

SIMULATION DEMONSTRATIONS IN ACTIVE LEARNING OF LINEAR AMPLIFIERS

Ekaterina Dimitrova, Technical University of Varna, edimitrowa55@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 demonstrations of real problems in the lecture hall, in addition to the theoretical presentation of the subject, 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 the students in the learning process of linear applications with Operational Amplifiers.

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

СИМУЛАЦИОННИ ДЕМОСТРАЦИИ В АКТИВНОТО ОБУЧЕНИЕ ПРИ ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЛИНЕЙНИ УСИЛВАТЕЛИ

Екатерина Димитрова, Технически университет - Варна, edimitrowa55@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 на линейни схеми 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 въвлечат 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:

- a) 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 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 прилагане и показване на наученото от студента и за получаване на обратна връзка от колега(и) и от обучаващия.

Традиционните лекции, в които студентите слушат и записват са пример за пасивно обучение. Те 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:

- Поставя се задача на студентите в залата да направят индивидуални предположения за резултата от конкретен експеримент. Предстои експериментът 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 студентските обяснения за разбирането на концепциите, свързани с наблюденията.

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

Идеята за прилагане на смесения подход, включващ итерактивни 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.

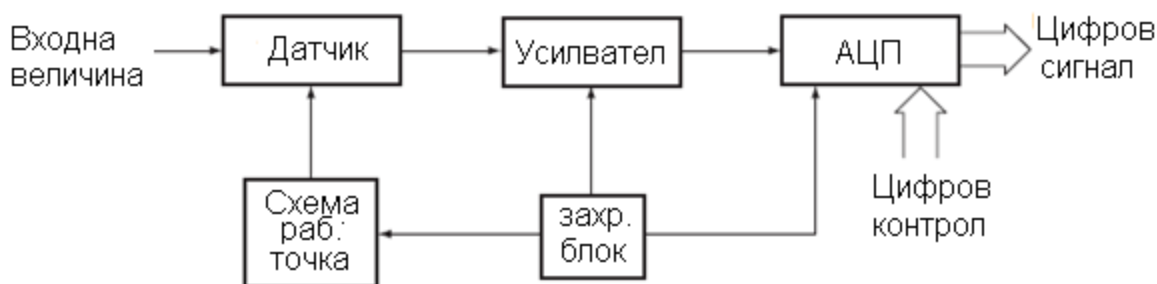
В края на курса, след проведено допитване до студентите, почти всички смятат, че интерактивните лекции им помагат да затвърдят с разбиране знанията си. Около 80% от тях намират тези лекции за по-интересни и мотивиращи от традиционните. Около 70% са съгласни, че в тези лекции се създава среда, в която 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”. За българските университети той е обезпечен с учебни помагала, които са съобразени с учебните програми [13], [14], [15], [16], [17]. В него темите за операционните усилватели (ОУ) 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 обучението по темата на съгласуващи аналогови усилватели с ОУ.

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 усилвател за съгласуване обхвата на сигнала на изхода на датчика с този на входа на аналогово-цифров преобразувател (АЦП) в измервателна система, 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 съгласуващия усилвател 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.

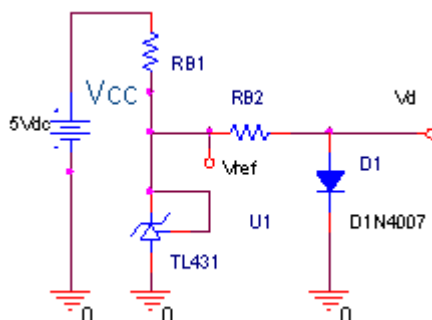
Системните спецификации са основата на проекта. За конкретната задача захранващото напрежение е $V_{CC} = 5V \pm 5\%$. Предвижда се 12 бита АЦП - TLV2544 и диод 2D1N4007 за температурен сензор в температурен обхват от $-25^{\circ}C$ до $100^{\circ}C$. Токът и напрежението в права посока на диода са $I_D=1.53mA$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

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 датчика и на АЦП и определяне на топологията и елементите на усилвателя, 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.

Бланки на предположенията

Схемата с преднапреженията за източника на опорно напрежение TL431 и за температурния датчик D1 е представена на фиг.2. С конектори за връзка, на схемата са показани точките за измерване на опорното напрежение V_{ref} и на изходното напрежение V_d .



Фиг.2. Схема на опорното напрежение и температурния датчик

Дейност 1А

Предположение:

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

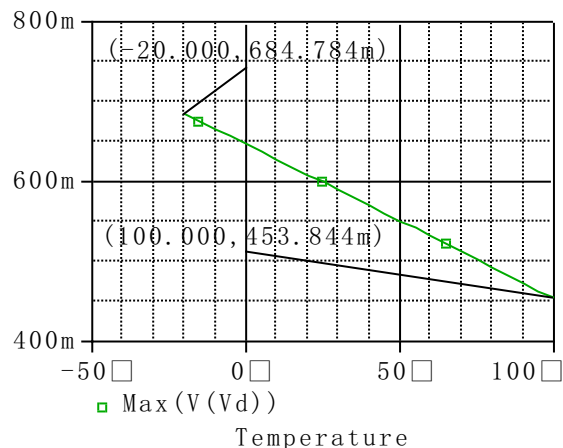
$$RB1 = \text{-----} \Omega; \quad RB2 = \text{-----} \Omega$$

(б) Предположете каква е стойността на напрежението върху диода D1 при температура $-20^{\circ}C$ и при $100^{\circ}C$? Използвайте, че $V_d[+27^{\circ}C] = 591mV$.

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

Обяснение: Дайте обяснение за предположените стойности.

Демонстрация: Чрез 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 времеви анализ и параметричен анализ с разбивка по температурата от -50°C до 100°C . На графиката са показани отчети за стойностите на изходното напрежение при 20°C и при 100°C . Симулацията потвърждава линейността на характеристиката на датчика.



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

Дейност 1Б

Характеризация на АЦП. Схемата TLV2544 е 12 бита АЦП, с мултиплексор за различни режими на работа. Обхватът на входния сигнал на АЦП е от 0 до 4V. Напрежението на офсет е $\pm 150\text{mV}$, а дрейфът на напрежението е $\delta_V/^{\circ}\text{C} = 0.00004 / ^{\circ}\text{C}$.

Предположение:

(а) Дайте предположение за пълния дрейф в температурния диапазон на работа на системата и за стойността на V_{LSB} – напрежението, съответно на най-малкия значещ бит (LSB – Least Significant Bit).

$$\delta_V = \text{-----} [\%]; \quad V_{\text{LSB}} = \text{-----} [\mu\text{V}]$$

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 според таблица 1 и таблица 2.

Входно напрежение на АЦП	Изходно напрежение на усилвателя
0V	$V_{\text{OUT1}} = 0\text{V}$
4V	$V_{\text{OUT2}} = 4\text{V}$

Табл.1. Съответствие на нивата на усилвателя и АЦП

Температура на датчика	Изходно напрежение на датчика	Входно напрежение на усилвателя
-25°C	$V_d = 695\text{mV}$	$V_{\text{IN1}} = 695\text{mV}$
100°C	$V_d = 454\text{mV}$	$V_{\text{IN2}} = 454\text{mV}$

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

Подходящ операционен усилвател е TLV247x, който има следните основни спецификации: $R_{\text{IN}} = 1012\Omega$, $R_{\text{OUT}} = 1.8\Omega$, размах на изходния сигнал 0.15V до 4.85V, входно напрежение на несиметрия 2.2mV, параметър на входното еквивалентно шумово напрежение, $V_N = 28\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$; параметър на входният еквивалентен шумов ток, $I_N = 0.39\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$.

Предположение:

(а) Дайте предположение за влиянието на входното съпротивление R_{IN} на усилвателя върху изходния сигнал на датчика V_d , спрямо това при празен ход (отворена верига) V_d о.в:

$$V_d = \text{-----} * V_d \text{ о.в.}$$

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

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

(в) Направете заключение за избора на ОУ TLV247х.

- подходящ неподходящ

Дейност 1Г

Създаването на схемата на усилвателя започва с определянето на входните напрежения, които са дадени в табл. 2 и изходните напрежения, представени в табл.1.

Предположение:

За двете входни и изходни напрежения съгласно таблици 1 и 2 можем да запишем две линейни уравнения [18]:

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

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

(а) Намерете решението за апроксимационните коефициенти m и b с *Matlab*.

Демонстрация:

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]
```

Стойността на коефициентите е $m = -17.3160$ и $b = +11.86$.

Дейност 1Д

Създаване на принципната схема на усилвателя.

Предположение:

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

Поле за изчертаване на принципната схема

(б) Дайте предположение за предавателната функция на усилвателя в символен вид, определете символните групи, съответни на m и b за избраната топология:

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

$$m = \text{-----} \quad b = \text{-----}$$

Демонстрация:

а) Топологията на принципната схема на усилвателя е представена на фиг.4. Тъй като знакът на b е положителен, то опорното напрежение трябва да се свърже чрез делител към неинвертиращия вход. Тъй като знакът на m е отрицателен, то изходното напрежение от температурния датчик трябва да се свърже към инвертиращия вход през съпротивление RG . Необходимо е и съпротивление за отрицателна обратна връзка по напрежение - RF . На входовете са поставени отново конекторите за връзка V_{ref} и V_d , съответно към източника за опорно напрежение и изхода на температурния датчик.

Дейност 1Е

Оразмеряване на схемата на усилвателя.

Предположение:

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

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

(в) Дайте предположение за числени стойности на елементите на принципната схема от фиг.4, ако стойността на RF се приеме 380k.

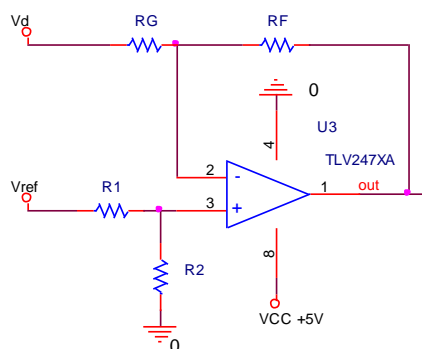
$$RG = \text{-----}; R1 = \text{-----}; R2 = \text{-----}$$

Демонстрация:

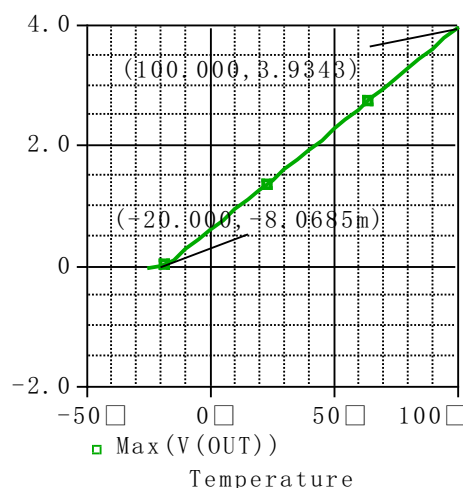
Оразмеряване на схемата на усилвателя в Matlab:

```
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: $RG=22.1k$, $RF=383k$; $R1=80.6k$; $R2=28k$.



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



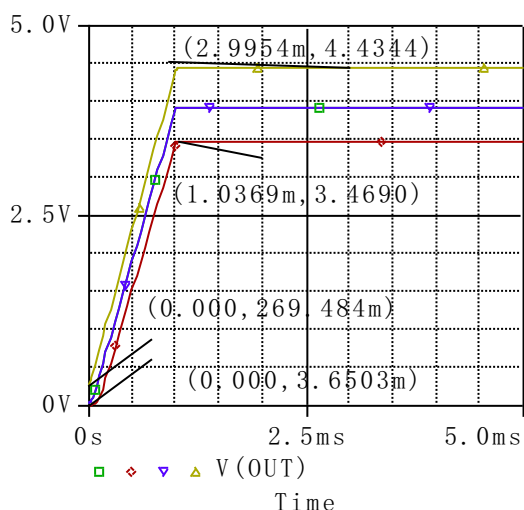
Фиг. 5. Изходно напрежение на усилвателя в температурния диапазон -20°C до 100°C

Графиката на изходното напрежение на усилвателя в температурния диапазон -20°C до 100°C е представена на фиг.5. Отчетите при температура -20°C и 100°C показват, че

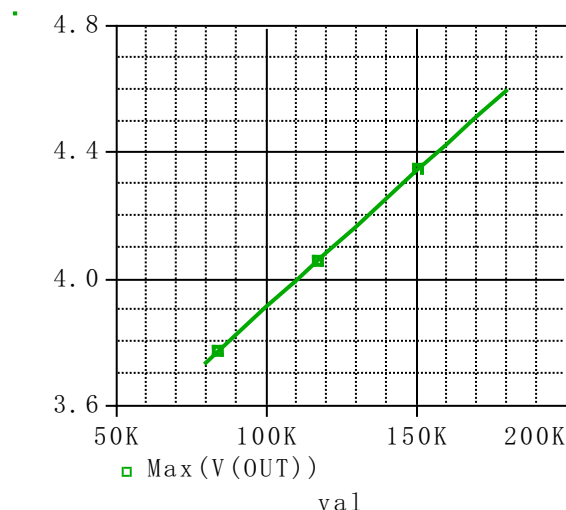
диапазонът на изходните напрежения на усилвателя съвпада с диапазона на входните напрежения на ЦАП.

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

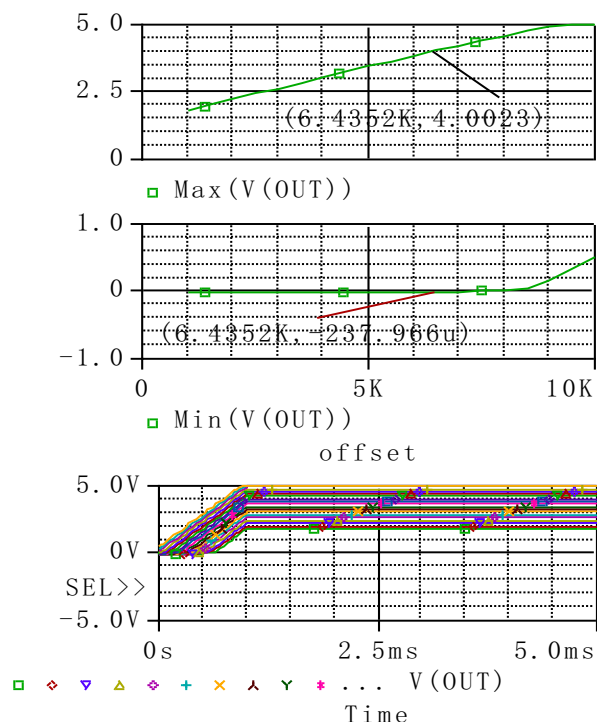


Фиг. 7. Влияние на съпротивлението на потенциометъра R_{Fa} за настройка на усилването

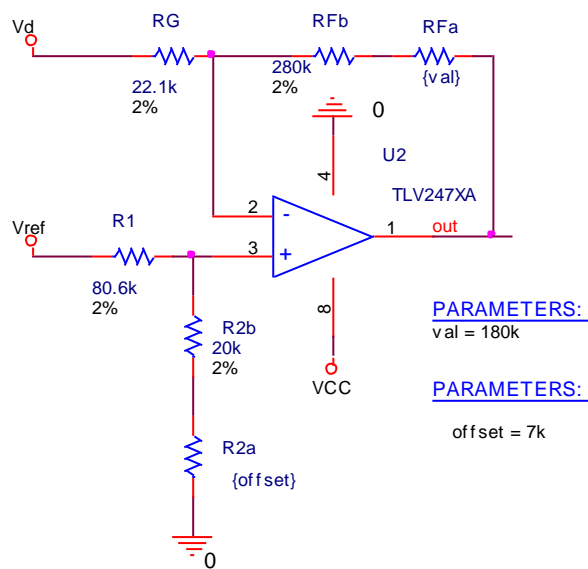
Възможността за настройка на адитивната грешка (корекция на офсата) чрез потенциометър R_{2a} със стойност $10k\Omega$, свързан последователно на съпротивлението $R_{2b} = 20k\Omega$, е демонстрирана чрез параметричен анализ. Параметър на анализа е стойността на съпротивлението на потенциометъра, означен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

Чрез маркираните на плотовете на фиг.8 точки е показана възможността с назначения потенциометър за регулиране на адитивната грешка. Видът на изходното напрежение $V(OUT)$ на долния плот на фиг.8. съответства на входния източник, който до 1ms е линейно нарастващ а след това има стойност равна на крайната стойност на датчика, до крайното време на анализа, 5ms. Така образно е показано влиянието на потенциометъра.

Принципната схема на проектирания съгласуващ усилвател е представена на фиг.9.



Фиг. 8. PSpice анализ за изходното напрежение на усилвателя с настройка на офсата



Фиг. 9. Схема на съгласуващия усилвателя

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 съгласуващи 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 съгласуващия усилвател. Извършването на детайлен анализ на грешката е обект на самостоятелни интерактивни лекции.

Статията има методичен характер за приложение на активния подход в обучението на студентите по аналогова електроника при изследването на линейни 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://cctl.ucdavis.edu/class-more-engaging/> Достъп до данните: 02 .09 2013
- [7]. Sokoloff, D.R., & Thornton, R. 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]. Юдов, Д., Аналогова схемотехника – Онгъл, Варна, 2010, ISBN: 954-90077-2-1
- [14] Немигенчев, И. Аналогова схемотехника, Унив. изд. Васил Априлов, Габрово, 2006, ISBN: 978-954-683-334-1
- [15] Пандиев И., Донева Л., Стаменов Д., Аналогова схемотехника I, Изд. ТУ- София, 2011, ISBN:978-954-438-693-1
- [16] Пандиев И., Донева Л., Стаменов Д., Аналогова схемотехника II, Изд. ТУ- София, 2010, ISBN:978-954-438-694-8
- [17] Атанасов, И., Аналогова схемотехника, Изд. ТУ- Варна, 1999
- [18]. Carter B., Mancini R., *Op Amps for everyone*, 3d ed., Elsevier, 2009, ISBN: 978-1-85617-505-0