

Използване на MS EXCEL за анализ на трептения. Част 1

Клавдий Тютюлков

СУ “Св. Климент Охридски”, Физически факултет, 1172 София,
бул. “Дж. Баучер” 5

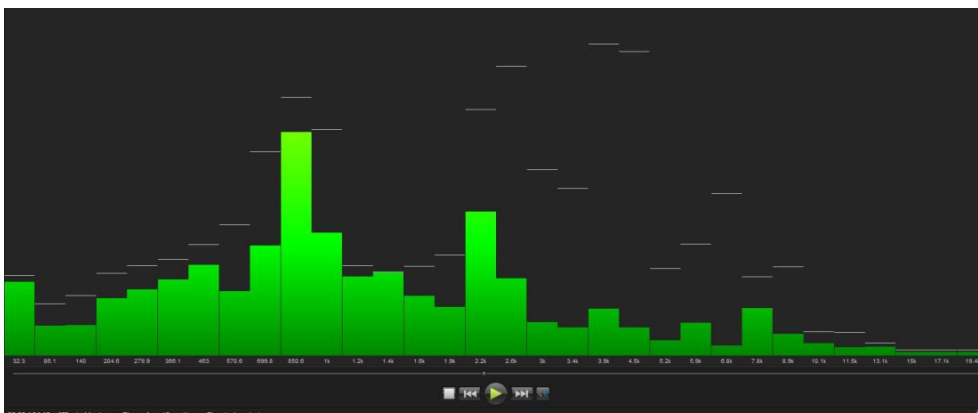
Абстракт. В настоящата дописка са описани някои възможни приложения на MS EXCEL за обработка на експериментални данни с използване на бързо Фурие преобразуване (FFT). Показани са алгоритъм за използване и примерни опити. Като приложение е даден файл, с чиято помощ в EXCEL може да бъдат въведени и обработвани данни от микрофон.

УВОД

Бързото Фурие преобразуване (на английски – fast Fourier transform, затова често се съкращава и среща като FFT) представлява алгоритъм за лесно и бързо извършване на дискретна Фурие трансформация. По този начин даден сигнал (серия от експериментални данни) може да бъде разложен на съставлящите го честоти. Съществува и обратната трансформация – от честотите да бъде възстановен оригиналният сигнал. Днес FFT се използва в природните науки, инженерните науки, приложната математика, при безжичното предаване на данни, в икономиката. Още през 1805 г. Гаус (Carl Friedrich Gauß) намира форма на такъв алгоритъм с цел пресмятане на орбитите на астероиди, но неговото откритие не е публикувано тогава. По-нататък има немалък брой автори го преоткриват, но едва през 1965 г. Cooley и Tukey [2] описват най-използвания до момента алгоритъм¹. В основата са свойствата на експоненциалния член ($e^{ix} = \cos x + i \sin x$), които от своя страна се базират на периодичността, (съответно четността и нечетността) на функциите \sin и \cos .

Същността на алгоритъма, както и някои ограничения са обяснени добре в [4]. За приложението може да се прочете в [5] – там има и при-

¹Те преоткриват лемата на Daniels и Lanczos [3] – дискретна Фурие трансформация с дължина N (N е четно), може да бъде записана като сума от две дискретни трансформации, всяка от които с дължина $N/2$. Първата съдържа четните елементи, а втората – нечетните. Този подход може да бъде приложен рекурсивно. Така броят на необходимите операции се намалява от N^2 на $N \log_2 N$. Ясно е, че това би могло да стане само с цифрова машина и броят на обработените стойности трябва да бъде 2^N , където N е цяло число.



Фиг. 1.

мерена таблица, направена в EXCEL с използване на FFT. В специализираната литература, както и в мрежата съществуват множество добре илюстрирани четива – напр. [6].

При прослушване на музика с компютърно устройство, често може да се види изображение, подобно на показаното на Фиг. 1. На въпроса, какво представлява много малко ученици биха отговорили – или биха казали “това е екюлайзер”. Всъщност “екюлайзер” трябва да бъде поставено в кавички – изображението представлява спектър на честотите на последната чука (и обработена) малка порция музика.

В много от съвременните смартфони има вградени програми за спектрален анализ на записан звук². Скрийншот от такава програма е показан на Фиг. 2.



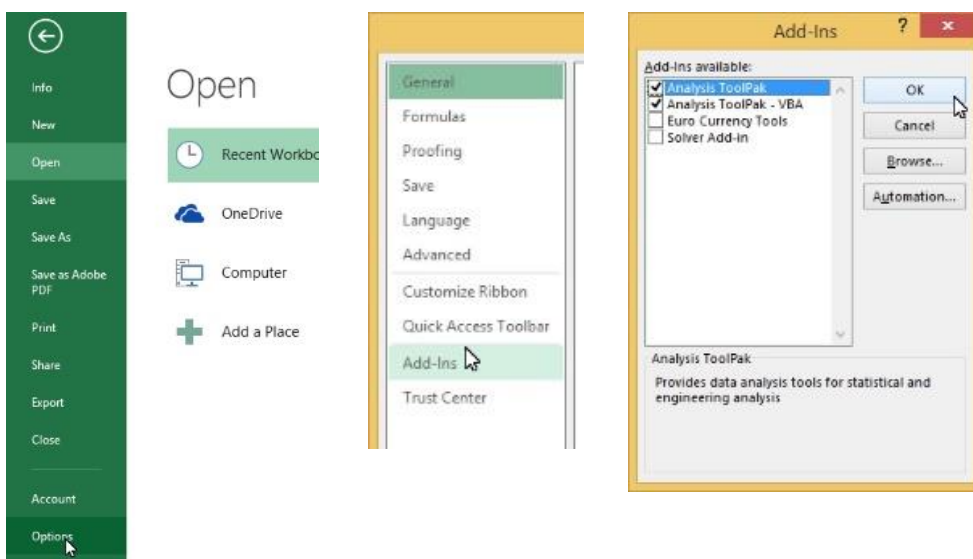
Фиг. 2.

²В днешните смартфони има вградени различни сензори, както и програми за отчитане на техните показания. Възможностите за приложение за целите на учебния експеримент са доста широки, но това е отделна тема, на която авторът ще се спере в близко време.

КАК ДА ИЗПОЛЗВАМЕ FFT В EXCEL

Офис пакетът на Майкрософт, съставна част от който е EXCEL, е достъпен в българските училища, но някои от неговите възможности се използват рядко³. Особено тези, които са свързани с обработка на експериментални данни⁴. Поради тази причина смятаме, че е полезно да бъдат разглеждани такива въпроси.

Понякога се налага да бъде намерен спектърът на честотите в даден сигнал. (Данните за този сигнал може да бъдат реални или симулирани, може да са записани с молив върху хартия и след това внесени в електронна таблица, а може да бъдат и автоматично записани в същата таблица.) За да може да ги обработваме с EXCEL, в него трябва да е активиран пакета Analysis ToolPak⁵. Последното може да стане като от File -> Options -> Add-Ins се избере Analysis ToolPak, желателно и Analysis ToolPak-VBA (Фиг. 3).



Фиг. 3.

След като пакетът е активиран, се действа в описаната по-долу последователност:

³Полезни приложения за училищната лаборатория има в [7].

⁴Тук не коментираме доколко се провеждат учебни експерименти.

⁵Дадените примери се отнасят за EXCEL 2013. В други версии нещата стават по аналогичен начин. Авторът не препоръчва използване на версията от 2010 г.

1. Определяне на колонки за запълване . Поставят се на етикети колонките както следва: №, стойност, време, данни, fft-комплексни стойности, честоти, амплитуди. Това е показано на Фиг. 4 (оставени са няколко празни колонки, а смисълът на клетка O2 е обяснен по-нататък).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
1	№	стойност	време		FFT комплексни стойности						честоти	ампл.				1556
2		0	129	0				131919				0	257,6543			9,790039063

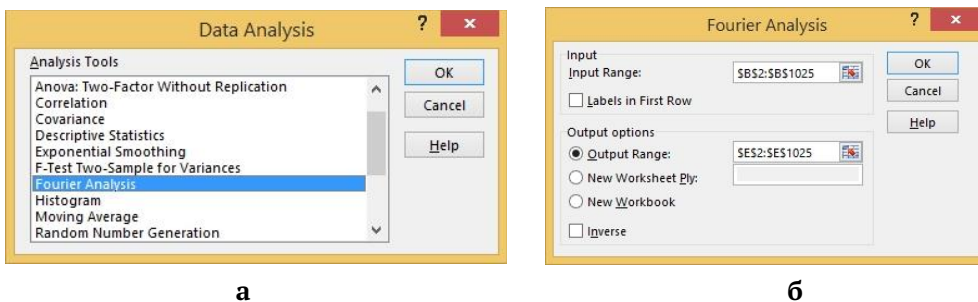
Фиг. 4.

В даденият като приложение файл, колонките се намират на лист 2.

2. Попълване на данни и пресмятане на комплексни стойности . В колонка **B** се нанасят отчетените стойности, а в колонка **C** – моментите от време, в които те са отчетени. Най-добре е интервалите, през които се отчитат стойностите, да бъдат еднакви. В повечето случаи това е така. Нека интервалите са Δt . Реципрочната стойност е т.нар. *честота на сканиране*, f_s . Нейната големина е от изключителна важност за това, какви съставки ще намерим в спектъра на изследвания сигнал. Припомниме смисъла на теоремата на Nyquist⁶ – ако сканираме даден сигнал през интервали Δt , съществува една критична честота $f_s = 1/2\Delta t$ и в спектъра не може да открием по-високи честоти от тази критична честота. (Като пример да разгледаме махало, наблюдавано по стробоскопичен метод. Ако го “снимаме” със същата честота, с която то трепти, ще го виждаме само в едно и също положение. Трябва да имаме поне две отчетени стойности на период. В действителност е желателно отчетените стойности да са поне 3 – 5 на период). В дадения като приложение пример е показан сигнал, сканиран с честота 11025 Hz ($\Delta t \approx 9,071E-5$) и са обработени първите 1024 стойности.

Сега следва намиране на комплексните данни. Тук трябва да имаме предвид следното – броят на стойностите, които обработваме трябва да бъде равен на някаква цяла степен на числото 2 – например 128, 256, ..., 4096, В EXCEL има ограничение от 4096 стойности. Нека в нашия пример да използваме 1024 стойности, от нанесените в колонка **B**. За целта се постъпва така: от менюто избираме Data → Data Analysis → Fourier Analysis (Фиг. 5а). След това, в прозореца, който се отваря, въвеждаме клетките с входните данни (в нашия случай $\$B\$2: \$B\1025) и клетките, където ще бъдат записани резултатите (в нашия случай $\$E\$2: \$E\1025).

⁶Наричана още “теорема на Nyquist-Shannon” или “Nyquist-Shannon-Котелников”.



Фиг. 5.

Като резултат се получават комплексни числа ($z = a + bi$), които програмата записва във вид:

$$10,8715188777475 + 5,4382885411813i$$

3. Определяне на изследваните честоти. Първо трябва да се пресметне съотношението *честота на сканиране/брой измервания*, което в случая е 11025/1024 или $\approx 10,7666$. За удобство съотношението е поставено в $\$O\2 . В показания пример честотите са в колонка **К**. Първият запълнен ред (в случая $\$K\2) винаги има стойност “0” – в случая това е **K2**. По-нататък се постъпва така – последователните редове се запълват със следните стойности: $1*\$O\$2, 2*\$O\$2, \dots, 1024*\$O\2 . Удобно е да се използва автоматично запълване. Не е желателно резултатите да се закръгляват.

4. Попълване на колонка с амплитудите на изследваните честоти. В примера амплитудите са поставени в колонка **L** (Фиг. 6). Запълването става като в последователните редове се записва:

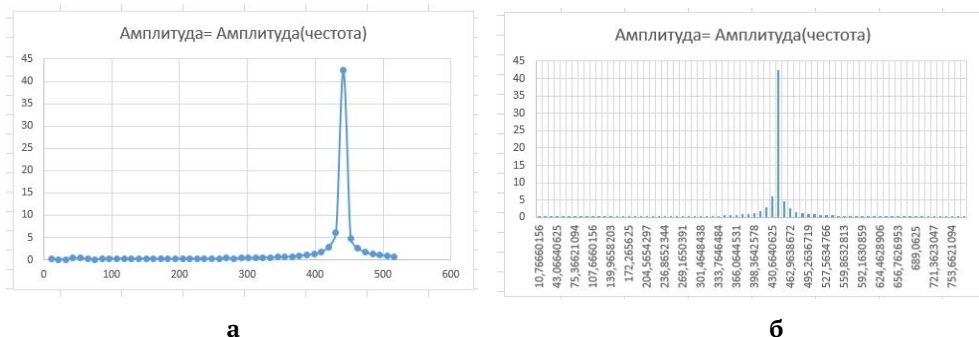
$$(2/\text{брой измервания}) * \text{големина на комплексната стойност}$$

За тази цел в клетка **L2** записваме “ $=2/1024*IMABS(E2)$ ”, в клетка **L3** записваме “ $=2/1024*IMABS(E3)$ ” и т.н. (Ако $z = x + yi$, то функцията **IMABS** пресмята $z = \sqrt{x^2 + y^2}$. Отново е удобно да използваме автоматично запълване.

fx											
D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
	FFT комплексни стойности						честоти	ампл.			fy/za
	133615						0	260,9668			10,76660156
	74,3989515841094-47,7847161694533i						10,76660156	0,172701			

Фиг. 6.

5. Показване на резултатите в графичен вид . Искаме да покажем амплитудите на съставлящите сигнала честоти. Избираме колонките „честоти“ и „амплитуди“ – в случая **К** и **L**. И ги нанасяме на графика от вида Line (Фиг. 7а) или Clustered Column (Фиг. 7б)

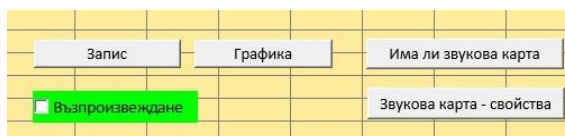


Фиг. 7. Обработен с FFT сигнал от камертон (440 Hz), записан с честота на сканиране 11025 Hz.

ЗАПИС НА ДАННИ ОТ МИКРОФОН В EXCEL

Като приложение е даден файлът `micro1.rar`, който съдържа таблицата `excel_micro_03.xslm`, библиотеката за динамично свързване `PORT.DLL` и текстов файл с команди за управление на звуковата карта. С помощта на `excel_micro_03` може да бъде направен аудиозапис, данните да бъдат записани в таблицата и обработени с FFT. Преди стартирането на EXCEL, библиотеката `PORT.DLL` трябва да бъде записана в системната папка на Windows – обикновено това е `C:\Windows\System` (съответно `C:\Windows\System32` или `C:\Windows\SysWOW64`)⁷. Таблицата съдържа макро, написано на VBA – за да работи трябва да бъде разрешено т.нар. *активно съдържание*.

При стартиране се отваря първата страница, на която се вижда меню с няколко бутона – фиг. 8.



Фиг. 8.

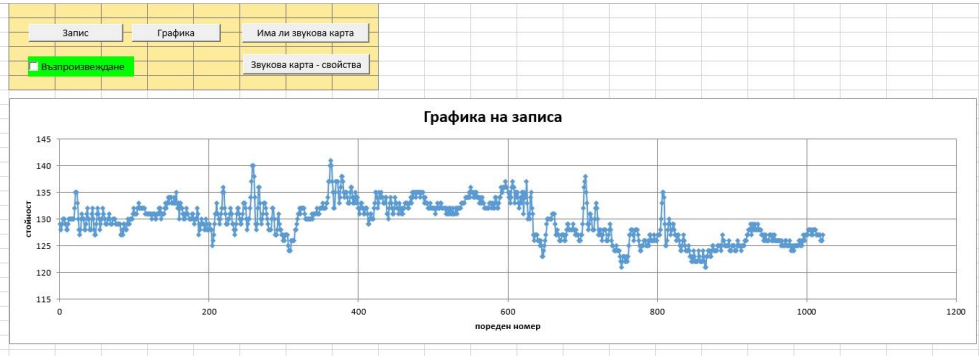
⁷Регистрирането става набирание на `"regsvr32 PORT.DLL"` в т.нар. Command Prompt и натискане на "Enter".

Запис – осъществява запис на аудиосигнал. (Параметрите може да бъдат променени посредством редактора на VBA.) Ако т.нар. check box е маркиран, записът се репродуцира през колонките на компютъра.

Графика – показва графика с първите 1024 точки от записа.

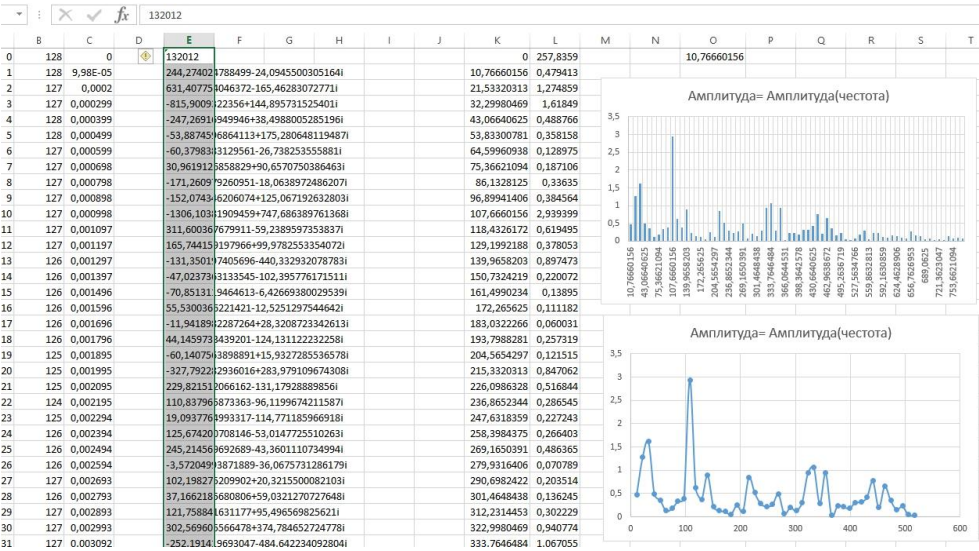
Другите два бутона показват дали е налична звукова карта и, ако е така, нейните свойства.

На Фиг. 9 е показан резултат от действието на програмата.



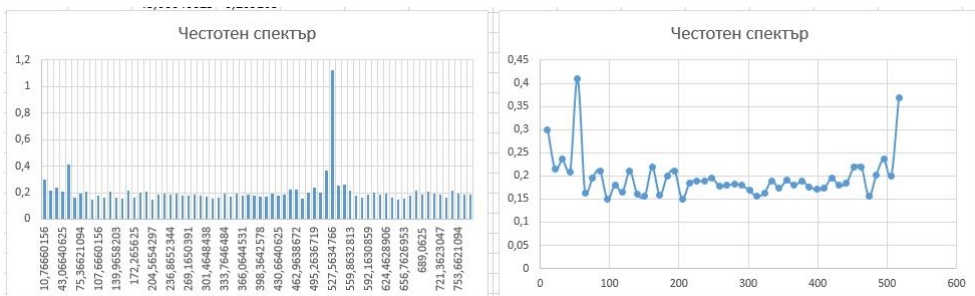
Фиг. 9. Запис на звука “р” (гласът е на автора).

След като записът е направен, автоматично се преминава към лист 2, където се виждат резултатите от обработения сигнал – Фиг. 10.

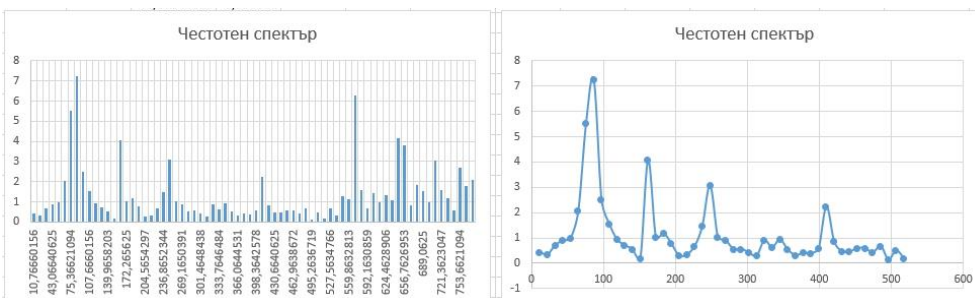


Фиг. 10. Обработка на записа посредством FFT.

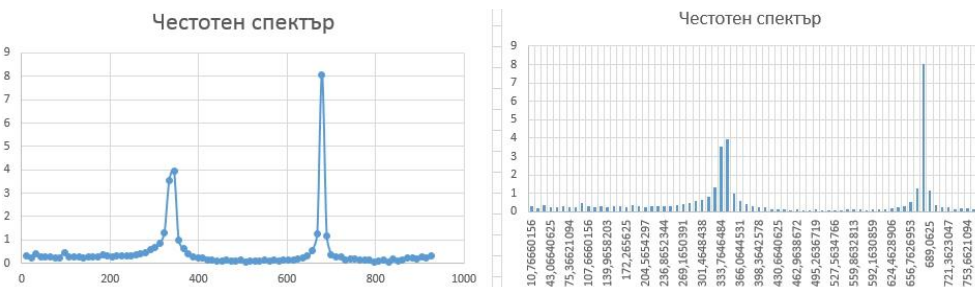
На Фиг. 11, Фиг. 12 и на Фиг. 13 са показани още няколко експериментални резултата. (На Фиг. 11 и на Фиг. 12 втората графика не показва всички честоти. Точно кои честоти ще бъдат показани може да се определи от ползващия програмата посредством избор на данни от клетките, които ще бъдат изобразени.)



Фиг. 11. Запис на звук от сирена.



Фиг. 12. Запис на звука "а" (гласът е на автора).



Фиг. 13. Запис на звука "о" (гласът е на съпругата на автора).

Съществуват възможности за промяна в програмата – например да бъдат записани по-голям брой стойности и съответно да бъдат възпроизведени (обаче не бива да се забравя ограничението за броя обработени стойности – в EXCEL той е 4096). За да бъдат направени промени, все пак са необходими основни познания за езика VBA. Последното е извън рамките на настоящето изложение, но всички заинтересовани могат да се обърнат към автора за съдействие. Иначе – продуктът е подходящ за учители, които преподават едновременно и физика и информатика (респ. информационни технологии).

Авторска бележка: Първият вариант на описаната таблица беше направен преди повече от 15 години. Той не предизвика особен интерес сред учителското съсловие. Авторът се надява, че в днешно време нещата ще претърпят известна промяна. По-късно от същия автор бяха съставени и някои по-атраaktivни програми със аналогична насоченост, например описаните в [8], като последната се радваше на известна (умерена) популярност [9]. А защо учителите по физика нямат особен интерес към тази проблематика е въпрос на социологическо проучване. Авторът има мнение по въпроса, но коментарът би бил доста обширен⁸.

ДИДАКТИЧЕСКИ БЕЛЕЖКИ

В Държавните образователни изисквания за учебно съдържание, публикувани на сайта на МОН [10], е казано, че ученикът трябва да умее:

- в края на VIII клас – да “извлича данни и друга информация от графики, таблици, схеми и чрез информационни технологии”.
- Гимназиален етап, първо равнище – да “използва основни величини и съотношения при хармоничното трептене и при вълновите процеси (без тригонометрични функции);;
- Гимназиален етап, второ равнище – да “използва компютърни програми за числено решаване на задачи и за обработка на експериментални резултати”.

Освен това опитът показва, че в последните години българските ученици трудно се справят както с направата на графики, така и с извлича-

⁸Интересен е фактът, че същите тези “учители по физика” много наблягат (и се радват) на обикновени презентации, направени с PowerPoint (в повечето случаи копирани от другаде). Авторът иска да цитира и един студент-физик (изучаващ факултативно педагогическа специалност – около 1996 г.): “Ами какво е това FFT – тук никой не го ползва... То се използва само при компресиране на файлове”. По-нататъшните приказки са излишни. Вероятно днес същият този човек (нейде из чужбина) използва 3G или 4G мрежа...

нето на информация от тях⁹. От друга страна всички програми от клас “електронна таблица” са направени за обработка на резултати. По специално част от възможностите на MS EXCEL се изучават в училище, но относително рядко намират приложение за обработка на резултати от учебен експеримент. Във връзка с посоченото смятаме, че представената тук добавка към EXCEL е полезна. Тя би могла да намери приложение при провеждане на демонстрационни и на лабораторни експерименти, в различни извънкласни форми и за самостоятелна работа. При подходящ подход, би спомогнала за осъществяване на междупредметните връзки “физика – информационни технологии”, “физика – музика”, “физика – биология”, за въведение един от начините за обработка на резултати, за обучение по ключови компетентности.

Пред учениците следва да се спомене, че FFT стои в основата на компесирането на изображения и на музика (напр. jpeg, MP3), предаването на данни (3G и 4G), разпознаването на образи и мн. др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описан е приложим на практика продукт, който е даден като приложение и може да бъде изтеглен от сайта на списанието. Всякакви бележки и въпроси ще бъдат приети с благодарност на адреса на автора: kait@phys.uni-sofia.bg

Във втората част на дописката ще бъдат дадени примери (и готов продукт) за отчитане на данни, получени по сериен порт – например данни от сензори и опитни постановки, свързани към микроконтролер – махало, акселерометър, сензор за пулс и др.

Литература

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/Fast_Fourier_transform, посетен на 11.08.2016 г.
- [2] Cooley, James W.; Tukey, John W. (1965). "An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series". *Mathematics of Computation*. **19** (90): 297–301, doi:10.1090/S0025-5718-1965-0178586-1. ISSN 0025-5718.
- [3] <http://mathworld.wolfram.com/Danielson-LanczosLemma.html>, посетен на 20.08.2016 г.
- [4] <https://see.stanford.edu/materials/lsoftaee261/book-fall-07.pdf>, посетен на 11.08.2016 г.
- [5] <http://epublications.bond.edu.au/ejsie/vol5/iss2/2/>, посетен на 11.08.2016 г.
- [6] <http://paulbourke.net/miscellaneous/dft/>, посетен на 11.08.2016 г.

⁹Последното се усеща особено силно при постъпването им във висше училище.

- [7] <http://mmsphyschem.com/excelPhys1.htm>, посетен на 11.08.2016 г.
- [8] К. Тютюлков, М. Гайдарова, П. Чолаков, И. Мирчева, “Изследване на слухови усещания със звукова карта”, XXXIV национална конференция по въпросите на обучението по физика “Физиката в биологията и медицината”, 6–9. IV.2006 г. Ямбол, сборник с доклади, стр. 172–175
- [9] Светлозар Недев, “Използване на компютър със стандартни периферни устройства във физичния експеримент”, XXXV национална конференция по въпросите на обучението по физика “Експериментът в обучението по физика”, 1–4. IV.2007 г. Плевен, сборник с доклади, стр. 217–223
- [10] <http://www.minedu.government.bg/?go=page&pageId=1&subpageId=25>, посетен на 19.08.2016 г.

Oscillation Analysis Using MS EXCEL. Part 1

Klavdiy Tutulkov

St. Kliment Ohridski University of Sofia, Faculty of Physics,
5 James Bourchier Blvd., 1164 Sofia

Abstract: Some applications of MS Excel to perform data analysis using Fast Fourier Transformation are described. EXCEL file with VBA macro is given, to proceed a microphone received data.