

**Мерна метода:**

**Екстраховање унутрашњих и спољашњих електричних параметара ЕМИ потискивача у стандардном SMD кућишту у широком опсегу учестаности**

**Руководилац пројекта:** проф. др Љиљана Живанов

**Одговорно лице:** мр Александар Менићанин

**Аутори:** Александар Менићанин

Институт за мултидисциплинарна истраживања (ИМСИ), Београд

Мирјана Дамњановић, Љиљана Живанов

Факултет техничких наука (ФТН), Нови Сад

**Развијено:** у оквиру пројекта технолошког развоја TP-11023

**Година:** 2009.- 2010.

**Примена:** јануар 2010.

**Кратак опис**

Ова метода представља екстракцију унутрашњих и спољашњих електричних параметара ЕМИ потискивача у стандардном SMD кућишту у широком опсегу учестаности из мерених S-параметара. Модел ЕМИ потискивача је представљен као двокрајни модел индукторске компоненте. Овом методом је могуће одредити еквивалентну индуктивност, серијску отпорност, паразитну капацитивност саме компоненте, као и придружене вредности паралелних капацитивности и проводности околине у коју је SMD компонента постављена.

**Техничке карактеристике:**

Овом мерном методом је могуће из мерених S-параметара одредити стандардне параметре SMD ЕМИ потискивача и тако вршити карактеризацију SMD компоненте у широком опсегу учестаности.

**Техничке могућности:**

Овом мерном методом је могуће из мерених S-параметара окарактерисати ЕМИ потискиваче – индукторе, као и примењујући одговарајући модел вршити карактеризацију и других врста SMD компонената, нпр. кондензатора.

**Реализатори:**

Институт за мултидисциплинарна истраживања – ИМСИ, Факултет техничких наука – ФТН

**Корисници:**

Институт за мултидисциплинарна истраживања – ИМСИ, Факултет техничких наука – ФТН, ИРИТЕЛ А.Д., Београд

**Подтип решења:**

Мерна метода (M85)

**Стање у свету**

Основни параметри за карактеризацију стандардних SMD компоненти су индуктивност, капацитивност, Q фактор, серијска отпорност и сопствена резонантна учестаност. Приликом поређења каталожских вредности компоненти датих од стране произвођача, инжењери треба да знају услове под којима су мерене вредности. У стварним ситуацијама, тест инструментација и прилагодни степени утичу на резонантну учестаност. Произвођачи не користе исте мерне

инструменте и прилагодне степене за карактеризацију и то значајно отежава поређење истих компоненти. Због тога, Национални институт за стандарде и технологију САД-а (*National Institute for Standards and Technology, NIST*) је дао веома строге стандарде за поједине SMD компоненте, нпр. индукторе. Ти стандарди нису погодни за поређење модерних чип индуктора и снажних индуктора са жицом или у форми SMD компоненте.

SMD индуктори као ЕМИ потискивачи имају широк спектар употребе, па тако захтевају развој нових мерних метода и прилагодних степена. Погодан избор мерних инструмената и прилагодљив дизајн прилагодног степена даје већу тачност мерења. Убрзан развој мерне опреме доводи до потребе за убрзаним развојем прилагодних тест степена. Избор мерне инструментације зависи од типа индуктора, величине, вредности индуктивности (посебно за мале вредности, реда нН) и резонантне учестаности.

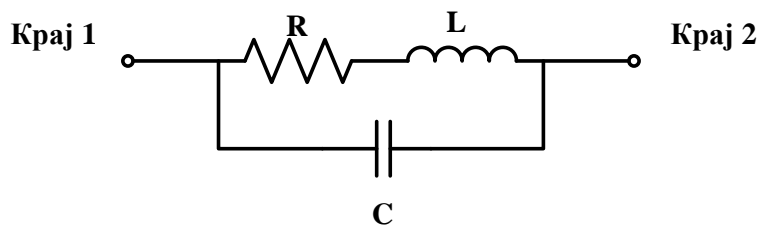
Мерења индуктивности и серијске отпорности увелико зависе од мерне опреме којом се врши мерење, као и од опсега фреквенција над којим се изводи мерење. Одговарајући избор мерне методе значајно одређује тачност мерења. Паразитни ефекти уграђени са тест прилагодним степеном могу да допринесу резултатима мерења.

Анализатор импедансе (*Impedance analyzer*) је углавном коришћен за мерења индуктивности серијске отпорности над индуктивним компонентама. Ови инструменти дају резултате само унутрашњих параметара и карактеристика испитиване компоненте; према томе, они не укључују интеракцију између РСВ-а и саме компоненте. VNA мерења укључују спољашње ефекте, као што су лејаут ефекти.

Да би се постигла већа тачности мерних резултата, као мерни инструмент се користи векторски анализатор мрежа (*Vector Network Analyzer, VNA*) и прилагодни тест степен за двокрајне SMD компоненте. Многе индукторске компоненте имају високу резонантну учестаност, а VNA може да ради и са учестаностима од 10 GHz и више ако је потребно.

### Метода за екстраховање електричних параметара SMD компоненте – ЕМИ потискивача

SMD компонента – ЕМИ потискивач, може бити представљена користећи једноставно еквивалентно коло са еквивалентном индуктивношћу  $L$ , серијском отпорношћу  $R$  и паразитном капацитивношћу  $C$  (слика 1).



Слика 1. Двокрајни модел индуктора са унутрашњим параметрима.

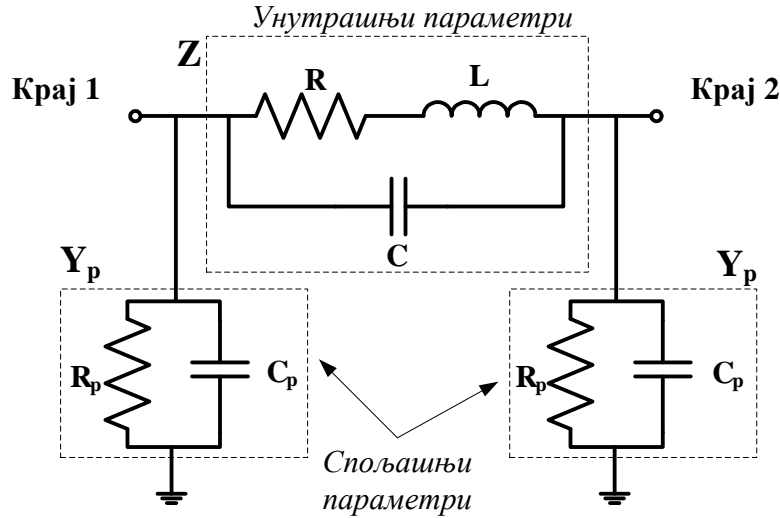
Међутим, унутрашњи параметри не укључују губитке који су настали онда када је та SMD компонента уграђена на штампану плочу. Ако је компонента постављена на штампану плочу (*Printed Circuit Board, PCB*), у реално окружење, тада спољашњи параметри на ВФ учестаностима морају да буду укључени. Двокрајни модел индуктора који је постављен на РСВ и представљен заједно са унутрашњим и спољашњим параметрима је приказан на слици 2. Спољашњи параметри представљају јаку интеракцију између компоненте и штампане плоче.

Користећи сопствене параметре, сопствена резонантна учестаност и  $Q$  фактор могу бити израчунати преко израза (слика 1)

$$f_0 \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \quad (1)$$

$$Q_0 \approx \frac{\omega_0 L}{R}, \quad (2)$$

респективно, где је  $\omega_0 = 2\pi f_0$ .  $Q$  фактор може бити израчунат из мерених вредности амплитуде импедансе на сопственој резонантној учестаности  $f_0$  ( $Q = \omega_0 / \Delta\omega$ ).



Слика 2. Двокрајни модел индуктора са унутрашњим и спољашњим параметрима.

Када је SMD индуктор постављен у реално окружење на прилагодни степен на РСВ-у, еквивалентно коло индуктора на РСВ прилагодном степену мења модел као на слици 2. Серијска отпорност укључује губитке који настају од SMD кућишта, површински ефекат и ефекат близине проводних завојака индуктора. Такође, серијска капацитивност представља сопствену капацитивност кућишта индуктора и капацитивност између стопица. Диелектрични губици у подлози уводе у модел паралелну (*shunt*) проводност  $G_p$ , и сопствену капацитивност према маси од сваке стопице за контакт уводи паралелну капацитивност  $C_p$ .

Евивалентна импеданса еквивалентног кола индукторског модела је дата изразом (3)

$$Z = (Z_R + Z_L) \parallel Z_C = \frac{(Z_R + Z_L) \cdot Z_C}{Z_R + Z_L + Z_C}. \quad (3)$$

Видимо да се еквивалентна импеданса састоји од паралелне везе импедансе индуктора и на ред везаног отпорника са импедансом кондензатора. Када се у претходну једначину замене изрази за импедансе индуктивности, отпорности и кондензатора, добијамо следећи израз

$$Z(\omega) = \frac{(R + j\omega L) \cdot \frac{1}{j\omega C}}{R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{R + j\omega L}{1 - \omega^2 LC + j\omega RC}. \quad (4)$$

Серијска импеданса  $Z(\omega)$  еквивалентног кола двокрајног модела индуктора (слика 1), може бити представљена као збир реалног и имагинарног дела серијске импедансе,

$$Z(\omega) = Z_r(\omega) + jZ_i(\omega) = \frac{R + j\omega L}{1 - \omega^2 LC + j\omega RC}. \quad (5)$$

Следећим изразом је дата вредност паралелне импедансе према маси која је последица постављања SMD компоненте на штампану плочу. Када се у тај израз замене изрази за импедансе отпорности и кондензатора, добијамо следећи израз,

$$Z_p = R_p \parallel C_p = \frac{R_p \cdot \frac{1}{j\omega C_p}}{R_p + \frac{1}{j\omega C_p}} = \frac{R_p}{1 + j\omega R_p C_p}. \quad (6)$$

Паралелна адмитанса еквивалентног кола модела индуктора је дата следећим изразом и она садржи капацитивност  $C_p$  и проводност  $G_p$  у паралели,

$$\frac{1}{Z_p} = \frac{1}{Z_{Rp}} + \frac{1}{Z_{Cp}} \Rightarrow Y_p = G_p + j\omega C_p \quad (7)$$

Овај двокрајни модел представља реални индуктор на РСВ-у и његови елементи могу бити повезани са параметрима ABCD матрице

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ZY_p + 1 & Z \\ Y_p(ZY_p + 2) & ZY_p + 1 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

У пракси, често коришћени мерни резултати су представљени  $S$  – параметрима, зато што они дају највећу тачност мерних резултата (најмањи сигнал губитка у таласоводу или микрострип линијама). Тако, ABCD матрица може да се представи преко  $S$  – параметара

$$\begin{aligned} A &= \frac{(1 + S_{11})(1 - S_{22}) + S_{12}S_{21}}{2S_{21}}, \\ B &= Z_C \frac{(1 + S_{11})(1 + S_{22}) - S_{12}S_{21}}{2S_{21}}, \\ C &= \frac{1}{Z_C} \frac{(1 - S_{11})(1 - S_{22}) - S_{12}S_{21}}{2S_{21}}, \\ D &= \frac{(1 - S_{11})(1 + S_{22}) + S_{12}S_{21}}{2S_{21}}, \end{aligned} \quad (9)$$

где је  $Z_C$  карактеристична импеданса улазних и излазних линија.

Како је модел индуктора представљен као реципрочна мрежа (симетрична компонента, исти улазни и излазни крај), онда важи да су у матрици  $S$  – параметара само два од четири параметра независна ( $S_{11}=S_{22}$  and  $S_{12}=S_{21}$ ). Из ових аналогија и израза (8) следи да елементи матрице могу бити дати у облику

$$Z(\omega) = B(\omega), \quad (10)$$

$$A(\omega) = ZY_p + 1 = B(\omega)Y_p + 1 \Rightarrow Y_p = \frac{A(\omega) - 1}{B(\omega)}. \quad (11)$$

Ако одредимо  $Y_p$  из израза (11), онда је паралелна проводност  $G_p$  и капацитивност  $C_p$  могу бити израчунати као

$$\begin{aligned} G_p &= \operatorname{Re}(Y_p), \\ C_p &= \frac{\operatorname{Im}(Y_p)}{2\pi f}. \end{aligned} \quad (12)$$

Из израза (5), након рационализације,  $Z(\omega)$  је одређена изразом

$$Z(\omega) = \frac{R + j\omega L^2 C(\omega_0^2 - \omega^2)}{(1 - \omega^2 LC)^2 + (\omega RC)^2}. \quad (13)$$

Из претходног израза могу да се одреде две реалне једначине, укључујући три променљиве  $R$ ,  $L$  и  $C$ . Сопствена резонантна учестаност је одређена експерименталним путем, преко  $S_{21}$

параметра. Тамо где  $S_{21}$  параметар има минималну вредност (нпр. фаза  $S_{21}$  параметра падне на нулу и имагинарни део импедансе модела има вредност нула, тј.  $\text{Im}(Z)=0$ ).  $Q$  фактор може да се одреди са карактеристике  $S_{21}$  на 3 dB од максималне вредности  $\Delta\omega$ , као  $Q = \omega_0 / \Delta\omega$ .

Користећи трансформацију, из израза (2) и (5), сопствена резонантна учестаност  $\omega_0$  и  $Q$  фактор могу бити израчунати као

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_0 C}} \cdot \left( \frac{Q^2}{1+Q^2} \right)^{1/2}, \quad (14)$$

$$Q = \frac{\omega_0 L_0}{R_0}, \quad (15)$$

где је  $L_0$  и  $R_0$  одређује индуктивност и отпорност на сопственој резонантној учестаности, респективно.

Одатле је сопствена капацитивност SMD индуктора дата изразом

$$C = \frac{1}{\omega_0^2 L_0} \cdot \frac{Q^2}{1+Q^2}, \quad (16)$$

и она је скоро независна од учестаности. То значи да се та капацитивност јако мало мења у опсегу учестаности и можемо је за даљи поступак екстракције параметара еквивалентног кола модела SMD индуктора сматрати константном.

После одређених израчунавања, индуктивност и отпорност у зависности од учестаности могу бити израчунате из израза (13)

$$L(\omega) = \frac{Z_i(\omega) + \omega C |Z(\omega)|^2}{\omega \left[ (1 + \omega C Z_i(\omega))^2 + (\omega C Z_r(\omega))^2 \right]}, \quad (17)$$

$$R(\omega) = \frac{Z_r(\omega)}{\left[ 1 + \omega C Z_i(\omega) \right]^2 + \left[ \omega C Z_r(\omega) \right]^2}. \quad (18)$$

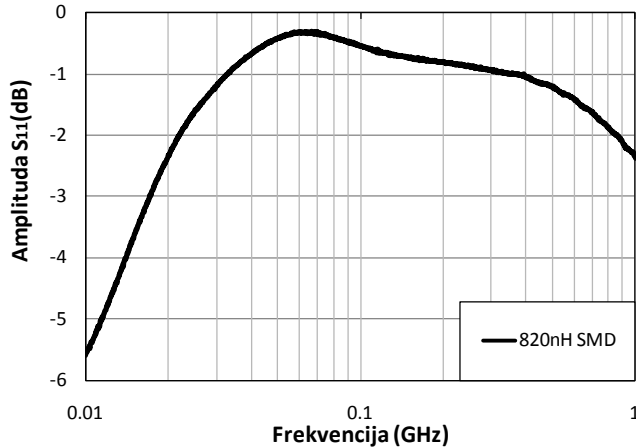
Ови изрази од (16 – 18) су одговарајући и довољни за моделовање SMD индуктора на учестаности од интереса. Пошто се индуктор користи углавном на фреквентном опсегу испод сопствене резонантне учестаности, овај одабрани еквивалентни модел је изабран за одређивање електричних параметара SMD компоненте која се тестира.

## Примена

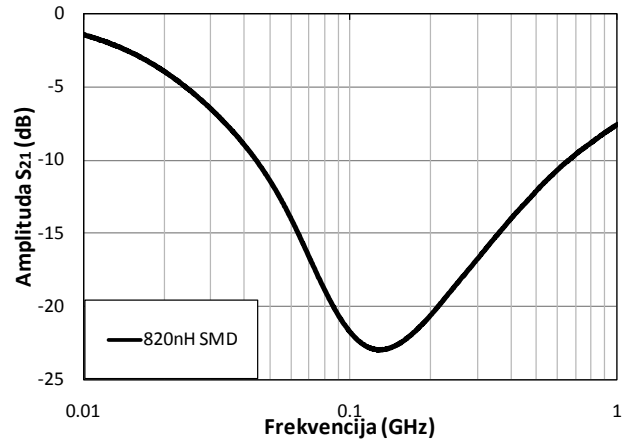
Мерни резултати карактеризације поједних SMD компоненти могу бити различити за различиту комбинацију мерних инструмената и прилагодних тест степена. Због тога, су посебно пројектовани прилагодни тест степени за одређене инструменте који се користе за карактеризацију SMD компоненти на високим учестаностима. Овом методом је могуће вршити карактеризацију стандардних SMD компонентана – ЕМИ потискивача на високим учестаностима, различитих величина и типова. Прилагођавањем ове методе могуће је окарактерисари и друге компоненте, као што су кондензатори.

Мерење  $S$ -параметара је представљено на примеру комерцијално доступне феритне ЕМИ компоненте, вишеслојног чип индуктора. Анализиран је ЕМИ потискивач у стандардном ЕИА кућишту, величине 0805, и номиналне вредности индуктивности од 820 nH (компонента ознаке 220805R82K7F, произвођача Fair-Rite) (слике 3 и 4).

Користећи VNA, сопствена резонантна учестаност  $f_0$  може бити одређена из мерних резултата  $S$ -параметара тако што се одреди где параметар  $S_{21}$  има минималну вредност амплитуде. Са слике 4 се види да је вредност резонантне учестаности 126.5 MHz. Користећи овај прилагодни микрострип тест степен добијена су задовољавајућа мерења  $S$ -параметара као и одговарајућа тачност и поновљивост мерних резултата у задатом мерном опсегу учестаности.

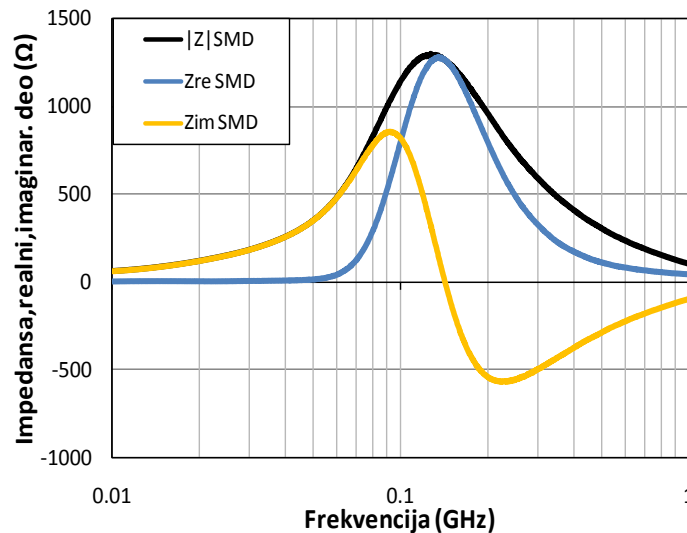


Слика 3. Мерене вредности амплитуде  $S_{11}$  параметра за феритни ЕМИ потискивач.



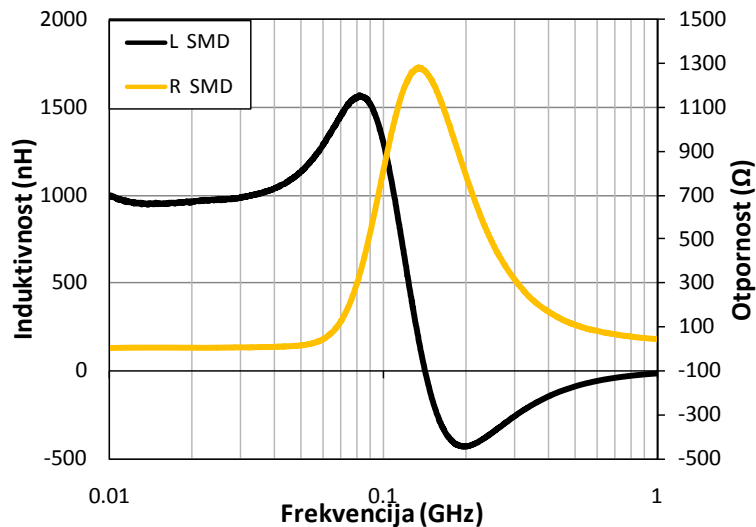
Слика 4. Мерене вредности амплитуде  $S_{21}$  параметра за феритни ЕМИ потискивач.

Екстраховане вредности амплитуде  $|Z|$ , из измерених  $S$ -параметара (са слика 3 и 4), као и реални и имагинарни део импедансе за феритни ЕМИ потискивач 220805R82K7F, су приказани на слици 5.



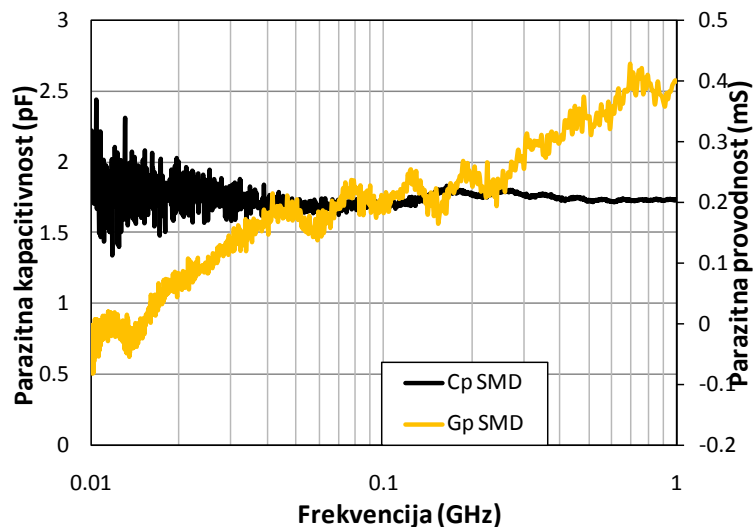
Слика 5. Екстраховане вредности амплитуде, реалног и имагинарног дела импедансе ЕМИ потискивача 220805R82K7F из мерених  $S$ -параметара.

Из екстраховане вредности импедансе ЕМИ потискивача, и њене реалне и имагинарне вредности, одређене су вредности серијске отпорности  $R$  и индуктивности  $L$  у функцији од учестаности (слика 6).



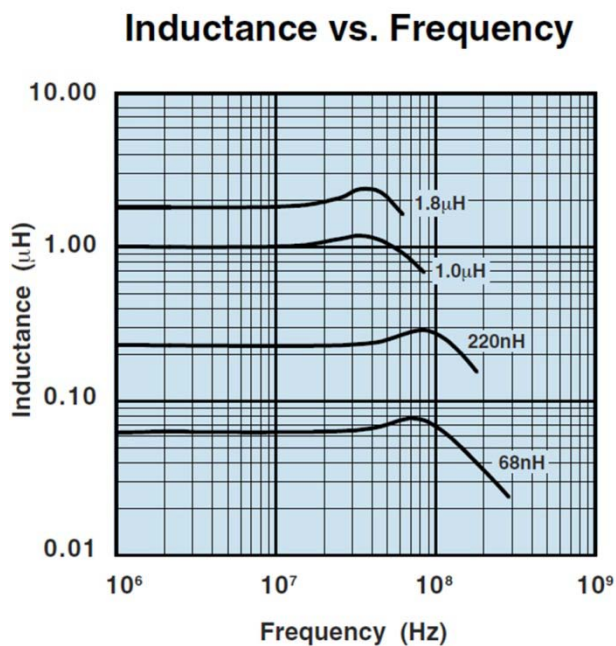
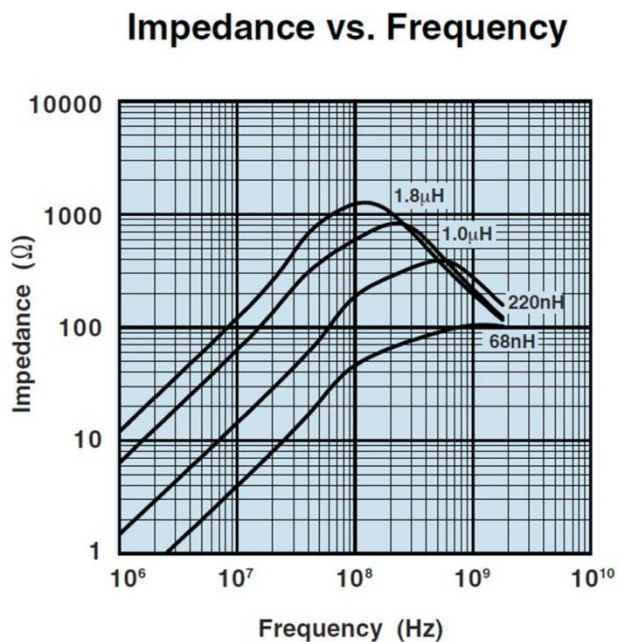
Слика 6. Екстраховане вредности параметара еквивалентног кола EMI потискивача 220805R82K7F.

Вредности паразитних ефеката EMI потискивача на PCB-у,  $C_p$  и  $G_p$ , приказане су на слици 7. Као што се може видети, проводност  $G_p$  расте порастом фреквенције. Капацитивност  $C_p$  је релативно мала за ову SMD компоненту, и приближно је константна (свега неколико pF).



Слика 7. Екстрахована вредност паразитне проводности и капацитивности EMI потискивача 220805R82K7F.

Из техничке информације Fair-Rite Products Corp., "14th Edition Catalogue", доступне на: [www.fair-rite.com](http://www.fair-rite.com), 2008, могу се добити графици приказани на слици 8 за компоненту 220805R82K7F, номиналне вредности 820 nH. Поређењем екстрахованих вредности импедансе, резонантне учестаности и индуктивности добијених овом методом са каталошким вредностима види се добро слагање.



*Слика 8. Каталогске вредности импедансе и индуктивности у односу на учестаност компоненте 220805R82K7F, произвођача Fair-Rite*

*Мерна метода за екстраховање унутрашњих и спољашњих електричних параметара ЕМИ потискивача у стандардном SMD кућишту у широком опсегу учестаности помоћу векторског анализатора мрежа развијен је у ИМСИ-у и ФТН-у у оквиру текућег технолошког пројекта бр. ТР-11023 код Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије.*

*Штампано – мај 2010.*





Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија  
Декапат: 021 6350-413; 021 450-810; Централа: 021 485 2000  
Рачуноводство: 021 458-220; Студентска служба: 021 6350-763  
Телефакс: 021 458-133; e-mail: ftndean@uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАНИ  
СИСТЕМ  
МЕНАџМЕНТА  
СЕРТИФИКОВАН О.Д.



Наш број: \_\_\_\_\_  
Ваш број: \_\_\_\_\_  
Датум: 2011-06-15

## ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Новом Саду, на 22. редовној седници одржаној дана 25.05.2011. године, донело је следећу одлуку:

*-непотребно изостављено-*

### **Тачка 13. Питања научноистраживачког рада и међународне сарадње**

У циљу доношења одлуке о прихватању техничког решења  
(*Мерна метода М85*) под називом:

### **ЕКСТРАХОВАЊЕ УНУТРАШЊИХ И СПОЉАШЊИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТАРА ЕМИ ПОТИСКИВАЧА У СТАНДАРДНОМ SMD КУЋИШТУ У ШИРОКОМ ОПСЕГУ УЧЕСТАЛОСТИ**

Аутори:

- Александар Менићанин, ИМСИ - Београд
- Мирјана Дамњановић
- Љиљана Живанов

именују се рецензенти:

- Др Александар Нешић, Институт ИМТЕЛ, Београд и
- др Бранка Јокановић, научни саветник Институт за физику, Београд

Техничко решење је развијено у оквиру пројекта технолошког развоја **ТР-11023**

*-непотребно изостављено-*

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:  
Секретар

Иван Нешковић, дипл. правник



Проф. др Илија Тосић

## РЕЦЕНЗИЈА ПРЕДЛОЖЕНОГ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

**Предмет:** Мишљење о испуњености критеријума  
за признање техничког решења

Назив техничког решења:

**Мерна метода:** Екстраховање унутрашњих и спољашњих електричних параметара ЕМИ у стандардном SMD кућишту у широком опсегу учестаности

Број пројекта: **ТР-11023**

Руководилац пројекта: **Проф. др Љиљана Живанов**  
Одговорно лице: **мр Александар Менићанин**

Аутори решења: **Александар Менићанин, Институт за мултидисциплинарна истраживања (ИМСИ), Београд**  
**Мирјана Дамњановић, Љиљана Живанов, Факултет техничких наука, Нови Сад**

**Развијено:** у оквиру пројекта технолошког развоја

**Година:** 2009-2010.

**Примена:** 01.02.2010.

Категорија техничког решења:

*„Прототип, нове методе, софтвер, инструмент, нове генске пробе, микроорганизми и сл.“*

Подтип решења: **Мерна метода (M85)**

### Образложење

Реализатор предложеног техничког решења је Институт за мултидисциплинарна истраживања, Београд и Факултет техничких наука, Нови Сад.

Корисници предложеног техничког решења су Институт за мултидисциплинарна истраживања, Београд; Факултет техничких наука, Нови Сад и ИРИТЕЛ А.Д., Београд.

Проблем који се техничким решењем решава је следећи: Развијена је метода за екстракцију унутрашњих и спољашњих електричних параметара ЕМИ потискивача у стандардном SMD кућишту у широком опсегу учестаности коришћењем мерених S-параметара. Модел ЕМИ потискивача је представљен као двопрístupни модел индукторске компоненте. Овом методом је могуће одредити еквивалентну индуктивност, серијску отпорност, паразитну

капацитивност саме компоненте, као и придружене вредности паралелних капацитивности и проводности околине у коју је SMD компонента постављена.

Стање решености тог проблема у свету је следеће: SMD индуктори као ЕМИ потискивачи имају широк спектар употребе, па тако захтевају развој нових мерних метода и прилагодних степена. Погодан избор мерних инструмената и прилагодљив дизајн прилагодног степена даје већу тачност мерења. Избор мерне инструментације зависи од типа индуктора, величине, вредности индуктивности (посебно за мале вредности, реда nH) и резонантне учестаности.

Анализатор импедансе (*Impedance analyzer*) се углавном користи за мерења индуктивности и серијске отпорности код индуктивних компонента. Ови инструменти само дају унутрашње параметаре и карактеристике испитиване компоненте; према томе, они не укључују интеракцију између PCB-а и саме компоненте. Због тога је развијена метода која користи векторски анализатор мрежа (VNA) који при мерењу укључује спољашње ефекте, као што су лејаут ефекти.

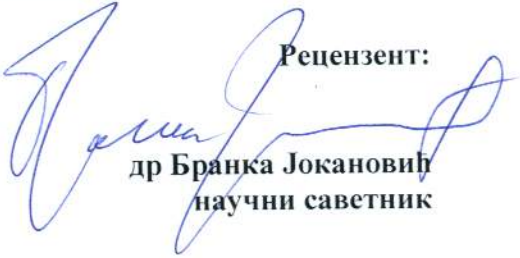
Карактеристике предложеног техничког решења су следеће: Овом мерном методом је могуће из мерених S-параметара одредити стандардне параметре SMD ЕМИ потискивача (еквивалентну индуктивност, серијску отпорност, паразитну капацитивност саме компоненте, као и придружене вредности паралелних капацитивности и проводности околине) и тако вршити карактеризацију SMD компоненте у широком опсегу учестаности.

Могућности примене предложеног техничког решења су следеће: Овом мерном методом је могуће из мерених S-параметара окарактерисати ЕМИ потискиваче – индукторе, као и примењујући одговарајући модел вршити карактеризацију и других врста SMD компонената, нпр. кондензатора.

У оквиру пријаве техничког решења дат је детаљан опис предложене мерне методе и поступак екстракције унутрашњих и спољашњих електричних параметара ЕМИ потискивача. Мерење S-параметара је представљено на примеру комерцијално доступне феритне ЕМИ компоненте, вишеслојног чип индуктора. Анализиран је ЕМИ потискивач у стандардном EIA кућишту, величине 0805, и номиналне вредности индуктивности од 820 nH (компонента ознаке 220805R82K7F, произвођача Fair-Rite) и добијени резултати (екстрахованих вредности импедансе, резонантне учестаности и индуктивности) су упоређени са каталошким вредностима произвођача. Добијене вредности показују добро слагање.

На основу достављеног материјала, у складу са одредбама Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитавном исказивању научноистраживачких резултата истраживача, који је донео Национални савет за научни и технолошки развој Републике Србије («Службени гласник РС», бр. 38/2008) рецензент оцењује да резултат научноистраживачког рада под називом: **Екстраховање унутрашњих и спољашњих електричних параметара ЕМИ у стандардном SMD кућишту у широком опсегу учестаности** представља научно-истраживачки резултат који треба прихватити као техничко решење.

Рецензент:

  
др Бранка Јокановић  
научни саветник

**Мерна метода:**

Екстраховање унутрашњих и спољашњих електричних параметара ЕМИ потискивача у стандардном SMD кућишту у широком опсегу учестаности

**Руководилац пројекта:** проф. др Љиљана Живанов

**Одговорно лице:** мр Александар Менићанин

**Аутори:** Александар Менићанин

Институт за мултидисциплинарна истраживања (ИМСИ), Београд

Мирјана Дамњановић, Љиљана Живанов

Факултет техничких наука (ФТН), Нови Сад

**Развијено:** у оквиру пројекта технолошког развоја TP-11023

**Година:** 2009.- 2010.

**Примена:** јануар 2010.

**Кратак опис**

Метода омогућава екстракцију унутрашњих и спољашњих електричних параметара ЕМИ потискивача у стандардном SMD кућишту у широком опсегу учестаности из S-параметара добијених мерењем. Модел ЕМИ потискивача је представљен као двокрајни модел индукторске компоненте. Овом методом је могуће одредити еквивалентну индуктивност, серијску отпорност, паразитну капацитивност саме компоненте, као и придружене вредности паралелних капацитивности и проводности околине у коју је SMD компонента постављена.

**Техничке карактеристике:**

Овом мерном методом је могуће из S-параметара добијених мерењем одредити стандардне параметре SMD ЕМИ потискивача и тако вршити карактеризацију SMD компоненте у широком опсегу учестаности.

**Техничке могућности:**

карактеризација ЕМИ потискивача – индуктора, као и примењујући одговарајући модел, карактеризацију и других врста SMD компонената, нпр. кондензатора.

**Реализатори:**

Институт за мултидисциплинарна истраживања – ИМСИ, Факултет техничких наука – ФТН

**Корисници:**

Институт за мултидисциплинарна истраживања – ИМСИ, Факултет техничких наука – ФТН, ИРИТЕЛ А.Д., Београд

**Подтип решења:**

Мерна метода (M85)

**Мишљење**

Основни параметри за карактеризацију стандардних SMD компоненти су индуктивност, капацитивност, Q фактор, серијска отпорност и сопствена резонантна учестаност. Приликом поређења каталожних вредности компоненти датих од стране произвођача, инжењери треба да знају услове под којима су мерене вредности. У стварним ситуацијама, тест инструментација и прилагодни степени утичу на резонантну учестаност. Произвођачи не користе исте мерне

инструменте и прилагодне степене за карактеризацију и то значајно отежава поређење истих компоненти.

SMD индуктори као ЕМИ потискивачи имају широк спектар употребе, па тако захтевају развој нових мерних метода и прилагодних степена. Погодан избор мерних инструмената и прилагодљив дизајн прилагодног степена даје већу тачност мерења. Убрзан развој мерне опреме доводи до потребе за убрзаним развојем прилагодних тест степена. Избор мерне инструментације зависи од типа индуктора, величине, вредности индуктивности (посебно за мале вредности, реда  $nH$ ) и резонантне учестаности.

Мерења индуктивности и серијске отпорности увелико зависе од мерне опреме којом се врши мерење, као и од опсега фреквенција над којим се изводи мерење. Одговарајући избор мерне методе значајно одређује тачност мерења. Паразитни ефекти уграђени са тест прилагодним степеном могу да допринесу резултатима мерења.

Анализатор импедансе (*Impedance analyzer*) је углавном коришћен за мерења индуктивности серијске отпорности над индуктивним компонентама. Ови инструменти дају резултате само унутрашњих параметара и карактеристика испитиване компоненте; према томе, они не укључују интеракцију између РСВ-а и саме компоненте. VNA мерења укључују спољашње ефекте, као што су лејаут ефекти.

Да би се постигла већа тачности мерних резултата, као мерни инструмент се користи векторски анализатор мрежа (*Vector Network Analyzer, VNA*) и прилагодни тест степен за двокрајне SMD компоненте. Многе индукторске компоненте имају високу резонантну учестаност, а VNA може да ради и са учестаностима од 10 GHz и више ако је потребно.

Овом методом је могуће вршити карактеризацију стандардних SMD компонентана – ЕМИ потискивача на високим учестаностима, различитих величина и типова. Прилагођавањем ове методе могуће је окарактерисати и друге компоненте, као што су нпр. кондензатори.

SMD компонента – ЕМИ потискивач, може бити представљена користећи једноставно еквивалентно коло са еквивалентном индуктивношћу  $L$ , серијском отпорношћу  $R$  и паразитном капацитивношћу  $C$  и то су тзв. унутрашњи параметри.

Међутим, унутрашњи параметри не укључују губитке који су настали онда када је та SMD компонента уграђена на штампану плочу. Ако је компонента постављена на штампану плочу (*Printed Circuit Board, PCB*), у реално окружење, тада спољашњи параметри на ВФ учестаностима морају да буду укључени. Двокрајни модел индуктора који је постављен на РСВ мора да буде представљен заједно са унутрашњим и спољашњим параметрима пошто постоји интеракција између компоненте и штампане плоче.

Када је SMD индуктор постављен у реално окружење на прилагодни степен на РСВ-у, еквивалентно коло индуктора на РСВ прилагодном степену мења свој модел. Серијска отпорност укључује губитке који настају од SMD кућишта, површински ефекат и ефекат близине проводних завојака индуктора. Такође, серијска капацитивност представља сопствену капацитивност кућишта индуктора и капацитивност између стопица. Диелектрични губици у подлози уводе у модел паралелну (*shunt*) проводност  $G_p$ , и сопствену капацитивност према маси од сваке стопице за контакт уводи паралелну капацитивност  $C_p$ .

Видимо да се еквивалентна импеданса састоји од паралелне везе импедансе индуктора и на ред везаног отпорника са импедансом кондензатора. Када се замене изрази за импедансе индуктивности, отпорности и кондензатора, добијамо израз за импедансу у зависности од учестаности.

Овај двокрајни модел представља реални индуктор на РСВ-у и његови елементи могу бити повезани са параметрима ABCD матрице. Међутим, у пракси, често коришћени мерни резултати су представљени  $S$  – параметрима, зато што они дају највећу тачност мерних резултата (најмањи

сигнал губитка у таласоводу или микрострип линијама). Тако, ABCD матрица може да се представи преко  $S$  – параметара и да се повеже са  $Z$  параметрима.

На тај начин се добија сопствена капацитивност SMD индуктора и она је скоро независна од учестаности. То значи да се та капацитивност јако мало мења у опсегу учестаности и можемо је за даљи поступак екстракције параметара еквивалентног кола модела SMD индуктора сматрати константном.

После одређених израчунавања, индуктивност и отпорност у зависности од учестаности могу бити израчунате. Ови изрази су одговарајући и довољни за моделовање SMD индуктора на учестаности од интереса. Пошто се индуктор користи углавном на фреквентном опсегу испод сопствене резонантне учестаности, овај одабрани еквивалентни модел је изабран за одређивање електричних параметара SMD компоненте која се тестира.

Екстракција унутрашњих и спољашњих параметара је представљена на примеру комерцијално доступне феритне ЕМИ компоненте, вишеслојног чип индуктора. Анализиран је ЕМИ потискивач у стандардном EIA кућишту, величине 0805, и номиналне вредности индуктивности од 820 nH (компонента ознаке 220805R82K7F, произвођача Fair-Rite).

Из техничке информације Fair-Rite Products Corp., "14th Edition Catalogue", доступне на: [www.fair-rite.com](http://www.fair-rite.com), 2008, могу се добити графици за компоненту 220805R82K7F, номиналне вредности 820 nH. Поређењем екстрахованих вредности импедансе, резонантне учестаности и индуктивности добијених овом методом са каталошким вредностима види се добро слагање.

*Мерна метода за екстраховање унутрашњих и спољашњих електричних параметара ЕМИ потискивача у стандардном SMD кућишту у широком опсегу учестаности помоћу векторског анализатора мрежа развијена је у ИМСИ-у и ФТН-у у оквиру текућег технолошког пројекта бр. ТР-11023 код Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије.*

У Београду, 14.06.2010.

Рецензент



Др Александар Нешић,  
Институт IMTEL, Београд



Трг Досптеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија  
Деканат: 021 6350-413; 021 450-810; Централa: 021 485 2000  
Рачуноводство: 021 458-220; Студентска служба: 021 6350-763  
Телефакс: 021 458-133; e-mail: ftndean@uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАНИ  
СИСТЕМ  
МЕНАџМЕНТА  
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: 01.сл

Ваш број:

Датум: 2011-07-05

## ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Новом Саду, на 23. редовној седници одржаној дана 29.06.2011. године, донело је следећу одлуку:

*-непотребно изостављено-*

### **ТАЧКА 14. Питања научноистраживачког рада и међународне сарадње**

Одлука

На основу извештаја рецензената прихвата се техничко решење (*Мерна метода М85*) под називом:

### **ЕКСТРАХОВАЊЕ УНУТРАШЊИХ И СПОЉАШЊИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТАРА ЕМИ ПОТИСКИВАЧА У СТАНДАРДНОМ SMD КУЋИШТУ У ШИРОКОМ ОПСЕГУ УЧЕСТАЛОСТИ**

Аутори:

- Александар Менићанин, ИМСИ - Београд
- Мирјана Дамњановић
- Љиљана Живанов

Техничко решење је развијено у оквиру пројекта технолошког развоја **ТР-11023**

*-непотребно изостављено-*

Записник водила:

Тачност података оверава:  
Секретар

Јасмина Димић, дипл. правник

Иван Нешковић, дипл. правник



Декан

Проф. др Љиљана Ћосић