

ИСПИТ ИЗ ЕЛЕКТРОМАГНЕТСКЕ КОМПАТИБИЛНОСТИ

14. мај 2020.

Напомена. Испит траје 120 минута. Дозвољена је употреба литературе и рачунара. Коначне одговоре уписати у одговарајуће кућице, учртати у дате дијаграме или заокружити један од понуђених одговора. Попунити податке о кандидату у следећој табелици. Сваки задатак носи по 10 поена.

Подаци о кандидату		Питање/Задатак				Укупно
Индекс година/број	Презиме и име	(1)	(2)	(3)	(4)	
/						

1. Квадратна жичана контура странице $a = 0,25 \text{ m}$ постављена је хоризонтално у вакууму на висини $h = 10 \text{ mm}$ изнад равни $z = 0$. Жица је од бабра, специфичне проводности $\sigma = 58 \text{ MS/m}$, а полупречник жице је $r = 0,5 \text{ mm}$.

(a) Моделовати ову контуру у програму AWAS или WIPL-D. Приложити слику модела.

(б) Израчунати модул улазне импедансе контуре у опсегу учестаности од 1 MHz до 1 GHz, са кораком од 1 MHz, када је контура (1) усамљена и (2) када је постављена изнад савршено проводне равни која се поклапа са равни $z = 0$. Приложити одговарајуће слике. Моделе копирати у фолдере „Zadatak_1\Taska_b_1“ и „Zadatak_1\Taska_b_2“.

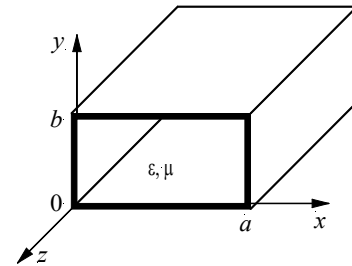
(в) На основу резултата добијених на учестаности 1 MHz израчунати индуктивност контуре у оба случаја из тачке (б). Да ли присуство проводне равни повећава или смањује индуктивност? (Заокружити или обојити одговор.)

(г) На основу модула улазне импедансе контуре, одредити прву антирезонантну и прву резонантну учестаност калема у оба случаја из тачке (б).

(a)	Слика 1.1. Модел жичане контуре.	
(б)	Слика 1.2. Модул улазне импедансе усамљене контуре.	Слика 1.3. Модул улазне импедансе контуре изнад савршено проводне равни.
(в)	$L =$ $L_{PEC} =$	<ul style="list-style-type: none"> • повећава се • смањује се
(г)	$f_{antirez} =$ $f_{rez} =$	$f_{antirez, PEC} =$ $f_{rez, PEC} =$

2. Квадратни таласовод странице $a = 100 \text{ mm}$ испуњен је ваздухом. У таласоводу се простире један прогресиван TM_{11} талас за који је $E_0 = 1 \text{ V/m}$.

(a) У програму Matlab нацртати вектор електричног поља таласа у равни $y = a/2$ (за $0 < x, z < a$ са кораком 5 mm) на учестаности (1) $0,1f_c$ и (2) $1,8f_c$, где је f_c критична учестаност таласа, и то у два тренутка времена: $t = 0$ и четвртину периода касније ($t = T/4$). Приложити добијене графике, а одговарајуће Matlab фајлове копирати у фолдере „Zadatak_2\Taska_a_1“, односно „Zadatak_2\Taska_a_2“. У истој равни, на истим учестаностима и у истим временским тренуцима одредити максималну вредност z компоненте електричног поља.



Слика 2.1. Правоугаони таласовод.

(б) Која функција описује зависност интензитета електричног поља од z -координате на учестаности $0,1f_c$? (Заокружити одговор.)

Напомена: изрази за комплексне компоненте електричног поља TM_{mn} таласа у правоугаоном таласоводу, према координатном систему са слике 2.1, су:

$$\underline{E}_x(x, y, z) = -\frac{\gamma}{K^2} \underline{E}_0 \frac{m\pi}{a} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \exp(-\gamma z)$$

$$\underline{E}_y(x, y, z) = -\frac{\gamma}{K^2} \underline{E}_0 \frac{n\pi}{b} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \exp(-\gamma z)$$

$$\underline{E}_z(x, y, z) = \underline{E}_0 \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \exp(-\gamma z)$$

$$f_c = \frac{1}{2\sqrt{\varepsilon\mu}} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}, \quad K^2 = \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2, \quad \gamma = \sqrt{K^2 - \omega^2 \varepsilon\mu}$$

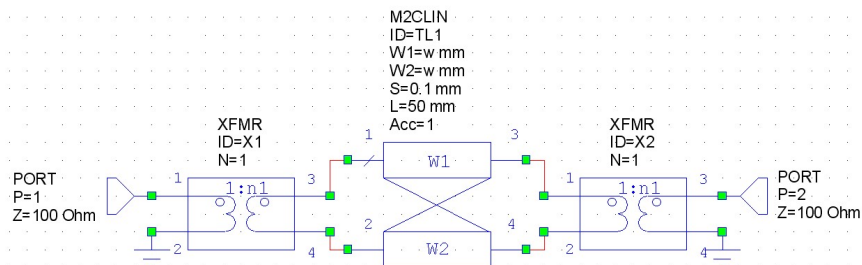
(a)	Слика 2.2. Електрично поље таласа у равни $y = a/2$ на учестаности $0,1f_c$ у тренутку $t = 0$. $E_{z,\max}(0,1f_c, t = 0) =$	Слика 2.4. Електрично поље таласа у равни $y = a/2$ на учестаности $1,8f_c$ у тренутку $t = 0$. $E_{z,\max}(1,8f_c, t = 0) =$	
	Слика 2.3. Електрично поље таласа у равни $y = a/2$ на учестаности $0,1f_c$ у тренутку $t = T/4$. $E_{z,\max}(0,1f_c, t = T/4) =$	Слика 2.5. Електрично поље таласа у равни $y = a/2$ на учестаности $1,8f_c$ у тренутку $t = T/4$. $E_{z,\max}(1,8f_c, t = T/4) =$	
(б)	• линеарна	• експоненцијална	• тригонометријска

3. Два симетрична спрегнута микротракаста вода наштампана су на подлози од материјала FR-4, дебљине $h = 0,1 \text{ mm}$, релативне пермитивности $\varepsilon_r = 4,6$ и тангенса угла губитака $\text{tg } \delta = 0,02$. Проводници су од позлаћеног бабра, а дебљина метализације је $t = 10 \mu\text{m}$. Дужина спрегнутих водова је $l = 50 \text{ mm}$. Овим паром водова преноси се сигнал у диференцијалном моду, према шеми у програму Microwave Office (MWO) приказаној на слици 3.1. Диференцијална карактеристична импеданса треба да буде $Z_d = 100 \Omega$, а опсег учестаности од интереса је од 100 MHz до 5 GHz .

(а) Одредити ширину трака водова тако да се добије што мања рефлексија када је растојање између трака (1) $s = 0,1 \text{ mm}$ и (2) $s = 0,5 \text{ mm}$. Моделе копирати у фолдере „Zadatak_3\Taska_a_1“ и „Zadatak_3\Taska_a_2“.

(б) Када је $s = 0,1 \text{ mm}$, за ширину трака одређену у тачки (а) анализирати спрегнуте микротракасте водове програмом LINPAR и израчунати реални део карактеристичне импедансе (1) парног мода, (2) непарног мода, (3) диференцијалног мода и (4) заједничког мода, као и (5) коефицијент слабљења диференцијалног мода на учестаности 1 GHz . Специфична проводност злата је 41 MS/m . Модел копирати у фолдер „Zadatak_3\Taska_b“.

(в) На основу модела из тачке (а) за $s = 0,1 \text{ mm}$, израчунати слабљење које уноси вод и израчунати релативну грешку у односу на резултат за слабљење добијен у тачки (б).



Слика 3.1. Шема система спрегнутих микротракастих водова у програму Microwave Office.

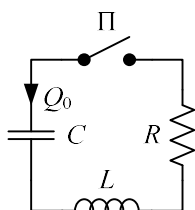
(a) $w_1 =$ $w_2 =$	(б) $\operatorname{Re}\{Z_e\} =$ $\operatorname{Re}\{Z_o\} =$ $\operatorname{Re}\{Z_{dm}\} =$ $\operatorname{Re}\{Z_{cm}\} =$ $\alpha =$	(в)
----------------------------	--	-----

4. У колу приказаном на слици 4.1 је $L = 100 \mu\text{H}$ и $C = 1 \mu\text{F}$. Прекидач П је отворен, а оптерећеност кондензатора је $Q_0 = 10 \mu\text{C}$. Прекидач П се затвори у тренутку $t = 0$.

(a) Саставити шему кола у програму LTspice или Microwave Office (MWO). Приложити одговарајућу слику.

(б) За временски интервал $0 < t < 1 \text{ ms}$ израчунати напон кондензатора за отпорности R из дискретног скупа $\{1, 2, 5, 10, 20, 50, 100\} \Omega$. За сваку отпорност проценити време смиривања одзива (које је дефинисано као време после кога апсолутна вредност напона кондензатора не прелази 5 % почетне вредности). За отпорност при којој је квазипериодичан одзив најизраженији, проценити временски размак између два узастопна максимума напона. Приложити одговарајуће графике (или један график са преклопљеним напонима). Модел копирати у фолдер „Zadatak_4\Taska_b“.

(в) На основу резултата из тачке (б) одредити отпорност R која одговара критичном пригушењу.

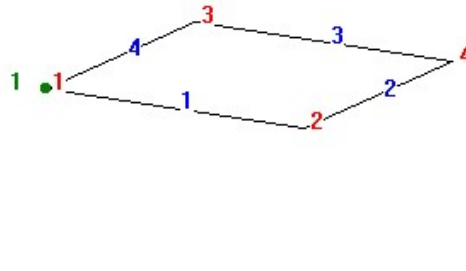


Слика 4.1. Шема кола.

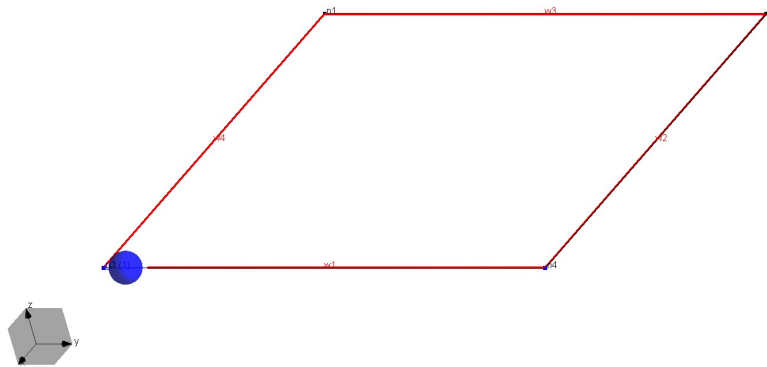
(a)	Слика 4.2. Шема кола у програму LTspice или Microwave Office.																	
(б)	Слика 4.3. Напон кондензатора. <table border="1" data-bbox="544 1270 1055 1806"> <thead> <tr> <th>$R [\Omega]$</th> <th>Време смиривања одзива $[\mu\text{s}]$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td></td></tr> <tr><td>50</td><td></td></tr> <tr><td>100</td><td></td></tr> </tbody> </table>		$R [\Omega]$	Време смиривања одзива $[\mu\text{s}]$	1		2		5		10		20		50		100	
$R [\Omega]$	Време смиривања одзива $[\mu\text{s}]$																	
1																		
2																		
5																		
10																		
20																		
50																		
100																		
(в) $R =$																		

РЕШЕЊА ЗАДАТАКА СА ИСПИТА ИЗ ЕЛЕКТРОМАГНЕТСКЕ КОМПАТИБИЛНОСТИ ОДРЖАНОГ 14. МАЈА 2020.

1. (a)

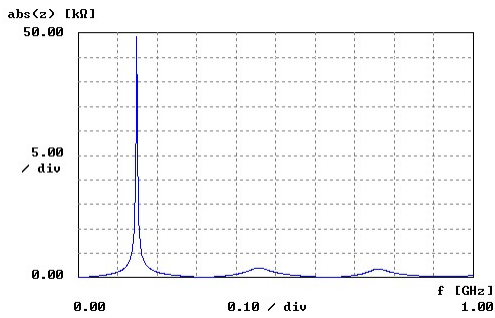


Слика 1.1a. Модел жичане контуре у програму AWAS.

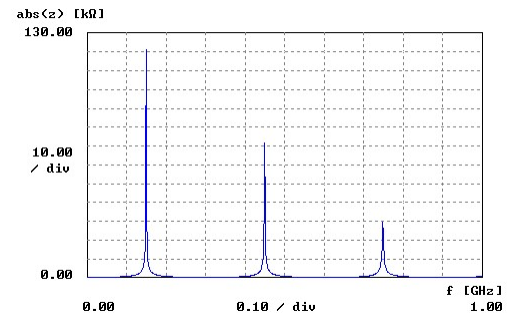


Слика 1.1b. Модел жичане контуре у програму WIPL-D.

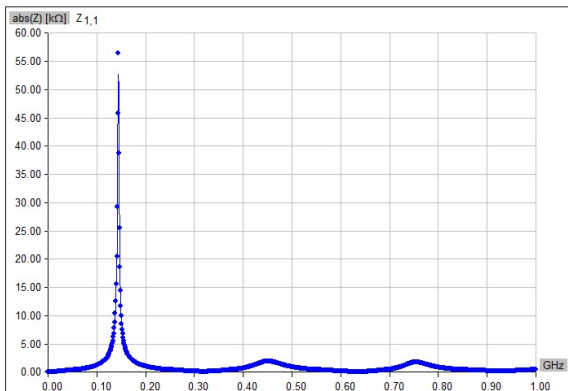
(б)



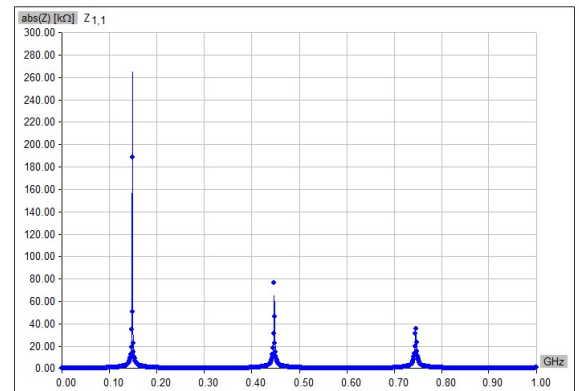
Слика 1.2a. Модул улазне импедансе усамљене контуре (AWAS).



Слика 1.3a. Модул улазне импедансе контуре изнад савршено проводне равни (AWAS).



Слика 1.2b. Модул улазне импедансе усамљене контуре (WIPL-D).



Слика 1.3b. Модул улазне импедансе контуре изнад савршено проводне равни (WIPL-D).

(B) AWAS: $L = 1,1\mu\text{H}$, $L_{\text{PEC}} = 0,78\mu\text{H}$.

WIPL-D: $L = 1,09\mu\text{H}$, $L_{\text{PEC}} = 0,72\mu\text{H}$.

Присуство равни смањује индуктивност због вихорних струја индукованих у равни.

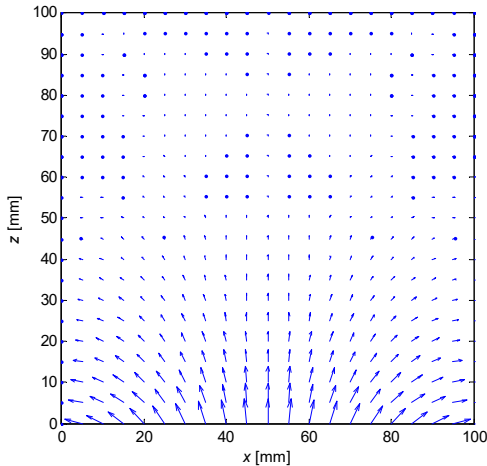
(Г) AWAS: $f_{\text{antirez}} = 148\text{MHz}$, $f_{\text{rez}} = 322\text{MHz}$.

AWAS: $f_{\text{antirez,PEC}} = 149\text{MHz}$, $f_{\text{rez,PEC}} = 303\text{MHz}$.

WIPL-D: $f_{\text{antirez}} = 151\text{MHz}$, $f_{\text{rez}} = 321\text{MHz}$.

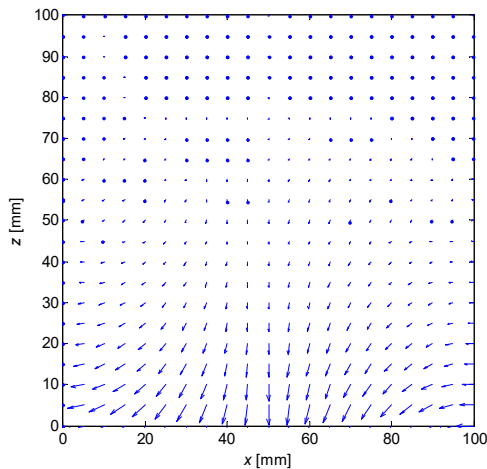
WIPL-D: $f_{\text{antirez,PEC}} = 153\text{MHz}$, $f_{\text{rez,PEC}} = 305\text{MHz}$.

2. (a)



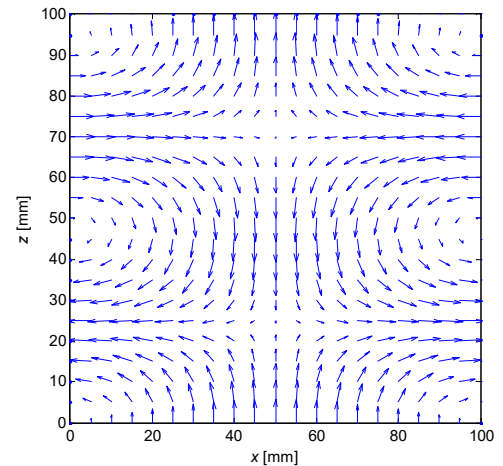
Слика 2.2. Електрично поље таласа у равни $y = a/2$ на учестаности $0,1f_c$ у тренутку $t = 0$.

$$E_{z,\text{max}}(0,1f_c, t = 0) = 1,41 \frac{\text{V}}{\text{m}}.$$



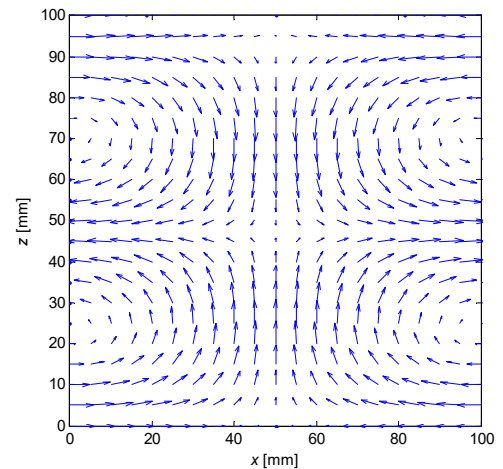
Слика 2.3. Електрично поље таласа у равни $y = a/2$ на учестаности $0,1f_c$ у тренутку $t = T/4$.

$$E_{z,\text{max}}(0,1f_c, t = T/4) \approx 0.$$



Слика 2.4. Електрично поље таласа у равни $y = a/2$ на учестаности $1,8f_c$ у тренутку $t = 0$.

$$E_{z,\text{max}}(1,8f_c, t = 0) = 1,41 \frac{\text{V}}{\text{m}}.$$



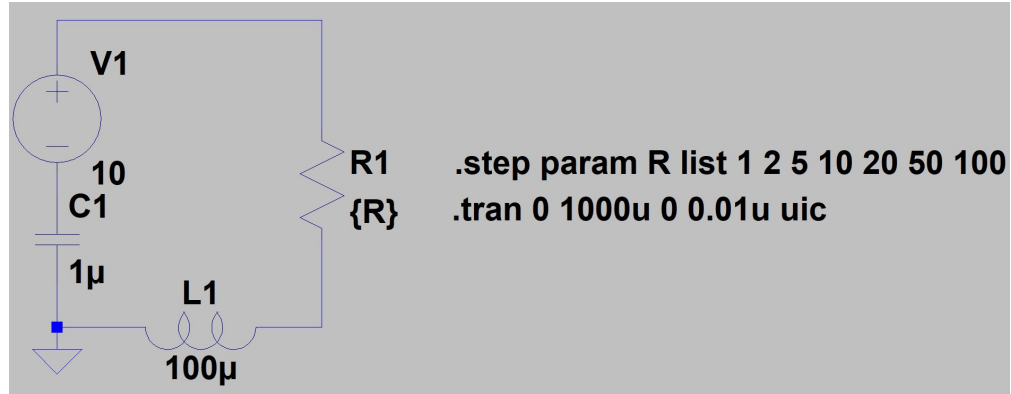
Слика 2.5. Електрично поље таласа у равни $y = a/2$ на учестаности $1,8f_c$ у тренутку $t = T/4$.

$$E_{z,\text{max}}(1,8f_c, t = T/4) = 1,41 \frac{\text{V}}{\text{m}}.$$

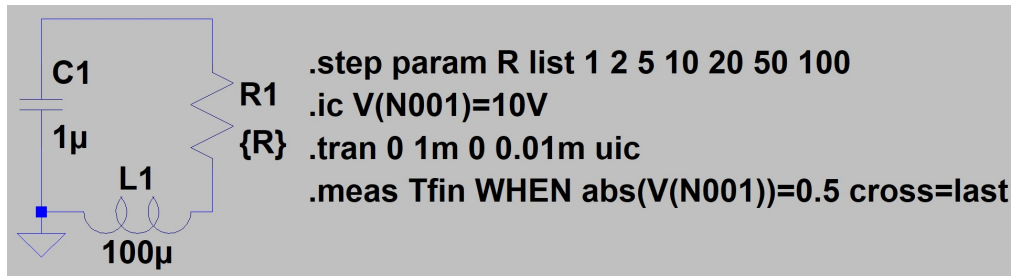
- (б) • линеарна • експоненцијална • тригонометријска

3. (a) $w_1 \approx 0,134 \text{ mm}$, $w_2 \approx 0,176 \text{ mm}$. (б) $\text{Re}\{Z_e\} = 67,0 \Omega$, $\text{Re}\{Z_o\} = 49,7 \Omega$, $\text{Re}\{Z_{dm}\} = 2 \text{Re}\{Z_o\} = 99,4 \Omega$,
 $\text{Re}\{Z_{cm}\} = \frac{\text{Re}\{Z_e\}}{2} = 33,5 \Omega$, $\alpha = 7,9 \text{ dB/m}$.
- (в) Модел из тачке (а) даје слабљење $0,37 \text{ dB}$, а слабљење на основу резултата из тачке (б) је $0,395 \text{ dB}$, па је релативна грешка око 7% .

4. (a)

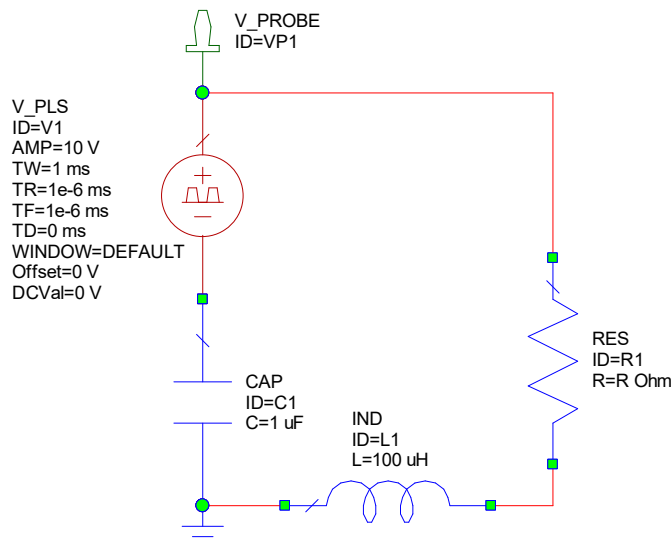


(a)



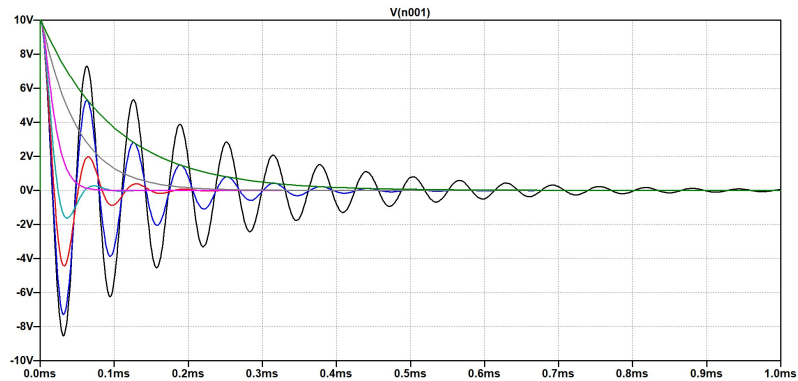
(б)

Слика 4.2а. Шема кола у програму LTspice (а) први начин: решење са помоћним идеалним напонским генератором и (б) други начин: решење са употребом директиве за задавање почетног услова.

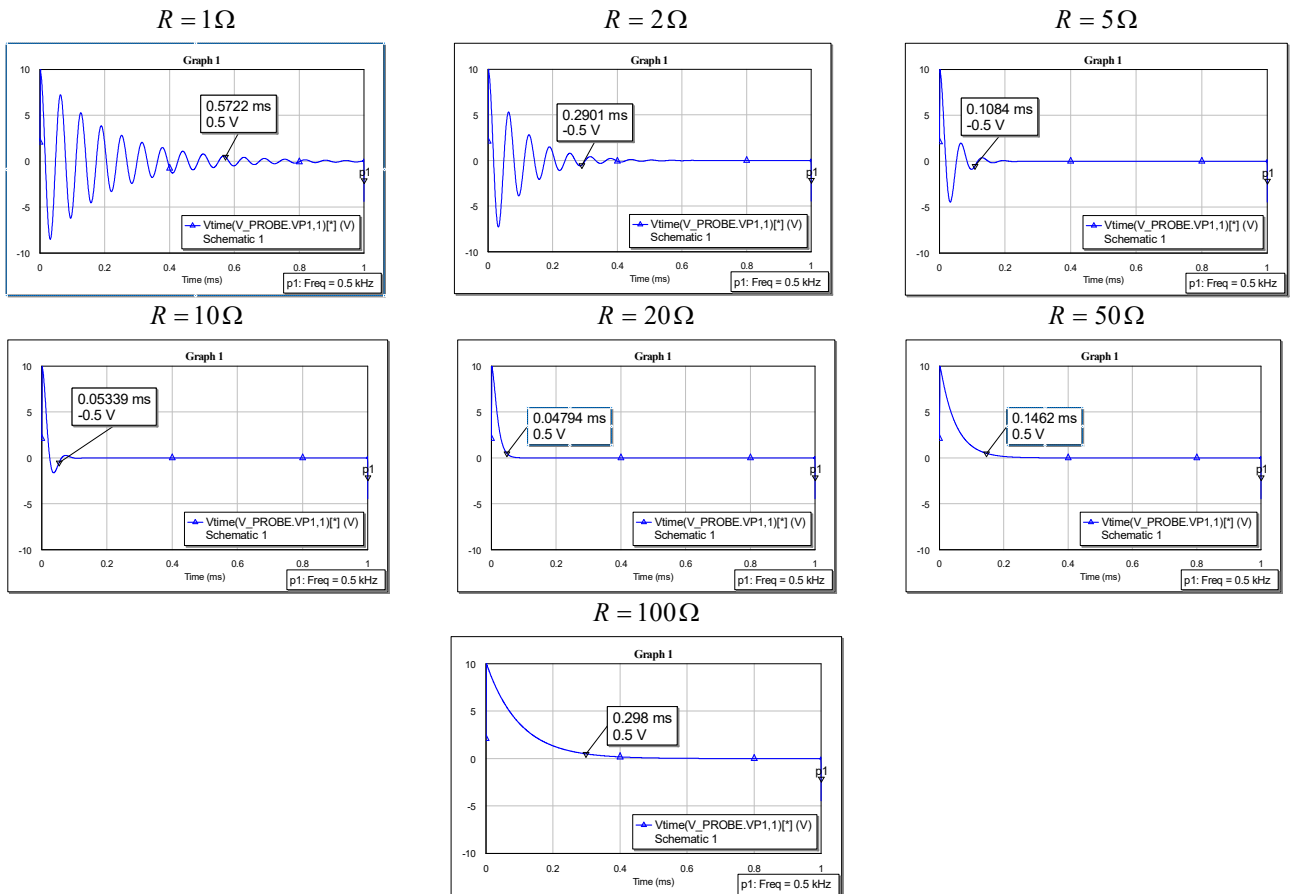


Слика 4.2б. Шема кола у програму Microwave Office.

(6)



Слика 4.3а. Напон кондензатора (LTspice).



Слика 4.3б. Напон кондензатора (MWO).

$R [\Omega]$	Време смиревања одзива (LTspice) [μs]	Време смиревања одзива (MWO) [μs]
1	605	572
2	292	290
5	109	108
10	53,5	53
20	47,7	48
50	146	146
100	298	298

Одзив се најбрже смирује при критичном пригушењу.

(B) $R = 2\sqrt{\frac{L}{C}} = 20 \Omega .$