

ОСАВРЕМЕЊАВАЊЕ ВЕЖБИ ИЗ ПРЕДМЕТА ТЕОРИЈСКЕ ЕЛЕКТРОТЕХНИКЕ

Радмила А. Петковић, Саша С. Илић, Злата Ж. Цветковић, Ненад Н. Цветковић,
Електронски факултет у Нишу

Садржај - Компјутер представља моћно средство које улази у све сфере живота. Циљ овог рада је да отвори дискусију о коришћењу рачунара у циљу осавремењавања лабораторијских вежби из предмета Основи електротехнике и Теорија електричних кола. Изложена је могућност примене програмског пакета WSPICE и дати су илустративни примери решавања кола коришћењем овог пакета.с посебним освртом на одређивање одзива у временском домену, како кола с регуларном такво и кола с нерагуларном комутацијом.

1. УВОД

Вежба из предмета при катедри за Теоријску електротехнику изводе се као аудитивне и лабораторијске. Проблеми везани за тренутну економску ситуацију, као и дотрајалост опреме за извођење лабораторијских вежби и немогућност набавке нових скупих инструмената, довели су до одређених тешкоћа при организовању ових вежби. У том смислу сматрамо да су сазрели услови за концепирање вежби у лабораторији уз помоћ рачунара коришћењем готових софтверских програма који пружају изузетне могућности за потврђивање градива изложеног у оквиру редовних курсева наставе и студентској анализи у односу на досадашње вежбе у лабораторији, а поготову за организовање лабораторијских вежби из предмета у којима нису биле заступљене као што је Теорија електричних кола на Електронском факултету у Нишу.

2. КОРИСНИЧКА ОРГАНИЗАЦИЈА ПРОГРАМСКОГ ПАКЕТА WSPICE 6.0 [6]

WSPICE је назив за сложени програмски пакет који се користи за симулацију и анализу рада електричних кола. Употребом овог пакета могуће је отворити следеће типове анализе:

- одређивање једносмерног режима рада,
- анализу наизменичног режима за мале сигнале и
- одређивање укупног одзива кола у временском домену.

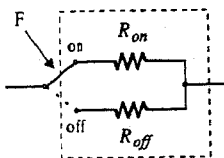
Коришћење програмског пакета WSPICE такође омогућава одређивање преносне функције, осетљивости, изобичења и фактора шума. Битна предност WSPICE у односу на раније верзије SPICE пакета, [5], је та што је реализован као WINDOWS апликација и омогућава коришћење свих погодности које пружа рад под WINDOWS-ом. 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 ближе већини потенцијалних корисника па и студентима који ће бити у могућности да га примене на лабораторијским вежбама.

Овај програм има уграђен велики фонд различитих библиотека електронских компонента, како стандардних елемената, тако и велики број модела нелинеарних компоненти (диоде, транзистора), па је један од доста коришћених програмских пакета у свету. За примену у Теорији електричних кола поменути библиотека садржи готово све неопходне елементе за дефинисање проблема који се јављају у електричним колима: идеални напонски и идеални струјни генератор, зависни напонски и зависни струјни генератор (контролисани струјом или напонем), спрегнути калемови, трансформатори, идеални водови итд. Остале потребне компоненте могу се симулирати преко зависних генератора (идеални трансформатор, негативни конвертор импедансе, жиратор, негативни инвертор импедансе, итд.).

Рад у овом програмском пакету, као што је напред речено, организован је помоћу менија типичних за WINDOWS апликације. За упис кола користи се графички Schematics editor. На овај начин коло се практично "црта" на 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. Овако коришћени оријентисан графички едитор је врло флексибилан, јер се лако могу мењати вредности параметара кола, као и конфигурација кола. Следећи корак је провера исправности повезивања електричних компонента у колу. Уколико нека компонента у колу није добро повезана ("виси"), или је, на пример, у грани између два чвора идеални напонски генератор - његова унутрашња отпорност једнака нули, па у оваквом колу нису испштована "електрична правила", програм јавља грешку, која се мора исправити, а затим програм формира листу повезаности (Net lista).

Програмски пакет WSPICE омогућава више различитих типова анализе и симулације. Сходно природи проблема који се јављају у Теорији кола акценат ће бити стављен на анализу и симулацију одзива у временском домену (Tranzient Analysis / Simulation). Пре старта транзијентне симулације потребно је дефинисати параметре те симулације. То су трајање временског интервала у коме се врши симулација, временски интервал који представља корак симулације, итд. Ови параметри подешавају се у боксу који се отвара после избора Analysis / Setup / Tranzient / опције из менија. Такође је омогућено задавање почетног напона на кондензатору и почетне струје кроз калем, што је од значаја за симулацију потпуног одзива у временском домену. Код АС домена (фреквенцијске анализе) подешавају се параметри за фреквенцијски опсег у коме се посматра амплитудска и фазна карактеристика.

Анализа одзива у основи даје временски одзив у изабраним тачкама на различитим побуде у интервалу који корисник одреди. Улазни подаци за описивање кола, које треба анализирати, као и команде којима се управља у анализи, треба да се налазе у текстуалној датотеци (ASCII file) припремљеној уз помоћ одговарајућег едиторског програма. Следећи корак је уношење листе повезаности елемената који се састоји од назива елемената, бројева чворова за које су везани и вредности параметра кола. Затим се подешавају одговарајући параметри који већ имају неке унапред одређене ("default") вредности. Тако се, на пример, подразумева да је вредност отпорника $1\text{ k}\Omega$, кондензатора 1 nF итд. У WPSPICE пакету користи се реални модел прекидача приказан на Сл.1. Дифолтне вредности елемената модела прекидача су $R_{on} = 1\Omega$ и $R_{off} = 1\text{ M}\Omega$.



Сл.1. PSpice модел реалног прекидача

Поред креирања стандардних елемената још је једна карактеристика програмског пакета је могућност избора напонске и струјне побуде различитог облика: константног (VSRC), са линеарном сегментацијом побуде (VPWL), експоненцијалног (VEXP) или синусоидалног (VCSIN). Кондензаторске петље и калемски пресеци [1] нису дозвољени.

3. ПРИМЕРИ ОДРЕЂИВАЊА ОДЗИВА У ВРЕМЕНСКОМ ДОМЕНУ

У анализи кола у предмету Теорија електричних кола посебно је од значаја одређивање одзива у временском домену. Вежба у лабораторији треба да обухвате случајеве регуларне [1] и нерегуларне комутације [4]. У овом раду ће се извршити симулација одзива на једном примеру за регуларну и једном примеру за нерегуларну комутацију.

Пример 1. Пошто је у колу на Сл.2, при преклопнику у положају 1, успостављено стационарно стање, преклопник се, у $t = 0$, пребације у положај 2. Одредити временску зависност струје кроз калем за: $R = 1\text{ k}\Omega$, $L = 1\mu\text{H}$, $C = 1\text{ nF}$ и $E = 1\text{ V}$.

Почетне вредности су

$$u_C(t=0^+) = \frac{E}{2} \text{ и } i_L(t=0^+) = 0.$$

Диференцијална једначина која режира стање у колу дата је изразом:

$$\frac{RLC}{2} \frac{d^2 i_L(t)}{dt^2} + \left(L + \frac{R^2 C}{2} \right) \frac{di_L(t)}{dt} + \frac{R}{2} i_L(t) = 0$$

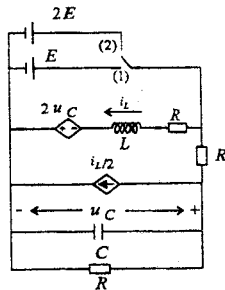
Одзив је аperiодична функција времена облика

$$i_L(t) = \frac{E}{L(s_1 - s_2)} (e^{s_1 t} - e^{s_2 t}) + i_{LP}(t)$$

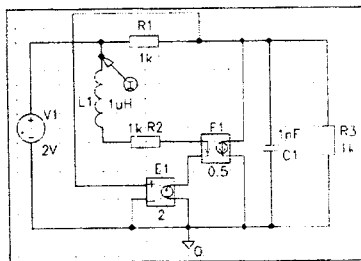
где је

$$s_1 = -1.001001 \cdot 10^9 \text{ и } s_2 = -990000,$$

а принудна компонента струје је нула.



Сл.2. Електрична шема кола

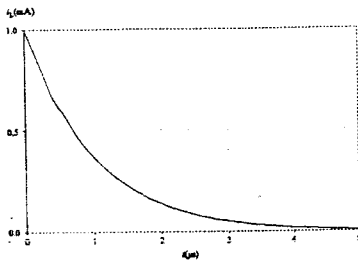


Сл.3. Модел кола са Сл.2 у WPSPICE пакету

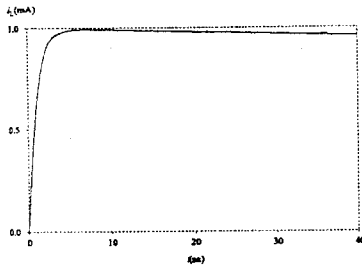
Да би се уочило стварно понашање струје непосредно после комутације на Сл.5 је дат одзив са Сл.4 у другој размери одакле је очигледно да је комутација регуларна (струја не постиже тренутно вредност од 1 mA).

За разлику од регуларне комутације, при нерегуларној комутацији долази до скоковите промене напона на кондензатору и струје кроз калем. Нерегуларна комутација је идеализован појам јер подразумева елементе без губитака. Међутим, у пракси постоје случајеви веома блиских идеалним случајевима, тако да решавање електричних кола у којима се јавља нерегуларна комутација има свој како теоријски тако и практични значај.

Један елементаран пример калемског пресека, Сл.6, у коме се јасно може уочити појава нерегуларне комутације, може се обрадити као илустративна лабораторијска вежба.



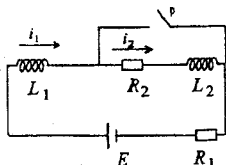
Сл.4 Графички приказ временске зависности струје $i_L(t)$ добијен симулацијом кола помоћу WSPICE пакета



Сл.5 График са Сл.4 у другој размери

Пример 2.1 Прекидач у колу са Сл.6 затвара се у тренутку $t = 0$. Након 300 ns прекидач се отвара. Ако је $L_1 = L_2 = 10 \mu\text{H}$, $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$ и $E = 12 \text{ V}$ одредити струје кроз калемове.

Изглед кола у програмском пакету дат је на Сл.7. Вредности струја непосредно пре отварања прекидача су $i_1 = E/R_1 = 12 \text{ mA}$ и $i_2 = 0$. Као прекидач се користи напонем контролисани прекидач SBREAK који се укључује при контролишућем напону од 1V.



Сл.6 Коло са калемским пресеком

При отвореном прекидачу диференцијална једначина за струју i_1 има следећи облик

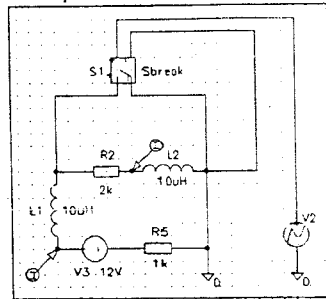
$$\frac{di_1(t)}{dt} + \frac{R_1 + R_2}{L_1 + L_2} i_1(t) = \frac{E}{L_1 + L_2}; \quad i_1(t) = i_2(t),$$

а њено решење је $i_1(t) = A e^{s_1(t-300\text{ns})} + i_p(t)$

где је

$$s_1 = -(R_1 + R_2)/(L_1 + L_2) = -3/2 \times 10^8 \text{ s}^{-1} \quad \text{и}$$

$$i_p = E/(R_1 + R_2) = 4 \text{ mA}.$$



Сл.7 Моделовано коло са Сл.6

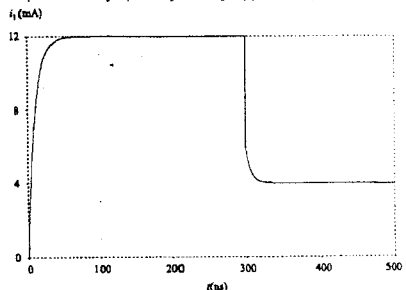
На основу закона о одржању магнетног флукса у колу одређује се струја у тренутку $t = 300 \text{ ns}^+$ из

$$i_1(300^+) = \frac{L_1 i_1(300^-) + L_2 i_2(300^-)}{L_1 + L_2}$$

одакле се добија $A = 2 \text{ mA}$.

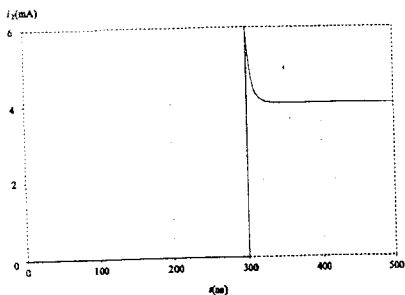
Симулацијом посматраног кола добијени су графици струја приказани на Сл.8 и Сл.9. Из дијаграма се може закључити да се ради о нерегуларној комулацији. За $R_2 > R_1$ долази до премашења струје.

Сл.9, за $R_2 < R_1$ струја се успоставља по експоненцијалном закону без премашења до вредности принудне компоненте. Међутим, због коришћења реалног модела прекидача (Сл.1) при симулацији имамо "квазинерегуларан" случај. Ако би покушали да дифолтне вредности приближимо вредностима идеалног прекидача ($R_{on} = 0, R_{off} = \infty$), појавили би се проблеми са конвергенцијом рачунања PSPICE-а, тако да би даља анализа било ког сложеног кола била прекинута. Присуство реалног прекидача уноси релативну грешку мању од 0.5% [4].



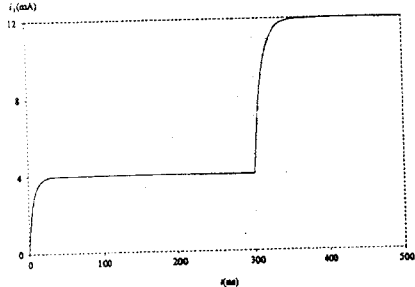
Сл.8 График струје $i_1(t)$ добијен симулацијом кола помоћу WSPICE пакета (прекидач се отвара)

Пример 2.2 За коло са Сл.6, истих параметара као у примеру 2.1, прекидач је био отворен и након 300 ns се затвара. Таласни облици струја кроз калемове приказани су на Сл.10 и Сл.11.

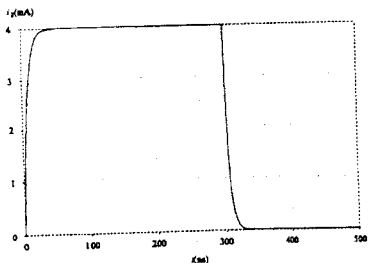


Сл.9 График струје $i_2(t)$, (прекидач се отвара)

Пример 2.3 За коло са Сл.6, ако је $R_2 = 10^{-11} \Omega$, тако да се калем L_2 може сматрати практично идеалним, прекидач је отворен и затвара се пре успостављања стационарног стања. Графици струја кроз калемове дати су на Сл.12. Струја $i_1(t)$ наставља да расте до вредности у усталеном режиму 12 mA, а струја $i_2(t)$ остаје приближно константна (суперпроводна контура).



Сл.10 График струје $i_1(t)$, (прекидач се затвара)

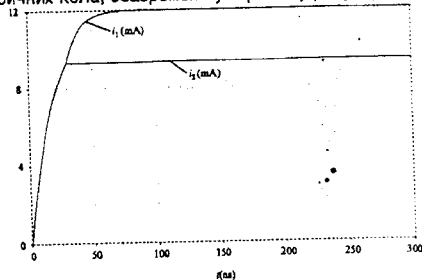


Сл.11 График струје $i_2(t)$, (прекидач се затвара)

4. ЗАКЉУЧАК

Експанзија хардверског развоја персоналних рачунара, праћена добром софтверском подршком, омогућава све шири примену рачунара на пољу ана-

лизе 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. Програмски пакет WSPICE је у одређивању одзива и провери регуларности комутације дао резултате готово идентичне теоријским за веома кратко време. Из ових разлога је предложено да се вежба, у првом реду из Теорије електричних кола, осавремене уз примену рачунара.



Сл.12 Графици струја кроз калемове (прекидач се затвара)

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Б. Д. Рељин, *Теорија електричних кола 1*, Београд, Научна књига, 1992.
- [2] L. J. Giacoletto, *Simulation and Modeling alternate PSPICE Switch Functions*, IEEE Circuits Devices Mag., Vol. 7, No 5, pp. 9-10, 1991.
- [3] Р. А. Петковић, С. С. Илић, З. Ж. Цветковић, *Одзив у временском домену кола са нерегуларном комутацијом*, Зборник радова конф. ЕТР-АН, 4-7 јун, Будва, стр. 358-361, 1996.
- [4] Р. А. Петковић, С. С. Илић, *Оцена грешке при одређивању непознатих капацитивности примене нерегуларне комутације*, Зборник радова конф. ЕТРАН, 2-5 јун, Врњачка Бања, стр. 144-147, 1998.
- [5] SPICE: A Guide To Circuit Simulation and Analysis Using PSpice, Prentice-Hall, 1988.
- [6] PSpice Circuit Analysis User's Guide, MicroSim Corporation, 1991.

Abstract - The aim of this paper is to discuss the using of computers in order to improve laboratory exercises for Fundamentals of Electrotechnics and Electrical Circuit Theory. The possibility of the program package WSPACE use and illustrative examples of solving circuits with special emphasizing on the determining the response in time domain for the circuits with regular and non-regular commutation are presented in this paper.

EXERCISES IMPROVEMENT FOR FUNDAMENTALS OF ELECTROTECHNICS AND ELECTRICAL CIRCUIT THEORY

Radmila A. Petković, Saša S. Ilić, Zlata Ž. Cvetković,
Nenad N. Cvetković