

SIMULATION BASED DEMONSTRATIONS IN ACTIVE LEARNING FOR DESIGNING LINEAR APPLICATIONS WITH OPERATIONAL AMPLIFIERS

Ekaterina Dimitrova, Technical University of Varna, edimitrova55@gmail.com

Abstract: Active learning approach in technical colleges and universities is up to date and there are proven results for better understanding of the studied material. Interactive lectures, including in addition to the theoretical presentation of the subject demonstrations of real problems in the lecture hall, are effective for learning the basic concepts and principles in electronics. This paper presents the content of the concept of interactive lectures. Examples are given and simulation based demonstrations are developed for active involvement of students in the learning process of linear applications with Operational Amplifiers design .

Keywords: Active Learning, Analog Electronics, Operational Amplifiers, PSpice

СИМУЛАЦИОННО БАЗИРАНИ ДЕМОНСТРАЦИИ В АКТИВНОТО ОБУЧЕНИЕ ПРИ ПРОЕКТИРАНЕ НА ЛИНЕЙНИ ПРИЛОЖЕНИЯ С ОПЕРАЦИОННИ УСИЛВАТЕЛИ

Екатерина Димитрова, Технически университет - Варна, edimitrova55@gmail.com

Абстракт: Активният подход при обучението на студентите в техническите вузове е актуален и води до повишаване на разбирането на изучавания материал. Интерактивните лекции, включващи освен теоретично представяне на темата от лектора и решаването на реални проблеми от студентите, са ефективни за усвояване на основните концепции и принципи в електрониката. В статията е представено съдържанието на понятието интерактивни лекции, дадени са примери и са разработени симулационно базирани демонстрации, за включване на студентите в процеса на обучение по проектиране на линейни приложения с операционни усилватели.

Ключови думи: Активно обучение, Аналогова електроника, Операционни усилватели, PSpice

Въведение

Въпросът за качеството на обучението на студентите по електроника е винаги актуален. Съвременната концепция за качествено знание „от съдържание към действие”, се базира на стратегиите за активно обучение [1].

Общото на стратегиите за активно обучение е, че те въвличат студентите в конкретни действия и ги карат да мислят върху това, което трябва да извършват [2]. По време на активното обучение студентите се провокират да (а) мислят критично и творчески, (b) да дискутират в малка група, или с всички в залата, (c) да запишат идеите си, (d) да направят предположения в писмена форма по зададен въпрос, (e) да обясняват в писмен вид изучавани концепции на база демонстрации и др.

Когато преподавателят използва стратегии за активно обучение той изразходва основно (а) по-голямата част от времето на учебния процес помагайки на студентите да развият тяхното разбиране и умения за решаването на реални проблеми (поощряване на задълбоченото обучение) и по-малко от времето за предаване на информация към студентите (поддържане на повърхностното обучение). Освен това той осигурява възможности за (а) прилагане и показване на наученото от студента и за (б) получаване на обратна връзка от колега(и) и от обучаващия.

Традиционните лекции са относително неефективен учебен подход за задържане на вниманието на студентите [3]. На база на изследвания е установено, че студентската концентрация на вниманието по време на лекции започва да намалява след 10-15 минути [4]. Факти в подкрепа на твърдението, че резултатите от обучението чрез итеративни лекции в сравнение с тези от обучението чрез 50-минутни традиционни лекции са значително по-добри са представени в [3, стр 44-56],[5],[6].

Първи публикации за интерактивни лекции с демонстрации (Interactive Lecture Demonstrations (ILDs)) с цикъл на обучението *предположение-наблюдение-дискусия-синтез* (Predict-Observe-Discuss-Synthesize (PODS)) са представени в [7] и [8], а по-късно и в други литературни източници, [9]. Те се разработват и прилагат повече от десетилетие с цел да се повиши студентската активност и разбиране в области като механика, оптика, топлотехника, електротехника. По-късно, интерактивни лекции се разработват и за други научни области, включително електроника [10], [11].

Интерактивни лекции

Интерактивните лекции са допълнение към традиционните лекции в големи зали и повишават активността, разбирането и преодоляването на грешно възприемане от студентите на основни концепции във въвеждащите в дадена специалност дисциплини. Подходът за прилагане на традиционни и в определен процент от времето интерактивни лекции се нарича смесен (*blended*).

Цикълът на обучение PODS, в който се провеждат интерактивните лекции включва следните основни стъпки:

- На студентите в залата се поставя задача да направят индивидуални предположения за резултата от конкретен експеримент, който предстои да бъде проведен пред всички в залата. Те обсъждат в малка група тези предположения и правят общо групово предположение.

- След дискусия в залата се записва общо предположение на дъската. Студентите след това записват своите финални предположения.

- Провежда се експериментът пред всички студенти и всеки записва своите наблюдения.

- Лекторът участва в дискусиите в малките групи при наличие на разлики между предположенията и наблюденията.

- Лекторът подпомага синтезирането на собствени мисли за разбирането на концепциите свързани с наблюденията от студентите.

1. Пример за прилагане на идеята за интерактивни лекции в начален курс по електроника.

Идеята за прилагане на смесения подход, включващ интерактивни лекции, е разработена и приложена трикратно в курс „Въведение в Електрониката” в Австралийския университет Swinburne University [12]. Курсът се изучава от около 400 студенти, разделени на три паралелни групи за лекции. Студентите разполагат с Microsoft PowerPoint слайдове за всяка от основните традиционни (пасивни) лекции и с

референтна литература. Така не се налага те да правят детайлни записки по време на пасивни лекции и материалът може да бъде представен за по-кратко време в началото на всяка основна тема. Освободеното време се използва за интерактивни лекции, с цел да се подобри концептуалното разбиране, мотивацията и активността на студентите. Те са двучасови, в края на всяка основна тема и обхващат около 30% от времето на пълния курс.

Интерактивните лекции се провеждат в лекционната зала пред повече от 100 човека във формата PODS, като студентите са групирани в малки групи от 2 и 3 човека. Активните дискусии и в малките групи и между всички студенти са особено желателни. Философията е да се направят демонстрации върху темите, които са разгледани в пасивната част на лекциите, но по начин, който е нов и неочакван. Конкретните примери имат за цел да дадат на студентите яснота за това как са разбрали обсъжданата тема и да ги мотивират да участват в дискусиите.

При възможност, за предпочитане са реалните експерименти, но видео клиповете и компютърните симулации са също много полезни и нагледни.

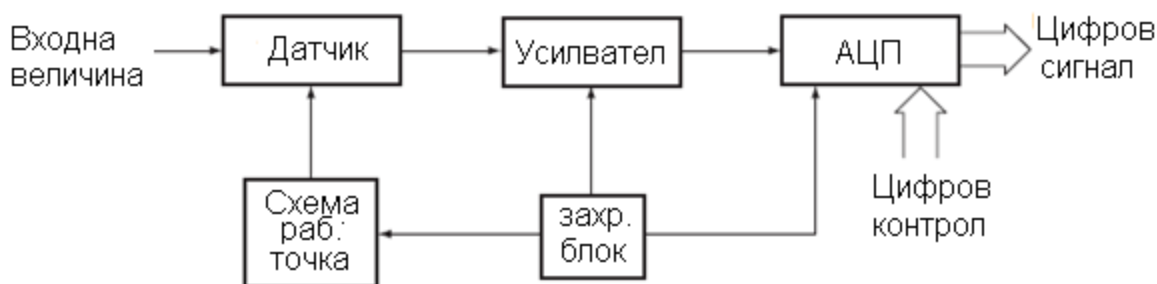
В края на курса, след проведено допитване до студентите, почти всички смятат, че интерактивните лекции им помагат да затвърдят с разбиране знанията си. Около 80% от тях намират тези лекции за по-интересни и мотивиращи от традиционните. Около 70% са съгласни, че в тези лекции се създава среда, в която те могат да дискутират идеите си. По-голям процент итерактивни лекции искат 76% от студентите. На въпроса дали компютърните симулации са сравними с реалните, 50 % се съгласяват.

Курсът по аналогова схемотехника е задължителен за специалност „Електроника”. В него темите за Операционните усилватели и тяхното приложение в линейни аналогови схеми са основни. В следващата част на статията са представени примерни бланки за предположения, наблюдения и демонстрации с компютърни *PSpice* симулации при проектиране на аналогови интерфейсни усилватели с операционни усилватели.

2. Примери за разработени бланки с предположения и бланки с резултати от демонстрации чрез *PSpice* симулации

Студентите са запознати с основните свойства и характеристики на идеалния и реален операционен усилвател, в това число с честотните му характеристики, с еквивалентните схеми за тяхното представяне, с базовите схеми с ОУ, с основните подходи за анализ на схеми с ОУ- законите на Кирхов, принципа на суперпозицията, възлов анализ и определяне на предавателни функции по Лаплас. Освен това, те са добре запознати с езика на симулатора *PSpice* и познават интерфейса на програмния осцилоскоп *Probe*. Придобити са и основни умения за работа с MATLAB.

Задачата, която се поставя за решение е да се проектира аналогов интерфейсен усилвател (АИУ) в измервателна система, чийто входен блок е датчик за температура от фиг.1.



Фиг.1. Блок схема на измервателна система с входна величина, получена чрез датчик

Датчикът за температура преобразува температура в напрежение. Обикновено обхватът на изходното му напрежение не съвпада с обхвата на входното напрежение на АЦП. Задачата на АИУ е да осъществи съгласуването на нивата чрез отместване по ниво, усилване на сигнала, или комбинация на отместване по ниво и усилване, според необходимостта, без да се загуби полезна информация.

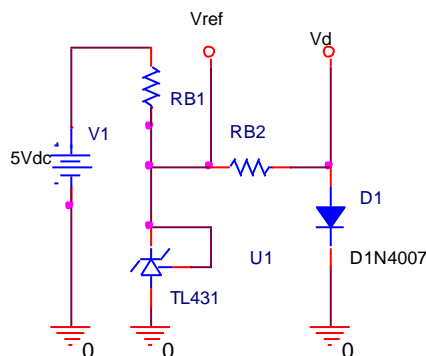
Системните спецификации са основата на проекта. За конкретната задача захранващото напрежение е $V_{CC} = 5V \pm 5\%$. Предвижда се 12 бита АЦП - TLV2544 и диод 2D1N4007 за температурен сензор в обхват от $-25^{\circ}C$ до $100^{\circ}C$. Токът и напрежението в права посока са $I_D=1.53mA$ и $V_D= 0.6V$ с температурен коефициент $-2mV/^{\circ}C$. Съпротивлението на диода в права посока е около 17Ω (термичния потенциал върху тока на диода - $26/1.53$).

Температурата, при която работи системата е от $15^{\circ}C$ до $35^{\circ}C$. Избран е източник на опорно напрежение TL431A, който осигурява $2495mV \pm 25mV$ и ток $I_{ref}=10.5mA$ при $25^{\circ}C$ с общ максимален дрейф от 0.3%.

Подзадачите, свързани с проекта са характеризация на трансдюсера и на АЦП и определяне на топологията и елементите на АИУ, както и елементи за настройка с цел минимизация на мултипликативната и адитивната грешка. За тези задачи са разработени бланки с предположения и симулационни демонстрации с PSpice както следва:

Бланки на предположенията

Схемата с преднапреженията за източника на опорно напрежение и за температурния датчик е представена на фиг.2.



Фиг.2. Схема на опорното напрежение и температурния датчик

Дейност 1А

Предположение:

(а) Дайте предположение за изчислени стойности на резисторите RB1 и RB2.

$$RB1 = \text{-----} \Omega; RB2 = \text{-----} \Omega$$

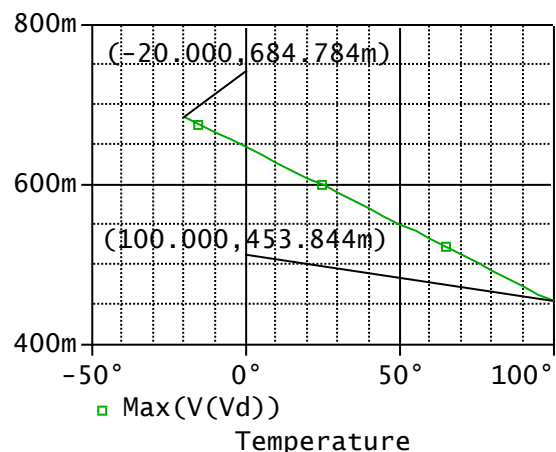
(б) Предположете каква е стойността на напрежението върху диода D1 при температура $-20^{\circ}C$ и при $100^{\circ}C$?

$$V_D[+27^{\circ}C] = 591mV.$$

$$V_D[-20^{\circ}C] = \text{-----} \quad V_D[-100^{\circ}C] = \text{-----}$$

Обяснение: Дайте обяснение за предположените стойности.

Демонстрация: На база симулации с *PSpice* на схемата от фиг.2 и възможността за виртуални измервания в програмния осцилоскоп, на фиг.3, е представена температурната характеристика на напрежението на диода D1. Извършен е основен времеви анализ в интервал от 0 до 5ms и параметричен анализ с разбивка по температурата от -50°C до 100°C.



Фиг. 3. Резултат от симулационните демонстрации, дейност 1А, предпол. (б)

Дейност 1Б

Характеризация на аналогово цифровият преобразувател. TLV2544 е с мултиплексор за различни режими на работа. В режим на измерване на температура потребителят задава времето на зареждане на входа, в което той има ниско входно съпротивление, но след това входното съпротивление се повишава и не товари изхода на АИУ. Така на изхода на усилвателя се гарантира пълния размах на сигнала. Обхватът на входния сигнал на АЦП е от 0 до 4V. Напрежението на офсет $V_{ADCOs} = \pm 50mV$, а дрейфа на напрежението е 40PPM/°C.

Предположение:

(а) Дайте предположение за пълния дрейф в температурния диапазон на работа на системата и за стойността на напрежението LSB

$$V_{drift} = \text{-----} \text{ [PPM];}$$

$$V_{LSB} = \text{-----} \text{ [}\mu\text{V/bit]}$$

Обяснение: Обяснете защо направихте горното предположение?

Дейност 1В

Дейността свързана с избора на операционен усилвател е базирана на съответствието на нивата на сигнала от една страна с АЦП и от друга страна с датчика (трансдюсера) според таблица 1 и таблица 2.

Входно напрежение на АЦП	Изходно напрежение на АИУ
0V	$V_{OUT1} = 0V$
4V	$V_{OUT2} = 4V$

Табл.1. Съответствие на нивата на АИУ и АЦП

Температура на трансдюсера	Изходно напрежение на трансдюсера	Входно напрежение на АИУ
-25°C	695mV	$V_{IN1} = 695mV$
100°C	454 mV	$V_{IN2} = 454mV$

Табл. 2. Съответствие на нивата на температурния сензор и АЦП

Подходящ операционен усилвател е TLV247x който има следните спецификации: $R_{IN} = 1012\Omega$, $R_{OUT} = 1.8\Omega$, размах на изходния сигнал 0.15V до 4.85V, V_{IO} входно

напрежение на несиметрия 2.2mV, $V_N = 28\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$; $I_N = 0.39\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$, аналогов шум 10mV, $K_{\text{SVR}} = 63\text{dB}$.

Предположение:

(а) Дайте предположение за влиянието на входното съпротивление R_{IN} на усилателя върху изходния сигнал на трндюсера V_{OT} спрямо това при отворена верига:

$$V_{\text{OT}} = \text{-----} * V_{\text{To.в.}}$$

(б) Дайте предположение за влиянието на входното съпротивление R_{IN} на АЦП върху изходния сигнал на V_{OUT} на АИУ:

$$V_{\text{OUT}} = \text{-----} * V_{\text{OUTo.в.}}$$

(в) Направете заключение за избора на ОУ TLV247х.

- подходящ неподходящ

Дейност 1Г

Създаване на схемата на АИУ започва с определянето на входните напрежения, които са дадени в табл. 2 и изходните напрежения, представени в табл.1, [13].

Предположение:

(а) Съставете две линейни уравнения, които описват зависимостта на изходното напрежение от входното напрежение за двете входни и изходни напрежения съгласно таблици 1 и 2.

$$V_{\text{OUT1}} = m * V_{\text{IN1}} + b$$

$$V_{\text{OUT2}} = m * V_{\text{IN2}} + b$$

(б) Намерете решението за усилването m и отместването по ниво b с MATLAB.

Демонстарция:

Решение на системата уравнения в MATLAB:

```
syms m
S=solve('m*0.685+b=0','m*0.454+b=4')
S=[S.m S.b]
S =[-17.3160173160173160, 11.86147186147186147]
```

Предавателната функция на аналоговия интерфейс е:

$$V_{\text{OUT}} = -17.3160V_{\text{IN}} + 11.86$$

Дейност 1Д

Създаване на принципната схемата на АИУ .

Предположение:

(а) Съставете принципната схема на АИУ като отчетете знака на коефициента на усилване $m = -16.59$ и предвидите делител на напрежение към инвертиращия, или неинвертиращия вход на ОУ, съответно на коефициента за отместване по ниво, $b = 11.53$.

Поле за изчертаване на принципната схема

(б) Дайте предположение за предавателната функция на АИУ в символен вид , за m и b , съгласно избраната топология:

$$V_{\text{OUT}} = \text{-(-----)} * V_{\text{IN}} + V_{\text{Rref}} * \text{(-----)}; \quad m = \text{-----}; \quad b = \text{-----}$$

Демонстрация:

а) Топология на принципната схема на АИУ, фиг.4:

Дейност 1Е

Оразмеряване на схемата на АИУ.

Предположение:

б) Запишете в символен вид условието за уеднаквяване на входните токове на операцияния усилвател в схемата на АИУ за намаляване на адитивната грешка.

Поле за записване на условието за еднакви входни токове на операцияния усилвател

(в) Дайте предположение за числени стойности на елементите на принципната схема от фиг.3, ако стойността на R_F се приеме 380k.

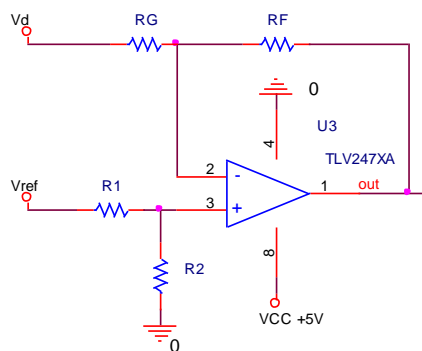
$R_G = \text{-----}; R_1 = \text{-----}; R_2 = \text{-----}$

Демонстрация:

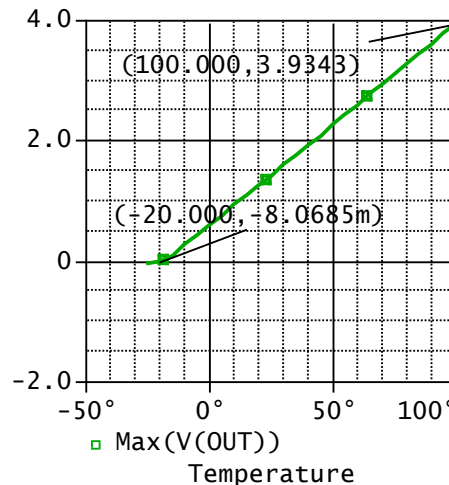
Оразмеряване на схемата на АИУ в MATLAB:

```
RF=383e3; RG=383e3/17.3160 ; RG =2.211e+004; RF*RG/(RF+RG) = 2.089e+004;
Vref*r2/(r1+r2)(1+17.3160)=11.86
syms r1
S=solve('r1*r2/(r1+r2)=2.0898e+004','r2/r1=0.3471');
S=[S.r2 S.r1]
S =[28151.6958, 81105.43301642]
```

Стандартните стойности на резисторите с точност $\pm 1\%$ са: $R_G=22.1k, R_F=383k, R_1=80.6k, R_2=28k$. Графиката на изходното напрежение на АИУ в температурния диапазон -20°C до 100°C е представена на фиг 5.



Фиг. 4. Топология на принципната схема на АИУ, дейност 1Д, предположение (а)

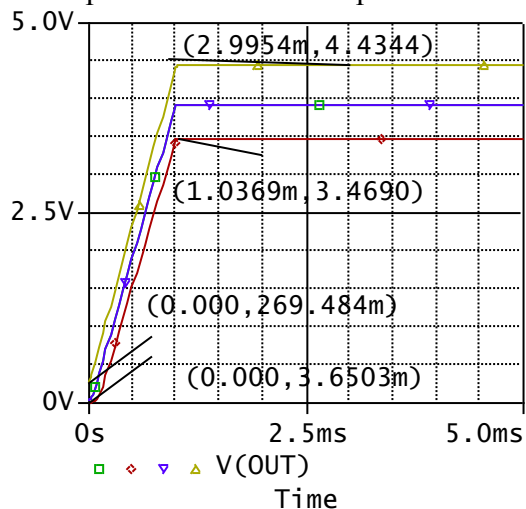


Фиг. 5. Изходно напрежение на АИУ в температурния диапазон -20°C до 100°C

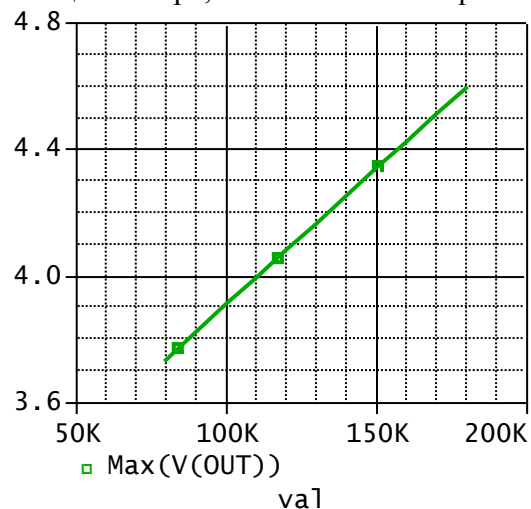
Чрез симулация в „най-лошия случай” при толеранси на резисторите $\pm 2\%$ се оценяват възможните грешки при преобразуването на сигнала, фиг. 6. Тъй като PSpice не извършва едновременно параметричен анализ и анализ в най-лошия случай, температурната характеристика на сензора е представена за симулациите с източник на линейно изменящо се напрежение от тип VPWL с начална и крайна стойност съответни на тези на датчика във времеви интервал от 0 до 1ms. Наблюдава се съществено изменение на усилването и на офсата на изходното напрежение. Приблизителна оценка показва изменение с $\pm 25\%$ на усилването. При запазване стойността на R_G е удачно да

се предвиди настройка на усилването чрез потенциометър $R_{Fa}= 200k$, последователно на съпротивлението в обратната връзка $R_{Fb}= 280k$.

Възможността за настройка на усилването (корекция на мултипликативната грешка) чрез потенциометъра $R_{Fa}= 200k$ е демонстрирано чрез параметричен анализ с параметър стойността на съпротивлението на потенциометъра, означен с val на фиг.7.



Фиг. 6. PSpice анализ в най-лошия случай, при 2% точност резистори

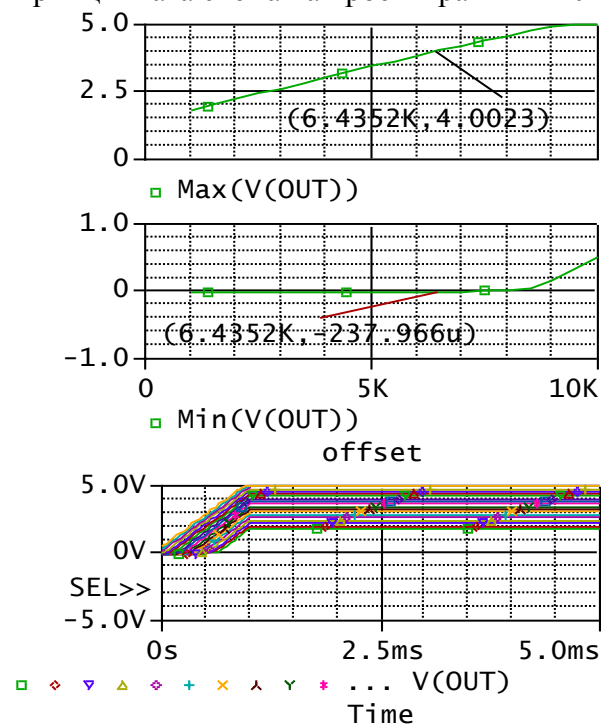


Фиг. 7. Влияние на съпротивлението на потенциометъра R_{Fa} за настройка на усилването

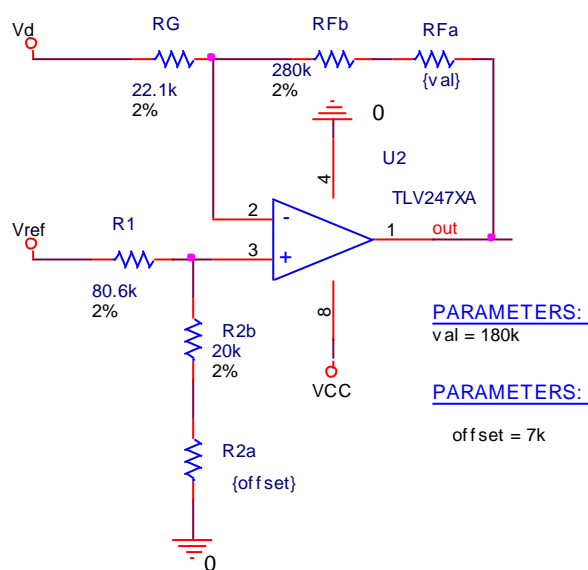
Възможността за настройка на адитивната грешка (корекция на офсата) чрез потенциометър R_{2a} със стойност $10k\Omega$, свързан последователно на съпротивлението $R_{2b} = 20k\Omega$, е демонстрирана чрез параметричен анализ. Параметър на анализа е стойността на съпротивлението на потенциометъра, означен с $offset$. Резултатът от анализа е представен на фиг.8.

Чрез маркираните на плотовете на фиг.8 точки е показана възможността за регулиране с назначения потенциометър на адитивната грешка.

Принципната схема на проектирания АИУ е представена на фиг.9.



Фиг. 8. PSpice анализ за изходното



Фиг. 9. Схема на АИУ

напрежение на АИУ с настройка на офсета

Изводи

Разработването на интерактивни лекции е препоръчително. То е предизвикателство, което се базира не само на експертните знания на преподавателите, но и на финансиране. В по-лек вариант от тази гледна точка, физическият експеримент се замества със симулации.

В статията са представени разработени елементи на итерактивни лекции по темата аналогови интерфейсни усилватели с използване на симулатор *PSpice* при демонстрациите и MATLAB при оразмеряване на схемните компоненти.

Обемът на статията не позволява по-детайлно изложение на проблемите за анализа на грешката на интерфейския усилвател. Извършването на детайлен анализ на грешката е обект на самостоятелни интерактивни лекции по темата измервателни преобразуватели с операционни усилватели.

Статията има методичен характер за приложение на активния подход в обучението на студентите по аналогова електроника при проектиране на интерфейсни усилватели.

References

- [1]. http://cte.umdnj.edu/active_learning/active_general.cfm. Достъп до данните: 27 .02 2014.
- [2]. Bonwell, C., & Eison, J. Active learning: Creating excitement in the classroom (ASHE-ERIC Higher Education Report No. 1). Washington, DC: George Washington University, 1991, Abstract online at http://www.ed.gov/databases/ERIC_Digests/ed340272.html.
- [3]. Bligh, D. A. What's the use of lectures. San Francisco: Jossey-Bass, 2000
- [4]. Stuart, J. & Rutherford, R. J. Medical student concentration during lectures. *The Lancet*, 514-516, 1978
- [5]. Wilson, K. & Korn, J.H. Attention during Lectures: Beyond Ten Minutes. *Teaching of Psychology*, (34) 2, 85-89, 2007
- [6]. <http://cetl.ucdavis.edu/class-more-engaging/> Достъп до данните: 02 .09 2013
- [7]. Sokoloff, D.R., & Thornton, R.K. Using interactive lecture demonstrations to create an active learning environment. *The Physics Teacher*, 35, 340-347, 1997
- [8]. Thornton, R.K., & Sokoloff, D.R. Assessing student learning of Newton's laws: the Force and Motion Conceptual Evaluation and the evaluation of active learning laboratory and lecture curricula. *American Journal of Physics*, 66(4), 338-352, 1998.
- [9]. Meltzer, D.E., & Manivannan, K. Transforming the lecture-hall environment: the fully interactive physics lecture. *American Journal of Physics*, 70(6), 639-654, 2002.
- [10]. Sokoloff, D.R., & Thornton, R.K. *Interactive Lecture Demonstrations*. New York: Wiley, ISBN: 0-471-48774-0, 2006.
- [11]. Mazzolini et al., Using Interactive Lecture Demonstrations to Enhance Student Learning in Electronics, Proceedings of the 2010 AaeE Conference, Sydney, Australia
- [12]. Mazzolini, A. P., Daniel, S. & Edwards, T., "Using interactive lecture demonstrations to improve conceptual understanding of resonance in an electronics course", *Australasian Journal of Engineering Education*, Vol. 18, No. 1, pp. 69-88, 2012
- [13]. Carter B., Mancini R., *Op Amps for everyone*, 3d ed., Elsevier, 2009, ISBN: 978-1-85617-505-0