
**COMPUTER MODELING AND INTEGRATION INTO THE WEB-BASED
APPLICATION OF DIGITAL IIR FILTERS WITH LABVIEW
AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS ¹⁴⁵**

Ivelina Balabanova, Dipl. Eng.

Main asist. PhD at Communication Department,
Technical University of Gabrovo, Bulgaria
E-mail: ivstoeva@abv.bg

Georgi Gergiev, Dipl. Eng.

Communication Department,
Technical University of Gabrovo, Bulgaria
Communication Department, Gabrovo, Bulgaria
E-mail: givanow@abv.bg

Stela Kostadinova, Dipl. Eng.

Technical University of Varna, Bulgaria
E-mail: stela.kostadinova@tu-varna.bg

Abstract: IIR filters are modeled with use of various approximations using the software product LabVIEW. The developed in LabVIEW virtual instrument is integrated for a remote access, visualization and management in the global Internet network in interactive WEB-based application.

The artificial neural networks are trained imitating modeled filter types in an environment of MATLAB. The results in network validation and testing were introduced as quality indicators defining the extent of proper training and the ability of networks to successfully modeling digital filters.

Keywords: digital filter, virtual instrument, artificial neural networks, train, validation, testing.

ВЪВЕДЕНИЕ

Проектирането на цифрови филтри се свежда до намиране на коефициентите, участващи в предавателната функция на филтъра, като в зависимост от филтърния тип те могат да бъдат рекурсивни или нерекурсивни. Графичният потребителски интерфейс FDATool (Filter Design and Analysis Tool) в продукта MATLAB е един от най-често използваните софтуерни инструменти при проектиране и анализ на цифрови филтри. В голяма част от изследванията в областта на тяхно компютърно моделиране се прилагат апаратите на различни типове изкуствените невронни мрежи като:

- Generalized Regression Neural Networks;
- Self Organizing Map Neural Networks;
- Hopfield Neural Networks, Multilayer Perceptron (MLP) Neural Networks;
- Radial Basis Function (RBF) Neural Networks и други, обучени чрез симулационно получени коефициенти посредством FDATool.

В настоящия доклад е извършено моделиране на рекурсивни цифрови филтри с приложение на различни видове апроксимации посредством софтуерния продукт LabVIEW. Интегриран е разработения в LabVIEW виртуален инструмент в интерактивно WEB базирано приложение за отдалечен достъп, визуализация и управление през

¹⁴⁵Presented a plenary report of October 29, 2016 with the original title: КОМПЮТЪРНО МОДЕЛИРАНЕ И ИНТЕГРИРАНЕ В WEB БАЗИРАНО ПРИЛОЖЕНИЕ НА ЦИФРОВИ IIR ФИЛТРИ С LABVIEW И НЕВРОННИ МРЕЖИ

глобалната мрежа Интернет. Обучени са изкуствени невронни мрежи с обратно разпространение на грешката, имитиращи моделираните типове филтри в среда на MATLAB. Получените резултати при мрежови валидиране и тестване са въведени като качествени показатели, определящи степента на правилно обучение и способността на мрежите за успешно моделиране на цифровите филтри.[2]

I. ВИРТУАЛЕН ИНСТРУМЕНТ ЗА МОДЕЛИРАНЕ, ИЗСЛЕДВАНЕ И АНАЛИЗ НА ХАРАКТЕРИСТИКИТЕ НА ЦИФРОВИ IIR ФИЛТРИ В LabVIEW.

В графична среда на продукта LabVIEW е разработен интерактивен виртуален инструмент (ВИ), представен на фиг.1, за компютърно моделиране, изследване и анализ на честотните, импулсната характеристики и полюсно-нулевата диаграма на цифрови IIR филтри. Реализирани са следните видове филтри:

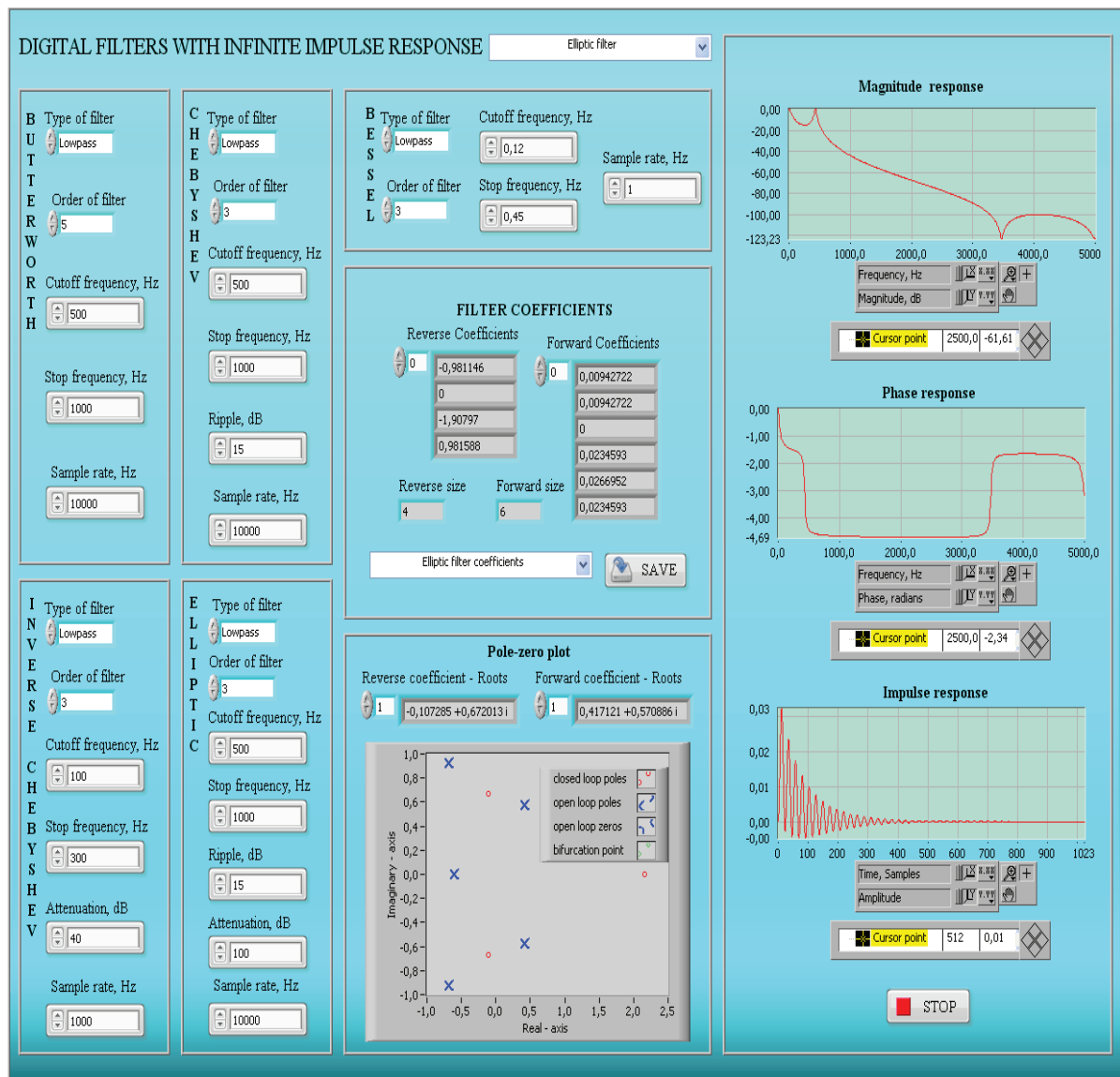
Butterworth – филтър с максимално гладка апроксимация, поради минималните пулсации в лентата на пропускане и задържане;

Chebyshev – филтър с апроксимация, отличаваща се с голяма стръмност на преходната област, но и има пулсации в лентата на задържане и пропускане;

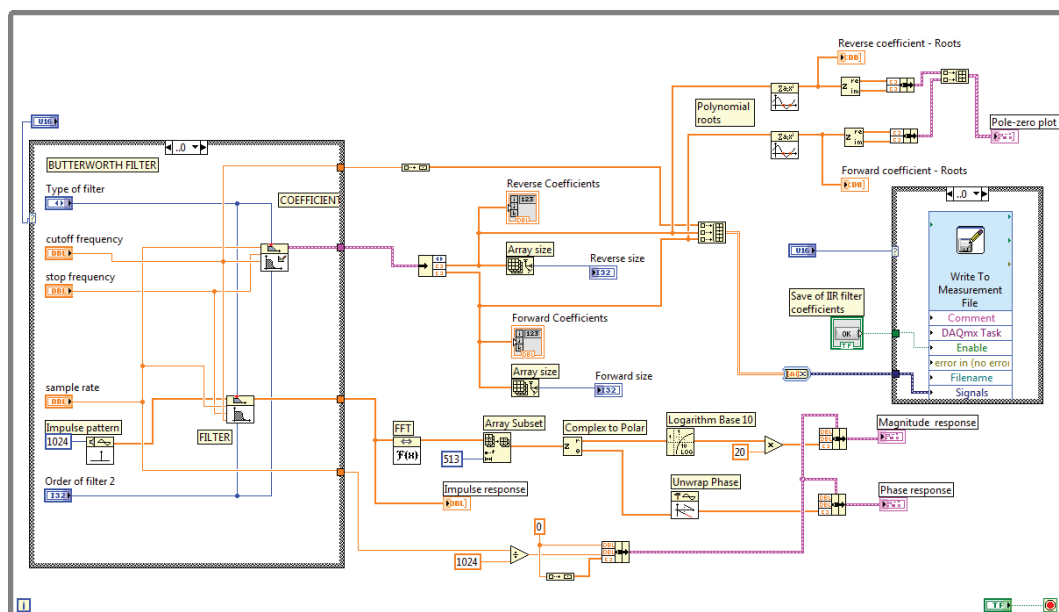
Inverse Chebyshev – филтърът, базиран на този вид апроксимация е по-рядко срещан. Известен е още под името "обратен филтър на Чебишев". Корените на неговия знаменател са обратните корени на филтъра на Чебишев от първи вид. Филтърът на Чебишев от първи вид контролира размера на вълните в лентата на пропускане, докато този има плоска лента на пропускане и регулира големината на вълните в лентата на задържане;

Elliptic – оптимален филтър, тъй като при еднакъв ред N и грешка от апроксимация, широчината на преходната област в амплитудно-честотната му характеристика (АЧХ) е минимална. АЧХ е равновълнова, както в лентата на пропускане, така и в тази на задържане, като броят пулсации е зависещ от реда на филтъра;

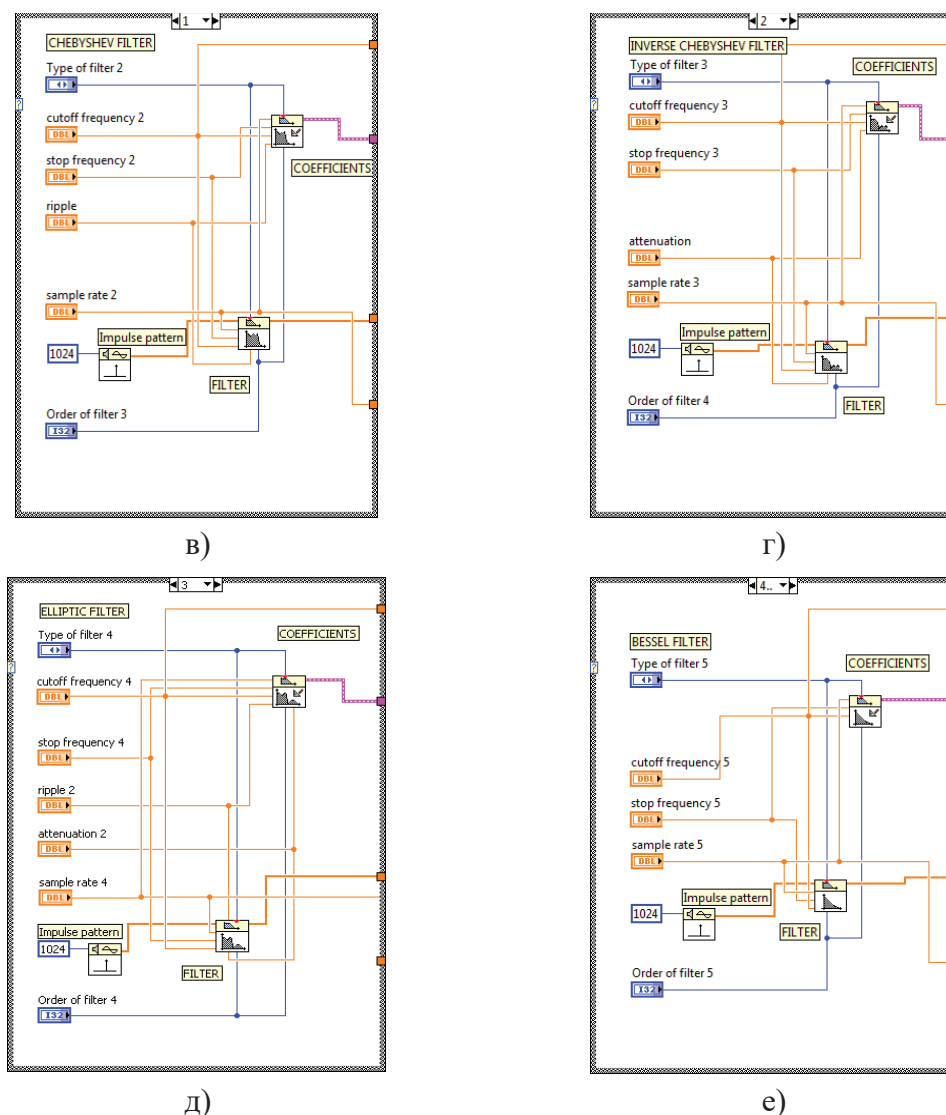
Bessel – филтър, оптимизиран да осигури възможно най-стръмна характеристика без наличие на амплитудни колебания в лентата на пропускане. Такъв филтър се нарича филтър с максимално плоска характеристика. В сравнение с филтъра на Butterworth характеристика му в лентата на задържане притежава много по-малка стръмност.



a)



b)



Фиг.1. Преден панел а) и блокови диаграми б) BUTTERWORTH, в) CHEBYSHEV, г) INVERSE CHEBYSHEV, д) ELLIPTIC и е) BESSEL на ВИ за моделиране, изследване и анализ на характеристиките на цифрови IIR филтри

Посредством падащи менюта се селектират вида - BUTTERWORTH, CHEBYSHEV, INVERSE CHEBYSHEV, ELLIPTIC или BESSEL, и типа - нискочестотен (Lowpass), високочестотен (Highpass), лентов (Bandpass) или режекторен (Bandstop); на моделирания цифров филтър. Чрез параметрични контролни елементи се задават ред на филтъра (Order of filter), гранична честота в лентата на пропускане (Cutoff frequency, Hz), гранична честота в лентата на задържане (Stop frequency, Hz), пулсации (Ripple, dB), затихване (Attenuation, dB) или честота на дискретизация (Sample rate, Hz). Индикатори на масиви от данни и цифрови индикаторни елементи извеждат коефициентите – Reverse Coefficients и Forward Coefficients, съответстващи на коефициенти a_n и b_n в предавателната функция (1) на IIR филтъра:

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_{Nb-1} z^{-(Nb-1)}}{1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_{Na-1} z^{-(Na-1)}} \quad (1)$$

и броят им. Предвидена е възможност за тяхно съхранение в база данни, файлово организирана в Excel, при натискане на бутон Save. Името на съхранявания файл, указващо моделиран тип филтър, се посочва от съответно падащо меню. Чрез графични индикатори се построяват семейство характеристики – амплитудно-честотна (Magnitude response),

фазово-честотна (Phase response) и импулсна (Impulse response). Разположението на полюсите и нулите, представляващи корените на знаменателя и числителя на предавателната функция на филтъра, в комплексната равнина, както и реалните и имагинерни техни части се визуализират посредством виртуален осцилоскоп (Pole-Zero plot) и цифрови индикатори.[3-7]

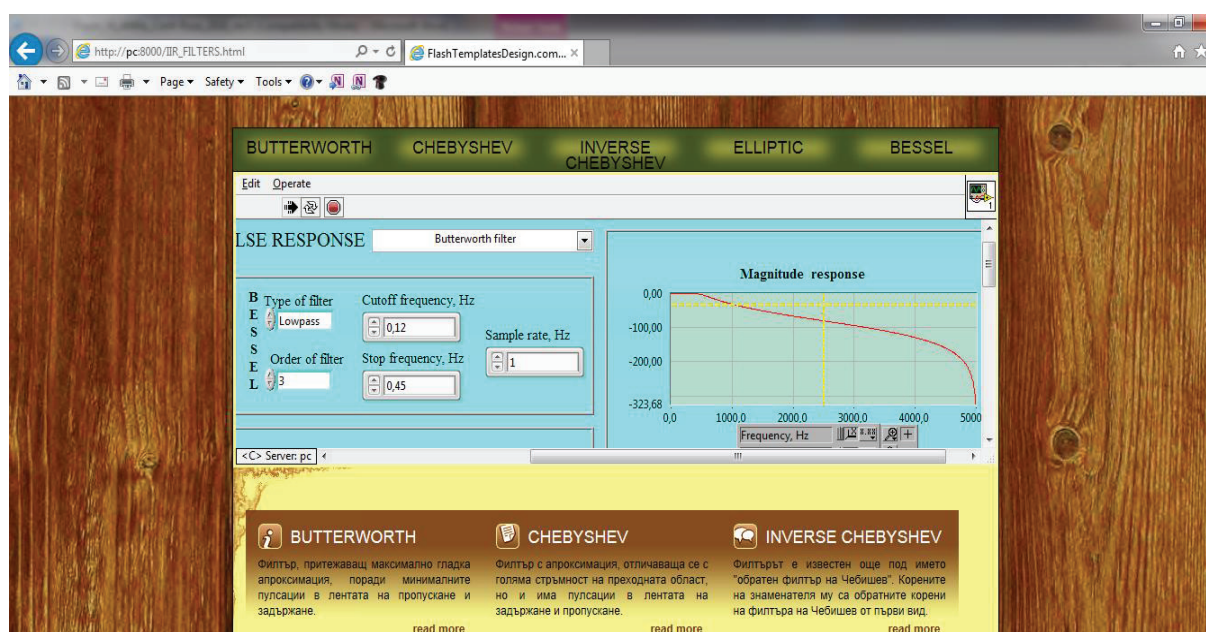
II. WEB БАЗИРАНО ПРИЛОЖЕНИЕ ЗА ОТДАЛЕЧЕН ДОСТЪП ДО ВУРТУАЛЕН ИНСТРУМЕНТ ЗА МОДЕЛИРАНЕ, ИЗСЛЕДВАНЕ И АНАЛИЗ НА ХАРАКТЕРИСТИКИТЕ НА ЦИФРОВИ IIR ФИЛТРИ.

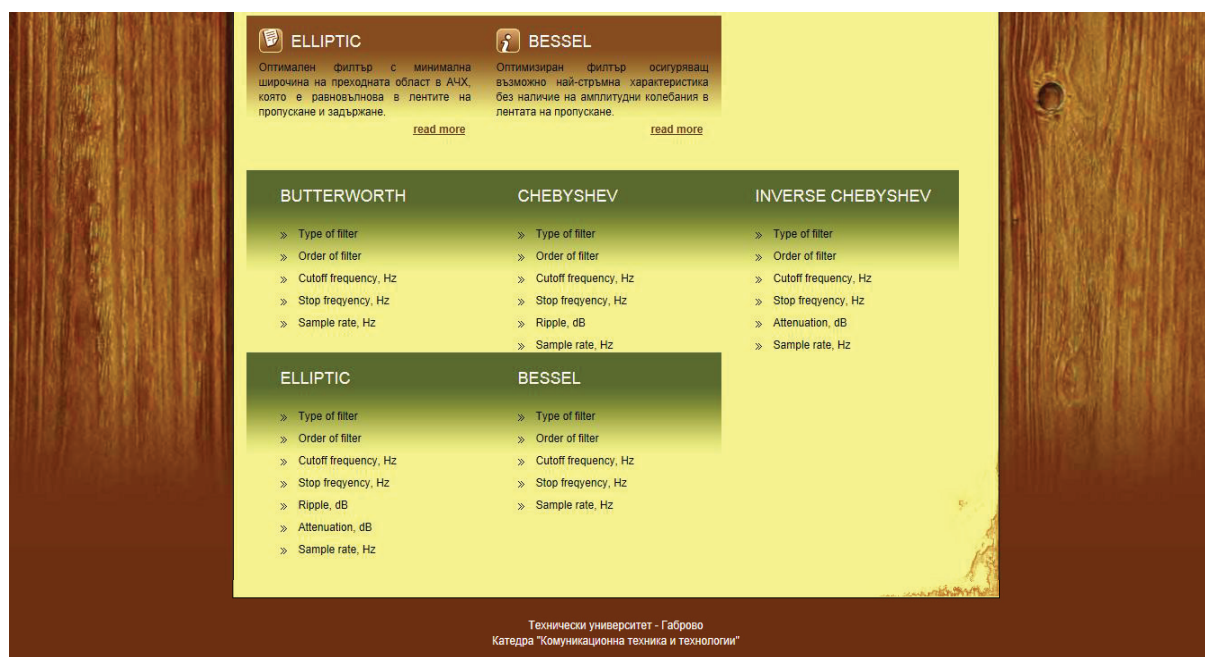
Представена е възможността за компютърно моделиране на различни типове цифрови IIR филтри през Интернет среда чрез интегриране на създадения LabVIEW ВИ в структурата на HTML документ. Зареждането на документа се извършва в потребителски WEB браузър чрез въвеждане на унифициран адрес, съдържащ името на локалния компютър, на който се намира стартираният преди това ВИ, следван от наклонена черта и названието на инструмента с разширение “.html”. Фрагмент от програмния код в син цвят, интегриращ ВИ, и изглед на HTML документа са показани на фиг.2 и фиг.3. [9]

Създаденото WEB базирано приложение не само осигурява отдалечен достъп, визуализация и контрол ВИ в реално време през Интернет, но и дава възможност за регулация на основните филтърни параметри, изследване и анализ на тяхното влияние върху поведението на моделираните филтри. В съдържанието на приложението са включени кратки описателни характеристики на видовете апроксимации - BUTTERWORTH, CHEBYSHEV, INVERSE CHEBYSHEV, ELLIPTIC и BESSEL, линкове към препратки с достъпна по-подробна информация за тях и спецификации с параметри във вид на хипервръзки за всеки филтър.[10]

```
<div id="content"><div id="buttons">
  <a href="index.html" class="but" title="">BUTTERWORTH</a>
  <a href="blog.html" class="but" title="">CHEBYSHEV</a>
  <a href="gallery.html" class="but" title="">INVERSE CHEBYSHEV</a>
  <a href="about_us.html" class="but" title="">ELLIPTIC</a>
  <a href="contact_us.html" class="but" title="">BESSEL</a>
</div>
<div class=
<TABLE BORDER=1 BORDERCOLOR = #000000><TR><TD>
<OBJECT ID="LABVIEWCOMP1" CLASSID="CLSID:A4980AD4-B50E-4E58-8A1D-8544233807B3" WIDTH=845 HEIGHT=299 CODEBASE="ftp://ftp.ni.com/support/labview/runtime/windows/2011
<PARAM name="LVFPVNAME" value="IIR_FILTERS.vi">
<PARAM name="REQCTRL" value=false>
<EMBED SRC="..LV_FrontPanelProtocol.rpv110" LVFPVNAME="IIR_FILTERS.vi" REQCTRL=false TYPE="application/x-labviewrpv110" WIDTH=1360 HEIGHT=699 PLUGINSPAGE="http://
</EMBED>
</OBJECT>
</TD></TR></TABLE></div>
```

Фиг.2. Сорс код в HTML документа в текстови редактор Notepad, интегриращ ВИ





Фиг.3. WEB базирано приложение за отдалечен достъп, визуализация и контрол на ВИ за моделиране на цифрови ПР филтри

III. МОДЕЛИРАНЕ НА ЦИФРОВИ ПР ФИЛТРИ С ПРИЛОЖЕНИЕ НА ИЗКУСТВЕНИ НЕВРОННИ МРЕЖИ В MATLAB

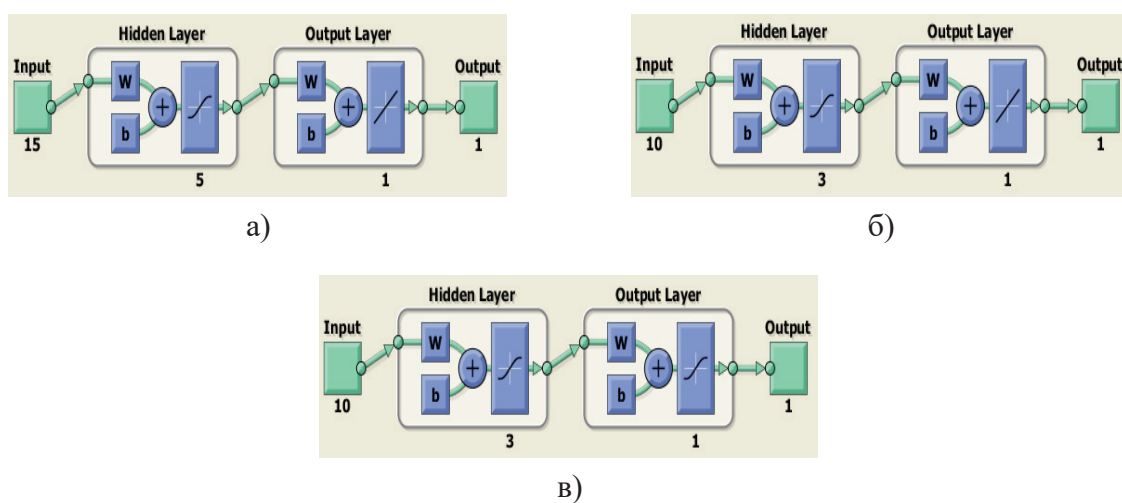
Процесът на моделиране на цифров филтър с приложение на апарата на изкуствените невронни мрежи (ИНМ) представлява решаване на апроксимираща задача, свързана с определяне на изходната променлива - честотата "Cutoff frequency", въз основа на входните променливи - "Reverse" и "Forward" коефициенти.

За целта на изследването са моделирани нискочестотни BUTTERWORTH тип от 5-ти, CHEBYSHEV, INVERSE CHEBYSHEV, ELLIPTIC и BESSEL от 3-ти ред цифрови филтри в LabVIEW, съгласно указаните за всеки филтър параметри в таблица 1. Генерирани са "Reverse" и "Forward" филтърни коефициенти при последователно задаване на параметъра Cutoff frequency с една и съща стъпка на изменение 20Hz в честотния диапазон от 500Hz до 1000Hz за BUTTERWORTH, CHEBYSHEV и ELLIPTIC филтри; със стъпки 10Hz в границите от 100Hz до 300Hz за INVERSE CHEBYSHEV филтър и 0.02Hz, 0.01 и 0.005Hz за Bessel филтър, лимитирани в интервала от 0.12Hz до 0.45Hz. Формирани са входни набори от данни, съдържащи получените коефициенти и честоти, от 26 еталона за филтри BUTTERWORTH, CHEBYSHEV и ELLIPTIC; 21 еталона за INVERSE CHEBYSHEV филтър и 17, 34 и 67 еталона за филтър тип BESSEL.

Таблица 1. Параметри при моделиране на цифрови ПР филтри в LabVIEW

<i>BUTTERWORTH</i> филтър	<i>CHEBYSHEV</i> филтър	<i>INVERSE</i> <i>CHEBYSHEV</i> филтър	<i>ELLIPTIC</i> филтър	<i>BESSEL</i> филтър
Type of filter: Lowpass Order of filter: 5 Cutoff frequency, Hz: 500 - 1000 Stop frequency, Hz: 1000 Sample rate, Hz: 10000 Стъпка на изменение на Cutoff frequency, Hz: 20 (26 samples)	Type of filter: Lowpass Order of filter: 3 Cutoff frequency, Hz: 500 - 1000 Stop frequency, Hz: 1000 Ripple, dB: 15 Sample rate, Hz: 10000 Стъпка на изменение на Cutoff frequency, Hz: 20 (26 samples)	Type of filter: Lowpass Order of filter: 3 Cutoff frequency, Hz: 100 - 300 Stop frequency, Hz: 300 Attenuation, dB: 40 Sample rate, Hz: 1000 Стъпка на изменение на Cutoff frequency, Hz: 10 (21 samples)	Type of filter: Lowpass Order of filter: 3 Cutoff frequency, Hz: 500 - 1000 Stop frequency, Hz: 1000 Ripple, dB: 15 Attenuation, dB: 100 Sample rate, Hz: 10000 Стъпка на изменение на Cutoff frequency, Hz: 20 (26 samples)	Type of filter: Lowpass Order of filter: 3 Cutoff frequency, Hz: 0.12 - 0.45 Stop frequency, Hz: 0.45 Sample rate, Hz: 1 Стъпка на изменение на Cutoff frequency, Hz: 1) 0.02 (17 samples) 2) 0.01 (34 samples) 3) 0.005 (67 samples)

Създадени са m-file скриптове на изкуствени невронни мрежи, обучени по алгоритъма на обратно разпространение на грешката, за моделиране на цифровите IIR филтри в среда на MATLAB. Преди опериране данните предварително са разпределени в следните процентни съотношения – 70% за обучение, 15% за валидиране и 15% за тестване на мрежите. Използвани са трислойни архитектури на невронни мрежи с входен слой, към който подавани променливи са коефициентите “Reverse” и “Forward” (броя на променливите е равен на количеството коефициенти); междинен (скрит) слой с брой неврони, съответстващ на реда на моделирания филтър и изходен слой, извеждащ калкулираните честоти “Cutoff frequency”. Във всички скрити мрежови слоеве са заложени тангес-сигмоидални функции на активация, линейни активационни функции за BUTTERWORTH, CHEBYSHEV, INVERSE CHEBYSHEV и ELLIPTIC филтри и тангес-сигмоидална за BESSEL филтър в изходните слоеве. На фиг.4 са представени мрежовите архитектури, моделиращи нискочестотни BUTTERWORTH от 5-ти, CHEBYSHEV, INVERSE CHEBYSHEV, ELLIPTIC и BESSEL от 3-ти ред филтри.

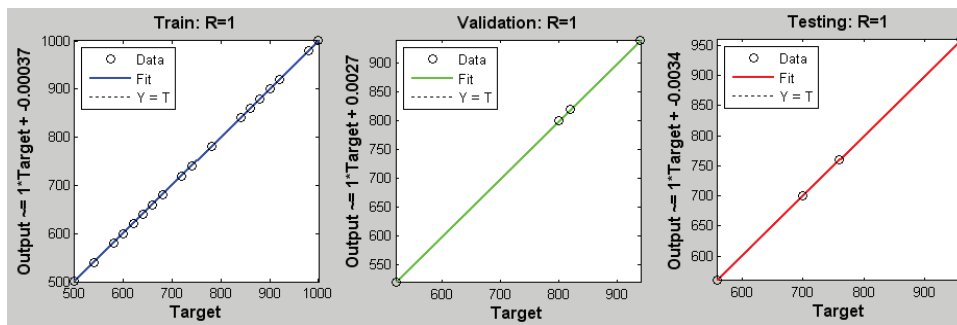


Фиг.4. Архитектури на ИНМ, моделиращи нискочестотни а) BUTTERWORTH от 5-ти; б) CHEBYSHEV, INVERSE CHEBYSHEV и ELLIPTIC от 3-ти и в) BESSEL от 3-ти ред филтри

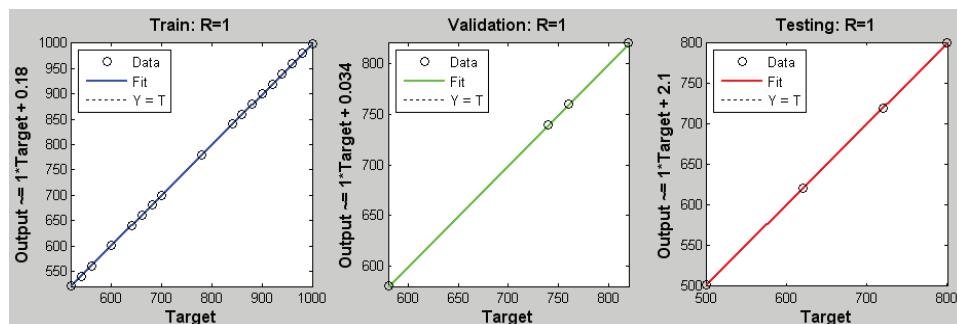
Построени са линейни регресионни зависимости при обучение, валидиране и тестване на моделиращите невронни мрежи, показани на фиг.4. При мрежово валидиране и тестване съвпадащи максимални корелационни коефициенти $R = 1$ са получени за BUTTERWORTH, CHEBYSHEV и ELLIPTIC филтри и $R = 0.99999$ при INVERSE CHEBYSHEV филтър. При моделиране на BESSEL филтър първоначално бяха използвани архитектура на ИНМ с линейна функция на активация в изходния слой и входен набор от 17 еталона, за които бяха получени стойности на R около 0.87000. След което типа на активационната функция беше заменен с тангес-сигмоидален. Последователно бяха обучени ИНМ с 17 и 34 еталона като стойностите на R се повишиха и достигнаха съответно около 0.95000 и 0.97000. Най-добри резултати за R , съответно $R = 0.99996$ при валидиране и $R = 0.99924$ при тестване, бяха получени при моделиране на BESSEL филтър посредством ИНМ, обучена с 67 еталона.

Прекъснатата линия, означена с “ $Y=T$ ”, съответства на пълно съвпадение между пресметнатите от ИНМ и теоретични целеви честоти “Cutoff frequency”. Плътната линия с название “FIT” е линията на получената най-добра линейна регресия между посочените параметри. За всички представени зависимости се наблюдават максимално приближение между линиите и разположение на еталоните от обучаващите, валидиращи и тестови набори върху тях, свидетелство за коректно обучение на ИНМ и адекватността на невронните модели при имитиране на цифровите IIR филтри. Приетите числови качества

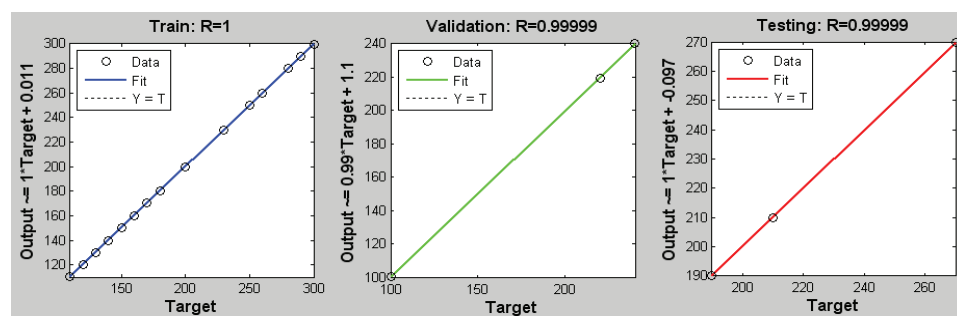
показатели – корелационни коефициенти R при валидиране и тестване близки до и равни на максимална стойност 1, също потвърждават установения извод.



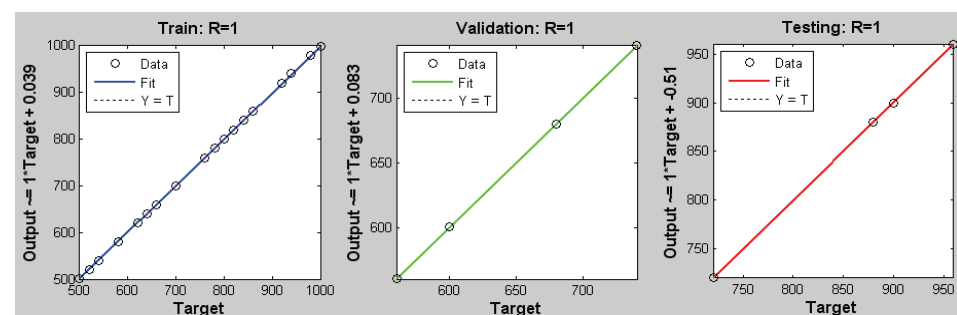
a)



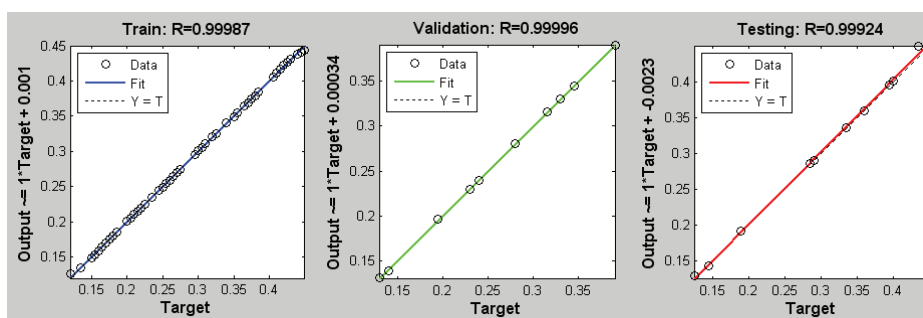
б)



в)



г)



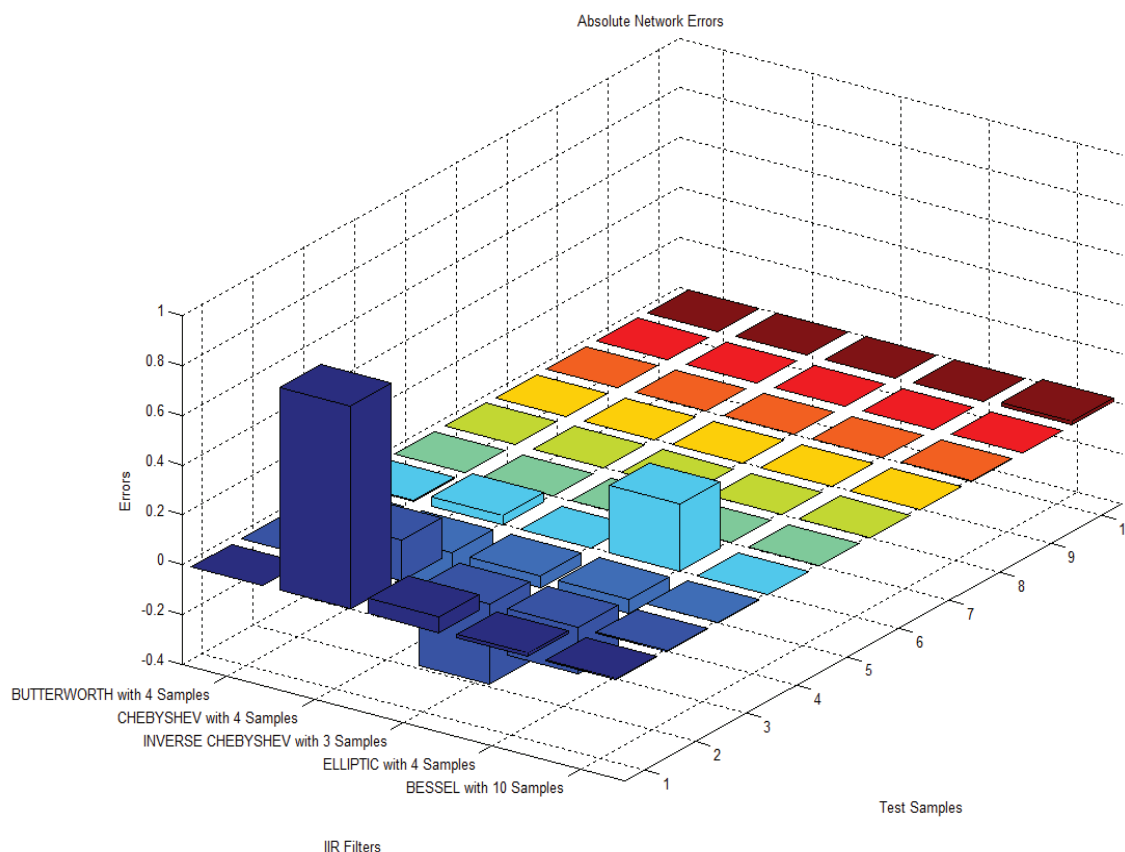
д)

Фиг.5. Линейни регресионни зависимости при обучение, валидиране и тестване на ИНМ, моделиращи нискочестотни а) BUTTERWORTH от 5-ти, б) CHEBYSHEV, в) INVERSE CHEBYSHEV, г) ELLIPTIC и д) BESSEL от 3-ти ред филтри

Таблица 2. Целеви и калкулирани от изкуствените невронни мрежи честоти Cutoff frequency за еталоните от тестовите набори

<i>BUTTERWORTH филтър</i>													
Целеви честоти Cutoff frequency, Hz:				560	700	760	960						
Калкулирани от ИНМ Cutoff frequency, Hz:				560.0013	700.0010	760.0005	960.0039						
<i>CHEBYSHEV филтър</i>													
Целеви честоти Cutoff frequency, Hz:				500	620	720	800						
Калкулирани от ИНМ Cutoff frequency, Hz:				500.8146	620.1619	719.8511	800.0365						
<i>INVERSE CHEBYSHEV филтър</i>													
Целеви честоти Cutoff frequency, Hz:				190	210	270							
Калкулирани от ИНМ Cutoff frequency, Hz:				190.0628	209.6805	269.9521							
<i>ELLIPTIC филтър</i>													
Целеви честоти Cutoff frequency, Hz:				720	880	900	960						
Калкулирани от ИНМ Cutoff frequency, Hz:				720.0112	879.8151	899.9419	960.2673						
<i>BESSEL филтър</i>													
Целеви честоти Cutoff frequency, Hz:				0.1250	0.1450	0.1900	0.2850	0.2900	0.3350	0.3600	0.3950	0.4000	0.4350
Калкулирани от ИНМ Cutoff frequency, Hz:				0.1265	0.1435	0.1909	0.2851	0.2903	0.3355	0.3594	0.3948	0.4003	0.4493

В таблица 2 се съдържат данни за целевите и калкулирани от ИНМ честоти “Cutoff frequency” за еталоните от тестовите извадки, реално онагледяващи действието на математическия апарат на ИНМ при моделиране на цифрови ПР филтри. Забелязват се минимални разлики между теоретичните и резултантни честоти, получени при изпълнение на създадените невронни модели.



Фиг.6. Абсолютни мрежови грешки за цифрови IIR филтри

На фиг.6 в 3D-представяне са визуализирани вариационните нива на абсолютните мрежови грешки, представляващи разликите между калкулираните от ИНМ и целевите честоти "Cutoff frequency" за тестовите набори на моделираните типове филтри. Получени са честотни диапазони на изменение на грешките 0.0005Hz до 0.0039Hz; -0.1489Hz до 0.8146Hz; -0.3195Hz до 0.0628Hz; -0.1849Hz до 0.2673Hz и -0.0015Hz до 0.0143Hz, съответно за BUTTERWORTH, CHEBYSHEV, INVERSE CHEBYSHEV, ELLIPTIC и BESSEL филтри. Най-ниско ниво на грешка 0.0001Hz е констатирано при еталонна честота, равняваща се на 0.1450Hz за BESSEL филтър. При IIR CHEBYSHEV филтър е установено най-високо ниво на грешка 0.8146Hz при 500Hz теоретична честота.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Успешно е представена възможността за разработка на интерактивни графични потребителски приложения за моделиране, изследване и анализ на характеристиките на цифрови филтри достъпни през Интернет среда, отличаващи се с много добри функционалност и приложимост. Постигнатите резултати при филтърно моделиране с помощта на изкуствени невронни мрежи с обратно разпространение на грешката показват добра и неотстъпваща спрямо други използвани типове мрежи изчислителна ефективност.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Maheshwari A., K. Markam, "Design of Bartlett Window Based Digital Filter by Using GRNN", International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology", vol. 3, issue 7, pp. 14433-14440, 2014.
- [2] Pandey A., S. Sharma, "FIR Filter Design and Analysis Using Neural Network", International Journal of Engineering Research and General Science, vol. 3, issue 1, pp. 297-301, 2015.

- [3] Gupta N., N. Narwaria, "Design of Low Pass FIR Filter Generalized Regression Neural Networks", International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition, vol. 7, №2, pp.75-84, 2014.
- [4] Iliev M., V. Hadzhivasilev, R. Rusev. PAPR Reduction of OFDM Signals by PTS with Recursive Phase Weighting Method, INFORMATION, COMMUNICATION AND CONTROL SYSTEMS AND TECHNOLOGIES, UNIVERSITY OF RUSE, N2, 2013, pp. 13-16, ISSN 1314-7455.
- [5] Iliev M., Borislav Bedzhev. Necessary Conditions for Synthesis of Side-Lobe Suppression Filters for Phase Manipulated Signals. IEEE Black Sea Com 2015 18-21 may 2015 Constanca Romania.
- [6] Gupta N., R. Narwaria, "Study of FIR Filtering Design by Using Self-Organizing Map Neural Network", International Journal of Advanced Science and Technology, vol. 70, pp. 1-10, 2014.
- [7] Jou Y., F. Chen, "Design of FIR Digital Filters Using Holfield Neural Network", IEICE Transactions of Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, vol.E90-A, №2, pp. 439-447, Impact Factor: 0.23, 2007.
- [8] Kaur H., B. Dhaliwal, "Design of Low Pass FIR Filter by Using Artificial Neural Network", International Journal of Information and Electronics Engineering, vol. 3, №2, pp. 204-207, 2013.
- [9] Mihaylov Gr., T. Iliev, E. Ivanova. Algorithm for Content Adaptation of Multimedia Information.// International Journal of Engineering, Business and Enterprise Applications (IJEBA), 2015, No 11, pp. 1-7, ISSN 2279-0039.
- [10] Илиев, Т., Е. Иванова, Ф. Цветанов, Е. Оцетова-Дудин, Д. Радев . Моделиране на телетрафични системи описващи интернет протокола IPv6. В: Международна научна конференция УниТех 2014, Габрово, 2014, стр. 162 – 168.