


Projektovanje elektronskih kola

**Prof. dr Predrag Petković,
dr Miljana Milić, docent**

**Katedra za elektroniku
Elektronski fakultet Niš**

LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>
06.04.2020.



1

Da se podsetimo 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/>
06.04.2020.



2

Da se podsetimo Projektovanje elektronskih kola

Koji su koraci potrebni da bi se projektovala analogna kola?

1. Naučiti osobine pojedinih analognih kola (pojačavači,...)
2. Izabrati pravu topologiju za dati zadatak (strukturno projektovanje).
3. Odrediti vrednosti parametara pojedinih komponenata (gm, R, C, L...)
4. Proveriti da li smo dobili željeni odziv.
5. Ako smo zadovoljni idemo na fizičko projektovanje

LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>
06.04.2020.



3

Da se podsetimo Projektovanje elektronskih kola


Sušтина je u

- određivanju vrednosti parametara pojedinih komponenata kola (sinteza) i
- proveriti da li je dobijen željeni odziv

Savremeni programi za optimizaciju imaju ugrađene algoritme koji omogućavaju da se vrednosti parametara određuju automatski. Zasnovani su na poređenju dobijenog i željenog odziva i korekciji parametara na bazi osetljivosti odziva na svaki parametar.

Za proveru se koriste programi za **analizu kola**.

LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>
06.04.2020.



4

Šta podrazumeva?

Odrediti odziv kola kada je poznata pobuda.

Odziv: Nepoznati naponi i struje u kolu

Pobuda: Poznate struje i naponi u kolu

Analiza:

Odrediti nepoznate napone i struje u kolu ako je poznata pobuda i vrednosti elemenata kola

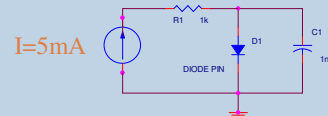
Tipovi analize?

Zavisno od vrste pobude, ima smisla analizirati ponašanje kola u

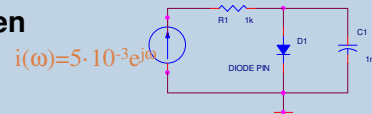
1. jednosmernom domenu (određivanje položaja jednosmerne radne tačke kola).
2. frekvencijskom domenu (frekvencijske karakteristike kola – amplitudska, fazna)
3. vremenskom domenu (talasni oblik napona/struja na izlazu kola pobuđenog impulsima poznatog talasnog oblika)

Tipovi analize kola

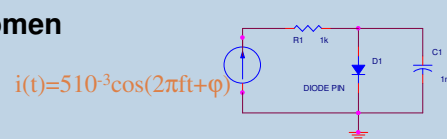
1. Jednosmerni domen (DC analiza)



2. Frekvencijski domen (AC analiza)



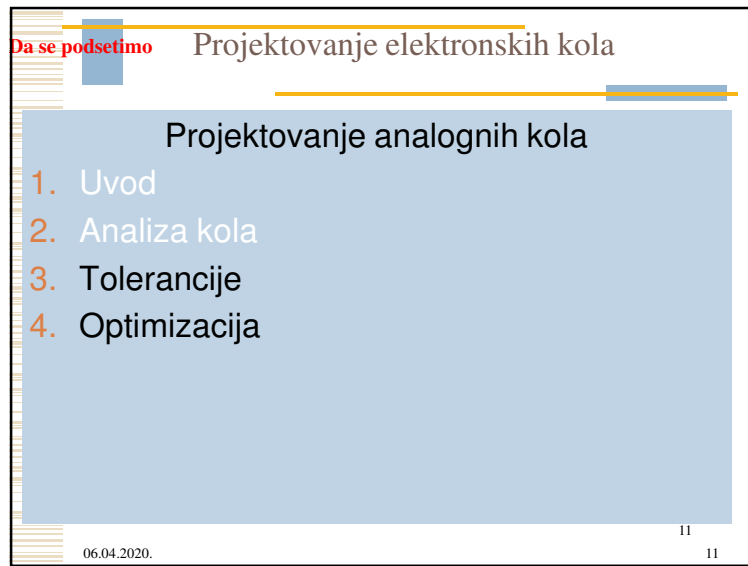
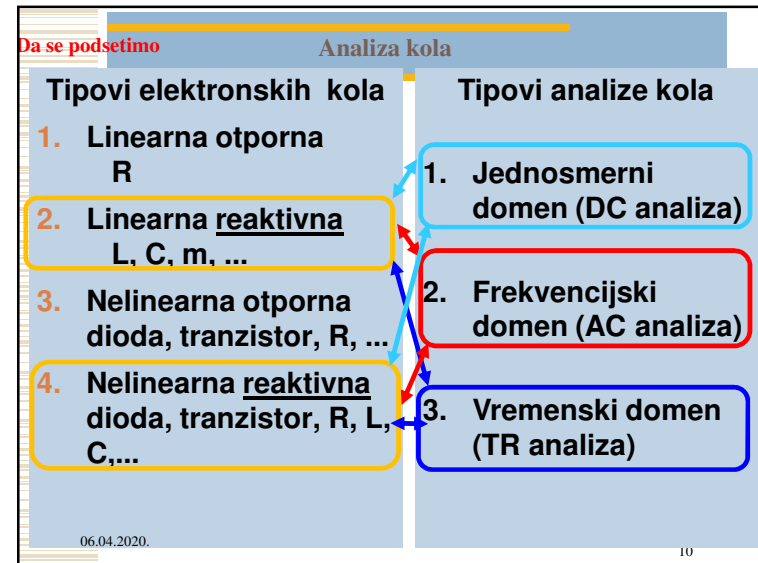
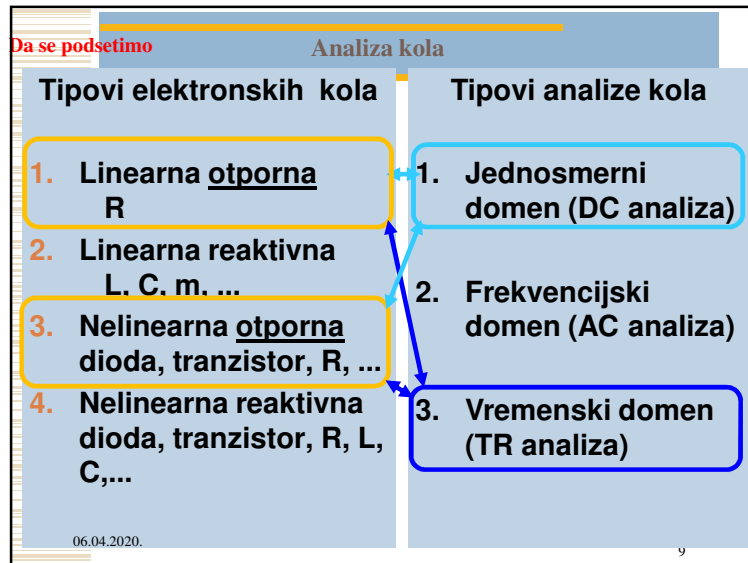
3. Vremenski domen (TR analiza)



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, ...)



Šta su tolerancije?**Kako se definišu?****Tolerancije parametara kola:**

Nominalne vrednosti
Moguće vrednosti (R, C, gm, ...)

Tolerancije odziva:

Željene vrednosti
Prihvatljive vrednosti
- Napona, struja, frekvencijskog opsega,
brzine odziva,...)

06.04.2020.

13

Opseg u kome se nalazi vrednost odziva naziva se tolerancija odziva

$$\underline{F}_i < F_i < \overline{F}_i, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

\underline{F}_i Donja tolerancija odziva

\overline{F}_i Gornja tolerancija odziva

$$\underline{\Delta F}_i = \underline{F}_i - F_i < 0 \text{ za } F_i > 0, \quad \text{Donji priraštaj odziva}$$

$$\overline{\Delta F}_i = \overline{F}_i - F_i > 0 \text{ za } F_i > 0 \quad \text{Gornji priraštaj odziva}$$

06.04.2020.

14

Opseg u kome se nalazi vrednost elementa kola naziva se tolerancija parametra

$$\underline{p}_j < p_j < \overline{p}_j, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

\underline{p}_j Donja tolerancija parametra

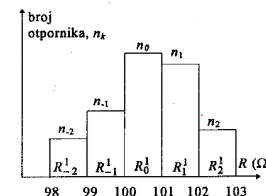
\overline{p}_j Gornja tolerancija parametra

$$\underline{\Delta p}_j = \underline{p}_j - p_j < 0 \text{ za } p_j > 0, \quad \text{Donji priraštaj parametra}$$

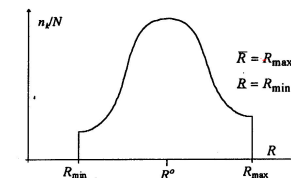
$$\overline{\Delta p}_j = \overline{p}_j - p_j > 0 \text{ za } p_j > 0 \quad \text{Gornji priraštaj parametra}$$

06.04.2020.

15

Opseg u kome se nalazi vrednost elementa kola naziva se tolerancija parametra

Slika 7.1 Histogram vrednosti otpornosti

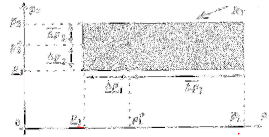


Slika 7.2 Relativna frekvencija pojavljivanja date vrednosti otpornosti

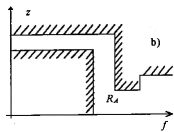
06.04.2020.

16

Opseg mogućih vrednosti odziva za zadati opseg parametara (za slučaj kola sa dva parametra – površina odziva)

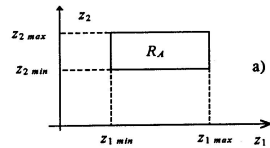


Opseg prihvatljivosti odziva – oblast prihvatljivosti



za slučaj kola sa jednim odzivom

06.04.2020.

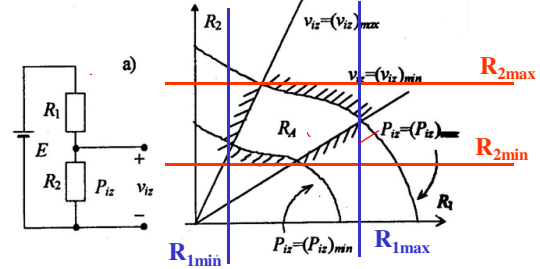


za slučaj kola sa dva odziva

17

Opseg prihvatljivog odziva (za slučaj kola sa slike, odzivi su v_{iz} i P_{iz})

$$V_{iz} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E, \quad P_{iz} = V_{iz} I_{iz} = \left(\frac{E}{R_1 + R_2} \right)^2 R_2$$

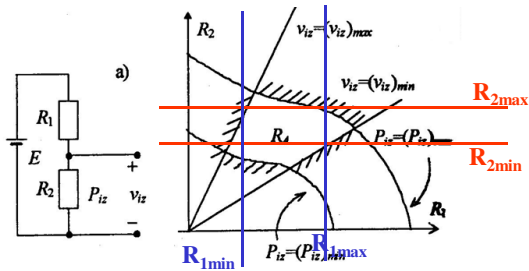


Slika 7.8 Preslikavanje oblasti prihvatljivosti iz prostora odziva u prostor parametara. a) kolo i b) prostor parametara i oblast prihvatljivosti prikazana u njemu

06.04.2020.

18

Oblast prihvatljivosti (za slučaj kola sa slike, odzivi su v_{iz} i P_{iz})

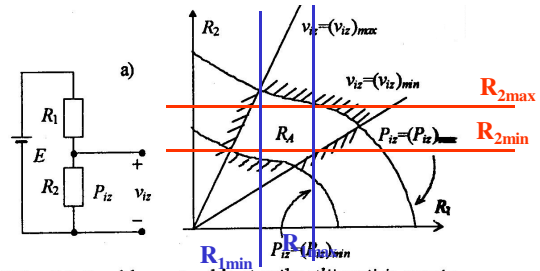


Slika 7.8 Preslikavanje oblasti prihvatljivosti iz prostora odziva u prostor parametara. a) kolo i b) prostor parametara i oblast prihvatljivosti prikazana u njemu

06.04.2020.

19

Odziv prihvatljivosti (za slučaj kola sa slike, odzivi su v_{iz} i P_{iz})



Slika 7.8 Preslikavanje oblasti prihvatljivosti iz prostora odziva u prostor parametara. a) kolo i b) prostor parametara i oblast prihvatljivosti prikazana u njemu

06.04.2020.

20

Preslikavanje tolerancija parametara u tolerancije odziva zavisi od:

1. Načina specifikacije odziva (npr. Za amplitudsku karakteristiku: maksimalno ravna, Čebiševljeva i sl.)
2. Strukture kola (npr. Ista prenosna karakteristika može da se realizuje preko lestvičaste mreže i kaskadne sa povratnom spregom i sl.)
3. Tehnološkog postupka izrade (npr. ista funkcija može da se realizuje sa MOS tranzistorima ili u bipolarnoj tehnologiji i sl.)



Analiza tolerancija:

U kojem opsegu će se naći odziv za poznate vrednosti tolerancija parametara

Sinteza tolerancija:

Koje tolerancije treba da imaju parametri, da bi se dobio odziv sa željenim tolerancijama.

Razlikuje se izračunavanje tolerancija pri malim i velikim priraštajima parametara.

Izračunavanje tolerancija pri malim priraštajima parametara zasnovano je na poznavanju koeficijenata osetljivosti.

$$S_p = \frac{\partial F}{\partial p} \quad \text{Apsolutna osetljivost (Koeficijent osetljivosti)}$$

$$S_p = \frac{F(p + \Delta p) - F(p)}{\Delta p} \quad \text{Numeričko izračunavanje osetljivosti?}$$

Neracionalno za veliki broj parametara!

$$Q_p^F = \frac{\partial \ln F}{\partial p} = \frac{1}{F} \frac{\partial F}{\partial p} \quad \text{Polurelativna (polulogaritamska osetljivost)}$$

$$S_p^F = \frac{\partial \ln F}{\partial \ln p} = \frac{\frac{\partial F}{F}}{\frac{\partial p}{p}} = \frac{p}{F} \frac{\partial F}{\partial p} \quad \text{Relativna (logaritamska osetljivost)}$$

Izračunavanje tolerancija odziva (F) pri malim priraštajima parametara (p) zasnovano je na poznavanju koeficijenata osetljivosti.

Apsolutna parcijalna tolerancija odziva

$$\Delta F_j = \frac{\partial F}{\partial p_j} \Delta p_j,$$

Priraštaj odziva usled promene j-tog parametra

Apsolutna tolerancija odziva

$$\Delta F = \sum_j^n \Delta F_j = \sum_j^n \frac{\partial F}{\partial p_j} \Delta p_j,$$

Priraštaj odziva usled promene svih parametara (otpornosti, kapacitivnosti, induktivnosti, parametri tranzistora...)

Izračunavanje tolerancija pri malim priraštajima parametara zasnovano je na poznavanju koeficijenata osetljivosti.

Relativna parcijalna tolerancija odziva

$$\frac{\Delta F_j}{F} = S_j^F \frac{\Delta p_j}{p_j},$$

Relativna tolerancija odziva

$$\frac{\Delta F}{F} = \sum_j^n \frac{\Delta F_j}{F} = \sum_j^n S_j^F \frac{\Delta p_j}{p_j},$$

Koji priraštaj izabrati?

$$\underline{\Delta p_j} = p_j - p_j, \quad \text{Donji priraštaj parametra}$$

$$\overline{\Delta p_j} = \overline{p_j} - p_j \quad \text{Gornji priraštaj parametra}$$

Metod najnepovoljnijeg slučaja (korner analiza)

Worst Case analysis, Corner analysis

Cilj: odrediti najnepovoljniji mogući odziv; ako je on u prihvatljivom opsegu, kolo će dobro da radi i za ostale vrednosti parametara

$$\Delta F = \sum_j^n \Delta F_j = \sum_j^n \frac{\partial F}{\partial p_j} \Delta p_j,$$

Metod najnepovoljnijeg slučaja

Da bi se dobio najveći gornji odziv, svi elementi sume treba da budu pozitivni.

$$\frac{\partial F}{\partial p_j} \Delta p_j > 0, \quad j = 1, \dots, n$$

Najveći donji odziv dobiće se ako su svi elementi sume negativni.

$$\frac{\partial F}{\partial p_j} \Delta p_j < 0, \quad j = 1, \dots, n$$

06.04.2020.

29

Metod najnepovoljnijeg slučaja

Da bi se dobio najveći **GORNJI** priraštaj odziva, uzimaju se

gornji priraštaji parametara

ako je koeficijent osetljivosti odziva pozitivan i

donji priraštaji parametara

ako je koeficijent osetljivosti odziva negativan.

06.04.2020.

30

Metod najnepovoljnijeg slučaja

Ako je $(\delta F / \delta p_j) > 0$,

$$\overline{\Delta p_j} = \overline{p_j} - p_j \quad \text{Gornji priraštaj parametra}$$

Ako je $(\delta F / \delta p_j) < 0$,

$$\underline{\Delta p_j} = \underline{p_j} - p_j, \quad \text{Donji priraštaj parametra}$$

$$\overline{\Delta F} = \sum_j^n \overline{\Delta F_j} = \sum_j^n \frac{\partial F}{\partial p_j} \Delta p_j,$$

06.04.2020.

31

Metod najnepovoljnijeg slučaja

Da bi se dobio najveći **DONJI** priraštaj odziva, uzimaju se

gornji priraštaji parametara

ako je koeficijent osetljivosti odziva negativan i

donji priraštaji parametara

ako je koeficijent osetljivosti odziva pozitivan.

06.04.2020.

32

Metod najnepovoljnijeg slučaja

Ako je $(\delta F/\delta p_j) < 0$,

$$\overline{\Delta p_j} = \overline{p_j} - p_j \quad \text{Gornji priraštaj parametra}$$

Ako je $(\delta F/\delta p_j) > 0$,

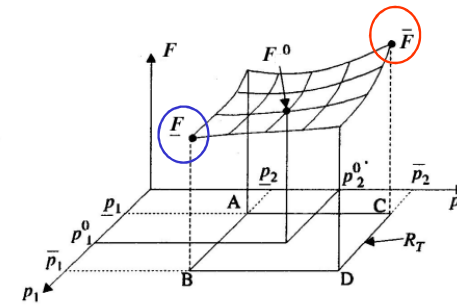
$$\underline{\Delta p_j} = \underline{p_j} - p_j, \quad \text{Donji priraštaj parametra}$$

$$\underline{\Delta F} = \sum_j^n \underline{\Delta F_j} = \sum_j^n \frac{\partial F}{\partial p_j} \Delta p_j,$$

06.04.2020.

33

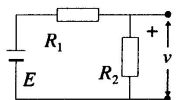
Metod najnepovoljnijeg slučaja



06.04.2020.

34

Metod najnepovoljnijeg slučaja (Primer)



$$R_1^0 = 1\text{k}\Omega, \underline{R_1} = 950\Omega, \overline{R_1} = 1110\Omega,$$

$$R_2^0 = 1\text{k}\Omega, \underline{R_2} = 920\Omega, \overline{R_2} = 1060\Omega,$$

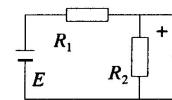
$$\underline{\Delta R_1} = -50\Omega, \overline{\Delta R_1} = 110\Omega, \quad \delta V_{iz}/\delta R_1 = -R_2 E / (R_1 + R_2)^2 = -2.5 \cdot 10^{-3} \text{A}$$

$$\underline{\Delta R_2} = -80\Omega, \overline{\Delta R_2} = 60\Omega, \quad \delta V_{iz}/\delta R_2 = R_1 E / (R_1 + R_2)^2 = 2.5 \cdot 10^{-3} \text{A}$$

06.04.2020.

35

Metod najnepovoljnijeg slučaja (Primer)



$$\delta V_{iz}/\delta R_1 = -R_2 E / (R_1 + R_2)^2 = -2.5 \cdot 10^{-3} \text{A} < 0$$

$$\delta V_{iz}/\delta R_2 = R_1 E / (R_1 + R_2)^2 = 2.5 \cdot 10^{-3} \text{A} > 0$$

$$\overline{\Delta V_{iz}} = \frac{\partial V_{iz}}{\partial R_1} \overline{\Delta R_1} + \frac{\partial V_{iz}}{\partial R_2} \overline{\Delta R_2} = 0,275 \text{V}$$

$$\underline{\Delta V_{iz}} = \frac{\partial V_{iz}}{\partial R_1} \underline{\Delta R_1} + \frac{\partial V_{iz}}{\partial R_2} \underline{\Delta R_2} = -0,475 \text{V}.$$

$$\overline{V_{iz}} = V_{iz} + \overline{\Delta V_{iz}} = 5,275 \text{V}$$

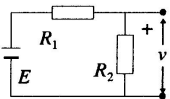
$$\underline{V_{iz}} = V_{iz} + \underline{\Delta V_{iz}} = 4,525 \text{V}.$$

06.04.2020.

36

Izračunavanje tolerancija

Metod najnepovoljnijeg slučaja (Primer)



E=10V

$R_2 \backslash R_1$	950	1000	1110
920	4.9197	4.7916	4.5320
1000	5.1282	5.0000	4.7393
1060	5.2736	5.1456	4.8848

5.275 > 5.2736 4.525 < 4.5320

06.04.2020.37

Izračunavanje tolerancija

Metod najnepovoljnijeg slučaja ugrađen u pSpice

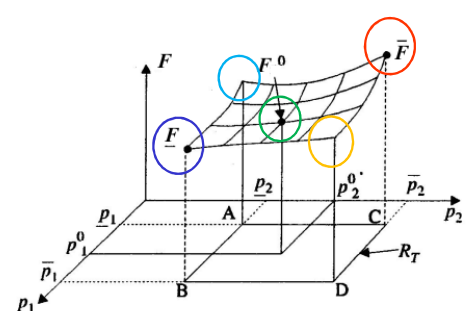
[Worst Case analysis – pSpice i na](https://www.youtube.com/watch?v=Cdizmc93ROg)
<https://www.youtube.com/watch?v=Cdizmc93ROg>

<https://www.youtube.com/watch?v=moNsGzDkOGs>

06.04.2020.38

Izračunavanje tolerancija

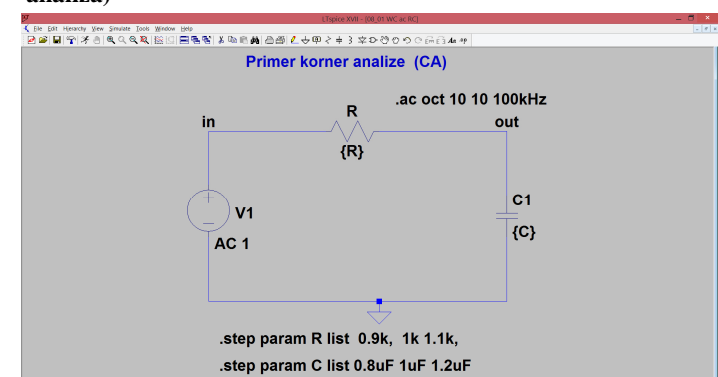
Korner analiza



06.04.2020.39

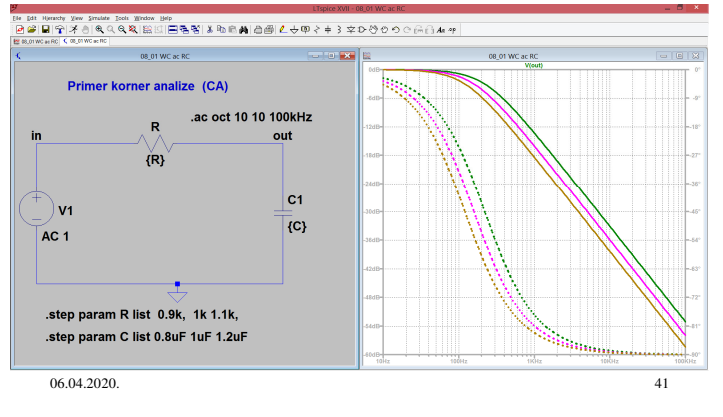
Izračunavanje tolerancija

Metod najnepovoljnijeg slučaja pomoću LTSpice (nije ugrađena opcija, ali može da se simulira korner analiza)

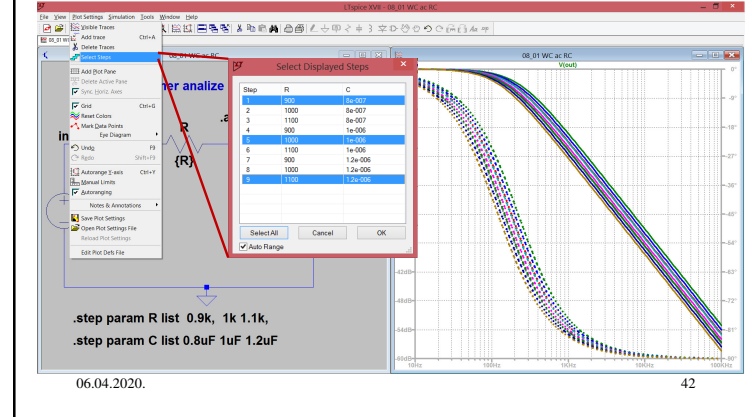


06.04.2020.40

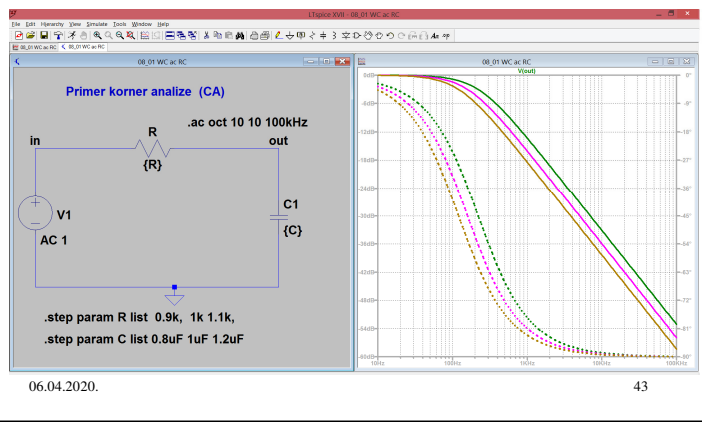
Metod najnepovoljnijeg slučaja pomoću LTSpice (nije ugrađena opcija, ali može da se simulira korner analiza)



Metod najnepovoljnijeg slučaja pomoću LTSpice (nije ugrađena opcija, ali može da se simulira korner analiza)



Metod najnepovoljnijeg slučaja pomoću LTSpice (nije ugrađena opcija, ali može da se simulira korner analiza)



Metod momenata

Primenjuje se kada su statističke vrednosti tolerancije parametara poznate
(srednja vrednost, standardna devijacija, funkcija raspodele, h_k)

Metod momenata**Srednja vrednost**

$$\mu_p = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_i$$

Varijansa

Mera srednjeg rastojanja između svakog podatka i njihove srednje vrednosti
jednaka je sumi kvadrata odstupanja od srednje vrednosti

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (p_i - \mu_p)^2$$

06.04.2020.

45

Metod momenata**Standardna devijacija**

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (p_i - \mu_p)^2}$$

06.04.2020.

46

Metod momenata

Ukoliko vrednosti dva parametra (p_A i p_B) koja određuju odziv neke funkcije nisu nezavisne, već zavise jedna od druge, kaže se da su međusobno povezane (korelisane).

Meru njihove povezanosti daje koeficijent korelacije:

$$\rho_{AB} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (p_{Ai} - \mu_A)(p_{Bi} - \mu_B)}{\sigma_A \sigma_B}$$

06.04.2020.

47

Metod momenata

Za n parametara definiše se matrica korelacije

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 1 & \rho_{12} & \dots & \rho_{1n} \\ \rho_{2n} & 1 & \dots & \rho_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{n1} & \rho_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

06.04.2020.

48

Metod momenata

Izračunavanje tolerancija

Dodatak

Bez dokaza navodimo, a može da se dokaže da

ukoliko je x definisano kao suma t_j

$$x = \sum_{j=1}^n t_j,$$

a poznate su varijanse od t_j i matrica korelacije, tada varijansa x može da se izračuna kao:

$$\sigma_x^2 = \sigma_t^T \mathbf{R} \sigma_t.$$

06.04.2020.

49

Metod momenata

Izračunavanje tolerancija

Dodatak

Kada se ovo primeni na izračunavanje priraštaja odziva dobija se

$$\Delta F = \sum_{j=1}^n \frac{\partial F}{\partial p_j} \Delta p_j = \sum_{j=1}^n S_j \Delta p_j = \sum_{j=1}^n \Delta q_j,$$

$$\sigma_{\Delta q_j} = S_j \sigma_{\Delta p_j}$$

$$\sigma_F = [S_1 \sigma_1 \quad S_2 \sigma_2 \quad \dots \quad S_n \sigma_n] \mathbf{R} \begin{bmatrix} S_1 \sigma_1 \\ S_2 \sigma_2 \\ \vdots \\ S_n \sigma_n \end{bmatrix}$$

06.04.2020.

50

Izračunavanje tolerancija

Za razliku od metoda najnepovoljnijeg slučaja u kome se pretpostavlja da su najverovatnije ekstremne vrednosti parametara, kod metoda momenata pretpostavlja se da je mala verovatnoća da parametri imaju ekstremne vrednosti.

(Primenljiv i za velike priraštaje parametara ako se proširi sabircima koji sadrže izvode višeg reda)

06.04.2020.

51

Izračunavanje tolerancija

Izračunavanje tolerancija pri velikim priraštajima parametara (primenljiv i na male priraštaje)

Metod Monte Carlo

Karakteristike

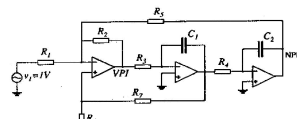
- veliki broj analiza
- uzimaju se slučajne vrednosti parametara
- rezultati se sistematizuju (histogram, grafički i sl.)
- najbolje prikazuju očekivani odziv pri masovnoj proizvodnji

06.04.2020.

52

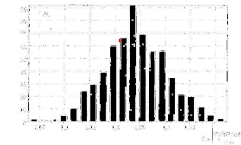
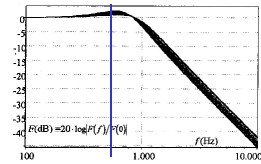
Metod Monte Carlo (primenljiv i za male priraštaje parametara)

Primer:



Slika 7.12 Električna šema filtra koji je predmet Monte-Carlo analize

06.04.2020.

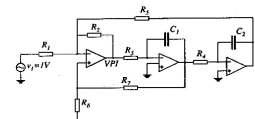


Slika 7.14 Histogram srednje aritmetičke vrednosti za frekvenciju $f = 600,3$ Hz

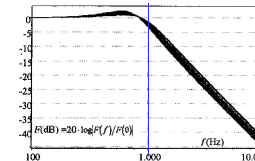
53

Metod Monte Carlo (primenljiv i za male priraštaje parametara)

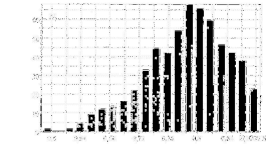
Primer:



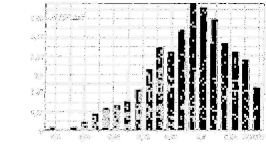
Slika 7.12 Električna šema filtra koji je predmet Monte-Carlo analize



06.04.2020.



Slika 7.15 Histogram srednje aritmetičke vrednosti za frekvenciju $f = 1000$ Hz

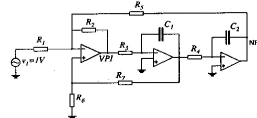


Slika 7.16 Histogram srednje aritmetičke vrednosti za frekvenciju $f = 1000$ Hz

54

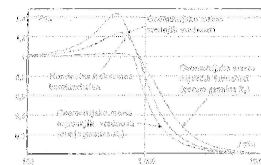
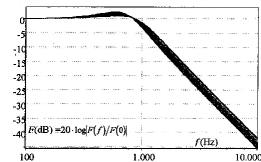
Metod Monte Carlo (primenljiv i za male priraštaje parametara)

Primer:



Slika 7.12 Električna šema filtra koji je predmet Monte-Carlo analize

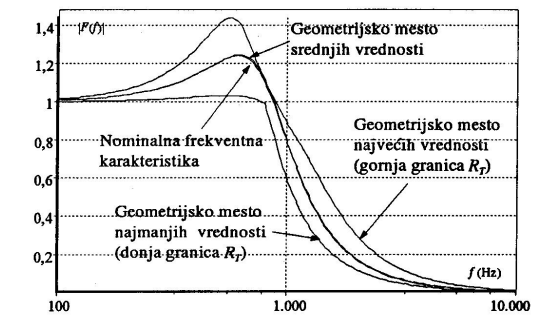
06.04.2020.



Slika 7.17 Sumarni pregled Monte-Carlo analize kola sa Sl. 7.12

Metod Monte Carlo (primenljiv i za male priraštaje parametara)

Primer:



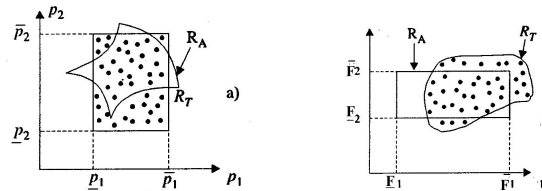
Slika 7.17 Sumarni pregled Monte-Carlo analize kola sa Sl. 7.12

06.04

56

Metod Monte Carlo (jako koristan za procenu prinosa)

Primer:



“Prostor” parametara

“Prostor” odziva

Prinos = $(\text{broj prihvatljivih odziva, } R_A) / (\text{ukupan broj analiza, } R_T)$

06.04.2020.

57

Metod Monte Carlo ugrađen u Spice

[pSpice OrCAD](#)

Isto i na:

https://www.youtube.com/watch?v=tFyMdOSAY_4

06.04.2020.

58

Metod Monte Carlo ugrađen u Spice MC

LTSpice MC (x,y):

vraća bilo koji proizvoljni (*random*) broj u granicama $x*(1+y)$ i $x*(1-y)$ sa ravnomernom raspodelom

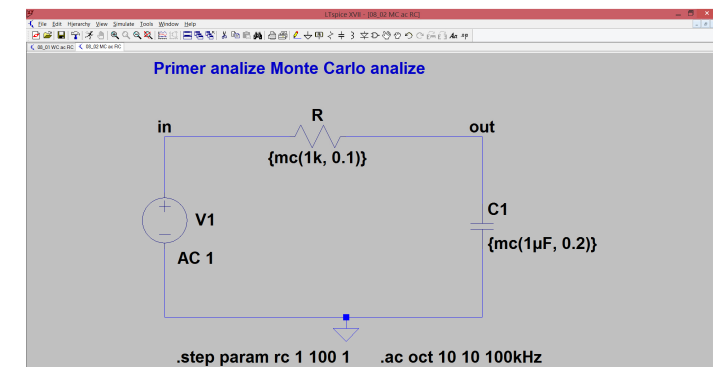
Zato se vrednosti definišu kao parametri:

$\{mc(10k, 0.05)\} = 10k \pm 5\%$

06.04.2020.

59

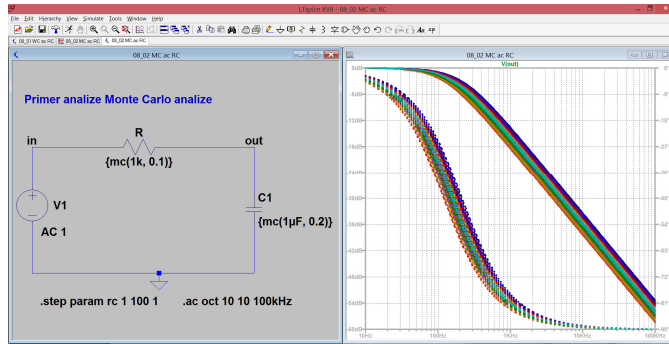
Metod Monte Carlo ugrađen u Spice LTSpice MC (x,y):



06.04.2020.

60

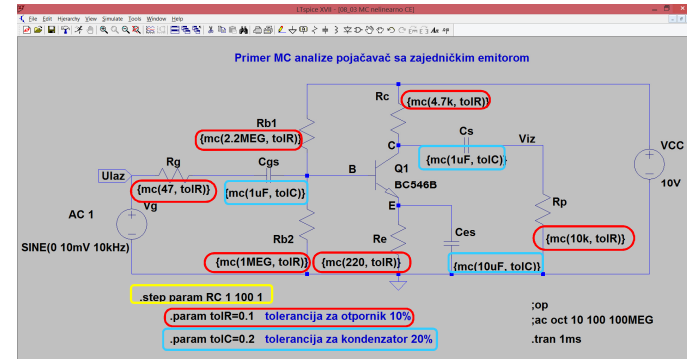
Metod Monte Carlo ugrađen u Spice LTSpice MC (x,y):



06.04.2020.

61

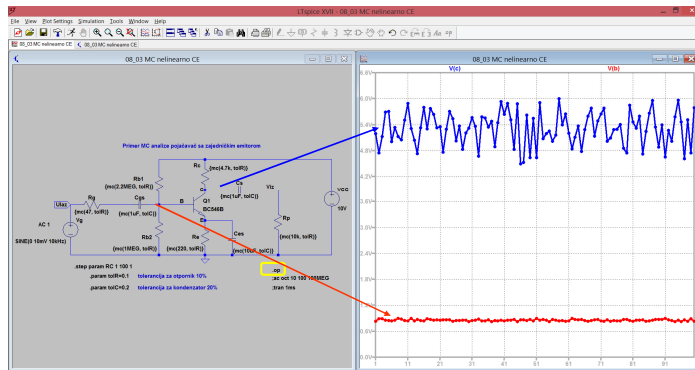
Metod Monte Carlo ugrađen u Spice LTSpice MC (x,y):



06.04.2020.

62

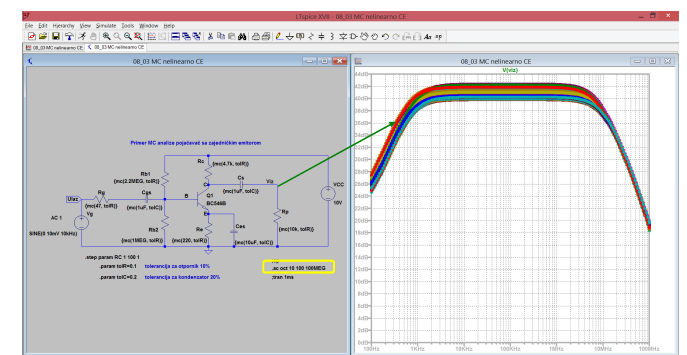
Metod Monte Carlo ugrađen u Spice LTSpice MC (x,y):



06.04.2020.

63

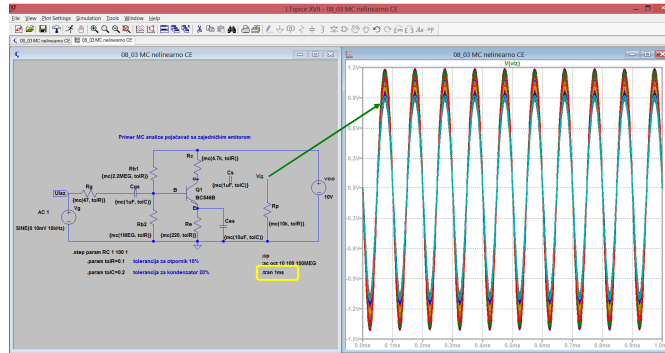
Metod Monte Carlo ugrađen u Spice LTSpice MC (x,y):



06.04.2020.

64

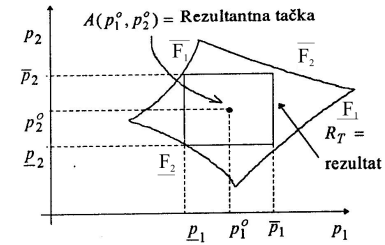
Metod Monte Carlo ugrađen u Spice LTSpice MC (x,y):



06.04.2020.

65

Sinteza tolerancija



Odrediti kvadrat (pravougaonik) sa najvećom površinom unutar oblasti prihvatljivog odziva

06.04.2020.

66

Sinteza tolerancija (za male vrednosti tolerancija)

$$\Delta F = \sum_{j=1}^n \frac{\partial F}{\partial p_j} \Delta p_j = \sum_{j=1}^n \Delta F_j = n \Delta F_p; \quad \Delta F_p = \frac{\Delta F}{n}$$

Podjednaki uticaj svih parametara na odziv

$$\Delta F_p = \frac{\Delta F}{n} \quad \Delta p_j = \frac{\Delta F_p}{\left| \frac{\partial F}{\partial p_j} \right|} = \frac{\Delta F}{n \left| \frac{\partial F}{\partial p_j} \right|}$$

06.04.2020.

67

Analiza kola - tolerancije

Šta treba da znamo?

Elementarno (za potpis)

Ciljevi analize i sinteze tolerancija?

Osnovna (za 6)

1. Opisati postupak i navesti cilj Metoda najnepovoljnijeg slučaja?
2. Opisati postupak i navesti cilj Monte Karlo analize?

Analiza kola - tolerancije

Šta treba da znamo?

Ispitna pitanja

- a) Tolerancija odziva.
- b) Tolerancija parametara.
- c) Šta su gornji/donji priraštaji parametara/odziva?
- d) Nabrojati metode za analizu tolerancija pri malim priraštajima parametara.
- e) Nabrojati metode za analizu tolerancija pri velikim priraštajima parametara.
- f) Sinteza tolerancija.

**Sledeće nedelje
Optimizacija**