

Капацитивен уред за измерване на ниво
гл.ас. д-р Емил Ив. Динков - ТУ, филиал Пловдив
гл.ас. д-р Мария Г. Динкова - ВИХВП, Пловдив
инж Ангел Г. Янков - Пловдив

Abstract

In this article an attempt is made to analyze a level measurement device in operation that makes a linear conversion of the measured capacitance C_x into a current. The existing nonlinearity in the beginning zone of the function can be compensated with the concrete model value of C . An analysis of the range of the measured C_x is made for different frequencies and sensitivity of the measurement process.

Измерването на ниво на течности и прахообразни вещества е проблем, който съществува в доста отрасли на промишлеността. Съвременният измервателен уред трябва да бъде нечувствителен към измервателната среда и да има добра точност, при температурни колебания.

Уредът за измерване на ниво може да се раздели на две основни части: **1. датчик** - включва сонда и първичен преобразувател;

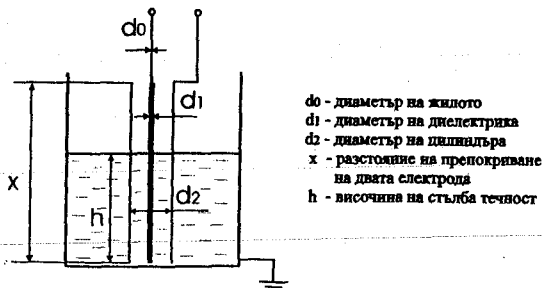
2. преобразувател - включва схемите за преобразуване и нормиране на сигнала от датчика.

1. Датчик

Конструкциите на капацитивните датчици, използвани за измерване на ниво са много разнообразни, но в зависимост от формата на електродите се свеждат до два основни вида:

- с плоско-паралелни електроди;
- с коаксиални електроди.

Стремежът да се увеличи изходния сигнал на първичния преобразувател и да се намали влиянието на външните фактори определя изискването за намаляване на разстоянието между електродите на капацитивния датчик. Тъй-като при плоско-паралелните електроди това изискване води до значителни конструктивни и технологични затруднения се наложи използването на капацитивен датчик с коаксиални електроди /фиг.1 /



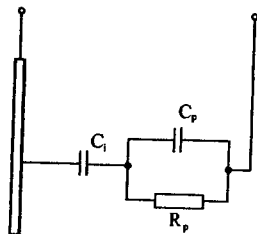
фиг.1

Ако се пренебрегне полето на разсейване, капацитетът на датчика с коаксиални електроди има вида:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r h}{\ln\left(1 + \frac{d_2}{d_0}\right)},$$

ϵ_0 и ϵ_r са диелектричните прониктаемости, съответно на вакуума и на веществото.

На фиг.2 е показана заместваща схема. на датчика.



фиг.2

където:

- C_1 е капацитета на препокритата част от електрода;
- C_p е капацитета на продукта;
- R_p е съпротивлението на продукта.

Сонда е целия потопен в измерваната течност коаксиален кондензатор, който е изолиран с материал, чиито електрически параметри не се влияят от температурата и от измервателната среда. Такива материали могат да бъдат пропилен; тефлон (PTFE); керамика; PVC.

При работа с течности /продукти/, които не са достатъчно проводими, т.е. C_p не е достатъчно голямо, а R_p достатъчно малко и отношението (d_2/d_0) е голямо, се въвежда заземена метална тръба /с диаметър d_2 - фиг1/ около жилото, която служи за втори електрод. Така изкуствено се намалява отношението (d_2/d_0) и се увеличава чувствителността на измерване. При проводими течности, за втори електрод може да служи самия резервоар, с диаметър d_2 .

Капацитетът на датчика е от порядъка на pF и се изменя в такъв диапазон. Ако връзката между датчика и преобразувателя е осъществена с дълги кабели, то тогава техния капацитет ще бъде съизмерим с измервания и точното измерване ще бъде затруднено. За отстраняването на този проблем е необходимо на самия датчик да се монтира предварителен преобразувател. С цел по добра шумоустойчивост, при предаването на

аналогови сигнали на разстояние, е за предпочитане връзката между отделните блокове да бъде токова.

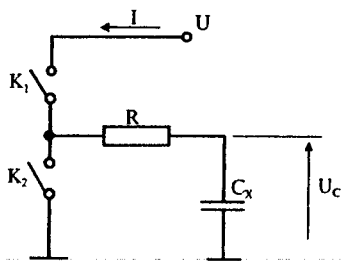
Схемата на свързване на датчика с преобразувателя е трипроводна, като двата от проводниците са предназначени за захранване на датчика, а третият е сигнален.

Захранването на датчика е 12V, а на преобразувателя 24V. Необходимостта от понижено захранващо напрежение на датчика се налага поради изискванията за взриво- и пожаро-безопасност при работа със запалими продукти.

Работния температурен обхват е за датчика е от -20°C до 60°C , а за уреда е от 0°C до 40°C .

2. Преобразувател

При избора на измервателният метод се е имало предвид, че процеса на измерване ще продължава постоянно и капацитетът на сондата е от порядъка на pF. На фиг.3 е показана еквивалентната схема на първичния преобразувател "капацитет - ток".



фиг.3

При всяка промяна на измерваното ниво ще се променя и капацитета на сондата. Важно условие е C_x да се преобразува в електрически сигнал - ток или напрежение, подходящи за последваща обработка и по възможност този сигнал да зависи линейно от капацитета. Използвана е

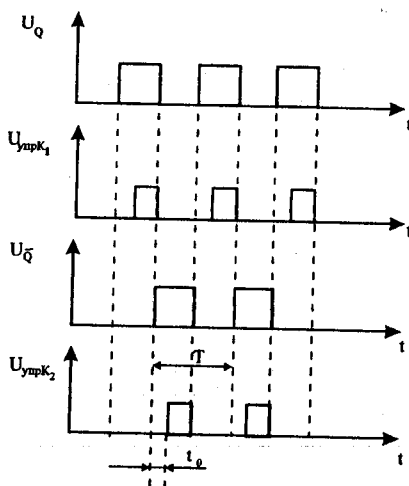
$$\text{зависимостта: } I = \frac{U \cdot C_x}{T} = U \cdot C_x \cdot f \quad /1/$$

от където се вижда, че средната стойност на входния ток I , е пропорционална на измервания капацитет и ще зависи само от него ако $U = \text{const}$ и $f = \text{const}$. Т.е. използвания измервателен метод позволява да се следи тока на заряд през кондензатор C_x , при поддържане на неизменно напрежение на захранване и постоянна честота на превключване на ключовете K_1 и K_2 , осигуряващи заряд и разряд на измервания кондензатор C_x .

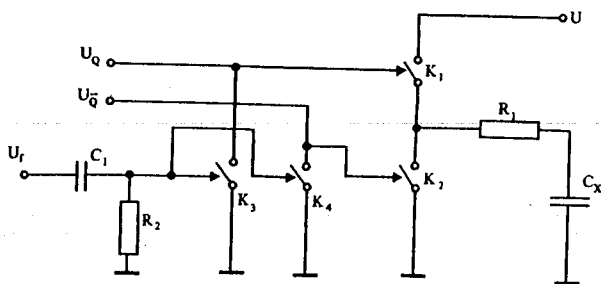
Ключовете K_1 и K_2 се управляват противотактно от генератор на правоъгълни импулси. Най-важното изискване към генератора е да има

висока стабилност на генерираната честота, за да е изпълнено /1/ и измерването да е коректно.

В момента на превключване е възможно, макар и за много кратко време двата ключа да са полуотпушени, което зависи както от управляващите сигнали, така и от толерансите на праговите напрежения на ключовете. Това може да доведе до появата на ток, протичащ през двата ключа, който ще се отрази като смущаващ фактор на измервателния процес. За преодоляването на този проблем двете импулсни поредици трябва да се дефазират /фиг.4/ и така ще се избегне възможността от презастъпване на двата ключа. Затова се въвеждат допълнителни ключове К3 и К4. Новата схема е показана на фиг.5.



фиг.4



фиг.5

Честотата на импулсната поредица U_f , управляваща ключове К3 и К4 е два пъти по-голяма от честотата на поредиците U_Q и $U_{\bar{Q}}$, управляващи ключове К1 и К2 съответно.

Едно от изискванията, наложено от аналоговите ключове е токът на комутация да не надвишава 15mA. В предложената на фиг.5 схема, такава опасност съществува само в момента, когато К₁ се затваря защото C_x е разреден. Това налага включването на токоограничаващ резистор последователно на зарядната верига на C_x .

За осигуряване на коректно измерване на капацитета на сондата е необходимо да се изпълни следното условие:

$$4\tau_1 < \frac{T}{2} - t_0 \quad /2/$$

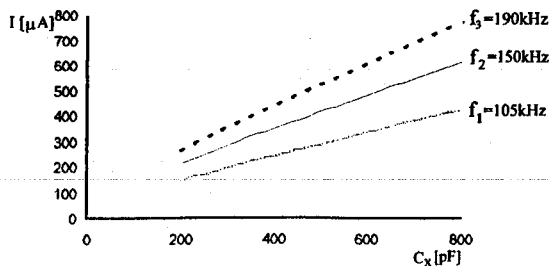
където: T - период на импулсните поредици; $\tau_1 = R_1 \cdot C_x$ - времеконстанта на зарядната верига, $t_0 = 3\tau$ - паузата въведена между генерираните импулсни поредици от генераторът и подаваните управляващи импулси към ключовете К1 и К2.

При спазване на /2/ се осигуряват условия за пълен заряд и разряд на измервания кондензатор C_x , като за допустимата стойност на C_x може да се запише:

$$C_x < \frac{T - 2t_0}{8R_1} \quad /3/$$

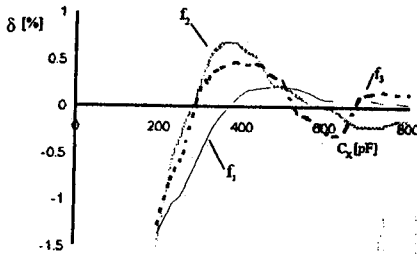
Когато стойностите на неизвестния капацитет са по-ниски, добре е да изберем по-висока работна честота и обратно, при по-високи стойности на C_x е добре да изберем ниска честота. Допустимите стойности на C_x за честоти: $f=50\text{kHz}; 100\text{kHz}; 150\text{kHz}; 200\text{kHz}$ са съответно: $C_x < 2937\text{pF}; 1375\text{pF}; 853\text{pF}; 593\text{pF}$, като с намаляване на честотата е възможно увеличаване допустимата стойност на измервания капацитет.

На фиг.6 са показани графиките на зарядния ток във функция от C_x , експериментално снети, при честоти $f_1=105\text{kHz}; f_2=150\text{kHz}; f_3=190\text{kHz}$.



фиг.6

Зависимостите са сравнително линейни, като грешките от линейността на графиките е отразена на фиг.7 за същите честоти.



фиг.7

Снетите зависимости са при начално $C_x = 200\text{pF}$, тъй-като при по-ниски стойности /съответстващи на по-ниски нива/, зависимостите стават нелинейни. За да се избегне тази нелинейност, ако паразитния кондензатор на сондата и свързващите кабели е по-нисък от 200pF , е поставен неизменен кондензатор, чиято стойност е допълваща поне до 200pF . Така образуваната начална C_x нач се компенсира по-нататък от настройката на преобразователните схеми, нормиращи токовия сигнал от първоначалния преобразовател в напреженов сигнал. По този начин се увеличава динамичния диапазон на измерването на C_x .

От развитието на характеристиките $I=f(C_x)$ /фиг.6/ можем да направим извод, че с увеличаване на честотата се намалява динамичния диапазон на изменение на измервания кондензатор C_x . Това води до увеличаване на диапазона на изменение на тока ΔI от първичния преобразовател, което е показател за увеличаване чувствителността на преобразуване. Ограничаващите условия се определят от повишената токова натовареност на ключовете, което може да доведе до тяхната повреда. При ниски честоти динамичния диапазон на изменение на C_x е по-голям, но изменението на ΔI е по-малко, което намалява чувствителността на преобразуване.

Заклучение

От направените изследвания на предложения уред за измервания на ниво, може да се заключи, че:

- 1/ Трябва да се търси компромис между динамичен диапазон на изменение на измервания кондензатор и чувствителността на преобразователя кондензатор в ток.
- 2/ Предложения уред за измерване на ниво осъществява линейно преобразуване на измервания кондензатор в токов сигнал.

3/Съществуващата нелинейност в началната зона на зависимостта $I=f(C)$, може да се компенсира чрез добавяне на еталонен капацитет, допълващ до 200pF стойността на началния капацитет /при ниски нива на течността/. По този начин се увеличава динамичния диапазон на изменение на C_x .

Литература:

1. Watmough Neal. Capacitance for level measurement. Measurement + Control. Volume 21. Feb. 1988
2. Meijer G. C., F. N. Toth. A Low-Cost, Smart Capacitive Position Sensor. IEEE Trans. Instrum. & Meas., vol. 41. No. 6. Dec. 1992