

МИКРОТАЛАСНИ ФИЛТРИ НЕПРОПУСНИЦИ ОПСЕГА УЧЕСТАНОСТИ СА ПРЕГРАДАМА У *E*- и *H*- РАВНИ ТАЛАСОВОДА



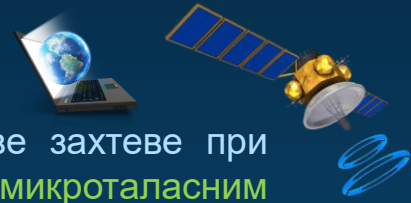
Докторска дисертација

Кандидат: Марија Мрвић,
2013/5006

Универзитет у Београду,
Електротехнички факултет

Ментор: др Милка Потребих,
ван. професор

Увод



- Непрекидни развој информационо-комуникационих технологија, поставља нове захтеве при пројектовању компоненти које су интегрални делови система који раде на **РФ и микроталасним учестаностима**.
- РФ и микроталасна техника је усмерена према склоповима који раде у опсегу учестаности 300 MHz до 300 GHz, а пројектовани су за потребе:
 - мобилних система,
 - земаљских и сателитских телекомуникација,
 - радионавигације и радарске технике,
 - система за надзор и контролу и
 - система инструментације.
- Услед непрекидног развоја комуникационих сервиса, долази до пораста експлоатације спектра, те је неопходно ефикасно обезбедити пренос само жељених сигнала, а да се при том паразитни ефекти потисну, који могу бити последица појаве шума или нежељених спектралних компоненти.
- **Филтри** су неизоставне компоненте комуникационих система, јер је суштински, филтар подсистем чији је задатак да из спектра фреквенцијски сложеног улазног сигнала **издвоји** и **пропусти** жељене компоненте без слабљења или са минималним дозвољеним слабљењем, а **потисне** жељене компоненте.



Тема



- Предложена тема докторске дисертације има значајно утемељење у погледу решавања проблема **минијатуризације таласоводних филтара**, који налазе примену у системима где су потребне велике снаге и мали губици.
- Од изузетне је важности да пројектовани уређај одликују **мале димензије** и **специфициране карактеристике**.
- Пројектовање ове класе филтара представља захтеван процес јер мора да истовремено задовољи више критеријума. Поступак пројектовања треба да задовољи захтеве спецификације:
 - **компактност**
 - што **једноставнији** поступак фабрикације
 - добре **перформансе**
 - **ниска цена** компоненте



Предмет и циљ истраживања

- Предмет проучавања дисертације представљају минијатуризовани филтри резонантне преграде у користе резонантне преграде у E - и H -равни правоугаоног таласовода.
- Таласоводни филтри представљају посебну класу микроталасних филтара чији се рад заснива на принципу убацивања дисконтинуитета у таласовод.
- Циљ истраживања је усмерен на пројектовање **компактних** таласоводних филтара вишег реда, са више непропусних опсега учестаности.
- Истовремено, истраживање се бави развојем генерализованих **еквивалентних електричних шема** за сваки од пројектованих филтара.
- Приликом развоја еквивалентне шеме, посебан нагласак је стављен на моделовање спрегнутих резонатора и симболично одређивање параметара спреге.



Научни допринос дисертације



- **Научни допринос** докторске дисертације су нови методи пројектовања компактних микроталасних филтара вишег реда са више непропусних опсега учестаности са штампаним резонантним преградама постављеним у Е- и Н-равни правоугаоног таласовода.
- Окосница предложеног метода пројектовања филтара са више непропусних опсега је чињеница да **не постоји нежељена спрега** између резонатора који учествују у реализацији специфицираних опсега.
- Основни концепт постизања компактности је меандрирање штампаних водова резонатора у циљу смањења површине коју заузимају на диелектричном носачу.
- У погледу постизања компактности филтара, вишег реда са више непропусних опсега, **технике минијатуризације** се примењују у зависности од равни у којој се преграда позиционира.
- Додатни допринос се огледа у **унапређењу** карактеристика филтара **пропусника** опсега учестаности. Традиционална имплементација која користи спрегнуте полуталасне резонаторе је значајно побољшана употребом додатних четвртталасних резонатора.

Појмовно одређивање филтара



- Електрични филтри представљају **фреквенцијски селективне мреже** са два или више приступа, који издвајају одређене фреквенцијске компоненте сигнала, док друге слабе. За филтре се дефинише: пропусни, непропусни опсег и прелазна област

Класификација:

У складу са **опсегом учестаности** које издвајају:

- филтри пропусници ниских учестаности
- филтри пропусници високих учестаности
- филтри пропусници опсега учестаности
- филтри непропусници опсега учестаности

Сходно **природи сигнала** које пропуштају, могу се поделити на:

- аналогне филтре
- дигиталне филтре

Зависно од **конструктивних елемената**, аналогни филтри се деле на:

- пасивне
- активне



Пројектовање филтара



Пројектовање филтара подразумева уређен низ дефинисаних корака које треба реализовати:

Спецификација

- Апроксимација
- Синтеза
- Симулациони модел филтра
- Реализација
- Студија имперфекције
- Оптимизација

*Полазни корак у пројектовању филтра подразумева успостављање захтева које филтар треба да задовољи, односно, дефинисање спецификације.

Фазе фабрикације лабораторијског прототипа:

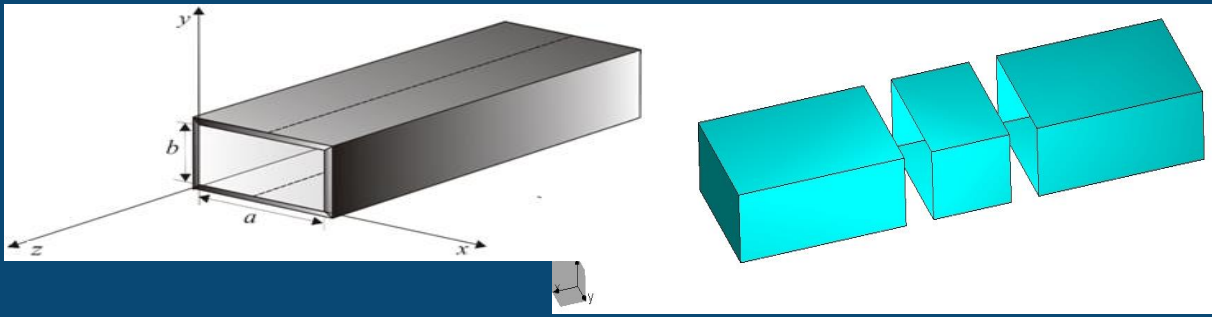


Процес истраживања

Процес истраживања обухвата:

- тродимензионално моделовање и електромагнетску анализу разматраних филтара
- еквивалентне електричне шеме филтара који су у току анализе задовољили спецификацију, у циљу лакшег испитивања њихових карактеристика
- фабрикацију лабораторијских прототипова филтара и пост-фабрикацијска контролна мерења димензија
- мерење перформанси лабораторијског прототипа, спроведено помоћу векторског анализатора мрежа
- анализу резултата мерења, у циљу верификације полазног метода и поређења са одговарајућим решењима из литературе

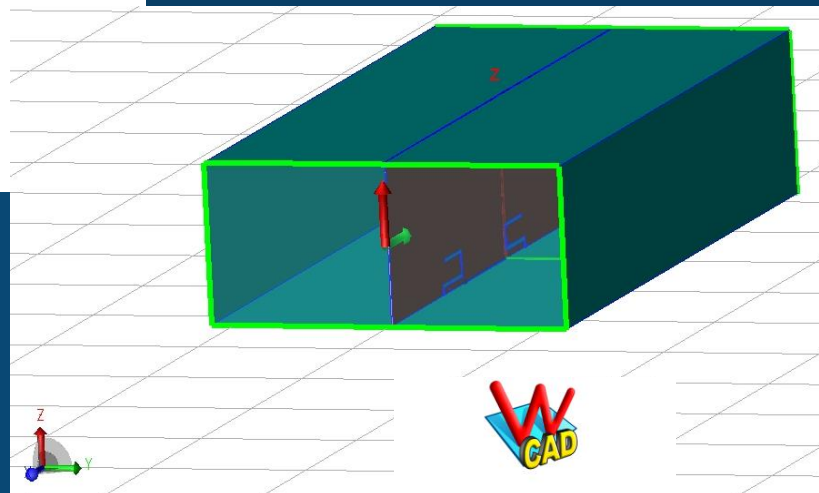
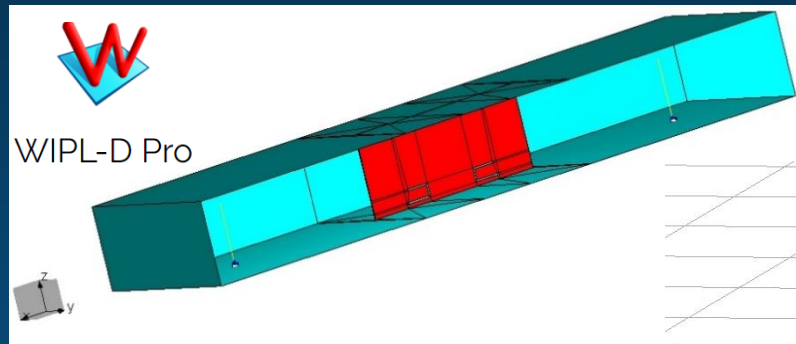
Пројектовани микроталасни филтри треба да имају већу компактност и боље перформансе него одговарајући филтри приказани у доступној литератури.



Галасовод:

- систем за вођење електромагнетских таласа
- шупља метална цев
- правоугаони, кружни или елипсоидни попречни пресек

Процес истраживања - софтвер



WIPL-D Pro CAD

Филтри непропусници опсега учестаности са резонантном преградом у Е-равни

Филтри непропусници опсега учестаности са четвртталасним резонаторима

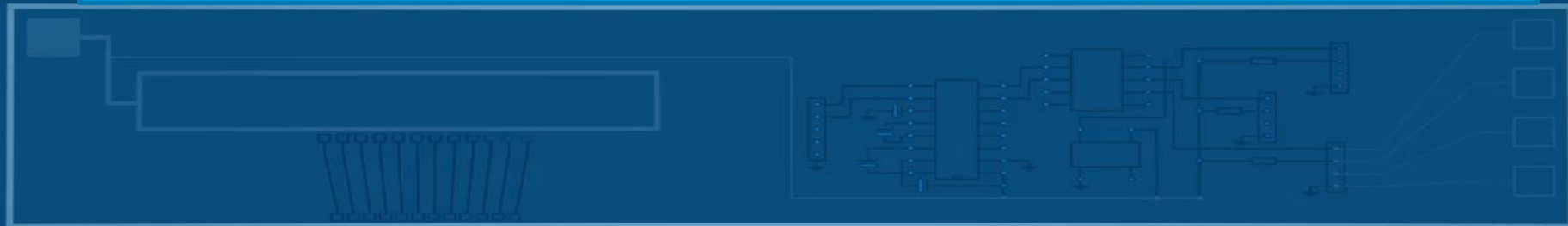
Пројектовање са резонаторима везаним за исти зид таласовода

Пројектовање са резонаторима везаним за наспрамне зидове таласовода

Филтри непропусници опсега учестаности са полуталасним резонаторима

Филтри непропусници опсега учестаности са резонантном преградом у Н-равни

Филтри пропусници опсега учестаности



Филтри непропусници опсега учестаности са резонантном преградом у Е-равни

Филтри непропусници опсега учестаности са четвртталасним резонаторима

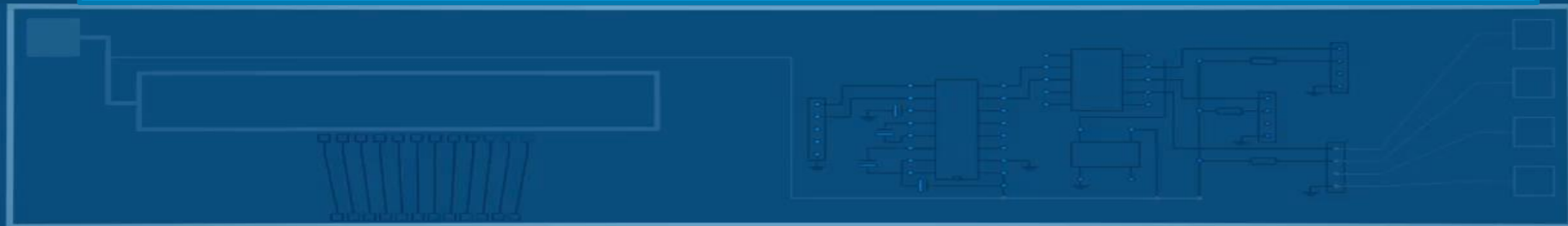
Пројектовање са резонаторима везаним за исти зид таласовода

Пројектовање са резонаторима везаним за наспрамне зидове таласовода

Филтри непропусници опсега учестаности са полуталасним резонаторима

Филтри непропусници опсега учестаности са резонантном преградом у Н-равни

Филтри пропусници опсега учестаности



Филтри непропусници опсега учестаности са резонантном преградом у Е-равни

Филтри непропусници опсега учестаности са четвртталасним резонаторима

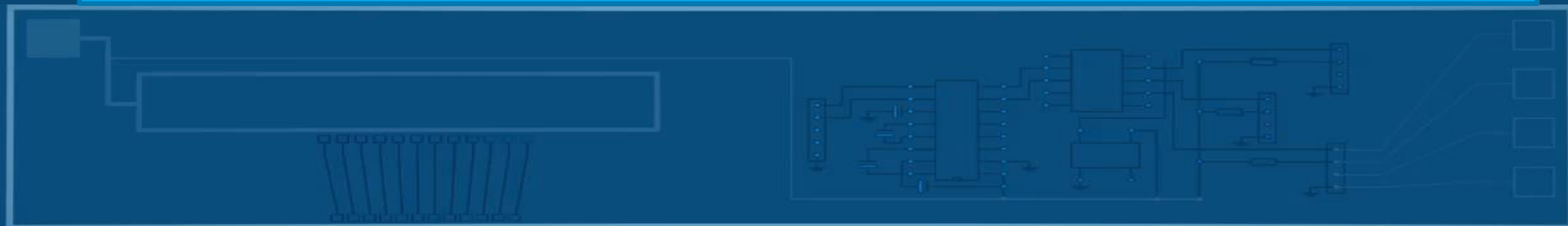
Пројектовање са резонаторима везаним за исти зид таласовода

Пројектовање са резонаторима везаним за наспрамне зидове таласовода

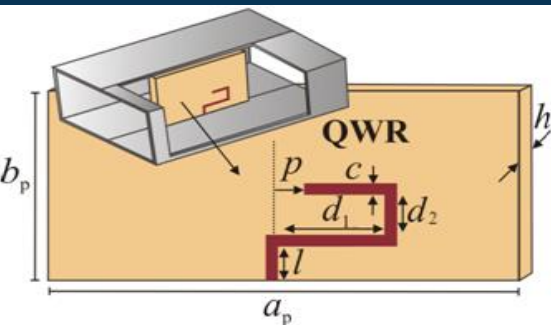
Филтри непропусници опсега учестаности са полуталасним резонаторима

Филтри непропусници опсега учестаности са резонантном преградом у Н-равни

Филтри пропусници опсега учестаности

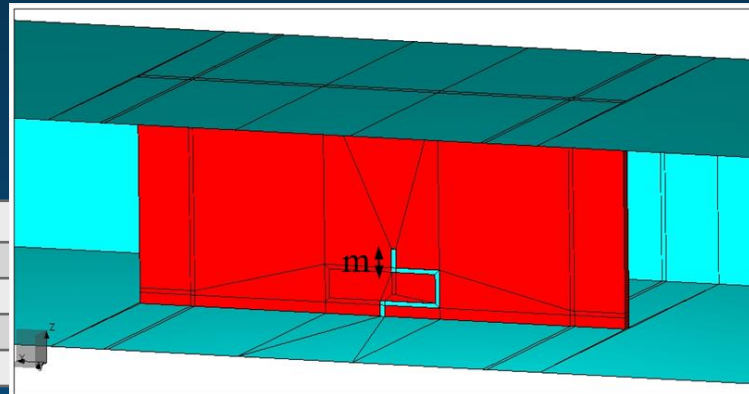


Четвртталасни таласоводни резонатор



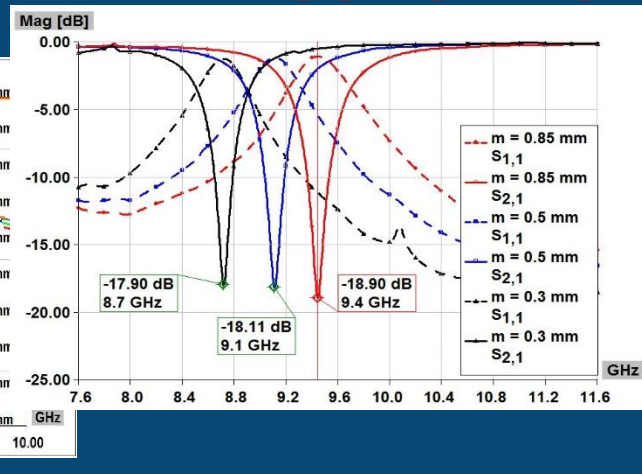
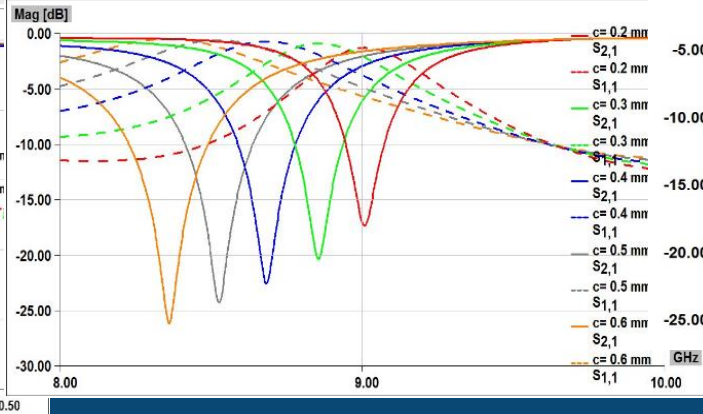
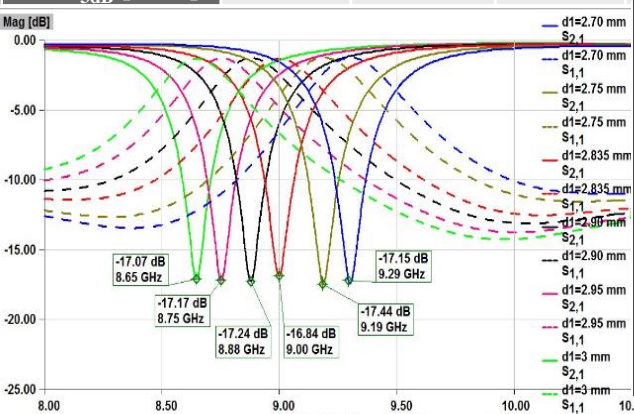
RT/Duroid 5880

Параметар	Вредност
Диелектрична константа	2.55
Тангенс угла губитака	0.0019
Дебљина супстрата [mm]	1.143
Дебљина метализације [mm]	0.018

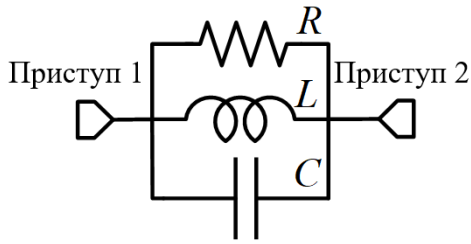


Меандрирани резонатор

c [μm]	200	300	400	500	600
f_0 [GHz]	9.0	8.86	8.65	8.52	8.35
$B_{3\text{dB}}$ [GHz]	0.38	0.53	0.62	0.75	0.895



Еквивалентна шема таласоводног четвртталасног резонатора

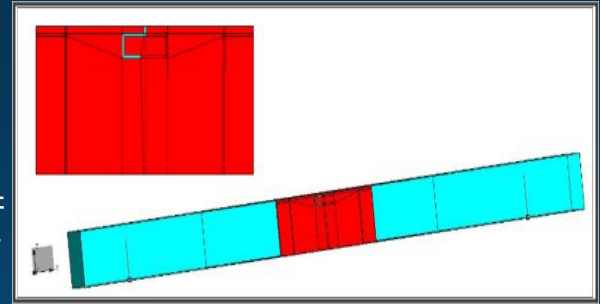


$$R = \frac{|S_{11}(j\omega_0)|Z_0}{1 - |S_{11}(j\omega_0)|}$$

$$L = \frac{2B_{3dB}|S_{11}(j\omega_0)|Z_0}{\omega_0^2}$$

$$C = \frac{1}{2B_{3dB}|S_{11}(j\omega_0)|Z_0}$$

$$Z_0 = \frac{\sqrt{\mu/\epsilon}}{\sqrt{1 - (f_c/f)^2}}$$



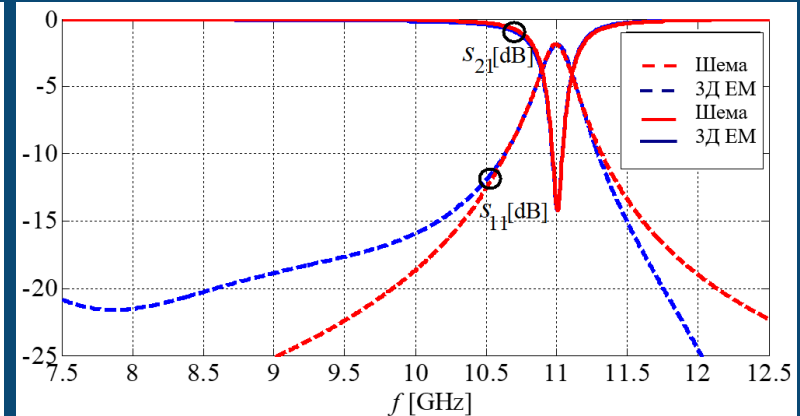
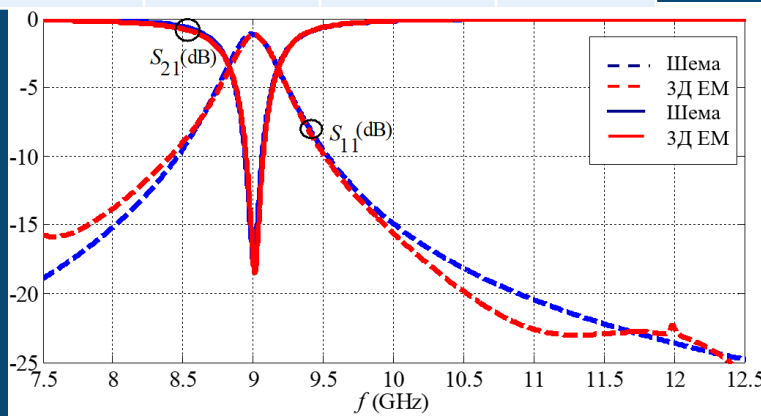
$f_0 = 9 \text{ GHz}$ $R = 6646 \ \Omega$, $L = 0.7047 \text{ nH}$, $C = 0.4437 \text{ pF}$

$f_0 = 11 \text{ GHz}$ $R = 7861 \ \Omega$, $L = 0.57637 \text{ nH}$, $C = 0.3666 \text{ pF}$

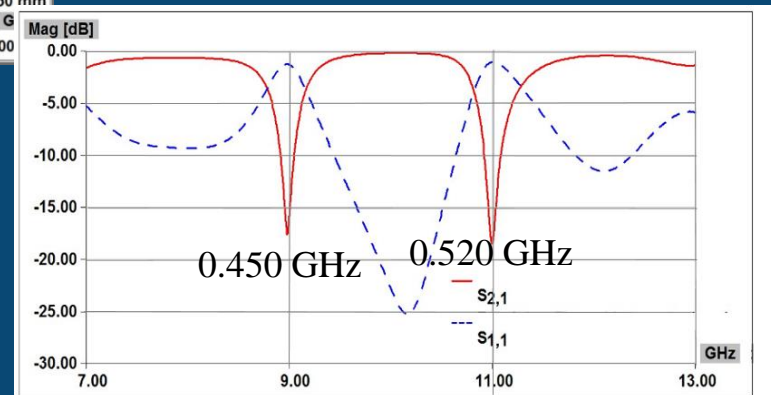
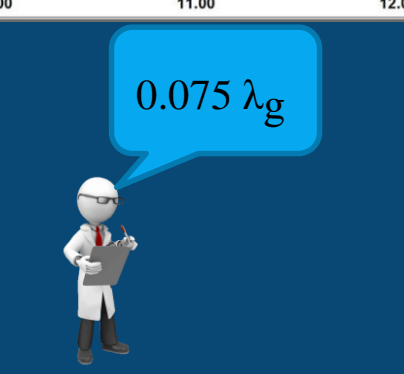
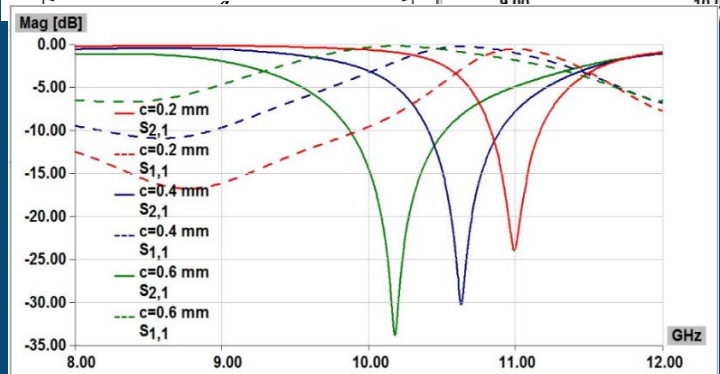
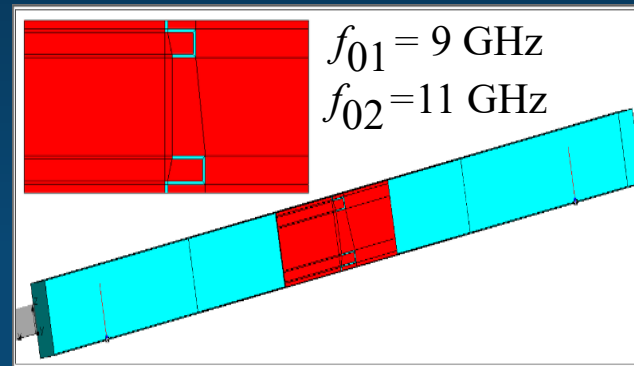
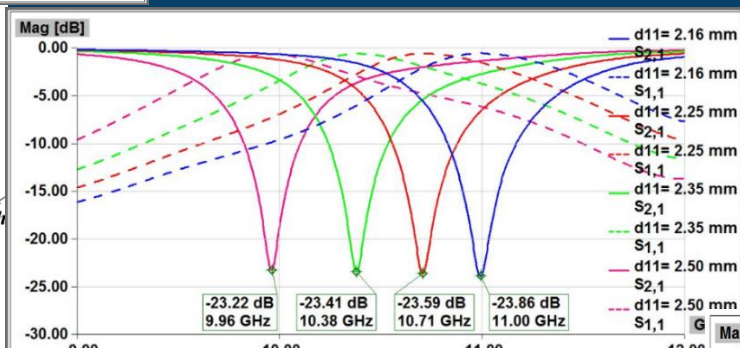
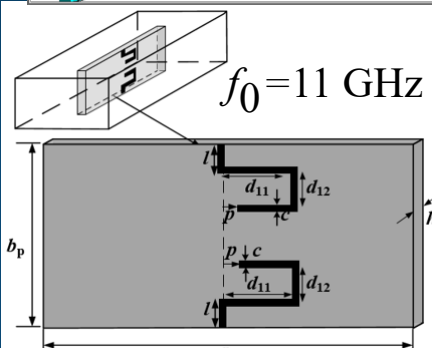
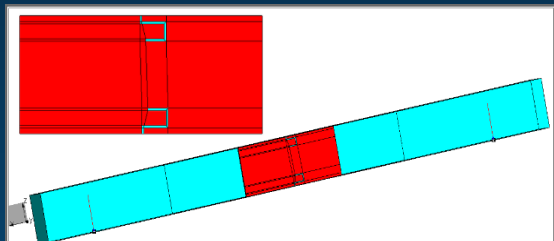
Модел	f_0 [GHz]	B_{3dB} [MHz]	f_0 [GHz]	B_{3dB} [MHz]
3Д ЕМ	9.00	380	11.02	523
Ко.ло	9.0	385	11.03	520

$$Q_L = \frac{\omega_0}{\Delta\omega_{3dB}}$$

$$Q_U = \frac{Q_L}{1 - |S_{21}(\omega_0)|}$$

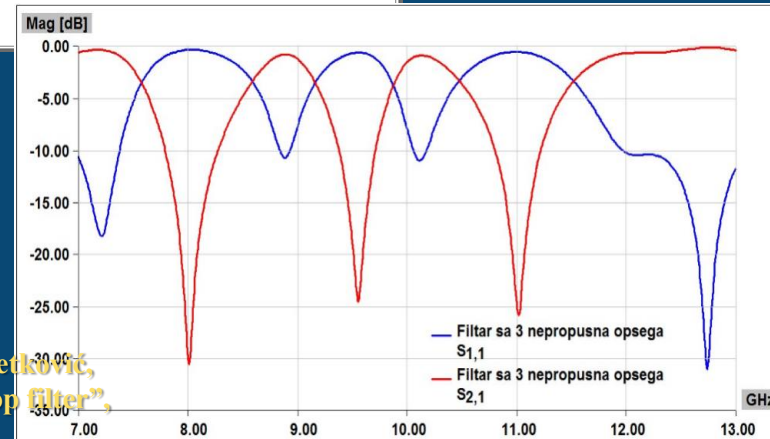
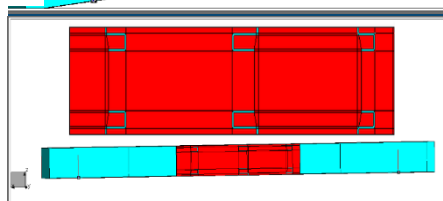
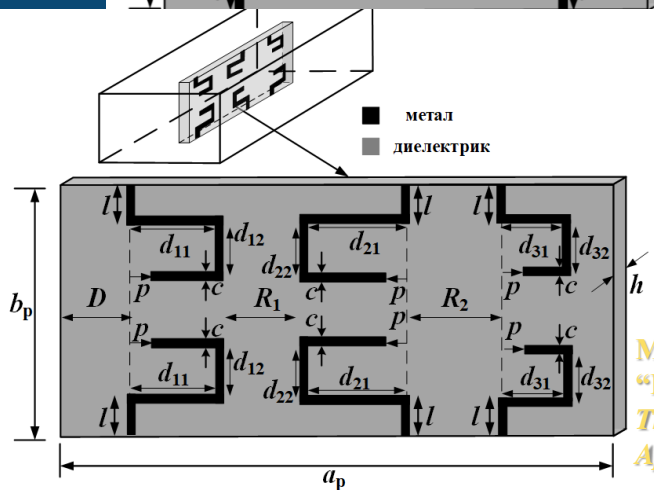
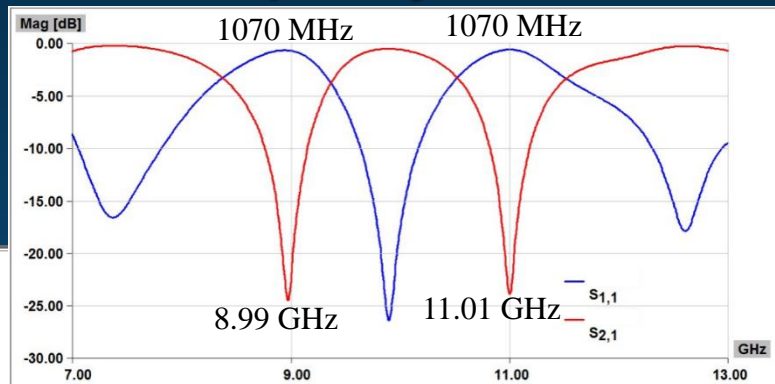
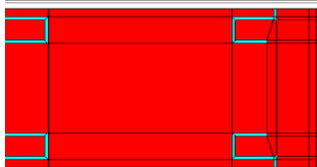
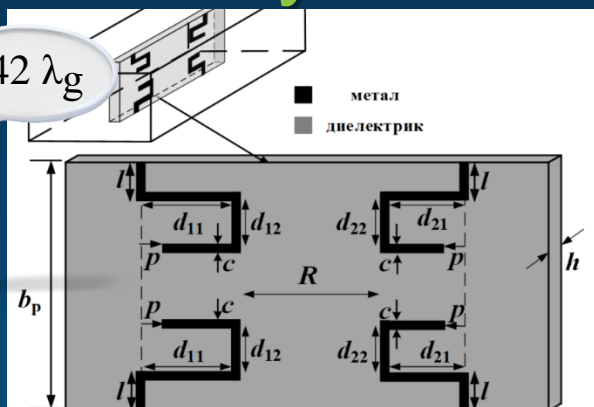


Решења која користе резонаторе везане за наспрамне зидове таласовода



Филтри вишег реда са више непропусних опсега учестаности

$0.42 \lambda_g$



M. Mrvić, M. Potrebić, D. Tošić, Z. Cvetković,
 “Miniaturization of waveguide bandstop filter”,
 The 12th International Conference on
 Applied Electromagnetics (IIEC 2015), Niš, Serbia, 2015.

Филтри непропусници опсега учестаности са резонантном преградом у Е-равни

Филтри непропусници опсега учестаности са четвртталасним резонаторима

Пројектовање са резонаторима везаним за исти зид таласовода

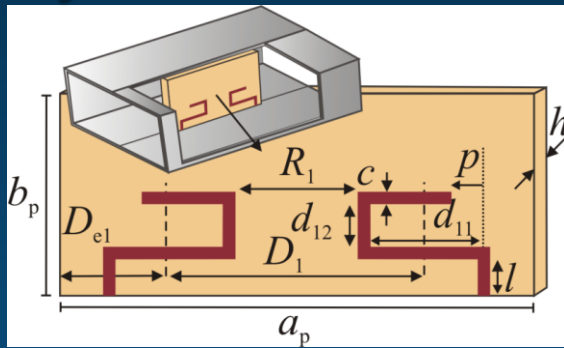
Пројектовање са резонаторима везаним за наспрамне зидове таласовода

Филтри непропусници опсега учестаности са полуталасним резонаторима

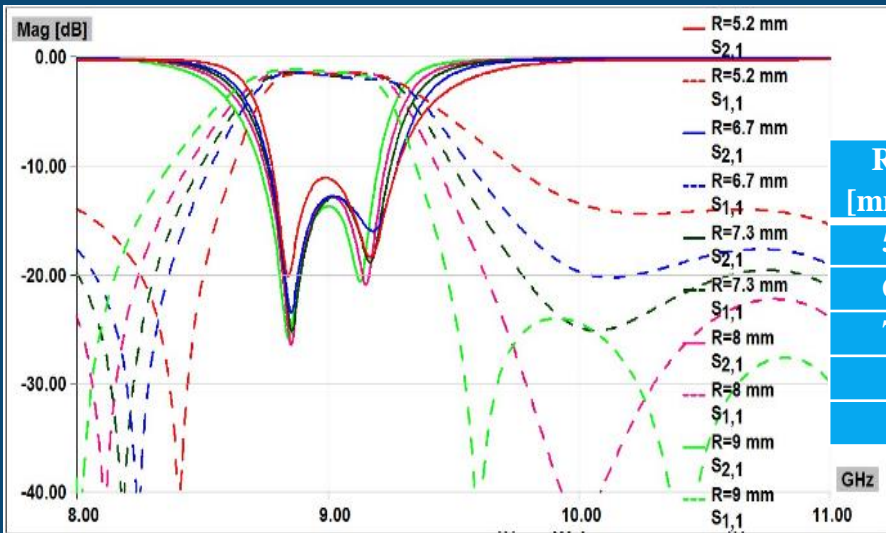
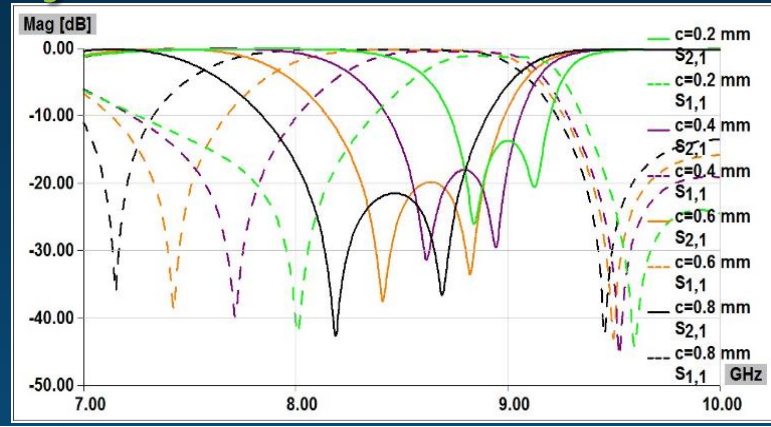
Филтри непропусници опсега учестаности са резонантном преградом у Н-равни

Филтри пропусници опсега учестаности

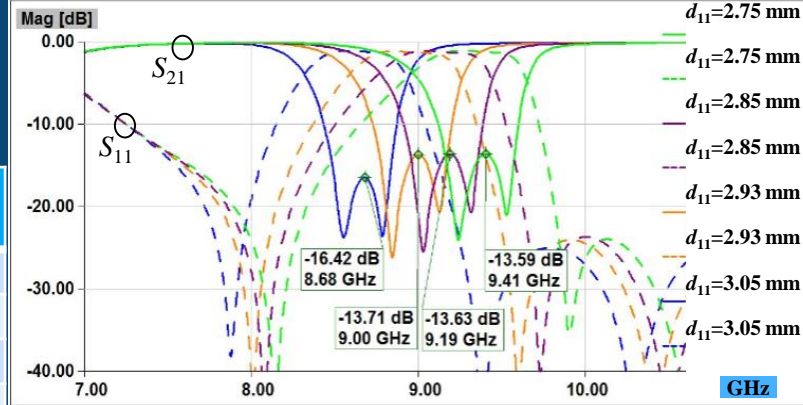
Филтар другог реда непропусник опсега учестаности



Параметар	
ϵ_r	3
$\tan \delta$	0.0028
Дебљина [mm]	0.11176
Метализације [mm]	0.0175

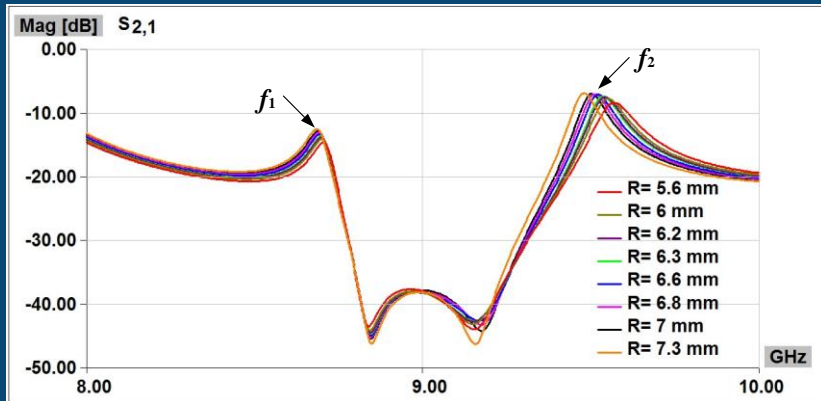
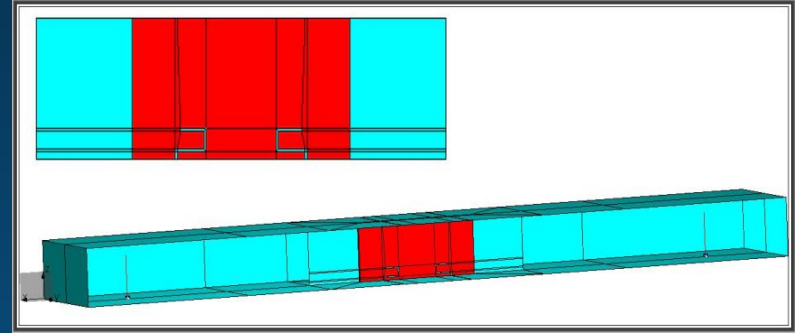
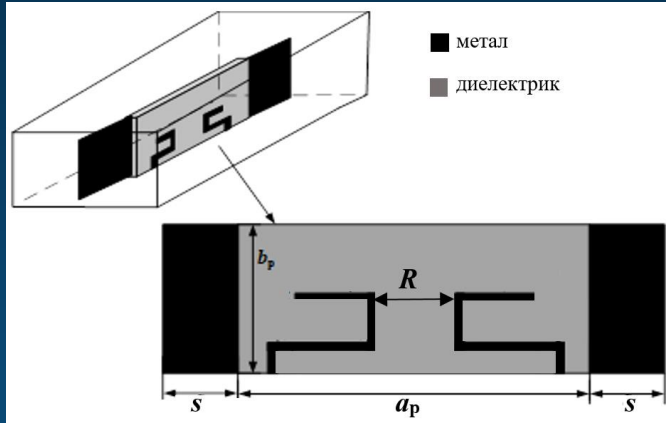


R [mm]	B_{3dB} [GHz]
5.2	0.710
6.7	0.700
7.3	0.690
8	0.680
9	0.670



c [μ m]	200	400	600	800
f_0 [GHz]	9.00	8.80	8.64	8.47
B_{3dB} [GHz]	0.67	0.91	1.18	1.50

Одређивање коефицијента спреге



$$k = \frac{f_2^2 - f_1^2}{f_2^2 + f_1^2}$$

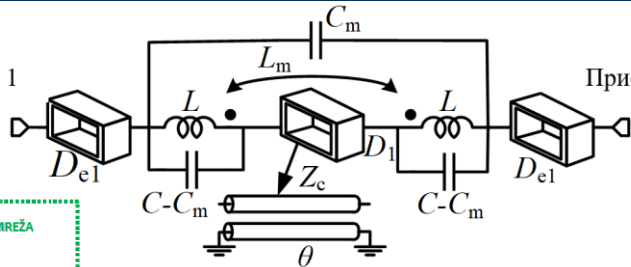
R [mm]	k
5.6	0.09378
6	0.09284
6.2	0.09181
6.6	0.09087
7	0.08889
7.3	0.08783

M. Mrvić, S. Stefanovski, M. Potrebić, D. Tošić,
 “Nova realizacija talasovodnog filtra sa dva nepropusna opsega
 pomoću četvrttalasnih rezonatora”, *Tehnika*, vol. 70, no. 3,
 pp. 473–480, 2015

Еквивалентно електрично коло филтра непропусника опсега

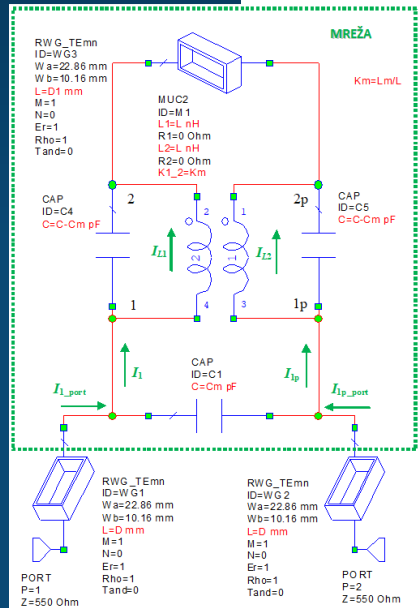
$$Y = \begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{pmatrix}$$

Приступ 1



Приступ 2

непропусника опсега



$$I_1 = (C - C_m) \cdot j\omega \cdot (V_1 - V_2) + I_{L_1},$$

$$I_{1p} = (C - C_m) \cdot j\omega \cdot (V_{1p} - V_{2p}) + I_{L_2},$$

$$V_1 - V_2 = L \cdot j\omega \cdot I_{L_1} + L_m \cdot j\omega \cdot I_{L_2},$$

$$V_{1p} - V_{2p} = L \cdot j\omega \cdot I_{L_2} + L_m \cdot j\omega \cdot I_{L_1},$$

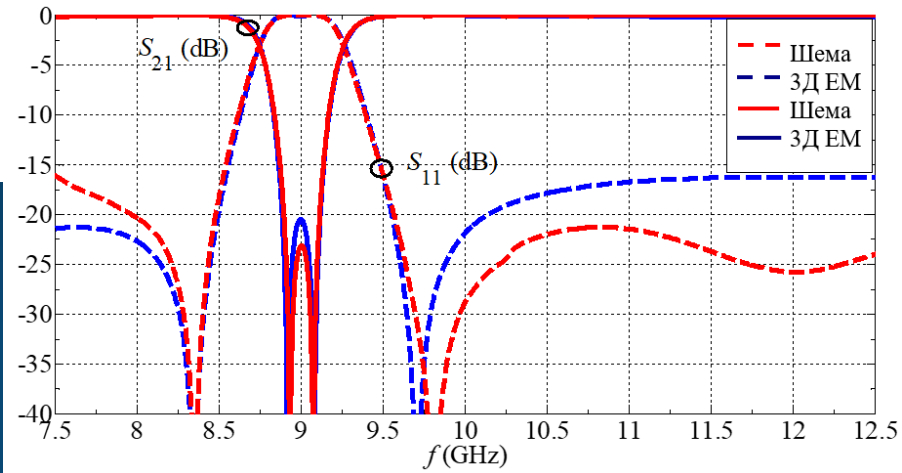
$$V_{1p} - V_{2p} = L \cdot j\omega \cdot I_{L_2} + L_m \cdot j\omega \cdot I_{L_1},$$

$$V_2 = V_{2p} \cdot \cos(\theta/2) - jZ_c \cdot I_{1p} \cdot \sin(\theta/2),$$

$$I_1 = j \cdot \frac{1}{Z_c} \cdot V_{2p} \cdot \sin(\theta/2) - I_{1p} \cdot \cos(\theta/2),$$

$$I_{1_port} = I_1 + C_m \cdot j\omega \cdot (V_1 - V_{1p}),$$

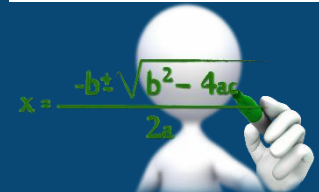
$$I_{1p_port} = I_{1p} - C_m \cdot j\omega \cdot (V_1 - V_{1p}).$$



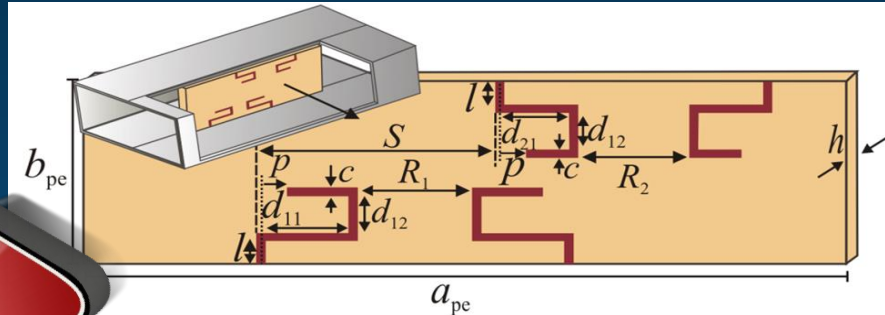
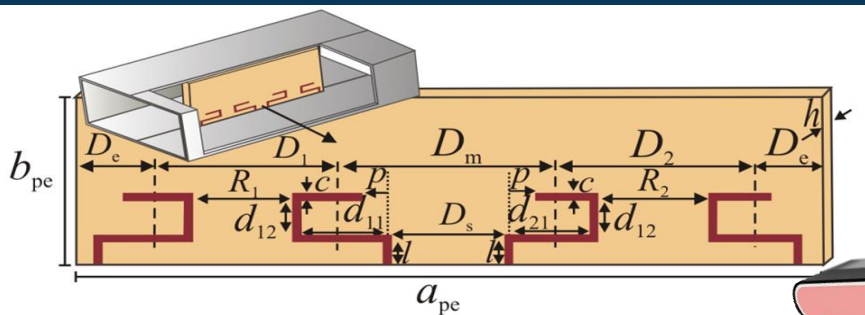
$$f_1 = \frac{2(L - L_m)(\theta/2)(\theta/2)}{4(C - C_m)(L - L_m)Z_c} +$$

$$\frac{\sqrt{2} \csc(\theta/2) \sqrt{(L - L_m) \sqrt{4(C - C_m)Z_c^2 + L - L_m} + (4(-C + C_m)Z_c^2 + L - L_m) \cos \theta}}{4(C - C_m)(L - L_m)Z_c},$$

$$f_2 = \frac{-(L - L_m)\tan(\theta/2) + \sqrt{(L + L_m)(4(C - C_m)Z_c^2 + (L + L_m)\tan^2[\theta/2])} / \text{sign}(\cos(\theta/2))}{2(C - C_m)(L + L_m)Z_c}$$



Минијатуризација филтра

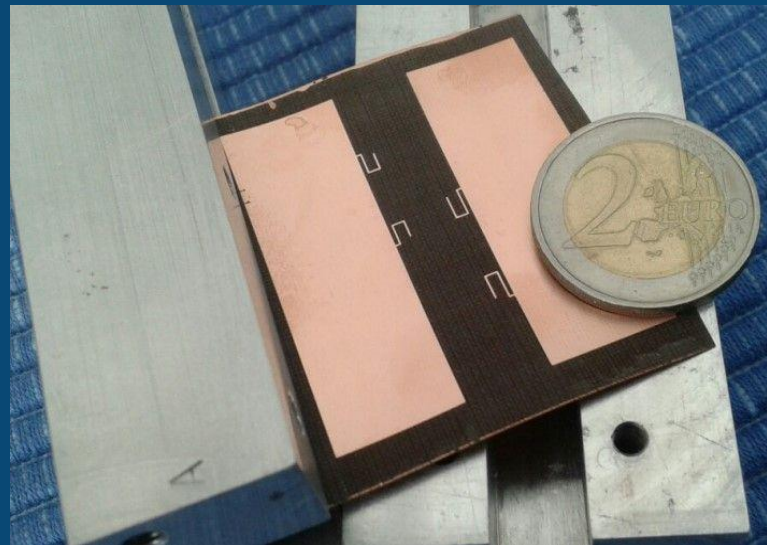
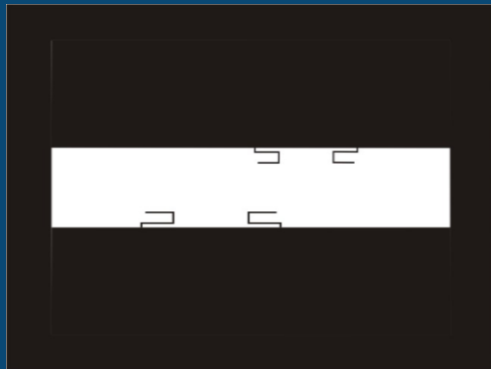
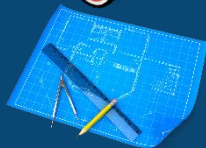


$$f_{01} = 9 \text{ GHz}$$

$$f_{02} = 11 \text{ GHz}$$

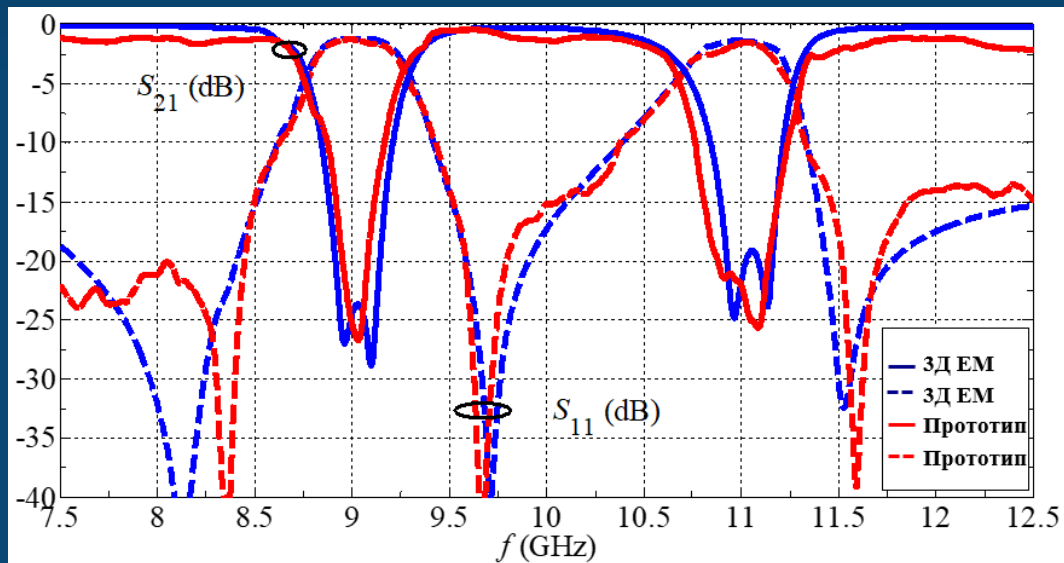
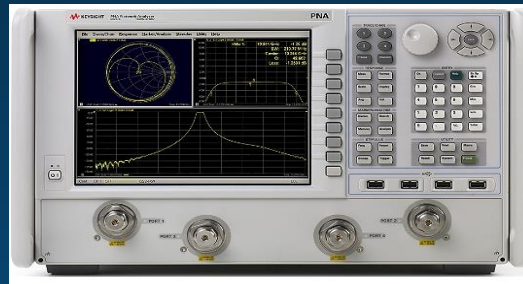
$$FBW_1 = 5.77\%$$

$$FBW_2 = 5.27\%$$



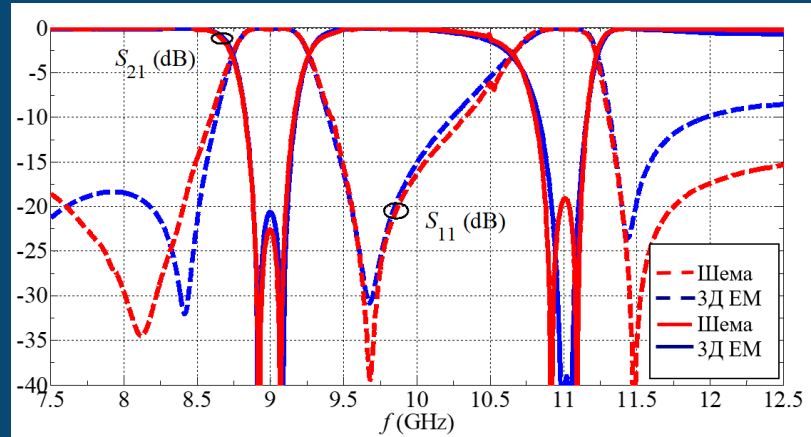
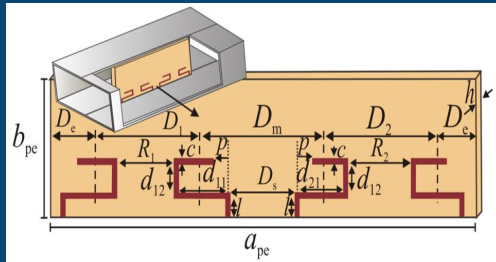
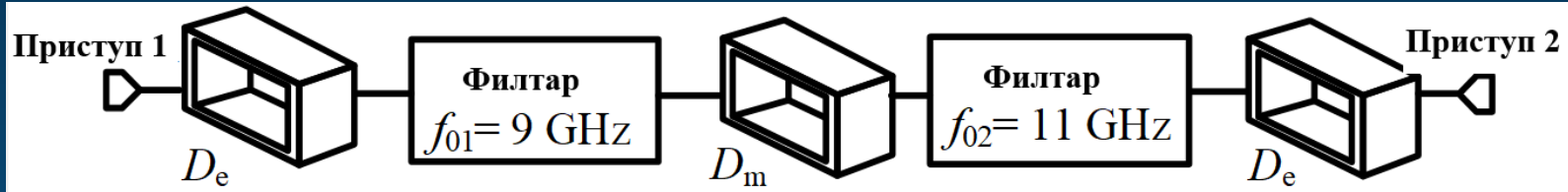
Израда лабораторијског прототипа

Одсечак WR-90
правоугаоног таласовода

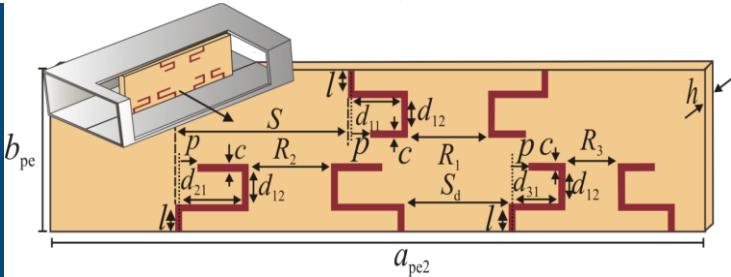
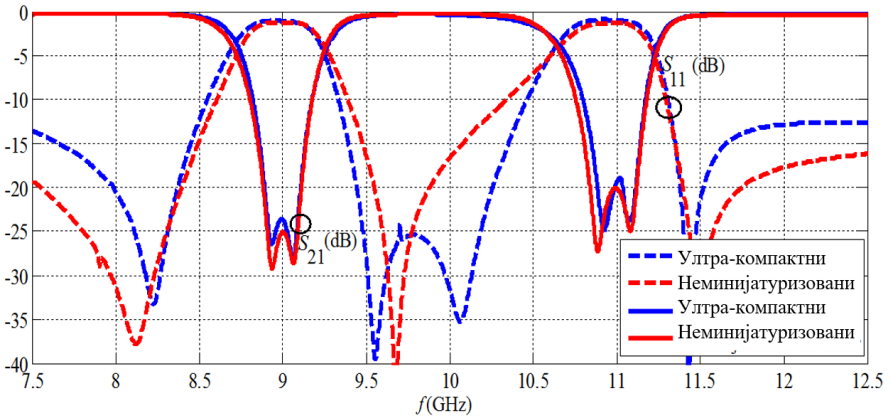
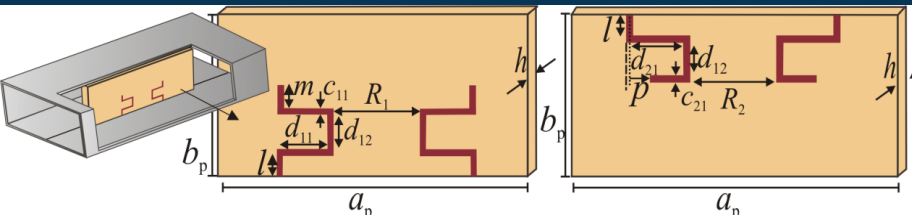


M. Mrvić, M. Potrebić, D. Tošić, "Compact E -plane waveguide filter with multiple stopbands", *Radio Science*, vol. 51, no.12, pp. 1895-1904, 2016.

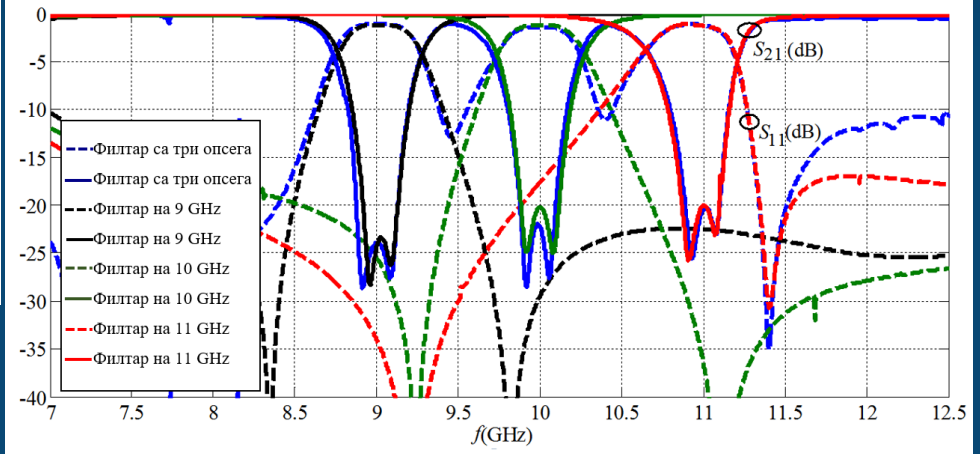
Эквивалентна шема минијатуризованог филтра вишег реда са више непропусних опсега



Додатна минијатуризација - Ултра-компактни филтар



Пара (mm)	f_{01} (GHz)	B_{3dB1} (MHz)	f_{02} (GHz)	B_{3dB2} (GHz)
$c_{21} \uparrow$	-	-	\downarrow	\uparrow
$c_{11} \downarrow$	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\uparrow
$R_2 \downarrow$	-	\downarrow	-	\uparrow
$R_1 \downarrow$	\uparrow	\uparrow	\downarrow	\uparrow
$d_{11} \uparrow$	\downarrow	\uparrow	-	\uparrow
$m \uparrow$	\uparrow	\uparrow	-	\downarrow



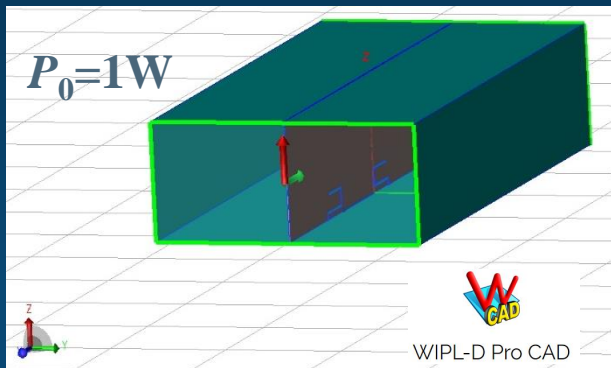
M. Mrvić, M. Potrebić, D. Tošić, "Compact E-plane waveguide filter with multiple stopbands", *Radio Science*, vol. 51, no.12, pp. 1895-1904, 2016.

An abstract digital illustration of a futuristic tunnel or data stream. The scene is dominated by vibrant blue and cyan light rays that converge towards a bright focal point in the distance. The floor is a dark grid pattern, and several glowing yellow rectangular blocks are scattered along the path. The overall atmosphere is high-tech and dynamic.

СНАГА ТАЛАСОВОДНОГ ФИЛТРА

Прорачун максималне снаге

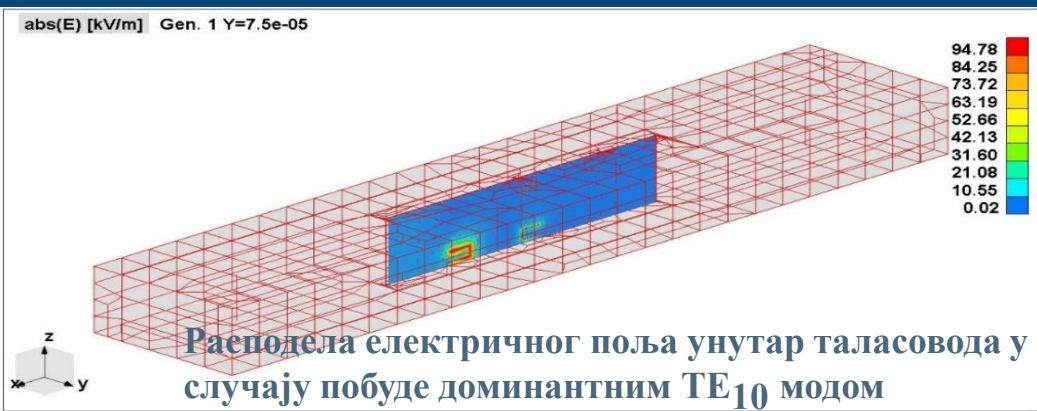
$$E_{\text{kritično}} = 3 \text{ MV/m}$$



$$E_{\text{max},i} \approx \sqrt{P_0}$$

$$P_{t\text{max}} = nP_0$$

$$E_{\text{max-ispod_kritične}} \approx \sqrt{n} E_{\text{max},i} < E_{\text{kritično}}$$



$$P_{t\text{max}} = 1003 \text{ W}$$

Филтри непропусници опсега учестаности са резонантном преградом у Е-равни

Филтри непропусници опсега учестаности са четвртталасним резонаторима

Пројектовање са резонаторима везаним за исти зид таласовода

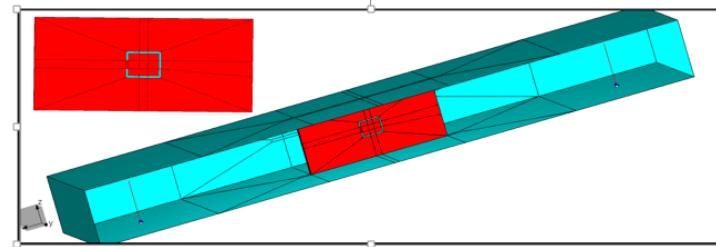
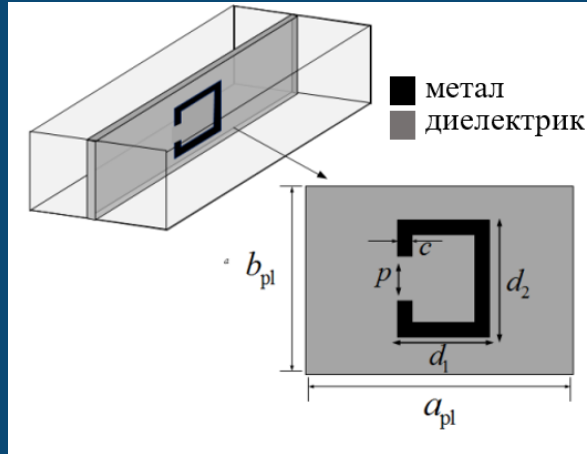
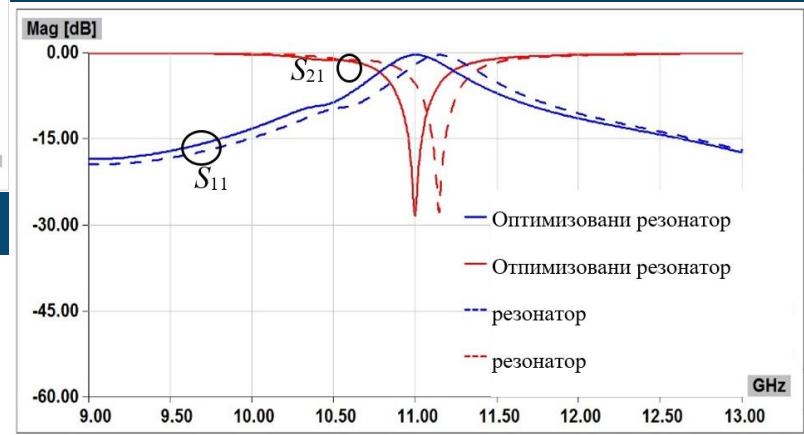
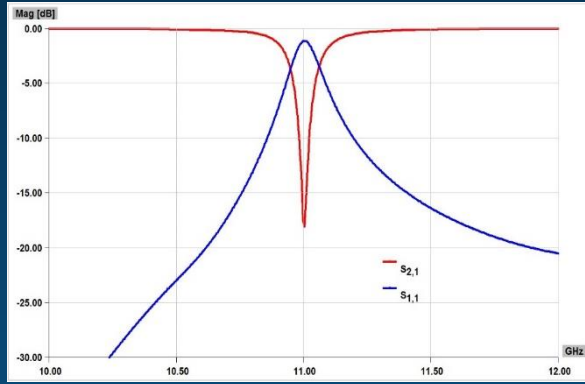
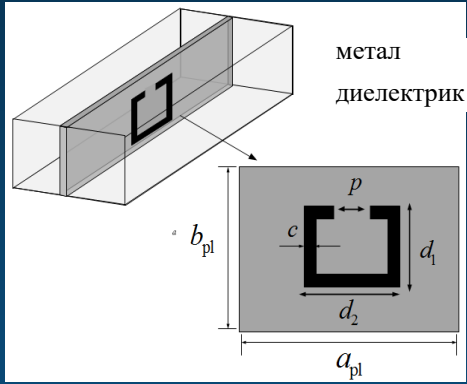
Пројектовање са резонаторима везаним за наспрамне зидове таласовода

Филтри непропусници опсега учестаности са полуталасним резонаторима

Филтри непропусници опсега учестаности са резонантном преградом у Н-равни

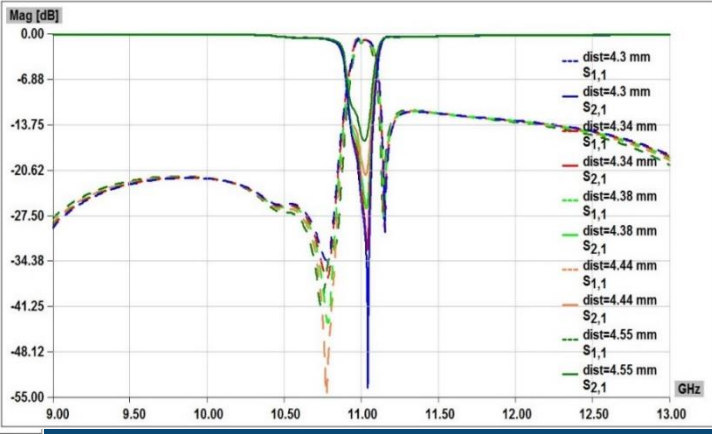
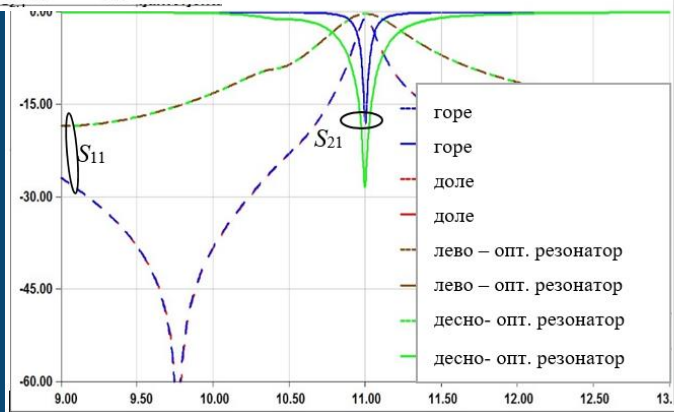
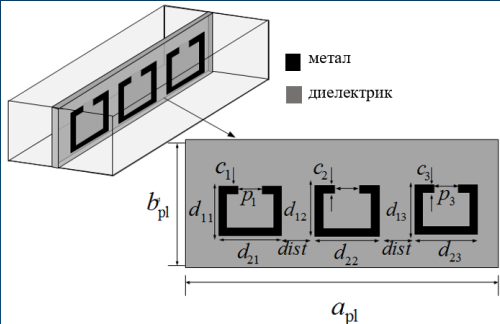
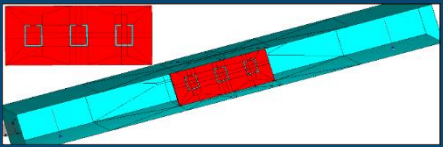
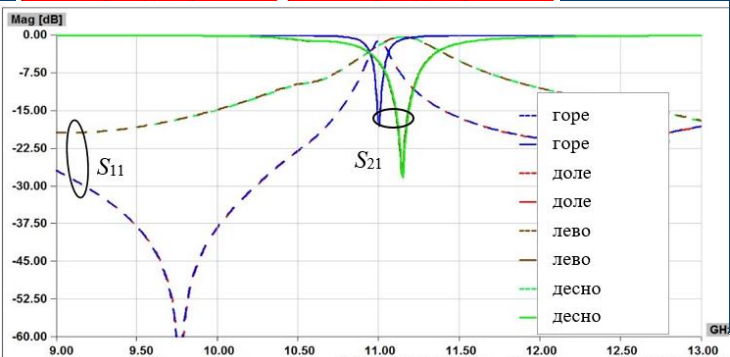
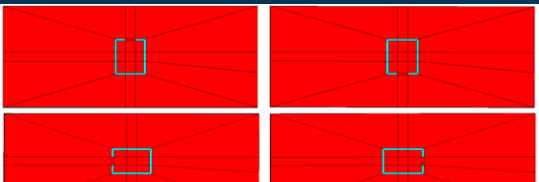
Филтри пропусници опсега учестаности

Полуталасни таласоводни резонатор

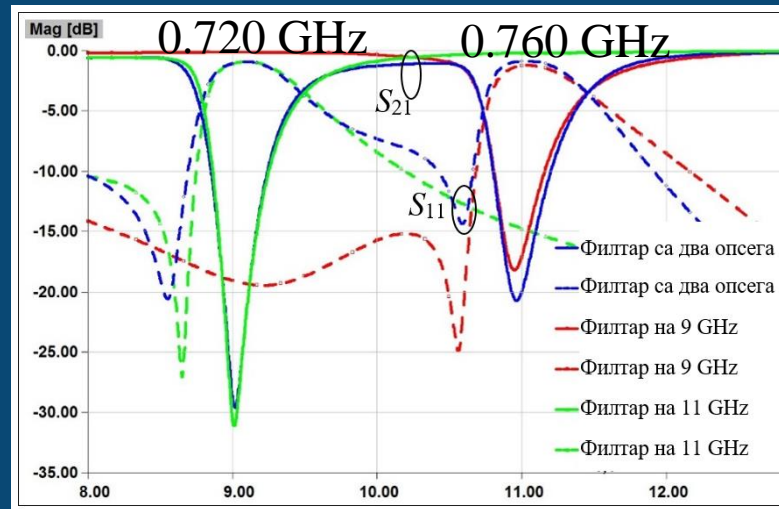
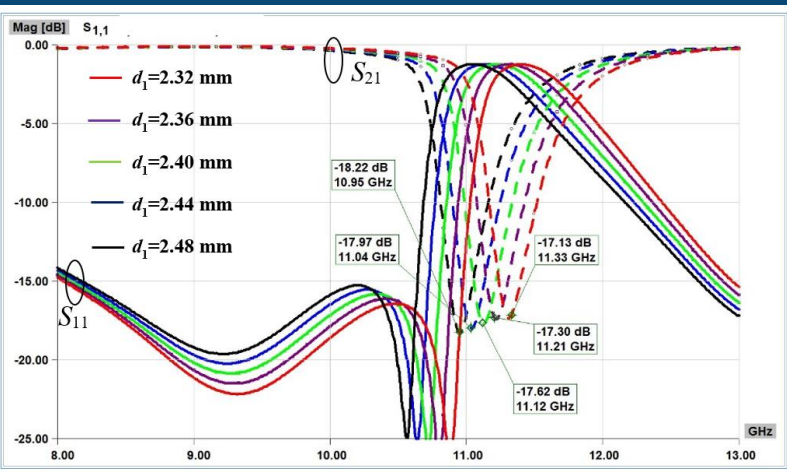
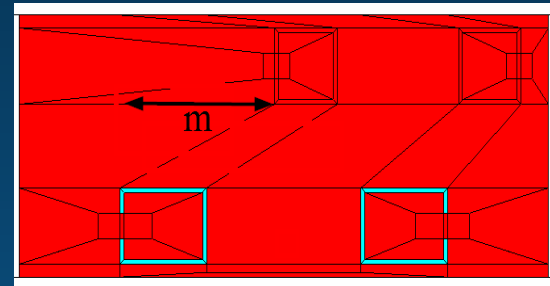
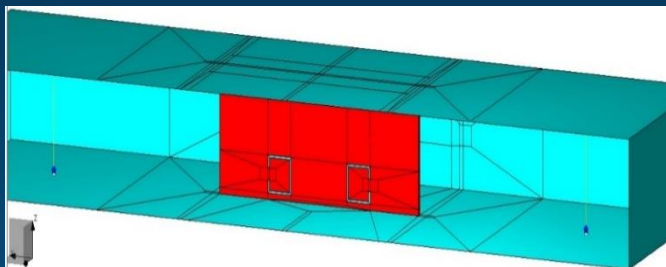
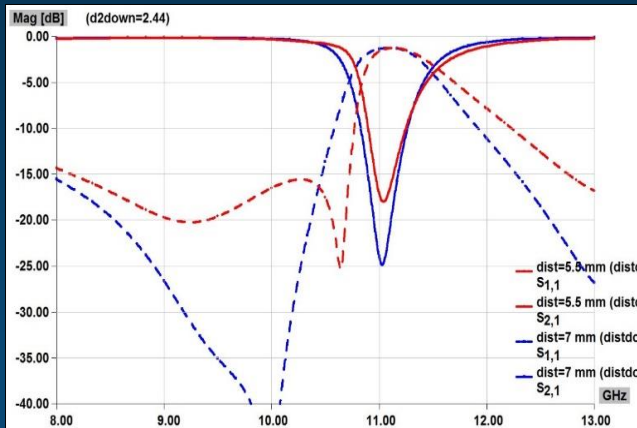


Филтар трећег реда са полуталасним резонаторима

M. Mrvić, M. Potrebić, D. Tošić, Z. Cvetković,
 “E-plane microwave resonator for realisation of waveguide filters”,
*XII International SAUM Conference on Systems, Automatic Control
 and Measurements, Niš, Serbia, 2014.*



Филтар другог реда непропусник опсега



Филтри непропусници опсега учестаности са резонантном преградом у Е-равни

Филтри непропусници опсега учестаности са четвртталасним резонаторима

Пројектовање са резонаторима везаним за исти зид таласовода

Пројектовање са резонаторима везаним за наспрамне зидове таласовода

Филтри непропусници опсега учестаности са полуталасним резонаторима

Филтри непропусници опсега учестаности са резонантном преградом у Н-равни

Филтри пропусници опсега учестаности

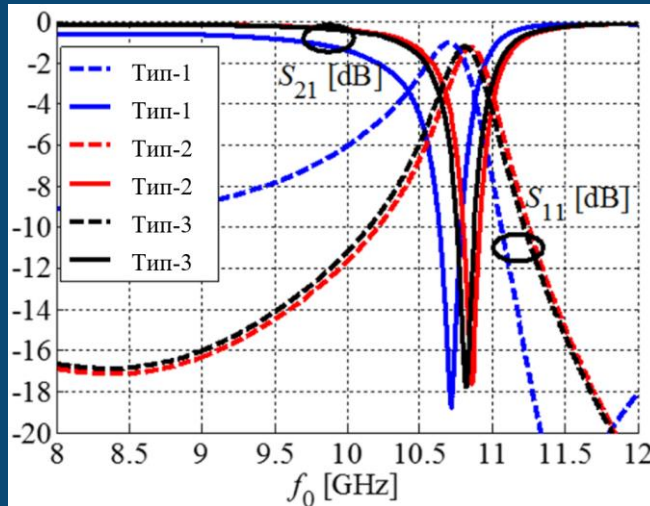
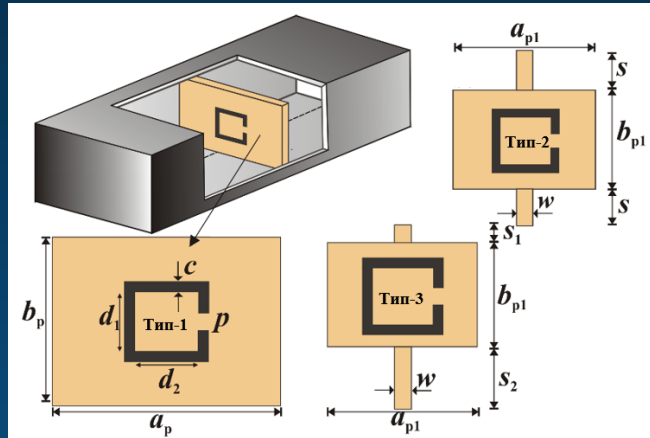
Алгоритам пројектовања таласоводног резонатора у Н-равни

Избор геометрије
штампане резонантне
преграде

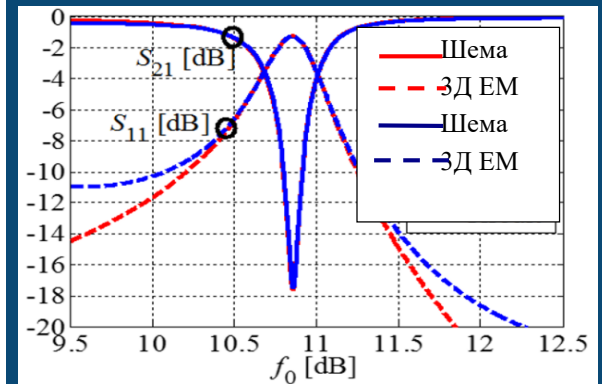
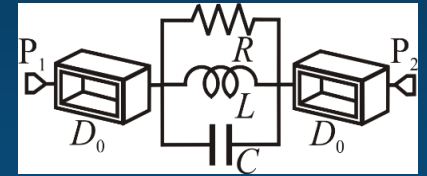
Израчунавање дужине
квадратног полуталасног
резонатора за
специфицирану
резонантну учестаност

Избор позиције
резонатора у региону
попечног пресека
таласовода

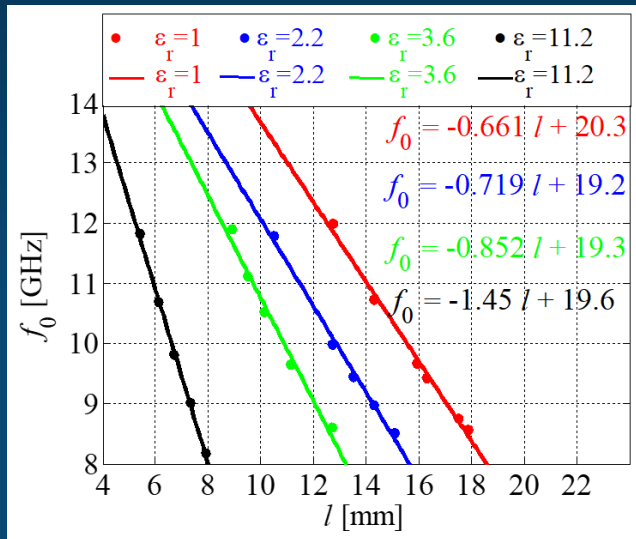
Трансформација облика
полуталасног резонатора



у Н-равни



Анализа фреквенцијског одзива полуталасног резонатора



Дебљина супстрата је у свим посматраним случајевима имала исту вредност ($h=1.143$ mm).

Посматрани случајеви:

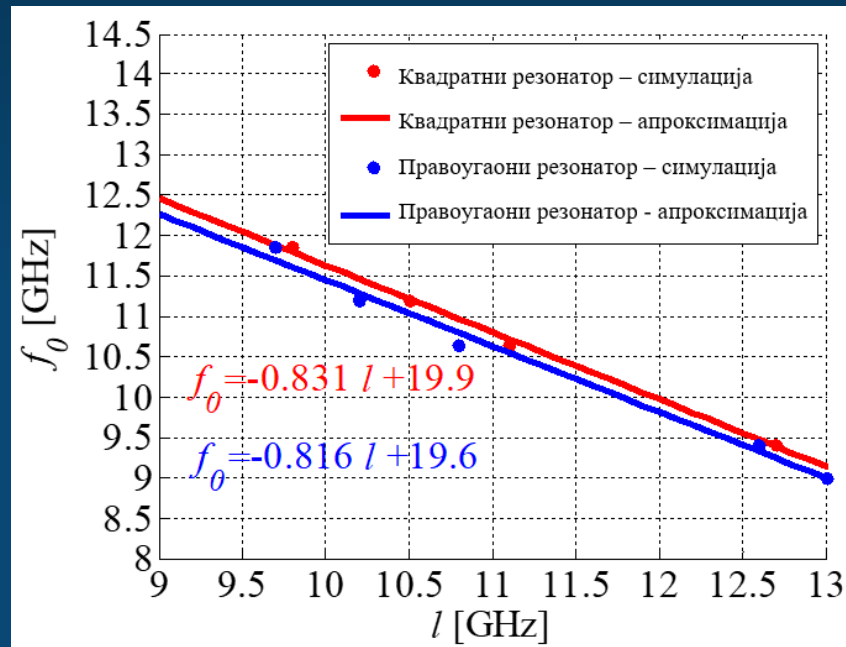
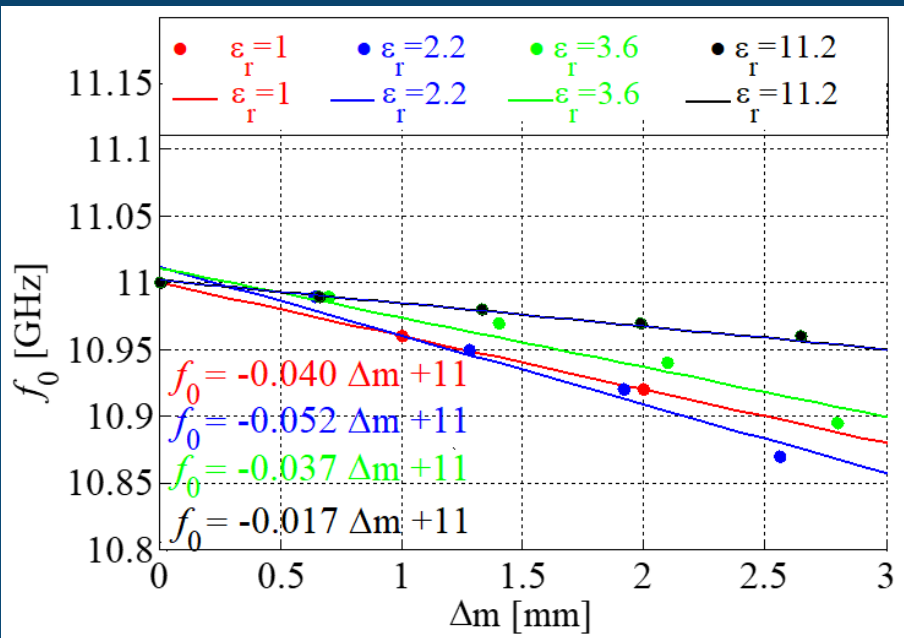
- квадратни резонатор у ваздуху (без диелектричног носача)
- резонатор штампан на различитим супстратима:
 - Rogers 5880 ($\epsilon_r = 2.2$),
 - Rogers 4003 ($\epsilon_r = 3.6$),
 - Rogers 3010 ($\epsilon_r = 11.2$).

	$\epsilon_r = 1$		$\epsilon_r = 2.2$	
[%]	k_r	n_r	k_r	n_r
w_I	0	0	0	0.52
w_{II}	0	0.49	0.14	0
w_{III}	0	0	0	0
w_{IV}	0	0	0	0.52
	$\epsilon_r = 3.6$		$\epsilon_r = 11.2$	
[%]	k_r	n_r	k_r	n_r
w_I	0	0	0	0
w_{II}	0.117	0	0.117	0
w_{III}	0	0	0	0
w_{IV}	0.117	0.52	0.117	0.52

Анализа фреквенцијског одзива полуталасног резонатора

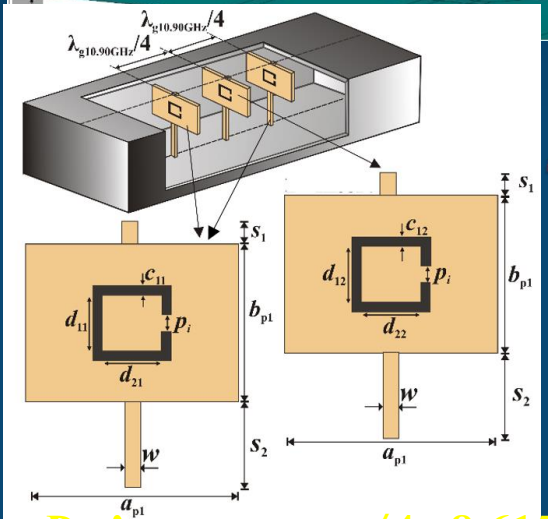
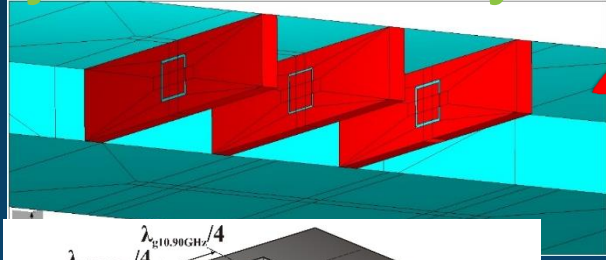
Промена резонантне учестаности у зависности од помераја резонатора дуж вертикалне осе таласовода

Просторни померај је означен симболом Δm

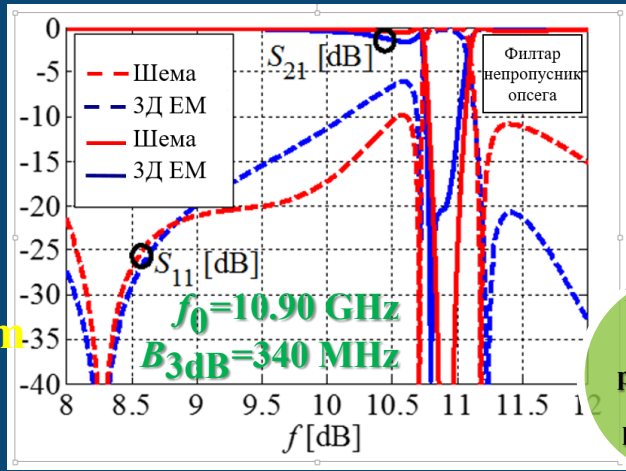
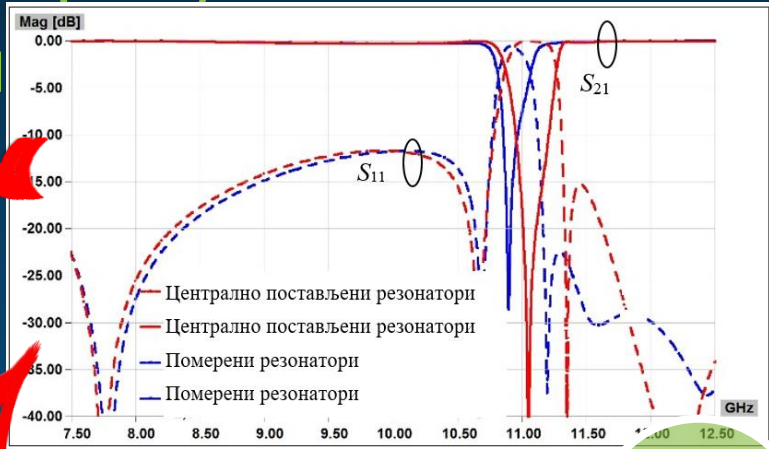
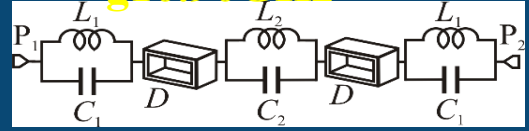


Поређење перформанси квадратног и правоугаоног резонатора у погледу промене резонантне учестаности унутар X-опсега

Филтар трећег реда непропусник опсега учестаности у Н-равни



$$D = \lambda_g 10.90 \text{ GHz} / 4 = 8.615 \text{ mm}$$



Аспекти пројектовања филтра са више непропусних опсега

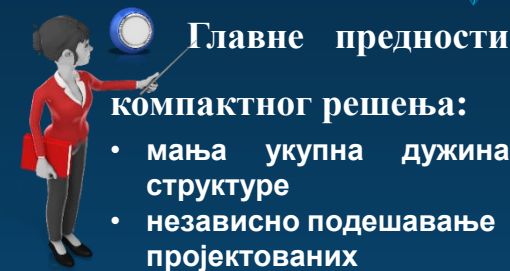
Структура за фиксирање

Постизање компактности и очување одзива

нежељена спрега између резонатора за различите опсега

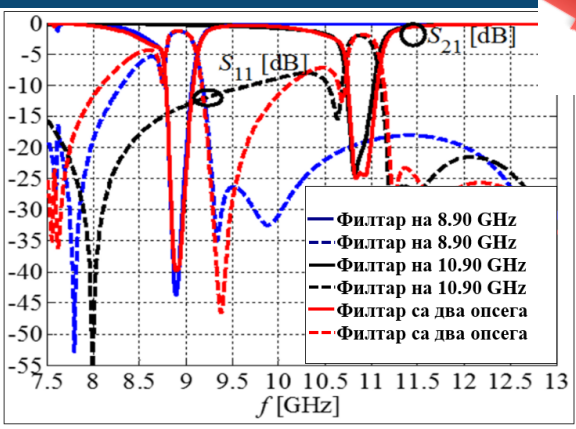
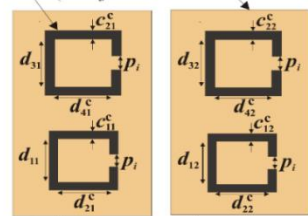
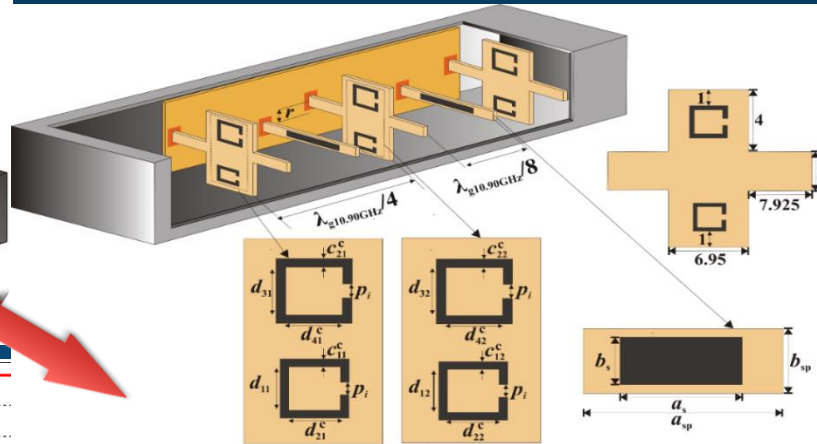
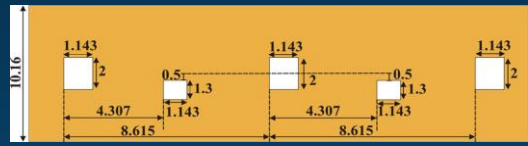
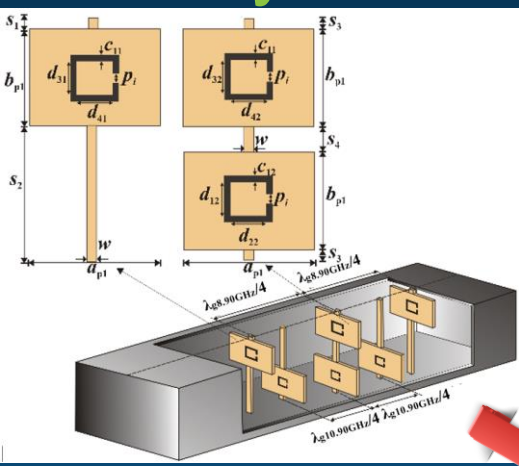
нежељена спрега између резонатора и уметнуте преграде

Филтар трећег реда у H -равни са два непропусна опсега



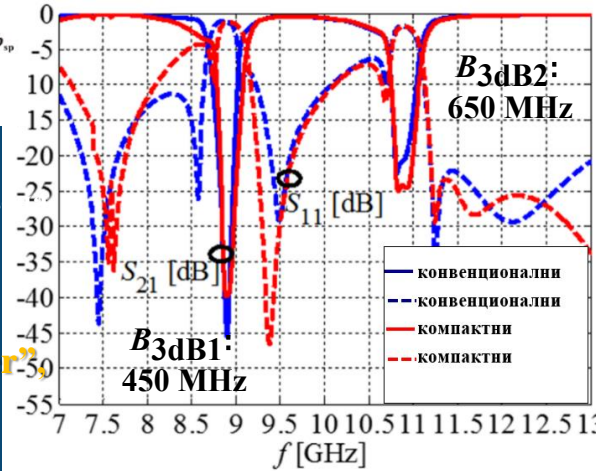
Главне предности

- компактног решења:
- мања укупна дужина структуре
 - независно подешавање пројектованих непропусних опсега
 - очување амплитудске карактеристике у односу на оригинални филтар са два непропусна опсега

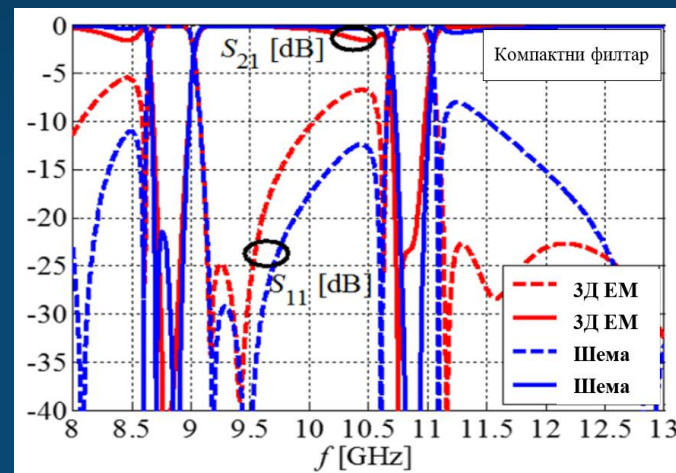
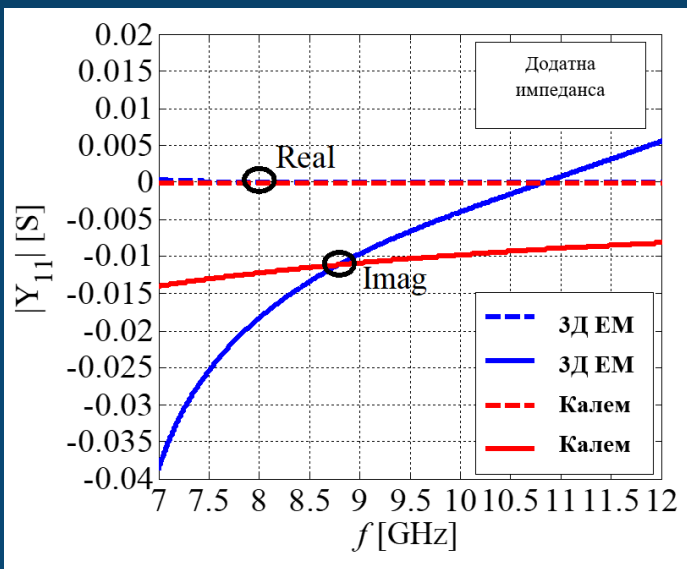
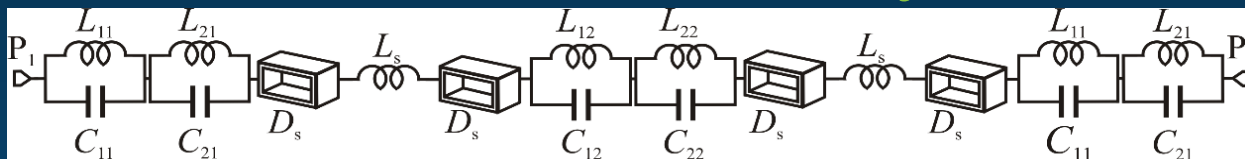


Додатни потенцијал за минијатуризацију се огледа у додатном скраћивању секције таласов која има улогу инвертора!

M. Mrvić, M. Potrebić, D. Tošić, "Compact H-plane dual-band bandstop waveguide filter"
Journal of Computational Electronics, vol.16, no.3, pp.939-951, Jun 2017.



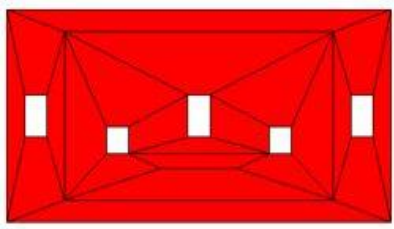
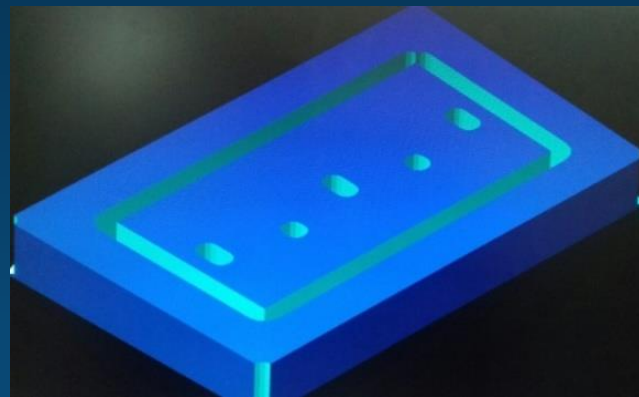
Еквивалентна шема филтра са два непропусна опсега учестаности у H -равни



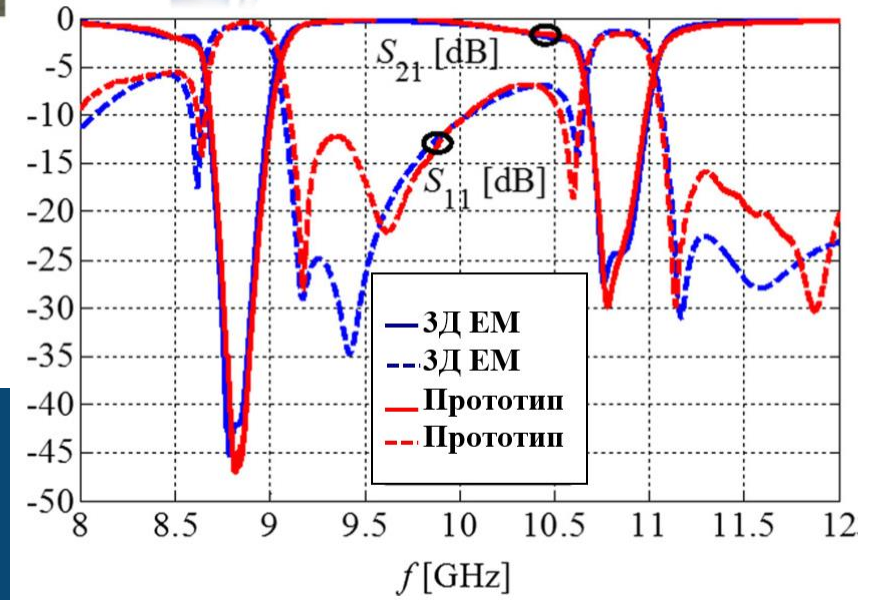
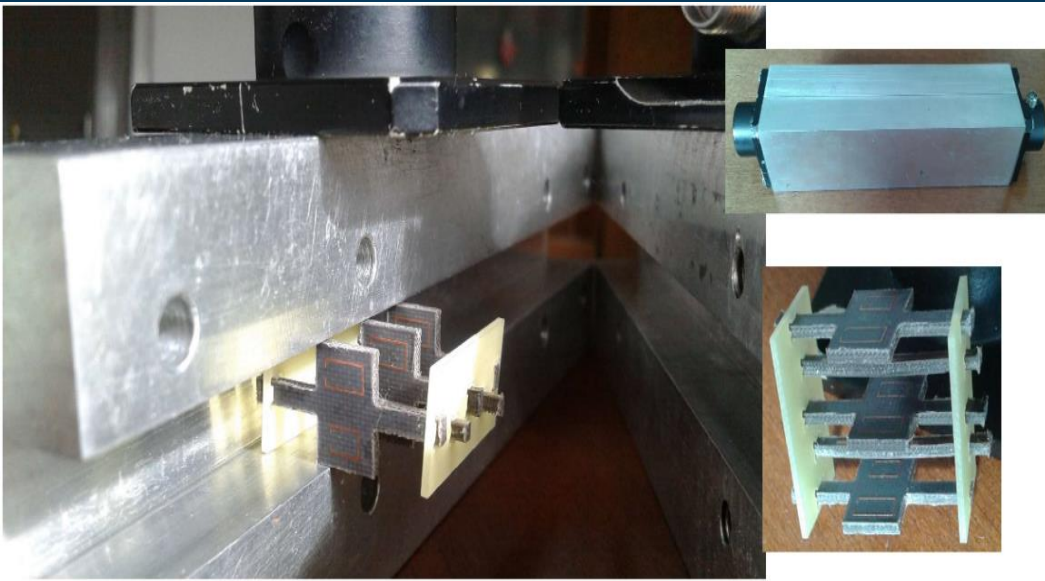
Филтар	f_{01} [GHz]	B_{3dB1} [MHz]	f_{02} [GHz]	B_{3dB2} [MHz]	Дужина
Компактни	8.90	340	10.90	340	$0.34 \lambda_g$
Оригинални	8.90	342	10.90	340	$0.5 \lambda_g$
Еквивалентно коло	8.92	341	10.91	342	-

Фабрикација лабораторијског прототипа

FILTAR H
S/2. 55/1. 143
10. 10. 2016.



Експериментална верификација компактнoг филтра са два непропусна опсега учестаности у Н-равни



M. Mrvić, M. Potrebić, D. Tošić, "Compact H-plane dual-band bandstop waveguide filter", *Journal of Computational Electronics*, vol.16, no.3, pp.939-951, June 2017.

Филтри непропусници опсега учестаности са резонантном преградом у Е-равни

Филтри непропусници опсега учестаности са четвртталасним резонаторима

Пројектовање са резонаторима везаним за исти зид таласовода

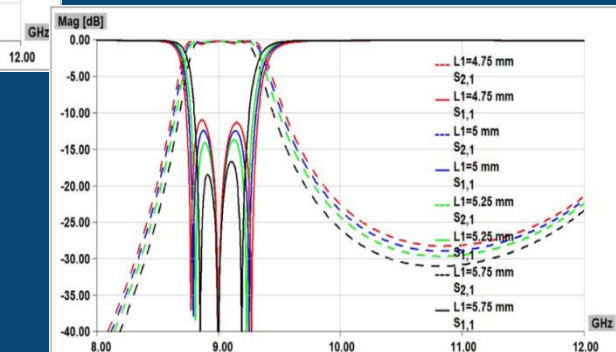
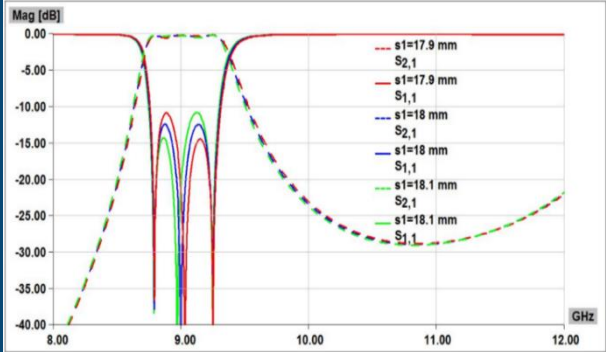
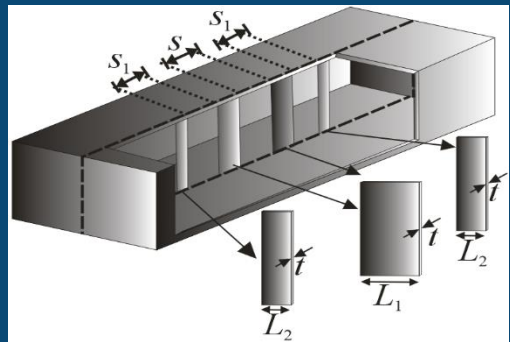
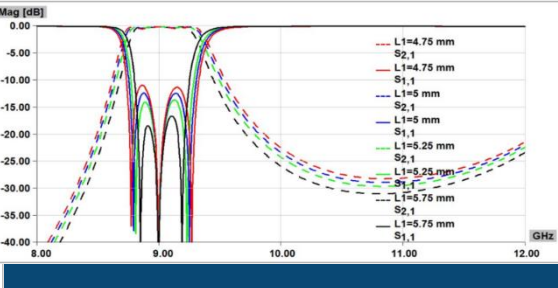
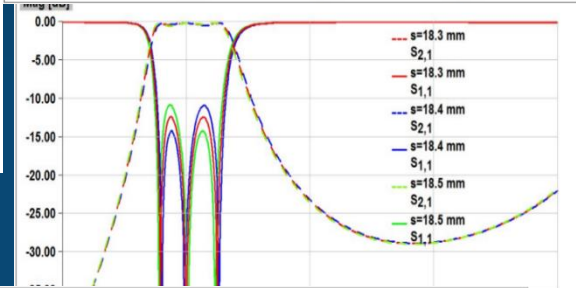
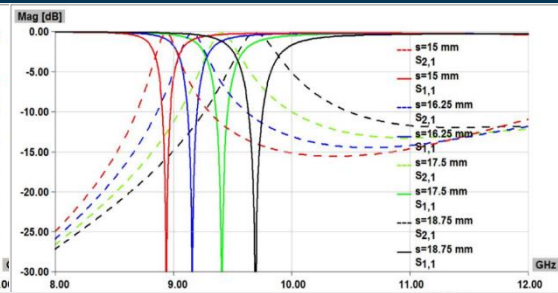
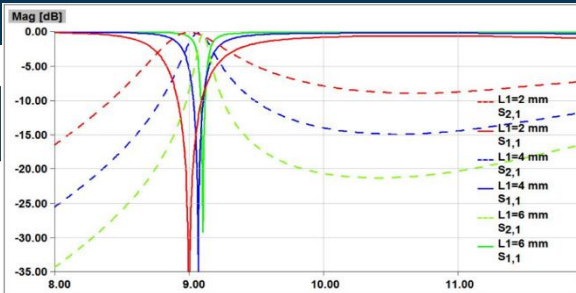
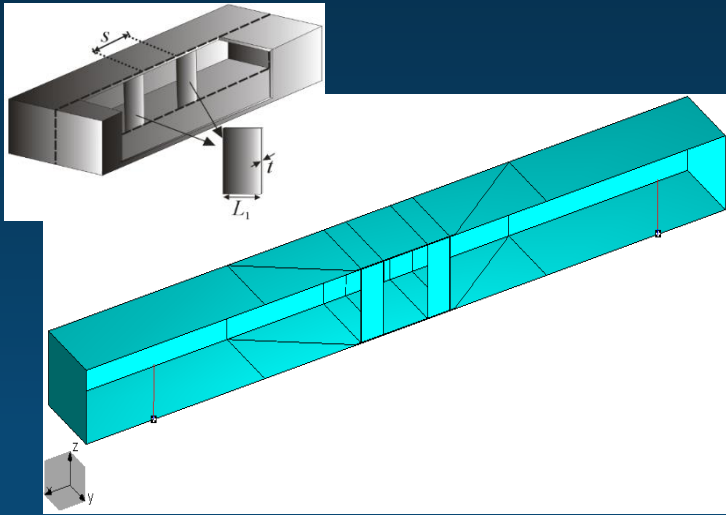
Пројектовање са резонаторима везаним за наспрамне зидове таласовода

Филтри непропусници опсега учестаности са полуталасним резонаторима

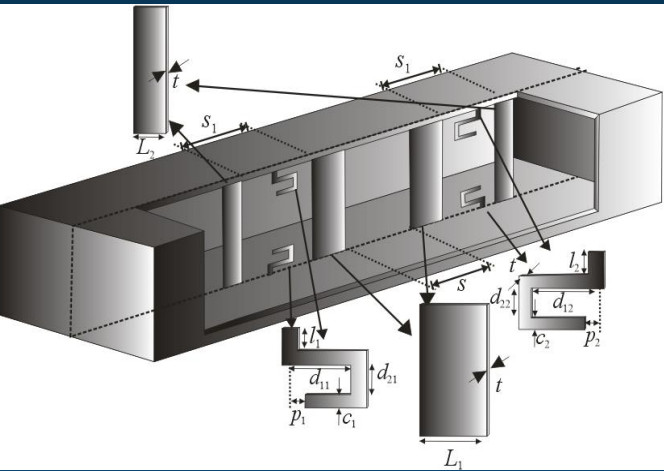
Филтри непропусници опсега учестаности са резонантном преградом у Н-равни

Филтри пропусници опсега учестаности

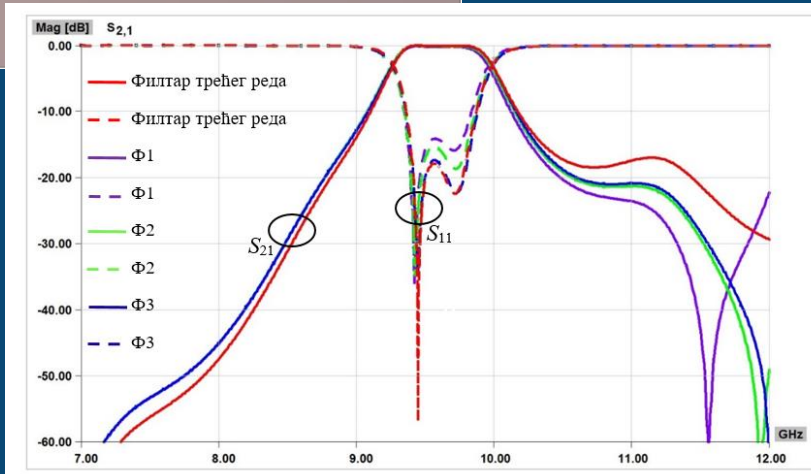
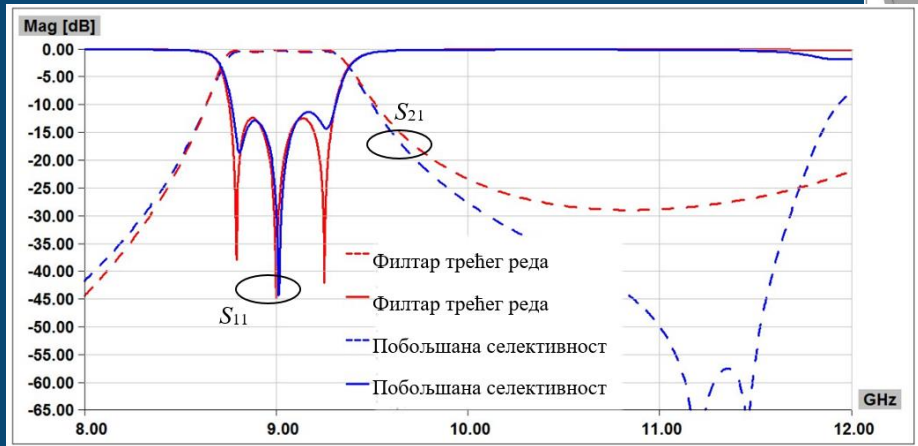
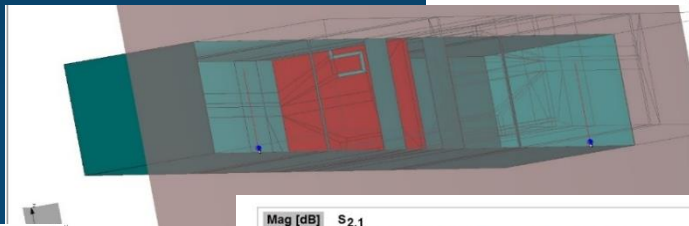
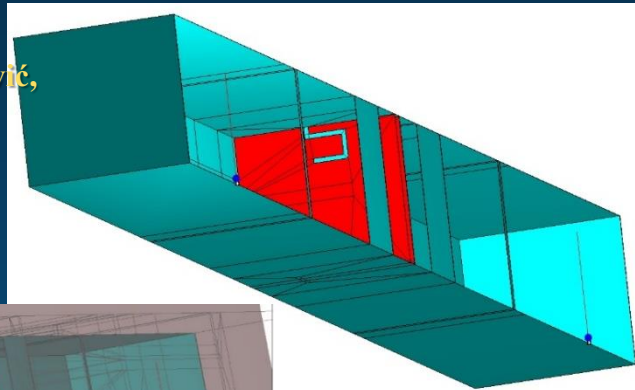
Филтар трећег реда пропусник опсега учестаности



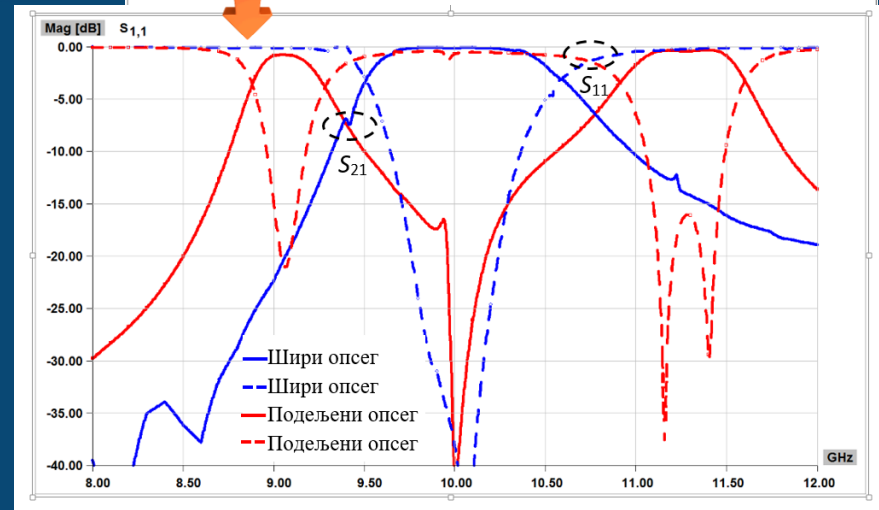
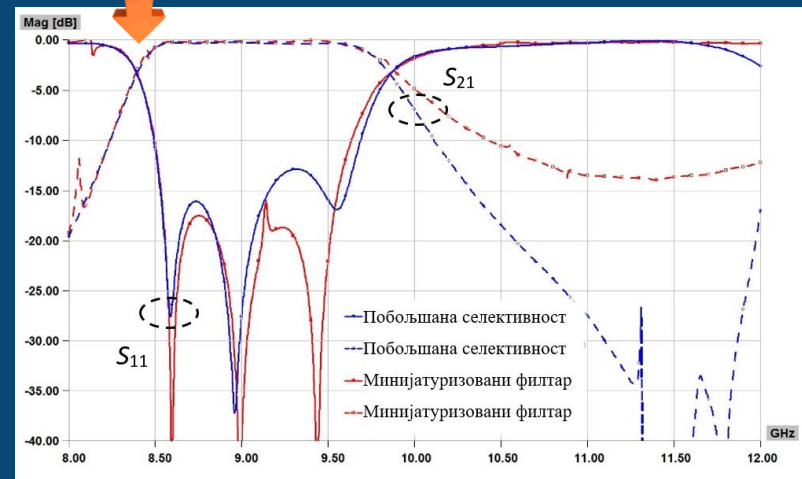
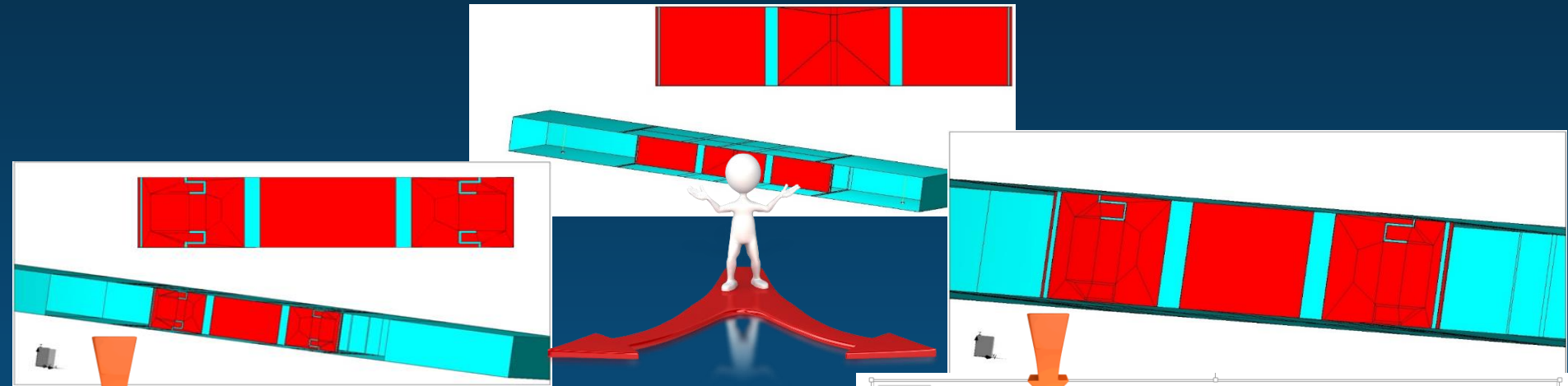
Побољшање селективности



M. Mrvić, M. Potrebić, D. Tošić, Z. Cvetković,
“E-plane waveguide bandpass filter with
improved stopband using quarter-wave
resonators”, XIII International SAUM
Conference on Systems, Automatic Control
and Measurements, Niš, Serbia, 2016.



Подела широког тродецибелског пропусног опсега



Закључак

Главни доприноси ове дисертације су представљени кроз следеће резултате:

1. Нов метод пројектовања таласоводних филтара са више непропусних опсега учестаности, са преградом у E -равни таласовода;
2. Еквивалентна шема таласоводног филтра са више непропусних опсега и преградом у E -равни; посебан осврт је дат на моделовање спреге између резонатора и симболичко одређивање параметара спреге;
3. Нов метод пројектовања компактног филтра вишег реда, са више непропусних опсега, који користи преграде у H -равни правоугаоног таласовода;
4. Еквивалентна шема таласоводног филтра са више непропусних опсега и преградама у H -равни; посебно је одређена репрезентација на нивоу кола краће таласоводне секције и додатне импедансе за реализацију компактног инвертора;
5. Подешавање селективности таласоводног филтра пропусника опсега учестаности коришћењем четвртталасних резонатора;
6. Подела пропусног опсега таласоводног филтра на подопсеге коришћењем четвртталасних резонатора.

Даљи правци истраживања

Током израде ове докторске дисертације, уочени су потенцијални правци даљег истраживања из области таласоводних филтара као што су:

- развој метода пројектовања филтара пропусника/непропусника опсега учестаности вишег реда који истовремено примењују преграду у лонгитудиналној и трансверзалној равни таласовода
- подела широког опсега на три и више подопсега подешавањем резонантних учестаности резонатора на вредности унутар пропусног опсега филтра
- анализа максималне снаге која се може пренети филтром у зависности од поступка имплементације и положаја преграда у таласоводу
- развој реконфигурабилних филтара

Захвалница

Захваљујем се компанији WIPL-D на уступљеном софтверу, који је значајно олакшао и унапредио процес истраживања прецизним резултатима добијеним рачунарском анализом.



МИКРОТАЛАСНИ ФИЛТРИ НЕПРОПУСНИЦИ ОПСЕГА УЧЕСТАНОСТИ СА ПРЕГРАДАМА У *E*- и *H*- РАВНИ ТАЛАСОВОДА



Докторска дисертација

Кандидат: Марија Мрвић,
2013/5006

Универзитет у Београду,
Електротехнички факултет

Ментор: др Милка Потребих,
ван. професор