



УНИВЕРЗИТЕТ
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

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: ftndeap@uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАНИ
СИСТЕМ
МЕНАџМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: 01.сл

Ваш број:

Датум: 2015-01-05

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научно веће Факултета техничких наука у Новом Саду, на 33. седници одржаној дана 24.12.2014. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

ТАЧКА 13. Питања научноистраживачког рада и међународне сарадње

Тачка 13.1.17.: На основу позитивног извештаја рецензената верификује се техничко решење под називом:

Назив техничког решења:

МЕТОДА ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ КАРАКТЕРИСТИКА УЛТРА-ШИРОКОПОЈАСНОГ ИМПУЛСНОГ ГЕНЕРАТОРА У CMOS ТЕХНОЛОГИЈИ

Аутори техничког решења: Јелена Радић, Алена Ђугова, Ласло Нађ, Мирјана Виденовић-Мишић.

-непотребно изостављено-

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:
Секретар

Иван Нешковић, дипл. правник

Декан



Др. Јелена Радић, Дорословачки



УНИВЕРЗИТЕТ
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

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
МЕНАДЖМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: 01.сл

Ваш број:

Датум: 2015-01-20

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научно веће Факултета техничких наука у Новом Саду, на 31. редовној седници одржаној дана 26.11.2014. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

Тачка 12.1. Верификација нових техничких решења и именовање рецензента

Тачка 12.1.14: У циљу верификације новог техничког решења усвајају се рецензенти:

- Др Предраг Петковић, редовни професор, Електронски факултет, Ниш
- Др Душан Грујић, Новел ИЦ, Београд

Назив техничког решења:

МЕТОДА ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ КАРАКТЕРИСТИКА УЛТРА-ШИРОКОПОЈАСНОГ ИМПУЛСНОГ ГЕНЕРАТОРА У CMOS ТЕХНОЛОГИЈИ

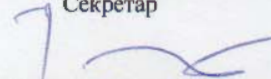
Аутори техничког решења: Јелена Радић, Алена Ђугова, Ласло Нађ, Мирјана Виденовић-Мишић.

-непотребно изостављено-

Записник водила:

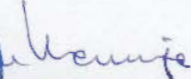

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:
Секретар


Иван Нешковић, дипл. правник

Декан




Проф. др Звездана Дорословачки

Мерна метода:

Метода за одређивање карактеристика ултра-широкопојасног импулсног генератора у CMOS технологији

Руководилац пројекта: проф. др Љиљана Живанов

Одговорно лице: Јелена Радић

Аутори: Јелена Радић, Алена Ђугова, Ласло Нађ, Мирјана Виденовић-Мишић
Факултет техничких наука (ФТН), Нови Сад

Развијено: у оквиру пројекта технолошког развоја TP-32016

Година: 2014

Примена: октобар 2014

Кратак опис

Приказана метода представља поступак одређивања карактеристика (у временском и фреквенцијском домену) ултра-широкопојасног импулсног генератора произведеног у 0,18 μm UMC (енг. *United Microelectronics Corporation*) CMOS (енг. *Complementary Metal–Oxide–Semiconductor*) технологији. Поменуто интегрисано коло није упаковано у одговарајуће кућиште, него је мерење карактеристика рађено директно на силицијумској плочици (енг. *on-die measurement*) коришћењем РФ испитне станице (енг. *RF probe station*). За приступ мерним тачкама интегрисаног кола коришћене су специјалне сонде произвођача *Cascade Microtech*. Приказаном методом је мерен временски облик сигнала на излазу импулсног генератора и његова спектрална густина снаге (енг. *Power Spectral Density – PSD*) изражена у јединици dBm/MHz. Осим поступка мерења описан је и поступак анализе мерених резултата.

Техничке карактеристике:

Мерни систем обухвата РФ испитну станицу *SUSS Microtech PM5*, одговарајући сет (ДЦ и РФ) сонди произвођача *Cascade Microtech* за карактеризацију неупакованих РФ интегрисаних кола, посебно направљене стабилне изворе напајања засноване на интегрисаном колу *Texas Instruments TPS79101*, *Agilent Infiniium DSO90604A Digital Storage* осцилоскоп (6 GHz, 20 GSa/s), 32 bita програмабилни побудни генератор *Bitmustergenerator BMG 2500* и анализатор спектра *Rohde&Schwarz FSP* са опсегом фреквенција од 9 KHz до 30 GHz.

Техничке могућности:

Приказаном методом је могуће одређивање карактеристика неупакованих РФ импулсних генератора, реализованих у различитим интегрисаним технологијама и предвиђеним за различите примене и рад у различитим фреквенцијским опсезима.

Реализатори:

Факултет техничких наука, Нови Сад.

Корисници:

Факултет техничких наука, Нови Сад.

Подтип решења:

M85 – Нова мерна метода.

Увод

Бежични комуникациони уређаји данас омогућавају кориснику приступ информацијама без обзира где се налази и знатно олакшавају његове свакодневне активности и потребе. Важну улогу у бежичним комуникацијама има ултра-широкопојасна (енг. *Ultra-WideBand* – UWB) технологија којој је Савезна комисија за комуникације САД-а (енг. *Federal Communications Commission* – FCC) доделила опсег од 3,1 до 10,6 GHz.

Импулсни ултра-широкопојасни (енг. *Impulse Radio UltraWide Band* – IR-UWB) приступ без носиоца преноси импулсе веома кратког трајања (углавном испод 1 ns) чији спектар заузима опсег до неколико гигахерца. Обезбеђује бројне предности попут једноставне, јефтине и енергетски ефикасне архитектуре UWB предајника, малу осетљивост на изобличења (енг. *high fading margin*) која настају услед вишеструког простирања (енг. *multipath*) сигнала између пријемника и предајника, изврсну имуност на интерференције других радио система и веома добру резолуцију за прецизно одређивање позиције. Недостатак технике се огледа у компликованој синхронизацији на пријемној страни (ако се захтева).

Импулсна UWB технологија има широку примену и углавном се користи у бежичним комуникацијама са великим протоком података и малим дометом, малим протоком података и нешто већим дометом, у бежичној комуникацији између чипова (енг. *inter-chip communication*), у радарима и системима за прецизно одређивање локације, те у разним медицинским применама попут сензорских мрежа, WPAN (eng. *Wireless Personal Area Networks* – WPAN) система и UWB биотелеметрије.

Један од најважнијих делова IR-UWB примопредајника представља импулсни генератор (енг. *Pulse Generator* – PG) који на свом излазу генерише поворку импулса довољне снаге, чији спектар (PSD) треба да задовољи захтеве прописане од стране FCC организације, односно одговарајућу спектралну маску. Додавањем антене на излаз овог уређаја добија се IR-UWB предајник. Осим што чини предајни део, копија импулсног генератора се често може наћи и у пријемној страни (уколико је потребно обезбедити добру синхронизацију са предајником), па се слободно може рећи да овај део IR-UWB примопредајника дефинише специфичне карактеристике целокупног система. Поред широког опсега, пожељно је да генератор има једноставну структуру, малу потрошњу и да заузима малу површину чиме је обезбеђена ниска цена производње интегрисаног кола. Осим наведеног, пожељно је обезбедити могућност подешавања параметара генерисаног сигнала, у временском и фреквенцијском домену, да би се омогућила компензација изобличења карактеристика уређаја насталих услед процесних, напонских и температурних промена (енг. *Process, Voltage and Temperature variations* – PVT) током фабрикације система, и промена у комуникационом каналу или особинама антене.

Мерење карактеристика импулсног генератора увелико зависи од мерне опреме и мерне технике којом се врши мерење. Одговарајући избор мерне инструментације и мерне методе знатно утиче на тачност мерења. Осим тога што се карактеризација уређаја ради директно на силицијумској плочици, додатну отежавајућу околност представља чињеница да је реч о мерењу сигнала мале снаге и на високим учестаностима (преко 3,1 GHz) па се мора посветити посебна пажња утицају околине. Потребно је нагласити и да је део коришћене мерне инструментације посуђен, јер Факултет техничких наука још увек не поседује сву неопходну мерну опрему.

Одређивање карактеристика импулсног генератора

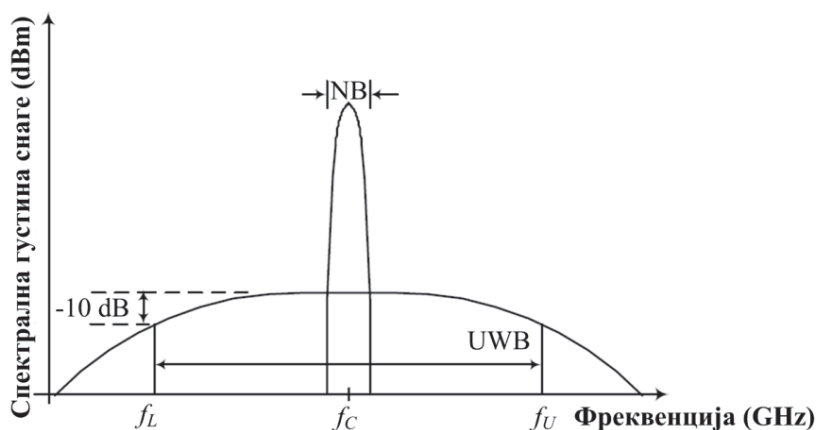
Карактеристике ултра-широкопојасног импулсног генератора

Ултра-широкопојасни сигнал је сигнал који има спектар са 10 dB опсегом ($BW_{10\text{ dB}}$) ширим од 500 MHz или релативну (нормализовану) ширину спектра F_{bw} (енг. *Fractional bandwidth*) већу од 20%. Релативна ширина спектра представља однос 10 dB опсега и централне фреквенције (фреквенције на којој спектар сигнала има највећу вредност) дат изразом

$$F_{bw} = \frac{10\text{ dB пропусни опсег}}{\text{централна фреквенција}} = \frac{BW_{10\text{ dB}}}{f_c} = \frac{f_U - f_L}{f_c} = \frac{f_U - f_L}{(f_U + f_L)/2}, \quad (1)$$

где параметри f_U и f_L представљају горњу и доњу граничну фреквенцију на којима је вредност спектра за 10 dB мања од максималне вредности, а f_c централну фреквенцију која је у случају симетричног облика спектра централна фреквенција између вредности f_U и f_L , слика 1.

Да би се обезбедила коегзистенција UWB уређаја са већ постојећим бежичним системима (нпр. *WiMax*, *Bluetooth* и *GSM*), односно међусобна интерференција унутар дозвољених граница, просечна ефективна снага изотропског зрачења (енг. *Effective Isotropic Radiated Power* – EIRP) UWB предајника је ограничена на $-41,3\text{ dBm}$ или 75 nW по 1 MHz, унутар 3,1 GHz – 10,6 GHz опсега. Међутим, за импулсне генераторе или UWB преданике без антена спектрална густина снаге која се може доставити антени је ограничена на $-41,3\text{ dBm/MHz}$ унутар поменутог опсега, слика 2. Ово ограничење значи да је просечна снага UWB предајника хиљаду пута мања од трансмисионе снаге мобилних уређаја. Ипак, максимална или тренутна снага појединачних UWB импулса у случају система са малом брзином понављања или протока података (енг. *Pulse Repetition Rate* – PRR or *Pulse Repetition Frequency* – PRF) може да буде релативно велика, јер се краткотрајношћу имулса обезбеђује довољно мала просечна снага и несметан рад са другим системима. Стога је FCC удружење поред просечне снаге ограничило и максималну вредност параметра *EIRP*, односно спектралне густине снаге (углавном за системе са малом брзином протока података) при резолуцији филтра (енг. *Resolution BandWidth* – RBW) коришћеног мерног инструмента од 50 MHz на 0 dBm, односно 1 mW унутар дефинисаног опсега (3,1 GHz – 10,6 GHz). Уколико се мерење врши анализатором спектра који има другу вредност параметра RBW у опсегу од 1 MHz до 50 MHz, максимална вредност



Слика 1. Спектрална густина снаге ултра-широкопојасног сигнала.

параметра $EIRP$ се прерачунава према изразу

$$EIRP_{max} = 20 \log_{10} \left(\frac{RBW}{50} \right) dBm, \quad (2)$$

где је RBW вредност резолуције филтра дата у MHz.

Иако су ограничења у погледу спектралне густине снаге (максимална вредност и дозвољени опсег) UWB предајника јасно дефинисана одговарајућом спектралном маском (слика 2, за примене у затвореном и отвореном простору), не постоје прописи по питању временског облика сигнала који се користи. Битно је само да се на излазу предајника генерише сигнал чији спектар задовољава, односно на ефикасан начин испуњава одговарајућу маску. Најзаступљенији IR-UWB сигнали су Гаусов импулс ($p_{G1}(t)$) и његови изводи вишег реда ($p_{Gn}(t)$) дати изразима

$$p_{G1}(t) = - \left(\frac{A t}{\sqrt{2\pi} \sigma^3} \right) e^{\left(\frac{-t^2}{2\sigma^2} \right)}, \quad (3)$$

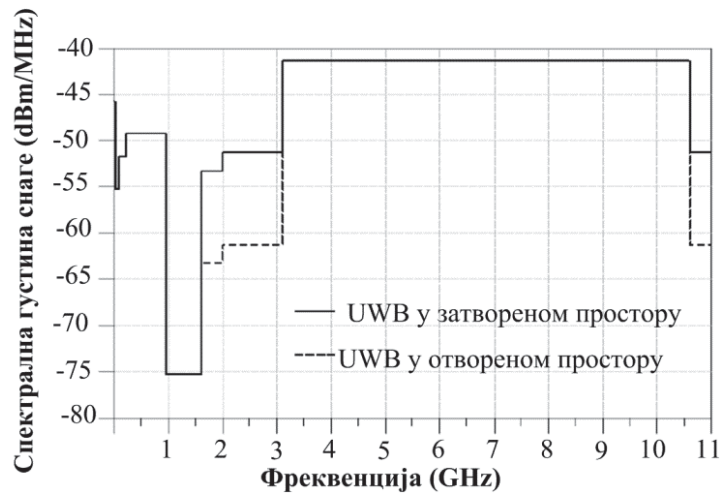
$$p_{Gn}(t) = - \frac{n-1}{\sigma^2} G_{n-2}(t) - \frac{t}{\sigma^2} G_{n-1}(t), (n \geq 2), \quad (4)$$

где t представља време, A амплитуду сигнала, σ параметар Гаусове расподеле, а n ред извода Гаусовог сигнала. Спектрална густина снаге извода n -тог реда Гаусовог сигнала је одређена изразом

$$P_n(f) = \frac{\sigma_a^2}{T} |X_n(f)|^2. \quad (5)$$

Променљива σ_a је параметар расподеле, а $X_n(f)$ Фуријеова трансформација извода n -тог реда дефинисана формулом

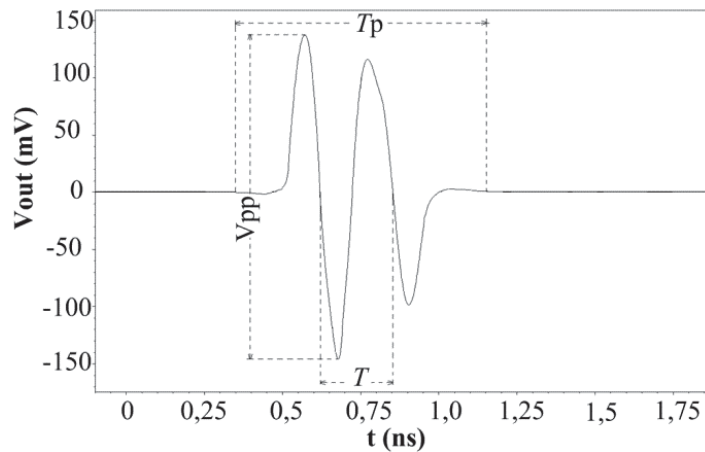
$$X_n(f) = A(2\pi f)^n e^{-\frac{(2\pi f \sigma)^2}{2}}. \quad (6)$$



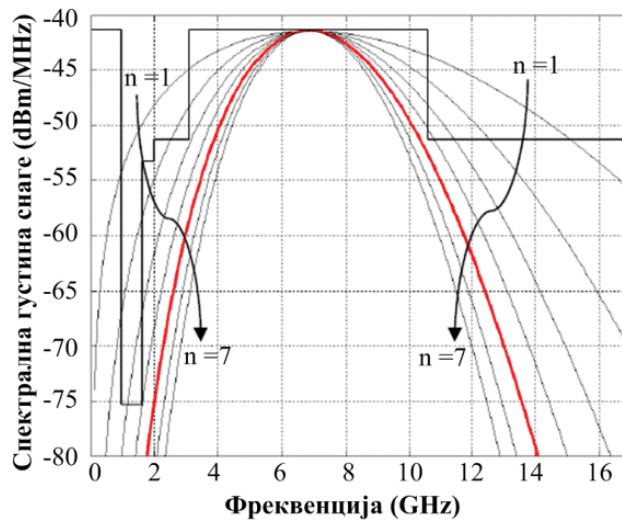
Слика 2. FCC спектрална маска за UWB примене у затвореном и отвореном простору.

Гаусови изводи вишег реда су најчешће коришћени од свих UWB сигнала јер њихове спектралне густине снаге имају најоштрије ивице и најбоље потискивање бочних опсега чиме обезбеђују оптимално искоришћење спектралне маске. На основу приказаних израза утврђено је да пети извод Гаусовог сигнала (слика 3(а)) представља оптимално решење за примене у отвореном и затвореном простору (мањи изводи не задовољавају спектралну маску, а виши изводи имају ужи 10 dB опсег, слика 3(б)).

Иако не постоје ограничења за временски облик сигнала јасно је да параметри у временском домену дефинишу карактеристике спектра, односно спектралне густине снаге сигнала. Централна фреквенција (f_c), односно фреквенција на којој спектар поворке импулса има максималну вредност је одређена фреквенцијом самих импулса који чине UWB сигнал (односно њиховом периодом, $f_c=1/T$). Подешавањем овог параметра (f_c) се омогућава померање спектра по хоризонталној (фреквенцијској) оси унутар FCC маске. Трајње импулса (T_p) у временском домену је обрнуто сразмерно (10 dB) ширини спектра поворке импулса, док његова амплитуда од врха до врха (V_{pp}) заједно са параметром PRF дефинише вредност анvelope спектра (спектралне густине снаге).



(a)



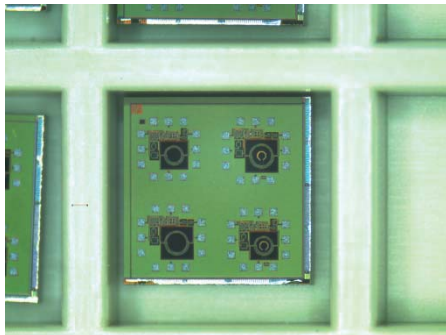
(б)

Слика 3. (а) Временски облик петог извода Гаусовог сигнала. (б) Параметар PSD првих седам извода Гаусовог сигнала.

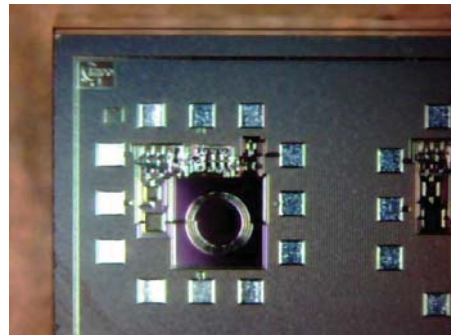
Мерење карактеристика ултра-широкопојасног импулсног генератора

Предложени ултра-широкопојасни генератор је произведен у $0,18\text{ }\mu\text{m}$ UMC CMOS технологији која има 6 металних слојева и 1 слој полисилицијума. Технологија има супстрат p-типа и напон напајања од $1,8\text{ V}$. Импулсни генератор није упакован у одговарајуће кућиште, него је отворен на силицијумској плочици димензија $1550 \times 1550\text{ }\mu\text{m}^2$, слика 4(а). На истом интегрисаном колу су осим поменутог импулсног генератора (слика 4(б)) произведена још три дизајна која нису овде разматрана. Димензије карактерисаног импулсног генератора износе $602 \times 587\text{ }\mu\text{m}^2$. Димензије педова или приступних тачака за мерење направљених у највишем металном слоју износе $65 \times 65\text{ }\mu\text{m}^2$, а њихово међусобно растојање $70\text{ }\mu\text{m}$, слика 4(в). Распоред педова је такав да се на левој страни доводи побуда (in) и један управљачки сигнал (D_1), а на десној страни се налази пед за излаз импулсног генератора (out) и пед за мерење одређеног интерног сигнала (out_b). Горња и доња страна су резервисане за напајања (gnd за масу и V_{dd} за напон напајања) и управљачке сигнале (D_2 и V_{ctrl}) који обезбеђују подешавање карактеристика импулсног генератора. Може се уочити да је на свакој страни интегрисаног кола убачен по један пед за масу, а на горњој и доњој страни пед за напон напајања чиме је обезбеђено добро расподела напајања на чипу.

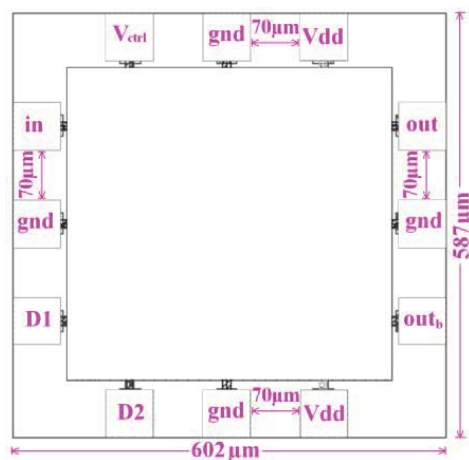
Већ је наглашено да је произведени прототип предвиђен за директно мерење на силицијумској плочици. За ту сврху је коришћена РФ испитна станица *SUSS Microtech PM5*. Мерна поставка за карактеризацију импулсног генератора је приказана на слици 5. Педовима, односно мерним тачкама на интегрисаном колу се приступа помоћу



(a)



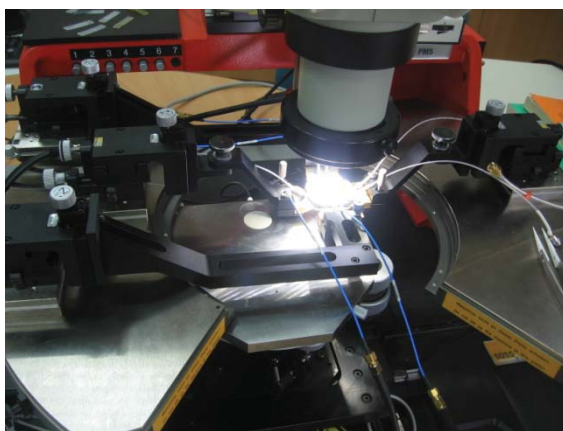
(б)



(в)

Слика 4. (а) Изглед фабрикованог интегрисаног кола. (б) Увећана фотографија карактерисаног импулсног генератора. (в) Распоред приступних тачака.

одговарајућих ДЦ и РФ сонди (слика 5 десно). У овом мерењу су коришћене две врсте сонди произвођача *Cascade Microtech*: *UNITY* за мешовите и *Infiniti* за РФ сигнале, слика 6. Уопштено *UNITY* сонда може да има од 3 до 12 ножица или иглица (енг. *multi-contact RF probe*) које се директно спуштају на металне педове на интегрисаном колу. Ознака сонде одређује број ножица (по једно слово за сваку ножицу) и врсту сигнала који се могу применити (довести или мерити). Постоје четири типа сигнала који одговарају следећим ознакама: P (енг. *power*) – напон напајања (или стабилан ДЦ напон), L (енг. *logic*) – логички сигнал фреквенције до 500 MHz, S (енг. *signal*) – РФ сигнал фреквенције до 20 GHz и G (енг. *ground*) – маса. Сонде су са остатком мерне инструментације повезане помоћу одговарајућих каблова истог произвођача (дужине око 8" или 20 cm). Сви конектори на крајевима каблова су „женског” типа и SMA врсте у случају P или L сигнала, а 2,92 mm у случају S ознаке. Потребно је напоменути да се маса експлицитно не доводи преко посебног кабла, јер цела сонда и коришћени каблови имају исту масу. Иако су све ножице (крајеви) сонди истих димензија и облика, њихова реализација зависи од ознаке, односно типа сигнала за који је предвиђена (нпр. у случају P ножице између вода и масе је убачена редна веза кондензатора од 10 nF и отпорника од 2,7 Ω). Поред броја и распореда ножица сонде се разликују и по међусобном растојању између ножица. Потребно је приметити да је ово растојање одређено размаком између центара суседних педова на интегрисаном колу које се карактерише. У приказаном примеру су коришћене следеће *UNITY* сонде са три ножице на међусобном растојању од 140 μm : SGL на улазnoj страни, LGP на доњој страни, PGL на горњој страни, и у неким случајевима SGS на излазу. Ако се на излазу примени SGS сонда која омогућава мерење оба предвиђена излаза постоји проблем уношења додатне капацитивности и индуктивности од сонде на интерној мерној тачки која представља



Слика 1. Мерна поставка за карактеризацију импулсног генератора на РФ испитној станици.



Слика 2. Изглед сонди произвођача *Cascade Microtech* типа *UNITY* и *Infiniti* за мерење РФ активних интегрисаних кола.

улаз филтра (чије карактеристике су веома осетљиве на додатне паразите). Зато је поузданији начин да се мери само прави излазни сигнал помоћу РФ *Infiniti GS* сонде (две ножице), а да помоћни излаз остане неоптерећен. У случају да треба да се карактерише помоћни излаз може се користити *Infiniti SG* сонда. Са овим сондама се могу мерити сигнали фреквенције до 40 GHz уз бољу изолацију корисног сигнала, односно мање слабљење у односу на *UNITY* сонду са S типом сигнала (0,7 dB у односу на 2,0 dB).

Напајање чипа од 1,8 V и управљачки сигнали су довођени са посебно направљених напредних, подешљивих, стабилних извора напајања који користе интегрисано коло *Texas Instruments TPS79101*, слика 7. Реч је о брзом РФ линеарном регулатору са веома малим шумом, великом вредношћу параметра PSRR (фактор потискивања сметњи из напона напајања, енг. *Power Supply Rejection Ratio*) и малом минималном разликом напона на улазу и излазу (енг. *ultralow noise, high PSRR, fast RF 100-mA low-dropout linear regulator*) намењеним за ове примене (бежичне комуникације на високим учестаностима).

Улазни сигнал фреквенције 100 MHz је доведен из 32 bita програмабилног побудног генератора *Bitmustergenerator BMG 2500* који има могућност програмирања низа улазних података дужине 4 B. За мерење временског одзива импулсног генератора ова опција није битна, пошто се посматра само облик генерисаног сигнала па је довољан један импулс (евентуално два или три суседна импулса). Међутим, при мерењу спектралне густине снаге сигнала веома је битно обезбедити насумичан (непоновљив) низ „1” и „0” да би се смањиле вредности спектралних линија. Такође, треба повести рачуна да се користи приближно исти (укупан) број „1” и „0” у мереном интервалу. При тестирању импулсног генератора на улаз је доведен следећи низ података: $B_1=„11110110”$, $B_2=„00101000”$, $B_3=„0001001”$ и $B_4=„11010111”$. Таласни облик излазног сигнала је мерен коришћењем *Agilent Infiniium DSO90604A Digital Storage* осцилоскопа са 20 GSa/s који може да мери временски одзив фреквенције до 6 GHz. За мерење спектралне густине снаге излазног сигнала је примењен анализатор спектра *Rohde&Schwarz FSP* са опсегом фреквенција од 9 kHz до 30 GHz.

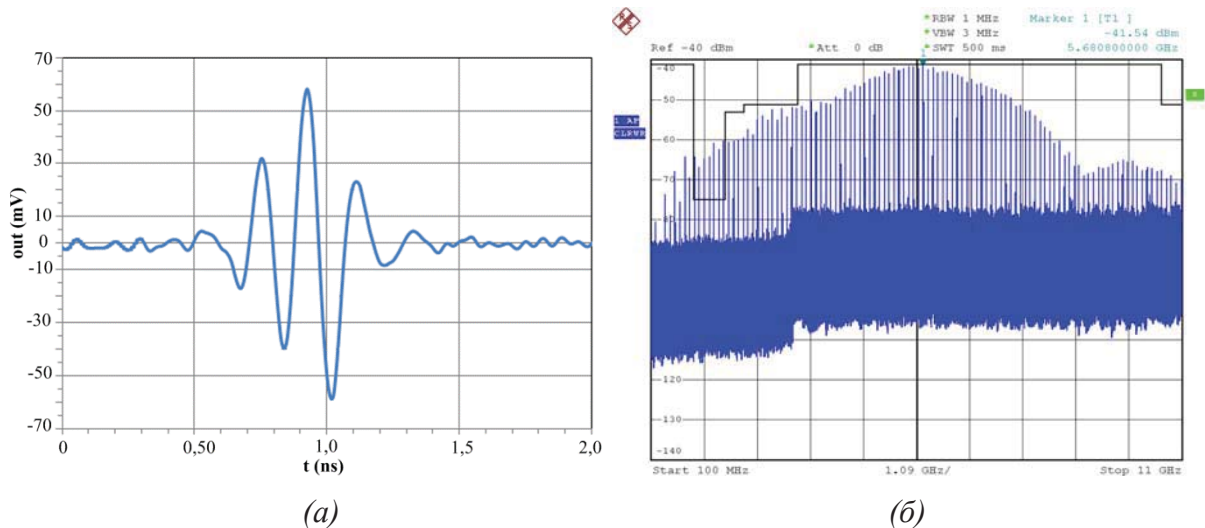
Потребно је нагласити да су за довођење побудног сигнала фреквенције 100 MHz и мерење излазног сигнала, одговарајуће сонде (тачније њима додељени специјални каблови дужине 8 ") повезане са мерном инструментацијом (на удаљености знатно већој од 8 ") помоћу два (серијски везана) кабла слабљења од око 1,5 dB на фреквенцији од 3 GHz. Због недостатка адекватног извора сигнала, није постојала могућност испитивања слабљења каблова на вишим учестаностима. Међутим, разумно је очекивати да су те вредности веће од 1,5 dB.



Слика 3. Изглед PCB плочице стабилног извора напајања са TI TPS79101 линеарним регулатором за напајање импулсног генератора.

Резултати мерења

Мерене карактеристике ултра-широкопојасног импулсног генератора, произведеног у $0,18\text{ }\mu\text{m}$ UMC CMOS технологији, у временском и фреквенцијском домену су приказане на слици 8. Може се видети да временски облик добијеног сигнала веома добро одговара вишем изводу Гаусовог импулса. Трајање сигнала износи око $0,8\text{ ns}$, а амплитуда од врха до врха 120 mV . Ова вредност је доста нижа у односу на очекивану, тј. вредност добијену у постлејаут симулацијама. Међутим, разлика у вредностима се може објаснити слабљењем у кабловима од 3 dB (два кабла) и губицима у конекторима, сондама и њима додељеним специјалним кратким кабловима.



Слика 1. Мерене карактеристике импулсног генератора произведеног у $0,18\text{ }\mu\text{m}$ UMC технологији: (а) временски облик сигнала и (б) спектрална густина снаге.

Како је измерена мања амплитуда временског одзива у односу на вредност добијену постлејаут симулацијама, спектрална густина снаге импулсног генератора је тестирана на улазу сигналом података фреквенције 200 MHz , да би се добиле вредности параметра PSD блиске дозвољеним границама. Напомена: мерење је могло и да се врши са $PRF=100\text{ MHz}$, али би се добиле мање вредности параметра PSD . Максимална вредност анvelope параметра PSD износи $-41,54\text{ dBm/MHz}$ те је приближно једнака максималној дозвољеној вредности ($-41,30\text{ dBm/MHz}$). Постигнута је висока централна фреквенција од $5,68\text{ GHz}$ са 10 dB опсегом од $3,1\text{ GHz}$ до $7,75\text{ GHz}$. Заправо, доња гранична фреквенција је нешто нижа од $3,1\text{ GHz}$, али ова вредност представља доњу границу UWB опсега. Већи део спектралне густине снаге је концентрисан у нижем делу додељеног опсега, а FCC маска је нарушена у опсегу око 1 GHz . Међутим, ово је генерални проблем за све IR-UWB импулсне генераторе који имају доњу граничну учестаност од $3,1\text{ GHz}$ и приближно досежу максималну дозвољену вредност параметра PSD због коначне стрмнине ивица анvelope спектралне густине снаге. Ипак, карактеристике импулсног генератора се могу подешавати променом вредности управљачких сигнала (D_1 , D_2 и V_{ctrl}) чиме се проблем може ублажити или потпуно отклонити (што није предмет приказаног техничког решења).

Потребно је образложити зашто је коришћен осцилоскоп који може да мери сигнале фреквенције до 6 GHz , ако горња граница 10 dB опсега спектралне густине снаге износи $7,75\text{ GHz}$. Факултет техничких наука не поседује осцилоскоп за мерење сигнала на вишим учестаностима. Међутим, већ је наглашено да је централна фреквенција спектралне густине снаге ($5,68\text{ GHz}$) сигнала која је одређена максималном брзином

промене сигнала у временском домену, односно временима пораста и опадања појединачних импулса, нижа од 6 GHz. На основу приложеног следи да су карактеристике временског одзива унутар дозвољених граница које се могу мерити коришћеним осцилоскопом.

Веома важно је нагласити да вредности мерених карактеристика (нпр. амплитуде сигнала на излазу) доминантно зависе од квалитета контакта оствареног између врхова сонди и приступних тачака. У случају да врхови сонди нису довољно добро налегли на металне педове (сонде су под малим нагибом у односу на подлогу и постоји мала разлика у дебљини интегрисаног кола) добија се знатно нижа вредност сигнала. Ипак, потребно је истаћи да су врхови или иглице сонди веома осетљиве и да приликом претераног контакта са интегрисаним колом или неким другим видом неопрезног руковања лако долази до ломљења врхова (сонде су након тога неупотребљиве). Додатни проблем представљају нечистоће у виду огребаних металних делова са педова у претходним мерењима које уносе одговарајуће паразите, односно грешке у мерењима.

Да би се испитала поновљивост добијених резултата мерна метода је примењена на 5 импулсних генератора. Како се добијени резултати потпуно поклапају потврђена је поузданост приказане мерне методе.

Образложење

У овом техничком решењу је приказан поступак за одређивање карактеристика ултра-широкопојасног импулсног генератора реализованог у 0,18 μm UMC CMOS технологији. Методом је могуће одредити карактеристике (у временском и фреквенцијском домену) неупакованих, ултра-широкопојасних импулсних генератора различитих димензија и произведених у различитим технологијама чији је распоред приступних тачака прилагођен коришћеним сондама. У случају другачијег распореда педова, приказана метода се може применити без додатних измена у принципу и поставци мерног система уз адекватне сонде. Такође, метода се може користити и за карактеризацију импулсних генератора који раде у различитим фреквенцијским опсезима уз одговарајућу мерну инструментацију (нпр. други осцилоскоп и анализатор спектра у случају рада на вишим учестаностима).

Мерење карактеристика ултра-широкопојасног импулсног генератора увелико зависи од мерне опреме и примењене мерне технике. Одговарајући избор мерне методе, као и правилно руковање мерном инструментацијом значајно утичу на тачност мерења. Слабљења у кабловима, конекторима, сондама и њима додељеним специфичним кабловима доминантно утичу на разлику између очекиваних резултата (на основу симулација кола са екстрахованим утицајима паразита) и добијених мерених карактеристика. Пошто се мерење врши директно на силицијумској плочици тачност резултата зависи од квалитета контакта између врхова сонди и металних педова на интегрисаном колу.

Мерна метода за одређивање карактеристика ултра-широкопојасног импулсног генератора у CMOS технологији је развијена на Факултету техничких наука у Новом Саду, у оквиру текућег пројекта бр. TP-32016 финансираног од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Штампано 2014. године

РЕЦЕНЗИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Подаци о техничком решењу

Назив техничког решења: Метода за одређивање карактеристика ултра-широкопојасног импулсног генератора у CMOS технологији

Одговорно лице: Јелена Радић

Аутори: Јелена Радић, Алена Ђугова, Ласло Нађ, Мирјана Виденовић-Мишић
Факултет техничких наука (ФТН), Нови Сад

Развијено: у оквиру пројекта технолошког развоја ТР-32016 (Руководилац пројекта проф. др Љиљана Живанов)

Година: 2014

Примена: октобар 2014

Реализатори: Факултет техничких наука, Нови Сад

Корисници: : Факултет техничких наука, Нови Сад

Категорија техничког решења: Ново техничко решење (мерна метода) – М85

Подаци о рецензенту

Име и презиме, звање: др Предраг Петковић, редовни професор

Ужа научна област за који је изабран у звање, датум избора у звање и назив факултета: Електроника, изабран у звање 19.06.2001. године на Електронском факултету у Нишу

Установа где је запослен: Електронски факултет, Универзитет у Нишу

Стручно мишљење рецензента

У овом техничком решењу је приказан начин за одређивање карактеристика, у временском и фреквенцијском домену, неупакованих РФ импулсних генератора. Методом је мерен временски облик сигнала на излазу импулсног генератора и његова спектрална густина снаге изражена у јединици dBm/MHz. Карактеризација интегрисаних кола је рађена директно на силицијумској плочици коришћењем РФ испитне станице и специјалних сонди за приступ мерним тачкама уређаја.

Приказаним поступком је могуће одредити карактеристике неупакованих РФ импулсних генератора, реализованих у различитим интегрисаним технологијама и предвиђеним за различите примене и рад у различитим фреквенцијским опсезима. У случају импулсних генератора реализованих у другим технологијама (различито растојање између приступних педова) или са другачијим распоредом улазних, излазних и контролних сигнала потребно је користити одговарајуће сонде за приступ мерним тачкама. Такође, методу је могуће применити и за мерење временског одзива различитих неупакованих интегрисаних кола, као и спектралне густине снаге изражене у јединици dBm/MHz.

Осим поступка мерења описан је и поступак анализе мерених резултата.

овај метод могуће је применити и за мерење параметара временског одзива, као и спектралне густине снаге различитих неупакованих интегрисаних кола. Осим поступка мерења описан је и поступак анализе мерених резултата.

На основу приложене документације и у складу са одредбама *Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научно-истраживачких резултата истраживача*, који је донео Национални савет за научни и технолошки развој Републике Србије («Службени гласник РС», бр. 38/2008), предлажем Научно-наставном већу Факултета техничких наука Универзитета у Новом Саду да пријављено техничко решење под називом “Метода за одређивање карактеристика ултра-широкопојасног импулсног генератора у CMOS технологији” прихвати као:
Ново техничко решење (мерна метода) – М85

Мерна метода за одређивање карактеристика ултра-широкопојасног импулсног генератора у CMOS технологији је развијена на Факултету техничких наука у Новом Саду, у оквиру текућег пројекта бр. ТР-32016 финансираног од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

У Нишу, 05.12.2014. године

Рецензент



Проф. др Предраг Петковић
Електронски факултет у Нишу
Универзитет у Нишу

РЕЦЕНЗИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Подаци о техничком решењу

Назив техничког решења: Метода за одређивање карактеристика ултра-широкопојасног импулсног генератора у CMOS технологији

Одговорно лице: Јелена Радић

Аутори: Јелена Радић, Алена Ђугова, Ласло Нађ, Мирјана Виденовић-Мишић
Факултет техничких наука (ФТН), Нови Сад

Развијено: у оквиру пројекта технолошког развоја TP-32016 (Руководилац пројекта проф. др Љиљана Живанов)

Година: 2014

Примена: октобар 2014

Реализатори: Факултет техничких наука, Нови Сад

Корисници : Факултет техничких наука, Нови Сад

Категорија техничког решења: Ново техничко решење (мерна метода) – M85

Подаци о рецензенту

Име и презиме: др Душан Грујић

Установа где је запослен: NovellIS д.о.о. Београд

Стручно мишљење рецензента

У предложеном техничком решењу приказан је нови поступак карактеризације импулсних генератора, предвиђених за рад у IR-UWB системима, у временском и фреквенцијском домену. Предложена мерна поставка је погодна за мерење карактеристика неупакованих силицијумских интегрисаних кола директно на стопицама за повезивање, коришћењем микроталасних сонди.

Предложена мерна метода је општа и може се користити за одређивање спектралне густине снаге класе широкопојасних предајника, а не само предајника импулсног типа. Предложено техничко решење је од значаја за карактеризацију класе широкопојасних предајника, посебно у интегрисаним реализацијама. Од значаја је и приказани поступак анализе резултата мерења.

Поређењем резултата мерења и симулације може се добити увид у одступања симулационих модела, који се може искористити за корекцију перформанси. Стога је предложена мерна метода од значаја у истраживању и развоју интегрисаних широкопојасних предајника.

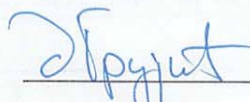
Поред значаја у истраживању и развоју, мерење спектралне густине снаге предајника је значајно и због провере усклађености предајника са спектралном маском која је дефинисана законском регулативом. Услед тога, предложена мерна метода има и значајну примену у пракси.

На основу приложене документације и у складу са одредбама *Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научно-истраживачких резултата истраживача*, који је донео Национални савет за научни и технолошки развој Републике Србије («Службени гласник РС», бр. 38/2008), предлажем Научно-наставном већу Факултета техничких наука Универзитета у Новом Саду да пријављено техничко решење под називом “Метода за одређивање карактеристика ултра-широкопојасног импулсног генератора у CMOS технологији” прихвати као:
Ново техничко решење (мерна метода) – М85

Мерна метода за одређивање карактеристика ултра-широкопојасног импулсног генератора у CMOS технологији је развијена на Факултету техничких наука у Новом Саду, у оквиру текућег пројекта бр. TP-32016 финансираног од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

У Београду, 12.12.2014. године

Рецензент



др Душан Грујић