

Projektovanje elektronskih kola

Sadržaj:

1. Uvod - osnovni pojmovi
2. Stilovi projektovanja i izrade prototipova
3. Projektovanje analognih kola
4. Osnove fizičkog projektovanja (projektovanje štampanih ploča)
5. Projektovanje digitalnih kola (vežbe)

LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>



Analiza kola

Analiza kola

Tipovi analize?

Zavisno od **vrste pobude**, ima smisla analizirati ponašanje kola u

1. jednosmernom domenu (određivanje položaja jednosmerne radne tačke kola).
2. frekvencijskom domenu (frekvencijska karakteristika kola – amplitudska, fazna)
3. vremenskom domenu (talasni oblik napona/struja na izlazu kola pobuđenog impulsima poznatog talasnog oblika)

04.04.2019.

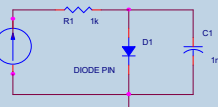
2

Analiza kola

Tipovi analize kola

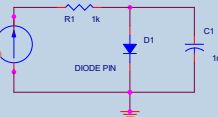
1. Jednosmerni domen
(DC analiza)

$$I = 5\text{mA}$$



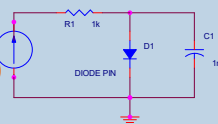
2. Frekvencijski domen
(AC analiza)

$$i(\omega) = 5 \cdot 10^{-3} e^{j\omega t}$$



3. Vremenski domen
(TR analiza)

$$i(t) = 5 \cdot 10^{-3} \cos(2\pi f t + \varphi)$$



04.04.2019.

Analiza kola

Analiza kola

Tipovi analize?

Zavisno od **vrste elemenata od kojih se kolo sastoji**, različiti tip problema i metoda za analizu

1. Linearna otporna kola (R, linearni generatori, nezavisni i kontrolisani)
2. Linearna reaktivna kola (R, L, C, m, ..)
3. Nelinearna otporna (poluprovodničke komponente, R, ..)
4. Nelinearna reaktivna (poluprovodničke komponente, R, L, C,..)

04.04.2019.

Tipovi elektronskih kola

1. Linearna otporna R
2. Linearna reaktivna L, C, m, ..
3. Nelinearna otporna dioda, tranzistor, R, ..
4. Nelinearna reaktivna dioda, tranzistor, R, ..

Tipovi analize kola

1. **Jednosmerni domen (DC analiza)**
2. **Frekvencijski domen (AC analiza)**
3. **Vremenski domen (TR analiza)**

04.04.2019.

Analiza elektronskih kola

1. Uvod
2. Analiza linearnih kola u DC domenu (jednosmerni režim)
3. Analiza linearnih kola u AC domenu (frekvencijski domen)
4. Analiza linearnih kola u TR domenu (vremenski domen)
5. Analiza nelinearnih kola u DC domenu
6. Analiza nelinearnih kola u TR domenu

04.04.2019.

6

Analiza elektronskih kola

1. Uvod
2. Analiza linearnih kola u DC domenu (jednosmerni režim)
3. Analiza linearnih kola u AC domenu (frekvencijski domen)
4. Analiza linearnih kola u TR domenu (vremenski domen)
5. Analiza nelinearnih kola u DC domenu
6. Analiza nelinearnih kola u TR domenu

04.04.2019.

7

Matematički model

1. i 2. Linearne jednačine (realne i kompleksne)
3. Linearne diferencijalne jednačine
4. Nelinearne algebarske jednačine
5. **Nelinearne diferencijalne jednačine**

04.04.2019.

Način rešavanja sistema j-na

1. i 2. LU faktORIZACIJA (Gauss)
3. Numeričko integraljenje - diskretizacija - svođenje na linearne algebarske (Euler)
4. Linearizacija - iterativno svođenje na linearne algebarske (Newton-Kantorovič)
5. **Diskretizacija - svođenje na nelinearne algebarske i linearizacija - iterativno svođenje na linearne algebarske**

Analiza kola

$$\frac{v_1(t) - v_2(t)}{R_1} = i(t)$$

$$\frac{v_2(t) - v_1(t)}{R_1} + I_s \left(e^{\frac{v_2(t)}{V_T}} - 1 \right) + C \frac{\partial v_2(t)}{\partial t} = 0$$

Diskretizacija

$$\frac{1}{R_1} v_1^{n+1} - \frac{1}{R_1} v_2^{n+1} = i^{n+1}$$

$$-\frac{1}{R_1} v_1^{n+1} + \frac{1}{R_1} v_2^{n+1} + I_s \left(e^{\frac{v_2^{n+1}}{V_T}} - 1 \right) + \frac{C_1}{h} v_2^{n+1} = \frac{C_1}{h} v_2^n$$

Nelinearno

04.04.2019. 9

Analiza kola

$$\frac{1}{R_1} v_1^{n+1} - \frac{1}{R_1} v_2^{n+1} = i^{n+1}$$

$$-\frac{1}{R_1} v_1^{n+1} + \frac{1}{R_1} v_2^{n+1} + I_s \left(e^{\frac{v_2^{n+1}}{V_T}} - 1 \right) + \frac{C_1}{h} v_2^{n+1} = \frac{C_1}{h} v_2^n$$

Linearizacija

$$\frac{1}{R_1} v_1^{n+1, m+1} - \frac{1}{R_1} v_2^{n+1, m+1} = i^{n+1}$$

$$-\frac{1}{R_1} v_1^{n+1, m+1} + \frac{1}{R_1} v_2^{n+1, m+1} + i_d^{n+1, m} + G_d^{n+1, m} (v_2^{n+1, m+1} - v_2^{n+1, m}) + \frac{C_1}{h} v_2^{n+1, m+1} = \frac{C_1}{h} v_2^n$$

04.04.2019. 10

Analiza kola

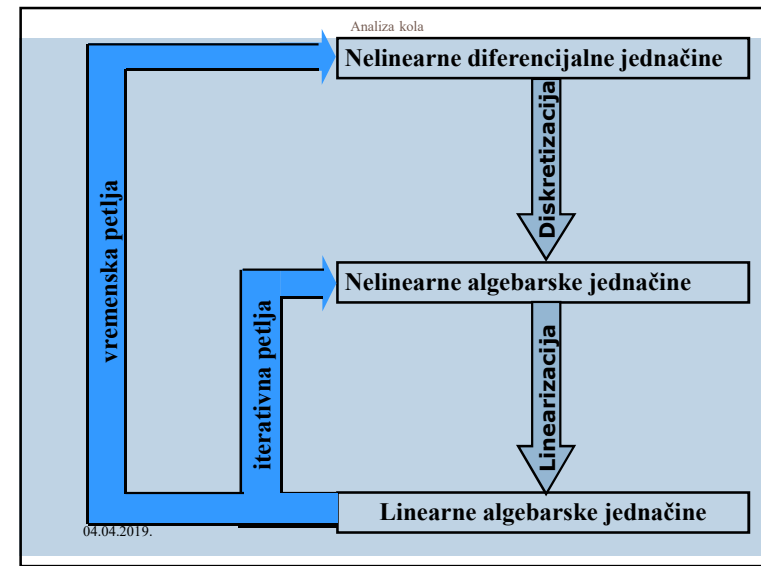
$$\frac{1}{R_1} v_1^{n+1, m+1} - \frac{1}{R_1} v_2^{n+1, m+1} = i^{n+1}$$

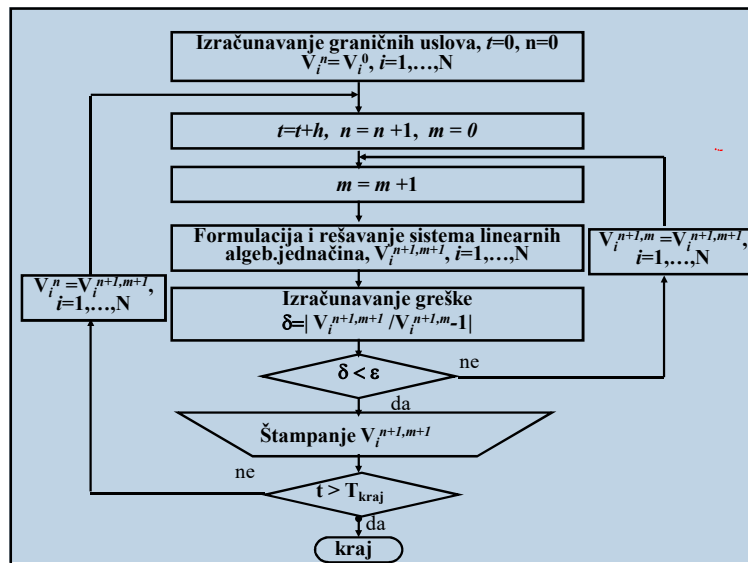
$$-\frac{1}{R_1} v_1^{n+1, m+1} + \frac{1}{R_1} v_2^{n+1, m+1} + G_d^{n+1, m} v_2^{n+1, m+1} + \frac{C_1}{h} v_2^{n+1, m+1} = \frac{C_1}{h} v_2^n - i_d^{n+1, m} + G_d^{n+1, m} v_2^{n+1, m}$$

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{R_1} & -\frac{1}{R_1} \\ -\frac{1}{R_1} & \frac{1}{R_1} + G_d^{n+1, m} + \frac{C_1}{h} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_1^{n+1, m+1} \\ v_2^{n+1, m+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i^{n+1} \\ \frac{C_1}{h} v_2^n - i_d^{n+1, m} + G_d^{n+1, m} v_2^{n+1, m} \end{bmatrix}$$

$$\underline{\tilde{G}}^{n+1, m} \cdot \underline{v}^{n+1, m+1} = \underline{i}^{n+1, m}$$

04.04.2019. 11





Diskretizacija vremenske ose.

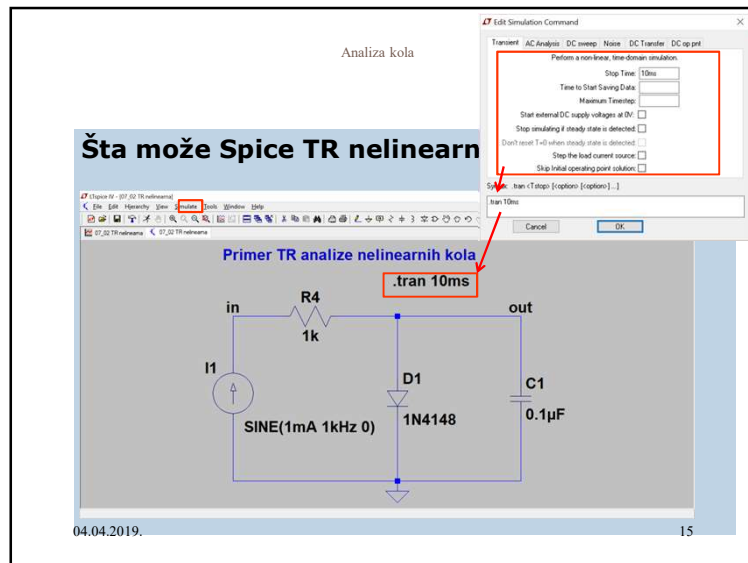
Potrebno je definisati granične uslove za $t=0$.

Za svaku tačku na vremenskoj osi treba iterativno naći rešenje. Za početno rešenje u trenutku $t=t_{n+1}$ uzima se rešenje izračunato u trenutku $t=t_n$

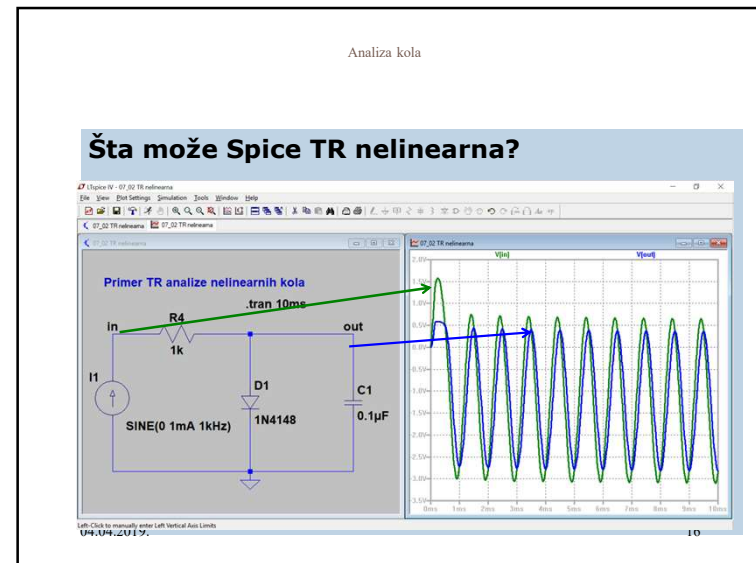
Ako je vremenska osa diskretizovana u 10 000 tačaka a za rešavanje je potrebno po 10 iteracija, ukupno treba formirati i rešiti sistem linearnih algebarskih jednačina 100 000 puta!

04.04.2019.

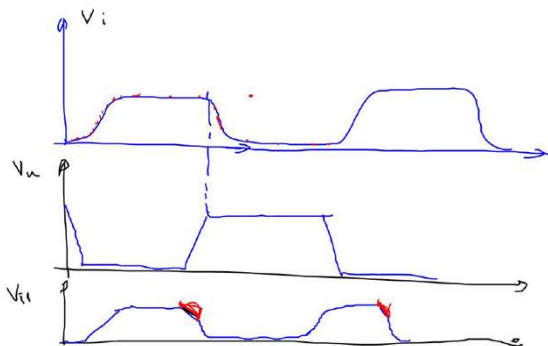
14



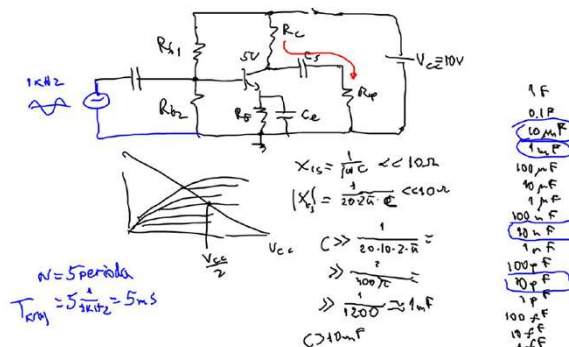
15



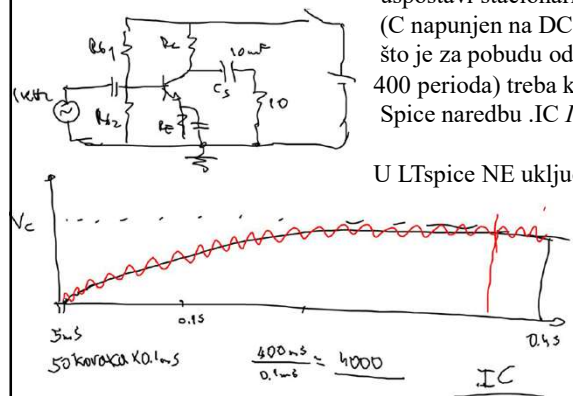
16



17



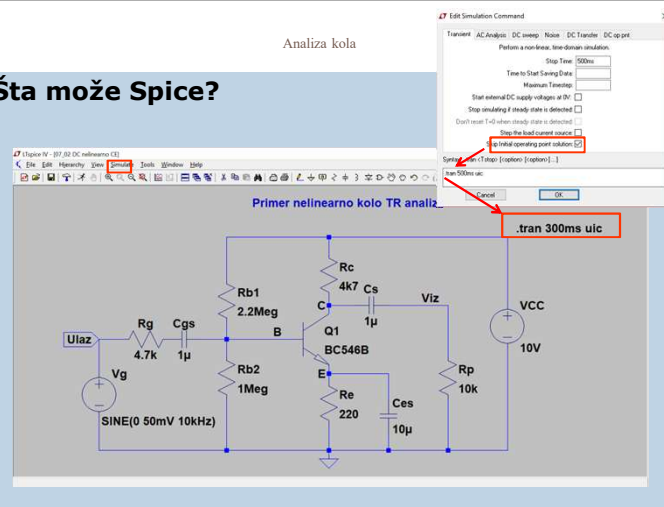
21.03.2017.



U LTspice NE uključiti UIC!!!

21.03.2019.

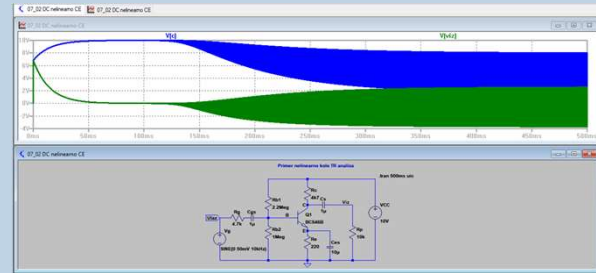
19



21.03.2019.

20

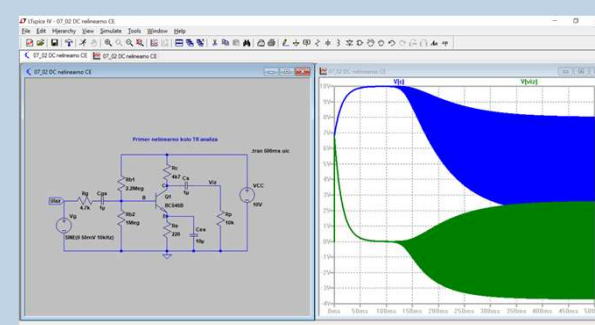
Šta može Spice?



21.03.2019.

21

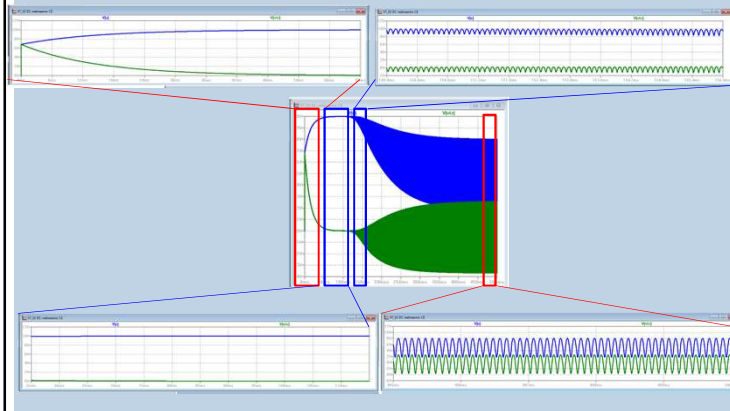
Šta može Spice?



21.03.2019.

22

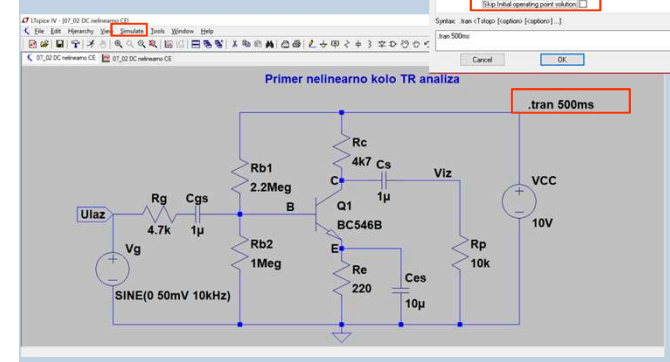
Šta može Spice?



21.03.2019.

23

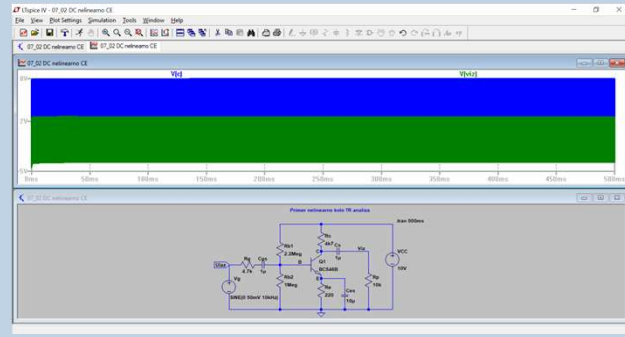
Šta može Spice?



21.03.2019.

24

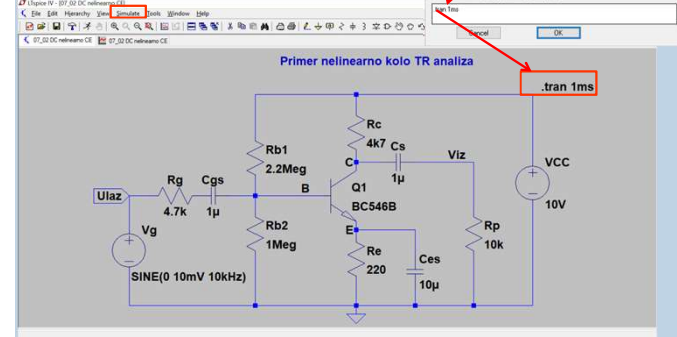
Šta može Spice?



21.03.2019.

25

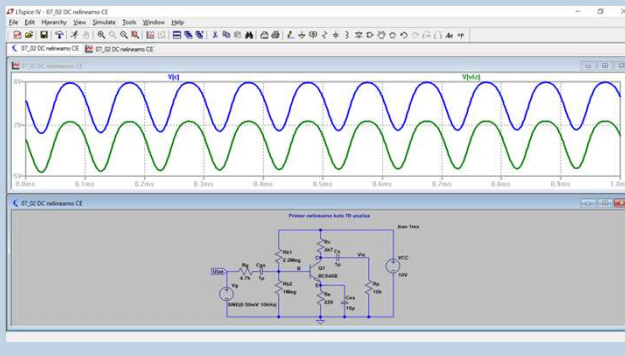
Šta može Spice?



21.03.2019.

26

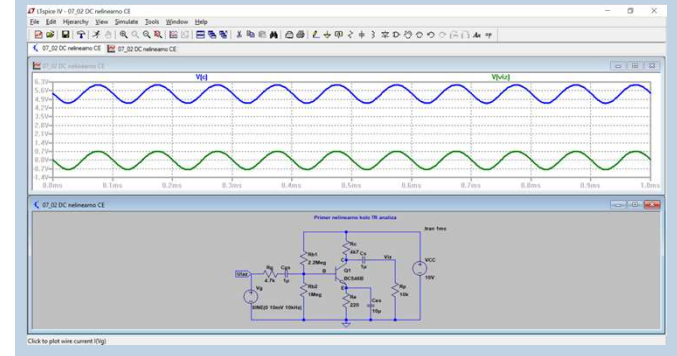
Šta može Spice?



21.03.2019.

27

Šta može Spice?



21.03.2019.

28

Analiza kola

Šta može Spice TR nelinearna?

Primer nelinearno kolo TR analiza

.tran 1ms

04.04.2019. 29

Analiza kola

Šta može Spice TR nelinearna?

Primer nelinearno kolo TR analiza

04.04.2019. 30

Analiza kola

Šta može Spice TR nelinearna?

Primer nelinearno kolo TR analiza

04.04.2019. 31

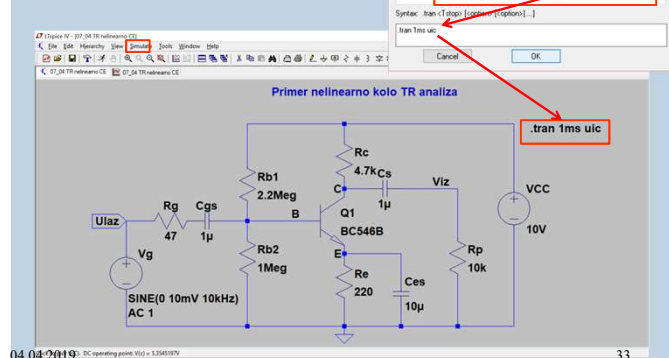
Analiza kola

Šta može Spice TR nelinearna?

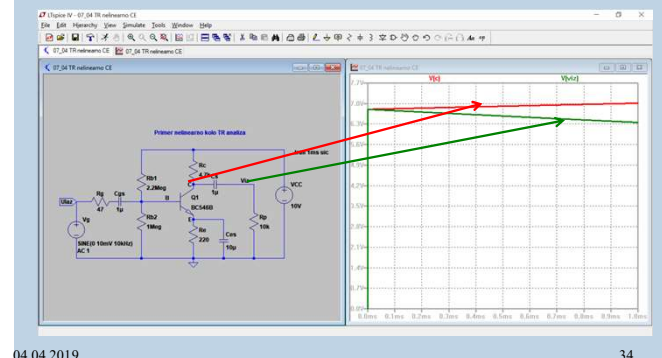
Primer nelinearno kolo TR analiza

04.04.2019. 32

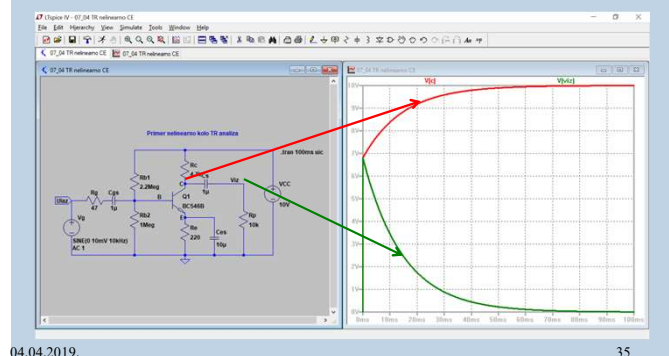
Šta može Spice TR nelinearna



Šta može Spice TR nelinearna?



Šta može Spice TR nelinearna?



Postupak analize kola pomoću računara zahteva da se ponašanje kola

- opiše sistemom jednačina,
- rešavanje sistema jednačina

Efikasnost analize kola zavisi od efikasnosti obe navedene aktivnosti

Osnovni kriterijumi za izbor odgovarajućeg metoda jesu:

1. Jednostavnost formulacije jednačina
2. Veličina zauzeća memorije
3. Brzina
4. Tačnost rešenja

Pokazalo se da je primena modifikovane metode čvorova (MMC) veoma pogodna za formulaciju sistema jednačina

Analiza nelinearnih kola u TR domenu

Šta treba da znamo?

Elementarno (za potpis)

Ako je vremenska osa diskretizovana u 10 000 tačaka a za rešavanje sistema nelinearnih jednačina je potrebno po 10 iteracija, koliko puta ukupno treba formirati i rešiti sistem linearnih jednačina.

Osnovno (za 6)

1. Koji značaj ima zadavanje graničnih vrednosti u trenutku $t=0$ (.IC, odnosno UIC u programu LTSpice) na rezultat TR analize nelinearnih kola?

Analiza nelinearnih kola u TR domenu

Šta treba da znamo?

Ispitna pitanja

- a) Analiza nelinearnih reaktivnih kola (TR domen) – opšti algoritam?
- b) Koja vrednost se uzima za početno rešenje u trenutku $t=t_{n+1}$?
- c) Objasniti značaj automatske kontrole koraka integracije u analizi nelinearnih reaktivnih kola u TR domenu?

Projektovanje elektronskih kola

Sadržaj:

1. Uvod - osnovni pojmovi
2. Stilovi projektovanja i izrade prototipova
3. Projektovanje analognih kola
 1. Uvod
 2. Analiza kola
 3. Tolerancije
 4. Optimizacija
4. Osnove fizičkog projektovanja (projektovanje štampanih ploča)
5. Projektovanje digitalnih kola (vežbe)