

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА У КРАГУЈЕВЦУ



Назив студијског програма: Машинско инжењерство
Ниво студија: Дипломске академске студије
Модул: Информатика у инжењерству
Предмет: Електротехника са електроником
Број индекса: 36/2001

Марија Љ. Ђурђевић

ДИПЛОМСКИ РАД

**Симулација електричних кола помоћу
програмског пакета PSPICE**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Јасна Радуловић – ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Крагујевац, март 2012.

Поставка дипломског рада

У овом дипломском раду разматрана је примена програмског пакета PSPICE у анализи електричних кола. Саставни део рада представља и кратки осврт на поменути програмски пакет, који обухвата синтаксу за опис појединих елемената у њему.

Електрична кола чијом су анализом у временском домену уз помоћ поменутог програмског пакета добијени резултати приказани у раду, анализирају се и решавају у оквиру курса из предмета Електротехника са електроником на Факултету инжењерских наука.

Циљ овог рада је да се размотре могућности да се студенти, полазници курса Електротехника са електроником, упознају са савременим трендовима инжењерске струке. У раду је коришћен програмски пакет PSPICE Student, где се цртање електричних кола одвија у графичком едитору Schematics.

Препоручена литература:

- [1] Јасна Радуловић: *ЕЛЕКТРОТЕХНИКА СА ЕЛЕКТРОНИКОМ*, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2011.
- [2] Јасна Радуловић: *ЕЛЕКТРОТЕХНИКА СА ЕЛЕКТРОНИКОМ, ПРАКТИКУМ ЗА ЛАБОРАТОРИЈСКЕ ВЕЖБЕ*, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2005.
- [3] Радмила А. Петковић, Саша С. Илић, Злата Ж. Цветковић, Ненад Н. Цветковић: *ОСАВРЕМЕЊИВАЊЕ ВЕЖБИ ИЗ ПРЕДМЕТА ТЕОРИЈСКЕ ЕЛЕКТРОТЕХНИКЕ*, Електронски факултет у Нишу, 2000. год.

Крагујевац, 26.03.2012.

ментор:
Др Јасна Радуловић, ред. проф.

Симулација електричних кола помоћу програмског пакета PSPICE

Резиме рада

У овом дипломском раду се разматра коришћење рачунара у циљу осавремењивања лабораторијских вежби из предмета Електротехника са електроником на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. Изложена је могућност примене програмског пакета PSPICE за симулацију неких електричних кола, која се иначе разматрају и решавају у оквиру лабораторијских вежби из поменутог предмета.

Кључне речи: електрично коло, PSPICE, симулација

Simulation of electrical circuits using PSPICE software package

Abstract

This thesis discusses the use of computers in order to modernize laboratory practical activities from the subject Electrotechnics at the Faculty of Engineering Science, University of Kragujevac. The possibility of applying PSPICE program pack for simulation of some electrical circuits that are normally considered and solved in the laboratory exercises in the above mentioned subject has been presented.

Keywords: electrical circuit, PSPICE, simulation

САДРЖАЈ

1. УВОД.....	5
2. ПРОГРАМСКИ ПАКЕТ PSPICE.....	6
2.1. Корисничка организација програмског пакета PSPICE.....	7
2.2. Припрема шеме кола за симулацију.....	10
2.3. Елементи за опис кола.....	15
2.3.1. Отпорник (Resistor).....	15
2.3.2. Кондензатор (Capacitor).....	16
2.3.3. Калем (Inductor).....	16
2.3.4. Независни напонски и струјни генератори.....	17
2.3.5. Зависни напонски и струјни генератори.....	22
3. СИМУЛАЦИЈЕ У ПРОГРАМСКОМ ПАКЕТУ PSPICE	
НА ПРИМЕРУ RC КОЛА.....	25
3.1. Циљ вежбе и шеме веза.....	25
3.2. Теоријска разматрања.....	26
3.3. Симулација RC кола.....	28
3.4. Рад у лабораторији.....	42
4. ПРИМЕНА PSPICE-а У ЕЛЕКТРИЧНОМ КОЛУ СА R, L, C	
КОНЦЕНТРИСАНИМ ПАРАМЕТРИМА.....	46
4.1. Анализа електричног кола са регуларном комутацијом.....	46
4.2. Симулација електричног кола са регуларном комутацијом.....	48
5. ЗАКЉУЧАК.....	51
6. ЛИТЕРАТУРА.....	52

1. УВОД

Са развојем рачунара 90-тих година XX века појавили су се први сложенији програми за симулацију електричних кола. Различите компаније понудиле су софтверска решења за симулацију електричних кола под оперативним системом DOS. Међу познатим програмским пакетима за симулацију електричних кола треба напоменути неке као што су MICRO CAP, TOP SPICE, SPICE, ELECTRONICS WORK BENCH (EWB), PSPICE и други. Паралелно са развојем програмских пакета за симулацију електричних кола, развијали су се и програмски пакети за дизајнирање штампаних плоча као што су TANGO, PROTEL, ORCAD итд. Како се развијао оперативни систем рачунара, тако су се развијале и новије верзије ових програма, а посебан комодитет у раду дошао је са појавом оперативног система WINDOWS. Данас је било какво пројектовање у електротехници, електроници и телекомуникацијама незамисливо без употребе рачунара, пре свега зато што се одмах могу отклонити сви недостаци и грешке приликом пројектовања без прављења прототипа, што знатно појевљује сам процес производње електроопреме. Крајем XX века јављају се нове тенденције у смислу обједињавања програма за симулацију електричних кола са програмима за дизајнирање штампаних плоча. На пример, компанија која производи ORCAD откупила је PSPICE и почела да уграђује тај симулатор као стандард. Друге компаније такође нису заостајале за овим новим тенденцијама на светском тржишту, тако да су и оне развиле интегрисане пакете, који осим симулатора садрже и саму могућност пројектовања штампаних плоча.

У овом дипломском раду представљени су поједини примери примене програмског пакета PSPICE у анализи електричних кола. Саставни део рада представља и кратки осврт на поменути програмски пакет, који обухвата синтаксу за опис појединих елемената у њему, [5]. Електрична кола чијом су анализом у временском домену уз помоћ поменутог програмског пакета добијени резултати приказани у раду, јављају се у оквиру курса из предмета Електротехника са електроником, [1, 2]. Циљ овог рада је да се размотре могућности да се студенти, полазници курса Електротехника са електроником, упознају са савременим трендовима инжењерске струке. У раду је коришћен програмски пакет PSPICE Student, где се цртање електричних кола одвија у графичком едитору Schematics, [8].

2. ПРОГРАМСКИ ПАКЕТ PSPICE

PSPICE је назив за сложени програмски пакет који се користи за анализу и симулацију рада електричних кола. Употребом поменутог програмског пакета могуће је остварити следеће типове анализе:

- одређивање једносмерног режима рада;
- анализу у наизменичном режиму за мале сигнале;
- одређивање временског одзива кола у прелазном режиму;
- одређивање преносне функције, итд.

Коришћење програмског пакета PSPICE такође омогућава и одређивање осетљивости, изобличења, преносне функције и фактора шума.

Битна предност програмског пакета PSPICE у односу на раније верзије истог пакета је то што је реализован као WINDOWS апликација, па омогућава коришћење свих погодности које пружа рад под WINDOWS-ом. Поред тога, у овој верзији посматраног програмског пакета није неопходно познавати синтаксу за опис кола, већ се коло формира уз помоћ графичког едитора, што је знатно једноставније за већину потенцијалних корисника.

Један од важних делова програмског пакета PSPICE је програм PROBE, уз помоћ којег је могуће посматрати напон у било ком чвору или струју кроз било који елемент кола.

Саставни део програмског пакета PSPICE је и библиотека, која поред модела стандардних елемената садржи и велики број модела нелинеарних компоненти (диода, транзистора и сл.). Поменута библиотека садржи готово све елементе неопходне за дефинисање и решавање проблема који се јављају у програму предмета Електротехника са електроником. То су: идеални напонски и идеални струјни генератор, зависни напонски и струјни генератор (контролисани напоном, односно струјом), идеални водови, спрегнути калемови, реални трансформатори итд. Остале потребне компоненте се могу симулирати преко зависних генератора (негативни инвертор импедансе, жиратор, идеални трансформатор итд.).

Једносмерна (DC) анализа нелинеарних кола се аутоматски обавља и пре анализе наизменичног режима (да би се одредили параметри модела за мале сигнале активних елемената у околини мирне радне тачке) као и пре анализе прелазног режима ради одређивања почетних услова. Ова анализа даје једносмерне функције преноса и осетљивости специфициране функције на мале варијације параметара.

Линеарни одзив кола на простопериодичну побуду даје фреквенцијску карактеристику кола за мале сигнале (независно од величине амплитуде побудног напона) са вредностима параметара нелинеарних елемената узетих за мирну радну тачку. Додатно у оквиру АС анализе може се одредити величина шума који елементи кола генеришу било као ниво шума на излазу или еквивалентни шум на улазу. Такође се могу одредити величине хармонијских изобличења као и модулациони коефицијенти.

Анализа у временском домену, Transient, даје одзив кола у специфицираним тачкама на различите побуде у интервалу који корисник специфицира. За периодичну побуду програм може да рачуна и Фуријеове коефицијенте сигнала на излазу, самим тим и да обавља хармонијску анализу.

Програм има уграђене моделе за све уобичајене нелинеарне елементе који се могу правити у интегрисаној техници: диоде, биполарне транзисторе, IGBT-ове, JFET-ове, MESFET-ове и MOS транзисторе.

Уколико се посебно не специфицира, сва израчунавања се обављају за температуру од 27 степени Целзијуса.

Додатна ограничења програма су:

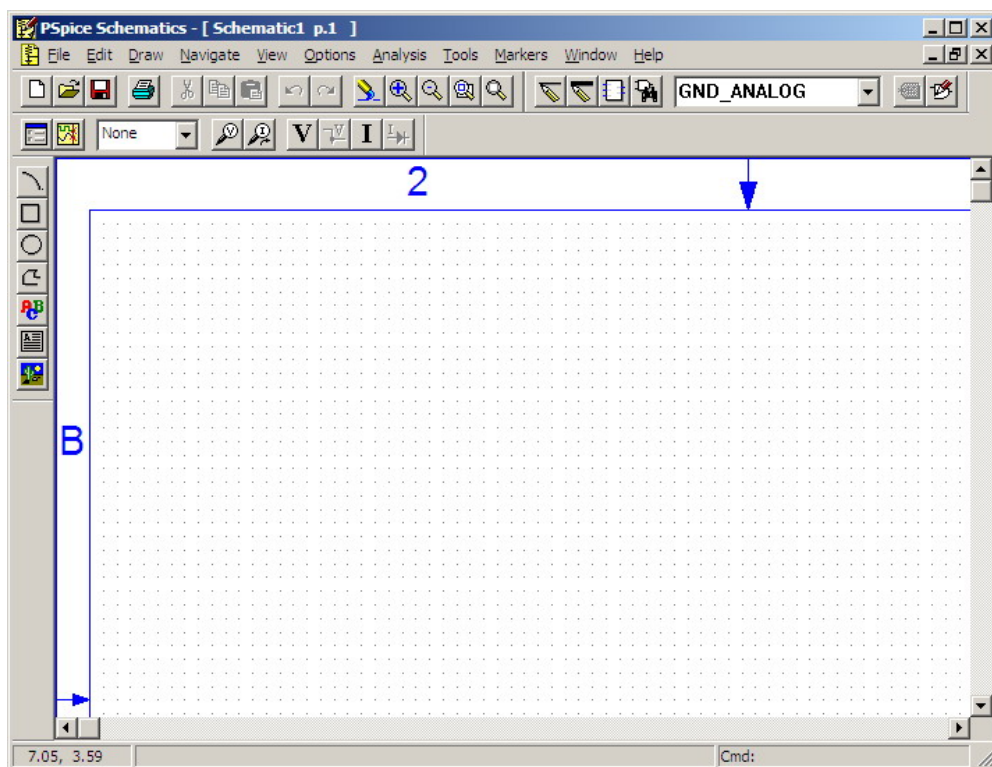
- чвор 0 (AGND) је резервисан за заједничку тачку,
- симулација се неће обавити уколико сви чворови нису електрично повезани са заједничком тачком,
- сваки чвор у колу мора бити везан за бар два елемента,
- петље напонских извора и кондензатора нису дозвољене,
- пресеци од струјних извора и индуктивности нису дозвољени.

2.1. Корисничка организација програмског пакета PSPICE

Рад у програмском пакету PSPICE, организован је помоћу менија типичних за WINDOWS апликације. Да би се добио прозор (графички едитор) у коме се црта шема кола које се жели симулирати, потребно је редоследно покренути следеће команде: **Start>All Programs>PSpice Student>Schematics** или кликом на **Schematics** пречицу на Desktop-у.



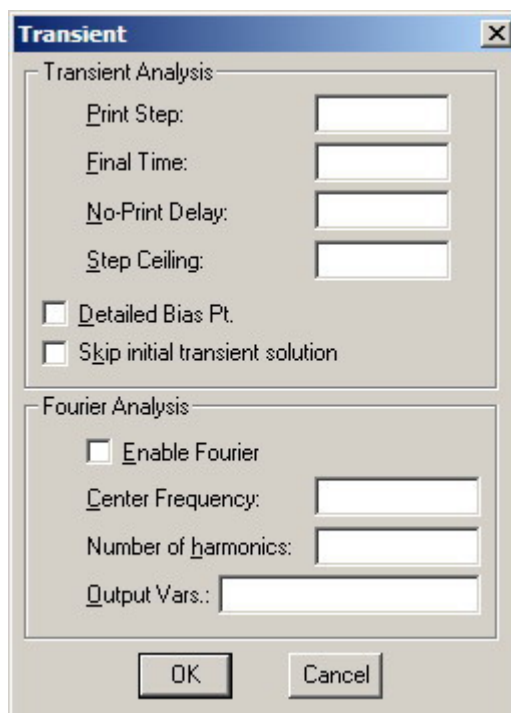
Након овога се добија прозор у коме се црта шема кола (Слика 2.1.).



Слика 2.1. Изглед радног дела екрана

На овај начин коло се практично „црта“ по радном делу екрана. Тако унето коло се након задавања вредности параметара и елемената кола, снима под одређеним именом, при чему име кола има екстензију *.SCH. Овај графички едитор омогућава једноставно мењање вредности параметара и елемената, као и конфигурације кола. Након уноса кола потребно је извршити проверу електричне повезаности кола. Често се дешава да нека компонента у колу није добро повезана, тј. „виси“ или да је отпорност везана редно за независни напонски генератор једнака нули (не постоји) итд. У оваквом колу нису испоштована „електрична правила“. Када се ове или сличне грешке јаве, потребно је изабрати Analysis/Examine Output опцију из менија. У излазном фајлу се може прочитати о каквој се грешки у колу ради, на основу чега се приступа њеном исправљању. Када се коло формира без поменутих грешака, програм формира листу повезаности (Netlist).

Програмски пакет PSpice омогућава више различитих типова анализе и симулације. Сходно природи проблема који се јављају у оквиру предмета Електротехника са електроником, у овом раду акценат ће бити стављен на анализу и симулацију у временском домену (Transient Analysis Simulation). У даљем тексту, за поменућу анализу и симулацију биће коришћен термин прелазни режим. Пре старта симулације прелазног режима потребно је дефинисати параметре те симулације. То су трајање временског интервала у току којег се врши симулација, трајање временског интервала који представља корак симулације и слично. Ови параметри се подешавају у боксу који се отвара после избора Analysis/Setup/Transient опције из менија и приказан је на слици 2.2.



Слика 2.2.

Поред тога, програмски пакет PSPICE омогућава задавање почетног напона на кондензатору, односно почетне струје кроз калем, што је од значаја за симулацију прелазног режима у колима. Анализа прелазног режима даје напонски или струјни одзив у изабраним чворовима, односно гранама, на различите побуде у изабраном временском интервалу. Уколико се посебно не наведе, сва израчунавања се обављају за температуру од 27° C. Симулација на температурама различитим од наведене, омогућена је употребом команде .TEMP.

Када се задају бројчане вредности елемената кола, подразумева се да се ради о основним јединицама за дате величине (Volt (V) за напон, Ohm (Ω) за отпорност, Henry (H) за индуктивност итд.). Суфикси иза бројних вредности означавају да је нумеричка вредност појединог елемента задата у основним јединицама које се множе одређеним фактором. У Табели 2.1. дате су вредности фактора којима се множе основне јединице, за различите суфиксе који се пишу иза бројчаних вредности.

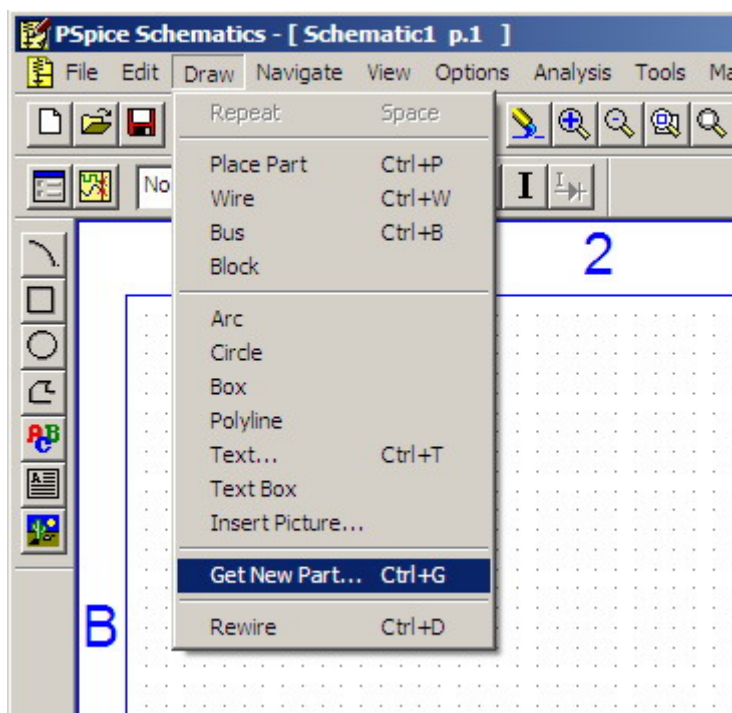
T	10^{12}	K	10^3	n	10^{-9}
G	10^9	m	10^{-3}	p	10^{-12}
MEG	10^6	u	10^{-6}	f	10^{-15}

Табела 2.1. Мултипли основних величина

2.2. Припрема шеме кола за симулацију

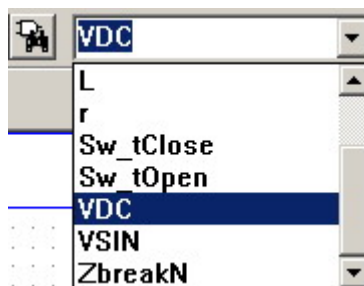
Да би се нацртала шема кола које се жели симулирати потребно је унети симболе појединих елемената из матичне библиотеке PSPICE-a (или накнадно креиране библиотеке, за напредније кориснике програма). Графички симболи елемената (интегрисаних кола, транзистора, отпорника, калемова, кондензатора итд.) добијају се проналажењем у менију поља са ознаком Draw. После његовог активирања треба пронаћи линију са ознаком Get New Part, слика 2.3, [6,7].

Исти ефекат добија се кликом левог тастера миша на приказану иконицу или са тастатуре истовременим активирањем Ctrl и G.



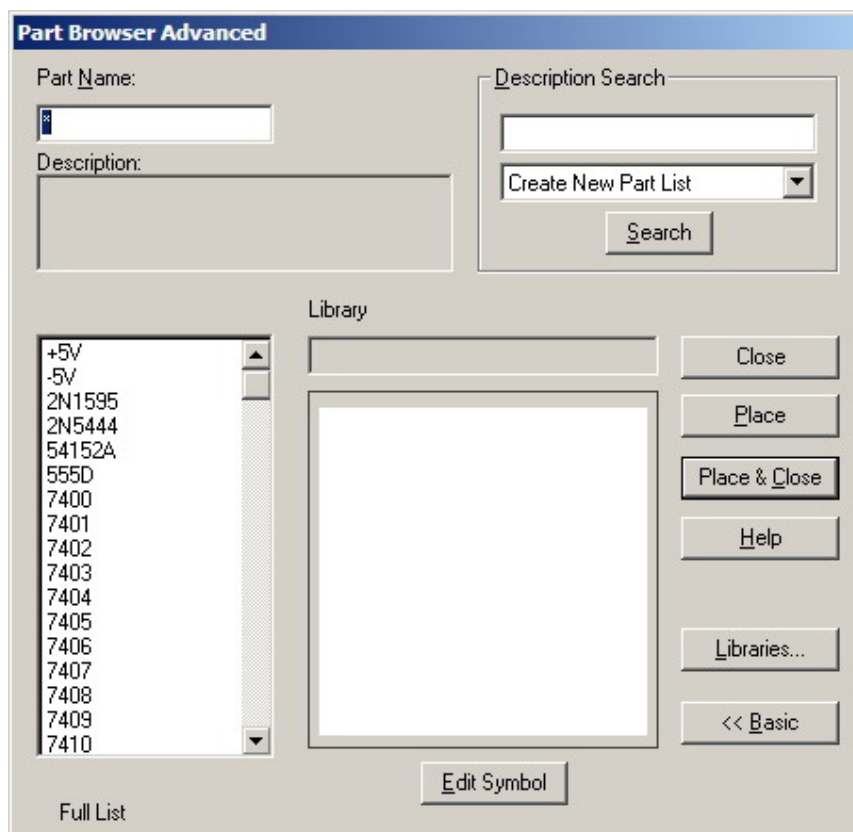
Слика 2.3. Прозор помоћу кога се стиже до графичког симбола компоненте

Ако се знају имена компонената или се користе већ коришћене компоненте, до њих се може доћи и следећим командама: **Draw>Place Part** након чега ће се појавити прозор приказан на слици 2.4. из кога се може одабрати компонента, која ће после притиска на Enter са тастатуре или двоструким кликом на леви тастер миша, бити учитана у шему. У понуђено поље може се уписати тачан назив компоненте која постоји у PSPICE библиотеци компонената, иако није на списку до тада коришћених компонената, и на исти начин се унети у шему. Исти ефекат постиже се истовременим притиском типки Ctrl и P са тастатуре.



Слика 2.4. Поље у које се уноси име познате или изабира већ коришћена компонента

За почетнике се препоручује први начин (са Get New Part). После овога отвара се прозор приказан на слици 2.5. У простору за Part Name (име компоненте) потребно је унети име, ручно, ако се зна назив компоненте, или уз помоћ миша кликом левог тастера миша на једну од понуђених компонената (Full List). До компоненте се може доћи и уз помоћ претраживања (Description Search) тако што се унесе име компоненте, а затим се кликне на Search.



Слика 2.5. Прозор у коме се налазе графички симболи и опис свих компоненти у PSpice-у

У следећој табели дата су имена карактеристичних елемената.

PSPICE ОЗНАКА	КОМПОНЕНТА
R	отпорник
C	кондензатор
L	калем (индуктивност)
VSRC	једносмерни напонски генератор
ISRC	једносмерни струјни генератор
VSIN	синусни напонски генератор
ISIN	синусни струјни генератор
VPULSE	напонски генератор са периодичном поворком импулса
IPULSE	струјни генератор са периодичном поворком импулса
VPWL	напонски генератор произвољно задатог таласног облика
IPWL	струјни генератор произвољно задатог таласног облика
G	струјни извор контролисан напоном
H	напонски извор контролисан струјом
E	напонски извор контролисан напоном
F	струјни извор контролисан струјом
DBREAK	диода
SBREAK	напоном контролисан прекидач
WBREAK	струјом контролисан прекидач
AGND	маса (референтни чвор)

Табела 2.2. Ознаке неких основних елемената

По селектовању жељене компоненте треба кликнути на опцију Place и уз помоћ миша позиционирати компоненту на жељено место на радној површини екрана. Затим се кликне десни тастер на мишу и бира се следећа компонента. Када се уноси последња компонента шеме, онда треба левим тастером миша кликнути на Place&Close. Приликом уношења сваке компоненте може се урадити Place&Close, али то успорава рад, јер је потребно поново отворати мени Draw, па све испочетка.

Оријентација компонената

Неке компоненте имају правилну оријентацију, док се другима, због лепшег изгледа слике, оријентација може променити. Ако се жели на пример, да отпорник у шеми стоји вертикално, онда треба урадити следеће:

- кликом на леви тастер миша означити отпорник
- активирати Edit, а потом и Rotate.

После означавања отпорника (левим тастером миша) исти поступак је могао и да се изведе и са тастатуре истовременим притиском на типке Ctrl и R. Овај начин се препоручује и одмах након убацивања компоненте у шему пошто је она тада већ означена.

Ако се жели промена оријентације нпр. транзистора (да му база буде са десне стране), онда треба урадити следеће:

- кликом на леви тастер миша означити транзистор
- активирати Edit, а потом и Flip.

Поступак је могао да се обави и директно са тастатуре, тако што се после означавања компоненте истовремено притисну типке Ctrl и F.

Померање компонената

Померање компоненти по шеми обавља се уз помоћ миша, тако што се после означавања левим тастером миша, он и даље држи стиснут и померањем миша помера се и компонента заједно са курсором. Када се компонента постави на жељено место отпусти се леви тастер миша.

На исти начин се помера и ознака и вредност компоненте.

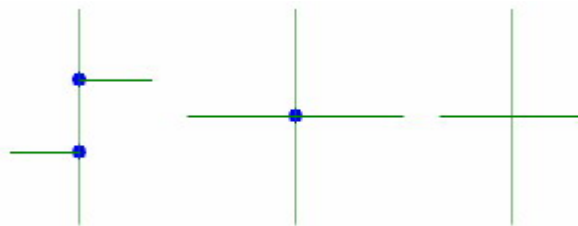
Повезивање компонената у шему

У менију пронаћи Draw, а затим кликнути на Wire. Исправност поступка ће се уочити по томе што се изглед курсора сад променио, па уместо стрелице он има изглед оловке. Исти резултат даје и клик левог тастера миша на иконицу.



Курсор у облику оловке поставити на крај компоненте, затим кликнути левим тастером миша. Ако је све у реду, померањем миша појавиће се непрекидана права линија између краја компоненте и курсора. Довођењем курсора на други крај који се жели спојити у шеми и поновним кликом левог тастера миша, уместо непрекидане линије појавиће се пуна, означена линија која показује жељени спој. Пошто је и даље курсор у виду оловке, могу се спајати и остали жељени спојеви.

Уколико се жели спој на месту пресека линија онда се на месту спајања мора поставити тачка, као на слици 2.6. Ако не желимо спој две линије, левим тастером миша, после означавања првог краја компоненте, треба кликнути на место следећег спајања, а не на место где једна линија прелази преко друге.



Слика 2.6. Могући начини спајања електричних веза

На крају ће клик на десни тастер миша вратити курсор на стандардни изглед.

Брисање компонената и линија

Уколико се грешком унесе нежељена компонента или линија, њено брисање се обавља тако што се после означавања левим тастером миша активира Delete са тастатуре. Исти ефекат има и активирање у менију опције Edit, а потом у подменију опције Delete.

Промена ознаке и вредности компонената

Неке компоненте (пасивне, напонски и струјни извори и слично) у PSPICE-у имају унапред дефинисане вредности, па их је потребно променити сагласно захтевима кола које се симулира. Двоструким кликом левог тастера миша на вредност компоненте отвара се прозор у који се уписује њена нова вредност.

Код калема и кондензатора могуће је и задавање почетних услова на њима, дефинисањем опције IC. Уколико су ова два реактивна елемента без почетне енергије, опцију IC треба дефинисати празном. Смер почетног напона на кондензатору, односно струје кроз калем, није могуће одмах видети на екрану, али по извршеној симулацији могуће је закључити ког су смера и променити вредност задавањем негативне вредности параметра IC, на пример $IC=-2\text{ V}$.

Напомена: Уколико се не зада јединица, програм аутоматски третира то као основну јединицу. На пример $IC=10$ је еквивалентно са $IC=10\text{ V}$. Ово исто важи и за параметар Value.

Аутоматска нумерација (свака следећа компонента има индекс за један већи) може бити замењена ручном променом ознаке компоненте. Ово се ради на исти начин као и са вредностима елемената, двоструким кликом левог тастера миша на ознаку и његовим подешавањем. При овоме треба водити рачуна да се не промени прво слово, него само индекс, пошто је оно ознака припадности (R-отпорник, C-кондензатор, L-калем итд.).

Памћење шеме кола

На крају (или с времена на време) треба запамтити Schematic File, а то се ради стандардним командама File и Save, или истовременим притиском на Ctrl и S.

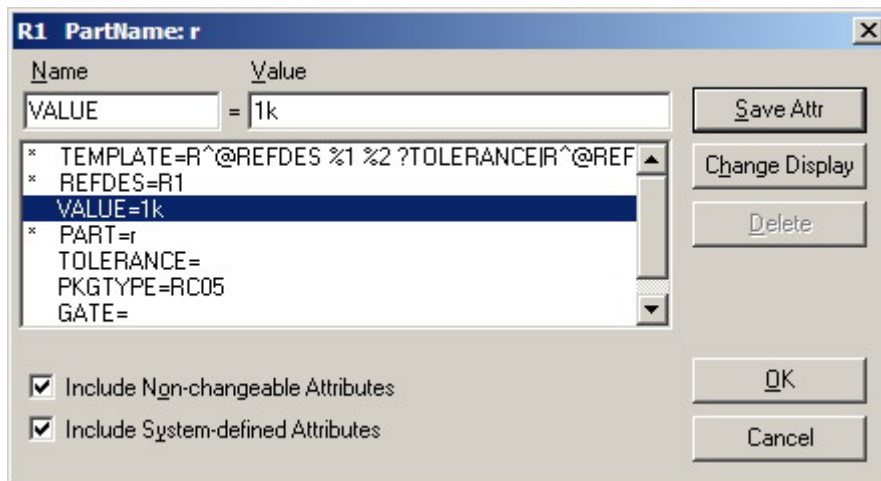
2.3. Елементи за опис кола

У тексту који следи дат је преглед најчешће коришћених елемената у оквиру предмета Електротехника са електроником, [1,2]. Поред тога, укратко је описан и начин задавања вредности параметара појединих елемената у програмском пакету PSPICE, [6, 7].

Након избора одговарајућег елемента потребно је подесити његову вредност и параметре. За сваки елемент постоје већ унапред одређене вредности. Тако се на пример подразумева да је вредност отпорника 1 kΩ, кондензатора 1 nF, калема 10 μH итд.

2.3.1. Отпорник (Resistor)

На слици 2.7. приказан је прозор помоћу ког се мењају параметри отпорника. Отпорник се означава словом R при чему његова вредност (value) не сме бити једнака нули.



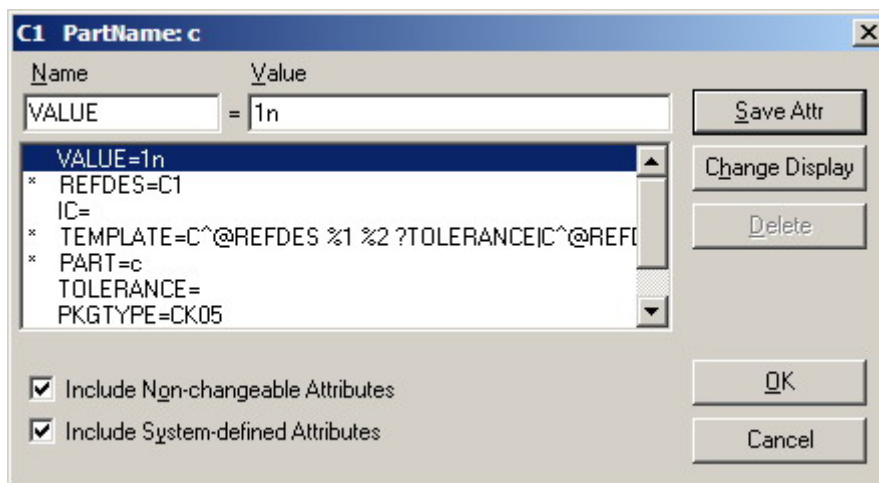
Слика.2.7.

Параметар TC задаје се опционо, и дефинише температурни коефицијент отпорности према формули:

$$R(T) = R(T_{NOM}) \times \left(1 + t_c \times (T - T_{NOM})^2\right)$$

2.3.2. Кондензатор (Capacitor)

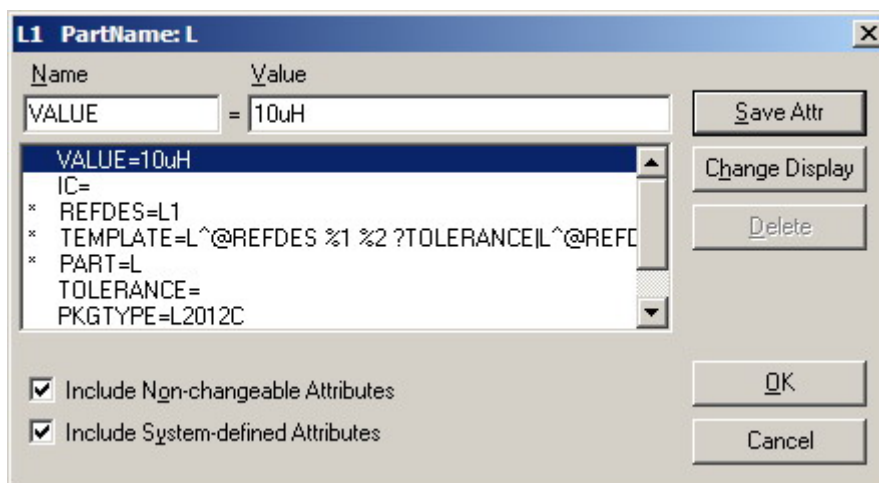
Кондензатор се означава словом C. Параметар IC представља почетни напон на кондензатору за који се, ако његова вредност није задата подразумева да је једнак нули. При задавању овог параметра потребно је водити рачуна о знаку, јер од тога зависи који чвор на кондензатору програм сматра тачком вишег, односно нижег потенцијала. То је могуће уочити увидом у листу повезаности. На слици 2.8. приказан је прозор помоћу кога се подешавају параметри кондензатора.



Слика 2.8.

2.3.3. Калем (Inductor)

Параметри калема задају се помоћу прозора приказаног на слици 2.9. Калем се означава словом L. Аналогно кондензатору, овде параметар IC представља почетну струју кроз калем, за коју се у случају да није задата, сматра да је једнака нули. И овде треба водити рачуна о знаку, односно смеру почетне струје, из разлога сличних оним изложеним у претходном одељку о кондензатору.

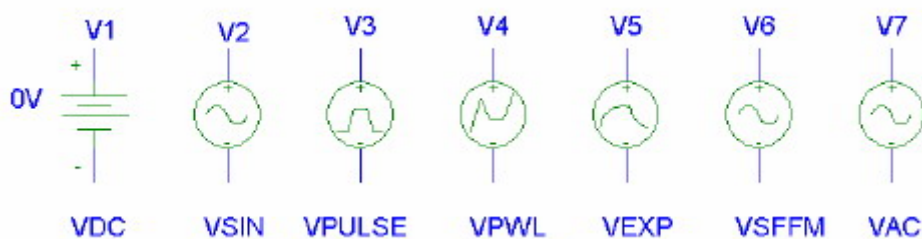


Слика 2.9.

2.3.4. Независни напонски и струјни генератори

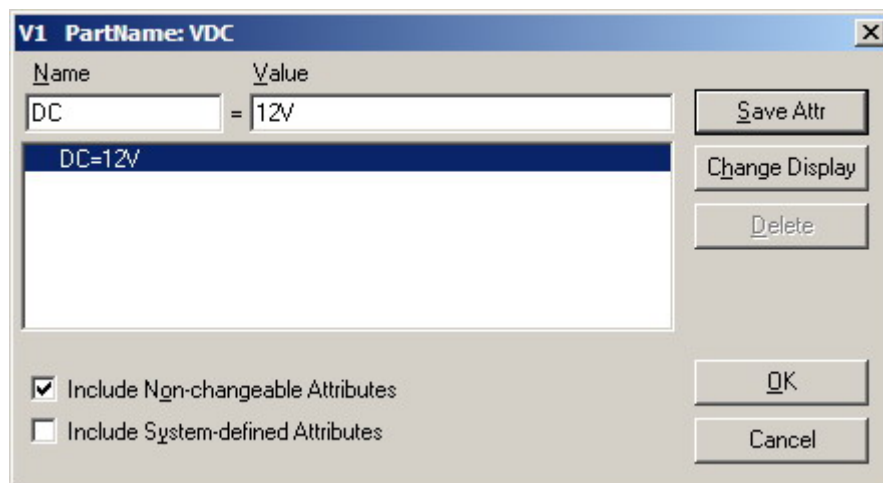
Могућност избора напонске или струјне побуде различитог облика још једна је од карактеристика програмског пакета PSPICE.

Независни напонски генератори почињу словом V, а њихов изглед је приказан на слици 2.10, [6].



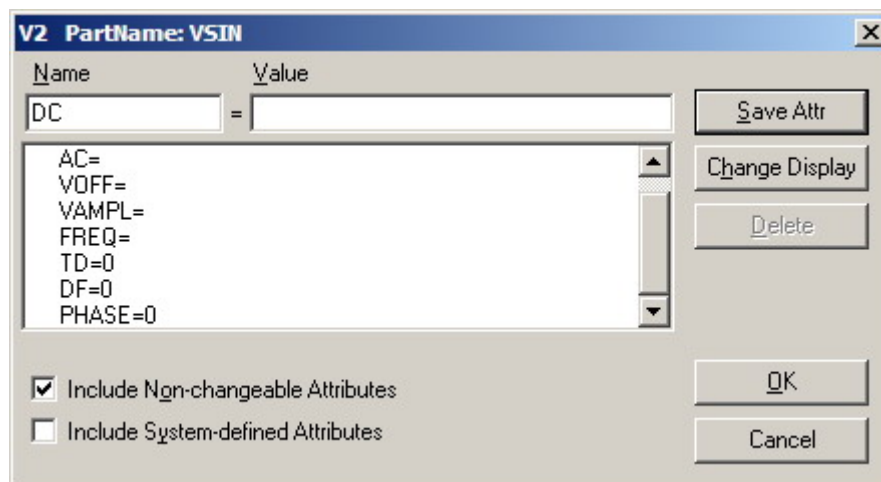
Слика 2.10. Шематски приказ независних напонских генератора у PSPICE-у

1. **VDC** – генератор једносмерног напона, а задаје му се вредност напона (овде DC=12V).



Слика 2.11.

2. **VSIN** – генератор пригушеног синусоидалног напона коме се задају вредности приказане у табели 2.3.



Слика 2.12.

ПАРАМЕТАР	ЗНАЧЕЊЕ
PHASE	фаза [степени]
TD	време кашњења од почетка анализе [s]
DF	фактор пригушења[s ⁻¹]
VOFF	средња вредност
VAMPL	амплитуда
FREQ	учестаност

Табела 2.3.

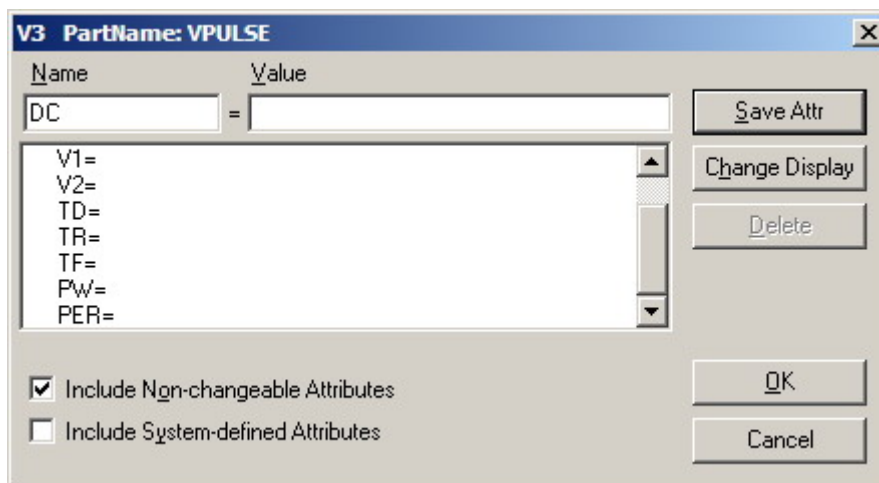
Вредност напона пригушено синусоидалног генератора је:

$$V2 = VOFF + VAMPL \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{360} \varphi\right), 0 \leq t \leq TD$$

$$V2 = VOFF + VAMPL \cdot \sin\left(2\pi f \cdot (t - TD) + \frac{2\pi}{360} \varphi\right) e^{-DF(t-TD)}, t \geq TD$$

За све генераторе се могу задавати и вредности напона DC=, или AC=, које су релевантне само за DC, односно AC анализу. Поља поред ових имена не морају се попуњавати, осим ако дати генератор није релевантан за DC или AC анализу.

3. VPULSE – периодична поворка импулса чији су параметри дати у табели 2.4.

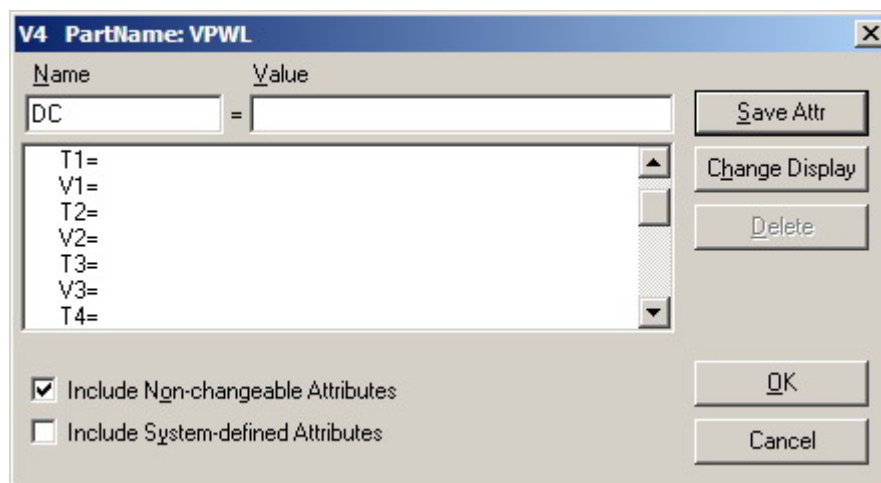


Слика 2.13.

ПАРАМЕТАР	ЗНАЧЕЊЕ
V1	почетна вредност
V2	крајња вредност
TD (Delay)	кашњење поворке од почетка анализе
TR (Rise Time)	време успона
TF (Fall Time)	време пада
PW (Pulse Width)	ширина импулса
PER (Period)	периода

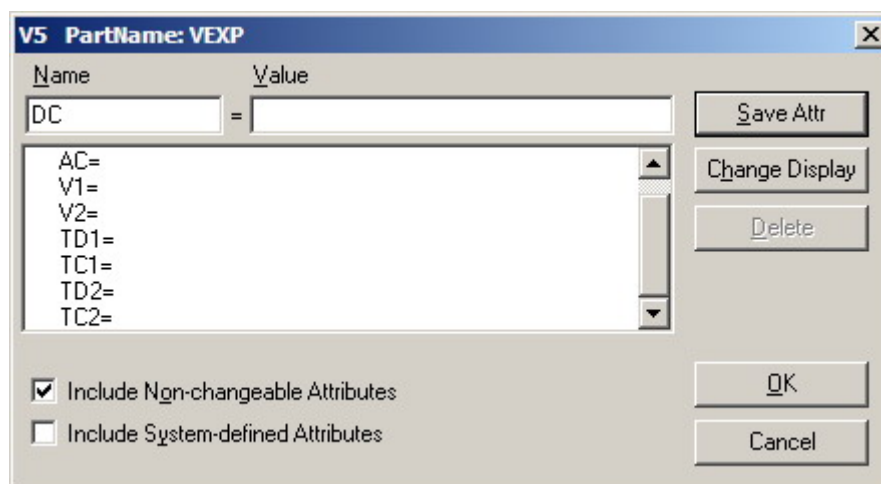
Табела 2.4.

4. VPWL – је ознака за независни напонски извор са линеарном сегментацијом побуде. Одговарајући прозор приказан је на слици 2.14. Параметри се задају на следећи начин: у тренутку t_1 напон има вредност v_1 , у тренутку t_2 је вредност напона v_2 итд. Између овако одређених тачака, напон се линеарно мења.



Слика 2.14.

5. VEXP – је извор напонске побуде експоненцијалног облика. Параметри овог елемента, уз одговарајућа објашњења, приказани су у табели 2.5.



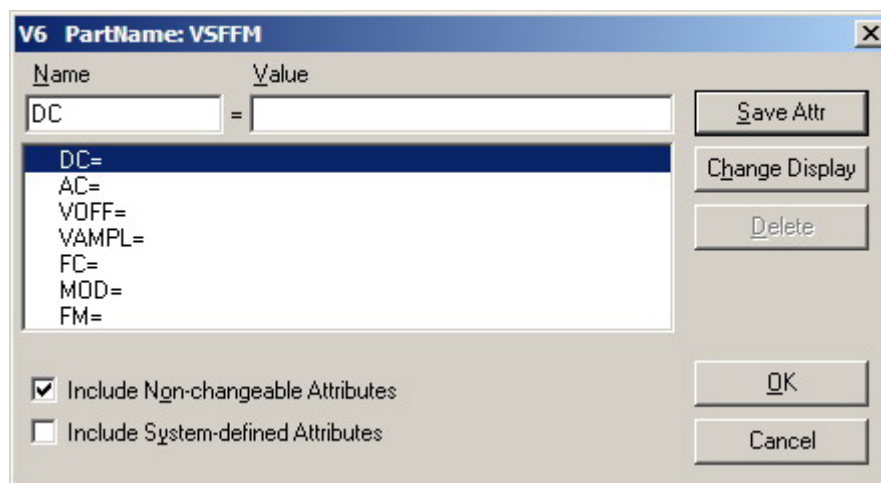
Слика 2.15.

ПАРАМЕТАР	ЗНАЧЕЊЕ
V1	почетна вредност
V2	крајња вредност
TD1	кашњење предње ивице
TC1	временска константа предње ивице
TD1	кашњење задње ивице
TC2	временска константа задње ивице

Табела 2.5.

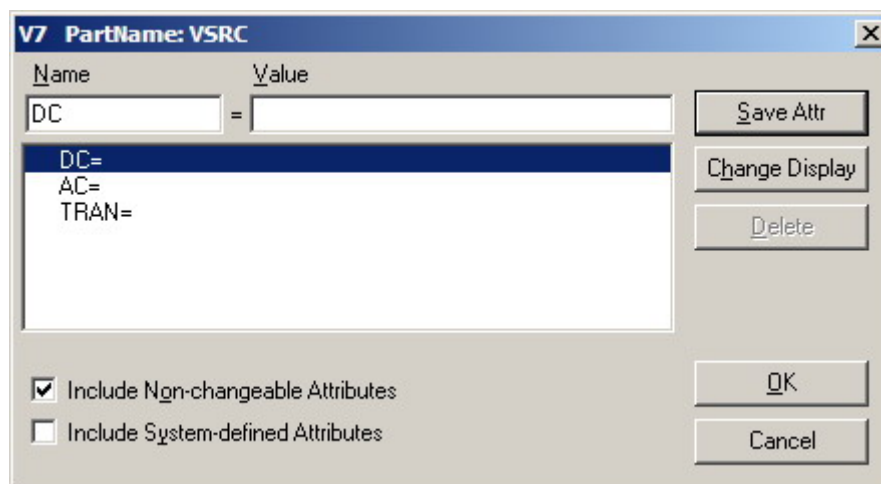
6. **VSFFM** – представља независни напонски извор чији је сигнал модулисан синусоидом по формули:

$$V(t) = VOFF + VAMPL \times (\sin(2\pi fct) + \text{modsin}(2\pi fMt))$$



Слика 2.16.

7. **VSRC** – је извор једносмерног напона.



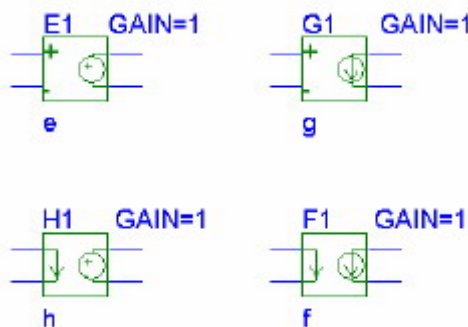
Слика 2.17.

За елемент VSRC задаје се само вредност DC док се остали параметри не задају. Тада овај елемент у колу делује као извор једносмерног напона, чија је вредност једнака вредности параметра DC.

Све што је изнето о независним напонским изворима, може се потпуно аналогно применити и на независне струјне изворе. За сваки извор напонске побуде постоји и одговарајући извор струјне побуде, при чему се у имену одговарајућег независног струјног извора уместо слова V на почетку појављује слово I (ISRC,

IPULSE, ISIN итд.). Подешавање параметара ових елемената еквивалентно је подешавању одговарајућих параметара код независних напонских извора.

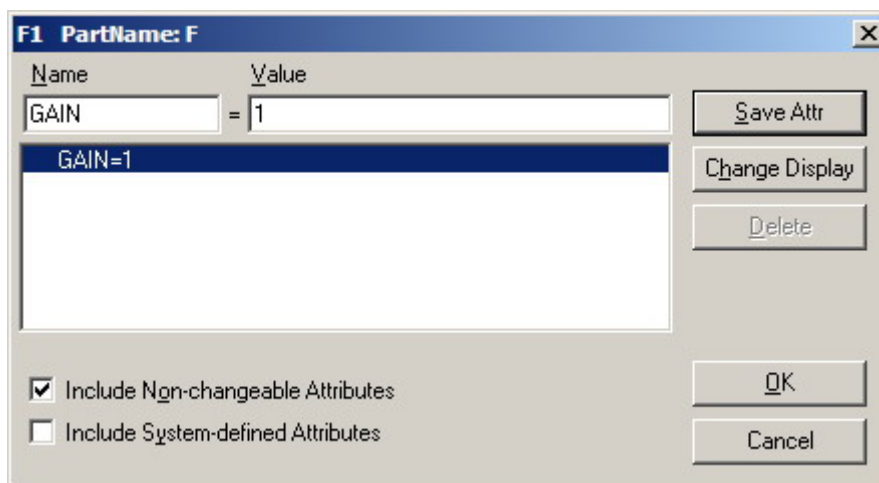
2.3.5. Зависни напонски и струјни генератори



Слика 2.18. Зависни напонски и струјни генератори у PSpice-у

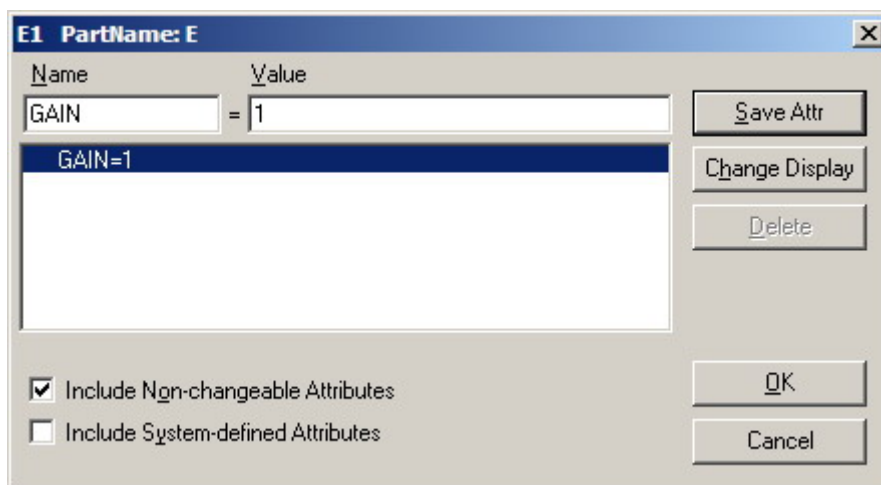
У програмском пакету PSPICE могуће је користити све облике зависних (струјних или напонских) генератора, контролисаних напоном или струјом, [6].

Струјни извор контролисан струјом означава се са F (слика 2.19.). Параметар GAIN, који у општем случају представља однос контролисане и контролишуће величине, у овом случају је неименована величина различита од нуле (може бити позитивна или негативна). Стандардна вредност овог параметра је 1.



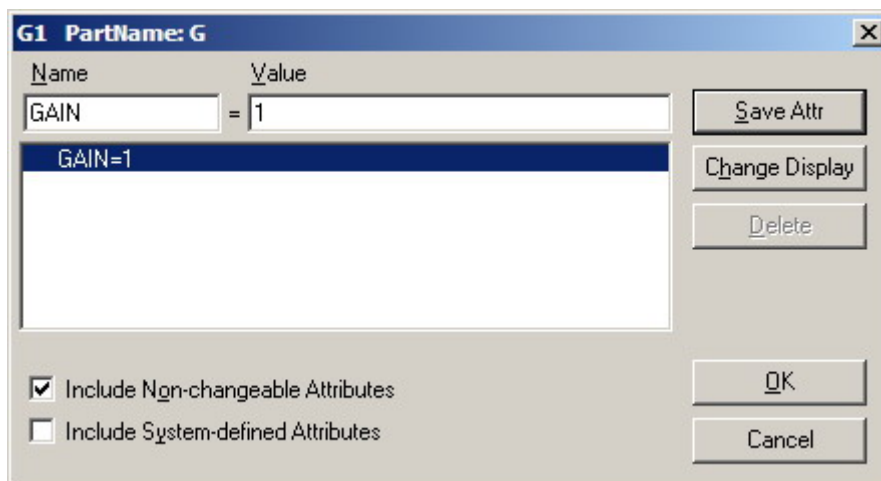
Слика 2.19.

Напонски извор контролисан напонам обележава се са Е (слика 2.20.). Аналогно струјом контролисаном струјним извором и овде је параметар GAIN неименована величина.



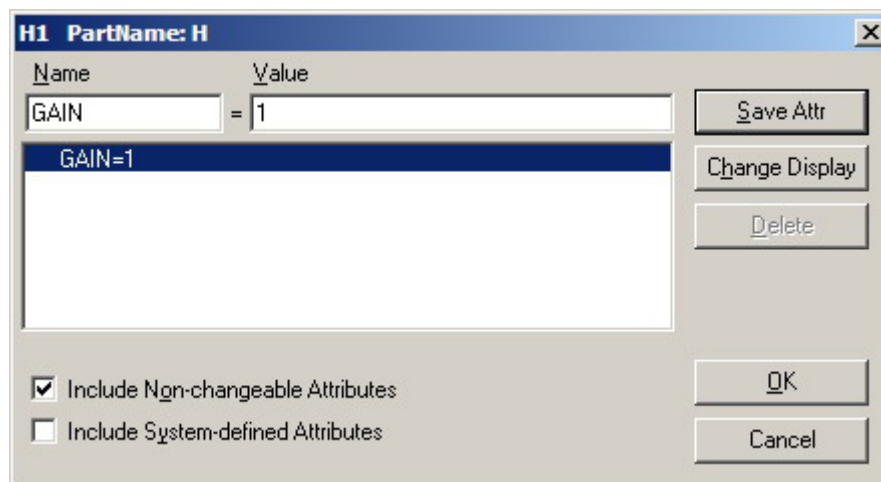
Слика 2.20.

Словом Н означава се напонски извор контролисан струјом (слика 2.21.). Овог пута се подразумева да је вредност GAIN-а задата у Омима (Ω).



Слика 2.21.

Параметар GAIN у случају струјног извора контролисаног напонем који се означава са G (слика 2.22.), задаје се у Сименсима (S).



Слика 2.22.

3. СИМУЛАЦИЈЕ У ПРОГРАМСКОМ ПАКЕТУ PSPICE НА ПРИМЕРУ RC КОЛА

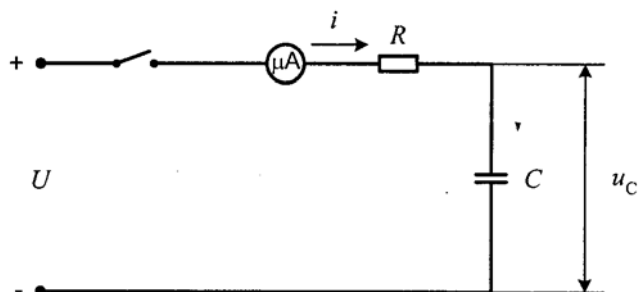
3.1. Циљ вежбе и шеме веза

Циљ ове вежбе је:

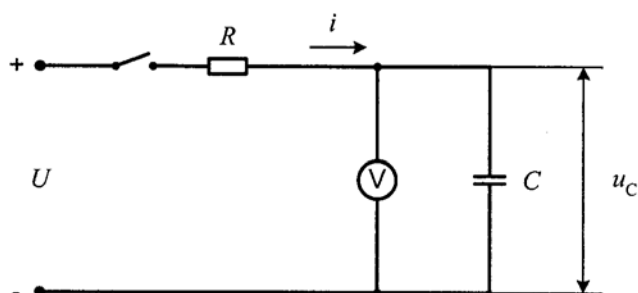
- да се студенти упознају са коришћењем PSPICE програмског пакета за симулацију електронских кола,
- да студенти самостално креирају симулацију RC кола,
- показати да у колу једносмерне струје са редно везаним отпорником и кондензатором струја тече само при пуњењу кондензатора (и при пражњењу), тј.у прелазним процесима све до успостављања устаљеног стања у колу.

Коришћењем програмског пакета PSPICE извршићемо симулацију R, C везе и анализираћемо прелазне процесе у колу.

На сликама 3.1. и 3.2. ћемо видети шеме веза, а потребан прибор за ову вежбу је рачунар са инсталираним PSPICE софтверским пакетом.



Слика 3.1.1.



Слика 3.1.2.

3.2. Теоријска разматрања

После затварања прекидача у колу са редном везом отпорника отпорности R и кондензатора капацитивности C успоставља се струја и кондензатор се пуни, [1, 2]. Једначина динамичке равнотеже, по другом Кирхофовом закону, за коло на слици 3.1., под претпоставком да је отпорност амперметра врло мала у односу на величину отпорности R , је

$$Ri + u_c = U \quad (1)$$

Тренутне вредности напона на кондензатору и струје у колу су

$$u_c = \frac{q}{C}, \text{ а } i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_c}{dt}, \quad (2)$$

па је диференцијална једначина прелазног процеса

$$\frac{du_c}{dt} + \frac{1}{RC} u_c = \frac{U}{RC}. \quad (3)$$

Ако је у тренутку $t = 0^+$, кондензатор празан, $u_c(0^+) = 0$, решење диференцијалне једначине (3) је

$$u_c(t) = U \left(1 - e^{-\frac{1}{RC}t} \right), \quad (4)$$

а струја у колу из (2)

$$i(t) = \frac{U}{R} e^{-\frac{1}{RC}t}. \quad (5)$$

Струја у колу највећа је у тренутку $t = 0^+$, кондензатор представља у $t = 0^+$ кратак спој за једносмерни режим, па је струја ограничена само отпорношћу R

$$i(0^+) = \frac{U}{R}, \quad (6)$$

а затим опада по експоненцијалном закону.

После теоријски бесконачно дугог времена опадне до нулте вредности, а напон на кондензатору, при томе, од нулте вредности расте и када достигне вредност напона извора успостављена је напонска равнотежа, па је то крај прелазног процеса.

Кондензатор, при деловању једносмерног напона у колу, у устаљеном режиму представља прекид струје у колу.

Брзина успостављања равнотеже зависи од временске константе кола

$$\tau = RC \quad (7)$$

За коло приказано на слици 3.2. мора се узети у обзир утицај отпорности паралелно везаног волтметра на временску константу кола. Из полазних једначина:

$$Ri + R_V i_V = U,$$

$$i = C \frac{du_C}{dt},$$

$$i_V = \frac{u_C}{R},$$

$$i = i_C + i_V,$$

добија се диференцијална једначина за прелазни процес у колу

$$\frac{du_C}{dt} + \frac{R_V + R}{R_V RC} u_C = \frac{1}{RC} U, \quad (8)$$

где је еквивалентна отпорност

$$R_e = \frac{R_V R}{R_V + R}, \quad (9)$$

а решење, за почетни услов $U_C = 0$ у $t = 0^+$,

$$u_C(t) = \frac{R_V}{R_V + R} U \left(1 - e^{-\frac{1}{R_e C} t} \right). \quad (10)$$

Временска константа кола је

$$\tau = R_e C. \quad (11)$$

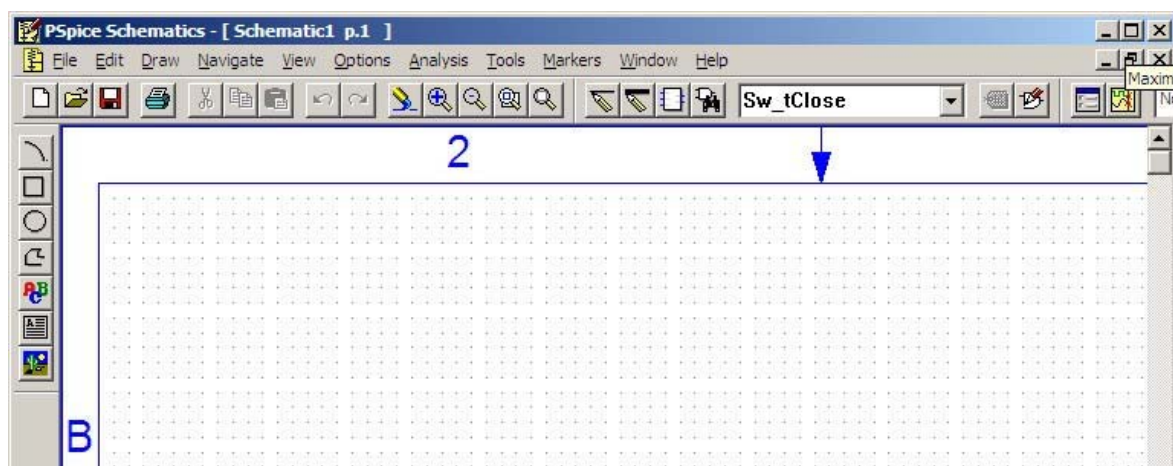
Може се закључити да паралелно везана отпорност R_V смањује временску константу кола.

3.3. Симулација RC кола

Покренути PSpice софтвер опцијом: **Start>All Programs>PSpice Student>Schematics** или кликом на **Schematics** пречицу на Desktop-у.



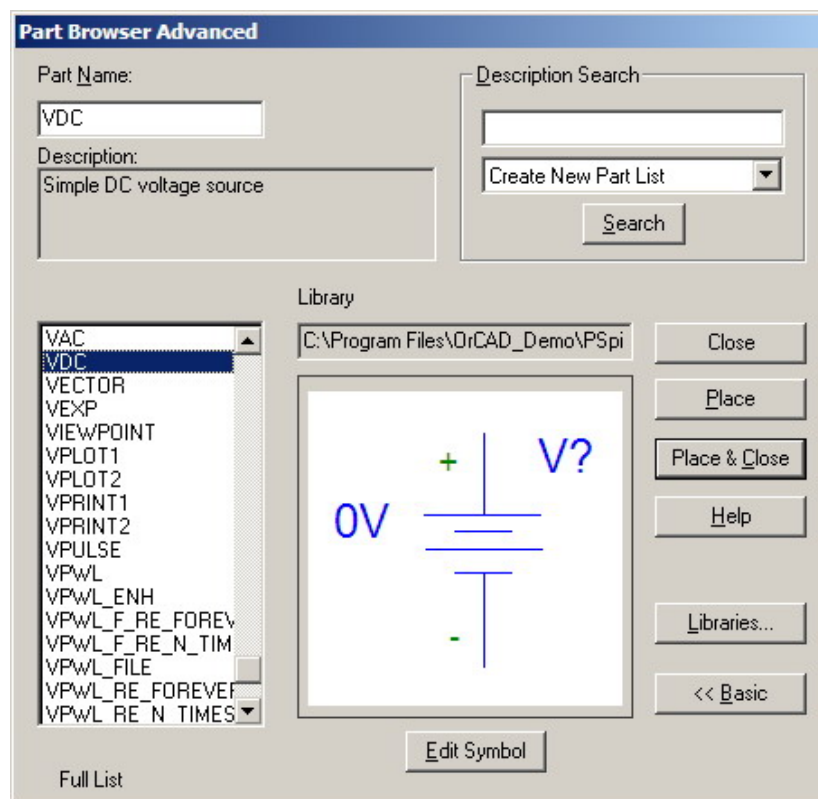
Прозор **Schematics** у коме се црта шема кола које се жели симулирати и који ће се појавити покретањем програма дат је на слици 3.3.1.



Слика 3.3.1. **Schematics** прозор који се добија покретањем PSpice програма

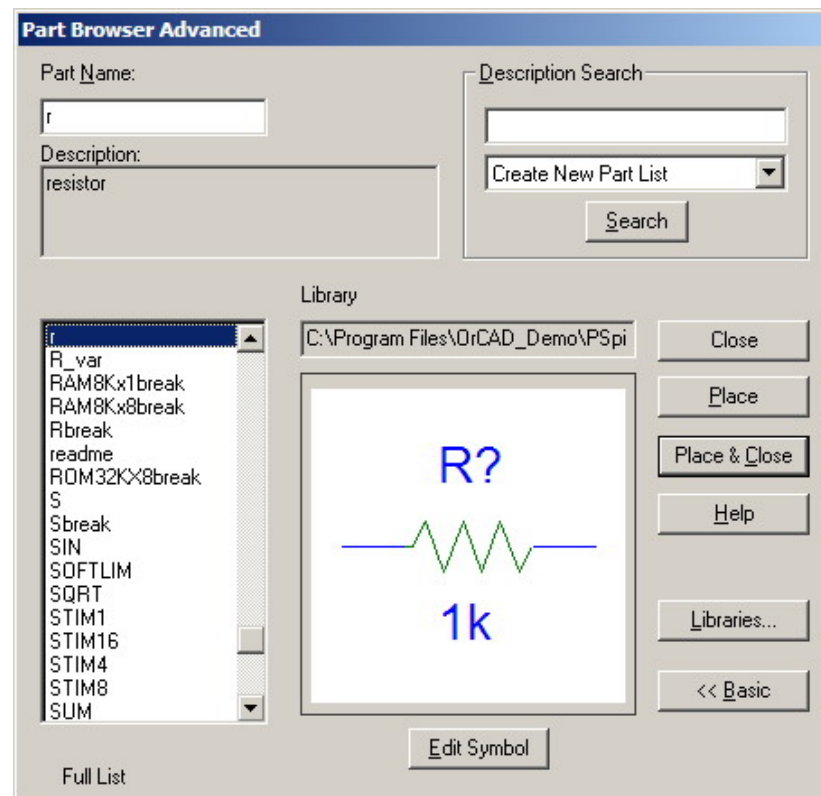
Кликнемо на поље са ознаком Draw, и после његовог активирања треба пронаћи линију са ознаком Get New Part. У простору за Part Name (име компоненте) потребно је унети име, ручно, ако се зна назив компоненте, или уз помоћ миша кликом левог тастера миша на једну од понуђених компонената (Full List).

У овом примеру прво уносимо компоненту VDC – генератор једносмерног напона (слика 3.3.2.). По селектовању ове компоненте треба кликнути на опцију Place и уз помоћ миша позиционирати компоненту на жељено место на радној површини екрана. Затим кликнемо десни тастер на мишу и бирамо следећу компоненту.

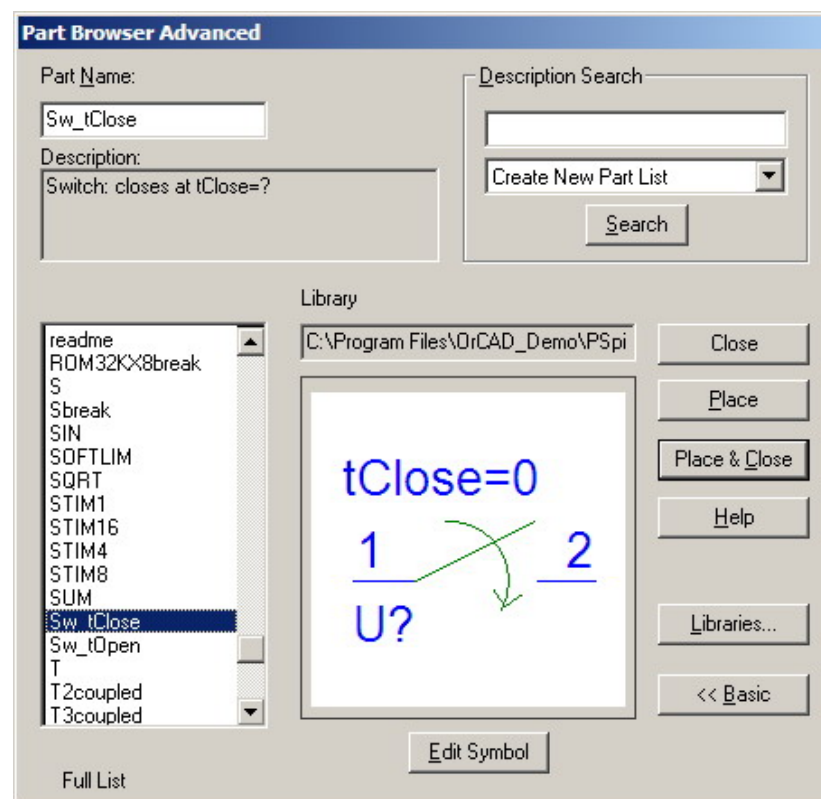


Слика 3.3.2.

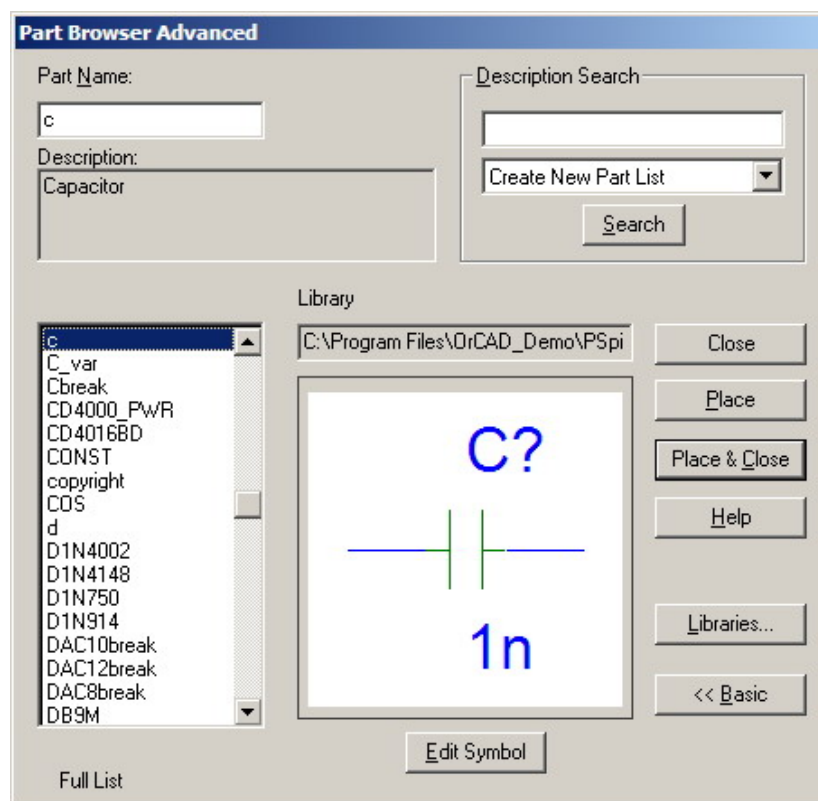
Након овога нам је потребан отпорник који се означава словом R и његов приказ можемо видети на слици 3.3.3. Остале компоненте су нам прекидач – Sw_tClose (слика 3.3.4.), кондензатор C (слика 3.3.5.) и уземљење – GND ANALOG (слика 3.3.6.). Када уносимо последњу компоненту шеме, онда левим тастером миша кликнемо на Place&Close.



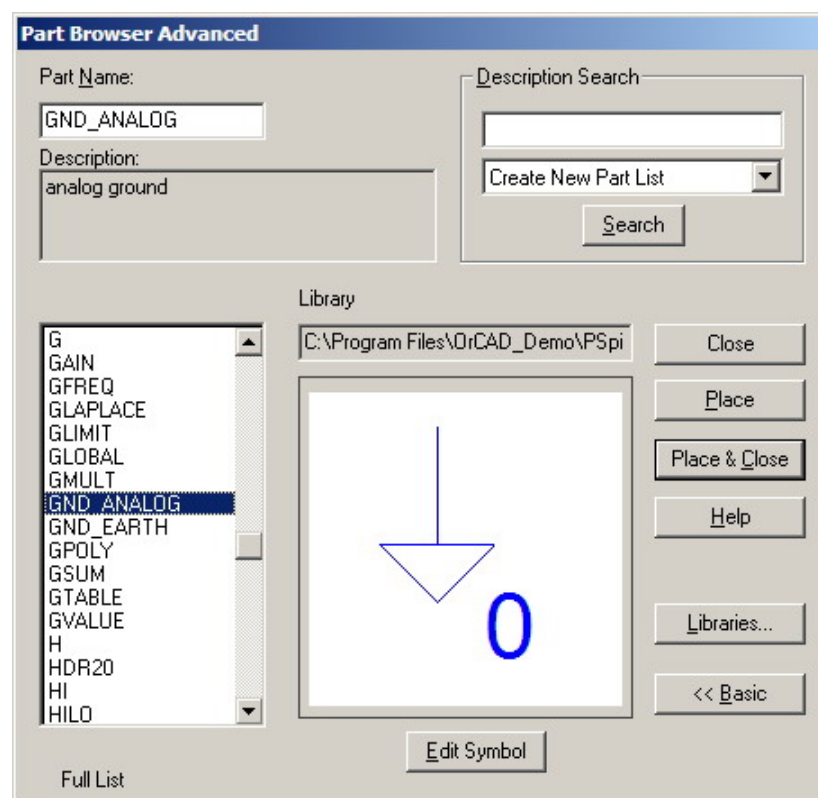
Слика 3.3.3.



Слика 3.3.4.

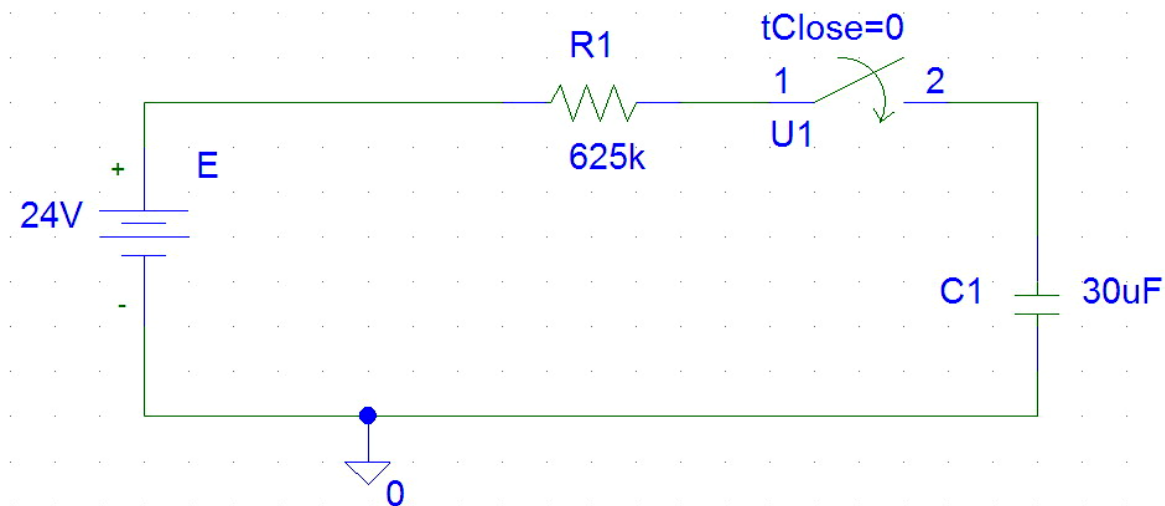


Слика 3.3.5.



Слика 3.3.6.

Потребно је померање компоненти које обављамо уз помоћ миша, тако што левим тастером означимо компоненту, држимо стиснут тастер и померамо миша све док се компонента не постави на жељено место, а затим отпустимо леви тастер миша. Да бисмо добили шему као на слици 3.3.7. морамо да ротирамо неке компоненте, да их повежемо и да им унесемо вредности.



Слика 3.3.7.

У овом примеру је потребно да ротирамо кондензатор C1. То ћемо урадити на следећи начин:

- кликом на леви тастер миша означимо кондензатор
- активирамо Edit, а потом и Rotate.

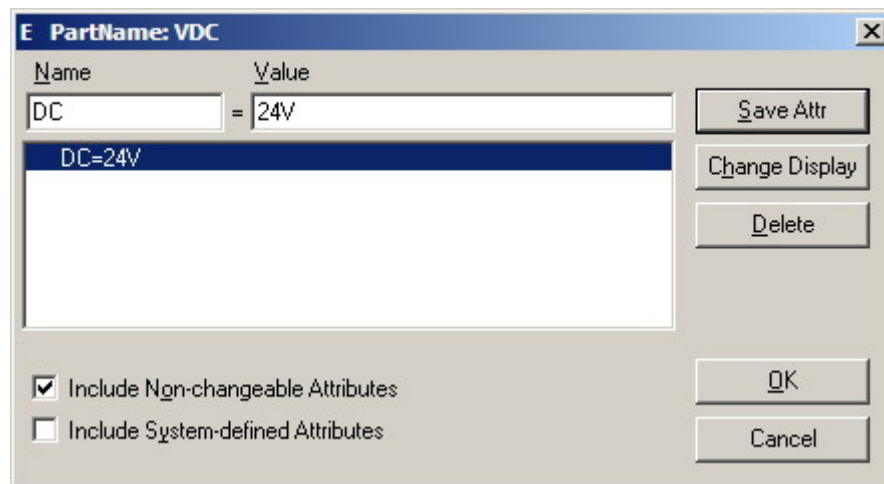
После означавања кондензатора (левим тастером миша) исти поступак је могао и да се изведе и са тастатуре истовременим притиском на типке Ctrl и R.

У менију пронађемо Draw, а затим кликнемо на Wire. Курсор се сад променио, па уместо стрелице он има изглед оловке. Исти резултат даје и клик левог тастера миша на иконицу.

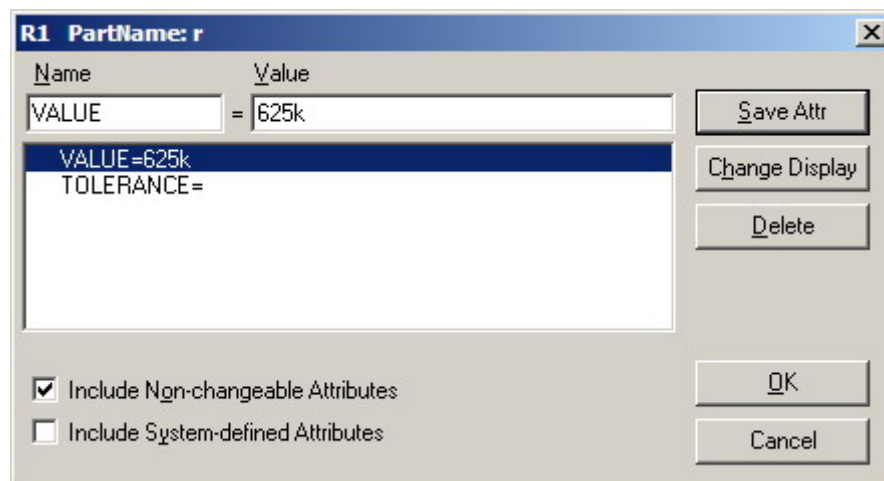


Курсор у облику оловке поставимо на крај компоненте, затим кликнемо левим тастером миша и доведемо курсор на други крај који желимо спојити у шеми и поновним кликом левог тастера миша уместо испрекидане линије појавиће се пуна, означена линија која показује жељени спој. Пошто је и даље курсор у виду оловке, можемо спојити све компоненте да бисмо добили жељену шему. На крају ће клик на десни тастер миша вратити курсор на стандардни изглед.

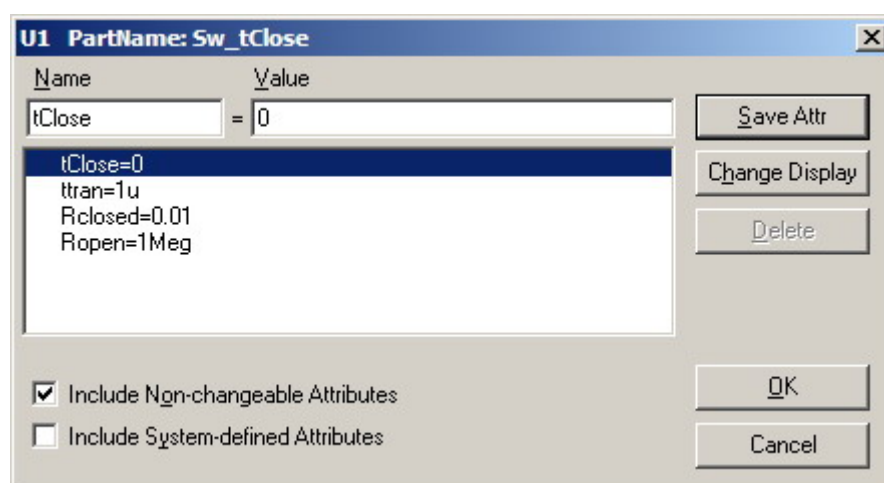
Двоструким кликом левог тастера миша на вредност компоненте отвара се прозор у који се уписује нова вредност. У нашем примеру RC кола дати су почетни услови чије су бројне вредности: $E=24\text{ V}$, $R=625\text{ k}$, $C=30\text{ nF}$. На следећим сликама ћемо видети бројне вредности сваког од елемената у датој шеми.



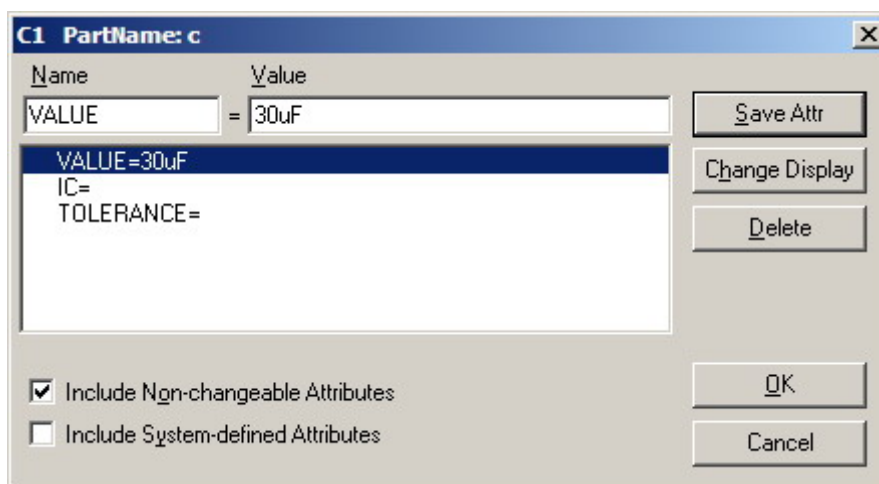
Слика 3.3.8.



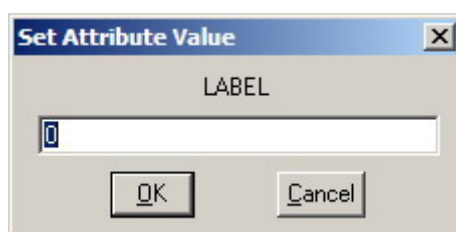
Слика 3.3.9.



Слика 3.3.10.



Слика 3.3.11.

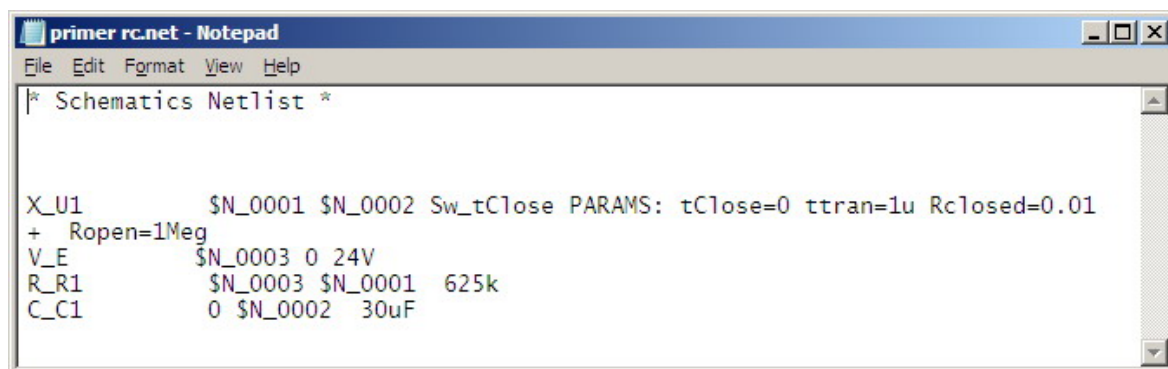


Слика 3.3.12.

На крају треба запамтити Schematic File, а то се ради стандардним командама File и Save, или истовременим притиском на Ctrl и S.

Пре него што се пусти симулација потребно је проверити исправност нацртане електричне шеме, према правилима за уношење и повезивање елемената. Овај поступак се обавља активирањем Analysis, а потом Electrical Rule Check. Креирање нет листе (листе повезаности елемената шеме) обавља се активирањем у менију Analysis, а затим и Create Netlist, или аутоматски приликом стартовања симулације.

Шема може бити електрично исправна, што још увек не значи да је функционална према нашим захтевима. Ако се корисник придржава упутства за правилно цртање шеме грешке ће бити сведене на минимум. Најбоље је проверити повезаност елемената у нет листи, а ово се обавља активирањем Analysis, а потом и Examine Netlist, после чега се добија, за наш пример слика 3.3.13.

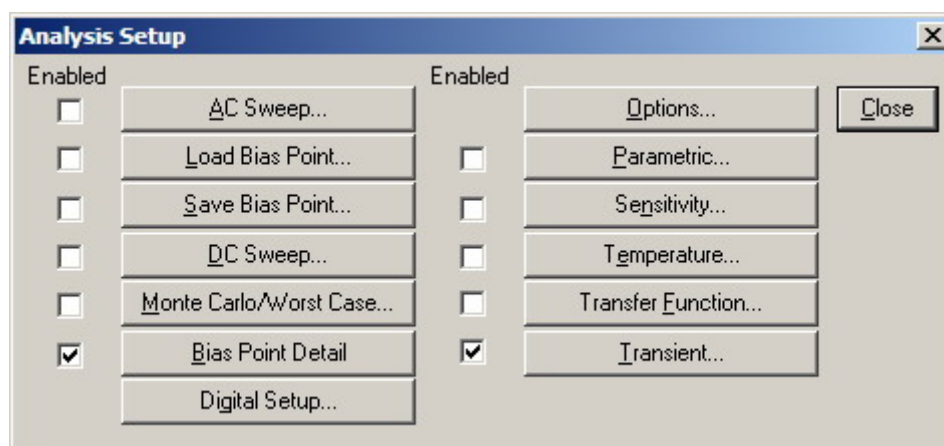


Слика 3.3.13.

Нет листа приказана на слици 3.3.13. показује да је:

- прекидач X_U1 је повезан између чворова \$N_0001 и \$N_0002 и има следеће параметре: tClose=0, ttran=1 u, Rclosed=0.01, Ropen=1 Meg,
- генератор једносмерног напона V_E повезан између чворова \$N_0003 и 0 и има вредност 24 V,
- отпорник R_R1 је повезан између чворова \$N_0003 и \$N_0001 и има вредност 625 k,
- кондензатор C_C1 је повезан између чворова 0 и \$N_0002 и има вредност 30 uF.

Сада је потребно задавање анализе. Покретањем Analysis, а потом Setup добија се прозор који служи за задавање типа, као и подешавање параметара анализе (слика 3.3.14.).



Слика 3.3.14.

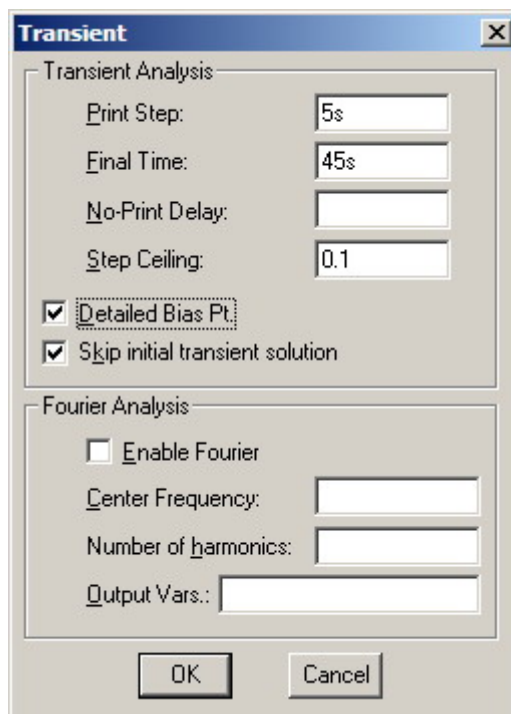
Ми ћемо радити анализу у временском домену (Transient) тј. анализу прелазног режима и она почиње од $t=0$. Да би анализа имала смисла потребно је дефинисати побуде које се мењају са временом, VSIM, ISIN, VPULSE, IPULSE и сл.

Анализа се задаје покретањем следећих опција из менија:

- Analysis

- Setup
- Transient.

После овога добија се прозор приказан на слици 3.3.15. где ми уносимо потребне вредности.



Слика 3.3.15.

Према овој слици треба попунити поља чија су значења:

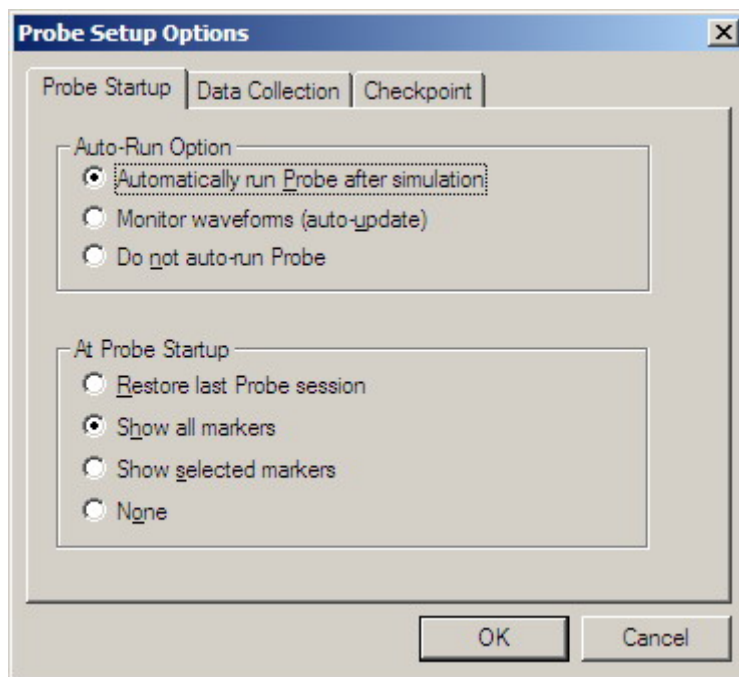
- Print Step – корак записивања резултата у излазну датотеку
- Final Time – укупно време анализе
- No-Print Delay – време од почетка анализе за које се не записују резултати. Оно се односи на приказивање резултата било у графичком прозору PROBE, било у излазnoj датотеци, а често се користи код дугих временских анализа сложенијих кола ради скраћивања дужине излазне (.out) или датотеке која се користи за PROBE(.dat)
- Step Ceiling – максимално време између тачака за које се обавља симулација, односно приказивања резултата анализе
- Detailed Bias Pt. – шаље вредности мирне радне тачке у излазну датотеку (Analysis, Examine Output)
- Skip initial transient solution – приликом рачунања почетних услова узима вредности које су специфициране у пољима IC= што је код кондензатора напон, а код калема струја, или вредности које се уносе преко симбола IC1, IC2, NODESET1, NODESET2 (Get New Part). На основу ових вредности добијају се почетне вредности напона и струја осталих елемената. Ова опција често се користи код дуготрајних прелазних процеса у циљу скраћивања трајања анализе.

Напомена:

При транзијентној анализи нумерички (итеративним поступком) се решавају диференцијалне једначине које описују дато коло. Програм ради тако да максимизира време између тачака за које се ради симулација, а да при томе грешка не пређе задату максималну вредност, све са циљем да трајање симулације буде што краће. Због овога PSPICE има адаптивни временски корак за тачке у којима се ради симулација. После графичког приказивања резултата не виде се све значајне тачке, ако се не специфицира време Step Ceiling. Код анализа у којима се периодично, са периодом T , понављају временски облици, компромисно треба поставити вредност $\text{Step Ceiling} \leq T/50$.

Неки резултати анализе се налазе и у излазној датотеци (Analysis, Examine Output) – подаци о напонима чворова у мирној радној тачки, параметри за мале сигнале нелинеарних елемената, коефицијенти Фуријеове анализе.

Програм PROBE графички приказује резултате анализе PSPICE-а. Улажење у програм може се обавити аутоматски после сваке анализе, или по потреби. Ово се поставља покретањем следећих опција из менија, Analysis, а затим Probe Setup, након чега треба да се добије прозор у коме се постављају вредности битне за приказивање резултата (слика 3.3.16.)

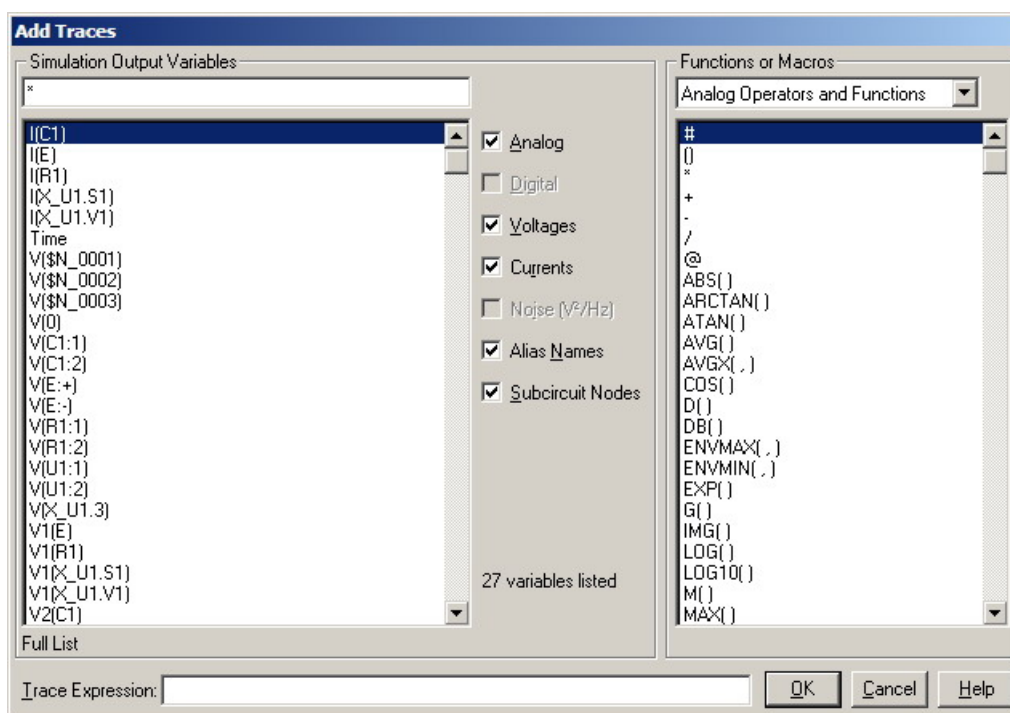


Слика 3.3.16.

Ако се не жели стартовати PROBE после симулације (нпр. када се само желе анализирати резултати у излазној датотеци) онда треба означити опцију Do not auto-run Probe. Ако после овога којим случајем желимо видети облике напона или струје, то можемо учинити из менија, активирањем Analysis, а потом и Run Probe.

Да бисмо графички приказали резултате анализе активирамо из менија Analysis, а затим Simulate или Run Probe. Покретањем опције из менија Trace, а потом и Add Trace. После овога на екрану се отвара прозор који пружа разне могућности приликом приказивања резултата анализе кола, слика 3.3.17.

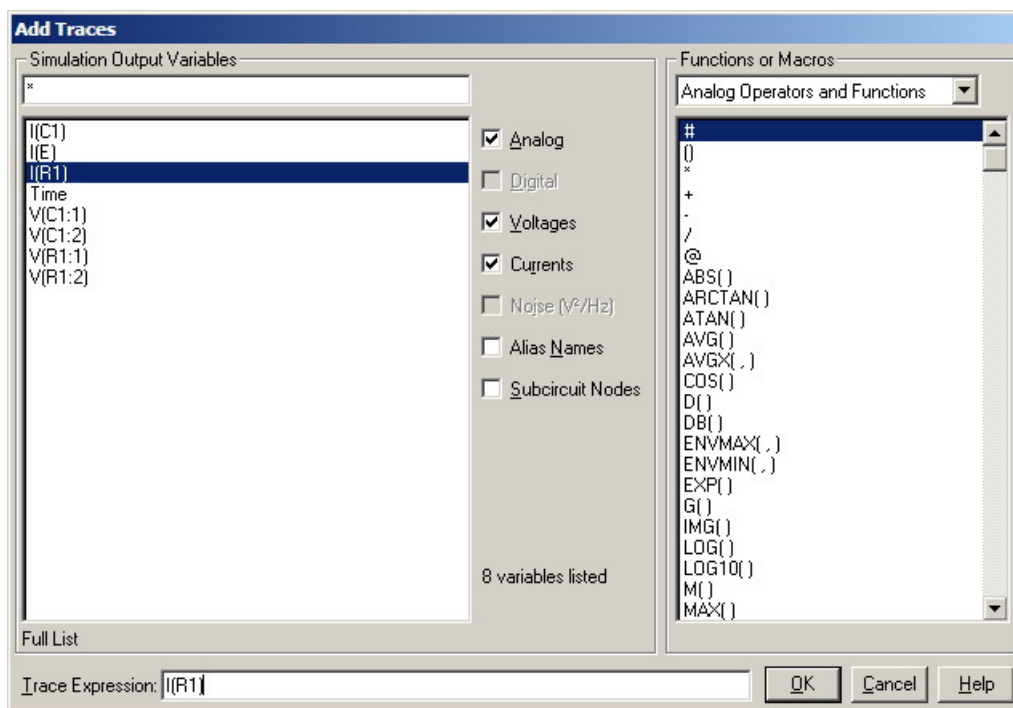
У левом делу овог прозора (Simulation Output Variables) налазе се вредности напона и струја за које је обављена анализа и које се могу приказати у програму PROBE. У десном делу прозора (Functions or Macros) приказане су операције које се могу применити на дијаграме напона и струја. У средњем пољу понуђене су опције чијим се деселектовањем смањује број променљивих које се желе приказати у левом прозору. Употреба овог поља пружа могућност лакшег проналажења жељене величине, нарочито у случају великог броја модула чије нас локалне променљиве најчешће не занимају. Селектовање – деселектовање се обавља на класичан начин, кликом левог тастера миша на ознаку испред опције.



Слика 3.3.17.

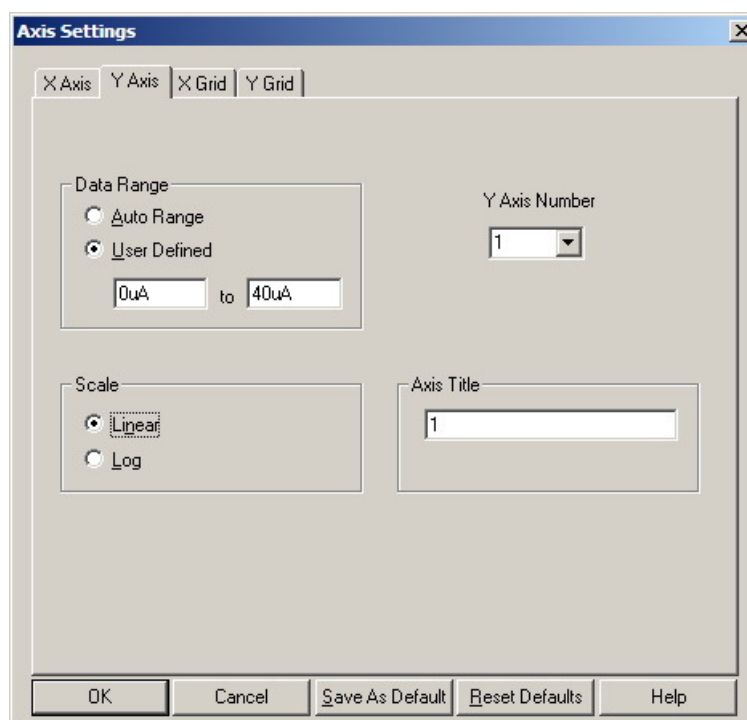
На слици 3.3.18. можемо видети прозор који је добијен тако што су деселектоване вредности за Alias Names и Subcircuit Nodes, и остале су вредности аналогних напона и струја.

Да бисмо добили график струје потребно је да кликнемо левим тастером миша на поље променљиве I(R1), као што се види на слици 3.3.18..



Слика 3.3.18.

После завршетка анализе и уласка у PROBE, овај програм аутоматски, према задатој анализи поставља опсег вредности по X и Y оси. Подешавање оса графика обавља се у прозору приказаном на слици 3.3.19. До њега се долази двоструким кликом левог тастера миша било на X, било на Y осу.



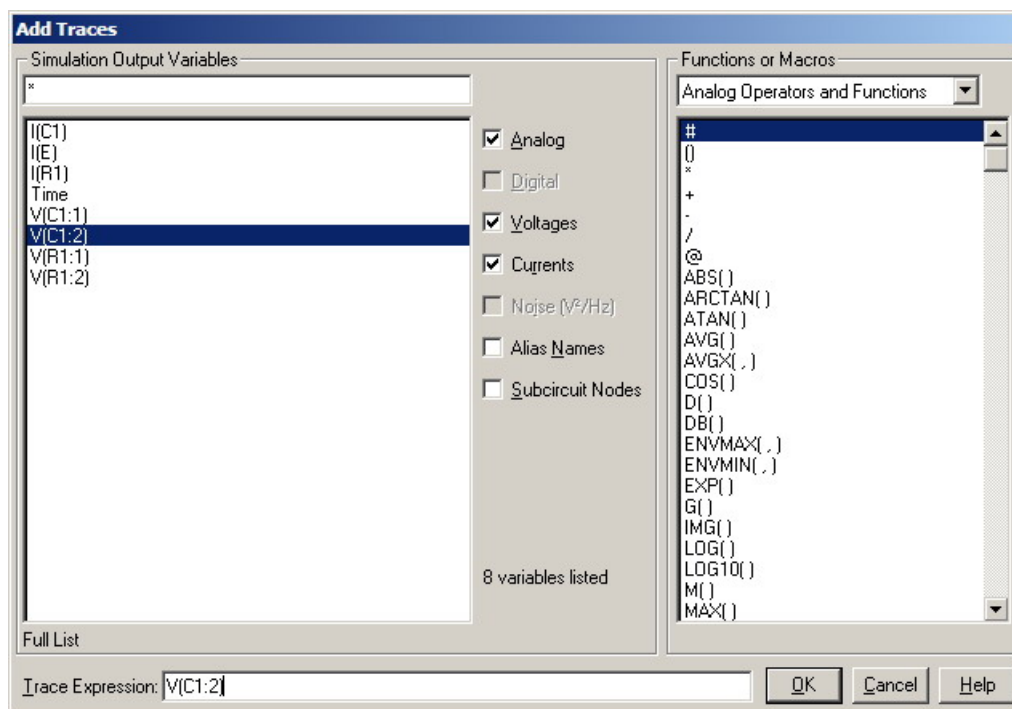
Слика 3.3.19.

На слици 3.3.20. видимо временски облик струје.



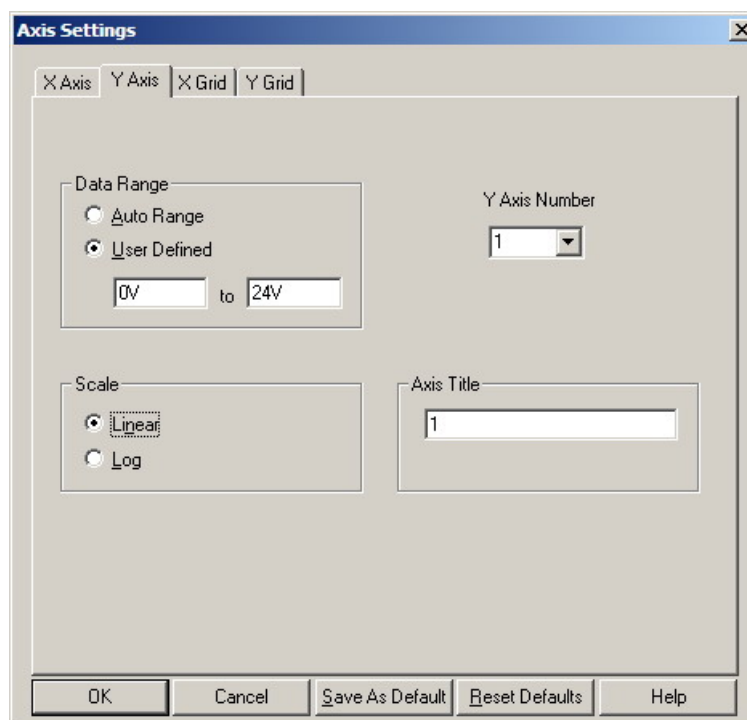
Слика 3.3.20.

Да бисмо добили график напона потребно је да кликнемо левим тастером миша на поље променљиве V(C1:2), као што се види на слици 3.3.21..



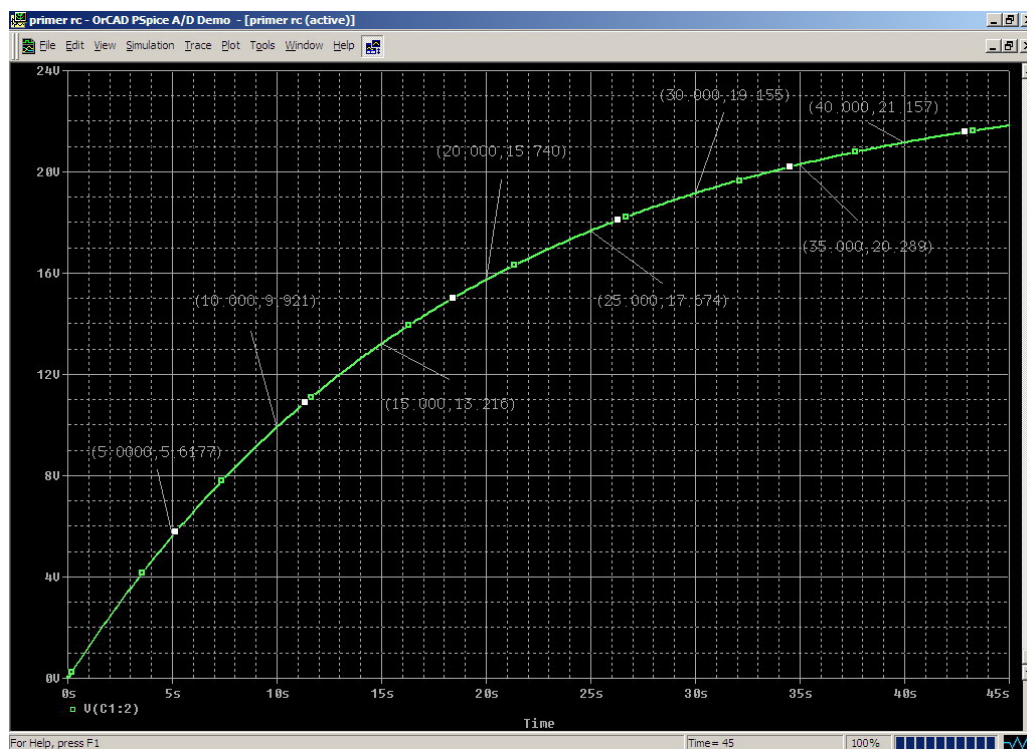
Слика 3.3.21.

Затим подешавамо осу графика као у прозору приказаном на слици 3.3.22.



Слика 3.3.22.

Симулација на слици 3.3.23. приказује временски облик напона на кондензатору.



Слика 3.3.23.

Са добијених дијаграма читавамо вредности струје и напона у појединим временским интервалима и добијамо табелу 3.1.

t (s)	i (μA)	u_C (V)
5	29,412	5,6177
10	22,527	9,921
15	17,254	13,216
20	13,216	15,740
25	10,122	17,574
30	7,7528	19,155
35	5,938	20,289
40	4,5482	21,157

Табела 3.1.

3.4. Рад у лабораторији

Циљ вежбе је остварити коло једносмерне струје, са редно везаним активним отпором R и кондензатором капацитета C и видети да у колу једносмерне струје са кондензатором, струја тече само док се кондензатор не напуни, односно док се не успостави напонска равнотежа, [2].

Прибор:

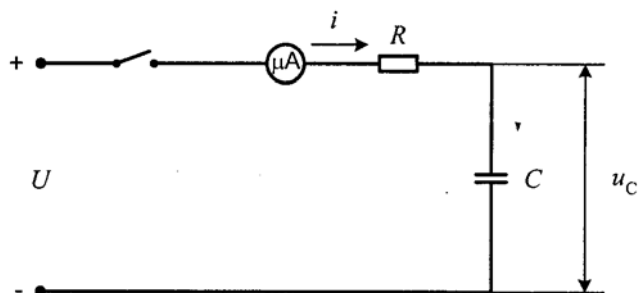
- Високоомски универзални инструмент,
- Отпорник (декадна кутија за струје до 30 mA),
- Кондензатор,
- Прекидач,
- Штоперица.

Задатак:

- Снимити и нацртати дијаграм струје у функцији времена,
- Снимити и нацртати криву промене напона при пуњењу кондензатора у функцији времена.

Поступак:

За снимање дијаграма струје у зависности од времена у прелазном процесу повезати коло као на слици 3.4.1.

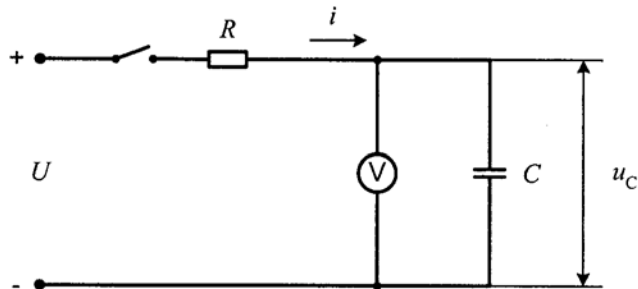


Слика 3.4.1.

После проверавања шеме веза, кондензатор испразнити кратким спајањем крајева и коло прикључити на радни напон, који се претходно измери. Затворити прекидач и кроз једно пуњење направити пробно снимање криве. Отворити прекидач и поново испразнити кондензатор. Сада снимити струју пуњења кондензатора, с тим што ће се у тренутку затварања прекидача измерити почетна струја, а затим сваких 5 секунди очитавати вредност струје у колу. Време мерити штоперицом и мерење понављати док струја не ишчезне.

Пошто је при овом мерењу јачина струје реда микроампера, универзални инструмент подесити за мерење једносмерних струја ($50 \div 100$) μA .

За друго мерење везати шему као на слици 3.4.2.



Слика 3.4.2.

Универзални инструмент подесити за мерење једносмерних напона до 25 V и одредити отпорност волтметра на том мерном опсегу из датих података на инструменту. На потпуно исти начин као при снимању дијаграма струје, снимити промену напона при пуњењу кондензатора. Кондензатор је напуњен када се на његовим крајевима напон више не мења.

У табели 3.2. можемо видети које мерне инструменте користимо.

ИНСТРУМЕНТ	АМПЕРМЕТАР	ВОЛТМЕТАР
МЕРНИ СИСТЕМ	аналогни	дигитални
КЛАСА ТАЧНОСТИ	1 μA	0,1 V
ОПСЕГ ПРИ МЕРЕЊУ	0 $\div$ 50 μA	0 $\div$ 200 V

Табела 3.2.

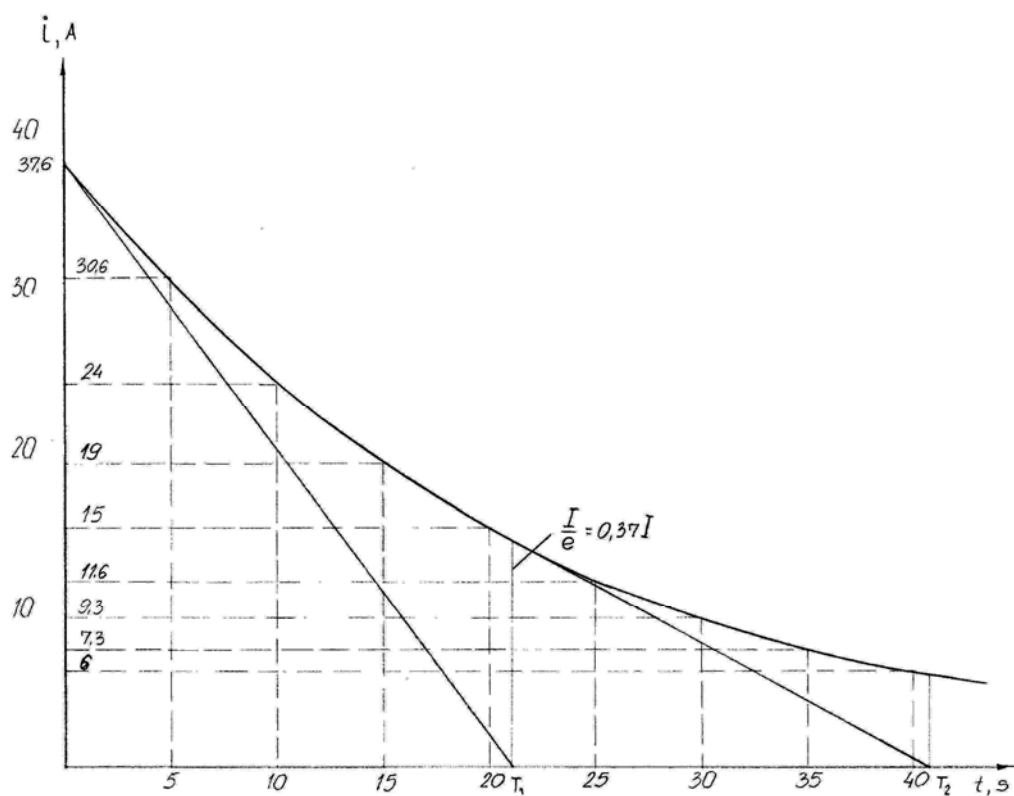
На основу добијених података које смо унели у табелу 3.3. нацртати дијаграме промене струје и напона при пуњењу кондензатора.

t (s)	i (μ A)	u_C (V)
0	37,6	0,1
5	30,6	5,87
10	24	10,03
15	19	13,03
20	15	15,47
25	11,6	17,13
30	9,3	18,57
35	7,3	19,5
40	6	20,2

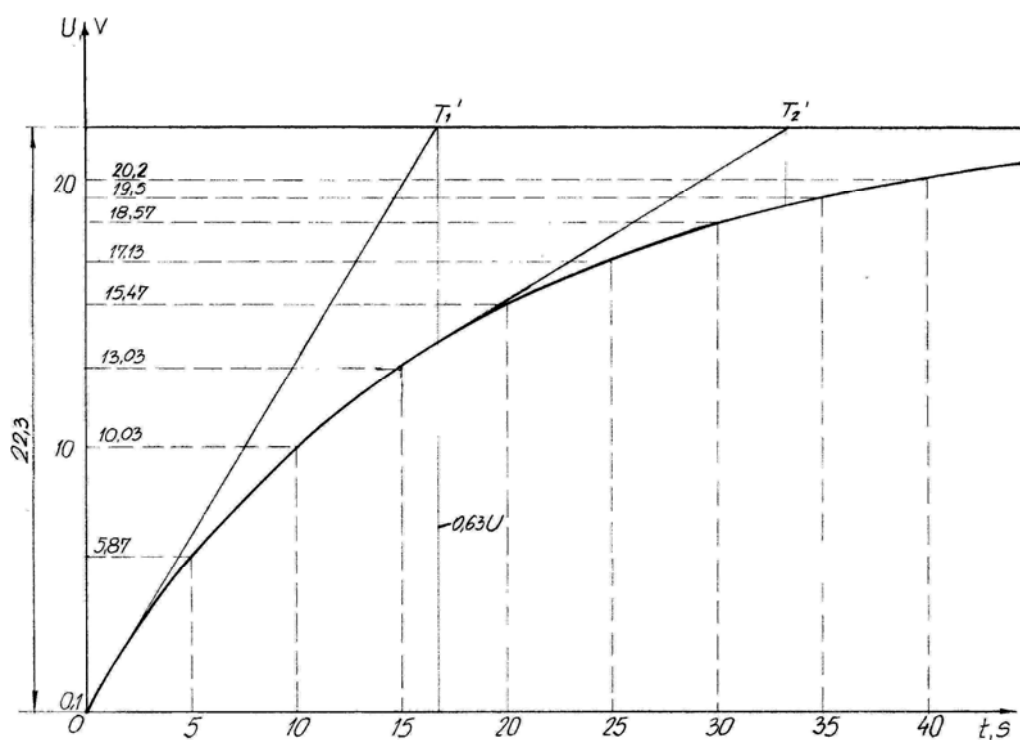
Табела 3.3.

Када упоредимо вредности из табела 3.1. и 3.3. видимо да су одступања врло мала, па закључујемо да симулацијом у PSPICE-у и радом у лабораторији добијамо готово идентичне дијаграме са занемарљивим одступањима у поједијним тачкама. Овај програмски пакет је веома добар за извођење вежби из предмета Електротехника са електроником јер убрзава процес ручног мерења тражених вредности.

Добијени дијаграм струје при пуњењу кондензатора у функцији од времена дат је на слици 3.4.3., а крива промене напона при пуњењу кондензатора у функцији од времена дата је на слици 3.4.4.



Слика 3.4.3. Дијаграм струје

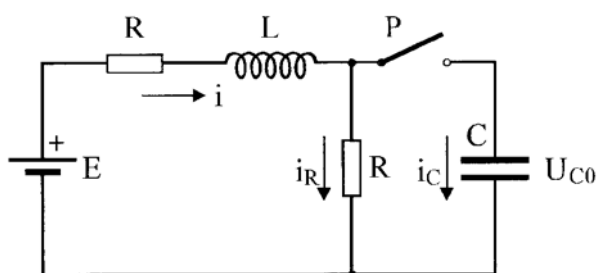


Слика 3.4.4. Дијаграм напона

4. ПРИМЕНА PSPICE-a У ЕЛЕКТРИЧНОМ КОЛУ СА R, L, C КОНЦЕНТРИСАНИМ

4.1. Анализа електричног кола са регуларном комутацијом

У колу на слици 4.1., које се налази у стационарном стању у тренутку $t=0$ укључује се прекидач P. Почетна вредност напона на кондензатору је U_{C0} , са поларитетом као на слици. Треба одредити временске изразе за $i(t)$ и $u_c(t)$.



Слика 4.1.

Независни почетни услови за коло су:

$$i(0) = \frac{E}{2R} = 1A, \quad u_c = -U_{C0} = -1V.$$

За напон на кондензатору узимамо негативну вредност, јер позитиван смер почетног напона кондензатора U_{C0} не одговара позитивном смеру струје кроз кондензатор према којој рачунамо временску функцију напона кондензатора у прелазном режиму, [3].

Једначине равнотеже напона и струја за време после комутације, $t \geq 0$, гласе:

$$u_c + Ri + L \frac{di}{dt} = E$$

$$i = \frac{u_c}{R} + C \frac{du_c}{dt}$$

Ако из прве једначине израчунамо u_c и заменимо у другу једначину, после сређивања добијамо диференцијалну једначину за одређивање струје:

$$LC \frac{d^2 i}{dt^2} + \left(RC + \frac{L}{R} \right) \frac{di}{dt} + 2i = \frac{E}{R}$$

којој одговара карактеристична једначина:

$$LCp^2 + \left(RC + \frac{L}{R} \right) p + 2 = 0$$

$$p^2 + 2p + 2 = 0.$$

Нуле карактеристичне једначине су пар коњуговано-комплексних бројева:

$$p_{1,2} = -1 \pm j,$$

па је струја слободног режима облика:

$$i_h = e^{-t} (K_1 \sin t + K_2 \cos t).$$

Како је струја принудног режима:

$$i_p = \frac{E}{2R} = 1A,$$

укупна струја прелазног режима износи:

$$i = 1 + e^{-t} (K_1 \sin t + K_2 \cos t).$$

Зависан почетни услов можемо израчунати из једначине равнотеже напона, примењујући је за $t=0_+$ и водећи рачуна о независним почетним условима:

$$\left(\frac{di}{dt} \right)_{0_+} = \frac{E - Ri(0) - u_c(0)}{L} = 2A/s.$$

На основу вредности $i(0)=1$ А и из последње добијеног израза одређујемо интеграционе константе:

$$K_1 = 2A \text{ и } K_2 = 0,$$

па је укупна струја кроз индуктивитет у прелазном режиму:

$$i(t) = (1 + 2e^{-t} \sin t) A.$$

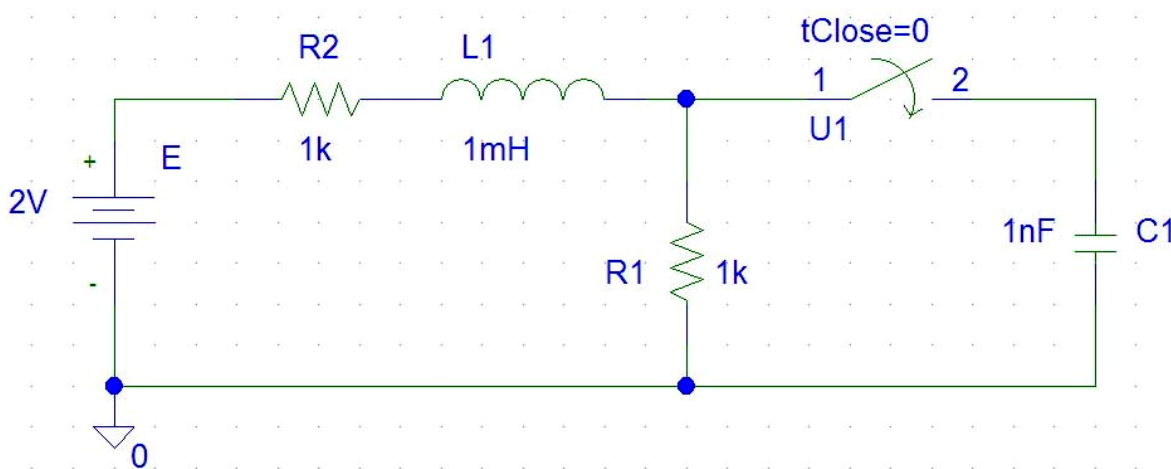
Према једначини равнотеже напона, за напон кондензатора у прелазном режиму добијамо:

$$u_c(t) = (1 - 2e^{-t} \cos t) V.$$

Коло је дато са почетним условима, а комутација је регуларна. Постављене су следеће бројне вредности: $E=2$ V, $U_{C0}=-1$ V, $R=1$ k, $L=1$ mH, $C=1$ nF.

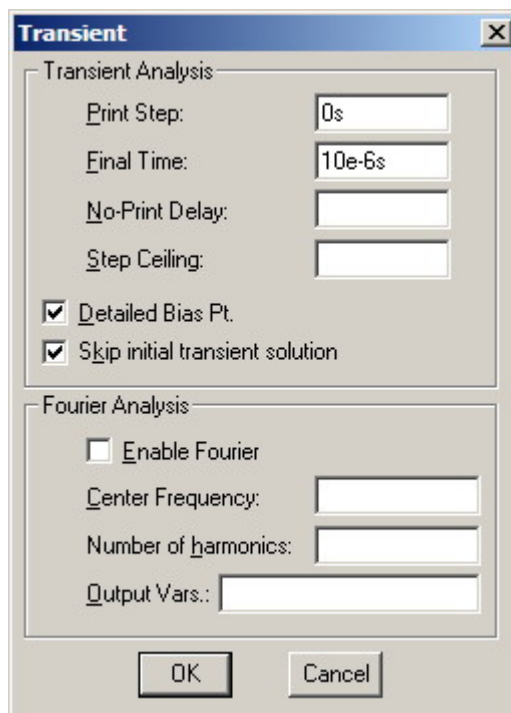
4.2. Симулација електричног кола са регуларном комутацијом

Када исцртамо шему кола и унесемо задате вредности добијамо коло као на слици 4.1.1.



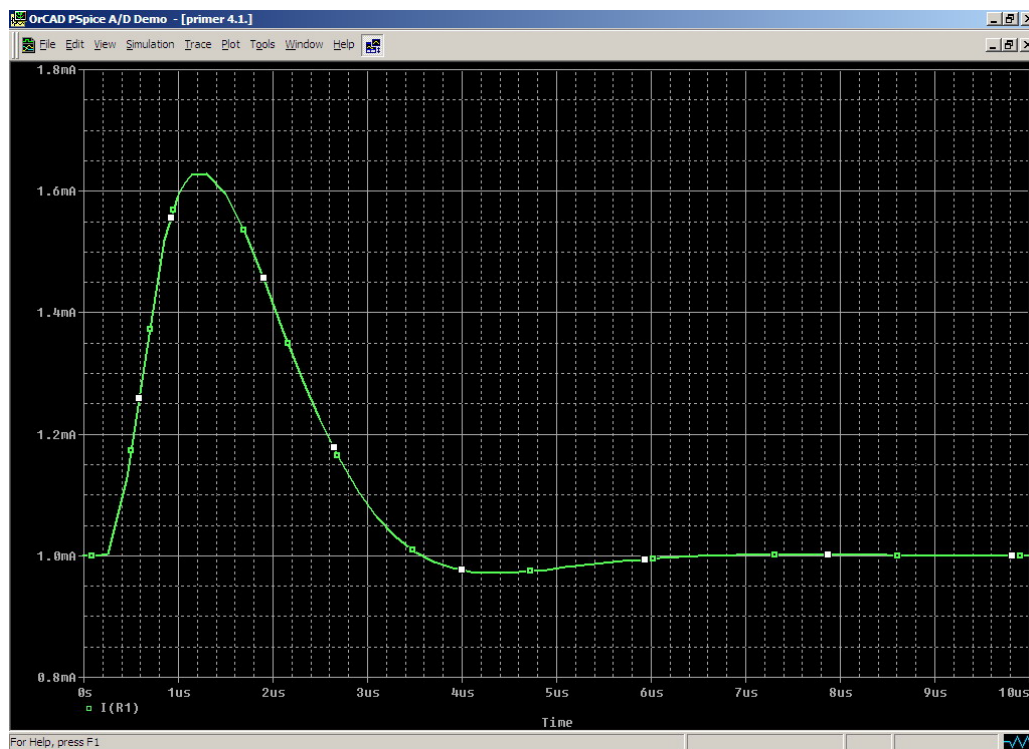
Слика 4.1.1.

Ми ћемо радити анализу у временском домену (Transient) и уносимо вредности као што се види на слици 4.1.2.



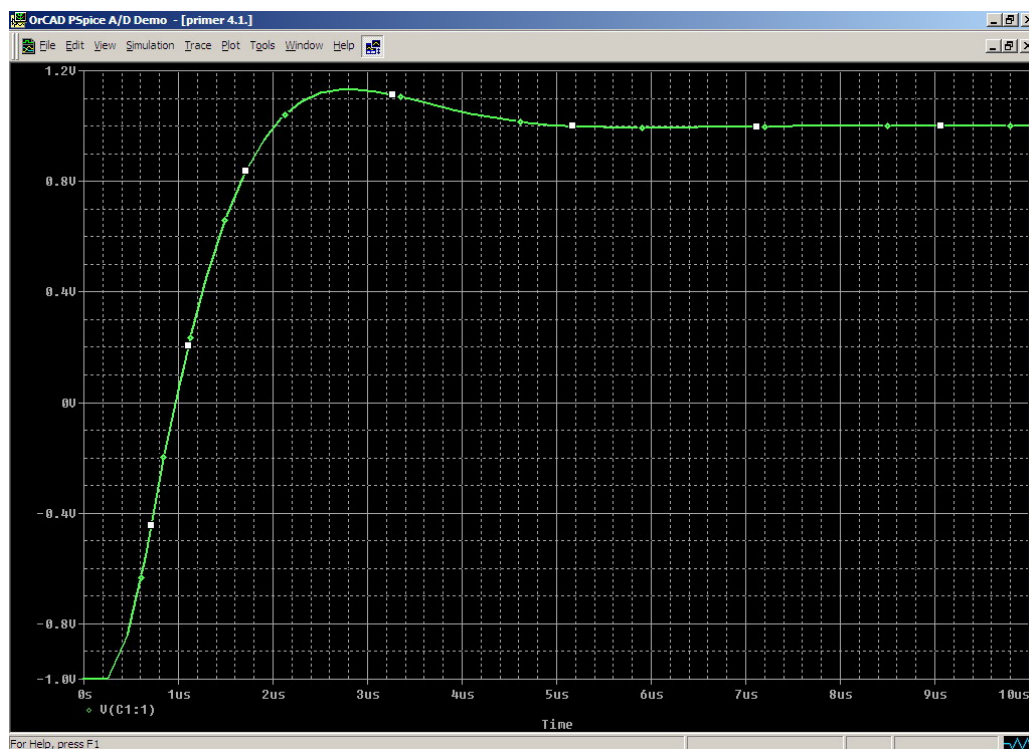
Слика 4.1.2.

На слици 4.1.3. видимо временски облик струје. Видимо да је почетна вредност $i(0) = -1 \text{ mA}$, на почетку временског интервала (мало t) сигнал се мења по синусном закону, а са повећањем t доминира члан e^{-t} и сигнал се асимптотски приближава јединици.



Слика 4.1.3.

Симулација на слици 4.1.4. приказује временски облик напона на кондензатору $u_C(t)$.



Слика 4.1.4.

5. ЗАКЉУЧАК

Експанзија хардверског развоја персоналних рачунара, праћена добром софтверском подршком, омогућава све ширу примену рачунара на пољу анализе реалних система на основу модела којима се они симулирају на рачунару. Резултати добијених симулација врло мало одступају од реалних тако да се с довољном тачношћу могу користити како за проверу теоријских резултата тако и у практичној реализацији, [4].

У овом дипломском раду дати су примери примене програмског пакета PSPICE у анализи и симулацији електричних кола која се јављају у оквиру предмета Електротехника са електроником. Поред тога дато је кратко упутство за овај програмски пакет као и преглед најчешће коришћених елемената у изнетим примерима, [5]. Добијени резултати приказују веома добро слагање одзива у временском домену.

Данас су на располагању моћни рачунари и софтверски пакети програма, који омогућавају да се изврши моделовање и симулира рад сваког уређаја. Могу да се изврше мерења при варирању различитих параметара за обављање лабораторијских вежби из овог предмета. Препоручено је да се користи пакет PSPICE који има бројне предности како за рад у једносмерном устаљеном режиму DC, тако и у наизменичном режиму AC, као и у случају произвољних улазних сигнала. Изузетно је користан за симулацију прелазних процеса, како при регуларној, тако и при нерегуларној комутацији што представља чест случај у раду са електричним уређајима и машинама.

За извођење лабораторијских вежби, упознавање студената са свим могућностима уређаја, као и за проверу теоријских знања, примена рачунара представља веома користан поступак за извођење вежби.

Програмски пакет PSPICE омогућава више различитих типова анализе и симулације. Сходно природи проблема који се јављају у Електротехници са електроником акценат је стављен на анализу и симулацију одзива у временском домену (Transient Analysis/Simulation).

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Др Јасна Радуловић: *ЕЛЕКТРОТЕХНИКА СА ЕЛЕКТРОНИКОМ*, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2011.
- [2] Др Јасна Радуловић: *ЕЛЕКТРОТЕХНИКА СА ЕЛЕКТРОНИКОМ, ПРАКТИКУМ ЗА ЛАБОРАТОРИЈСКЕ ВЕЖБЕ*, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2005.
- [3] Слободан Лазаревић: *АНАЛИЗА ОДЗИВА КОЛА У ВРЕМЕНСКОМ ДОМЕНУ*, Електронски факултет у Нишу, Дипломски рад, 1998. год.
- [4] Радмила А. Петковић, Саша С. Илић, Злата Ж. Цветковић, Ненад Н. Цветковић: *ОСАВРЕМЕЊИВАЊЕ ВЕЖБИ ИЗ ПРЕДМЕТА ТЕОРИЈСКЕ ЕЛЕКТРОТЕХНИКЕ*, Електронски факултет у Нишу, 2000. год.
- [5] Душко Динчов: *ПРИМЕНА ПРОГРАМСКОГ ПАКЕТА WSPICE У АНАЛИЗИ ЕЛЕКТРИЧНИХ КОЛА*, Електронски факултет у Нишу, Семинарски рад, 2006.
- [6] http://tnt.etf.rs/~oo1ue/pdf/L4_08-ORCAD-PSPICE.pdf, јануар 2012.
- [7] http://automatika.etf.bg.ac.rs/files/predmeti/os3aes/laboratorija/pspice_1.pdf, јануар 2012.
- [8] <http://www.electronics-lab.com/downloads/schematic/013/>, јануар 2012.