

Електронни уреди за пропорционална хидравлика

Хидравличните устройства почти не се използват в бита, но са широко разпространени в индустрията – подечни съоръжения, тежки строителни машини, преси, кранове, роботи и много други. Като употреба в бита, донякъде, може да се приеме приложението им при автомобилите и в някои асансьори.

Изпълнителните устройства в хидравликата – цилиндри, двигатели и други, се управляват с така наречените хидравлични разпределители. С тях се пренасочва маслото под налягане, с което се изпълнява съответна команда.

Електронни уреди за пропорционална хидравлика

Изходната характеристика на разпределителя може да е релейна (отворено – затворено) или пропорционална. При пропорционалните хидравлични устройства изходната величина (налягане, дебит, преместване и т.н.) е пропорционална на входната – ток, напрежение, код и др. Разпределителите с пропорционално управление най-често са съставна част от хидравлични сервозадвижващи системи.

Сервозадвижващите системи са предназначени за управление на премествания. Преместванията могат да бъдат линейни, ъглови (въртене) или по определена траектория.

Електронни уреди за пропорционална хидравлика

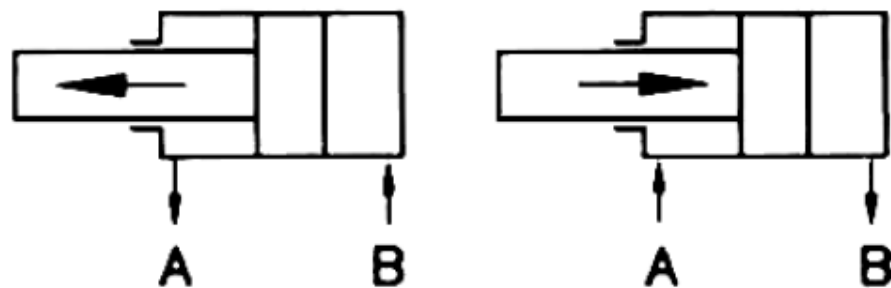
Сервоуправлението, сервозадвижването, е задвижващ механизъм, който извършва преместване, пропорционално на управляващ сигнал. Чрез сервосистемите се задават ускорението, скоростта и големината на преместването или по-общо – законът на движение.

Управляващият сигнал може да е аналогов или цифров. Когато сигналът е аналогов, той е напрежение (най-често в обхвата -10V до $+10\text{V}$) или ток (4 до 20mA или -5 до $+5\text{mA}$).

Електронни уреди за пропорционална хидравлика

Опростената конструкция на хидравличните машини включва резервоар с масло, помпа, хидравлични магистрали (тръби), разпределители и изпълнителни устройства – хидравлични цилиндри и мотори.

Помпата осигурява налягане, което по тръбите през разпределителите се подава към хидравличния цилиндър, който, като се премества извършва някаква работа.



Електронни уреди за пропорционална хидравлика

Управлението на цилиндъра или по-общо на изпълнителното устройство може да бъде дискретно (релейно, On-Off) или пропорционално. Дискретното управление е на принципа включено-изключено. Действието на разпределител с такова управление може да се разгледа аналогично на ключ с три положения. Когато ключът е в средно положение, магистралите са запушени и масло не тече. Когато се включи в едната посока маслото се пропуска изцяло към съответната страна на цилиндъра. Когато се изключи, маслото спира да тече веднага. Този начин на включване и изключване води до резки движения, понякога с удар.

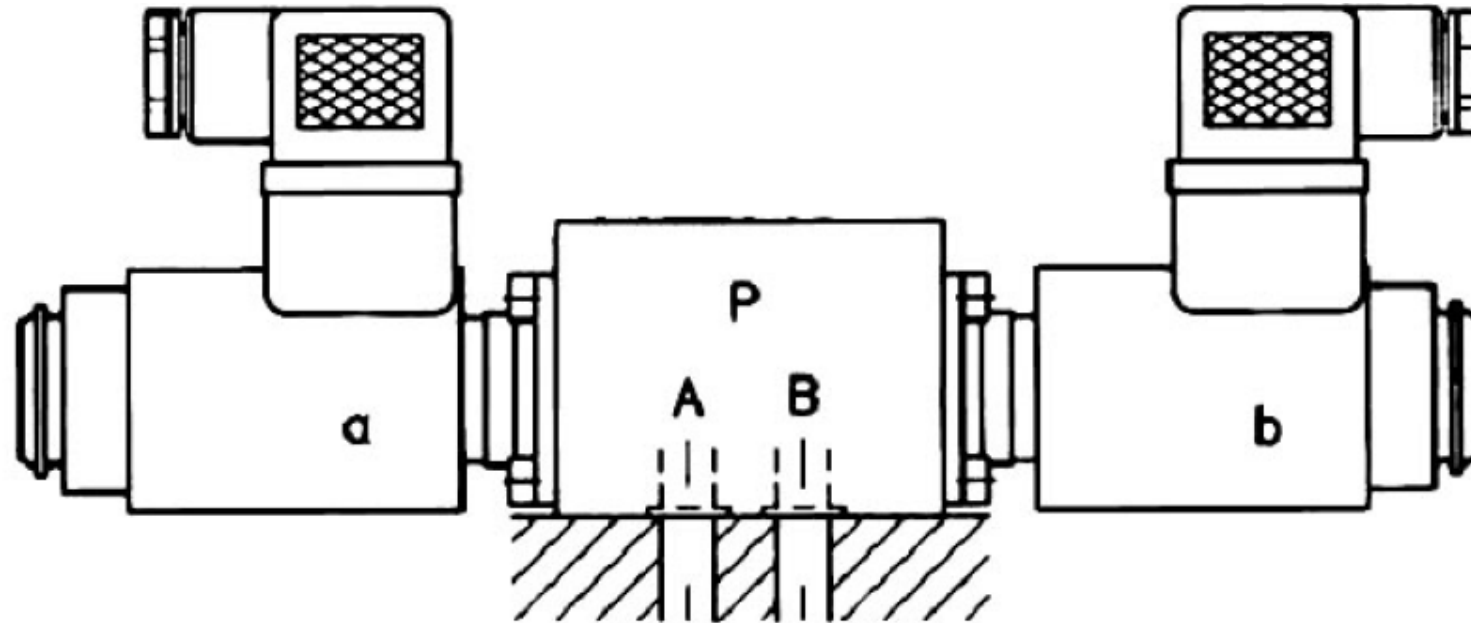
Електронни уреди за пропорционална хидравлика

Така сериозно се натоварват всички части на хидравличната система. Такова управление се използва при малки (маломощни) съоръжения, с малък дебит на маслената помпа или със специални демпферни устройства, омекотяващи ударите. Ако се преместват тежки обекти, този начин на управление води до хидравлични удари, сътресения и вибрации. Понякога тези вибрации се използват умишлено при изпитания на конструкции на устойчивост.

Електронни уреди за пропорционална хидравлика

Пропорционалното управление е плавно. При него отварянето на магистралата е плавно и пропорционално на управляващия сигнал. Маслото, обикновено, може да се подава и в двете посоки. За налягането на маслото може да се направи сравнение с водния кран, където то е не повече от 8 bar (атмосфери), а при хидравличното масло е повече от 200. Това води до изисквания към превключвателите. Превключването на маслото се прави с **хидравлични разпределители**. Те се използват както при релейното (дискретно), така и при пропорционалното управление.

Електронни уреди за пропорционална хидравлика



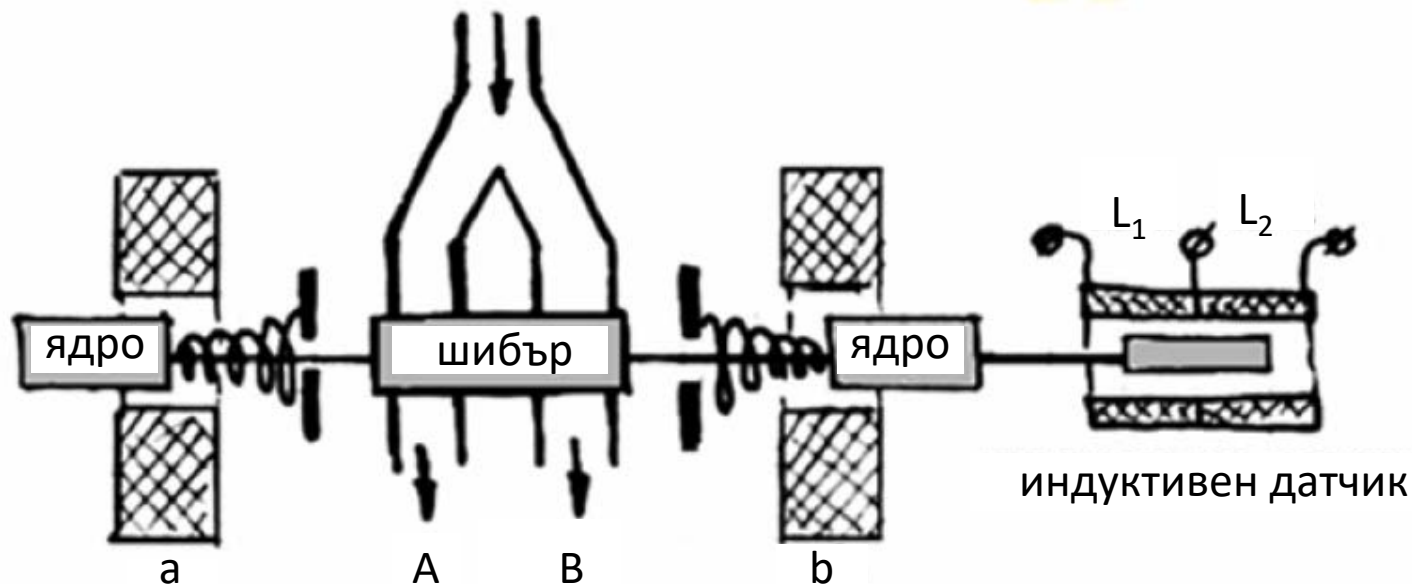
На фигурата е показан чертеж на хидравличен разпределител. Маслото постъпва с налягане P и се пропуска през магистралите A и B след превключване на разпределителя с помощта на електрически сигнал и електромагнитите a и b .

Електронни уреди за пропорционална хидравлика

При дискретното управление на електромагнита се подава напрежение (най-често 24V) и той включва. При отпадане на напрежението – изключва. Когато хидравличният разпределител е двупътен (двупосочен), електромагнитите са два, действащи противоположно, като са взети мерки да не се включват едновременно.

Хидравличните разпределители за дискретно управление, като конструкция, не се отличават съществено от разпределителите за пропорционално управление.

Електронни уреди за пропорционална хидравлика



Разпределителят е представен на чертежа схематично (и много опростено). От горе постъпва хидравличното масло (с налягане P). Двата електромагнита а и б привличат ядрата като свиват пружините и местят шибъра. В даден момент работи само един електромагнит. Шибърът е тяло с много гладки стени и точни размери. Той отваря и затваря маслените магистрали А и В.

Електронни уреди за пропорционална хидравлика

Външният вид на еднопътен хидравличен разпределител е показан на следващата фигура. Виждат се куплунгите на индуктивния датчик за преместване и за управление на електромагнита.



Електронни уреди за пропорционална хидравлика

Управлението в двете посоки е независимо – участват различни пружини и електромагнити, и към него може да се обосноват изискванията:

1. Колкото и качествени да са пружините, технологията не позволява, на приемлива цена, те да се получат с еднакви параметри. Същото се отнася и за електромагнитите и ядрата, т.е. цялата система, с която се премества шибъра. Това изисква различни характеристики (коефициенти на усилване) на електронната част за двете посоки.

2. Поради причини, свързани с технологията на производство на шибрите и възможностите за точно изпълнение се явяват някои специфични особености на характеристиките на управляващия контролер.

Електронни уреди за пропорционална хидравлика

3. Има различия в поведението на шибъра при движение и в покой.

4. В електро-автоматиката, към която спадат и системите за управление на хидравлични разпределители има традиции по отношение на захранващите напрежения. Подобно е положението и с формиране на управляващите сигнали към електронния контролер, а във връзка с това и изисквания към предавателната характеристика – времеви параметри.

На следващата фигура е показано как шибърът затваря маслената магистрала. Краят на шибъра трябва точно да съвпада с отвора, през който минава маслото.

Известно е, че в машиностроенето не може да се работи с абсолютна точност.

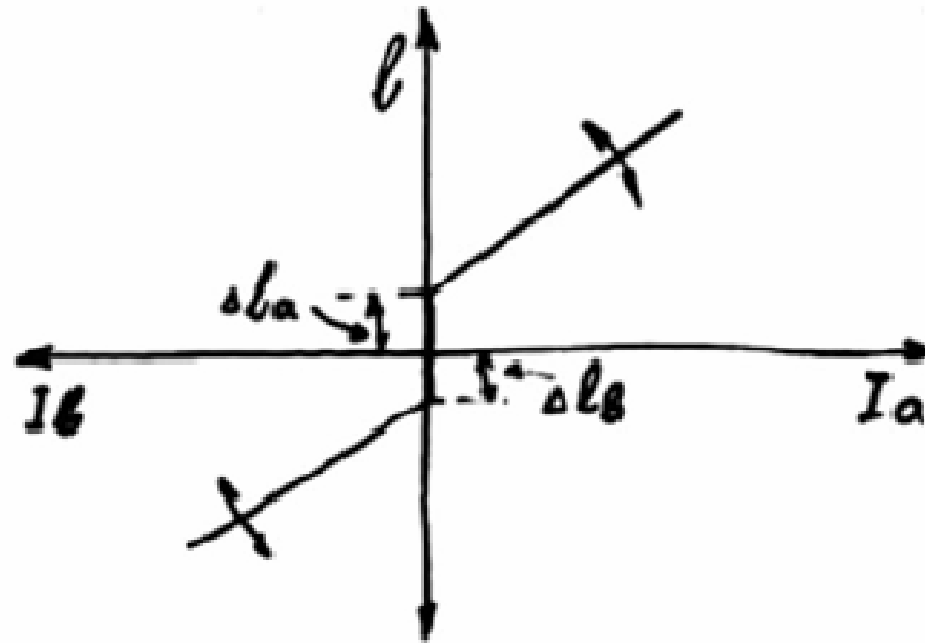
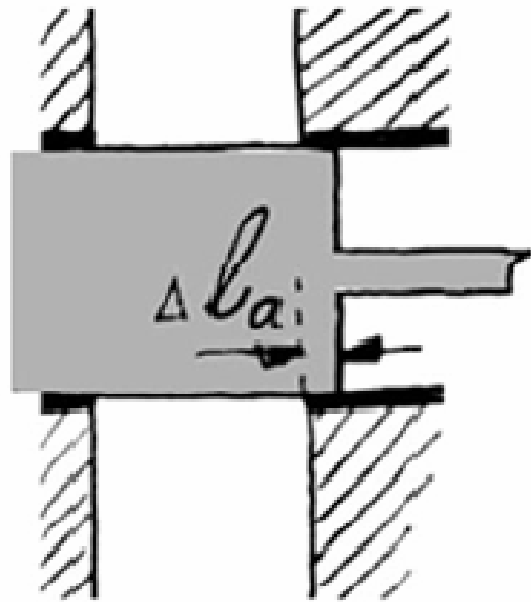
Електронни уреди за пропорционална хидравлика

В идеалния случай дължината на шибъра трябва да е равна на разстоянието между двете външни стени на магистралите. При най-малък сигнал в едната или другата посока маслото ще постъпва в съответната магистрала.

Да се произведе шибър с такава точност не е възможно при серийно производство или би било твърде скъпо. Ако при производството шибърът е по-къс от точния размер, когато е в средно положение и двете магистрали ще са „малко поотворени“, а това е неприемливо. Когато е по-голям, в средата ще има „мъртъв ход“ – ще има преместване, а масло няма да тече. Все пак това е по-добрия вариант, защото няма да се пропуска масло и в двете посоки.

Електронни уреди за пропорционална хидравлика

Затова шибърът винаги се произвежда по-голям, така че сигурно да запушва и двете магистрали. За да няма мъртъв ход, в характеристиката се въвежда скок в преместването.



Електронни уреди за пропорционална хидравлика

Както се вижда на фигурата, при входен сигнал 0+ и 0- в преместването се реализира скок. Скокът е различен в двете посоки защото, в общия случай, двете неточности спрямо средното положение са различни, а средното положение се определя и от пружините. Така, когато работи електромагнит **a**, скокът е Δl_a , а когато работи електромагнит **b** – Δl_b .

Скоковете в характеристиката са индивидуални и трябва да може да се нагласяват при настройката на разпределителя към контролера.

Дотук се вижда, че ще са необходими две настройки – едната за скок в посока **a**, а другата – в **b**. Най-лесно настройката се прави с потенциометри, дори когато реализацията е с микроконтролери.

Електронни уреди за пропорционална хидравлика

Има решения на схемите за настройка, при които също се ползват два потенциометъра, но единият е за нулевото положение, а другият за ширината на скока в характеристиката – $(\Delta I_a + \Delta I_b)$. И двата начина на настройка водят до един и същ резултат. Удобството да се настройва с потенциометри не означава, че те задължително трябва да участват в схемата като променливи съпротивления. Реализацията може да е изцяло цифрова.

Потенциометрите може да се ползват само за въвеждане на информация в паметта на микроконтролера. В други случаи настройката се извършва с елементи, които имат подобен начин на работа – въртят се, но са специализирани елементи за въвеждане, например енкодери.

Електронни уреди за пропорционална хидравлика

Както бе казано по-горе двете посоки на превключване на разпределителя се управляват с различни и независими едни от други елементи (пружини, електромагнити...). Съответно и коефициентите на предаване трябва да са различни за двете посоки. Това добавя още два елемента за настройка – още два „потенциометъра“.

Традициите за изграждане на електрически табла в електроавтоматиката включват релейна автоматика, чрез която управляващите сигнали, най-често напрежения, зададени с потенциометри, се подават на контролера, за да се изпълнят като преместване.

Електронни уреди за пропорционална хидравлика

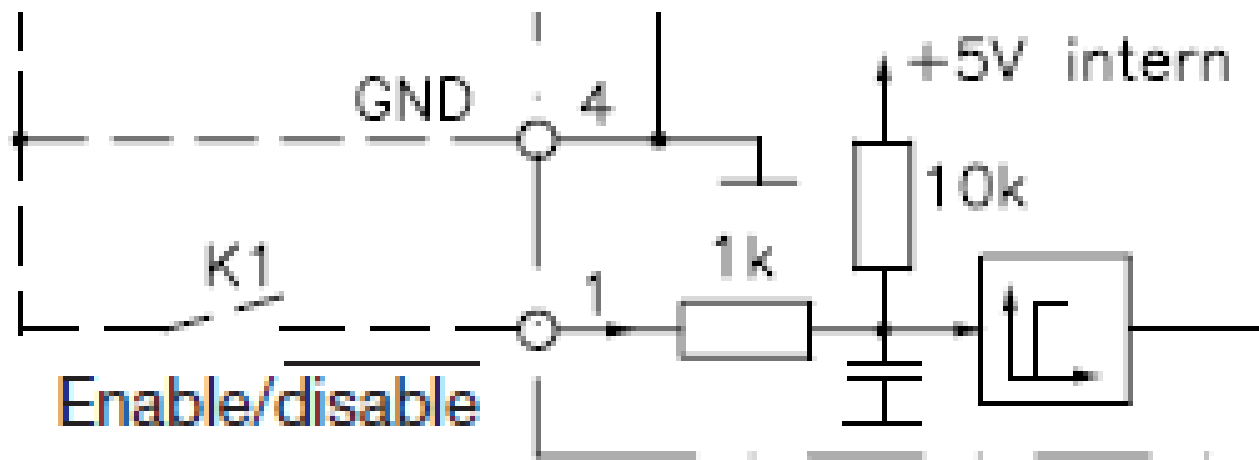
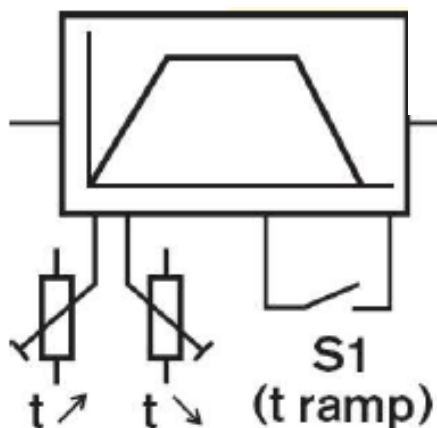
Това означава, че напрежението през контакта на релето се подава на входа на контролера „изведнъж“, скокообразно. Разпределителят, ако получи такъв сигнал, ще го изпълни както би го изпълнил разпределител с дискретно управление, рязко и с удар.

Затова в характеристиката на контролерите за пропорционалната хидравлика е предвидено ограничение на скоростта на нарастване на изходния сигнал, независимо от подадения скок в управлението. При подобрите контролери се настройва както скоростта на нарастване, така и скоростта на спадане на сигнала.

Електронни уреди за пропорционална хидравлика

Най-сложно би било, ако се настройва скоростта на нарастване и спадане по отделно и в двете посоки – общо четири настройки. По-често настройката е само една и за четирите времена.

Почти при всички контролери схемата за плавно включване може да се изключва по външен сигнал. В този случай командите ще се изпълняват от разпределителя както са подадени, без „смекчаване“.



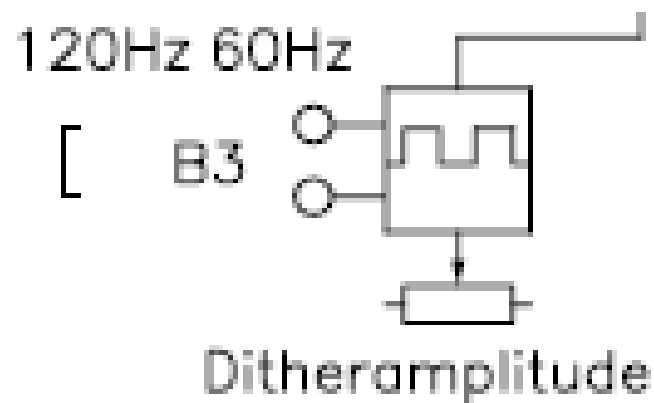
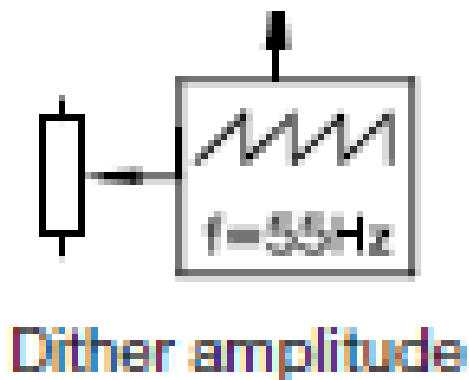
Електронни уреди за пропорционална хидравлика

Това се прави по две причини. Едната е за да може по-бързо да се настройва хидравличната система – при настройката хидравликата е без товар и рязкото движение е допустимо. Втората причина е, че контролерът трябва да може да работи с друг вид автоматика, при която управляващите сигнали се променят плавно и са различни при всяко движение, а не само с такова закъснение, каквото е заложено при настройката.

Контролерите за управление на пропорционални хидравлични разпределители имат и още една специфична възможност – да модулират изходния сигнал с ниска честота от 30 до 200Hz. Нарича се **dither**. Това води до разтрептяване на шибъра – той трепти с модулиращата честота когато е в покой и когато се движи.

Електронни уреди за пропорционална хидравлика

Амплитудата на колебанията трябва да е много малка и може да се настройва. Така триенето се намалява, подобрява се смазването и като краен резултат управлението става по-плавно. Ако няма такава модулация шибърът понякога леко “заклинва”, и когато трябва да се премести се получават удари и разколебаване.



Електронни уреди за пропорционална хидравлика

Преместването на шибъра се измерва с индуктивен датчик, който следи неговото положение. Сърцевината му е свързана механично с шибъра. Индуктивността на L_1 и L_2 се променя в зависимост от мястото на сърцевината. Така отношението на индуктивните съпротивления е пропорционално на преместването.

Предимството на разпределители с такава обратна връзка е по-плавното управление и по-голямото бързодействие. Освен това по-лесно се постига устойчивост на системата за управление – обикновено, разпределителите са част от система, управляваща хидравличната машина.

Електронни уреди за пропорционална хидравлика

Не всички хидравлични разпределители имат такива датчици и не всички контролери за управление на разпределители имат входове за работа с индуктивни датчици.

При липса на обратна връзка (индуктивен датчик) се разчита на прецизността, с която са изработени детайлите (шибър и канали), на постоянството на характеристиките на пружините и електромагнитите.

В някои случаи за обратна връзка се взема не преместването на шибъра, а преместването на изпълнителното устройство – хидравличен цилиндър или мотор. Доколкото е важен крайният резултат, този подход е правилен. В този случай обаче, може да има проблем по отношение на устойчивостта на системата, ако разпределителят не работи плавно.

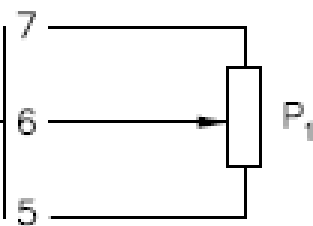
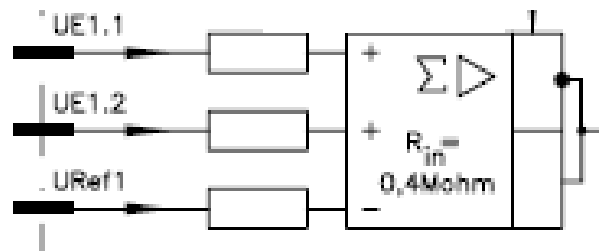
Електронни уреди за пропорционална хидравлика

Задължителен блок в управляващите уреди за пропорционални разпределители е преди всичко захранващият, който от 48 (24, 12) V изработва всички необходими за работата на управлението напрежения. Техният брой, полярност и стойност зависят от избраната схема, но задължително от устройството трябва да “излизат” две стабилизирани напрежения с различна полярност $\pm 10 (5)V$. Тези напрежения захранват потенциометрите, с които чрез релета се подават командите към усилвателя. Стабилността на тези напрежения определя и точността, с която се позиционира шибъра.

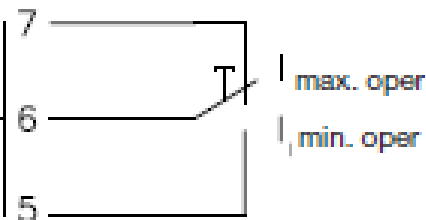
Друг задължителен елемент е сумиращ усилвател с три и повече входа - буферира и сумира управляващите сигнали.

Електронни уреди за пропорционална хидравлика

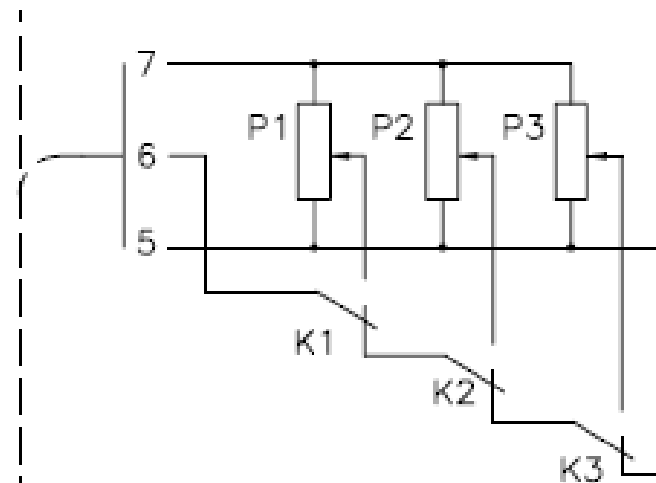
Входните напрежения към сумиращия усилвател може да се задават по различен начин:



1) плавно с
потенциометър



2) с фиксирани
стойности за min и max

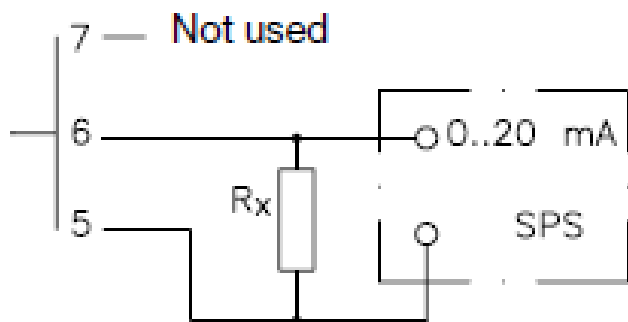


3) с приоритетно зависими,
предварително зададени
стойности

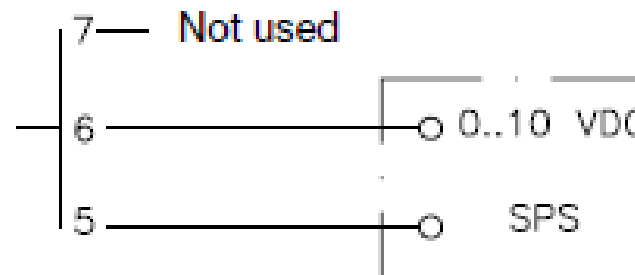
Електронни уреди за пропорционална хидравлика

Чрез дистанционно управление при йерархични системи от типа SCADA, включващи програмируеми логически контролери (PLC), системи с ЦПУ (CNC), работни станции и др.:

4) с аналогов сигнал 4-20 mA

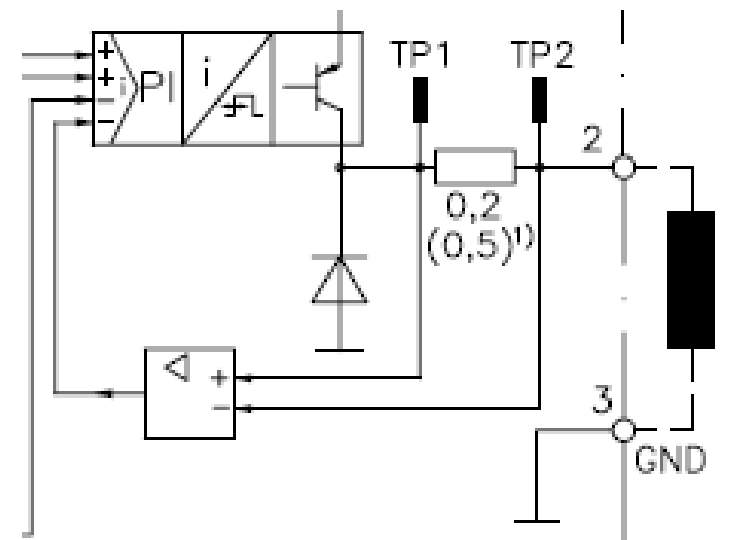
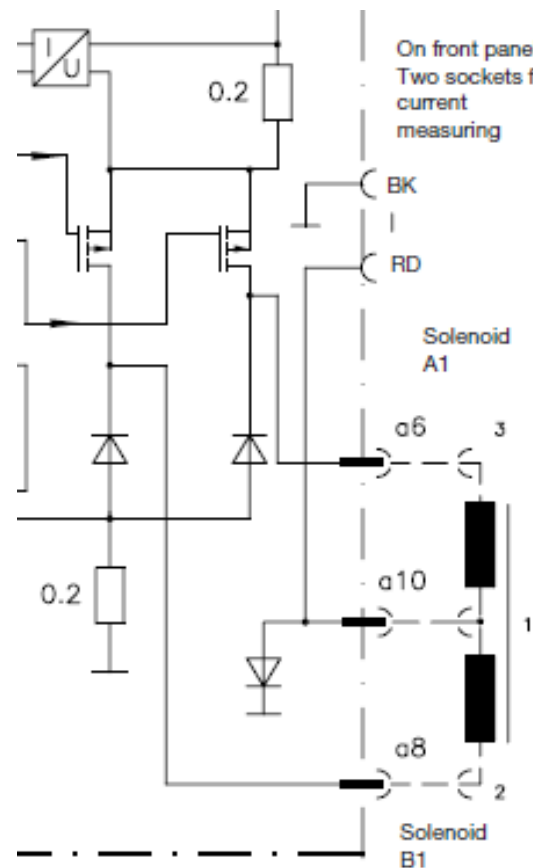
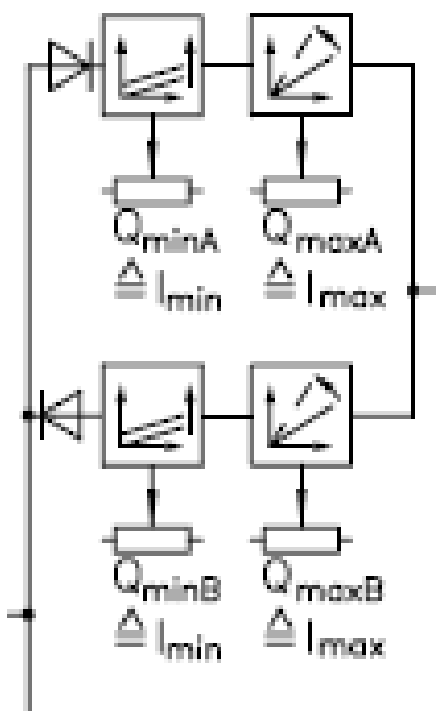


5) с аналогов сигнал 0-10 V



Електронни уреди за пропорционална хидравлика

Изходните стъпала работят като генератори на ток и управляват електромагнитите на разпределителя. Осигурени са защиты при късо съединение и регулировки на максималната и минималната стойност на тока в зависимост от товара.



Електронни уреди за пропорционална хидравлика

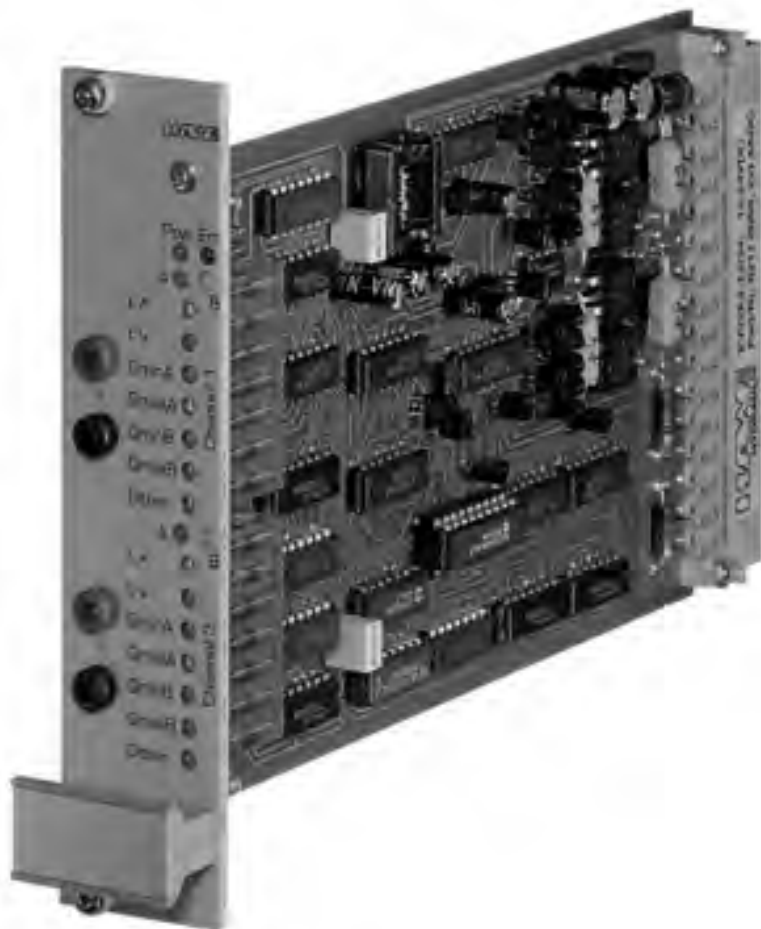
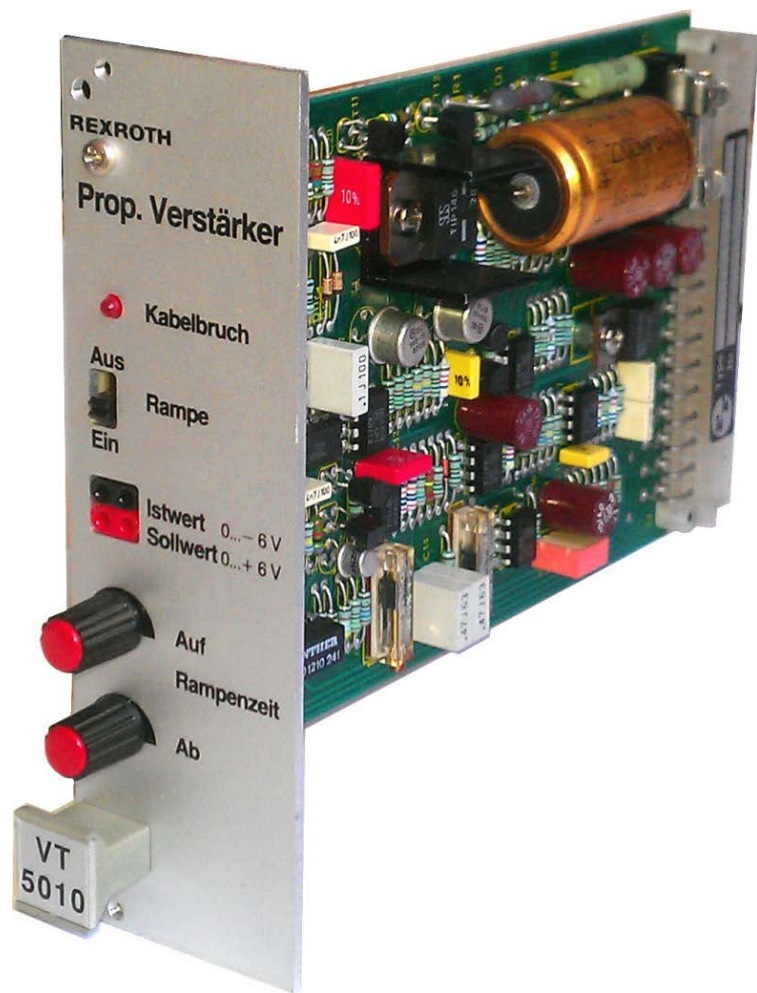
Контролерите за пропорционалната хидравлика са:

- електронни устройства, които са реализирани като модули за монтаж в табла със захранване най-често 24V;
- изработват опорно изходно напрежение ($\pm 10V$ или близко до тази стойност) за задаване на управляващи сигнали;
- входните управляващи сигнали се приемат от суматор. Така разпределителят може да се управлява с проста релейна схема;
- управляващото напрежение се обработва като се променя скоростта му на нарастване (намалява се и може да се настройва);
- настройва се коефициентът на предаване по отделно за положителни и отрицателни управляващи напрежения;

Електронни уреди за пропорционална хидравлика

- около нулата на предавателната характеристика се въвежда скок, различен в положителна и отрицателна посока;
- управляващият сигнал може да се модулира (dither). Амплитудата на модулация може да се настройва;
- изходните стъпала работят като генератори на ток в ключов режим и управляват електромагнитите на разпределителя;
- някои от контролерите имат входове за индуктивен датчик, с който се измерва действителното положение на шибъра;
- контролерите имат и входове за логически (релейни) сигнали, с които се управляват някои от параметрите – включва се модулацията, изключва се ограничението в скоростта на нарастване на управляващия сигнал.

Електронни уреди за пропорционална хидравлика



Ултразвуков измервател на скорост и дебит

Ултразвук са всички звукови вълни с висока честота, които човешкото ухо не възприема (не чува). Границата е доста различна за конкретния индивид и обикновено с възрастта се понижава. Възприето е, че ултразвуковият обхват започва от 20 kHz.

Ултразвуковият метод се използва за измерване на скоростта и дебита на течности, най-вече когато е трудно приложим класическият подход с турбина (перка). Обикновено това е на места където дебитът е голям (централни водопроводи) или течностите са силно замърсени, или имат механични включвания (биха повредили турбината), а също така, когато директният контакт с течността е недопустим – много високи температури, агресивни среди (киселини, основи и др.).

Ултразвуков измервател на скорост и дебит

Методът е приложим и при измерване на дебита на реки, напоителни канали и други подобни.

В определени случаи ултразвуковият метод може да се използва и при измерване на скоростта и дебита на газове.

В основата на метода е ефектът на Доплер и се основава на промяната на скоростта на разпространение на звука в течността в зависимост от посоката ѝ на движение. Когато посоката на излъчване на звука съвпада с тази на течността, скоростта е по-висока и обратно. Това се проявява като промяна на приетата честота спрямо честотата на източника.

Ултразвуков измервател на скорост и дебит

Директното измерване на тази скорост (честота) е трудно по няколко причини.

Преди всичко скоростта на звука в течността е много по-висока от максималната скорост, с която се движи същата течност – разликата е повече от 1000 пъти, а при минималната скорост и много повече. Обикновено, при измерването на дебита на течности, скоростта е 0,1–10 m/s, а скоростта на звука е няколко km/s (за водата 1,45 km/s).

За да се получи приемлива точност на измерването 2 – 5%, трябва да се работи с много голяма разрешаваща способност при измерване на време – над 0,000001.

Ултразвуков измервател на скорост и дебит

Изискването за висока разрешаваща способност се получава, защото при скорост на звука във водата $1450,000 \text{ m/s}$ трябва да можем да отчетем промяна с $0,002$ (2% от $0,1 \text{ m/s}$ скорост на водата), т.е. да разграничаваме $1450,002$ от $1450,000 \text{ m/s}$.

Това е постижимо със съвременните средства за измерване, макар и не много лесно – тактовата честота, с която се запълва временният интервал ще трябва да е по-висока от 500 MHz .

Друг, много по-голям проблем при директното измерване на скоростта на течността е, че скоростта на разпространение на звука не е постоянна.

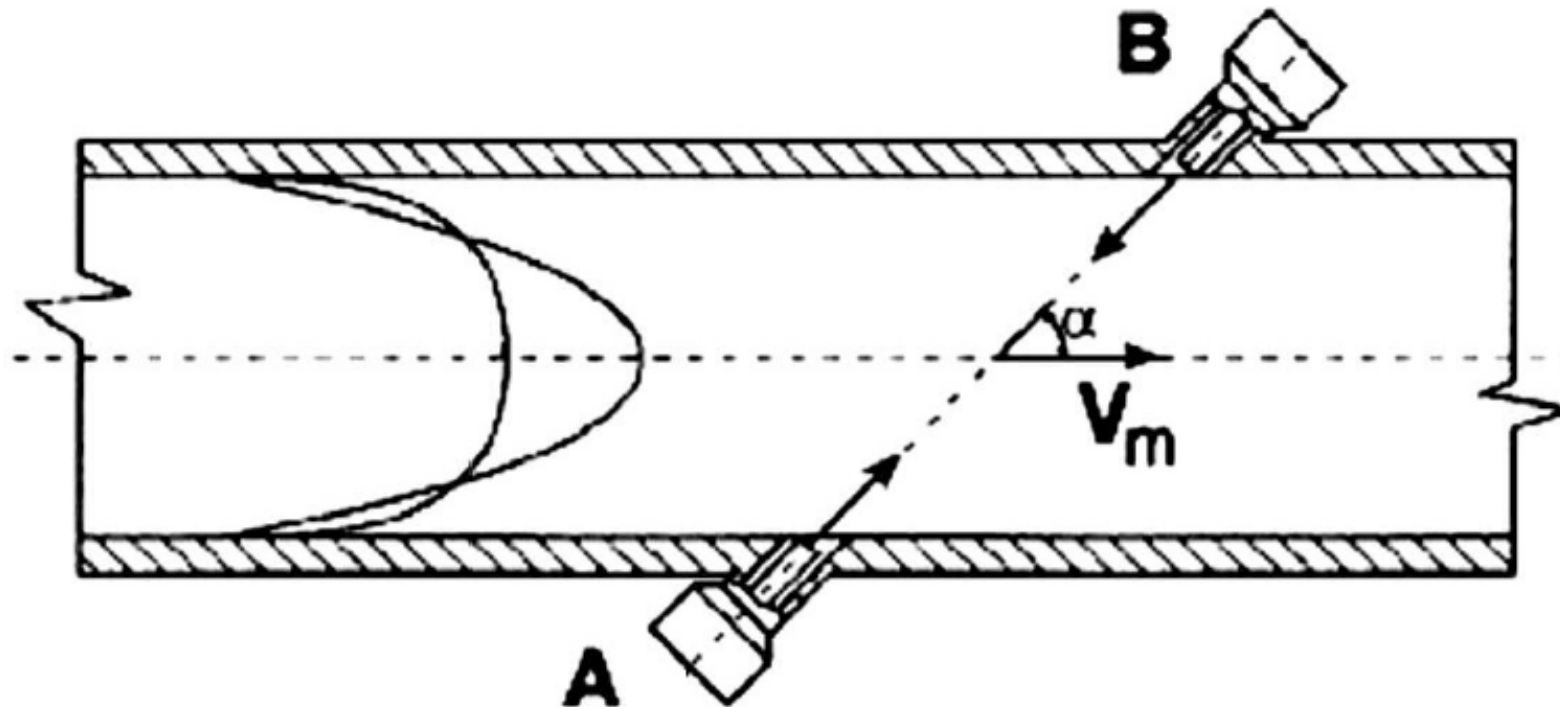
Ултразвуков измервател на скорост и дебит

При това, изменението на скоростта на разпространение от околните фактори (температура, състав и др.), е много по-голямо от изменението, което се получава от движението на течността.

По тази причина, дори да се измерва директно скоростта на разпространение, ще трябва да има контролен канал, с който да се измерва моментната скорост на звука и спрямо нея да се изчислява отклонението, а от там и скоростта на течността. Скоростта на звука в контролния канал трябва да се измерва перпендикулярно на потока. За да се получи приемлива грешка на резултата, се изисква времето да се измерва с разрешаваща способност 1-2 ns.

Ултразвуков измервател на скорост и дебит

Има решение с по-прости средства. Идеята е да се измерва времето (или честотата) за разпространение на звука в едната посока и обратно. На фигурата е показана тръба, по която тече течност и два приемник – излъчвателя А и В.



Ултразвуков измервател на скорост и дебит

Ако А и В са излъчвател и приемник на разстояние l , времето за което звуковата вълна го изминава в посока, която съвпада с посоката на течността е $t_1 = l / (V_{зв} + V_T)$, а в обратната - $t_2 = l / (V_{зв} - V_T)$, като $V_{зв}$ и V_T са скоростите на звука и на течността. При това, както бе казано по-горе, изменението на скоростта на разпространение от околните фактори (температура, състав на течността и др.), е много по-голямо от изменението, което се получава от движението на течността. Ако вземем стойностите на $1/t$ и ги извадим, и след малки преобразувания във формулата, ще получим:

$$1/t_2 - 1/t_1 = (V_{зв} + V_T - V_{зв} + V_T) / l = 2 \cdot V_T / l.$$

Ултразвуков измервател на скорост и дебит

В изчисленията не е отчетен ъгъл α между оста на тръбата и направлението на приемо-предавателите А и В. Полученият резултат трябва да се коригира според ъгъл α .

Вижда се, че в получената формула за скоростта на течността V_T , скоростта на разпространение на звука $V_{зв}$ не участва. Ако се направи така, че t_1 и t_2 са периоди на два сигнала, то $1/t_1$ и $1/t_2$ ще са честотите им. Разликата между двете честоти ще е пропорционална на скоростта на движение на течността.

Като се знае сечението на тръбата може да се изчисли и дебита на течността.

Ултразвуков измервател на скорост и дебит

За да се реализира този принцип трябва да се направи генератор, работещ с период, който да се задава от времето за преминаване. Всъщност трябва да се направят два генератора с периоди t_1 и t_2 .

Двата предавател-приемника А и В са пиезоелементи. Пиезоефектът, на базата на който работят тези преобразуватели е обратим. Двата елемента се редуват – единият е предавател, а другият – приемник, след това – обратно.

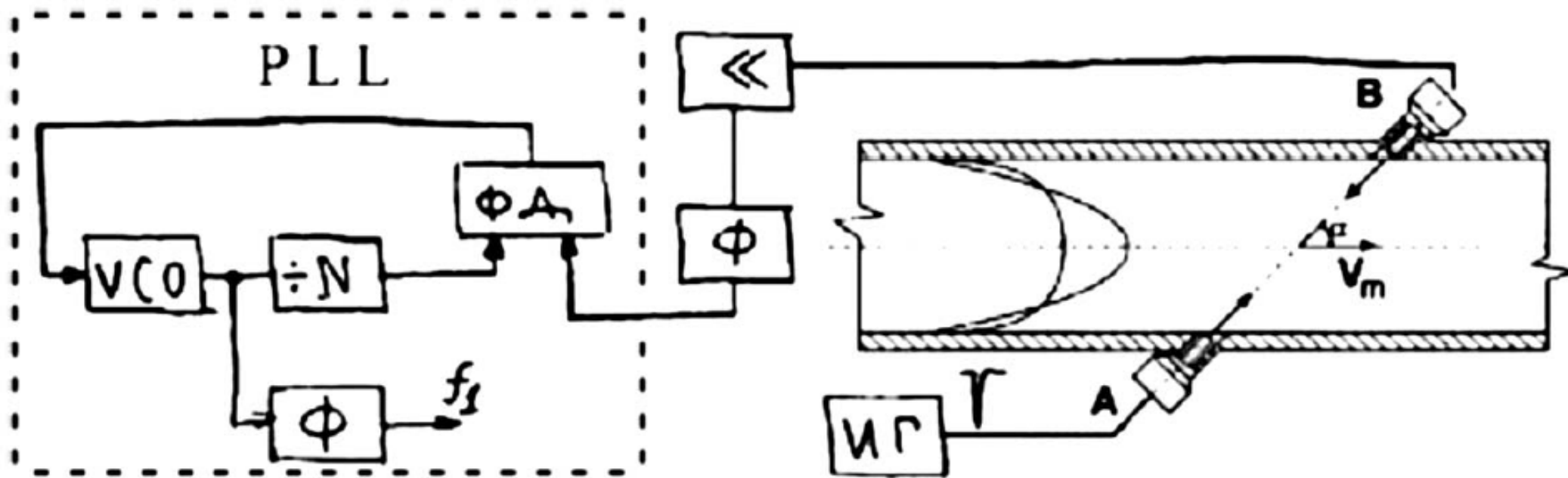
За да се получи по-голяма разрешаваща способност и по-точно измерване се използват генератори, които работят на значително по-висока (но, кратна) честота от тази, която би се получила от $1/t$.

Ултразвуков измервател на скорост и дебит

Схемите на такива генератори могат да се реализират по различни начини, но най-надеждният и популярен е този с използването на фазозатворени вериги или PLL. Може да се използват и други методи за умножение на честотата, но този има едно предимство, което е важно за конкретното приложение – при правилно подбран фазов детектор PLL схемата работи и при пропадане на някои от синхронизиращите импулси (тези, които се получават в приемниците А и В). Това се случва често когато се работи със замърсени течности, отпадъчни води и др. подобни. Блокова схема на такъв генератор е показана по-долу.

Ултразвуков измервател на скорост и дебит

От генератор ИГ се подават импулси към излъчвателя А. След като преминат през течността, с променена честота поради ефекта на Доплер, те постъпват в приемника В, усилват се, формират се и като цифрови сигнали се подават на генератора, работещ с PLL.



Ултразвуков измервател на скорост и дебит

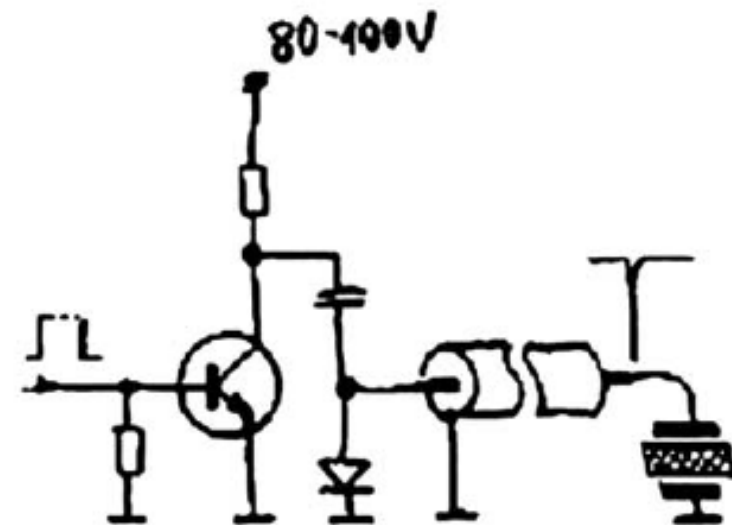
Схемата на фазозатворената верига е малко опростена – има един делител на честота защото целта е да се получи умножение. В стандартната схема на генератор с PLL се изработва произволен набор от честоти.

Във фазовия детектор се сравняват входната честота и тази на генератора (VCO) разделена на N – избрания коефициент на умножение. Честотата f_1 се определя от честотата, получена на вход V .

За да се получи стабилен сигнал на този вход, излъчените импулси трябва да са с много стръмни фронтове. Има различни начини за формиране на такива импулси – например с лавинни транзистори.

Ултразвуков измервател на скорост и дебит

Когато се подаде отпушващ сигнал на базата, тези транзистори се “пробиват” – лавинен пробив. Характерно за него е много голямата скорост – превключването е много бързо. Така се формира и излъчва стръмен импулс.



Формираият импулс е с нарастващ фронт 1-2 ns. По коаксиален кабел импулсът се подава към излъчвателя. Коаксиалният кабел е задължителен, за да се предаде краткият фронт.

Пиезоелементът има резонансни свойства и импулсът не може да е кратък. От това се определят и изискванията към формиращата схема.

Ултразвуков измервател на скорост и дебит

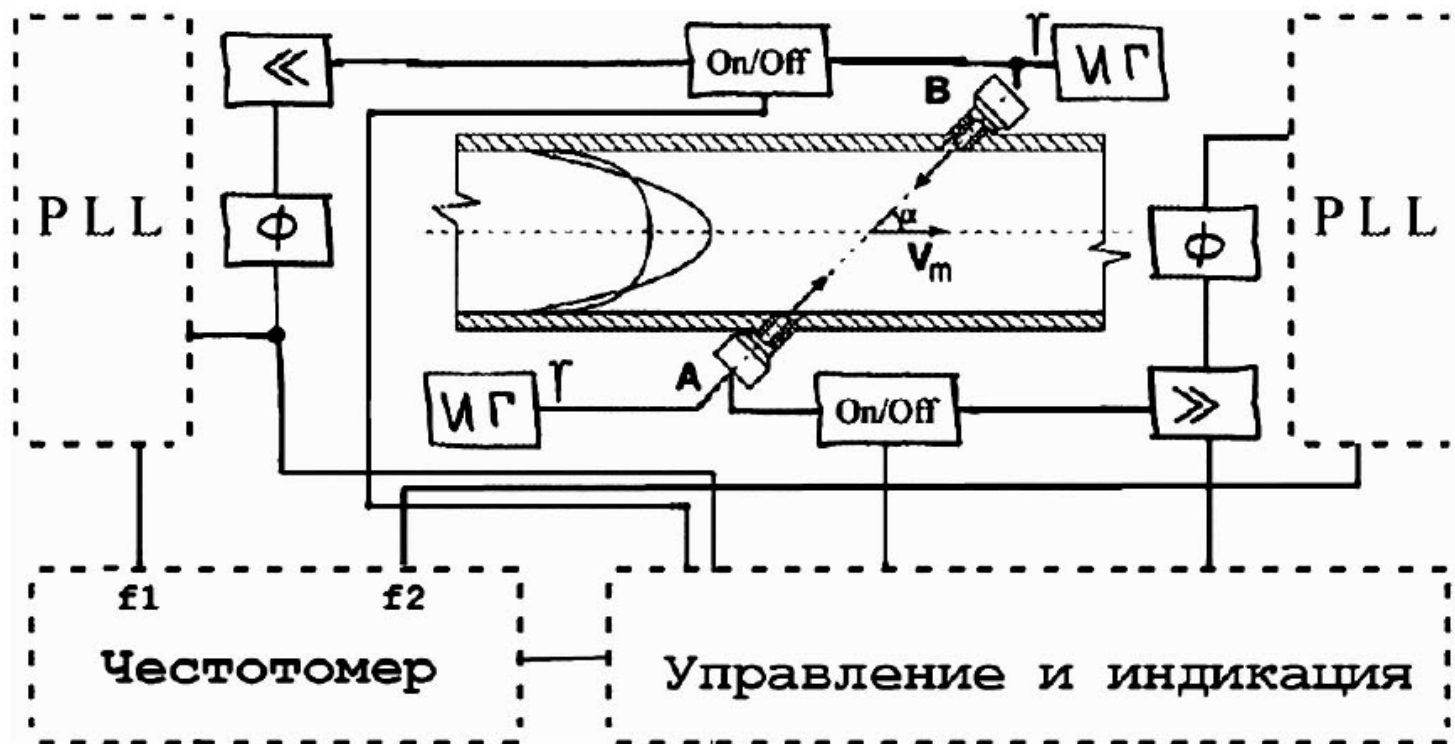
Тя трябва да се задейства по нарастващия фронт и след това известно време да не е активна. Това време се определя от максималната честота, която може да се получи на входа на пиезоприемника.

Освен описаният се използват и други генератори на единични импулси. Обикновено, когато разстоянието между приемо-предавателите е по-голямо, импулсите са с амплитуда около 100V. Импулси с голяма амплитуда може да се генерират и с нисковолтови елементи, а напрежението да се подава към излъчвателя през трансформатор. За максимално излъчване изходът се настройва на резонансната честота на пиезоелемента.

Ултразвуков измервател на скорост и дебит

За да се реализира ултразвуковият дебитомер трябва да се направи втори, аналогичен канал, който да работи в обратната посока.

Въпреки, че са показани два отделни импулсни генератора, те се управляват от един източник, т.е. са с еднаква честота.



Ултразвуков измервател на скорост и дебит

Приемо-предавателите А и В работят последователно като излъчватели и приемници. Приетият сигнал е хиляди пъти по-слаб от излъчения. Това налага приемникът да е с голяма чувствителност. Ако на входа на приемника се подаде излъченият сигнал (100V), най-вероятно усилвателят ще се насити и няма да е готов да приеме сигнала в обратна посока. Това налага добавянето на допълнителен блок за превключване – On/Off. Неговата задача е да изключва входа на усилвателя когато се излъчва импулс.

Импулсните генератори работят на една и съща честота, но импулсите са разместени така, че да не се получава застъпване.

Ултразвуков измервател на скорост и дебит

Това означава да не се излъчва сигнал от пиезоелемента А когато се очаква да дойде сигналът от В. При движение на течността, поради доплеровия ефект, в зависимост от посоката, честотата, която се приема е по-висока или по-ниска от излъчваната.

Първоначално импулсите са така разместени, че да не си пречат. Тъй като двете честоти не са еднакви (освен в неподвижна течност), постепенно импулсите (които се приемат) се приближават и неминуемо биха се застъпили с излъчваните. За да не става това, управлението ги следи и когато те се доближат на по-малко от четвърт период, единият импулс се премества (пропуска) с половин период.

Ултразвуков измервател на скорост и дебит

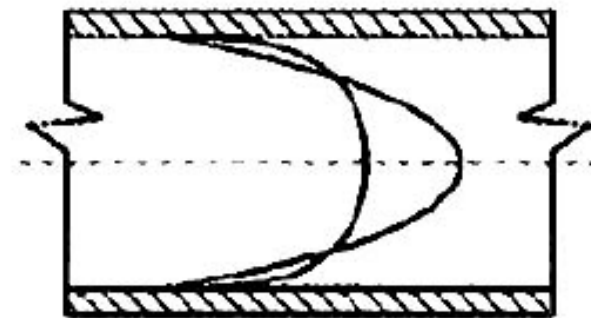
В същност двата импулсни генератора се захранват от един и същ генератор, който работи на четири пъти по-висока честота. На четири импулса от този генератор, през мултиплексор, само един се пропуска към генераторите, така, че да не се получава застъпване. Ако импулсите се доближат, изходът на мултиплексора се сменя.



Ултразвуков измервател на скорост и дебит

Дебитомерът трябва да работи и когато отделни импулси пропаднат – при замърсена течност или при застъпване на импулсите докато се синхронизират генераторите. Това поставя изисквания към фазовия детектор.

Измерването на дебит се свежда до определяне на разликата между честотите на двата генератора. В измерителя има и допълнителна обработка на резултата. При движение на течност в тръба скоростта не е еднаква по цялото сечение – на фигурата е показано разпределението ѝ при различни скорости.



Ултразвуков измервател на скорост и дебит

Вижда се, че тя е максимална в центъра и близка до нула при стените, като измерената скорост V_T е усреднената стойност. Дебитът е нелинейна функция на тази скорост и зависи от диаметъра на тръбата и вискозитета на течността. За да работи точно, трябва да се използват коригиращи коефициенти за всеки конкретен случай. Както бе обяснено по-рано, скоростта трябва да се коригира в зависимост от ъгъла α между оста на тръбата и линията, на която са разположени пиезоелементите ($\cos \alpha$).