیدزنی و کنترلی شان بسیار قابل اطمینان هستند (حتی زمانی که منبع انرژی قطع می شود) بطور ایده ال برای وسایل ایمنی مناسب می باشند. وسایل نمونه تست شده^۲ مطابق با رگولاتورهایی طراحی شده اند که بتوانند در بسیاری از زمینه ها مورد استفاده قرار گیرند و همچنین دارای قیمت و کارایی بهتری در مقایسه با سایر وسایل موجود باشند.

² Typetested devices

- اصول اساسی



شکل ۳: تغذیه انرژی المان کنترل

انجام یک کار به انرژی نیاز دارد. رگولاتورهای خودکار این انرژی را از محیطی که باید کنترل شود دریافت می کنند.

با استفاده از فشار محیط یا خصوصیت گرمایی محیط (شکل ۳ را مشاهده کنید) بخش سنسور رگولاتور خودکار فشاری را تولید می کند که نیروی تعیین موقعیت مورد نیاز در محرک دیاگرام یا المانی که المان عمل کننده^۳ نامیده می شود، را ایجاد می کند.

مثال: دریچه^۴ کاهنده فشار

در رگولاتور فشار فشار محیط P_2 بصورت مستقیم یا اگر مورد نیاز باشد از طریق یک مخزن برابر کننده در دیافراگم هموار محرک، عمل می کند.

متناسب با سطح دیافراگم A_M یک نیروی F_M تولید می شود که مخالف با نیروی فنر F_F . نیروی کشنده شار F_K می باشد (شکل ۴ را مشاهده کنید).

³ Operating element
⁴ valve

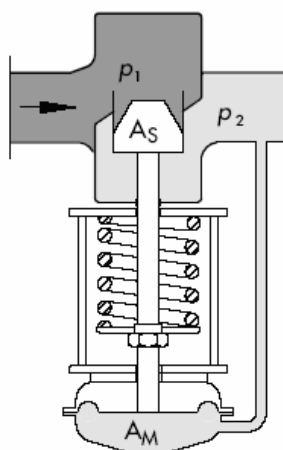
$$F_M = P_2 \cdot A_M = F_K + F_F$$

F_K بعلت اختلاف فشار $\Delta P = P_1 - P_2$ میان فشار بالایی و پایینی عمل کننده بر روی سطح سوراخ ایجاد می شود.

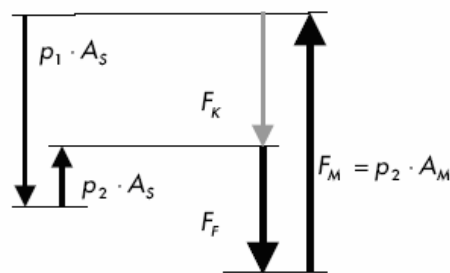
$$F_K = \Delta P \cdot A_S \quad A_S : \text{Seat area}$$

فنر متناسب با محدوده فنر x یک نیروی باقی مانده تولید می کند و تنظیم کردن نقطه تنظیم یا نقطه عمل کننده را بوسیله بارگذاری مجدد را مقدور می سازد

$$F_F = C_F \cdot X \quad C_F : \text{Spring rate}$$



final balance of forces



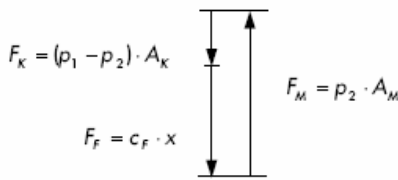
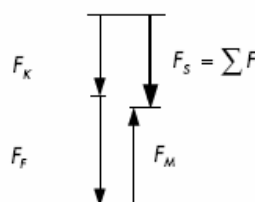
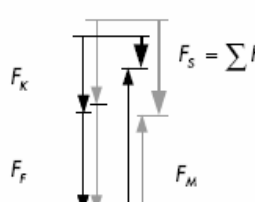
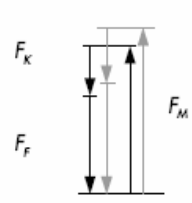
A_S : seat area
 F_K : force acting on the plug
 F_F : spring force
 F_M : force acting on the diaphragm

شکل ۴: تعادل نیروها در یک دریچه کاهشده فشار

یک حالت اولیه تعادل را بگونه ای که در شکل ۴ تشریح شده فرض کنید، هر تغییر فشار منجر به تغییر تعادل نیروها می شود بنابراین باعث می شود تا تنظیمات تغییر کنند. این موضوع را می توان در یک چرخه کنترل که در شکل ۵ توضیح داده شده مشاهده شود.

- اگر نقطه عمل کننده در حالت تعادل است نیروی فنر F_F نیروی F_K وارد بر سوراخ بوسیله نیروی دیافراگم F_M جبران سازی می شود (فاز ۱).
- اگر مصرف افزایش یابد فشاری که در دریچه افت پیدا کرده افزایش می یابد بنابراین فشار بخار از پایین P_2 کاهش می یابد (فاز ۲).

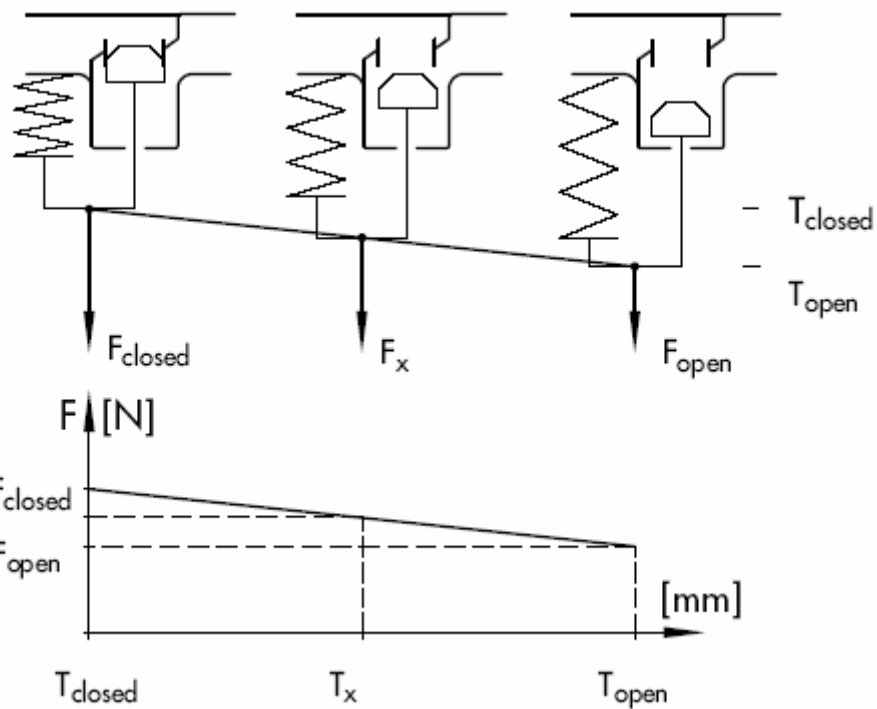
- در مقابل کاهش یافتن فشار دیافراگم، فنر دریچه را باز می کند این عمل ادامه می یابد تا زمانی که تعادل نیروها دوباره با یک دریچه بیشتر باز شده بدست آید (فاز ۳)
- در این موقعیت جدید (فاز ۴) نیروی فنر به همراه فشار P_2 که می بایستی کنترل شود بدست می آید. خطای حالت پایدار در مقداری باقی می ماند که به ضریب عملکرد تناسبی رگولاتور بستگی دارد.

<p>1. Balance of forces in the operating point</p>  <p>$F_K = (p_1 - p_2) \cdot A_K$</p> <p>$F_M = p_2 \cdot A_M$</p> <p>$F_F = c_f \cdot x$</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Downstream pressure p_2 is constant ▶ Valve remains at steady state
<p>2. Consumption increases (disturbance variable)</p>  <p>$F_S = \sum F$</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Downstream pressure p_2 is falling ▶ Diaphragm force F_M is decreasing and F_K increasing ▶ Result: positioning force F_S ▶ Valve opens
<p>3. Valve opens</p>  <p>$F_S = \sum F$</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Spring is relieved: spring force F_F is decreasing ▶ p_2 rises: F_M is increasing while F_K is decreasing ▶ Result: F_S is decreasing ▶ Approximation of a new state of equilibrium
<p>4. Equilibrium with changed valve position</p> 	<p>Changes compared to phase 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Higher flow rate: valve is open wider ▶ Spring is further relieved $\Rightarrow p_2$ is lower than at the operating point ▶ Result: steady-state error signal (offset)

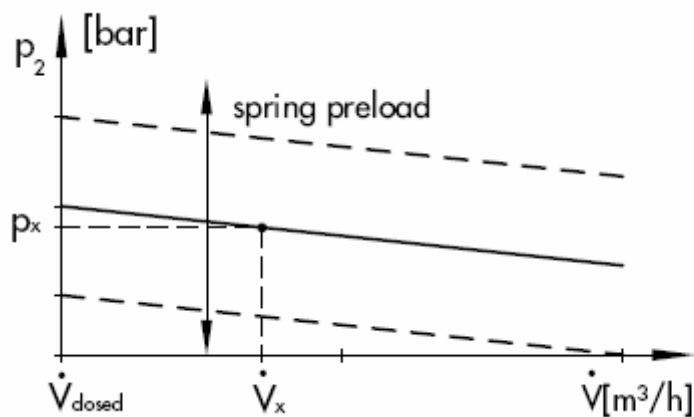
شکل ۵: چرخه کنترل دریچه های کاهنده فشار خودکار

- تنظیم کردن نقطه عمل کننده یک دریچه کاهنده فشار

نقطه عملکرد یک رگولاتور بوسیله یک فنر دوباره بارگذاری شده تنظیم می شود. شکل ۶ نیروهای فنر در فاصله های T_{closed} و T_x و T_{open} را نشان می دهد که شامل مشخصه فنر نیز می باشد. دوباره بارگذاری کردن فنر باعث جابجایی موازی مشخصه فنر می شود بگونه ای که در تغییر موقعیت T_{open} بارگذاری مجدد $F_{PL} = F_{open}$ کاملاً موثر است.



شکل ۶: نیروهای فنر و مشخصه آن



شکل ۷: مشخصه ایده آل یک دریچه کاهنده فشار

وقتی که نقطه عمل کننده تنظیم شد، فنر دوباره بارگذاری کننده تا زمانی که فرایند متغیری که می بایستی کنترل شود به مقدار نقطه تنظیم مورد نیاز برسد، افزایش می یابد. نیروی فنری که به این روش تنظیم می شود بگونه ای که در شکل ۴ توضیح داده شده، از تعادل نیروها حاصل می شود.

$$F_F = F_M - F_K = C_F \cdot X = P_2 \cdot A_M - \Delta P \cdot A_S$$

با یک مقدار کوچک سطح مقطع A_S و فشارهای تفاضلی کم تنها نیروهای F_K کوچک می تواند تولید شود. تحت این حالت ها محدوده فنر X که برابر با مقدار جابجایی است متناسب با فشار P_2 تغییر می کند. بنابراین عکس العمل دستکاری شده حاصل^۵ مستقیماً به مشخصه فنر بستگی دارد (شکل ۷ را مشاهده کنید).

$$P_2 = \frac{C_F}{A_M} \cdot X = \frac{C_F}{A_M} \cdot (\text{travel} + X_{\text{open}}) = \frac{C_F}{A_M} \cdot \text{travel} + \frac{C_F}{A_M} \cdot X_{\text{open}}$$

این معادله به همراه مشخصه کنترل مولفه عمل تناسبی این رگولاتور خودکار را نمایش می دهد

- ضریب $\frac{C_F}{A_M}$ شیب مشخصه یا ضریب عمل تناسبی رگولاتور را نشان می دهد
- جمع دوم معادله $(\frac{C_F \cdot X_{\text{open}}}{A_M})$ جایگزینی موازی مشخصه را توصیف می کند. اگر نقاط

تنظیم بالا^۶ تنظیم شده باشد، این جمله می بایستی افزایش یابد. برای این حالت یک نمونه با فنر محکم (C_F بالا) و یک سطح مقطع محرک کوچک A_M می بایستی انتخاب شود و یا اینکه فنر می بایستی طول بزرگی داشته باشد بگونه ای که بتواند بطور موثری فشرده شود (بنابراین X_{open} افزایش می یابد).

⁵ Resultant manipulated reaction
⁶ High set point

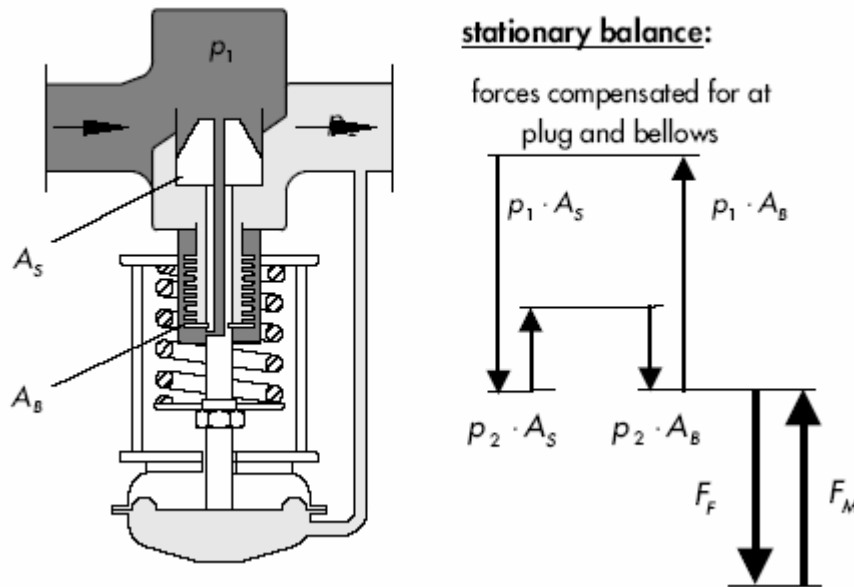
همانطور که در قبل بیان شد این همبستگی ها تنها در حالت هایی وجود دارد که بتوان از فشار روزنه F_K صرف نظر کرد. اگر قطر دایره مرکزی بزرگ باشد و یا فشار تفاضلی بالا باشد این روش تنها زمانی مجاز می باشد که دریچه به یک سیستم که سیستم متعادل کننده فشار نامیده می شود، مجهز شده باشد.

- تعادل فشار

نیروی روزنه F_K به فشار تفاضلی بستگی دارد و بنابراین بعنوان یک متغیر مزاحم در یک حلقه کنترل عمل می کند. یک فشار زیاد در بالا و قطر دایره مرکزی بزرگ تولید یک نیروی روزنه قابل توجه می کند که محرک بگونه ای که در مثال زیر آمده باید بر آن غلبه کند

$$\Delta P = 10 \text{ bar} \quad \text{Seat } \varnothing = 125 \text{ mm} \quad F_K = 12722 \text{ N}$$

با بکارگیری اندازه گیری های ساختاری خاص این متغیر مزاحم می تواند کاملاً جبران سازی شود. شکل ۸ نمونه ای از یک دریچه با یک روزنه متعادل شده بوسیله یک مجرا را نشان می دهد. فشارهای وارده از سمت بالا و پایین از طریق سطح مقطع مجرا A_B بر روی روزنه میله عمل می کنند از این رو تولید نیروهایی می کند که مخالف F_K می باشد. اگر اندازه سطح موثر A_S و A_B یکسان باشند و اگر از ناحیه سطح مقطع روزنه میله صرف نظر شود F_K بوسیله نیروهای عمل کننده در مجرا جبران سازی می شود.



شکل ۸: تعادل نیروها در یک دریچه کاهشده فشار با روزنه تعادل کننده بویسله یک مجرا

دریچه های متعادل کننده فشار نسبت به دریچه های نامتعادل به نیروهای محرک کوچکتری نیاز دارند (شکل های ۴ و ۸ را مقایسه کنید). وقتی که نیروی باقی مانده فنر F_F که می بایستی بر آن غلبه شود محاسبه می شود قابلیت ارتجاعی مجراها نیز می بایستی محاسبه شوند

$$F_F = F_M = (C_F + C_{bellows}) \cdot travel + F_{OPEN}$$

که فنر دوباره بارگذاری شده F_{OPEN} : (Spring preloading)

دریچه های مجهز به روزنه های متعادل شده برای کاربردهایی مورد استفاده قرار می گیرند که فرایند کنترل به دقت خوبی مقدور باشد. سیستم های متعادل کننده اغلب زمانی مورد نیاز هستند که فشار تفاضلی زیاد در دریچه ایجاد شود (مخصوصا با اندازه های نامی بزرگ) که در این صورت نیروهای تعیین موقعیت بزرگی مورد نیاز می باشد. این کار نمی تواند با محرک هایی که دیافراگم های بزرگی ندارند تولید شود.

- خصوصیات کنترل

رگولاتورهای خود تنظیم اغلب بصورت کنترلرهای تناسبی طراحی می شوند. رفتار کنترلر یک کنترلر تناسبی اساساً بوسیله ضریب عمل تناسبی (جمله تشکیل شده بوسیله باند تناسبی^۷) به همراه نقطه عمل کننده تنظیم شده تعیین می شود.

برای تشریح همبستگی ها بصورت کاربردگرا و واضح مثال زیر که بر اساس دریچه کاهنده فشار می باشد در زیر توضیح داده می شود. با توجه به مهندسی کنترل این بیان برای هر رگولاتور خودکار با عملکرد کنترل تناسبی کاربردی می باشد.

اساس مهندسی کنترل بیان می کند که اگر خطای حالت پایدار در کمترین حد ممکن نگهداری شود یک ضریب عملکرد تناسبی تا حد ممکن بالا (یا یک باند تناسبی کوچک) لازم می باشد. در نزدیکی نقطه عملکرد K_p بوسیله متغیر دستکاری شده y و خطای e محاسبه می شود:

$$K_p = \frac{y}{e} \quad \text{برای دریچه های کاهنده فشار} \quad K_p = \frac{\Delta K_V}{X P_2}$$

بنابراین در دریچه های کاهنده فشار به این نتیجه می رسیم که تغییرات فشار کوچک تنظیمات جابجایی بزرگ ایجاد می کنند که منجر به تولید تغییرات بزرگ K_V دریچه می شود

• اگر ضریب فنر (C_F) تا حد ممکن کوچک باشد و سطح دیافراگم محرک بزرگ باشد تنظیمات جابجایی بزرگ بوجود می آید.

• تغییر K_V دریچه به محیط روزنه (سوراخ دریچه) و مقدار K_{VS} بستگی دارد. در یک جابجایی مشابه اگر شیب (گرادیان) مشخصه کنترل بزرگ باشد و یا مقدار K_{VS} بزرگ باشد، تغییرات مقدار K_V نسبت به یک مشخصه صاف و یا مقدار K_{VS} کوچک، بزرگتر خواهد بود.

اگر دریچه برای یک ضریب عملکرد تناسبی بالا تعیین اندازه شده باشد (یعنی انحراف کم سیستم) وسایل زیر مورد نیاز می باشد:

- فنر نرم \wedge ، محرک با سطح بزرگ و مقدار K_{VS} بزرگ (در این حالت یعنی چیزی بیش از مقدار مورد نیاز یا ترکیبی از آنها). ضرائب عملکرد تناسبی که خیلی بیش از اندازه بزرگ می باشند (مخصوصا در ترکیب با یک مقدار K_{VS} بیش از مقدار مورد نیاز) تمایل حلقه کنترل برای نوسان را افزایش می دهد.

با توجه به فنر و محرک این نیازمندی ها بوسیله یک رگولاتور خودکار با کمترین محدوده نقطه تنظیم بدست می آیند.

مثال :

برای یک نقطه تنظیم 10 bar یک محدوده نقطه تنظیم 0.2 تا 1.2 bar می بایستی انتخاب شود و نبایستی در محدوده 0.8 تا 2.5 bar باشد.

توجه : همانطور که در قبل اشاره شد برای رسیدن به مقادیر نقطه تنظیم بالا وسیله زیر مورد نیاز است:

- فنر نرم یا سطح محرک کوچک یا محدودح های بزرگ فنر و ترکیبی از آنها

وسایل مورد نیاز گفته شده در بالا می بایستی مقادیر نقطه تنظیم بالا/نیروهای تعیین موقعیت بالا را نمایش دهند در حالی که انحراف سیستم کوچک باقی می ماند، شرایط متناقضی در تعیین اندازه فنر و سطح محرک می بایستی برای برآورده کردن هدف در نظر گرفته شود. چند راه حل برای غلبه بر این مشکل عبارتند از :

- تعیین انحراف کوچک سیستم از طریق مقادیر K_{VS} بزرگ
- جبران سازی برای نیروهای تعیین موقعیت بزرگ از طریق فنر، بوسیله فنرهای به اندازه کافی بزرگ

- استفاده از محرک های با سطح مقطع بزرگ

تمامی احتمال های ممکن در کاربردهایشان محدود می باشند. در حالی که فنرهای بیش از اندازه بزرگ منجر به بخش های (واحد‌های) بزرگ، پرهزینه و پیچیده می شود، استفاده از یک مقدار K_{VS} بیش از حد اندازه بعلت محدودیت های فیزیکی دارای محدودیت هایی می باشد. در حین تعیین موقعیت محرک می بایستی بر نیروی اصطکاک لغزشی و استاتیک که در اثر هدایت کردن و بستن روزنه و بدنه محرک ایجاد می شود غلبه کند. اگر این نیروی اصطکاک به همراه سایر نیروهای دیگر مورد نیاز برای بستن دریچه در نظر گرفته شوند حاصل عکس العمل دستکاری شده واقعی است که در شکل ۹ توضیح داده شده است و مشخصه ایده آل نشان داده شده در شکل ۷ نمی باشد.

X_w : system deviation

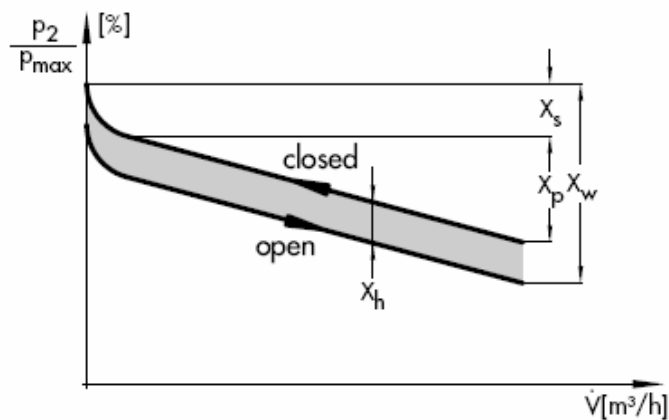
X_p : proportional band

X_h : hysteresis

X_s : closing pressure

p_2 : downstream pressure

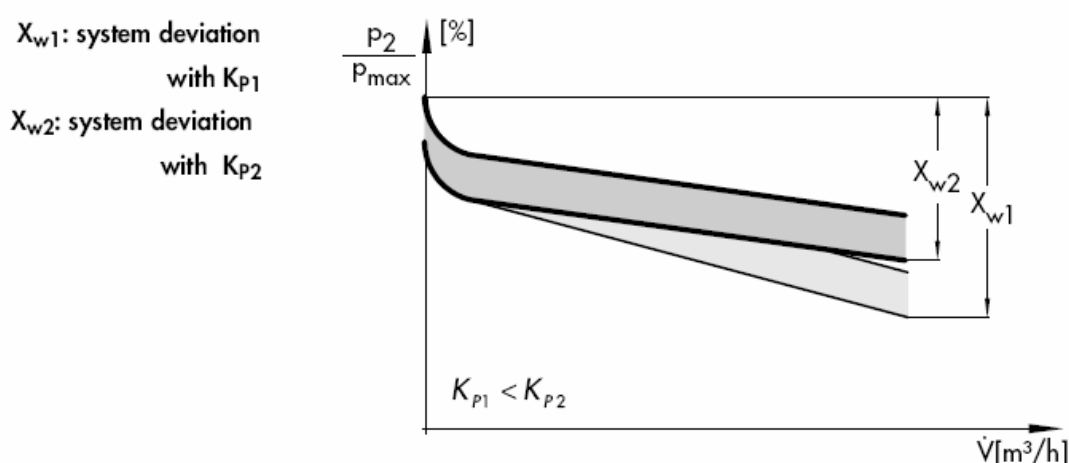
\dot{V} : flow rate



شکل ۹: مشخصه یک دریچه کاهنده فشار

مقدار پسماند X_h ایجاد شده بوسیله اصطکاک استاتیک دقت کنترل را محدود می کند. این خطا نمی تواند با استفاده از یک مقدار K_{VS} بزرگتر برای افزایش K_p مورد جبران سازی قرار گیرد. همچنین این خطا ممکن است انحراف پایداری سیستم X_w را کاهش دهد، پسماند در مشخصه کنترل باقی خواهد ماند (شکل ۱۰).

بنابراین مقدار بیش از حد مورد نیاز K_{VS} باعث افزایش ریسک نوسان سیستم می شود. از سوی دیگر تنظیم دقت مقدار K_V بعلت این پسماند مشکل خواهد شد. همچنین از سوی دیگر انحراف های کوچک سیستم منجر به تغییرات بینهایت بزرگ مقدار K_V می شود.



شکل ۱۰: انحراف سیستم با ضرائب عملکرد تناسبی مختلف

بعلت وابستگی های توصیف شده و اینکه تقاضای کنترل بالا است همواره کاهش اثرات تغییر کردن مقادیر ΔP در روزنه در بیشترین حد ممکن (مخصوصا در حالتی که اندازه های نامی بزرگ می باشد) با استفاده از سیستم های متعادل کننده فشار و انتخاب نمونه هایی با کوچکترین محدوده نقطه تنظیم، مورد نظر می باشد.

با دنبال کردن این اصول تعیین اندازه (مجراهای متعادل کننده، فنرهای نرم، دیافراگم محرک بزرگ و اگر لازم باشد مقادیر K_{VS} بزرگ) انحراف سیستم در رگولاتورهای خودکار می تواند در حداقل مقدار نگهداری شود. با این وجود ضرائب عملکرد تناسبی که خیلی بزرگ هستند مخصوصا در زمان ترکیب با مقادیر K_{VS} بیش از حد نیاز، شامل ریسکی می شود که به موجب آن حلقه کنترل شروع به نوسان می کند. همچنین افت کردن سیگنال فشار اندازه گیری شده بواسطه محدودیت های موجود در خطوط کنترل به دیافراگم محرک، دارای محدودیت های خاص خودش می باشد.

همبستگی های توضیح داده شده به روشنی نشان می دهد که انحراف سیستم در رگولاتورهای خودکار بشدت به طراحی آنها بستگی دارد. بنابراین انحراف سیستم در رگولاتورهای خودکار می تواند به طور قابل توجهی بوسیله اندازه گیری های دقیق کاهش یابد.

ireaie.persianguig.com

در صورتی که پیشنهادی جهت بهبود این متن دارید و یا در صورت مشاهده اشکال در متن آن را به پست الکترونیکی به آدرس زیر ارسال کنید.

af_shiraz_1382@yahoo.com

afshin.masoomi@gmail.com