

Прототип:

Нова конфигурација широкопојасног ниско-шумног појачавача реализованог у CMOS технологији

Руководилац пројекта: проф. др Љиљана Живанов

Одговорно лице: Алена Ђугова

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

Развијено: у оквиру пројекта технолошког развоја TP-32016

Година: 2014.

Примена: децембар 2014

Кратак опис

. Описана је детаљна реализација широкопојасног (енг. *ultra-wideband* – *UWB*) ниско-шумног појачавача – НШП (енг. *low noise amplifier* – *LNA*) у 0,18 μ m UMC (енг. *United Microelectronics Corporation*) CMOS (енг. *Complementary Metal–Oxide–Semiconductor*) технологији. Предложено решење испуњава захтеве попут широкопојасног прилагођења улазне и излазне импедансе, ниског нивоа сопственог шума, великог напонског појачања са малим варијацијама вредности у жељеном опсегу и мале потрошње. Такође, обезбеђена је добра линеарност НШП, чиме је омогућена његова употреба у системима са оба UWB приступа: импулсном (енг. *impulse-radio* – *IR*) и вишеканалном преносу са ортогоналном фреквенцијском расподелом канала (енг. *multiband orthogonal frequency division multiplexing* – *MB-OFDM*). Предложено решење је малих димензија и тиме је смањена цена његове фабрикације

Техничке карактеристике:

Пројектовање и израда широкопојасног ниско-шумног појачавача у 0,18 μ m UMC CMOS технологији.

Техничке могућности:

Описано техничко решење омогућава израду једноставног подешљивог широкопојасног ниско-шумног појачавача у јефтинијој 0,18 μ m UMC CMOS технологији са dobrим карактеристикама и малом потрошњом.

Реализатори:

Факултет техничких наука, Нови Сад.

Корисници:

Факултет техничких наука, Нови Сад.

Подтип решења:

M85 – Прототип

Увод

Широкопојасна (енг. *ultra-wideband* – *UWB*) бежична комуникација покрива велики опсег фреквенција. У почетку се *UWB* комуникација превасходно користила за војне потребе, радаре и сензоре, када је 2002. године америчка Савезна комисија за комуникације (енг. *Federal Communications Commission* – *FCC*) одобрила одређене фреквенцијске опсеге за комерцијалне широкопојасне апликације. Људи из индустрије и академских кругова показали су највеће интересовање за опсег од 3,1 до 10,6 GHz, због његове заступљености у скоро свим *UWB* применама. Спектрална густина снаге предајника у овом фреквенцијском опсегу је ограничена на $-43,3$ dBm/MHz, како би се спречиле интерференције са већ постојећим радио-системима. Ограничења које је *FCC* поставила на суседне фреквенцијске опсеге су још строжија и зависе од њихове примене. Услед ових прописа по питању емисије снаге, као и додатних губитака који настају услед преноса, примљени широкопојасни сигнал има веома малу снагу на пријемној антени, тј. снага примљеног сигнала има амплитуду три реда величине мању у односу на амплитуду ускопојасних комуникационих система. Из овог разлога, пројектовање пријемника је сложеније у односу на предајник.

Ниско-шумни појачавач – НШП (енг. *low noise amplifier* – *LNA*) представља један од најважнијих блокова бежичног примопредајника. Налази се у пријемном делу уређаја непосредно након антене. Улога НШП је да улазни сигнал одређене фреквенције и мале снаге издвоји и издигне изнад нивоа шума пријемника. Из тог разлога, он треба да обезбеди велико напонско појачање у целом фреквенцијском опсегу од интереса. Неопходно је да ниво сопственог шума НШП буде низак, како би се осетљивост пријемника повећала. Такође, НШП треба да обезбеди широкопојасно прилагођење улазне и излазне импедансе (енг. *impedance matching*) на $50\ \Omega$, како не би дошло до рефлексије сигнала на улазу и излазу кола, односно, како би се омогућио пренос максималне снаге сигнала. Како је НШП део преносивог примопредајника све ове захтеве мора да испуни при минималној потрошњи енергије. Даље је потребно да НШП буде једноставне структуре и заузима малу површину, чиме би се смањила цена фабрикације. Добра линеарност је битна карактеристика НШП пројектованих за системе са вишеканалним преносом са ортогоналном фреквенцијском расподелом (енг. *multiband orthogonal frequency division multiplexing* – *MB-OFDM*) како би се спречиле сметње међу блиским каналима. Са друге стране, код импулсног широкопојасног (енг. *impulse-radio ultra-wideband* – *IR-UWB*) приступа за комуникацију, уколико се користи неки сложенији вид модулације, нпр. кодовање са фазним помаком (енг. *Binary Phase Shift Keying* – *BPSK*), потребно је обратити пажњу на линеарност фазне карактеристике појачавача, тј. на малу варијацију групног кашњења (енг. *group delay*), како би се жељени сигнал пренео на прави начин. Осим тога, пожељно је омогућити подешавање вредности карактеристичних параметара НШП, обезбеђујући на тај начин компензацију изобличења карактеристика уређаја насталих услед процесних, напонских и температурних промена (енг. *Process, Voltage and Temperature variations* – *PVT*).

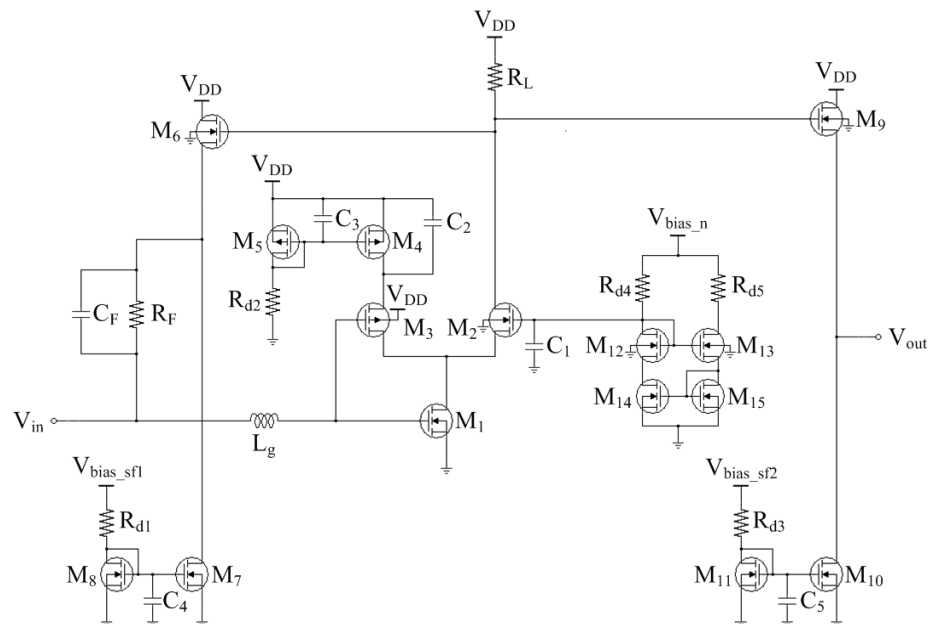
Пројектовање широкопојасног ниско-шумног појачавача умногоме зависи од одабране технологије и сложености предложене топологије. Интегрисана кола пројектована за рад на високим фреквенцијама захтевају посебан приступ како би се постигле жељене карактеристике датих кола, а уједно омогућила и њихова једноставна реализација мале цене.

Пројектовање широкопојасног ниско-шумног појачавача у CMOS технологији

У литератури се могу пронаћи различити приступи пројектовања широкопојасних ниско-шумних појачавача, који се према начину њихове реализације могу поделити у четири групе. У основи разликујемо појачаваче добијене дистрибутивним приступом, индуктивно дегенерисане појачаваче са заједничким сорсом и додатним филтром на улазу, појачаваче са заједничким гејтом, као и појачаваче са заједничким сорсом и повратном спрегом. Иако прва два приступа омогућавају постизање добре вредности појачања у широком опсегу и добро прилагођење улазне импедансе, њихов главни недостатак је велика површина коју заузимају услед коришћења великог броја пасивних компоненти, пре свега индуктора, што доводи до повећања цене фабрикације чипа. Друге две технике нуде једноставније архитектуре НШП, од којих појачавач са заједничким гејтом показује веће вредности фактора шума и мању вредност појачања.

На основу приказаних основних топологија НШП и техника које се могу на њих применити како би се побољшали неки од параметара (нпр. појачање, пропусни опсег и/или фактор шума), предложен је НШП испројектован у UMC 0.18 μm CMOS технологији за доњи део UWB фреквенцијског опсега од 3,1 до 5 GHz, чији фактори доброте испуњавају задате захтеве. Такође, како број индуктора значајно доприноси повећању површине чипа, па самим тим и његове цене, приликом одабира топологије водило се рачуна да је њихов број што мањи. Дато решење приказано је на слици 1.

Улазни степен НШП чине три транзистора M_1 , M_2 и M_3 , тако да два транзистора са заједничким сорсом M_1 (NMOS) и M_3 (PMOS) формирају степен са вишеструким искоришћењем струје, док транзистор M_2 представља транзистор са заједничким гејтом у каскодној структури са транзистором M_1 , са којим формира улазни појачавачки степен.



Слика 1. Предложена топологија 3,1 – 5 GHz ниско-шумног појачавача у CMOS технологији.

Прилагођење улазне импедансе постигнуто је додавањем повратне петље са отпорником везаним преко појачавача са заједничким дрејном. На овај начин вредност отпорника R_L је смањена, што доводи до проширења пропусног опсега. Иако мања отпорност доводи до мањег пада напона, како би се постигла одговарајућа вредност појачања, струја транзистора M_1 је углавном велика, што доводи до тога да пад напона и даље буде значајан. Коришћењем транзистора M_3 ова два ефекта се раздвајају, односно струја која пролази кроз транзистор M_2 представља само део струје M_1 и пад напона на отпорнику R_L је смањен. Количина ове струје, односно, колико ће струје протицати кроз транзистор M_3 контролише се помоћу струјног огледала, које чине транзистори M_4 и M_5 . Ефективна вредност транскондуктансе, g_m , улазног степена је дата као збир транскондуктанси транзистора M_1 и M_3 , чиме се постиже велика вредност појачања без повећања потрошње. Како оба ова транзистора доприносе капацитивности у гејту улазног степена, додавањем индуктора L_g она постаје занемарљива на високим фреквенцијама и пропусни опсег се проширује, односно у преносну карактеристику се уводи нула.

Како је улазна импеданса приближно дата као однос отпорности у повратној петљи и транскондуктансе појачавача, у паралелну везу са отпорником R_F додаје се кондензатор C_F да би се смањио утицај импедансе повратне петље на високим фреквенцијама, где долази до пада вредности појачања услед полова.

Прилагођење излазне импедансе постигнуто је помоћу излазног бафера, односно појачавача са заједничким дрејном, који чине транзистори M_9 и M_{10} .

Утицај индуктора L_g на проширење пропусног опсега НШП

Додавањем индуктора L_g на ред са гејтом транзистора M_1 унутар повратне петље, напонско појачање улазног појачавачког степена НШП биће једнако:

$$A_{v1} \approx - \frac{(g_{m1} + g_{m3})R_L \left(1 + j\omega \frac{C_{gs6}}{g_{m6}}\right)}{1 + j\omega \frac{C_{gs6}}{g_{m6}} \left(1 + \frac{R_L}{Z_F}\right)} \cdot \frac{1}{1 + j\omega(C_{gs1} + C_{gs3})R_g - \omega^2(C_{gs1} + C_{gs3})L_g} \quad (1)$$

где је R_g отпорност гејта, а Z_F је импеданса дата као паралелна веза кондензатора C_F и отпорника R_F :

$$Z_F = \frac{R_F}{1 + j\omega C_F R_F} \quad (2)$$

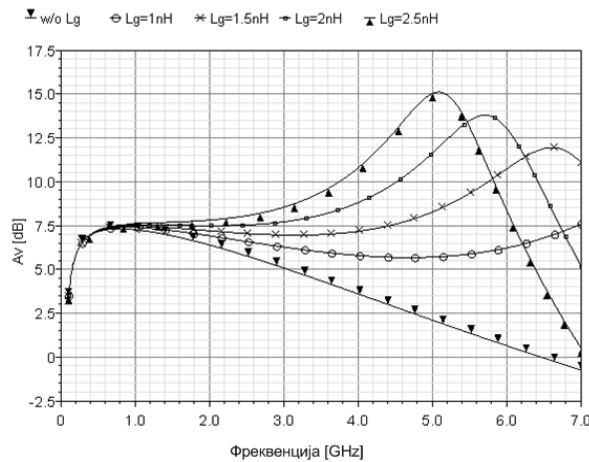
Уколико је вредност отпорника R_F истог реда као и вредност отпорника R_L , израз A_{v1} се може поједноставити као:

$$A_{v1} \approx - \frac{(g_{m1} + g_{m3})R_L}{(C_{gs1} + C_{gs3})L_g \left[\frac{1}{(C_{gs1} + C_{gs3})L_g} + j\omega \frac{R_g}{L_g} - \omega^2 \right]} \quad (3)$$

Из датог изрази се може видети да се везивањем индуктора L_g у серију са гејтом транзистора M_1 добија коло другог реда. На основу (3), следи да је фреквенција коњуговано-комплексног пара полова ω_0 : $1/\sqrt{L_g(C_{gs1} + C_{gs3})}$, док је Q-фактор коњуговано-комплексног пара полова дат изразом:

$$Q = \sqrt{\frac{L_g}{R_g^2(C_{gs1} + C_{gs3})}} \quad (4)$$

Може се закључити, да се везивањем индуктора L_g на ред са гејтом појачавачког транзистора утиче на проширење пропусног опсега НШП. На слици 2 приказани су резултати симулација напонског појачања за различите вредности индуктора L_g . Повећавајући вредност L_g , пропусни опсег појачавача се повећава. Међутим, на основу израза за пропусни опсег преко Q-фактора и резонантне фреквенције, $BW = \omega_0/Q$, када индуктор достигне одређену вредност, ширина пропусног опсега почиње да се смањује. За предложени дизајн ниско-шумног појачавача оптимална вредност индуктора L_g је 2.3 nH.



Слика 2. Напонско појачање ниско-шумног појачавача за различите вредности индуктора L_g .

Утицај кондензатора C_F на прилагођење улазне импедансе

Улазна импеданса предложеног НШП дата је изразом:

$$Z_{in} = \frac{Z_F + \frac{1 + j\omega C_{gs6} R_L}{g_{m6} + j\omega C_{gs6}}}{1 + |A_{v1}|} \parallel \frac{1 - \omega^2 (C_{gs1} + C_{gs3}) L_g}{j\omega (C_{gs1} + C_{gs3})}, \quad (5)$$

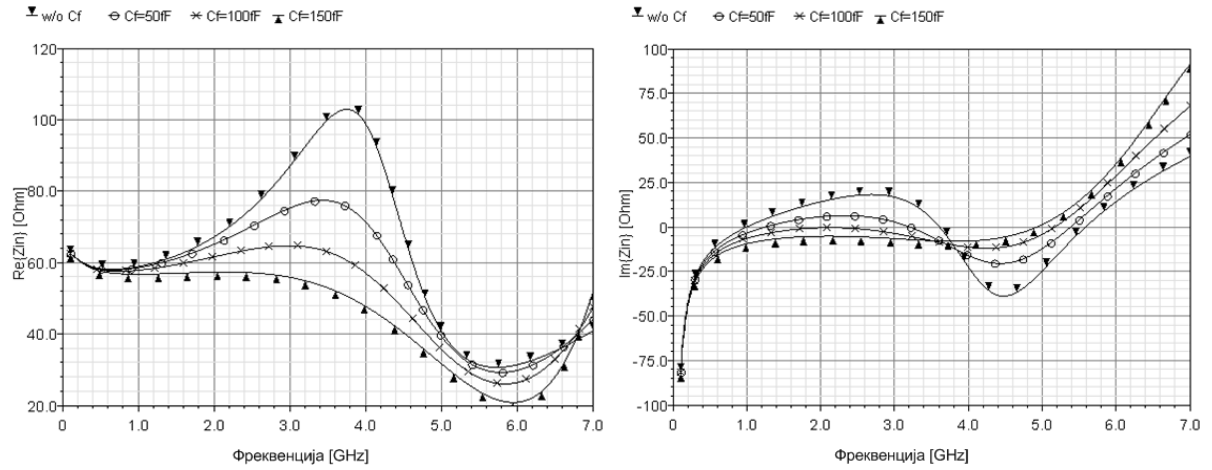
где су C_{gs6} и g_{m6} капацитивност између гејта и сорса, и транскондуктанса транзистора M_6 , респективно.

На слици 3 се види да улазну импедансу одређују два еквивалентна кола. На ниским фреквенцијама на импедансу НШП доминантно утиче паралелно резонантно коло са радном учесталостју око 4 GHz. Испод ове фреквенције паралелно RLC коло има индуктивни, а изнад 4 GHz капацитивни карактер, као што је приказано на слици 3(б).

Из израза за излазну импедансу појачавача са зајдничким дрејном:

$$Z_{out} = \frac{1 + j\omega R_L C_{gs6}}{g_{m6} + j\omega C_{gs6}}, \quad (6)$$

може се приметити да са повећањем фреквенције, уз услов $1/g_{m6} < R_L$, импеданса појачавача са зајдничким дрејном има индуктивни карактер.



Слика 3. Резултати симулација улазне импедансе у зависности од промене вредности кондензатора C_F : (а) Реални део импедансе. (б) Имагинарни део импедансе.

Ова импеданса се може представити као паралелна веза индуктора и отпорника LR_1 везана у серији са отпорником R_2 . Вредности ових компоненти су дате као:

$$L = \frac{j\omega C_{gs6}}{g_{m6}} \left(R_L - \frac{1}{g_{m6}} \right), \quad (7)$$

$$R_1 = R_L - \frac{1}{g_{m6}}, \quad (8)$$

$$R_2 = \frac{1}{g_{m6}}. \quad (9)$$

Ова индуктивност чини паралелно резонантно коло са улазним капацитивностима C_{gs1} и C_{gs3} . Додавањем кондензатора C_F у паралелу са отпорником R_F , реална компонента импедансе је смањена и њена вредност је ближа идеалној вредности од 50 Ω , као што је приказано на слици 3(а). Такође, на основу (5) капацитивни ефекат ће се повећати за A_{v1} , чиме се имагинарни део смањује и приближава нули. На овај начин, постиже се боље прилагођење улазне импедансе. Наследно, постиже се боља вредност параметра S_{11} .

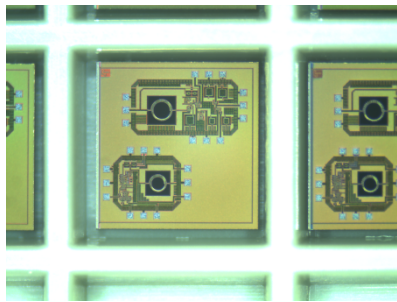
На високим фреквенцијама утицај редног резонантног кола, који чине индуктор L_g и улазне капацитивности транзистора M_1 and M_3 , са резонантном фреквенцијом 6 GHz може се представити изразом:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_g (C_{gs1} + C_{gs3})}}. \quad (10)$$

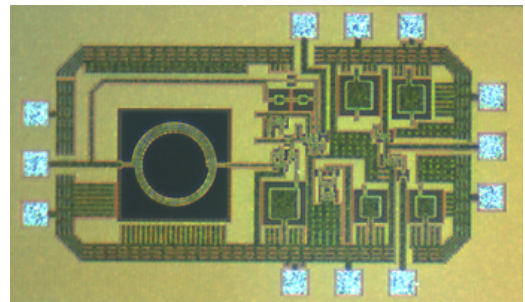
Утицај кондензатора C_F приказан је на слици 3(а), као смањење реалног дела улазне импедансе. Као што је раније речено, кондензатор C_F смањује вредност импедансе у повратној петљи са порастом фреквенције. Имагинарни део улазне импедансе ће порасти са повећањем фреквенције, као последица његовог индуктивног карактера.

Карактеристике широкопојасног ниско-шумног појачавача

Предложени широкопојасни ниско-шумни појачавач реализован је у $0,18\mu\text{m}$ UMC CMOS технологији, која има 6 металних слојева, 1 слој полисилицијума и супстрат р-типа. Напон напајања за дату технологију је $1,8\text{V}$. Ниско-шумни појачавач је фабрикован на силицијумској плочици димензија $1525\times 1525\mu\text{m}^2$ и није упакован у одговарајуће кућиште, слика 4(а). Поред поменутог НШП, на истој плочици произведен је и ултра-широкопојасни импулсни генератор, који није овде разматран. Димензије НШП су $1,251\times 0,729\text{mm}^2$, док је активна површина, површина активног дела кола без приступних педова, $0,919\times 0,384\text{mm}^2$. Распоред приступних тачака је такав да се на левој страни доводи побуда (*in*), а на десној страни се налази пед везан на излаз НШП (*out*). Улазни и излазни педови су GSG конфигурације. Горња и доња страна су резервисане за напајања (*gnd* за масу и V_{DD} за напон напајања) и управљачке сигнале (V_{bias_n} , V_{bias_sf1} , V_{bias_sf2}) који обезбеђују подешавање карактеристика НШП, и то тако да је распоред приступних тачака на горњој страни PGL (V_{DD} , *gnd*, V_{bias_sf1}), а LGL (V_{bias_n} , *gnd*, V_{bias_sf2}) на доњој страни интегрисаног кола.



(а)



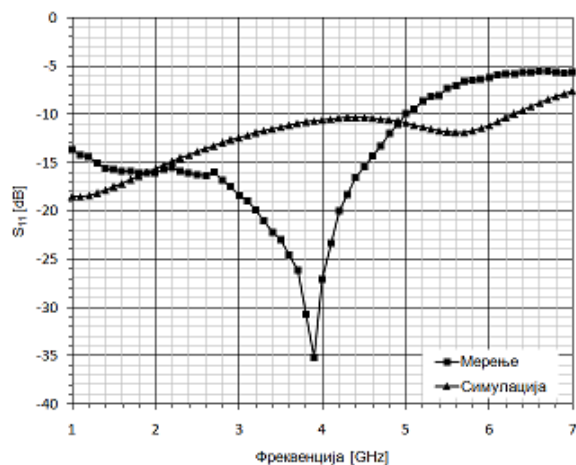
(б)

Слика 4. (а) Изглед фабрикованих интегрисаних кола на делу вејфера. (б) Увећана фотографија широкопојасног ниско-шумног појачавача.

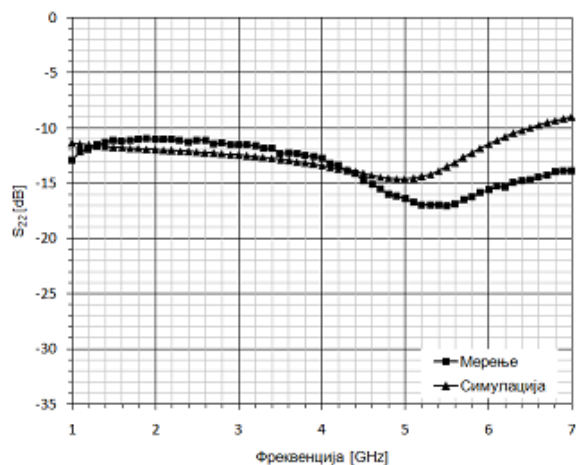
На слици 5 приказани су измерени S-параметри широкопојасног ниско-шумног појачавача заједно са S-параметрима добијеним постлејаут симулацијама. Са слике 5(а) види се да је вредност параметра S_{11} испод -10 dB у фреквенцијском осегу од 1 до 5 GHz. У целом опсегу од интереса (3,1 – 5 GHz) вредност параметара S_{22} и S_{12} остаје испод $-11,52\text{ dB}$ и $-36,07\text{ dB}$, респективно. На слици 5(в) приказана је зависност параметра S_{21} од фреквенције. Од 3,1 до 5 GHz промена вредности датог параметра износи $9.7\pm 0.45\text{ dB}$, док 3-dB опсег покрива фреквенције од 1,11 до 5,57 GHz.

На слици 6 приказани су резултати постлејаут симулација за параметар шума (енг. *noise figure* – *NF*). Вредност параметра варира од 4.42 dB на 3.1 GHz до 4.06 dB на 5 GHz, са минималном вредношћу 4.05 dB на 4.92 GHz.

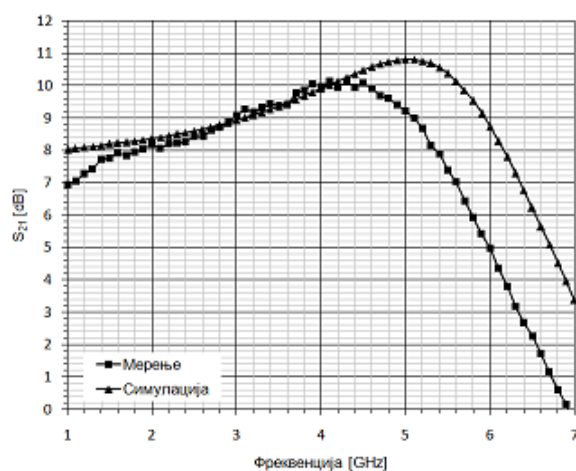
На високим фреквенцијама доминантан је бели шум, док је на ниским фреквенцијама густина спектралне снаге инверзно пропорционална фреквенцији. За транзисторе у НШП, утврђено је да је гранична фреквенција фликер шума ($1/f$) око 10 MHz, што је у сагласности са подацима датим у документацији одабране $0.18\mu\text{m}$ CMOS технологије. На основу симулација утврђено је да на $1/f$ шум НШП највише утиче улазни NMOS транзистор M_1 (14.55 %), ширине канала $W_1 = 105\mu\text{m}$.



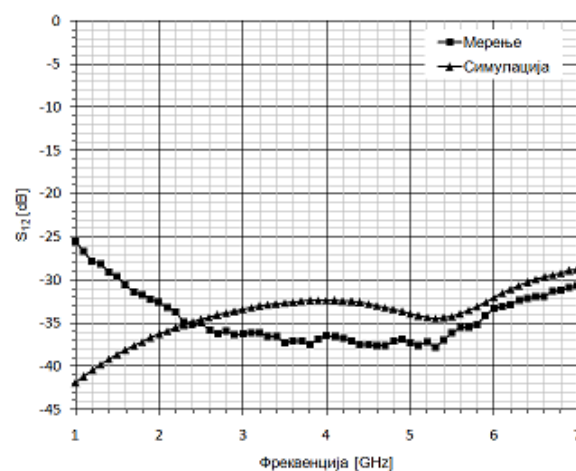
(a)



(б)

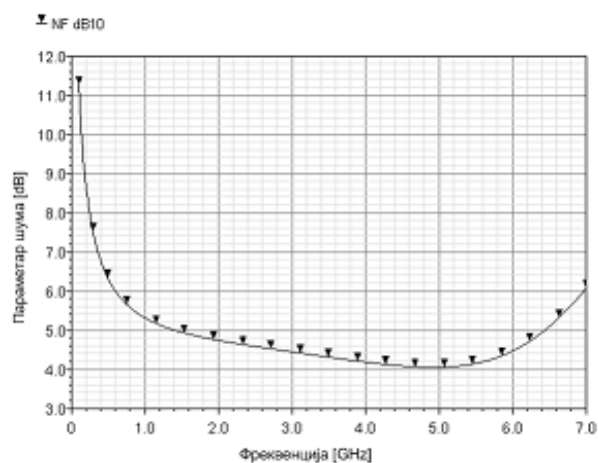


(в)



(г)

Слика 5. Мерење и симулиране карактеристике ниско-шумног појачавача: (а) S_{11} параметар. (б) S_{22} параметар. (в) S_{21} параметар. (г) S_{12} параметар.



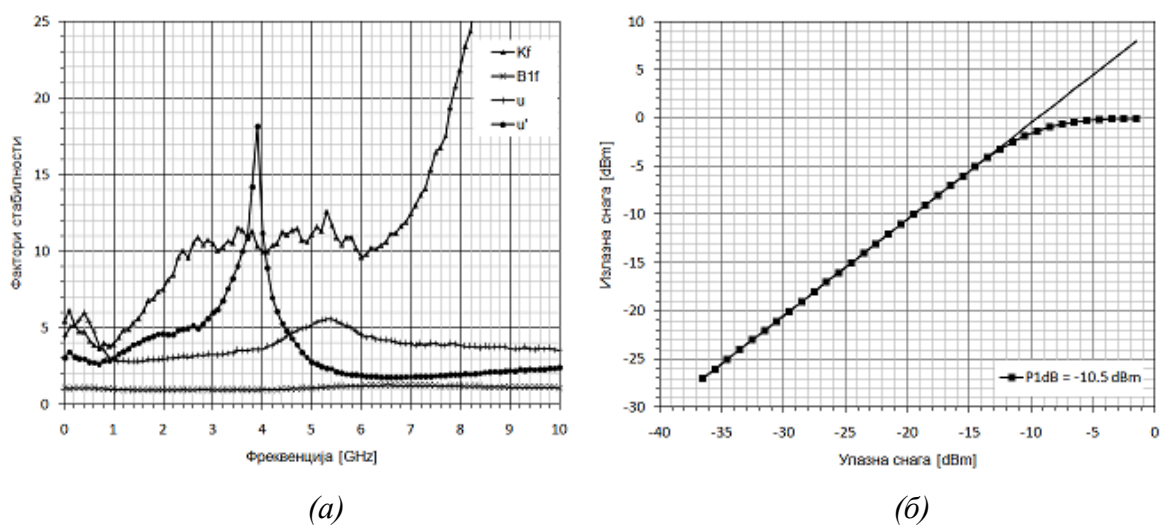
Слика 6: Резултати постлејаут симулација: Параметар шума.

Стабилност НШП дефинисана је фактором стабилности (енг. *Rollett stability factor* – K) и помоћним фактором стабилности (енг. *auxiliary stability factor* – B_1). Минималне вредности K и B_1 су 3.66 и 0.94, респективно. Следи да су услови за стабилност, дефинисани као $K > 1$ and $B_1 > 0$, постигнути. Даље, на основу добијених S-параметара прорачунати су геометријски фактори стабилности. μ (енг. *Mu*) и μ' (енг. *Mu-prime*) фактори представљају фактор стабилности оптерећења и фактор стабилности извора, респективно. За двоприступну мрежу се каже да је стабилна уколико је $\mu > 1$ или $\mu' > 1$, односно да за свако оптерећење доведено на улаз или излаз кола, оно неће постати нестабилно. Такође, може се рећи да што је вредност параметара μ и μ' већа, већа је и стабилност кола. Фактори стабилности су прорачунати за предложен УWB НШП за све фреквенције на којима је вредност појачања већа од један. Резултат је приказан на слици 7(а). Може се видети да је НШП стабилан за све фреквенције до 10 GHz.

Линеарност предложеног решења НШП карактерисана је параметром тачком слабљења од 1-dB (енг. *1-dB compression point* – P_{1dB}). Параметар је мерен за фреквенцију 3 GHz. Мерено је пет узорака НШП и вредност P_{1dB} се креће у распону од -9.5 до -11.5 dBm. Просечна вредност је приказана на слици 7(б). Значајан утицај на линеарност НШП има појачавач са заједничким дрејном. Иако су у предложеном колу коришћена чак два кола ове конфигурације предложено решење НШП показује добру линеарност и испуњава захтеве за УWB НШП.

За одређивање фазне линеарности (енг. *phase linearity*) користи се параметар групно кашњење, које се дефинише као први извод фазне карактеристике преносне функције S_{21} . За предложено коло промена групног кашњења у фреквенцијском опсегу од 3.1 до 5 GHz износи ± 34.59 ps. Према дефиницији, уколико је промена вредности групног кашњења мања од ± 10 % времена трајања једног бита у одређеном фреквенцијском опсегу, не долази до стварања изобличења у преносу података (енг. *data dependent jitter*). Добијеним резултатима одговара максимално трајање бита од 345.9 ps, тј, брзина преноса података до 2.89 Gb/s. Следи да предложено коло има добру фазну линеарност.

Потрошња предложеног НШП, узимајући у обзир и потрошњу кола за поларизацију и излазни бафер, је 28.54 mW при напону напајања од 1.8 V.



Слика 7: Карактеристике ниско-шумног појачавача: (а) Фактори стабилности. (б) Тачка слабљења од 1-dB.

Карактеристике НШП могу се подешавати променом вредности управљачких сигнала (V_{bias_n} , V_{bias_sf1} , V_{bias_sf2}) уколико дође до одступања њихових вредности од задатих спецификација (што није предмет приказаног техничког решења).

Потребно је нагласити да вредности мерених карактеристика доминантно зависе од квалитета контакта оствареног између врхова сонди и приступних тачака. У случају да врхови сонди не налегну добро на металне педове (сонде су под малим нагибом у односу на подлогу и постоји мала разлика у дебљини интегрисаног кола) што знатно утиче на добијене резултате. Додатни проблем представљају нечистоће у виду огребаних металних делова услед механичког трошења педова приликом њихове употребе које уносе одговарајуће паразите, односно грешке у мерењима. Ово се посебно одразило приликом мерења рефлексије сигнала на улазу, односно S_{11} параметра.

Како би се испитала поновљивост понуђеног решења, извршено је мерење пет фабрикованих НШП. Поклапањем резултата потврђена је поузданост приказане методе.

Могућности представљеног техничког решења

У овом техничком решењу је описан поступак пројектовања нове конфигурације широкопојасног ниско-шумног појачавача реализованог у $0,18\mu\text{m}$ UMC CMOS технологији за фреквенцијски опсег 3,1 – 5 GHz. Објашњене су главне карактеристике предложеног кола и разматрања која треба узети у обзир приликом одабира вредности компоненти. На описан начин добија се НШП једноставне структуре, мале површине, а наследно и мање цене.

Предложено решење је фабриковано како би се извршила његова верификација. Мерењем потврђени су очекивани резултати, односно датом конфигурацијом НШП постиже се добро прилагођење улазне и излазне импедансе, велико напонско појачање са малим варијацијама у жељеном фреквенцијском опсегу, мала вредност шума и добра линеарност. Све је ово постигнуто уз малу потрошњу. Извршена је карактеризација пет узорака и потврђена поновљивост датог решења.

Нова конфигурација широкопојасног ниско-шумног појачавача реализованог 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.

Штампано 2014. године

РЕЦЕНЗИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Подаци о техничком решењу

Назив техничког решења: Нова конфигурација широкопојасног ниско-шумног појачавача реализованог у CMOS технологији

Одговорно лице: Алена Ђугова

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

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

Година: 2014

Примена: децембар 2014

Реализатори: Факултет техничких наука, Нови Сад

Корисници: : Факултет техничких наука, Нови Сад

Категорија техничког решења: Ново техничко решење (прототип) –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 описан је поступак пројектовања широкопојасног ниско-шумног појачавача (НШП) у $0,18\mu\text{m}$ UMS CMOS технологији. Објашњене су главне карактеристике предложеног кола уз детаљан опис релевантних параметара које треба узети у обзир приликом димензионисања компонената. Као резултат добијен је НШП једноставне структуре, мале површине, а сходно томе, и мање цене.

Посебно наглашавам да је предложено решење фабриковано и да су пројектни циљеви верификовани мерењем на конкретним узорцима. Фабрикација је обављена у $0,18\mu\text{m}$ UMC CMOS технологији, која има 6 металних слојева, 1 слој полисилицијума и супстрат р-типа. Напон напајања за дату технологију је $1,8\text{V}$. Ниско-шумни појачавач је фабрикован на силицијумској плочици димензија $1525\times 1525\mu\text{m}^2$.

Мерења потврђују да су остварени очекивани резултати. Реализован је нискошумни појачавач $3,1 - 5\text{ GHz}$ који карактерише добро прилагођење улазне и излазне импедансе, велико напонско појачање са малим варијацијама у жељеном фреквенцијском опсегу, мала вредност шума и добра линеарност. Од $3,1$ до 5 GHz промена вредности параметра S_{21} износи $9,7\pm 0,45\text{ dB}$, док 3-dB опсег покрива фреквенције од $1,11$ до $5,57\text{ GHz}$. Вредност параметра шума у фреквенцијском опсегу варира од $4,42\text{ dB}$ на $3,1\text{ GHz}$ до $4,06\text{ dB}$ на 5 GHz , са минималном вредношћу $4,05\text{ dB}$

на 4.92 GHz. На високим фреквенцијама доминантан је бели шум, док је на ниским фреквенцијама густина спектралне снаге инверзно пропорционална фреквенцији. За транзисторе у НШП, утврђено је да је гранична фреквенција фликер шума ($1/f$) око 10 MHz, што је у сагласности са подацима датим у документацији одабране 0.18 μ m CMOS технологије. НШП је стабилан у фреквенцијском опсегу до 10 GHz. Линеарност предложеног решења НШП карактерисана је параметром *1-dB compression point* – P_{1dB} . Параметар је мерен при фреквенцији 3 GHz. Мерене вредности P_{1dB} крећу се у распону од –9.5 до –11.5 dBm.

Све ово постигнуто је уз малу потрошњу. Тестирано је пет узорака чиме је потврђена поузданост поступка пројектовања и верификована поновљивост реализације.

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 “Нова конфигурација широкопојасног ниско-шумног појачавача реализованог у CMOS технологији” прихвати као:
Ново техничко решење (прототип) –M85

Прототип широкопојасног ниско-шумног појачавача у CMOS технологији испројектован је на Факултету техничких наука у Новом Саду, у оквиру текућег пројекта бр. TR-32016 финансираног од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Рецензент



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

РЕЦЕНЗИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Подаци о техничком решењу

Назив техничког решења: Нова конфигурација широкопојасног ниско-шумног појачавача реализованог у CMOS технологији

Одговорно лице: Алена Ђугова

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

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

Година: 2014

Примена: децембар 2014

Реализатори: Факултет техничких наука, Нови Сад

Корисници: : Факултет техничких наука, Нови Сад

Категорија техничког решења: Ново техничко решење (прототип) – М85

Подаци о рецензенту

Име и презиме, звање: др Душан Грујић

Установа где је запослен: Lime Microsystems д.о.о Београд

Стручно мишљење рецензента

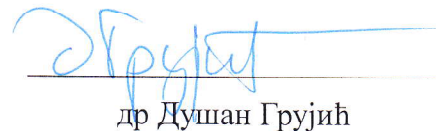
У овом техничком решењу је описан поступак пројектовања широкопојасног ниско-шумног појачавача у $0,18\mu\text{m}$ UMS CMOS технологији. Објашњене су главне карактеристике предложеног кола и разматрања која треба узети у обзир приликом одабира вредности компоненти. На описан начин добија се НШП једноставне структуре, мале површине, а наследно и мање цене.

Предложено решење је фабриковано како би се извршила његова верификација. Мерењем потврђени су очекивани резултати, односно датом конфигурацијом НШП постиже се добро прилагођење улазне и излазне импедансе, велико напонско појачање са малим варијацијама у жељеном фреквенцијском опсегу, мала вредност шума и добра линеарност. Све је ово постигнуто уз малу потрошњу. Извршена је карактеризација пет узорака и потврђена поновљивост датог решења.

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), предлагем Научно-наставном већу Факултета техничких наука Универзитета у Новом Саду да пријављено техничко решење под називом “Нова конфигурација широкопојасног ниско-шумног појачавача реализованог у CMOS технологији” прихвати као: Ново техничко решење (прототип) – М85

Прототип широкопојасног ниско-шумног појачавача у CMOS технологији је испројектован на Факултету техничких наука у Новом Саду, у оквиру текућег пројекта бр. TR-32016 финансираног од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Рецензент



др Душан Грујић



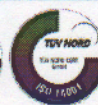
УНИВЕРЗИТЕТ
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

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

НОВА КОНФИГУРАЦИЈА ШИРОКОПОЈАСНОГ НИСКО-ШУМНОГ ПОЈАЧАВАЧА РЕАЛИЗОВАНОГ У ЦМОС ТЕХНОЛОГИЈИ (M85 ПРОТОТИП)

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

-непотребно изостављено-

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:
Секретар

Иван Нешковић, дипл. правник



Проф. др Раде 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
МЕНАџМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: 01.сл

Ваш број:

Датум: 2014-11-28

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 12.1.6: 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:

**НОВА КОНФИГУРАЦИЈА ШИРОКОПОЈАСНОГ НИСКО-ШУМНОГ ПОЈАЧАВАЧА
РЕАЛИЗОВАНОГ У ЦМОС ТЕХНОЛОГИЈИ
(М85 ПРОТОТИП)**

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

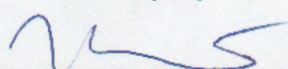
-непотребно изостављено-

Записник водила:



Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:
Секретар



Иван Нешковић, дипл. правник



Проф. др Раде Ђорословачки