

ПРОТОТИП ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ДИНАМИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА СТРОИТЕЛНИ КОНСТРУКЦИИ

Радослав Орлинов¹

УАСГ, катедра „Масивни конструкции“

PROTOTYPE FOR DATA ACQUISITION OF DYNAMIC PROPERTIES OF STRUCTURES

Radoslav Orlinov

UACEG, department of Reinforced concrete structures

***Abstract:** A device prototype for receiving and storage of a structure's acceleration is presented in this paper. The prototype consists of microcontroller, storage device and transducer for measuring acceleration. The workflow of all components is a source code, developed by the author. The prototype is fully autonomous and can operate without any computer or even an operator. The concept is to place this device on a building and to record the accelerations due to seismic motion. Results for masonry building subjected to vibrations are presented in this paper.*

***Key words:** Data acquisition, dynamic performance, structure's accelerations*

1. Въведение

Динамичните характеристики предопределят поведението на дадена строителна конструкция при следващото сеизмично въздействие. Те са следствие от проектирането, детайлирането, изпълнението и вложените материали. Ето защо динамичните характеристики на дадена конструкция са важна част за строителния инженер. По време на проектирането реалното поведение на сградата се представя чрез разлагане по собствени форми и така се определят периодите на собствени трептения. Разлагането по форми и съответно определените периоди на собствени трептения пряко влияят на сеизмичния анализ на конструкцията при най-популярния изчислителен метод – спектралния анализ. При този анализ спектралното нормативно ускорение на дадена конструкция се намира като функция от периодите на собствени трептения. Следователно коректното „предсказване“ на периодите на собствени трептения на дадена конструкция е от изключителна важност за процеса на проектиране.

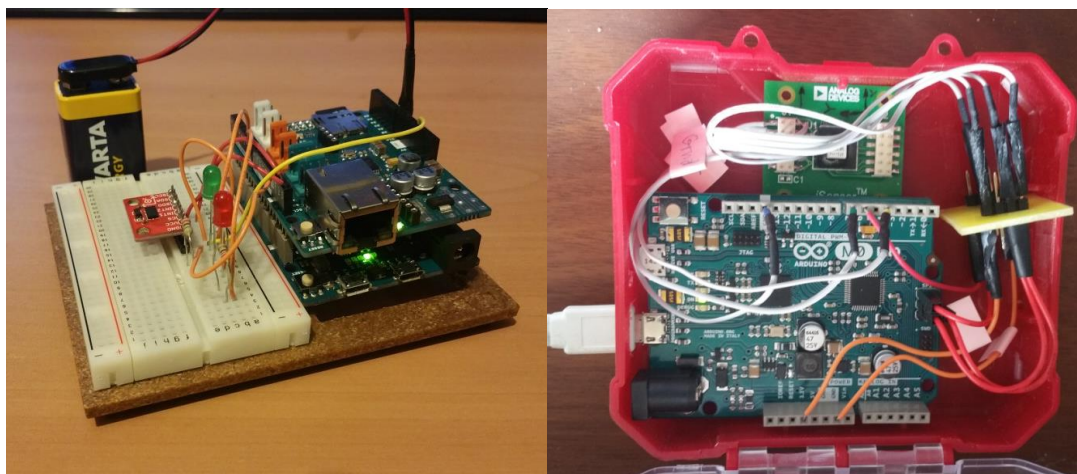
Обследването на строителни конструкции е друга сфера, в която периодът на собствени трептения има важно значение. Чрез експерименталното му определяне

¹ Р.Орлинов, д-р инж., гр.София, бул.Хр.Смирненски 1, orlinov_fce@uacg.bg

може да се направят изводи за коравината на конструкцията и евентуални предишни повреди. Периодът на собствени трептения се намира посредством динамично изпитване на разглежданата конструкция. За съжаление такова изпитване изисква поставяне на апаратура включваща акселерометри, приемници и изчислителна техника. Освен това е необходимо конструкцията да се приведе в трептене, което става чрез хидравлични актуатори с прикрепени инертни маси към тях. Такова изследване е правено от проф. Сотиров [6] на две едропанелни сгради в гр.София. Видно е, че експерименталното определяне на динамичните характеристики на съществуващата конструкция е скъп и изключително трудоемък процес.

2. Основни цели

Целта на настоящата разработка е да се оптимизира процеса на експерименталното определяне на динамичните характеристики. Динамичното изследване е свързано с изключително скъпа апаратура, която се продава от няколко утвърдени световни фирми. И ако в чужбина е нормално и достъпно да се използва такава апаратура за изпитване, в нашата страна това невинаги е така. На фиг.1 е показан разработен прототип за получаване, запис и съхранения на ускоренията на строителни конструкции. Идеята за създаване на прототипа е не да се конкурира със световно известните марки. Целта е да се предложи подходящ продукт за получаване на динамичните характеристики от икономическа и инженерна перспектива. Икономическа, защото трябва да е достъпен и инвестицията за неговото закупуване да се изплати в рамките на първия проект (от 250лв за прототип). Инженерна перспектива – получените данни да са със задоволителна точност, която да отговаря на търсените динамични характеристики и да позволява тяхното определяне.



Фиг. 1. Прототипи с акселерометър ADXL345(ляво) и с ADIS16209(дясно)

3. Компоненти на прототипа

Основата на представения прототип от фиг. 1 е микроконтролер „Arduino“ с отворен код [3]. Тази платформа представлява съвкупност от дигитални и аналогови (I/O) щифтове за вход-изход, които могат да бъдат свързани с различни платки, контролери, датчици и вериги. Платките включват серийни комуникационни протоколи като SPI и I2C. За програмиране на микроконтролерите, „Arduino“ платформата предоставя интегрирана среда за разработка (IDE), основана на програмните езици C и C++ . Цената на тази платформа варира от 40лв до 120лв.

За определяне на динамичните характеристики е задължително да се измерва ускорението през достатъчно малки интервали от време и с достатъчна точност. По този начин е възможно да се определят периодите на собствени трептения, затихването и други характеристики. В първия прототип е използван дигитален

датчик ADXL345 [2] за определяне на ускоренията с цена около 50лв (фиг.1-ляво). Той позволява да се правят измервания на ускорение по трите оси с честота на отчетите 80Hz (80 отчета в секунда). Ниската цена се дължи на това, че предлаганият акселерометър е чип и платка, който за да работи е необходимо да се обвърже с микроконтролер чрез програмен алгоритъм.

Изработен е втори прототип (фиг.1-дясно), пригоден за запис на данни от дигитален акселерометър ADIS16209 [1]. Този модел се характеризира с по-висока точност на измерените ускорения и честота на отчетените стойности от 600Hz. Цената на този микрочип е около 250лв.

Принципът на работа на MEMS датчиците (Микро-електро механични системи) се основава на измерването на капацитета на кондензатори, свързани към подвижна пластина. Обикновено те се характеризират с по-ниска точност от пиезокристалните датчици в типичните акселерометри за изпитване на строителни конструкции и въпреки това съществуват случаи за прилагането им в сеизмологията [4,5]. Съществуват различни видове MEMS датчици като използваните в настоящата разработка (ADXL345 и ADIS16209) позволяват измерване както на динамични ускорения, така и на статични.

Отчетените стойности на ускоренията могат да се съхраняват директно на персонален компютър, но за да се минимизира стойността, записът става върху дигитална карта (SD card). За целта е използван модул с наличие на слот за такава карта. Неговата цена варира от 30 до 80лв в зависимост от функциите.

Така предложените компоненти са сглобени, като са добавени LED индикатори (фиг.1). Прототипите позволяват да се измерват ускорения от 0,004g и да се записват всички отчети на SD карта. Ниската консумация на електроенергия дава възможност за използването на обикновена 9V батерия. Компонентите за първия прототип възлизат на обща стойност около 300лв, като има възможност цената да се намали.

За да е в състояние да събира и записва данни, представеният прототип се нуждае и от алгоритъм. Такъв е разработен от автора и заложен в прототипа. Дизайнът на алгоритъма включва използване на минимален праг на ускоренията. Това представлява стойност на измерените ускорения, под която целият прототип е в състояние на изчакване (sleep mode). Когато външното въздействие превиши този минимален праг, започва запис на ускоренията с работна честота (в зависимост от използвания акселерометър). По този начин се съхранява само информацията, имаща значение за изследването и значително се намалява обемът на данните за анализ.

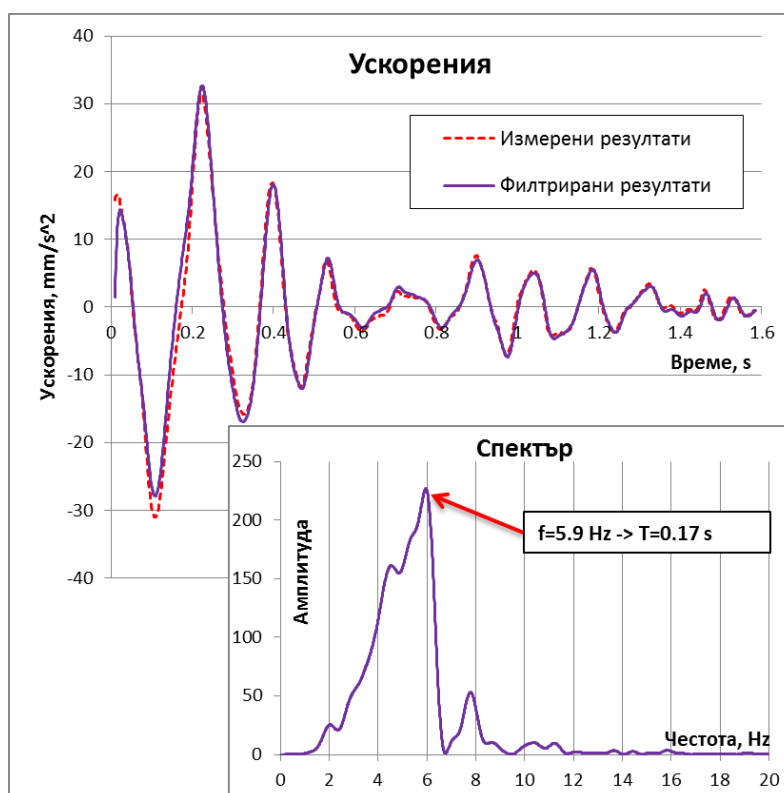
4. Въвеждане в трептене

След като се представи визия за метода на събиране и съхраняване на данни за динамично изследване е необходимо разглежданата конструкция да се приведе в трептене. Въпреки че съществуват способности, изобретени от хората, това се счита за опасно за живущите и изключително скъпо. Вместо това се предлага този етап да се остави на природата. Трептене на изследваната конструкция ще се получи при следващото земетресение, което за строителните конструкции на територията на България е неизбежно.

Концепцията на настоящата разработка е да се постави един или няколко прототипа за събиране на данни за ускоренията на дадена конструкция. Както стана ясно тяхната себестойност е сравнително ниска, което ги прави подходящи за продължително измерване. След като се случи земетресение и сградата се приведе в трептене, нейните ускорения автоматично ще бъдат записани. Съответно колкото е по-чувствителен акселерометърът, при толкова по-слабо земетресение ще бъде възможно да се запишат динамичните характеристики на конструкцията.

5. Пробно измерване на дървена конструкция

За да се оценят способностите на представения прототип без да се чака сеизмично въздействие продължителен период от време, е извършено пробно измерване. Използвана е свободно стояща дървена конструкция, на която е приложено външно въздействие. Измерените ускорения са показани на фиг. 2 заедно с филтрираните резултати. Използван е класическият филтърен модел на Butterworth, но поради простотата на статическата схема на конструкцията, филтрираните резултати са почти идентични с измерените. Извършен е Фуриев анализ за разлагане на трептенията по техните дискретни честоти (Power density spectrum). Спектърът показва, че честотата на изследваната конструкция е около 5.9 Hz или периодът на собствени трептения е около 0.17 s.



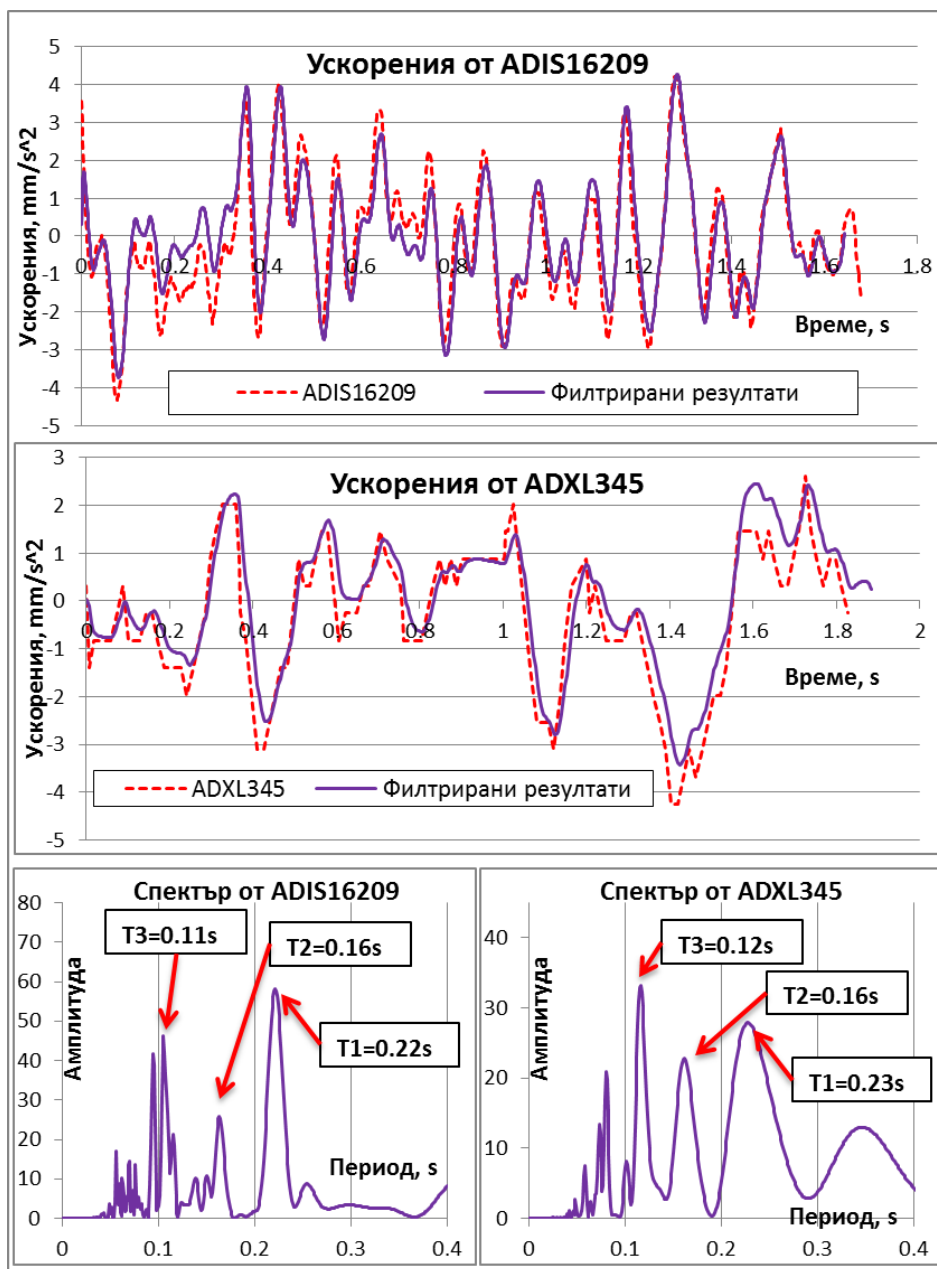
Фиг. 2. Ускорения и спектър от примерна конструкция

6. Примерно измерване на жилищна сграда

Реалните строителни конструкции обикновено имат по-сложно поведение от показаното на фиг. 2. Извършено е измерване на жилищна сграда в централната част на гр.София – фиг. 3. Трамвайна линия минава непосредствено до сградата и вибрациите от преминаващото превозно средство се усещат в конструкцията. Сградата е шест етажна, монолитна, скелетна с пълнежна зидария. Строена е през 20-те години на миналия век. Извършено е измерване с двата независими прототипа с акселерометри ADXL345 с честота на измерване на входните данни от 80 Hz и ADIS1629 с 600Hz. Датчиците са поставени на последния (шести) етаж от сградата и са направени едновременни записи от двата прототипа на вибрациите, предизвикани от преминаващ трамвай. На фиг. 4 са показани измерените ускорения. Поради ниската абсолютна стойност на вибрациите на конструкцията трептенията на сградата са примесени с шума от двата датчика.



Фиг. 3. Изглед на изследваната жилищна сграда в гр.София (Google maps)



Фиг. 4. Ускорения и спекър от конструкция на жилищна сграда

Двата независими прототипа се активираха при първите усетени вибрации в конструкцията и записаха ускоренията, показани на фиг.4. Записът от акселерометър ADIS16209 е от около 1,7 s и се състои от 1040 броя отчети, а този от ADXL345 е от 130 отчета. Очевидни са разликите в измерените ускорения от двата датчика. Това се дължи както на различната честота на записване, така и на наличието на шум. Записаните ускорения на фиг.4 са с около 10 пъти по-малки стойности от тези на фиг.2. И при двата записа е приложен Butterworth филтър, настроен да потисне влиянието на честоти в сигналите под 0,7Hz и над 20Hz. Така филтрираните записи могат да се видят на фиг. 4.

Приложен е анализ на Фурие за определяне спектралната плътност (Power density spectrum) и съответните дискретни периоди на филтрираните сигнали – фиг.4. Първите три периода на собствени трептения са 0.22s, 0.16s и 0.11s. Тези стойности се получават и от двата акселерометъра независимо, че са примесени с шум. Получените периоди на собствени трептения са в очаквания диапазон за сравнително коравата зидана конструкция.

7. Заключение

В статията е представен прототип за измерване на динамичните характеристики на строителни конструкции. Неговата сравнително ниска себестойност го прави достъпен за строителния бранш у нас. Устройството се базира на микроконтролер и дигитален акселерометър. Представеният прототип дава възможност да се измерят ускоренията на приведена в трептене конструкция. Създаденият алгоритъм прави възможно данните от ускоренията да се записват и съхраняват само за времетраенето на външното въздействие, което значително намалява обема на данни за обработка.

Прототипът е приложен при измерване на ускорения на примерна дървена конструкция и монолитна жилищна сграда. Успешно са изчислени периодите на собствени трептения, като при монолитната сграда е използвано обстоятелството, че преминаващ трамвай предизвиква вибрации.

Бъдещата работа е насочена към хардуерно и софтуерно усъвършенстване на прототипите и запис на ускоренията на строителна конструкция по време на сеизмично въздействие.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] ADIS16209 Datasheet, Analog Devices, www.analog.com, 2015
- [2] ADXL345 Datasheet, Analog Devices, www.analog.com, 2009
- [3] Arduino, Open-source electronics platform, www.arduino.cc, 2016
- [4] Austin Adams, Earthquake Data Recorded by the MEMS Accelerometer, Seismological Research Letters - Equipment News; Journal Volume: 74, 2003
- [5] Jesse F. Lawrence, et al., Rapid Earthquake Characterization Using MEMS Accelerometers and Volunteer Hosts Following the M 7.2 Darfield, New Zealand, Earthquake, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 104, 2014
- [6] Сотиров, П., Динамично експериментално изследване на ЕПЖС – сп.Строителство, 1988