

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ЗАРЯДНО - РАЗРЯДЕН МЕТОД ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА КАПАЦИТЕТ ПРИ НАЛИЧИЕ НА АКТИВНО СЪПРОТИВЛЕНИЕ – I ЧАСТ

Пл. Никовски*, Ив. Георгиева, Г. Бузова

Университет по хранителни технологии – Пловдив, Технически факултет
гр. Пловдив, 4000, бул. "Марица" №26, e-mail*: plmnn@uft-plovdiv.bg

APPLICATION OF CHARGE - DISCHARGE METHOD FOR DETERMINING THE CAPACITY IN THE PRESENCE OF RESISTANCE - PART I

Pl. Nikovski*, Iv. Georgieva, G. Buzova

University of Food Technologies – Plovdiv, Engineering Faculty
Plovdiv, 4000, bul. "Mariza" №26, e-mail*: plmnn@uft-plovdiv.bg

ABSTRACT

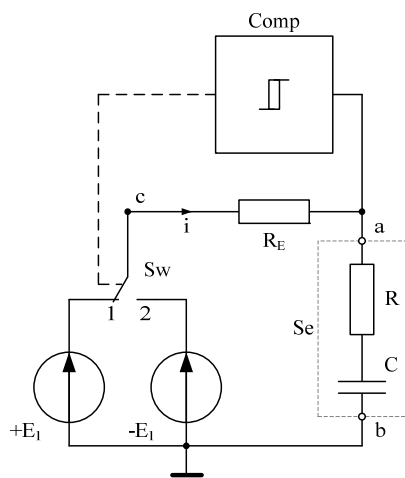
This study examines the use of charge-discharge method for determining the capacity of the sensor, represented by an equivalent RC circuit of a series type. Analyzed the modes of measuring transducers and defined their transfer functions when the sensor is activated by the voltage source and current source. The results show that in both cases to determine the capacity of the sensor is necessary to have preliminary information on its resistance.

Key words: measure, capacity, charge-discharge, sensor, one port circuit.

Въведение

Проблемите, които възникват при измерването на капацитет в промишлени условия, винаги са били обект на засилен интерес. Основната причина за това е факта, че голям брой технологични величини (като геометрични размери, ускорение, ниво, влажност, налягане и т.н.) могат да се възприемат и следят с помощта на капацитивни сензори (КС) [2,4,7,15]. За съжаление поведението на реалните сензори понякога съществено се различава от това на идеален кондензатор [2,5,6,12]. Прилагането на класическите методи за измерване на капацитет в тези случаи, не винаги е възможно или е съпроводено с възникване на значителни грешки. Настоящата работа анализира подобни проблеми за КС, представен с двуполусна RC електрическа верига от последователен тип [5,6,8,9,12], когато е използван

метод за измерване чрез определяне на времето за зареждане - разреждане на капацитет [3, 4, 10, 11, 13, 14]. В практиката този метод, обикновено се реализира в два основни варианта. В първия, зарядът прехвърля към капацитета се осигурява от източник на напрежение, а във втория от източник на ток.



Фиг.1 Опростена схема на измервателен преобразувател реализиращ ЗРМ. Тук сензора Se се активира от източници на постоянно напрежение, със големина $\pm E_1$.

Определяне на капацитет на сензор активиран от източник на напрежение

На фиг.1 е показана типична схема на измервателен преобразувател (ИП), реализиращ зарядно - разрядния метод (ЗРМ). Към входа ab на ИП е свързан сензор Se, който освен капацитет C, притежава и активно съпротивление R. За да се изясни по какъв начин R влияе върху резултата получен за C, ще се анализира поведението на схемата.

Нека приемем, че в момента t'_0 , ключът Sw се намира в позиция 1. Източника $+E_1$ започва да прехвърля заряд през R_E към Se. В резултат напрежението u_{ab} нараства. Когато u_{ab} достигне една предварително избрана стойност $+E_2$, компаратора Comp превключва Sw в позиция 2. Sw присъединява източника $-E_1$ към R_E . Напрежението u_{ab} намалява и когато достигне една предварително избрана стойност $-E_2$, компаратора Comp връща Sw в позиция 1. След това процеса се повтаря. Токът i през Se може да се определи от II закон на Kirchhoff:

$$(R_E + R).i + \frac{1}{C} \int_{t'_0}^t i.dt + u_C(t'_0) - u_{ab} = 0, \quad (1)$$

където $u_C(t'_0)$ е напрежението на изводите на кондензатора в момента $t=t'_0$. След като диференцираме двете страни на (1) и умножим с C се получава:

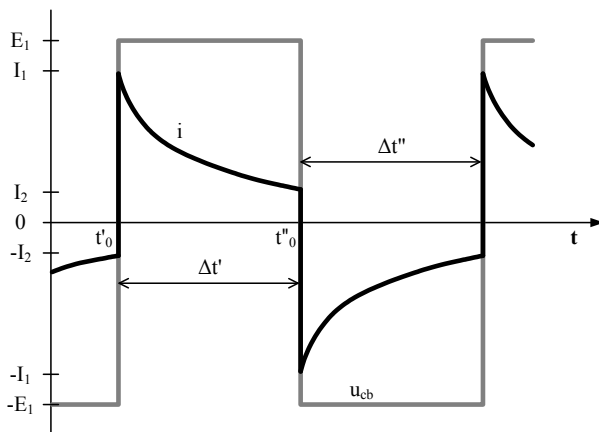
$$(R_E + R).C. \frac{di}{dt} + i = 0. \quad (2)$$

Хомогенното диференциално уравнение (2) има решение [1]:

$$i = I_1. \exp((t'_0 - t) / T), \quad t'_0 \leq t \quad (3)$$

където

$$T = (R_E + R).C. \quad (4)$$



Фиг.2 Графичен вид на напрежението u_{cb} и тока i във входната верига, при стационарен режим на работа на измервателния преобразовател.

Интеграционната константа I_1 при стационарен режим на работа, може да се определи ако е известно напрежението $u_C(t'_0+)$. От II закон на Kirchhoff

$$R_E.i + u_{ab} = u_{cb}, \quad (5)$$

$$R.i + u_C = u_{ab} \quad (6)$$

записан за $t=t'_0-$ (фиг.2) намираме

$$I_2 = i(t'_0-) = \frac{E_1 - E_2}{R_E} \quad \text{и} \quad (7)$$

$$u_C(t'_0-) = -E_2 + R. \frac{E_1 - E_2}{R_E}. \quad (8)$$

Тогава от уравнението (5) и (6), записано за момента $t=t'_0+$ и $u_C(t'_0+) = u_C(t'_0-)$ получаваме

$$I_1 = i(t'_0+) = \frac{E_1 + E_2}{R_E + R} \left(1 - \frac{R}{R_E} \cdot \frac{E_1 - E_2}{E_1 + E_2} \right). \quad (9)$$

Тъй като източниците $-E_1$, $+E_1$ и праговете на превключване $-E_2$, $+E_2$ са съответно равни по големина и противоположни по знак

$$I_2 = -i(t'_0-) = i(t'_0 + \Delta t'), \quad (10)$$

за момента $t=t'_0+\Delta t$ от (3), (9) и (10) се получава

$$I_2 = I_1. \exp(-\Delta t' / T), \quad (11)$$

$$\frac{E_1 - E_2}{R_E} = \frac{E_1 + E_2}{R_E + R} \left(1 - \frac{R}{R_E} \cdot \frac{E_1 - E_2}{E_1 + E_2} \right) \cdot \exp(-\Delta t' / T). \quad (12)$$

От (12) и (4) определяме

$$C = \frac{1}{(R_E + R) \cdot \ln \left(\frac{R_E}{R_E + R} \cdot \frac{E_1 + E_2}{E_1 - E_2} - \frac{R}{R_E + R} \right)} \cdot \Delta t' \quad (13)$$

По аналогичен начин, вземайки под внимание процесите в интервала $(t''_0; t''_0 + \Delta t'')$ може да се докаже:

$$C = \frac{1}{(R_E + R) \cdot \ln \left(\frac{R_E}{R_E + R} \cdot \frac{E_1 + E_2}{E_1 - E_2} - \frac{R}{R_E + R} \right)} \cdot \Delta t'' \quad (14)$$

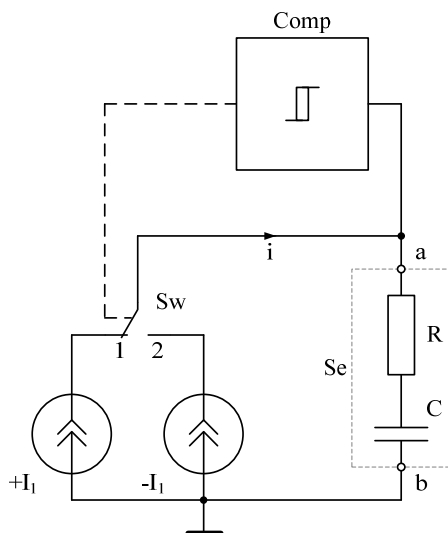
От последните две уравнения се вижда, че $\Delta t' = \Delta t''$. Тъй като, периодът на изменение на напрежението u_{ab} е $T_E = \Delta t' + \Delta t''$, то:

$$C = \frac{1}{2 \cdot (R_E + R) \cdot \ln \left(\frac{R_E}{R_E + R} \cdot \frac{E_1 + E_2}{E_1 - E_2} - \frac{R}{R_E + R} \right)} \cdot T_E. \quad (15)$$

Съгласно уравнението (15), за да бъде определен капацитетът C освен периода T_E , е необходимо предварително да се знае стойността на съпротивлението R .

Определяне на капацитет на сензор активиран от източник на ток

Типична блокова схема на ИП, реализиращ ЗРМ, когато КС се активира от източник на ток е показана на фиг.3. Тя е подобна на схемата показаната на фиг.1, но тук липсва резистора R_E , а източниците на напрежение са заменени с източници на ток $+I_1$ и $-I_1$.



Фиг.3 Опростена схема на измервателен преобразовател реализиращ ЗРМ. Тук сензора Se се активира от източници на постоянен ток, със големина $\pm I_1$.

Напрежението u_{ab} на изводите на сензора Se , в интервала $(t'_0; t'_0 + \Delta t'_0)$, може да се определи, като се използва II закон на Kirchhoff:

$$R \cdot i + \frac{1}{C} \int_{t'_0}^t i \cdot dt + u_C(t'_0+) - u_{bc} = 0, \quad (16)$$

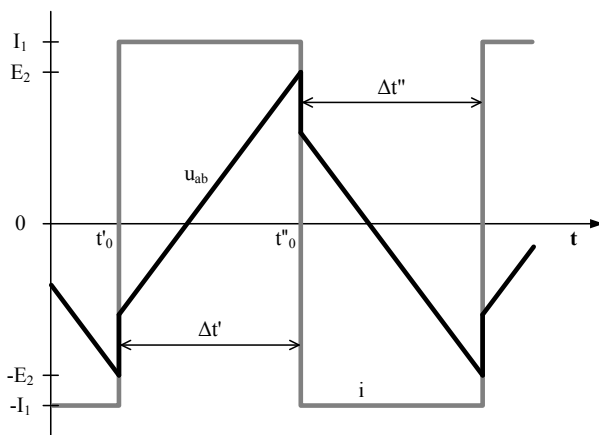
Интеграционната константа $u_C(t'_0+)$ при стационарен режим на работа (фиг.4), се намира от уравнението

$$u_{ab} = R \cdot i + u_C, \quad (17)$$

записано за момента непосредствено преди комутацията:

$$u_C(t'_0+) = u_C(t'_0-) = I_1 \cdot R - E_2. \quad (18)$$

Тогава от (16), записано за $t = t'_0 + \Delta t'$, и (17) се получава:



Фиг.4 Графичен вид на напрежението u_{ab} и тока i във входната верига, при стационарен режим на работа на измервателния преобразовател.

превключване $-E_2$, $+E_2$ са съответно равни по големина и противоположни по знак (фиг.4). От последните две уравнения се вижда, че $\Delta t' = \Delta t''$. Тогава, отчитайки, че периода на изменение на напрежението u_{ab} е $T_E = \Delta t' + \Delta t''$, може да се запише:

$$C = \frac{I_1}{4.(E_2 - R.I_1)} T_E \quad (22)$$

или

$$C = \frac{1}{4.(E_2/I_1 - R)} T_E. \quad (23)$$

Съгласно уравнението (23) за да бъде определен капацитета C освен периода T_E , е необходима предварително да се знае стойността на съпротивлението R .

Заклучение

Настоящото изследване разглежда приложението на зарядно - разрядния метод за определяне на капацитета на сензор, представен с еквивалентна RC схема от последователен тип. Разгледани са случаите, при които сензорът се активира от източник на напрежение и източник на ток. От получените резултати (15) и (23) се вижда, че и в двата случая определянето на капацитета е възможно, но за тази цел е необходимо да се разполага с предварителна информация за неговото активното съпротивление.

Литература

1. Брандински К., Ж. Георгиев и др., 2005. Теоретична електротехника II част, Кинг, 495 с.
2. Никовски Пл., 2011. Подобряване на метрологични характеристики на капацитивни измервателни преобразователи с прехвърляне на заряд при наличие на фазово-константен елемент във входната верига, Дисертация за присъждане на образователна и научна степен "Доктор", ТУ-София, 128 с.
3. Русев, Д., Д.Самоковлийски, Е.Манов., 1989. Електронни измервания, Техника, 231с.
4. Baxter L., 1996. Capacitive sensors, John Wiley and Sons, p.320.
5. Carrara C., F. Gürkaynakb, C. Guiduccic, et al., 2007. Interface Layering Phenomena in Capacitance Detection of DNA with Biochips, Sensors and Transducers Journal, Vol 76, pp. 969-977.
6. Krommenhoek E., J. Gardeniers, J. Bomer, et al., 2006. Monitoring of yeast cell concentration using a micromachined impedance sensor, Sens. Actuators B 115, pp.384-389.

7. Liptak B., 2003. Process Measurement and Analysis, CRC Press, p.1920.
8. Nihtianov S., G. P. Shterev, B. Iliev, G. C. M.Meijer, 2001. An Interface Circuit for R-C Impedance Sensors with a Relaxation Oscillator, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol.50, No.6, pp.1563-1567.
9. Nihtianov S., G. P. Shterev, N. Petrov, G. C. M. Meijer, 2001. Impedance Measurements with Second-Order Harmonic Oscillator for Testing Food Sterility, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol.50, No.4, pp.976 - 980.
10. Perme T., 2007. Introduction to Capacitive Sensing, application note AN1101, Microchip Technology Inc., p.10.
11. Raven M., D. Raven, 1977. New Approaches to the Direct Measurement of Capacitance, Electrocomponent Science and Technology, vol. 4, pp. 37-42.
12. Reverter F., Ò. Casas, 2008. Direct interface circuit for capacitive humidity sensors, Sensors and Actuators A 143, p.315-322.
13. Seguine R., 2007. Capacitive sensing techniques and considerations - the basics, Design line, December 03.
14. Toth F., 1997. A design methodology for low-cost, high-performance capacitive sensors, Delft University - Netherlands, p.152.
15. Webster J., 1999. Measurement instrumentation and sensors handbook, CRC Press LLC, p.2587.