

УЛТРАЗВУКОВ ИЗМЕРИТЕЛ НА ПОТОК

ст. ас. инж. Иван Симеонов Симеонов
Технически университет-Габрово

Ultrasonic Flow Meter

Ivan Simeonov Simeonov, Senior Ass. Prof.

The paper treats the development and application of an ultrasonic flow meter. Flow measurement means measuring the average or local speed of the flow or measuring the liquid consumption. A short survey of various flow meters has been done and on this basis a flow chart and an electric circuit of the device in principle has been synthesised. Analytical dependencies have been taken into consideration by means of which the flow speeds of different fluids can be estimated using the software. A PC is also necessary to achieve this purpose.

В много отрасли на промишлеността при различни технологични процеси, в медико-биологични системи, в селското стопанство, в бита и други за провеждането на наблюдения, контрол и измерване в оптически непрозрачни среди, в бързо протичащи физико-химични процеси, за изучаване свойствата, състава и строежа на веществата, в измервателната и контролираща апаратура, в медицинската диагностика, в дефектоскопията, за изследване физическите свойства на материалите, за контрол на геометричните размери на детайлите, при научни изследвания и други широко се използват ултразвукови методи.

Приложенията на тези методи се основават на зависимостта на скоростта и затихванията на ултразвуковите вълни във веществата в зависимост от техния състав и структура.

Едно от тези приложения са ултразвуковите измерители на поток, реализирани с помощта на ултразвукови преобразуватели, чийто основен конструктивен елемент е пиезоелектрически излъчвател и приемник на кратки пакети от акустични вълни с ултразвукова честота. Работата на ултразвуковите преобразуватели се основава на един от двата физични принципа. В преобразувателите от първия тип (измерва се времето за преминаване на сигнала) се използува факта, че скоростта на звука, разпространяващ се в движеща се среда е равна на скоростта на звука относно тази среда плюс скоростта на движението на самата среда. В преобразувателите от втория тип се използува изменението на честотата на ултразвуковата вълна при нейното разсейване от движещата се среда (ефект на Доплер).

Под измерване на поток се подразбира само измерването на средната или локалната скорост на потока, или измерването на масовия

(масата) или обемния разход на течността (газа). Когато се говори за скорост на потока, се има в предвид скаларна величина (т.е. модул на вектора на скоростта), тъй като повечето от разглежданите измерватели на поток в най-простата си конструктивна реализация не дават информация за посоката на потока. Терминът „течна среда“ (fluid) може да се отнася за течност или газ.

Различните измерители осигуряват измерване на различни характеристики на поток. Известни са топлинни (конвекционни и инжекционни), механични (въртящи се и със съпротивителен елемент), хидродинамични (тръба на Пито и потокосъпротивителни), електромагнитни и ултразвукови измерители на поток.

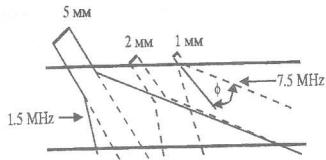
Основната характеристика на ултразвуковите апарати е тяхното голямо бързодействие, което се обуславя от безинертността на ултразвуковите трептения.

В ултразвуковите измерители на поток се използват електроакустични преобразуватели от пиезоелектрически материали, осъществяващи преобразуването на електрическата мощност в акустични колебания. Идеалния пиезоелектрически материал за електроакустично преобразувание се явява такъв материал, които осигурява ниско равнище на шума, висока ефективност на преобразуване и позволява да се създаде преобразувател с висока здравина. Най-често в електрическите преобразуватели се използува оловен цирконат-титанат (PZT, ЦТС). Предимствата на този материал са много високата ефективност на електроакустично преобразуване и високата температура на Кюри (около 300°C), последното намалява вероятността от деполяризация на материала в процеса на запояване на изводите на преобразувателя.

За осигуряване на максимална ефективност дебелината на кристала се избира така, че да е равна на половината от дължината на ултразвуковата вълна.

На фиг. 1. са показани границите на излъчващия сноп за различните стойности на диаметрите на преобразувателя и честотите. В областта на близкото поле снопът има на практика цилиндрична форма, отговаряща на геометрията на излъчвателя и разширяването му е малко. Разпределението на интензивността в снопа е нееднородно, тъй като възникват многобройни интерференционни максимуми и минимуми.

Сноповете са показани в мащаб, отговарящ на диаметъра на потокопровода (кръвоносния съд), равен на 10 mm. Стойностите на диаметъра на преобразувателите са 5, 2 и 1 mm. Непрекъснатите линии отговарят на честота 1,5 MHz, пунктирани - на честота 7,5 MHz.



фиг. 1

Разстоянието от излъчвателя, определящо характерния размер (d_{nf}) на областта на близкото поле, се изчислява по формулата:

$$d_{nf} = \frac{D^2}{4\lambda}, \quad (1.1)$$

където:

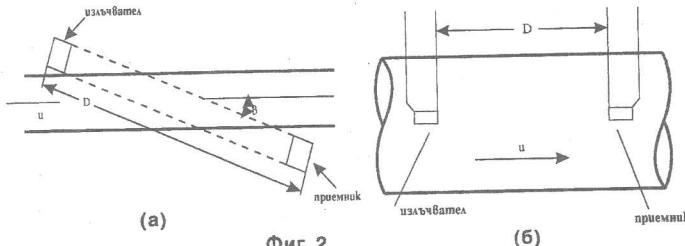
D - диаметър на преобразувателя;

λ - дължина на вълната.

В областта на далечното поле спонга се разпръскава и интензивността на ултразвуковата вълна в спонга се променя обратно пропорционално на разстоянието на преобразувателя на квадрат. За ъгъла на разпръскване на спонга имаме:

$$\sin \phi = \frac{1.2\lambda}{D}, \quad (1.2)$$

Ефектът на разпръскване на спонга влошава пространственото разрешаване, затова не се препоръчва използването на областта на далечното поле. За осигуряването на работата в областта на близкото поле са необходими големи преобразуватели и високи работни честоти. В промишлените приложения високо пространствено разрешаване при измерването на потока се постига, като се избира работна честота и големината на преобразувателя по такъв начин, че големината на областта на близкото поле да отговаря приблизително на диаметъра на потокопровода.



Фиг. 2

Датчик на поток, работещ на принцип на измерване на времето на преминаване на сигнала е един от най-простите ултразвукови измерители на поток. Той широко се използва в промишлеността и за респираторни измервания и измервания на потока на кръвта. На фиг. 2 са илюстрирани два възможни начина на разполагане на преобразувателите в датчик от този тип. Начинът на разполагане представен на фиг. 2 (a), има очевидно предимство, което се състои във възможността за закрепване на преобразувателя върху външната повърхност на тръбата или кръвоносния съд, което изключва

ограничаването на потока. На фиг. 2 (б) са показани преобразователи изолирани от тръбата. Те се използват за високотемпературни измервания(например при газификацията на въглищата). В този случай връзката на преобразователите със средата се осъществява с помощта на буферни пръти или вълноводи.

За конфигурацията на измервателя на поток, показана на фиг. 2 (б), ефективната скорост на ултразвука в кръвоносен съд или тръба е равна на скоростта на звука на относителната течна среда плюс компонентата, свързана с величината \hat{u} - скоростта на потока, осреднена по дължината на пътя на разпространение на ултразвуковата вълна. За ламинарен поток $n = 1,33 \cdot u$, за турбулентния $n = 1,07 \cdot u$, където n е скоростта, осреднена по площта на напречното сечение на тръбата или кръвоносния съд. Разликата в стойностите на n и u се обяснява с това, че ултразвук се разпространява по дължината на една линия, а не обхваща цялото напречно сечение на потока. Формулата за времето на преминаване на ултразвуковия сигнал между преобразователите нагоре по течението (+) и надолу по течението (-) има вида:

$$t = \frac{D}{c \pm u \cos \theta}, \quad (1.3)$$

$$\Delta t = \frac{2 \cdot D \cdot u \cdot \cos \theta}{c^2 - u \cdot \cos \theta} \approx \frac{2 \cdot D \cdot u \cdot \cos \theta}{c^2}, \quad (1.4)$$

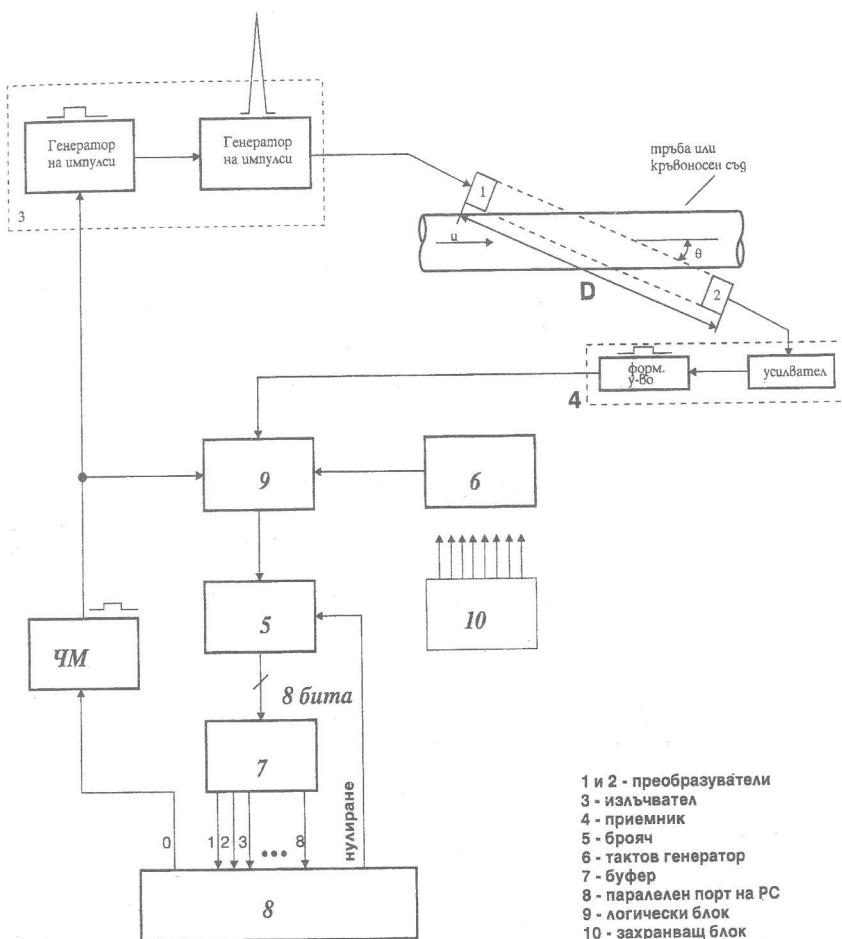
От тази формула следва, че времето за преминаване е по-малко за случая на разпространението на ултразвуковата вълна, „заедно с потока“, т.е. надолу по течението.

В една от модификациите на този метод се използват кратките акустични импулси, изпращани по посока и срещу него, за да се получи стойността на разликата Δt , между времето на преминаване на сигнала нагоре по течението и времето на неговото преминаване надолу по течението. Величината Δt е пропорционална на средната скорост u и е равна на:

Тази величина може да се измери, като се използват два преобразователя, разположени в съответствие с фиг.2(а) и изпълняващи функциите на излъчвател и на приемник или като се използват излъчвател и приемник върху всяка страна на кръвоносния съд или тръбата. Единствената причина по пътя на практическото осъществяване на дадения метод е малката стойност на величината Δt , стойностите на която се намират в наносекундия диапазон. Затова за постигане на адекватна стабилност е необходимо сложно електронно оборудване.

На фиг. 2 (б) е представен прост вариант на ултразвуков датчик на поток на принципа на измерване на времето на преминаване на сигнала използван в някои промишлени системи. При заместването в израза (1.4) $\theta = 0$ получаваме $\Delta t = 2 \cdot D \cdot \hat{u} / c^2$. Скоростта на звука с може да се променя с температурата и с това могат да бъдат свързвани зачителни

грешки в измерването на Δt , ако се вземе в предвид, че във формулата за Δt влиза не c , а c^2 .



фиг. 3.

На базата на литературния обзор и след направения анализ е избрана блокова схема на ултразвуков измерител на поток, която е показана на фиг.3. Действието й е следното:

На нулевото краче (0 pin) на паралелния порт на PC (LPT1) блок 8 се подава запускащ сигнал, който от 0 се променя в 1, като при този преход ЧМ изработва кратък положителен импулс постъпващ на единия от входовете на логическия блок 9 разрешаваш работата на брояча 5, като едновременно се запуска и излъчвателя 3. Последният изработва

импулс, като разколебава преобразователя 1. Сигналът от 1 се разпространява през средата (флуид), на която отчитаме скоростта. Този сигнал се приема от преобразователя 2 (на базата на обратния пиезоефект) и УЗ колебания се преобразуват в електрически сигнал. Последният постъпва на входа на приемника 4, в който се усилва и формира. От изхода на 4 сигналът постъпва на другия вход на блока 9, с което се забранява работата на брояча 5. Последният се установява в състояние съответстващо на броя на постъпилите от ТГ 6 импулси. Изходите на брояча са свързани паралелно с осем битов буфер 7. От изходите му в паралелен код състоянието се подава на паралелния порт на РС (блок 8).

Захранващия блок 10 служи да осигури необходимото на устройството захранващо напрежение.

Програмата за „Измерване скоростта на флуид“ е написана на езика Pascal на фирмата Borland. Алгоритъмът не налага използването на специални библиотеки (модули). Използва се стандартния модул Crt-за удобно въвеждане на данни и подходящо извеждане на получените резултати. В сорса се използват стандартни оператори за вход и изход, както и цикъл от типа „повтаряй докато“. На входните данни се правят необходимите проверки за коректност.

Програмата се стартира, чрез въвеждане на името ѝ в командния ред на ДОС. Въвеждат се последователно D, C, Tita и номера на порт, след последователно набиране на желаната стойност и натискане на клавиша Enter. Накрая се извежда скоростта. За изход от програмата се натиска клавиша Esc.

С помощта на разработеното програмно осигуряване и лабораторния модел на устройството са направени някои експерименти. Програмата се стартира с помощта на РС, след което се задават двоични числа на паралелния порт на компютъра през буфер, с което се имитира състоянието на брояча 5. След това се определя разстоянието между пиезоелементите (излъчвателя и приемника), ъгълът „тита“ и скоростта на разпространение на ултразвука в измерваната течност (от справочник). Като резултат от експеримента след всяко измерване се получава скоростта (в m/s) на потока (флуида) изписана върху монитора на компютъра.

Използвана литература:

1. Томпкинс, У., Дж. Уэбсер. Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютерами IBM РС. пер. с англ. М., Мир, 1992.
2. Кондратов, Л. А, М.В Кулаков, А.Г. Некрасов. Устройство для измерения скорости ультразвука в жидкостях. СССР, АС. 1768999, 15.10.92. Бюл. 38.
3. Сукацкас, В.А., Ультразвуковой измеритель срокости движения среды. СССР, АС. 169338, 3.11.91. Бюл. 43.