

Софтвер:
Софтвер ILCMC за одређивање електричних карактеристика феритних ЕМІ пригушница

Руководилац пројекта: проф. др Љиљана Живанов
Одговорно лице: др Мирјана Дамњановић
Аутори: Мирјана Дамњановић, Љиљана Живанов, Снежана Ђурић
Факултет техничких наука (ФТН), Нови Сад
Александар Менићанин,
Институт за мултидисциплинарна истраживања, Београд

Развијено: у оквиру пројекта технолошког развоја ТР-11023

Година: 2009 - 2010.

Примена: јануар 2010.

Кратак опис

Да би могли пројектовати стандардне компоненте за заштиту од електромагнетске интерференције (ЕМІ), тзв. ЕМІ пригушнице, потребно је испитати утицај геометријских карактеристика и коришћених материјала на ефикасност такве компоненте. У ту сврху развијен је софтвер који омогућава анализу утицаја геометријских параметара структуре (састављене од два калема облика квадратне спирале), као и феритних материјала и проводних пасти на импедансу ЕМІ пригушнице у опсегу фреквенција до 3 MHz.

Техничке карактеристике:

Софтвер ILCMC је развијен у програмском језику Visual Basic 6.0. Представља “*user friendly*” програм за оптимизацију феритних ЕМІ пригушница. Развијени рачунарски програм за карактеризацију феритних ЕМІ пригушница је кориснички оријентисан, врло интуитиван и једноставан за коришћење.

Техничке могућности:

Софтвер израчунава електричне параметре ЕМІ пригушнице (индуктивност примара, секундара, међусобну индуктивност, коефицијент спреге, редне отпорности примара и секундара, паразитне капацитивности, као и унесено слабљење) у зависности од фреквенције. Постојање оваквог програма омогућава пројектантима кола лаку и брзу анализу структуре ЕМІ пригушнице. На основу добијених резултата могуће је изабрати оптималне геометријске параметре структуре, као и одговарајући феритни материјал и проводну пасту.

Реализатори:

Факултет техничких наука – ФТН, Институт за мултидисциплинарна истраживања, Београд.

Корисници:

Институт за мултидисциплинарна истраживања, Београд; Факултет техничких наука, Нови Сад, ИРИТЕЛ А.Д., Београд

Подтип решења:

Софтвер - M85

Стање у свету

Повећањем коришћења електронске опреме електромагнетска компатибилност (ЕМС) има све већи значај. Прописима су одређене границе нивоа електромагнетске емисије коју сме да емитује опрема, као и осетљивост опреме на долазећу електромагнетску интерференцију (ЕМИ). ЕМИ се дефинише као утицај нежељених сигнала на уређаје и системе, чинећи рад уређаја отежаним или немогућим. Да би се ЕМИ испољила, мора имати три саставна елемента: извор, пут којим се преноси – пут спреге и жртву, односно уређај који прима нежељену енергију.

Последњих неколико година предлагане су различите структуре ЕМИ пригушница. На пример, компоненте које се састоје од феритног језгра, калема и проводника су развијене за смањивање електромагнетске интерференције у телекомуникацијама (за ISDN, ADSL и T10 Base-portove). Феритне компоненте могу бити израђене и у облику торусних, E и U профила језгара. Ипак, ЕМИ пригушнице се најчешће израђују као жице намотане на торусно језгро, због ниске цене и највеће ефективне пермеабилности овог облика феритног језгра у односу на све остале.

Међутим, потреба за смањивањем димензија електронских компоненти утицала и на пројектовање ЕМИ пригушница. Димензије торусног језгра су све више смањиване, што је довело до потребе за ручним мотањем. Немогућност аутоматизоване израде пригушница се негативно одразила на цену оваквих компоненти.

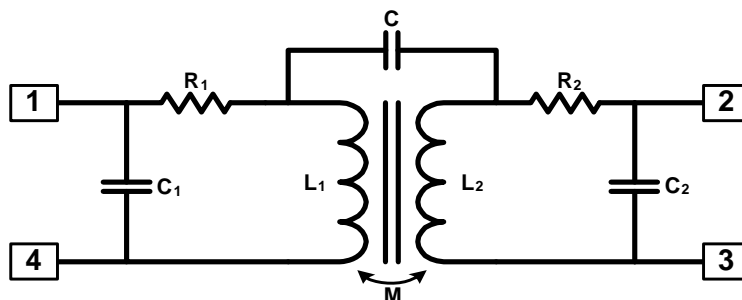
Осим великог броја различитих облика језгара, на пројектовање феритних компоненти позитивно је утицао и развој великог броја нових феритних материјала, који се могу користити за израду планарних магнетских компоненти. Предност планарних компоненти у односу на класичне мотане компоненте је мања тежина, изузетна могућност поновљивости електричних карактеристика, изванредне термичке перформансе и висок степен интеграције. Због тога је развијен софтвер који служи за одређивање електричних параметара феритних ЕМИ пригушница за површинску монтажу (SMD), као што су индуктивност примара и секундара, њихова међусобна индуктивност и коефицијент спреге, као и редне отпорности примара и секундара и паразитне капацитивности у зависности од фреквенције.

Да би се одредиле карактеристике ЕМИ пригушница у широком фреквентном опсегу потребно је узети у обзир утицај геометријских параметара структуре, као и материјала од који је компонента израђена. За симулацију индуктивних структура (у ваздуху или диелектрику) могуће је користити неки од комерцијално доступних софтвера (као што су Ansoft, Microwave Office и сл.). Међутим, ниједан од њих не може да директно узме у обзир (урачуна) и утицај феритног материјала, који на високим фреквенцијама доминантно одређује електричне карактеристике компоненте (пермеабилност је урачуната као константан параметар, што је далеко од реалног, нарочито на вишим фреквенцијама). Због тога је развијен софтвер **ILCMC** (**I**nsertion **L**oss of **C**ommon **M**ode **C**hoke) који омогућава израчунавање електричних параметара и губитака које уноси ЕМИ пригушница у зависности од фреквенције.

Сличан принцип рачунања електричних карактеристика као **ILCMC** има софтвер FastHenry (Massachusetts Institute of Technology). Наравно, за разлику од нашег софтвера FastHenry може да одређује карактеристике индуктивних структура само у ваздуху, док **ILCMC** може да узме у обзир и утицај феритног материјала). Поређење резултата симулација ова два софтвера је приказано у овом техничком решењу.

Софтвер ILCMC за одређивање електричних карактеристика феритних ЕМИ пригушница

Софтвер ILCMC заснован на једноставном моделу феритног трансформатора приказаном на слици 1, где су L_1 и L_2 индуктивности примара и секундара, R_1 и R_2 су редне отпорности примара и секундара, респективно, док је са M означена међусобна индуктивност између индуктора. Капацитивност примара је C_1 , капацитивност секундара је C_2 , а C_{12} је капацитивност између примара и секундара (M. Honda, The Impedance Measurement Handbook – A Guide To Measurement Technology And Techniques, Yokogawa-Hewlett-Packard LTD., Section 5, 1989.).



Слика 1. Еквивалентни модел ЕМИ пригушнице

Ефикасност потискивања интерференције помоћу ЕМИ потискивача може се карактерисати унесеним губицима, који се мере стандардним мерним колом, названим LISN (Line Impedance Stabilization Network), које је приказано на слици 2. Улазни крајеви компоненте која се тестира повезују се са RF генератором излазне импедансе Z , која је обично 50Ω . На излазним крајевима тестиране компоненте мери се напон помоћу волтметра исте импедансе $Z_L = Z$.

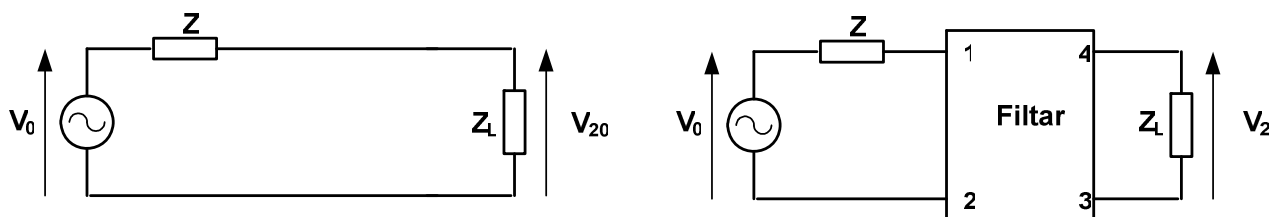
Ако је напон генератора сигнала V_0 , унесени губици (у dB) се израчунавају као однос излазног напона V_{20} у колу без филтра,

$$V_{20} = V_0 \cdot (Z_L / (Z_L + Z)) = V_0 / 2, \quad (1)$$

и излазног напона V_2 у колу са филтром,

$$A_{dB} = 20 \cdot \log |V_{20} / V_2|. \quad (2)$$

Ова дефиниција унесених губитака узима у обзир и заједничку и диференцијалну сметњу.



Слика 2. Мерење унесених губитака

Коришћењем модела трансформатора (сл. 1) и кола за мерење унесених губитака LISN (сл. 2) унесени губици ЕМИ пригушнице се одређују као

$$A_{dB} = 20 \cdot \log(Z_0 / [(Z_L + R_{eq} - \omega^2 C_{12} Z_L X_{eq})^2 + (X_{eq} + C_{12} Z_L R_{eq})^2]^{1/2}) \quad (3)$$

где су

$$R_{eq} = Z_0 + \frac{R_1(1 - \omega^2 C_1(L_1 + M)) + \omega^2 C_1 R_1(L_1 + M)}{(1 - \omega^2 C_1(L_1 + M))^2 + (\omega C_1 R_1)^2} + \frac{R_2(1 - \omega^2 C_2(L_2 + M)) + \omega^2 C_2 R_2(L_2 + M)}{(1 - \omega^2 C_2(L_2 + M))^2 + (\omega C_2 R_2)^2} \quad (4)$$

и

$$X_{eq} = \frac{(L_1 + M) \cdot (1 - \omega^2 C_1(L_1 + M)) - C_1 R_1^2}{(1 - \omega^2 C_1(L_1 + M))^2 + (\omega C_1 R_1)^2} + \frac{(L_2 + M) \cdot (1 - \omega^2 C_2(L_2 + M)) - C_2 R_2^2}{(1 - \omega^2 C_2(L_2 + M))^2 + (\omega C_2 R_2)^2} \quad (5)$$

Израчунавање унесених губитака феритних компоненти за заштиту, укључујући и ЕМИ пригушнице, је веома сложено због изразито нелинеарних карактеристика феритног материјала. Зато већина комерцијално доступних ЕМ симулатора не може да израчуна ове карактеристике и постојала је потреба да се развије сопствени софтвер који би омогућио једноставније пројектовање ЕМИ пригушнице.

Софтвер ILCMS омогућава кориснику да веома брзо одредити електричне карактеристике феритног ЕМИ потискивача, на основу задатих улазних параметара. Корисник може да изабере жељени феритни материјал, на основу опсега фреквенција сигнала који би требале да буде потиснуте, проводну пасту и геометрију проводног слоја.

Израчунавање електричних карактеристика феритног ЕМИ потискивача

Израчунавање индуктивности

Израчунавање електричних карактеристика феритних ЕМИ потискивача је изузетно комплексно због нелинеарних карактеристика феритних материјала, као и високих радних фреквенција потискивача (опсег од MHz до неколико GHz). Стога се прави сегменти проводног слоја морају поделити на паралелне елементарне сегменте, малих правоугаоних попречних пресека (*filaments*). Водећи рачуна о смеру струје кроз сваки елементарни сегмент, сваком елементарном сегменту ће бити додељен вектор. Дакле, структура ЕМИ потискивача ће бити описана скупом вектора.

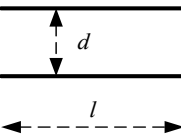
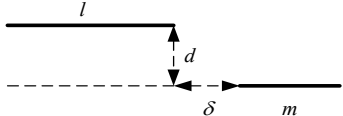
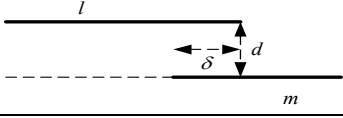
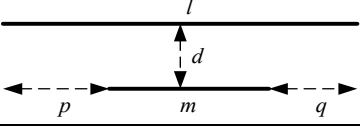
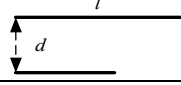
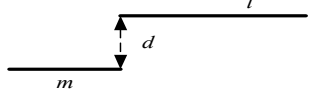
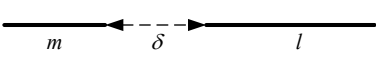
Индуктивност структуре састављене од правих проводних елемената (тј. од редно везаних елементарних правих проводника, било да су они паралелни или под неким произвољним углом) може бити одређена методом суперпозиције и коришћењем одговарајућих израза за прорачун парцијалне индуктивности два права проводника од (6) до (12), где је l дужина проводника (у cm) који се налазе на међусобном растојању d (у cm).

Ако је $\mu \approx \mu_0 = 4\pi/10^7 \text{ H/m}$, онда је међусобна индуктивност два права паралелна проводника дата у nH (Tabela 1). Ова метода, коју је користио Гровер (Frederick W. Grover, "Inductance calculations", D. Van Nostrand Company, Inc., New York, May 1947.), а касније потврдио и даље развио Руехли (A. Ruehli, C. Paul, J. Garret, "Inductance calculations using partial

inductances and macromodels”, Proceedings on International Symposium on EMC, IEEE '95, Atlanta, pp. 23-27, 1995.), назива се *метода парцијалне индуктивности*.

Ако се димензије попречних пресека проводника не могу занемарити у односу на њихово међусобно растојање израчунавање међусобне индуктивности постаје компликованије. То једино не важи за проводнике кружног попречног пресека, за које се горе наведени изрази од (5) до (12) могу користити без измена, сматрајући да се проводници налазе на растојању d једнаком удаљености између оса посматраних проводника.

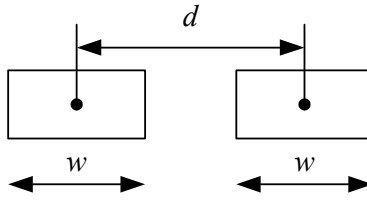
Табела 1. Приказ могућих међусобних положаја правих сегмената ЕМИ потискивача и одговарајући изрази за међусобну индуктивност

Међусобни положај два права проводника	Међусобна индуктивност (нН)
	$M = M(l, d) = 2l \cdot \left(\ln \left(\frac{l}{d} + \sqrt{1 + \left(\frac{l}{d} \right)^2} \right) - \sqrt{1 + \left(\frac{d}{l} \right)^2} + \frac{d}{l} \right)$ (6)
	$2M = M(l + m + \delta, d) + M(\delta, d) - M(l + \delta, d) - M(m + \delta, d)$ (7)
	$2M = M(l + m - \delta, d) + M(\delta, d) - M(l - \delta, d) - M(m - \delta, d)$ (8)
	$2M = M(m + p, d) + M(m + q, d) - M(p, d) - M(q, d)$ (9)
	$2M = M(m, d) + M(l, d) - M(l - m, d)$ (10)
	$2M = M(m + l, d) - M(l, d) - M(m, d)$ (11)
	$M = (l + m + \delta) \cdot \ln(l + m + \delta) - (l + \delta) \cdot \ln(l + \delta) - (m + \delta) \cdot \ln(m + \delta) + \delta \cdot \ln \delta$ (12)

За остале облике попречних пресека (укључујући и правоугаони) изрази (5) до (12) се такође користе, с тим да се уместо растојања d у овим изразима користи средње геометријско растојање *GMD* (*geometric mean distance*). Средње геометријско растојање *GMD* између два проводника је једнако растојању између два замишљена бесконачно танка проводника чија је међусобна индуктивност једнака међусобној индуктивности два оригинална проводника. *GMD* је дата као

$$\ln GMD = \ln d - \left(\frac{1}{12} \left(\frac{d}{w} \right)^2 + \frac{1}{60} \left(\frac{d}{w} \right)^4 + \frac{1}{168} \left(\frac{d}{w} \right)^6 + \frac{1}{360} \left(\frac{d}{w} \right)^8 + \frac{1}{660} \left(\frac{d}{w} \right)^{10} + \dots \right), \quad (13)$$

где је d растојање између оса проводника (у см), а w је њихова ширина (у см), као што је приказано на слици 3. Израчунавање индуктивности базирано на корекцији коришћењем средњег геометријског растојања је веома често користио Гровер, који је дао веома значајан допринос у одређивању индуктивности различитих структура. Међутим, његова формула базирана на *GMD*-у је апроксимативна и исправна је само за бесконачно дуге проводнике.



Слика 3. Одређивање средњег геометријског растојања два проводника ширине w која се налазе на растојању d

На крају треба напоменути да, ако су проводници на међусобном растојању које је много веће од димензија попречног пресека, онда се они могу апроксимирати идеално танким проводницима који се налазе на међусобном растојању једнаком удаљености оса проводника, без значајније грешке у прорачуну.

Све једначине за израчунавање индуктивности планарних структура правоугаоног попречног пресека укључују и изразе за самоиндуктивност проводника. Greenhouse је дао израз за самоиндуктивност правоугаоног попречног пресека L у нН као

$$L = 2l \cdot \left(\ln \frac{2l}{GMD} - 1.25 + \frac{AMD}{l} + \frac{\mu}{4} T \right), \quad (14)$$

где је l дужина проводника дата у см, μ је пермеабилност проводника, GMD и AMD представљају средње геометријско и аритметичко растојање попречног пресека проводника у см, респективно, а T је фактор за корекцију утицаја фреквенције.

Средње аритметичко растојање AMD је средња вредност свих могућих растојања између тачака попречног пресека проводника. У случају правоугаоног попречног пресека AMD је једнако трећини збира ширине w и дебљине t проводника

$$AMD = \frac{w + t}{3}. \quad (15)$$

Средње геометријско растојање GMD проводника правоугаоног попречног пресека је једнако

$$GMD = 0.22313 \cdot l. \quad (16)$$

Када се (15) и (16) уврсте у (14) добија се израз за самоиндуктивност L правоугаоног попречног пресека

$$L = 2l \cdot \left(\ln \frac{2l}{w + t} + 0.25049 + \frac{w + t}{3l} + \frac{\mu}{4} T \right), \quad (17)$$

где су дужина l , ширина w и дебљина t дате у см, а самоиндуктивност L је изражена у нН. T је параметар за корекцију утицаја фреквенције, који за ниске учестаности има вредност приближно једнаку јединици (његова вредност се повећањем фреквенције смањује тако да за бесконачно високу фреквенцију опада на нулу); задат је табеларно (Н. М. Greenhouse, "Design of planar rectangular microelectronic inductors", IEEE Transactions on Parts, Hybrids and Packaging, Volume PHP 10, June 1974, pp. 101-109).

Индуктивност структуре састављене од правих проводних елемената (тј. од редно везаних елементарних правих проводника, било да су они паралелни или под неким произвољним углом) може бити одређена методом суперпозиције и коришћењем одговарајућих израза за прорачун парцијалне индуктивности два права проводника од (6) до (12).

Укупна индуктивност сложене структуре се одређује као сума свих парцијалних самоиндуктивности елементарних правих сегмената и збир свих парцијалних међусобних индуктивности тих сегмената, било да су они паралелни или да се налазе под неким углом

$$L = \sum_{i=1}^n L p_i + \sum_{k=1}^n \sum_{m=1}^n L p_{km}, \quad \text{где је } i \neq j, \quad (18)$$

где је Lp_i парцијална самоиндуктивност i -тог сегмента правоугаоног попречног пресека, која се одређује изразом (17), а Lp_{ij} је парцијална међусобна индуктивност i -тог и j -тог сегмента. На овај начин се одређују индуктивност примара L_1 и индуктивност секундара L_2 .

Међусобна индуктивност M између примара и секундара се одређује као сума свих парцијалних међусобних индуктивности Lp_{km} између k -тог сегмента примара и m -тог сегмента секундара,

$$M = \sum_{k=1}^{N_1} \sum_{m=1}^{N_2} Lp_{km}, \quad (19)$$

где је N_1 укупан број сегмената примара, N_2 укупан број сегмената секундара.

Израчунавање отпорности

При протицању једносмерне струје кроз проводник она се униформно распоређује по попречном пресеку проводника. У том случају се отпорност ЕМІ потискивача може одредити као збир отпорности у једносмерном режиму свих елементарних сегмената.

Ако је проводни слој састављен од n правих сегмената, ширине w , дебљине t и специфичне проводности ρ , тада је отпорност ЕМІ потискивача у једносмерном режиму R_{DC}

$$R_{DC} = \rho \frac{l_{TOT}}{w \cdot t} \quad (20)$$

где је l_{TOT} укупна дужина проводног слоја.

При протицању једносмерне струје кроз проводник она се униформно распоређује по попречном пресеку проводника. Како се фреквенција повећава струја се нагомилава у танком слоју уз површину проводника, чија је дебљина једнака дубини продирања (*skin depth*). Овај ефекат се назива површински ефекат.

При прорачуну индуктивности за више проводника на малом растојању треба водити рачуна и о појави да временски променљива струја у једном проводнику утиче на расподелу струје у другом, блиском проводнику. Тај ефекат се назива ефекат близине.

Израз који узима у обзир оба ова ефекта је

$$R_w = R_{DC} \cdot A \cdot \left[\frac{e^{2A} - e^{-2A} + 2 \sin(2A)}{e^{2A} + e^{-2A} - 2 \cos(2A)} + 2 \cdot \frac{N_i^2 - 1}{3} \cdot \frac{e^A - e^{-A} - 2 \sin(A)}{e^A + e^{-A} + 2 \cos(A)} \right], \quad (21)$$

где први члан описује промену отпорности структуре услед површинског ефекта, а други ефекат близине (P. L. Dowell, "Effects of eddy current in transformer windings", IEEE Proceedings, vol. 133, no. 8, August 1966, pp. 1387 – 1394). За проводнике правоугаоног попречног пресека, ширине w и дебљине t , константа A је

$$A = \frac{w}{\delta} \sqrt{\frac{t}{\rho}}, \quad (22)$$

где је ρ растојање између центара попречних пресека два посматрана проводна сегмента. Дубина продирања δ је дата изразом

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \cdot \mu_o \cdot f}} \quad (23)$$

где је ρ специфична отпорност проводног материјала (у μm), а f је радна фреквенција (у Hz) (M. Bartoli, A. Reatti, M.K. Kazimierzczuk, "High-frequency models of ferrite core inductors", 20th International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation, IECON '94, vol. 3, 5-9 Sept. 1994, pp. 1670 – 1675).

Услед присуства феритног материјала на вишим фреквенцијама се јављају губици

$$R_f = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_0 \cdot \mu_r''(f), \quad (24)$$

где је L_0 индуктивност структуре у вакууму, а $\mu_r''(f)$ је фреквенцијски зависан имагинарни део комплексне пермеабилности (U. Reggiani, G. Grandi, G. Sancineto, M. K. Kazimierczuk, A. Massarini, "High-frequency behavior of laminated iron-core inductors for filtering applications", IEEE Transactions on Magnetics, Volume 2, 6-10 Feb. 2000, pp. 654-660).).

Укупна отпорност феритног ЕМИ потискивача ће бити једнака суми свих ових компоненти датих изразима (20), (21) и (24),

$$R = R_{DC} + R_C + R_f. \quad (25)$$

Израчунавање капацитивности

Израз за одређивање паразитне капацитивности C је дат

$$C_p = l_{TOT} \cdot \left[\varepsilon_o \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{2 \cdot \pi}{\ln \left(1 + \frac{2 \cdot h}{t} + \sqrt{\frac{2 \cdot h}{t} \cdot \left(\frac{2 \cdot h}{t} + 2 \right)} \right)} + \varepsilon_o \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{w - t/2}{h} \right], \quad (25)$$

Где је l_{TOT} укупна дужина проводног слоја, а w и t ширина и дебљина проводног слоја, респективно. Параметар h је половина укупне дебљине феритног слоја (Y. Qin, T.W. Holmes, "Stray capacitance modeling of inductors by using the finite element method", IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 1999, vol. 1, 2-6 Aug. 1999, pp. 305 – 310).

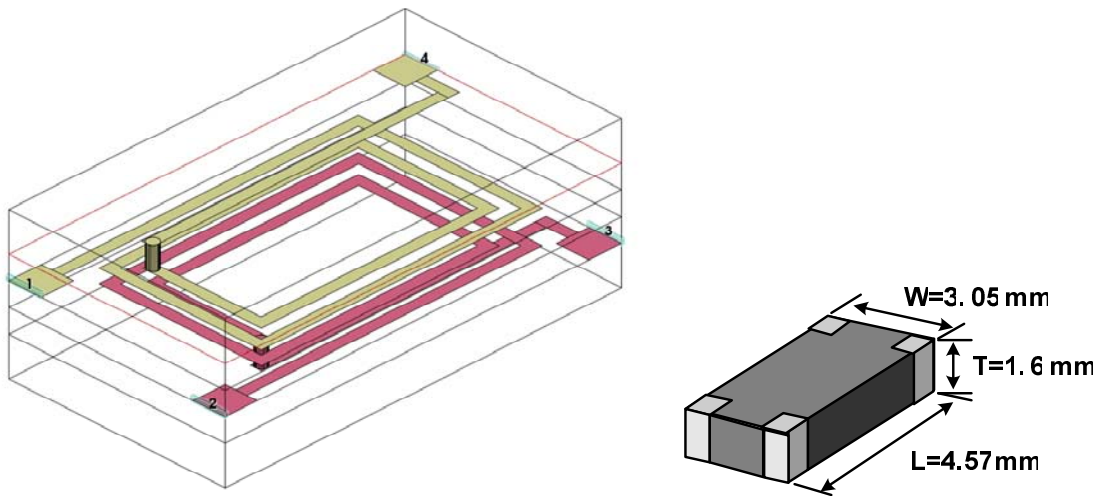
Принцип рада софтвера ILCMC

Коришћењем претходно наведених израза развијен је софтвер ILCMC. Треба напоменути да је софтвер ILCMC развијен на истом принципу као претходно развијеног алата EMISUP, који се може користити за израчунавање електричних карактеристика ЕМИ потискивача (који је верификован поређењем резултата мерења и симулација за више различитих структура ЕМИ потискивача).

ILCMC може да израчунава електричне параметре ЕМИ пригушнице која се састоји од примарног и секундарног калема облика квадратне спирале. Оба калема се налазе у феритном материјалу. Структура ЕМИ пригушнице је приказана на слици 4а, а њене механичке димензије на слици 4б (стандардна ЕИА величина 1812, 3.05 mm × 4.57 mm × 1.6 mm).

Оба индуктора имају облик 3D квадратне спирале, јер се овом структуром може постићи велика индуктивност, а тиме и импеданса ЕМИ пригушнице (сл. 4). Растојање између два суседна слоја је означено t_C . Проводни слојеви се не налазе тачно један изнад другог, већ су смакнути за половину растојања између два суседна проводна сегмента p , да би се минимизирала капацитивност између примарног и секундарног калема C_{12} .

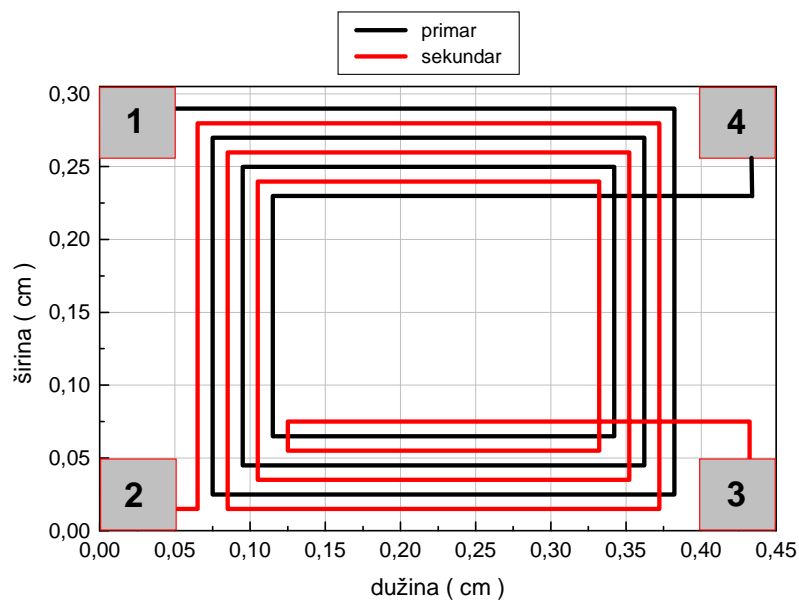
Контакти су 500 μm широки и дуги. Контакти примарног калема су означени 1 и 4 (црна линија), док су контакти секундарног калема означени 2 и 3 (црвена линија). Означавање контаката је приказано на слици 5, као и на слици 4а. Остали геометријски параметри индуктора су приказани у табели 1. Примар и секундар имају идентичне геометријске параметре, да би се постигла што већа симетрија између њих.



Слика 4. (а) 3-димензионални приказ структуре феритне ЕМИ пригушнице, (б) механичке димензије SMD компоненте стандардне EIA величине 1812 (3.05 mm × 4.57 mm × 1.6 mm).

Табела 1. Геометријски параметри ЕМИ пригушнице

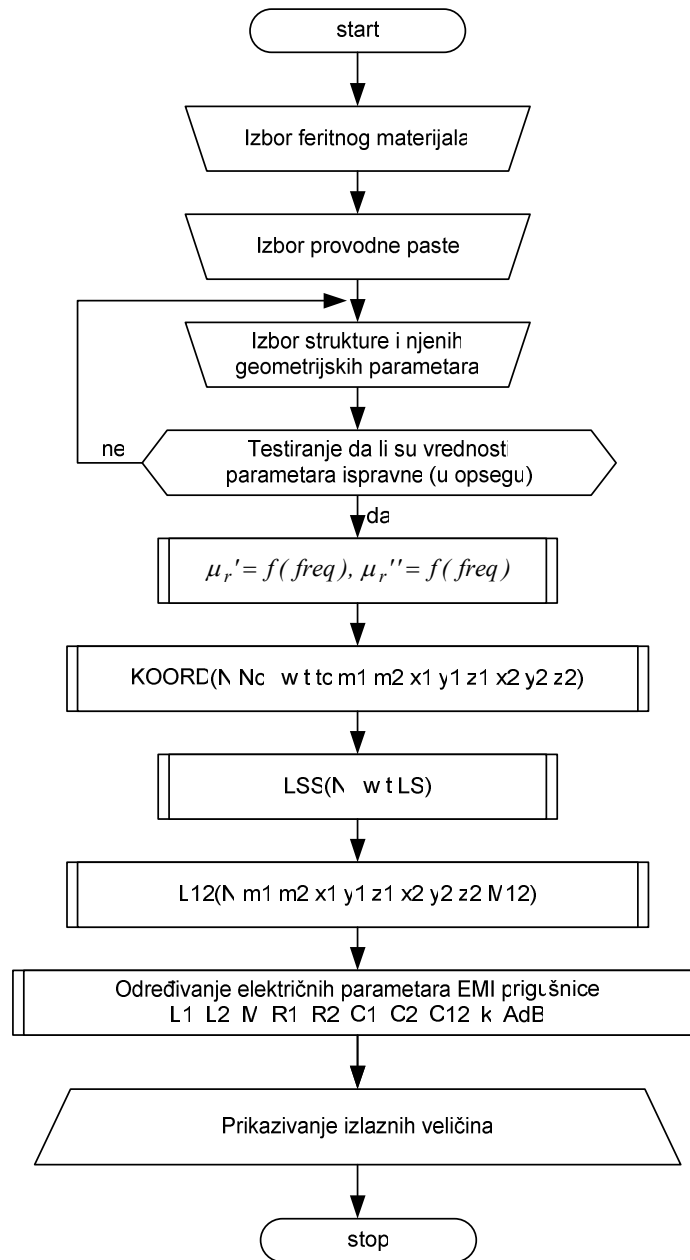
Симбол	ГЕОМЕТРИЈСКИ ПАРАМЕТАР	Димензија
N	Број завојака спирале у једном слоју	2, 3, 4
N_C	Број проводних слојева у примару и секундару	1, 2, 3, 4
w	Ширина проводних слојева	150 μm , 200 μm
t	Дебљина проводних слојева	35 μm
t_C	Растојање између проводних слојева (дебљина феритне траке)	65 μm
l_{C1}	Дужина спољашњег (најдужег) проводног сегмента	3320 μm
p	Растојање између оса два суседна проводна сегмента	150 μm , 200 μm



Слика 5. Приказ попречног пресека ЕМИ пригушнице која се састоји од два индуктора (црна и црвена линија) облика квадратне спирале са $N = 3$ завојака у једном проводном слоју $N_C = 3$ у феритној структури.

Следећи корак је избор вредности геометријских параметара селектоване структуре. На основу иницијалних вредности улазних параметара софтвер ILCMC ће најпре тестирати да ли су сви параметри коректни (тј. да ли су улазни параметри у предвиђеним опсезима водећи рачима о димензијама чипа). Затим, ако је све у реду, ILCMC ће одредити максималан могућ број завојака N_{max} за квадратну спиралу у једном слоју. Корисник може изабрати само број завојака који није већи од N_{max} .

Затим се у оквиру потпрограма KOORD формира скуп вектора који ће описати структуру ЕМИ пригушнице. Након тога, врши се израчунавање самоиндуктивности и међусобне индуктивности структуре (потпрограми LS и M, респективно), као и свих осталих електричних параметара ЕМИ пригушнице. Основни кораци алгоритма софтвера ILCMC су приказани на слици 6.



Слика 6. Основни кораци софтвера ILCMC.

Техничке могућности:

Софтвер ILCCLC омогућава да се добију следеће зависности:

- индуктивност примара L_1 и индуктивност секундара L_2 у зависности од фреквенције, $L_1 = L_1(f)$ и $L_2 = L_2(f)$,
- међусобну индуктивност између примара и секундара у зависности од фреквенције, $M = M(f)$
- редне отпорности примара и секундара R_1 и R_2 у зависности од фреквенције $R_1 = R_1(f)$ и $R_2 = R_2(f)$,
- паразитне капацитивности примара и секундара C_1 и C_2 у зависности од фреквенције $C_1 = C_1(f)$ и $C_2 = C_2(f)$, и капацитивност између примарног и секундарног калема $C_{12} = C_{12}(f)$,
- унесене губитке A_{dB} (у dB) у зависности од фреквенције, $A_{dB} = A_{dB}(f)$.

На основу симулацијом добијених вредности корисник може да одабере феритни материјал, проводну пасту и структуру ЕМИ потискивача која ће имати најбоље карактеристике за конкретни проблем електромагнетске интерференције.

И поред знатне комплексности модела коришћењем методе парцијалне индуктивности и поред великог броја променљивих, на персоналном рачунару средње класе (Pentium IV), калкулације задатих електричних карактеристика ЕМИ потискивача се извршавају за мање од 2 секунде, у готово свим тестираним случајевима.

Променљиве коришћене при симулацијама

Улазни параметри софтвера ILCMC су геометријски параметри 3Д квадратне спирале, затим карактеристике феритног материјала и проводне пасте.

Геометријски параметри структуре

Структура 3-димензионална квадратна спирала (слика 4а) се састоји од више правих проводних сегмената у једном или више проводних слојева. Свака два суседна сегмента граде прав угао. Геометријски параметри ове структуре су:

- N број завојака у једном проводном слоју,
- N_C број проводних слојева и у примарном и у секундарном калему,
- w ширина проводног слоја,
- t дебљина проводног слоја,
- t_C дебљина слоја ферита између два суседна проводна слоја,
- l_{C1} дужина спољашњег (најдужег) сегмента,
- p растојање између два суседна проводна сегмента.

Утицај феритног материјала

При добијању ЕМИ пригушнице најбољих перформанси потребно је да се направи одговарајући избор материјала и геометријских параметара структуре ЕМИ пригушнице. Због тога је у софтвер ILCMC уграђен модел за симулацију фреквенцијски зависних параметара феритних материјала. За израду пригушнице изабрани су феритни NiZn материјали, због велике специфичне отпорности и релативно лаког поступка обраде. Највиша пермеабилност која се може постићи са овим материјалом се добија при печењу на температурама вишим од 1000 °C.

У софтвер ILCMC уграђени су параметри два феритна материјала:

- MMG Neocid F19 феритног материјала и
- ESL 40012 феритне траке, произвођача ElectroScience Inc.

Први материјал је NiZn феритни материјал високе пермеабилности F19, који има мали фактор губитака на ниским фреквенцијама до 1 MHz и високу импедансу у широком опсегу фреквенција од 20 MHz до 200 MHz, где се користи за потискивање. Његова иницијална пермеабилност је $\mu_r \approx 1000$ (тј. на $f = 1\text{MHz}$).

Други материјал је ESL 40012 феритне траке, произвођача ElectroScience Inc., која се користе у LTCC (*Low Temperature Co-Fired Ceramic*) технологији. LTCC технологија има много предности: економична је због паралелне извођења више корака у процесу производње (за разлику од конвенционалне дебелослојне технологије), има могућност масовне, аутоматизоване производње, фабриционе технике су релативно једноставне и јефтине, омогућава дизајн и производњу 3-димензионалних кола. За израду ЕМI пригушнице у LTCC технологији могуће је користити две магнетске траке: ESL 40012 (са иницијалном пермеабилношћу $\mu_r \geq 450$ и дебљином 65-75 μm) и трака ESL 40011 ($\mu_r \geq 200$, дебљине 65-75 μm).

И остали важни физички параметри ових материјала су укључени у софтвер ILCMC.

Утицај проводне пасте

Да би се постигла што мања dc отпорност, која је неопходна да би користан сигнал имао што мање губитке, за израду проводних слојева потребно је изабрати проводну пасту велике специфичне проводности. На располагању су Ag пасте компатибилне са изавраним материјалом 40012, предвиђене за израду унутрашњих проводних слојева и вија (903-A и 902), које су компатибилне са претходно изабраним LTCC феритним тракама. Употреба Ag пасте ограничава температуру печења на 950 $^{\circ}\text{C}$, што за изабрану магнетску траку не представља проблем.

У софтвер ILCMC су уграђени и параметри за сребро ($\rho_{\text{Ag}} = 1.64 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$), платину ($\rho_{\text{Pt}} = 10.6 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$) и сребро-паладијум ($\rho_{\text{PdAg}} = 27.0 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$) Du Pont-ове проводне пасте, које су компатибилне са F19 материјалом. Додатно, корисник може сам да зада жељену вредност за специфичну проводност проводне пасте директно.

Верификација софтвера ILCMC

У циљу провере исправности софтвера ILCMC, упоређени су резултати добијени софтверима ILCMC и FastHenry (који може да одређује електричне карактеристике само у ваздуху). Зато су у табели 2 су приказани резултати добијени симулацијама за структуру у ваздуху.

Као што се може видети, резултати добијени симулацијама за DC отпорност R_{DC1} и индуктивност примара L_1 се веома добро слажу. Уколико је ширина проводног слоја већа, DC отпорност и индуктивност се смањују, као што се могло и очекивати.

Табела 2. Поређење симулационих резултата за структуру меандар у ваздуху.

		Fast Henry		ILCMC	
		$R_{DC1} [\Omega]$	L_1 (nH)	$R_{DC1} [\Omega]$	L_1 (nH)
$w = 100\mu\text{m}$	$N = 3$	0,552	49,383	0,514	48,931
	$N = 4$	0,663	63,809	0,649	63,433
$w = 150\mu\text{m}$	$N = 3$	0,332	36,844	0,322	36,325
	$N = 4$	0,384	43,63	0,372	43,149

Примена

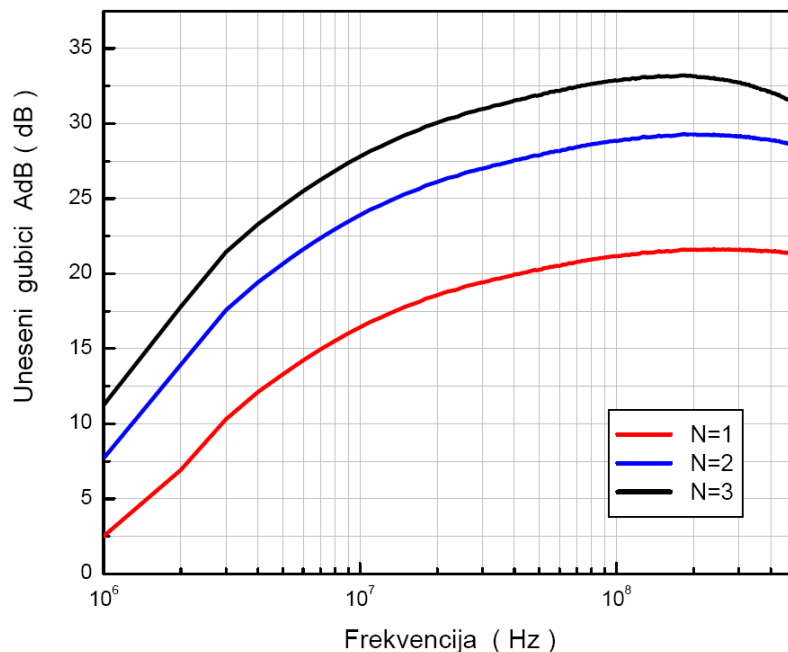
Примена софтвера ILCMC је приказана на неколико примера израчунавања електричних карактеристика ЕМИ потискивача. Да би се извршило израчунавање електричних карактеристика феритне ЕМИ пригушнице, потребно је изабрати геометријске параметре (табела 1) и одговарајући проводни и феритни материјал.

Наш програм (оригинално развијен *source code*) даје графички приказ зависности електричних карактеристика ЕМИ потискивача од фреквенције за око 1 секунду (што је још једна значајна предност у односу на до сада објављене и познате софтвере).

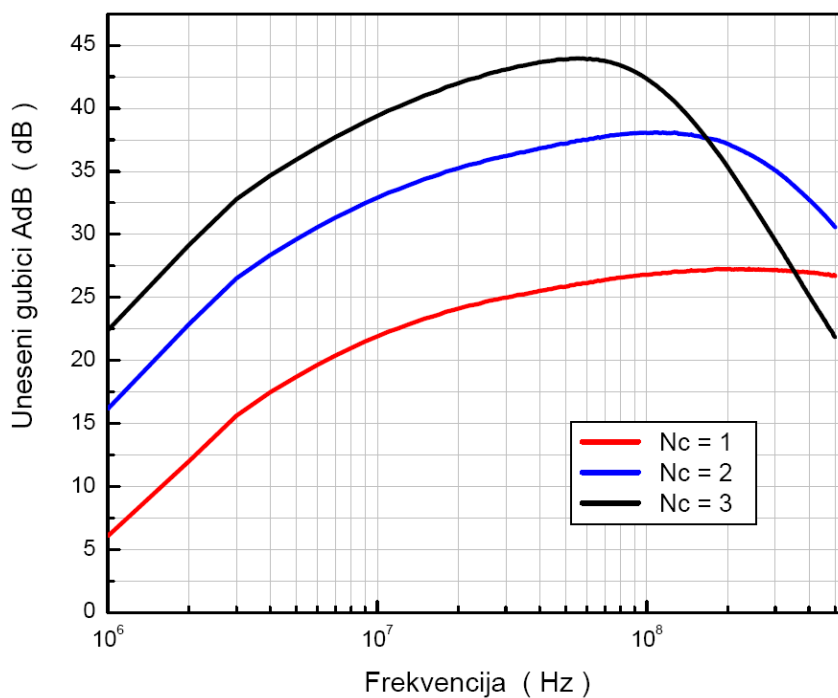
Да би илустровали ефикасност софтвера ILCMC, приказаћемо резултате добијене симулацијама за различите геометријске параметре структуре проводног слоја. Резултати су приказани за пригушницу израђену у LTCC технологији, коришћењем феритног материјала ESL 40012 и сребрних проводних пасти 903-А и 902.

На сликама од 7 до 9 приказано је поређење структура код којих се мења поједини геометријски параметар, да би се утврдило на који начин он утиче на ефикасност (тј. на унесене губитке) ЕМИ пригушнице.

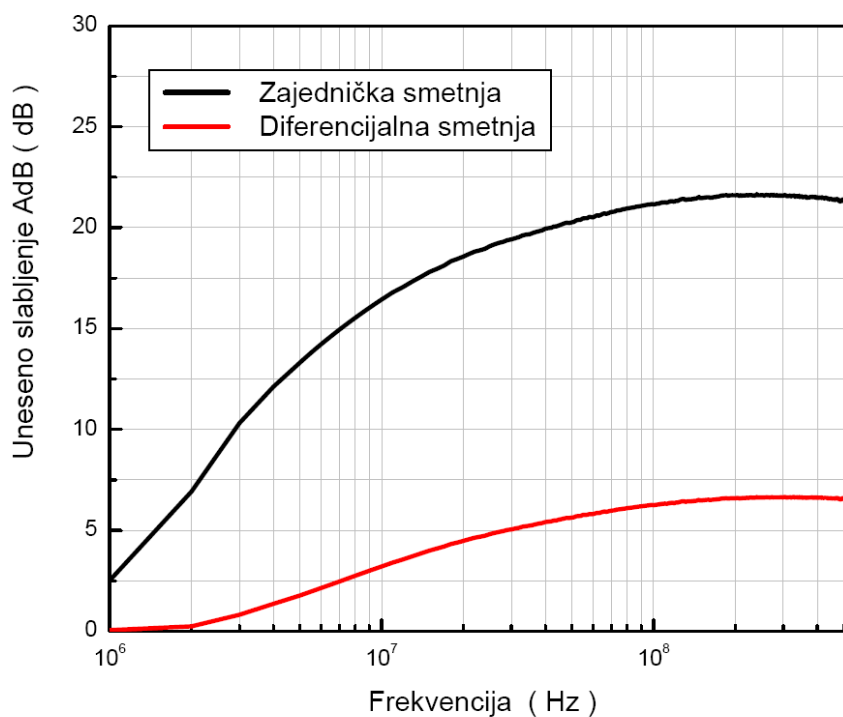
Ако упоредимо структуре које имају све параметре једнаке осим броја завојака N , види се да највеће слабљење уноси структура са бројем завојака, јер се повећањем броја завојака повећавају индуктивности примара и секундара, њихова међусобна индуктивност, спрега, као и импедансе. То резултује повећањем унесеног слабљења за више од 10 dB (нпр. за $N=1$ максимално унесено слабљење је $A_{dBmax} = 21.67$ dB, док је за $N=3$ слабљење $A_{dBmax} = 33.17$ dB), као што се може видети на слици 7.



Слика 7. Утицај различитог броја завојака у материјалу 40012 на унесено слабљење AdB ($w = 150 \mu\text{m}$, $p = 100 \mu\text{m}$, $t = 35 \mu\text{m}$, $t_c = 65 \mu\text{m}$, $N_C = 1$).



Слика 8. Утицај различитог броја проводних слојева N_C у материјалу 40012 ($w = 200 \mu\text{m}$, $p = 100 \mu\text{m}$, $t = 35 \mu\text{m}$, $t_C = 65 \mu\text{m}$, $N = 2$).



Слика 9. Унесено слабљење заједничке и диференцијалне сметње ($N=N_C=2$, $w=p=200\mu\text{m}$, $t=35\mu\text{m}$, $t_C=65\mu\text{m}$).

Још ефикасније потискавање интерференције се постиже коришћењем структуре са већим бројем проводних слојева, услед чега ће се још значајније повећати индуктивности и спрега између примарног и секундарног калема. За $N_C = 1$ унесени губици имају максималну вредност $A_{dBmax} = 27.24$ dB на фреквенцији 195 MHz. Ако примарни и секундарни калемови имају већи број проводних слојева, унесени губици су већи, као што се може видети на слици 8. Ипак, треба приметити да се истовремено фреквентни опсег у коме се компонента може користити за ефикасно ЕМИ потискавање помера ка нижим фреквенцијама (за $N_C = 2$, $A_{dBmax} = 38.06$ dB на 103 MHz, а за $N_C = 3$, $A_{dBmax} = 43.95$ dB на 59 MHz).

Резултати симулација за различит број проводних слојева N_C у феритном материјалу 40012 су приказани на слици 8. Остали геометријски параметри су исти за сле структуре ($w = 200$ μm , $p = 150$ μm , $t = 35$ μm , $t_C = 65$ μm , $N = 2$).

Унесено слабљење за заједничку и диференцијалну сметњу је приказано на слици 9. За ЕМИ потискивач заједничких сметњи је веома важно да има што веће унесене губитке за заједничку сметњу, а да губици за диференцијалну сметњу буду што мањи. У том случају ће бити обезбеђено да сигнал буде без изобличења, док ће сметње бити потиснуте.

Постојање оваквог програма омогућава пројектантима кола лако мењање свих параметара у циљу одређивања оптималних геометријских параметара ЕМИ пригушнице за конкретну апликацију. Велики је значај овог софтвера у томе што се симулацијама може добити процена електричних карактеристика SMD компоненте, без потребе да се израђују тест компоненте, што би значајно поскупело развој компоненти. Софтвер ILCMC може бити коришћен за различите технологије.

Софтвер ILCMC за одређивање електричних карактеристика феритних ЕМИ пригушница развијен је у оквиру текућег технолошког пројекта бр. TP-11023 код Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије.

Штампано – мај 2010.



Трг Доситеја 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
СЕРТИФИКОВАНИ ОД:



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
(Софтвер М85) под називом:

СОФТВЕРСКИ ПАКЕТ ILCMS ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ЕЛЕКТРИЧНИХ КАРАКТЕРИСТИКА ФЕРИТНИХ ЕМИ ПРИГУШНИЦА

Аутори:

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

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 Биљана Тосић

РЕЦЕНЗИЈА ПРЕДЛОЖЕНОГ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Предмет: Мишљење о испуњености критеријума
за признање техничког решења

Назив техничког решења:

Софтвер:

Софтвер ILCMC за одређивање електричних карактеристика феритних ЕМІ пригушница

Број пројекта: **ТР-11023**

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

Одговорно лице: **др Мирјана Дамњановић**

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

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: **Софтвер (M85)**

Образложење

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

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: Развијен је софтвер ILCMC за израчунавање електричних параметара ЕМІ пригушница (индуктивност примара, секундара, међусобну индуктивност, коефицијент спреге, редне отпорности примара и секундара, паразитне капацитивности, као и унесено слабљење) у зависности од фреквенције. Постојање оваквог програма омогућава пројектантима кола лаку и брзу анализу структуре ЕМІ пригушнице. На основу добијених резултата могуће је изабрати оптималне геометријске параметре структуре, као и одговарајући феритни материјал и проводну пасту.

Стање решености тог проблема у свету је следеће: Последњих неколико година предлагане су различите структуре ЕМИ пригушница. На пример, компоненте које се састоје од феритног језгра, калема и проводника су развијене за смањивање електромагнетске интерференције у телекомуникацијама. Осим великог броја различитих облика језгара, на пројектовање феритних компоненти позитивно је утицао и развој великог броја нових феритних материјала, који се могу користити за израду планарних магнетских компоненти. Због тога је развијен софтвер који служи за одређивање електричних параметара феритних ЕМИ пригушница за површинску монтажу (SMD), као што су индуктивност примара и секундара, њихова међусобна индуктивност и коефицијент спреге, као и редне отпорности примара и секундара и паразитне капацитивности у зависности од фреквенције.

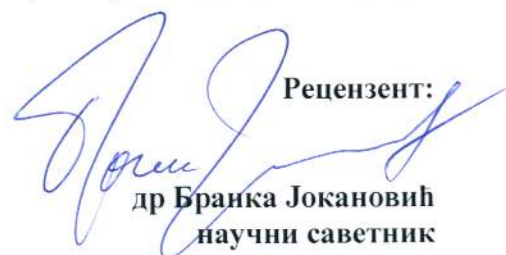
Сличан принцип рачунања електричних карактеристика као ILCMC има софтвер FastHenry (Massachusetts Institute of Technology). Међутим софтвер FastHenry може да одређује карактеристике индуктивних структура само у ваздуху, док ILCMC може да узме у обзир и утицај феритног материјала).

Карактеристике предложеног техничког решења су следеће: Софтвер израчунава електричне параметре ЕМИ пригушнице (индуктивност примара, секундара, међусобну индуктивност, коефицијент спреге, редне отпорности примара и секундара, паразитне капацитивности, као и унесено слабљење) у зависности од фреквенције. Постојање оваквог програма омогућава пројектантима кола лаку и брзу анализу структуре ЕМИ пригушнице. На основу добијених резултата могуће је изабрати оптималне геометријске параметре структуре, као и одговарајући феритни материјал и проводну пасту.

Могућности примене предложеног техничког решења су следеће: Софтвер ILCMC је развијен у програмском језику Visual Basic 6.0. Представља "user friendly" програм за оптимизацију феритних ЕМИ пригушница. Развијени рачунарски програм за карактеризацију феритних ЕМИ пригушница је кориснички оријентисан, врло интуитиван и једноставан за коришћење.

У оквиру пријаве техничког решења дат је детаљан опис софтвера ILCMC чија је ефикасност демонстрирана на неколико примера израчунавања електричних карактеристика ЕМИ потискивача. Програм (оригинално развијен source code) даје такође графички приказ зависности електричних карактеристика ЕМИ потискивача од фреквенције. У циљу провере исправности софтвера ILCMC, упоређени су резултати добијени софтверима ILCMC и FastHenry (који може да одређује електричне карактеристике само у ваздуху).

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: **Софтвер ILCMC за одређивање електричних карактеристика феритних ЕМИ пригушница** представља научно-истраживачки резултат који треба прихватити као техничко решење.


Рецензент:
др Бранка Јокановић
научни саветник

Софтвер:

Софтвер ILCMC за одређивање електричних карактеристика феритних ЕМИ пригушница

Руководилац пројекта: проф. др Љиљана Живанов

Одговорно лице: др Мирјана Дамњановић

Аутори: Мирјана Дамњановић, Љиљана Живанов, Снежана Ђурић

Факултет техничких наука (ФТН), Нови Сад

Александар Менићанин,

Институт за мултидисциплинарна истраживања, Београд

Развијено: у оквиру пројекта технолошког развоја TP-11023

Година: 2009 - 2010.

Примена: јануар 2010.

Кратак опис

Да би могли пројектовати стандардне компоненте за заштиту од електромагнетске интерференције (ЕМИ), тзв. ЕМИ пригушнице, потребно је испитати утицај геометријских карактеристика и коришћених материјала на ефикасност такве компоненте. У ту сврху развијен је софтвер који омогућава анализу утицаја геометријских параметара структуре (састављене од два калема облика квадратне спирале), као и феритних материјала и проводних пасти на импедансу ЕМИ пригушнице у опсегу фреквенција до 3 GHz.

Техничке карактеристике:

Софтвер ILCMC је развијен у програмском језику Visual Basic 6.0. Представља "user friendly" програм за оптимизацију феритних ЕМИ пригушница. Развијени рачунарски програм за карактеризацију феритних ЕМИ пригушница је кориснички оријентисан, врло интуитиван и једноставан за коришћење.

Техничке могућности:

Софтвер израчунава електричне параметре ЕМИ пригушнице (индуктивност примара, секундара, међусобну индуктивност, коефицијент спреге, редне отпорности примара и секундара, паразитне капацитивности, као и унесено слабљење) у зависности од фреквенције. Постојање оваквог програма омогућава пројектантима кола лаку и брзу анализу структуре ЕМИ пригушнице. На основу добијених резултата могуће је изабрати оптималне геометријске параметре структуре, као и одговарајући феритни материјал и проводну пасту.

Реализатори:

Факултет техничких наука – ФТН, Институт за мултидисциплинарна истраживања, Београд.

Корисници:

Институт за мултидисциплинарна истраживања, Београд; Факултет техничких наука, Нови Сад, ИРИТЕЛ А.Д., Београд

Подтип решења:

Софтвер - M85

Мишљење

У оквиру пројекта технолошког развоја TP11023 је развијен софтвер за одређивање ефикасности компоненти за заштиту од електромагнетске интерференције (ЕМИ), тзв. ЕМИ пригушница, намењених за површинску монтажу (SMD). Софтвер **ILCMC** (Insertion Loss of Common Mode Choke), развијен у програмском језику Visual Basic 6.0, омогућава израчунавање електричних параметара и губитака које уноси ЕМИ пригушница у зависности од фреквенције (у опсегу до 3 GHz).

ILCMC може да израчунава електричне параметре предложене структуре ЕМИ пригушнице која се састоји од примарног и секундарног калема облика квадратне спирале, која се налазе у феритном материјалу. Оба калема имају облик 3D квадратне спирале, јер се овом структуром може постићи велика индуктивност, а тиме и импеданса ЕМИ пригушнице. Механичке димензије компоненте су стандардне ЕИА величине 1812 (3.05 mm × 4.57 mm × 1.6 mm).

Да би се одредиле карактеристике ЕМИ пригушница у широком фреквентном опсегу потребно је узети у обзир утицај геометријских параметара структуре (тј. проводних слојева), као и материјала од који је компонента израђена (феритног материјала и проводне пасте).

Софтвер **ILCMC** заснован на једноставном моделу феритног трансформатора састављеном од индуктивности примара и секундара L_1 и L_2 , њихове међусобне индуктивности M , редних отпорности R_1 и R_2 и паразитних капацитивности (примара C_1 , секундара C_2 и капацитивности између примара и секундара C_{12}). Индуктивности структуре састављене од правих проводних елемената (тј. од редно везаних елементарних правих проводника, било да су они паралелни или под неким произвољним углом) се одређује методом суперпозиције и методом парцијалне индуктивности (одређивањем суме одговарајућих израза за прорачун парцијалне индуктивности између свака два права проводника).

Ефикасност потискивања интерференције помоћу ЕМИ пригушнице може се карактерисати унесеним губицима, који се мере стандардним мерним колом, названим LISN (Line Impedance Stabilization Network). Улазни крајеви компоненте која се тестира повезују се са RF генератором излазне импедансе Z , која је обично 50 Ω . На излазним крајевима тестиране компоненте мери се напон помоћу волтметра исте импедансе $Z_L = Z$. Коришћењем модела трансформатора и кола за мерење унесених губитака LISN одређени су унесени губици ЕМИ пригушнице.

Израчунавање унесених губитака феритних компоненти за заштиту, укључујући и ЕМИ пригушнице, је веома сложено због изразито нелинеарних карактеристика феритног материјала. Зато већина комерцијално доступних ЕМ симулатора не може да израчуна ове карактеристике и постојала је потреба да се развије сопствени софтвер који би омогућио једноставније пројектовање ЕМИ пригушнице.

Софтвер **ILCMC** омогућава кориснику да веома брзо одредити електричне карактеристике феритног ЕМИ потискивача, на основу задатих улазних параметара. Корисник може да изабере жељени феритни материјал, на основу опсега фреквенција сигнала који би требале да буде потиснуте, проводну пасту и геометрију проводног слоја.

Улазни параметри софтвера **ILCMC** су геометријски параметри 3D квадратне спирале, затим карактеристике феритног материјала и проводне пасте.

Геометријски параметри предложене структура облика 3-димензионалне квадратне спирале, који могу да се подешавају су: број завојака у једном проводном слоју N , број проводних слојева и у примарном и у секундарном калему N_C , растојање између два суседна проводна сегмента p , ширина w и дебљина t проводног слоја, дебљина слоја ферита између два суседна проводна слоја t_C и дужина спољашњег (најдуже) сегмента l_{C1} .

Додатно, у софтвер ILCMC уграђени су параметри два феритна материјала: MMG Neocid F19 феритног материјала и ESL 40012 феритне траке, произвођача ElectroScience Inc. Први материјал је NiZn феритни материјал високе пермеабилности F19, који има мали фактор губитака на ниским фреквенцијама до 1 MHz и високу импедансу у широком опсегу фреквенција од 20 MHz до 200 MHz, где се користи за потискивање. Његова иницијална пермеабилност је $\mu_r \approx 1000$ (тј. на $f = 1\text{MHz}$). Други материјал је ESL 40012 феритне траке, произвођача ElectroScience Inc., која се користе у LTCC (*Low Temperature Co-Fired Ceramic*) технологији. LTCC технологија има много предности: економична је због паралелне извођења више корака у процесу производње (за разлику од конвенционалне дебелослојне технологије), има могућност масовне, аутоматизоване производње, фабрикационе технике су релативно једноставне и јефтине, омогућава дизајн и производњу 3-димензионалних кола. И остали важни физички параметри ових материјала су укључени у софтвер ILCMC.

Да би се постигла што мања dc отпорност, која је неопходна да би користан сигнал имао што мање губитке, за израду проводних слојева потребно је изабрати проводну пасту велике специфичне проводности. У софтвер су уграђени параметри Ag пасте компатибилне са изабраним LTCC феритним тракама 40012, предвиђене за израду унутрашњих проводних слојева и вија (903-A и 902), као и параметри за сребро ($\rho_{Ag} = 1.64 \cdot 10^{-8} \Omega m$), платину ($\rho_{Pt} = 10.6 \cdot 10^{-8} \Omega m$) и сребро-паладијум ($\rho_{PdAg} = 27.0 \cdot 10^{-8} \Omega m$) Du Pont-ових проводних паста, које су компатибилне са F19 материјалом. Додатно, корисник може сам да зада жељену вредност за специфичну проводност проводне пасте директно.

Софтвер ILCLC омогућава да се израчунају следећи параметри: индуктивност примара, индуктивност секундара, и њихова међусобна индуктивност у зависности од фреквенције, затим редне отпорности примара и секундара, паразитне капацитивности примара и секундара и капацитивност између примарног и секундарног калема, као и унесени губици A_{dB} (у dB) у зависности од фреквенције.

Аутори техничког решења су приказали да је за симулацију индуктивних структура (у ваздуху или диелектрику) могуће користити неки од комерцијално доступних софтвера (као што су Ansoft, Microwave Office и сл.). Међутим, ниједан од њих не може да директно узме у обзир (урачуна) и утицај феритног материјала, који на високим фреквенцијама доминантно одређује електричне карактеристике компоненте (пермеабилност је урачуната као константан параметар, што је далеко од реалног, нарочито на вишим фреквенцијама). Због тога је развијен софтвер ILCMC (*Insertion Loss of Common Mode Choke*) који омогућава израчунавање електричних параметара и губитака које уноси ЕМИ пригушница у зависности од фреквенције.

У циљу верификације софтвера ILCMC, извршено је поређење резултата симулација добијених софтвером ILCMC и софтвером FastHenry (који је развио Massachusetts Institute of Technology). Оба софтвера имају сличан принцип рачунања електричних карактеристика. Поређење је приказано само за исте структуре индуктора у ваздуху, јер FastHenry може да одређује карактеристике структура само у ваздуху, док ILCMC може да узме у обзир и утицај феритног материјала. Утврђено је добро слагање резултата.

Постојање оваквог програма омогућава пројектантима кола лако мењање свих параметара у циљу одређивања оптималних геометријских параметара ЕМИ пригушнице за конкретну апликацију. Велики је значај овог софтвера у томе што се симулацијама може добити процена електричних карактеристика SMD компоненте, без потребе да се израђују тест компоненте, што би значајно поскупело развој компоненти. Софтвер ILCMC може бити коришћен за различите технологије.

У складу са горе изнетим чињеницама техничко решење испуњава услове да буде признато као софтвер (односно М85 у складу са Правилником о поступку и начину вредовања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача, Сл. гл. РС бр. 38/08).

14.06.2010.

Рецензент



Др Александар Нешић

Институт ИМТЕЈ, Београд



Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија
Деканат: 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 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 (*Софтвер М85*) под називом:

СОФТВЕРСКИ ПАКЕТ ПСМС ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ЕЛЕКТРИЧНИХ КАРАКТЕРИСТИКА ФЕРИТНИХ ЕМИ ПРИГУШНИЦА

Аутори:

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

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

-непотребно изостављено-

Записник водила:

Тачност података оверава:
Секретар

Декан

Јасмина Димић, дипл. правник

Иван Нешковић, дипл. правник

Проф. др Илија Ђосић

