





Резонатори у планарној техници

- Постоје различити типови резонатора који се могу реализовати у планарној техници, а првенствено у техници микротракастих водова.
- Они се могу класификовати као резонатори са концентрисаним или квази-концентрисаним елементима и као резонатори са расподељеним параметрима у виду секција водова.
- Анализирани су основне карактеристике следећих резонатора
 - резонатори са расподељеним параметрима у виду секција водова,
 - резонатор са капацитивно оптерећеним водом,
 - резонатор са две и више резонантних учестаности,
 - резонатор са концентрисаним и квази-концентрисаним елементима,
 - резонатор на подлози велике диелектричне пермитивности,
 - резонатор у вишеслојној техници.



Карактеристике резонатора у планарној техници (1)

- Резонатори представљају основни градивни елемент филтра пропусника и непропусника опсега учестаности.
- За микроталасне учестаности, постоји више реализација резонатора.
- Резонантна учестаност одређена је физичким димензијама резонатора и карактеристикама коришћене технологије.
- У микротракастој техници резонантна учестаност одређена је димензијама и параметрима супстрата као што су диелектрична константа, дебљина супстрата, губици у проводницима и губици у диелектрику.



Карактеристике резонатора у планарној техници (2)

- Основне карактеристике резонатора су димензије, фактор доброте неоптерећеног резонатора, нежељене резонанције.
- Захтеви тржишта за што компактнијим уређајима условили су минијатуризацију планарних компоненти.
- Мање димензије у општем случају имају за последицу веће губитке у случају реализације у микротракастој техници.
- На основу дефиниције за фактор доброте неоптерећеног резонатора јасно је да мањи резонатори имају и могућност складиштења мање енергије па самим тим и мањи фактор доброте.



Карактеристике резонатора у планарној техници (3)

- Мањи фактор доброте неоптерећеног резонатора проузрокује веће губитке у пропусном опсегу филтра.
- Неопходно је наћи начин компензације смањења фактора доброте услед смањења димензија.
- Нежељене резонанције се појављују код резонатора реализованих у микротракастој техници.
- Елементи реализовани помоћу одсечака водова, на одређеним учестаностима, понашају се као полуталасни и четвртталасни вод и уносе нежељене ефекте.



Карактеристике резонатора у планарној техници (4)

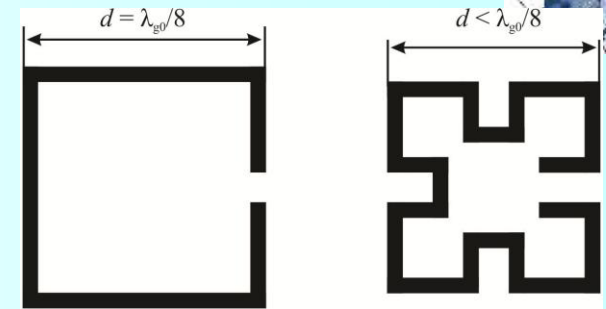
- У случају да се као елементи користе концентрисане и квази-концентрисане компоненте, нежељене резонанције су значајно потиснуте.
- Потискивање нежељених резонанција, ка што вишим учестаностима, је веома важно како би се постигло задовољавање потискивање сигнала у непропусном опсегу.
- Снага код планарних реализација за преносиве уређаје није критична.
- Минијатуризација је императив који се намеће приликом пројектовања микроталасних филтара.
- Изложен је преглед резонатора који доприносе минијатуризацији.



Резонатори са расподељеним параметрима у виду секција водова

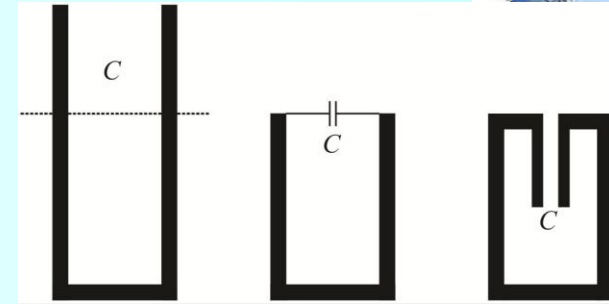
- Могу се представити помоћу четвртталасних и полуталасних секција.
- За четвртталасни резонатор дужина вода је $l = \lambda_{g0}/4$, где је λ_{g0} таласна дужина вођеног таласа на основној резонантној учестаности f_0 .
- Такође, јављају се и више резонантне учестаности $f \approx (2n - 1) f_0$ ($n = 2, 3, \dots$).
- Други представник је полуталасни резонатор чија је дужина $l = \lambda_{g0}/2$. Поред основне, и код њега се јављају више резонантне учестаности $f \approx n f_0$ ($n = 2, 3, \dots$).
- Помоћу оваквих резонатора могу се остварити, између осталог, и правоугаони резонатори са прорезом.

Полуталасни резонатор у облику правоугаоника (open-loop resonator)



- Реализације се базирају на полуталасном воду дужине $\lambda_{g0}/2$, где је λ_{g0} вођена таласна дужина на централној учестаности.
- Резонатор је савијен у облик правоугаоника и на тај начин је смањена дужина и повећан број могућности за међусобно спрезање резонатора при пројектовању филтара.
- Меандрирањем правоугаоног резонатора може се постићи додатно смањење при чему се добија да је дужина сваке стране резонатора мања од $\lambda_{g0}/8$.

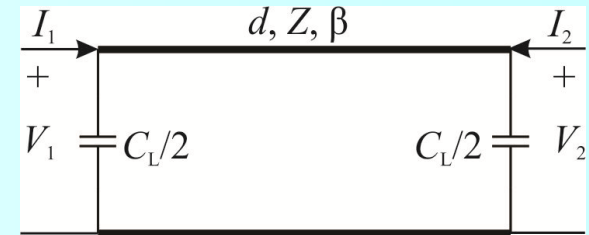
Полуталасни резонатор у облику укоснице (open-loop resonator)



- Исти поступак се може применити за резонатор реализован као укосница.
- Резонатор се може смањити ако се дужина укоснице смањи, а то смањење се компензује кондензатором реализованом као концентрисани елемент или одсечком два спрегнута вода савијена унутар укоснице.
- Овај поступак омогућава смањење димензија резонатора за пола.
- Све наведене реализације резонатора су нашле примену у пракси.



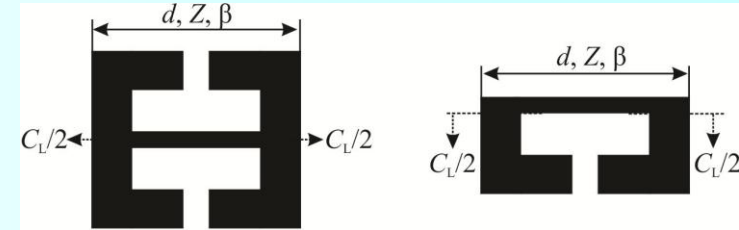
Резонатор реализован помоћу капацитивно оптерећеног вода (slow-wave resonator) (1)



- Код ове реализације резонатора помера се прва нежељена резонанција ка вишим учестаностима и на тај начин се код филтара повећава ширина непропусног опсега.
- Познато је да се за резонатор реализован као полуталасни вод поред основе резонанције на учестаности f_0 , јавља и прва нежељена резонантна учестаност на $2f_0$.

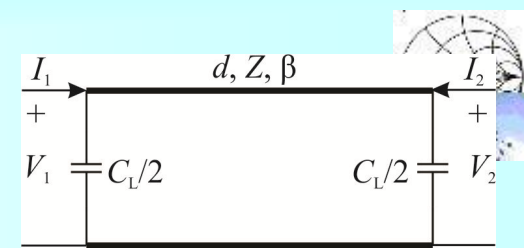


Резонатор реализован помоћу капацитивно оптерећеног вода (slow-wave resonator) (2)



- Нежељени одзив на учестаности $2f_0$ се може елиминисати додавањем филтра пропусника ниских учестаности или непропусника опсега учестаности, али уз повећање слабљења и сложености филтра.
- Учестаност прве нежељене резонанције могуће је померити на $3f_0$ уколико се као резонатор користи четвртталасни вод.

Резонатор реализован помоћу капацитивно оптерећеног вода (slow-wave resonator) (3)

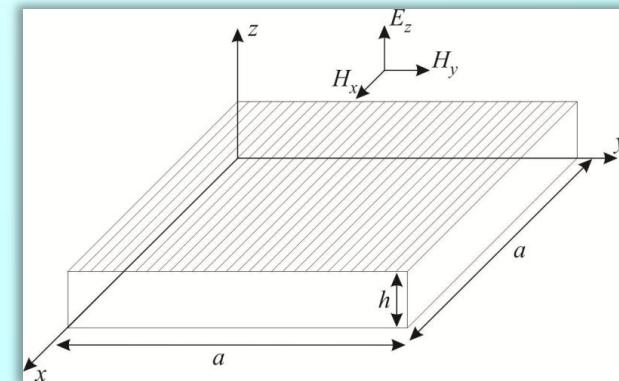


- Са друге стране, четвртталасни вод захтева везивање једног краја вода на масу помоћу вије, што повећава комплексност планарне реализације.
- За разлику од претходних решења, реализација са капацитивно оптерећеним водом базира се на чињеници да такав вод има фазну брзину зависну од учестаности.
- Повећање капацитивности смањује истовремено обе резонантне учестаности (основну и прву нежељену), али повећава однос прве нежељене резонантне учестаности у односу на основну резонантну учестаност.
- Исти закључак важи и за фазне брзине на воду као и за резонантне учестаности.



Резонатор са две резонантне учестаности (dual-mode resonator) (1)

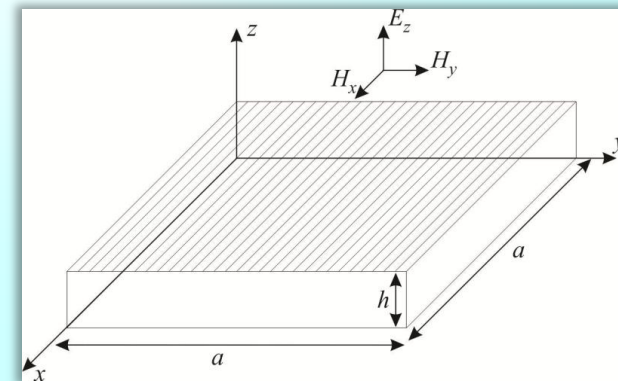
- Главна карактеристика ових резонатора је што имају две блиске резонантне учестаности.
- То им даје могућност да се у односу на резонаторе са једим модом рада (single-mode) број неопходних резонатора за филтар n -тог реда може смањити за пола.
- Један *dual-mode* резонатор се у ствари понаша као два *single-mode* спрегнута резонатора.





Резонатор са две резонантне учестаности (dual-mode resonator) (2)

- Микротракасти резонатор је у облику паралелепипеда димензија $a \times a \times h$.
- Резонатор се састоји од две идеалне проводне равни између којих се налази диелектрик релативне пермитивности ϵ_r .
- Електромагнетско поље унутар овог резонатора може се описати једначинама које описују трансверзални магнетски тип таласа, тј. мод TM_{mn0}^z .





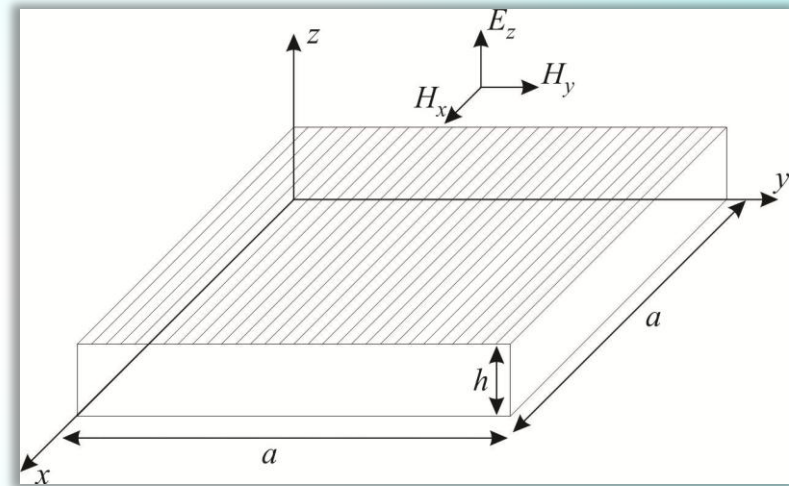
Резонатор са две резонантне учестаности (dual-mode resonator) (3)

$$E_z = \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} A_{mn} \cos\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \cos\left(\frac{n\pi}{a}y\right),$$

$$H_x = \left(\frac{j\omega\epsilon_{\text{eff}}}{k_c^2}\right) \left(\frac{\partial E_z}{\partial y}\right),$$

$$H_y = -\left(\frac{j\omega\epsilon_{\text{eff}}}{k_c^2}\right) \left(\frac{\partial E_z}{\partial x}\right),$$

$$k_c^2 = \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{a}\right)^2,$$



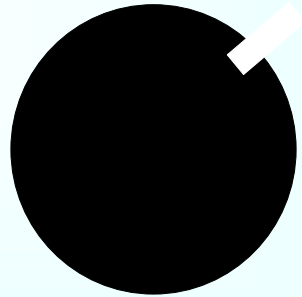
A_{mn} амплитуда мода, ω угаона учестаност, а ϵ_{eff} ефективна пермитивност диелектрика. На основу једначина уочава се да постоји неограничен број различитих модова који могу постојати у резонатору.

За мод TM_{mn0}^z може се одредити учестаност као

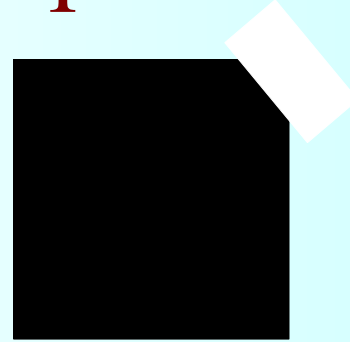
$$f_{mn0} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon_{\text{eff}}}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{a}\right)^2}.$$



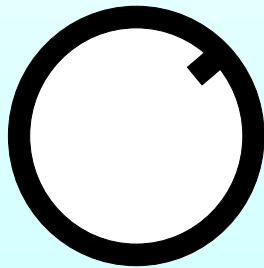
Резонатори са две резонантне учестаности у микротракастој техници



(a)



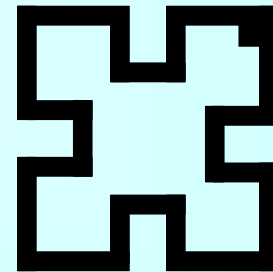
(б)



(в)



(г)

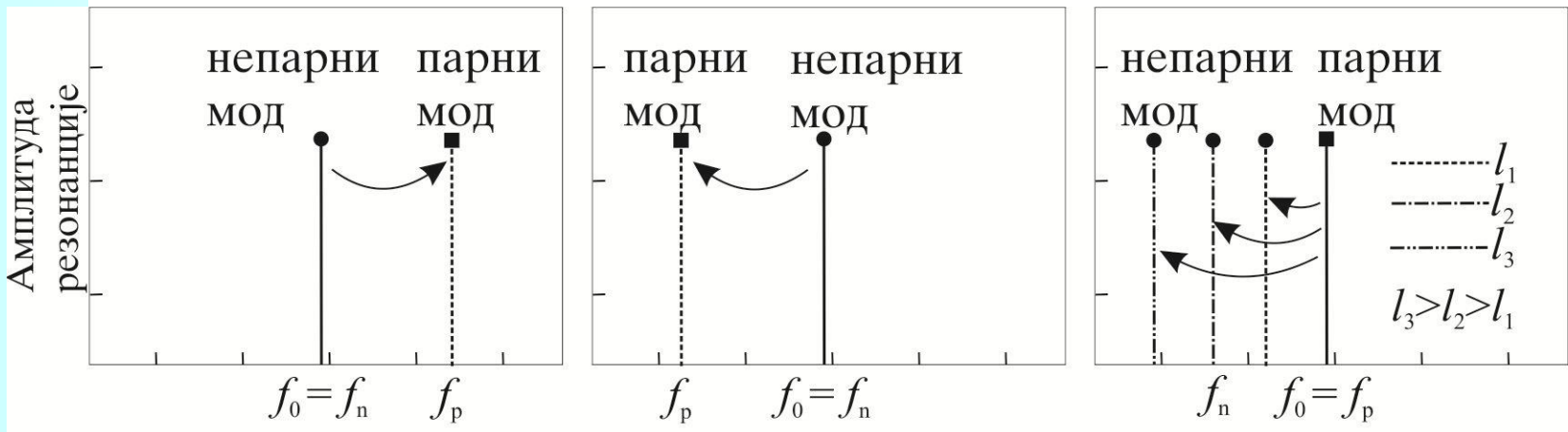
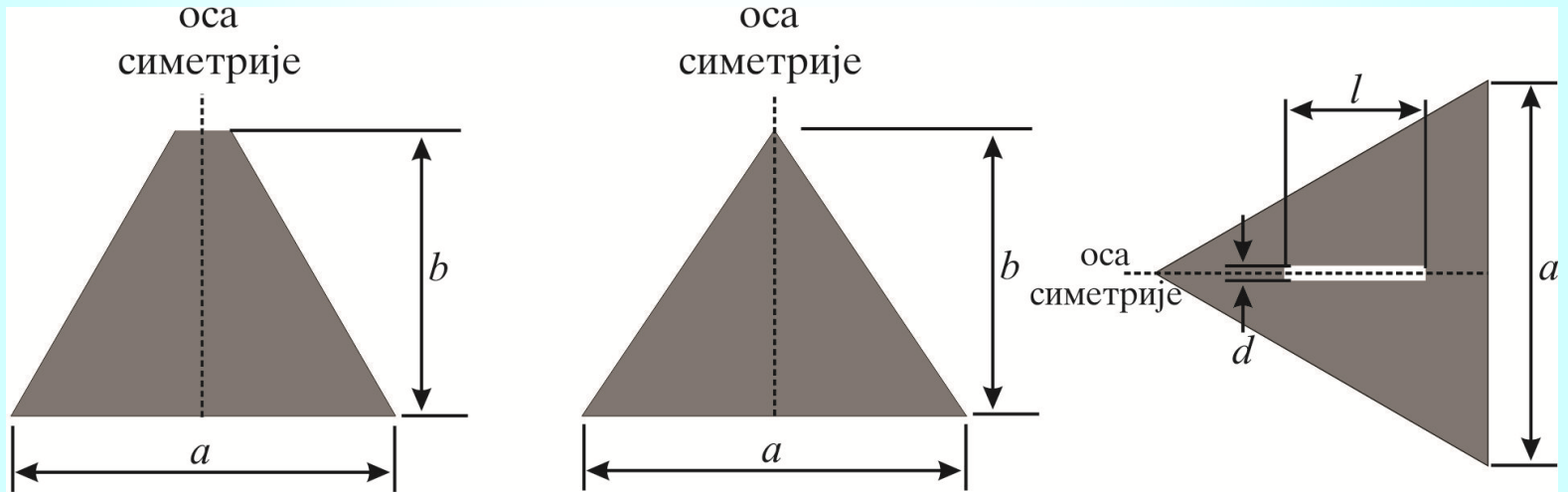


(д)

(a) кружни диск, (б) правоугаони одсечак вода,
(в) кружни прстен, (г) правоугаони прстен, (д) меандрирани прстен.

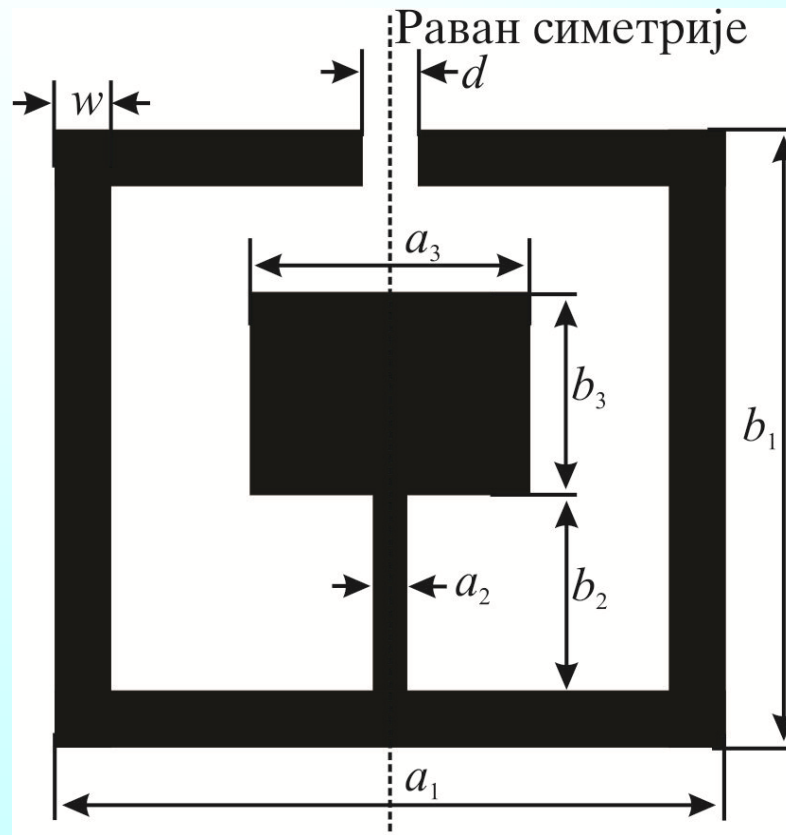


Начини за раздвајање модова код троугаоног резонатора



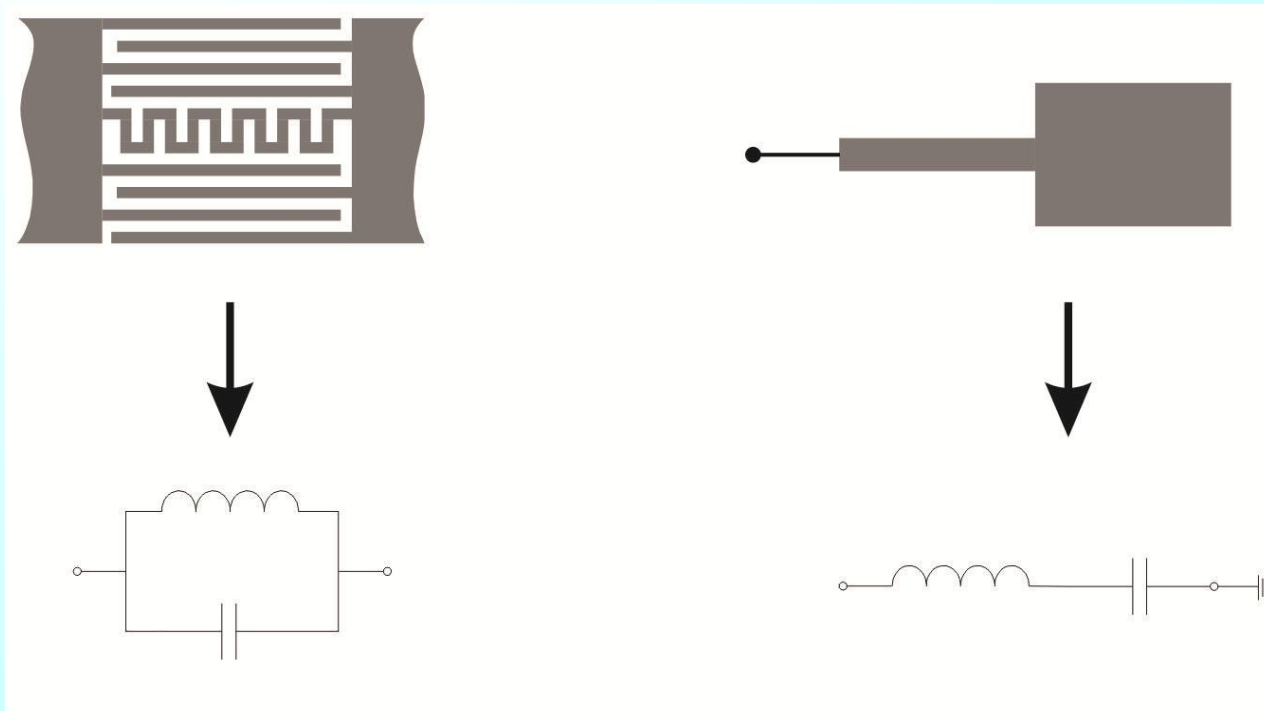


Резонатор са две резонантне учестаности добијен модификацијом полуталасног резонатора



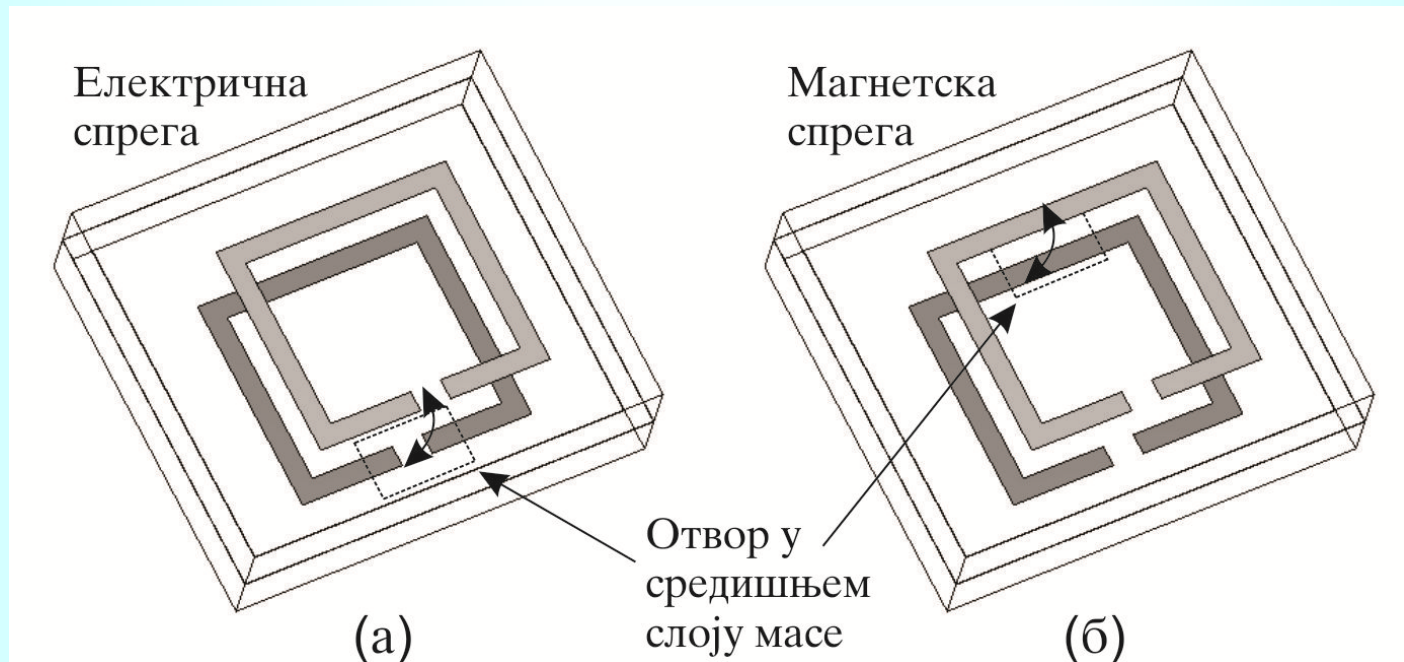


Резонатор са концентрисаним и квази-концентрисаним елементима





Резонатори у вишеслојној техници





Резонатори са таласоводом у подлози (substrate-integrated waveguide)

