



*Приета: 15.03.2016 г.*

*Преработена: 29.03.2016 г.*

*Одобрена: 14.04.2016 г.*

## ДИГИТАЛИЗАЦИЯ НА ЕЛЕКТРО-СЪПРОТИВИТЕЛНИ ДАТЧИЦИ

Р. Орлинов<sup>1</sup>

*Ключови думи: изпитване на строителни конструкции, микроконтролери, електро-съпротивителни датчици*

### РЕЗЮМЕ

В статията се представя икономически изгодна алтернатива за дигитализиране на получаваните данни от електро-съпротивителни датчици. Примерната постановка се състои от микроконтролер, модифициран Уитстънов мост, операционен усилвател и аналогово-цифров преобразувател. Всички компоненти са обвързани с програмен код. Предложената постановка е тествана върху примерна стоманена конзола и са показани изходните резултати.

### 1. Обща информация

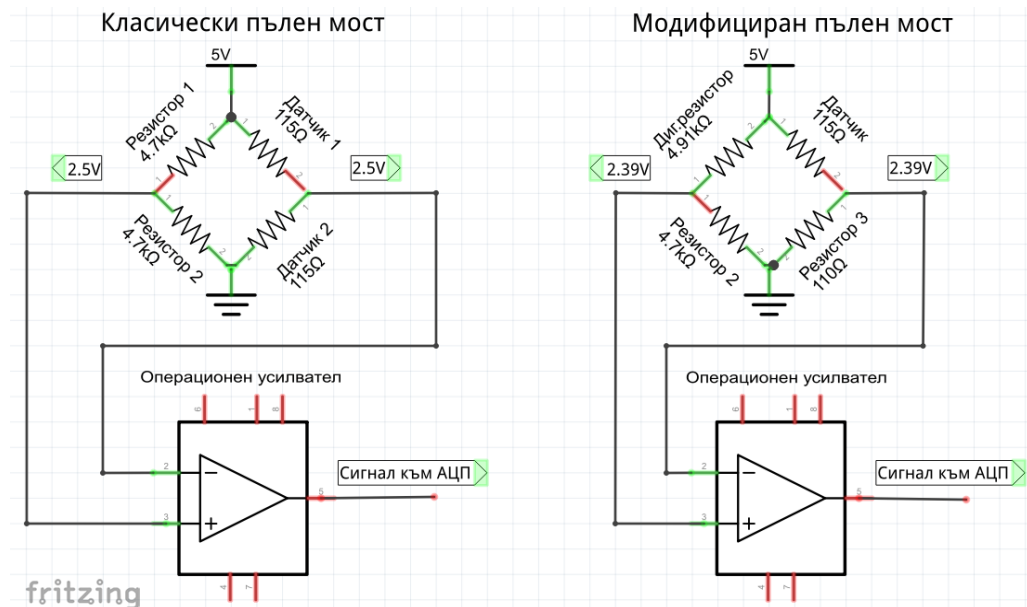
Електро-съпротивителните датчици са масово използвани при изпитването на строителни конструкции. Както става ясно от името им, вариацията на тяхното електрическо съпротивление променя електрическото напрежение и дава възможност да се измерват относителни и абсолютни деформации. Измерването на електрическото съпротивление се извършва чрез електро-измерителен мост известен още като Уитстънов мост в чест на неговия откривател.

---

<sup>1</sup> Радослав Орлинов, ас. д-р инж., кат. „Масивни конструкции”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски” № 1, 1046 София, e-mail: orlinov\_fce@uacg.bg

## 2. УИТСТЪНОВ МОСТ

Уитстъновият мост представлява разклонена електрическа верига. На фиг. 1 е показана схема на класически пълен Уитстънов мост. Това решение се използва за отчитане на данни от електро-съпротивителен датчик. Промяната на съпротивлението на Датчик 1 предизвиква промяна на напрежението. Тази промяна се отчита от операционния усилвател и се предава към аналогово-цифровия преобразувател (АЦП). Това класическо решение изисква използването на контролен датчик (Датчик 2), за да може да се изравни Уитстъновия мост и напреженията в двата му края да са по 2,5 V. Необходимо е също така двата датчика (измерителният и контролният) да са от една и съща партида и да са залепени на един и същ материал. По този начин отчетените данни няма да зависят от евентуална промяна на температурата или промяна на характеристиките на датчиците във времето.



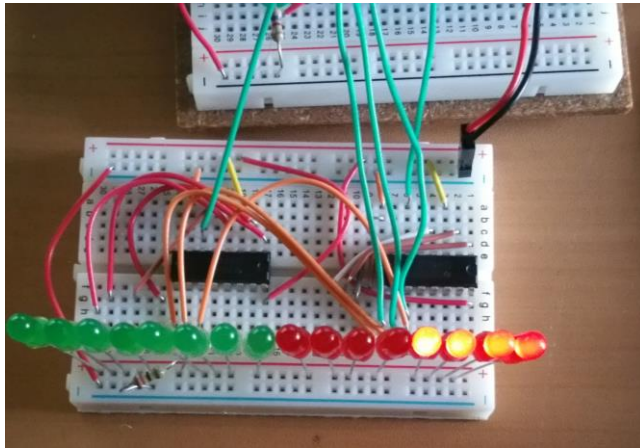
Фиг. 1. Схема на класически пълен мост и модифициран такъв

Операционният диференциален усилвател предава само разликата между двата входни сигнала. Например при увеличение на съпротивлението в Датчик 1 изходното напрежение ще намалее от постоянните 2,5 V до 2,4 V. Тази разлика (от 0,1 V) ще се отчете от операционния усилвател и ще се предаде към АЦП.

Модифицираният пълен мост работи само с един отчитащ датчик (фиг. 1). Вместо контролен датчик със същото съпротивление се прилага стандартен резистор (Резистор 3). По този начин напрежението в десния клон на моста става 2,39 V. За да може да се изравни левия клон до същата стойност на напрежението, се използва дигитален резистор (още известен като дигитален потенциометър). Този потенциометър се управлява от микроконтролер по цифров път и е необходимо да е обвързан с програмен алгоритъм. Дигиталният резистор може да променя своето съпротивление от 0 Ω до 10 kΩ, като това става по цифров път в рамките на 10 μs. Напрежението в него се задава на стойност 4,91 kΩ и двата клона на Уитстъновия мост са изравнени.



роконтролер и разпределящи един изходен сигнал към 16 диода. По този начин успешно е увеличен броят на каналите от 1 брой до 16 броя.



Фиг. 3. Схема с увеличаване на броя входно-изходни канали

Използването на мултиплексори не е новост. Съвременната цифрова техника за изпитване използва именно този подход за увеличаване на входно-изходните канали на своите устройства без увеличаване на броя на скъпите компоненти, като например АЦП.

#### 4. Примерна постановка и резултати

Създадена е примерна изпитвателна установка, която представлява стоманена конзола, кораво закрепена за стоманена база. В основата на стоманената конзола е монтиран електро-съпротивителен датчик. За микроконтролер е използван продуктът с отворен код Arduino [1]. Внедрен е модифициран Уитстънов мост за изчисляване на съпротивлението в датчика, заедно с дигитален потенциометър и операционен диференциален усилвател. Аналоговият сигнал се предава към АЦП с резолюция от 13 бита. Всички дигитални компоненти от примерната постановка са обвързани чрез програмен код, записан в микроконтролера. Изходните данни се предават към персонален компютър.

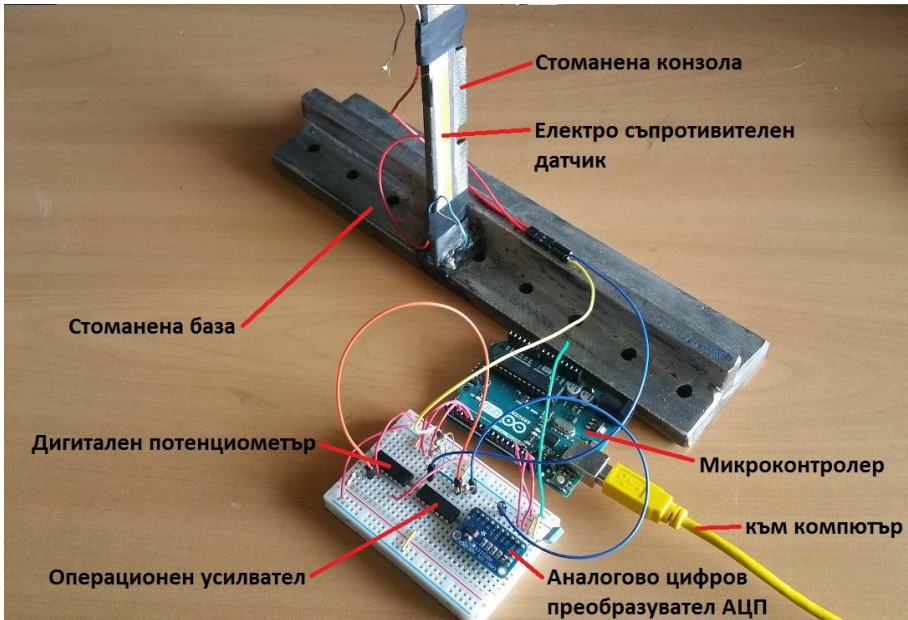
Стоманената конзола от примерната постановка е изведена от равновесното ѝ положение и оставена да трепти свободно. Аналоговият сигнал, който се отчита за електро-съпротивителния датчик е във вид на електрическо напрежение. Относителната деформация може да се намери чрез формулата от [3]:

$$\varepsilon = \frac{\Delta R}{R_e k_r},$$

където  $R_e$  е общото съпротивление на датчика, а  $k_r$  е коефициентът на чувствителност. След като съществува линейна връзка между електрическо напрежение и съпротивление (съгласно закона на Ом) може да се използва същата формула, но с отношение на напреженията. Съгласно схемата на фиг. 1 са измерени електрическите напрежения в клоновете на Уитстъновия мост и след като операционният усилвател е с коефициент на усиление  $k_{OP} = 160$  може да се изчислят относителните деформации по следната формула:

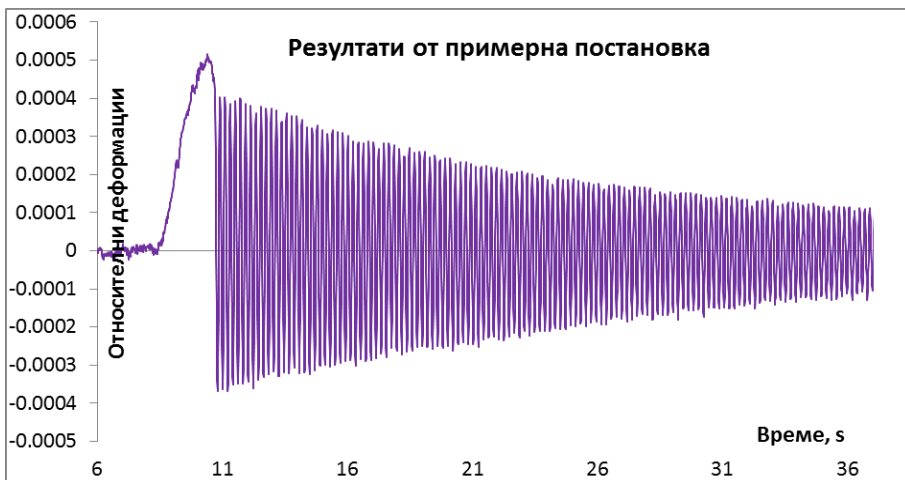
$$\varepsilon = \frac{\Delta V}{V_t k_{OP} k_r},$$

където  $V_t$  е електрическото напрежение в балансирано състояние на двата клона от Уитстъновия мост.



Фиг. 4. Примерна изпитвателна постановка

Получените резултати от примерната постановка са показани на фиг. 5. Графиката представлява измерените във времето относителни деформации от електро-съпротивителния датчик. Ясно се вижда извеждането от равновесно положение на стоманената конзола и свободното ѝ трептене със съответно затихване.



Фиг. 5. Резултати от примерна постановка

На фиг. 6 е показана графика на получените резултати във времевия диапазон от 11,6 s до 13,0 s. Графиката е преобразувана, за да се показват стойности на данните в напрежения. Точките от графиката представляват самите отчети от електро-съпротивителния датчик. Гъстотата на отчетите е 12,5 ms. Това означава, че примерната постановка записва данни с честота 80 Hz. Така измереният период на собствени трептения на примерната стоманена конзола ще бъде 0,2 s.



Фиг. 6. Графика на напреженията от 11,6 s до 13,0 s

## 5. Заключение

Използването на модифицирания Уитстънов мост дава възможност за циклично последователно измерване на различни електро-съпротивителни датчици. Внедряването на микроконтролер с отворен код позволява да се предават и съхраняват данни в дигитален вид. Въпреки че представената постановка се отличава със сравнително ниска себестойност, тя дава възможност да се провеждат както статични, така и динамични измервания с честота 80 Hz. Малката консумация на енергия и малките размери дават възможност за лесно преместване и голямо разнообразие от захранващи устройства. С използването на мултиплексори става възможно дигиталното измерване на множество датчици в реално време. Представената постановка е в състояние да предава данни в реално време, както и да ги съхранява в цифров вид. Програмният алгоритъм може да се настрои да показва както относителни деформации, така и абсолютни (след като се знае дължината на базата на датчика), напрежения и други производни. Това дава възможност на оператора в реално време да следи промяната на величината, която го интересува.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Arduino. Open-source electronics platform, [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc), 2016.
2. CD405X Datasheet. Texas instruments, 2003.
3. Димов, Д. Обследване и изпитване на строителни конструкции и мостове. УАСГ, 2010.

# DIGITALIZATION OF RESISTANCE TRANSDUCERS

**R. Orlinov<sup>1</sup>**

**Keywords:** *data acquisition, microcontrollers, resistance transducers*

## ABSTRACT

This paper presents an effective alternative system for data acquisition from resistance transducers. The components of the system are an Arduino microcontroller, modified Wheatstone bridge, operational amplifier and analog to digital converter. All components are unified through source code. The proposed system for data acquisition is tested on steel cantilever model and the results are presented.

---

<sup>1</sup> Radoslav Orlinov, Assist. Dr. Eng., Dept. “Reinforced Concrete Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: orlinov\_fce@uacg.bg

