

## Ултразвуково измерване на скорост и дебит на течности.

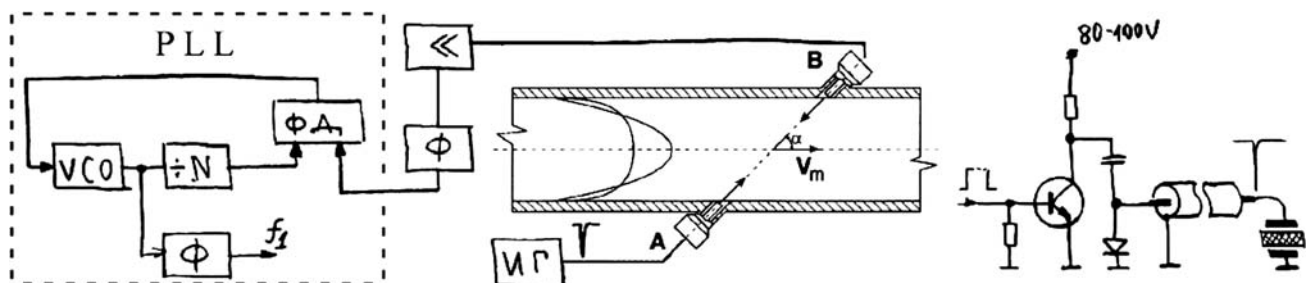
Този метод се използва за измерване в среди където е трудно да се използва класическият подход с турбина (перка). Обикновено това е на места където дебитът е голям (централни водопроводи) или течностите са силно замърсени, или имат механични включения (биха повредили турбината), а също така когато директният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

Методът се основава на промяната на скоростта на разпространение на звука в течността в зависимост от посоката и на движение. Когато посоката на излъчване на звука съвпада с тази на течността скоростта е по-висока и обратно. Директното измерване на тази скорост е трудно по няколко причини. Преди всичко скоростта на звука е много по-висока от максималната скорост с която се движи течността – разликата е повече от 1000 пъти, а при минималната скорост и много повече. Обикновено при измерването на дебит 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 разрешаваща способност при измерване на време 1/1000000. 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-голяма от 500 MHz.

Проблем е, че скоростта на разпространение на звука не е постоянна, при това изменението на тази скорост от околните фактори (температура, състав и др.) е много по-голямо отколкото 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 разпространение на звука. Това може да стане като се измерва скоростта на разпространение перпендикулярно на потока. Такъв подход може да се реализира, но ще изисква измерители на време с разрешаваща способност 1-2 ns.

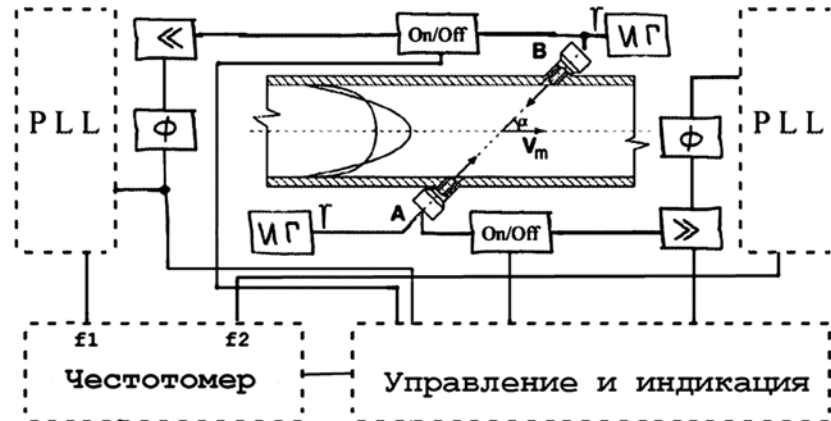
Има решение с по-прости средства. То се основава на времето за разпространение на звука в едната посока и обратно. Ако имаме излъчвател и приемник на разстояние  $l$ , времето за което звуковата вълна го изминава в посока която съвпада с посоката на течността е  $t_1 = l/(V_{зв} + V_m)$ , а в обратната -  $t_2 = l/(V_{зв} - V_m)$ . Ако вземем стойностите на  $1/t$  и ги извадим ще получим  $1/t_2 - 1/t_1 = (V_{зв} + V_m - V_{зв} + V_m)/l$  или  $= 2 \cdot V_m / l$ . Вижда се, че в този резултат скоростта на разпространение на звука  $V_{зв}$  не участва. Ако се направи така, че  $t$  ( $t_2$  и  $t_1$ ) е период на сигнал, то  $1/t$  ще е честотата. Разликата между двете честоти ще е пропорционална на скоростта на движение на течността.

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 правят два генератора с периоди  $t_1$  и  $t_2$ . Удобно е да се използва една двойка предавател-приемник тъй като пиезо-ефектът, на базата на който работят тези преобразуватели е обратим. За по-голяма разрешаваща способност се използват генератори които работят на значително по-висока (но кратна) честота от тази която се получава от  $1/t$ . Те се синхронизират с използването на фазо-затворена верига (PLL). Тя включва генератор



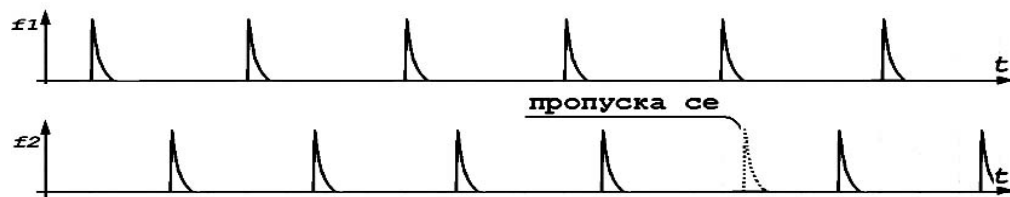
управляван с напрежение (VCO), делител на честота (N) и фазов детектор (ФД). Сигналите от делителя на честота и този от пиезо-приемника се сравняват във фазовия детектор. Изходният сигнал от детектора управлява генератора, като устойчивото състояние е когато честотата на генератора е точно равна на  $N \cdot (1/t)$ , където  $N$  е коефициентът на делене. За да се получи точно отчитане на времето  $t$ , фронтовете на сигнала подаван към пиезо-излъчвателя трябва да са много стръмни. За целта се използва схемата показана вдясно на горната фигура. В нея няма особености

освен сравнително високото захранващо напрежение и типа на използвания транзистор. Това е лавинен транзистор, който при подаване на сигнал на базата се пробива и така формира импулс с нарастващ фронт 1-2 ns. По коаксиален кабел импулсът се подава към излъчвателя. Коаксиалният кабел е задължителен за да се предаде краткият фронт.



В пълната схема има допълнителни стъпала с които да се осигури едновременната работа на двата генератора. Пиезо-елементите последователно се превключват от приемник в предавател и обратно. Сигналът за предавателя е хиляди пъти по-голям от сигнала от приемника. За да не се повреди или претовари предусилвателното стъпало, то се изключва когато съответния пиезо-елемент излъчва (блок **On/Off**).

Двата генератора (ИГ) формират изходните импулси от един и същ генератор който работи на 4 пъти по висока честота. ИГ пропускат един от всеки четири импулса така, че да не си пречат. Тъй като двете закъснения не са еднакви (освен в неподвижна течност), в зависимост от дебита, 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. Фазовият детектор трябва да може да работи с такива сигнали.



Измерването на дебит се свежда до определяне на разликата между честотите **f1** и **f2**. 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. Вижда се, че тя е максимална в центъра и близка до нула при стените като измерената скорост  $V_m$  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.

Скоростта трябва да се коригира в зависимост от ъгъла  $\alpha$  между оста на тръбата и линията на която са разположени пиезо-елементите ( $\cos \alpha$ ).

В допълнителната литература - *Ultrasonic.zip*, освен този метод е описан и такъв с използване на ефекта на Доплер.

### Въпроси:

1. Какъв е принципът на работа на ултразвуковите дебитомери?
2. Каква е блоковата схема на ултразвуков измерител на скорост на течности?
3. Какво се измерва за да се определи скоростта на течността?