

ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ

Интегрисани широкопојасни ниско-шумни појачавач намењен за рад у фреквенцијском опсегу од 3,1 до 5 GHz
--

М-85: Прототип, нова метода, софтвер, стандардизован или атестиран инструмент, нова генетска проба, микроорганизми

Аутори:

др Алена Ђугова, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду

др Јелена Радић, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду

др Мирјана Виденовић-Мишић, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду

др Ласло Нађ, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду

Година: 2017.

Подтип техничког решења: Прототип – М85

Корисник: Факултет техничких наука у Новом Саду, за потребе даљих истраживања

Пројекат у оквиру кога је реализовано техничко решење:

Број пројекта: ТР-32016 Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, Програм истраживања у области технолошког развоја за период 2011-2017.

Технолошка област: Електроника, телекомуникације и информационе технологије

Назив пројекта: Иновативне електронске компоненте и системи базирани на неорганским и органским технологијама уграђени у робе и производе широке потрошње

Руководилац пројекта: др Љиљана Живанов, редовни професор

Како су резултати верификовани (од стране код тела):

Верификација техничког решења је извршена од стране Научно-наставног већа Факултета техничких наука, Универзитет у Новом Саду

Примена: новембар 2017.

Кратак опис

Техничко решење детаљно описује реализацију широкопојасног ниско-шумног појачавача (НШП, енг. *low noise amplifier – LNA*) у 0,18 μm UMC CMOS технологији. Применом технике за повећање струје дрејна појачавачког транзистора (енг. *current bleeding technique*), као и проширењем топологије повратном петљом са отпорником везаним преко појачавача са заједничким дрејном, омогућено је постизање жељене вредности струје појачавачког транзистора, а без наследног великог пада напона на оптеретном отпорнику. Предложеном топологијом постигнута је велика вредност напонског појачања са малим варијацијама вредности у фреквенцијском опсегу од 3,1 до 5 GHz, широкопојасно прилагођење улазне и излазне импедансе и низак ниво шума. Описано решење у својој структури има само један индуктор чиме је укупна површина НШП смањена, а тиме и цена његове фабрикације.

Техничке карактеристике:

Прототип заузима површину од 0,91 mm², док је површина активног дела кола без приступних педова 0,35 mm². Вредности S-параметара којима се описује прилагођење улазне и излазне импедансе су мање од –10 dB у фреквенцијском опсегу од интереса. Вредност појачања је 11,18 dB, са варијацијама вредности до $\pm 0,4$ dB. Вредност параметра шума варира од 4,39 dB на 3 GHz до 4,72 dB на 5 GHz. Укупна потрошња снаге, рачунајући и потрошњу поларизационих кола и излазног бафера је 27,7 mW при напону напајања 1,8 V.

Техничке могућности:

Предложени прототип као компактно решење, малих димензија и добрих карактеристика, може наћи своју примену у широкопојасним бежичним примопредајницима, као део пријемног уређаја.

Реализатори:

Факултет техничких наука, Нови Сад.

Корисници:

Факултет техничких наука, Нови Сад.

Подтип решења:

M85 –Прототип

Увод

Истовременим коришћењем широког фреквенцијског опсега од стране више корисника широкопојасна технологија (енг. *ultra-wideband – UWB*) је успела да одговори на захтев што ефикаснијег искоришћења радио-фреквенцијског спектра, које при томе не утиче на већ постојеће ускопојасне (енг. *narrowband – NB*) радио-системе. Њихово одвајање је постигнуто коришћењем различитих техника кодирања информација. Поред овога, UWB комуникација нуди низ предности попут велике брзине преноса података, мале потрошње (могућност реализације једноставних структура примопредајника) и мале преносне снаге (чиме је повећана безбедност комуникације и отпорност сигнала на интерференције).

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. Да би се спречиле сметње, различити технички стандарди и ограничења су прописани за UWB уређаје, који су на основу тога подељени у три групе. Првој групи припадају системи за пренос слике са и без оптичке видљивости (енг. *wall and through-wall imaging systems*), системи за медицинске примене (енг. *medical systems*) и георадари (енг. *ground penetrating radar – GPR*). Системи у овој групи користе фреквенције испод 960 MHz или из опсега 3,1–10,6 GHz. У ову групу спадају још и системи за надзор са радним опсегом од 1,99 GHz до 10,6 GHz. У другој групи, са опсегом од 3,1 до 10,6 GHz, су системи за комуникацију и мерење (енг. *communications and measurement systems*), док последњу групу, са опсегом од 24 до 29 GHz, чине радари намењени аутоиндустрији (енг. *vehicular radar systems*). Због заступљености у скоро свим UWB применама, највеће интересовање постоји за опсег од 3,1 до 10,6 GHz. У зависности од начина коришћења, овај опсег је подељен на два или више подопсега. Код директне секвенце (енг. *direct sequence – DS*) цео UWB фреквенцијски опсег је подељен на нижи (3,1–4,85 GHz) и виши (6,2–9,7 GHz), док код вишеканалног преноса са ортогоналном расподелом канала (енг. *multiband orthogonal frequency division multiplexing – MB-OFDM*) је овај опсег подељен на неколико подопсега од по 528 MHz.

FCC није поставила никаква ограничења на избор сигнала и модулациону шему. Једини услов који сигнал мора испунити је да на излазу предајника обезбеди спектар који задовољава одговарајућу спектралну маску. У бежичним комуникационим системима спектрална густина снаге пријемника је ограничена на $-41,3 \text{ dBm/MHz}$, како би се спречиле интерференције са већ постојећим радио-системима, попут WiMax (енг. *worldwide interoperability for microwave access*), Bluetooth и GSM (енг. *global system for mobile communications*). Такође, током преноса сигнала долази до додатног смањења његове снаге, као и до изобличења облика сигнала. Стога, пројектовање ниско-шумног појачавача (НШП, енгл. *low noise amplifier – LNA*), који се налази у пријемном делу непосредно након антене, представља изазов.

НШП представља један од неизоставних блокова сваког бежичног примопредајника. Његова основна улога је да улазни сигнал одређене фреквенције издвоји и појача изнад нивоа шума следећег степена. Потребно је да вредност напонског појачања буде велика, како би се утицај шума нередних блокова пријемника (нарочито миксера) смањило. Са друге стране, ниво сопственог шума мора бити низак, како би се осетљивост (тј. способност пријемника да детектује слаб улазни сигнал) повећала. Да би се спречила рефлексија сигнала на улазу кола, улазна импеданса треба да је прилагођена на 50Ω , што представља карактеристичну импедансу већине комерцијалних РФ антена. На овај начин омогућен је максималан пренос снаге сигнала. Такође, неопходно је и широкопојасно прилагођење излазне импедансе како би се комплетан сигнал на излазу НШП проследио ка следећем степену пријемника. Укупна потрошња струје НШП треба да је што мања, како је он најчешће део преносивог бежичног примопредајника. Следећа битна карактеристика НШП је добра линеарност у случају када је он део система који користи *MB-OFDM* технику преноса, односно добра линеарност фазне карактеристике појачавача, тј. мала варијација групног кашњења (енг. *group delay*), у случају 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 PhaseShift Keying–BPSK*).

НШП је потребно пројектовати тако да му се параметри мало мењају са процесним, напонским и температурним варијацијама (енг. *Process, Voltage and Temperature*

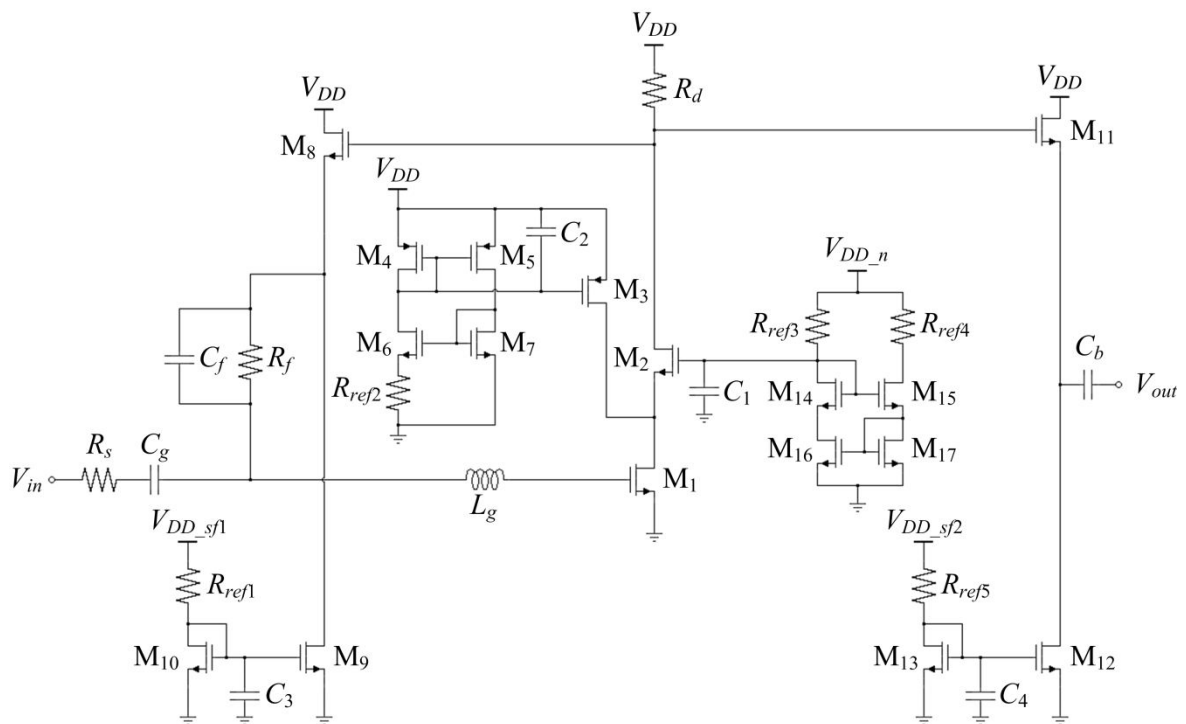
variations –PVT). Даље је пожељно да НШП буде једноставне структуре се смањеним бројем пасивних компоненти, пре свега индуктора који су великих димензија, чиме се знатно смањује површина чипа, а тиме и његова цена.

Широкопојасни ниско-шумни појачавач са техником за повећање појачања

У литератури се може наићи на различите приступе пројектовања UWB НШП, који се према начину њихове реализације могу поделити у четири групе. У основи разликујемо појачаваче са заједничким сорсом и повратном спрегом, појачаваче са заједничким гејтом, појачаваче са заједничким сорсом, индуктивном дегенерацијом сорса и додатним филтром на улазу, као и појачаваче добијене дистрибутивним приступом. Прве две технике нуде једноставније архитектуре НШП, од којих појачавач са заједничким гејтом показује већу вредност параметра шума и мању вредност појачања. Друга два приступа омогућавају постизање добре вредности појачања у широком опсегу и добро прилагођење улазне импедансе, међутим, њихов главни недостатак је велика поршина коју заузимају услед коришћења великог броја пасивних компоненти, пре свега индуктора, што доводи до повећања цене фабрикованог чипа.

На основу постојећих 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 μ m CMOS технологији за доњи део UWB фреквенцијског опсега од 3,1 до 5 GHz, чији фактори добротe испуњавају задате захтеве. Такође, приликом одабира топологије водило се рачуна да је број индуктора што мањи.

На слици 1 приказана је шема предложеног решења.



Слика 1. UWB НШП са техником за повећање струје дрејна.

Коло се састоји од једног појачавачког степена каскодне структуре, који чине транзистори M_1 и M_2 . За додатно повећање вредности појачања, користи се техника повећања струје дрејна транзистора M_1 додавањем транзистора M_3 . Излазни степен је појачавач са заједничким дрејном, а чине га транзистори M_{11} и M_{12} .

Како би се постигло прилагођење улазне импедансе коло је проширено повратном петљом са отпорником везаним преко појачавача са заједничким дрејном, чиме је вредност отпорника R_d знатно смањена, а тиме пропусни опсег проширен. Међутим, за постизање велике вредности појачања струја дрејна транзистора M_1 мора бити велика, што доводи до тога да пад напона на отпорнику буде знатан. Коришћењем технике за повећање струје дрејна утицај пораста транскондуктансе транзистора M_1 на пад напона до којег ће доћи на отпорнику R_d је смањен. Односно, струју дрејна транзистора M_1 која ће протицати кроз транзистор M_2 одређује струјни извор додат у коло дрејна транзистора M_1 . Структура струјног извора приказана је на слици 1, и чине га струјно огледало и Видларова (енг. *Widlar*) структура.

Додавањем кондензатора C_f у паралелу са отпорником R_f вредност импедансе повратне спреге се смањује на високим фреквенцијама чиме се постиже константна вредност улазне импедансе у широком пропусном опсегу (Улазна импеданса је приближно дата као однос отпорности у повратној петљи и транскондуктансе појачавача). Такође, додавањем индуктора L_g у коло гејта транзистора M_1 , унутар повратне спреге, утиче се на проширење пропусног опсега и додатно повећање појачања. Односно додавањем индуктора капацитивност у гејту транзистора M_1 постаје занемарљива на високим фреквенцијама, тј. у преносну карактеристику се уводи нула. За предложени НШП вредност овог индуктора износи 2,25 nH.

Поларизациона кола за два појачавача са заједничким дрејном, једним као делом повратне спреге, а другим као излазним бафером, састоје се од отпорника R_{refn} , $n = 1, 5$, и транзистора M_n , $n = 10, 13$, где сваки транзистор гради струјно огледало са одговарајућим појачавачким транзистором (M_9 , M_{12}). За постављање напона поларизације гејта транзистора M_2 на потребну вредност користи се модификовано Вилсоново струјно огледало.

C_g и C_b представљају улазни и излазни кондензатор велике вредности (15 pF), респективно, док је отпорником R_s дата излазна отпорност извора (вредности 50 Ω). Током карактеризације НШП ове кондензаторе је неопходно додати екстерно.

Анализа шума

На високим фреквенцијама јавља се бели шум, док је на ниским фреквенцијама густина спектралне снаге шума инверзно пропорционална фреквенцији.

За транзисторе у колу НШП симулацијама је утврђено да гранична фреквенција фликер шума износи око 10 MHz, што је у сагласности са подацима датим у документацији одабране 0,18 μm UMC CMOS технологије. Такође, на основу симулација добијено је да на 1/f шум НШП највише утиче улазни NMOS транзистор M_1 , ширине канала $W_1 = 210 \mu\text{m}$, са 14,55%.

Изрази за фактор шума највећих извора термалног шума НШП, уз претпоставку прилагођења улазне импедансе и занемарујући степен за повећање појачања, једнаки су

$$F_{R_d} \approx \frac{1}{g_{m1}^2 R_d R_s}, \quad (1)$$

$$F_{R_f} \approx \frac{R_f}{g_{m1}^2 R_d^2 R_s}, \quad (2)$$

$$F_{M_1} \approx \frac{1}{g_{m1} R_s} \frac{\gamma_1}{\alpha_1}, \quad (3)$$

$$F_{M_8} \approx \frac{1}{g_{m8} R_s} \left(\frac{1}{g_{m1} R_d} \right)^2 \frac{\gamma_8}{\alpha_8}, \quad (4)$$

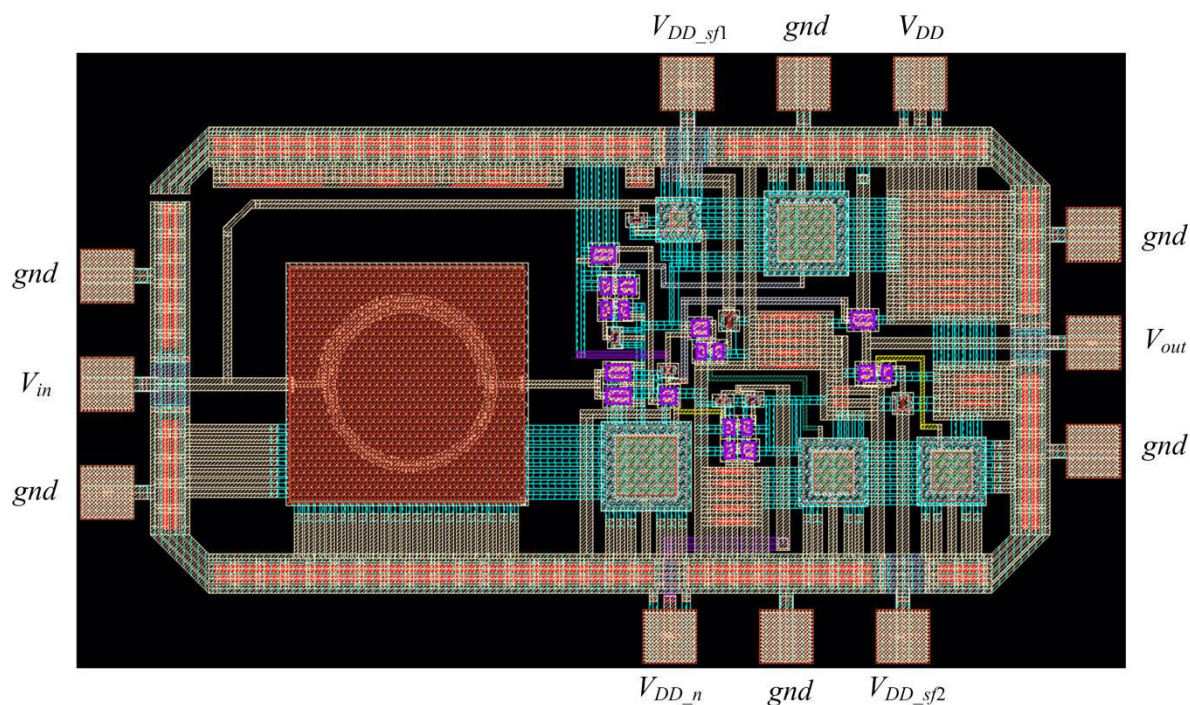
где F_{R_d} , F_{R_f} , F_{M_1} , и F_{M_8} представљају факторе шума потрошача R_d , отпорника у повратној петљи R_f , појачавачког транзистора M_1 и транзистора M_8 , респективно. R_s је отпорност извора, γ је термални коефицијент шума MOSFET транзистора, док параметар α описује однос g_m/g_{d0} , где је g_{d0} дрејн-сорс проводљивост при напону $V_{DS} = 0$. Укупан фактор шума НШП је дат изразом

$$F = 1 + F_{R_d} + F_{R_f} + F_{M_1} + F_{M_8}. \quad (5)$$

Из датих израза следи да се вредност F може смањити уколико се повећа члан $g_{m1} R_d$. Вредност транскондуктансе транзистора M_1 се може повећати на два начина: повећањем ширине канала транзистора или повећањем струје поларизације. Прво ће довести до повећања вредности паразитних капацитивности, чиме ће се нарушити прилагођење улазне импедансе, док друго доводи до повећања укупне потрошње НШП. Са друге стране, повећање вредности отпорника R_d доводи до сужења пропусног опсега НШП. У предложеном дизајну, коришћена је техника за повећање струје дрејна транзистора M_1 , чиме се повећава вредност транскондуктансе g_{m1} . Стога, мања количина струје пролази кроз отпорник R_d омогућавајући повећање његове вредности за исту вредност напона напајања. Током пројектовања НШП направљен је компромис између укупне потрошње, ширине пропусног опсега и фактора шума.

Карактеристике широкопојасног ниско-шумног појачавача

Предложени широкопојасни ниско-шумни појачавач пројектован 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 $1,8\text{ V}$. Коло заузима површину од $1251 \times 0,729\text{mm}^2$, док је 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.



Слика 2. Изглед лејаута UWB НШП са обележеним распоредом приступних тачака.

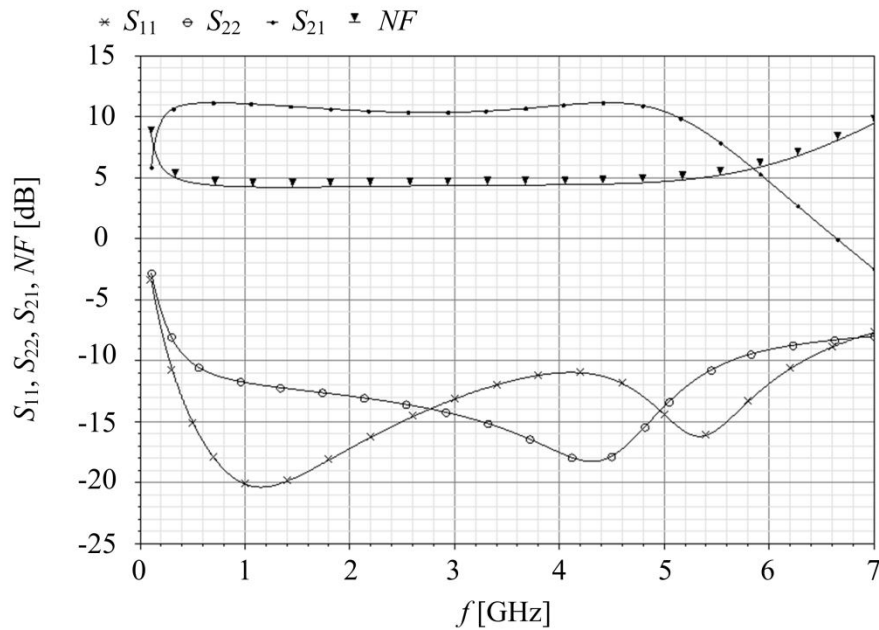
На слици 3 приказани су S-параметри и фактор шума широкопојасног ниско-шумног појачавача добијени постлејаут симулацијама. Вредност коефицијента рефлексије сигнала на улазу кола (S_{11}) је испод -10 dB за фреквенције од 273,6 MHz до 6,32 GHz. Коефицијент рефлексије сигнала на излазу кола (S_{22}) има вредност мању од -10 dB у фреквенцијском опсегу од 466,4 MHz до 5,63 GHz. Највећа вредност појачања (S_{21}) предложеног НШП је 11,18 dB на фреквенцији 4,46 GHz, са варијацијама вредности до 0,8 dB од 259 MHz до 5 GHz. Пропусни опсег од -3 dB покрива фреквенције од 140 MHz до 5,48 GHz. Параметар S_{12} , којим је описана изолација улаза од излаза кола, има вредност мању од $-24,44$ dB у целом симулираном опсегу, од 100 MHz до 7 GHz.

Просечна вредност параметра шума (енг. *noise figure* – NF) за фреквенцијски опсег од 466 MHz до 5 GHz износи 4,48 dB, док минималну вредност од 4,24 dB има на фреквенцији 1,37 GHz. У опсегу од интереса вредност NF варира од 4,39 dB на 3,1 GHz до 4,72 dB на 5 GHz.

Стабилност НШП дефинисана је фактором стабилности (енг. *Rollett stability factor* – K_f) и помоћним фактором стабилности (енг. *auxiliary stability factor* – B_{1f}). Минималне вредности K и B_{1f} су 3,42 и 0,94, респективно. Следи да су услови за стабилност, дефинисани као $K_f > 1$ и $B_{1f} > 0$, постигнути.

Вредност тачке слабљења појачања од 1-dB (енг. *1-dB compression point* – P_{1dB}), којом је описана линеарност НШП, износи $-20,9$ dBm за фреквенцију 4 GHz, која се може посматрати као централна фреквенција за посматрани опсег, 3,1–5 GHz. Даље, вредност параметра $IP3$ у случају када су на улаз доведена два сигнала блиских фреквенција, 4 GHz и 4,1 GHz, је $-12,72$ dBm.

Укупна потрошња снаге НШП, рачунајући и потрошњу поларизационих кола и излазног бафера је 27,7 mW при напону напајања 1,8 V. Од тога, потрошња струје



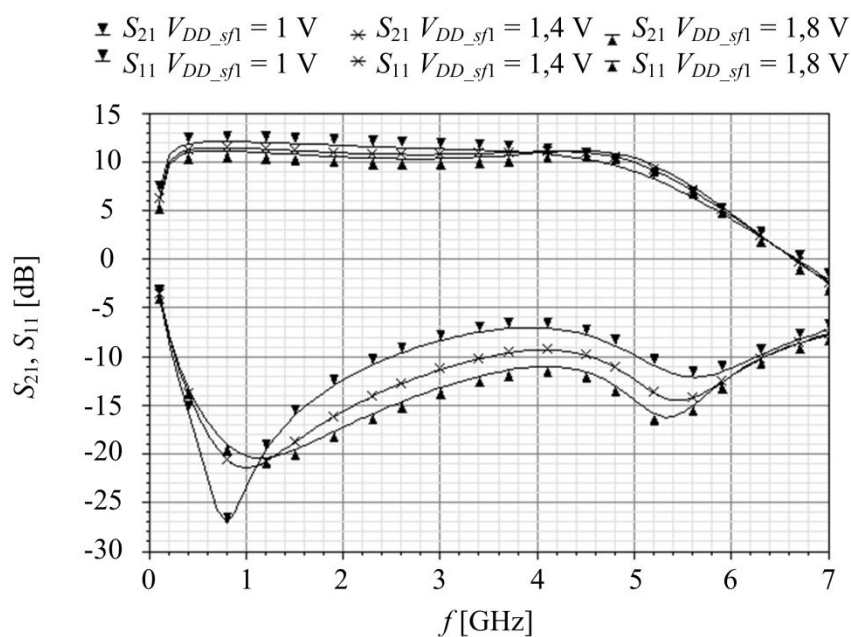
Слика 3 Резултати постлејаут симулација: зависности S -параметара (S_{11} , S_{22} , S_{21}) и параметра шума (NF) од фреквенције.

појачавача износи 6,2 mA, док остатак представља потрошњу бафера (3 mA) и кола за поларизацију транзистора M_2 , M_9 и M_{12} (6,2 mA).

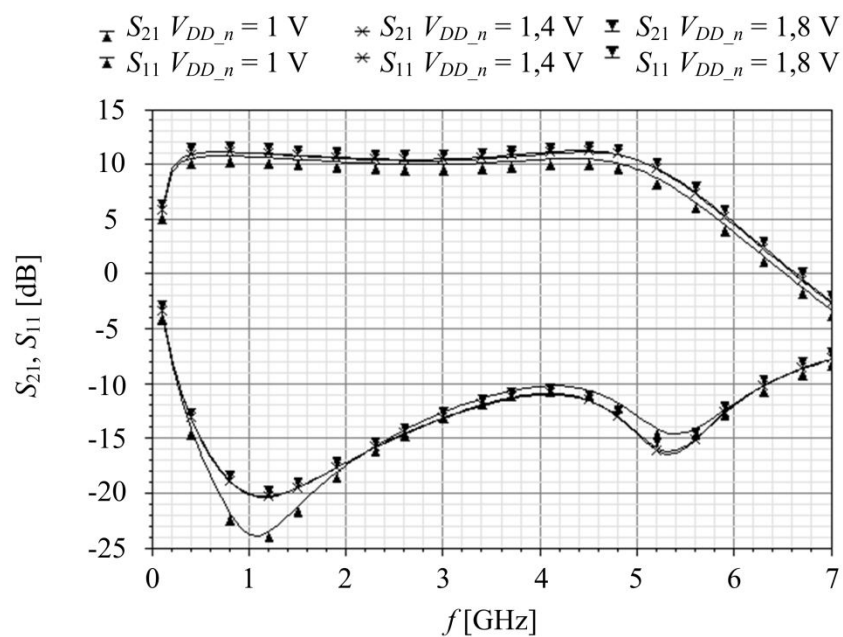
Током фабрикације предложеног интегрисаног кола може доћи до PVT варијација и до промена вредности параметара НШП. Како би се омогућило подешавање њихових вредности, за довођење напона напајања V_{DD_sf1} , V_{DD_sf2} и V_{DD_n} резервисани су посебни педови током дизајна. Смањивањем вредности ових напона (номинално су постављени на 1,8 V) омогућено је подешавање вредности S -параметара и параметра шума. На сликама 4–6 приказани су резултати ових промена добијени постлејаут симулацијама.

Смањење вредности напона напајања V_{DD_sf1} доводи до повећања напона V_{gs1} транзистора M_1 , односно до повећања вредности транскондуктансе g_{m1} , а тиме и параметра S_{21} . Такође, доћи ће до смањења вредности улазне импедансе и повећања вредности параметра S_{11} . Промене вредности напона V_{DD_sf1} резултују мањим променама вредности параметара S_{22} и NF . Свако варирање вредности напона V_{DD_n} доведиће до померања мирне радне тачке транзистора M_2 чиме ће се вредност појачања НШП променити, што ће са последицу имати лоше прилагођење улазне импедансе. Уколико напон V_{DD_sf2} има вредност мању од 1,8 V, вредност излазне отпорности транзистора M_{11} и M_{12} се повећа и долази до промене S_{22} и смањења вредности S_{21} .

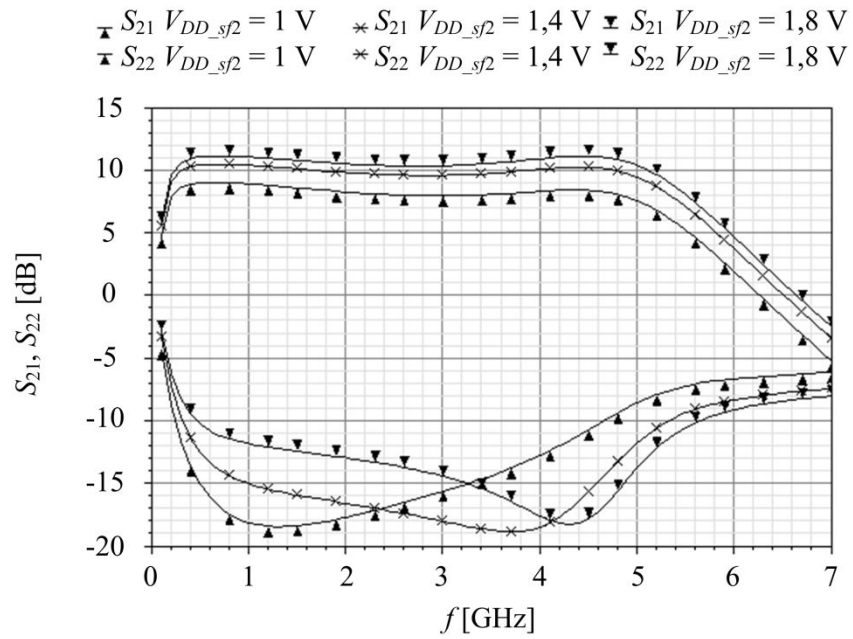
Да би се испитала робусност предложеног решења, НШП је симулиран *Corner* анализом. Симулирана су два гранична случаја транзистора (*ss* и *ff*) при собној температури (27°C) и два случаја са типичним вредностима транзистора (*tt* случај), али при два граничним температурама (–45°C и 85°C). Резултати су приказани на слици 7 за параметре S_{11} и S_{21} , који су показали највеће варијације вредности. Може се приметити да и поред промена у њиховим вредностима, параметри у сва четири случаја испуњавају критеријуме постављене на дизајн НШП.



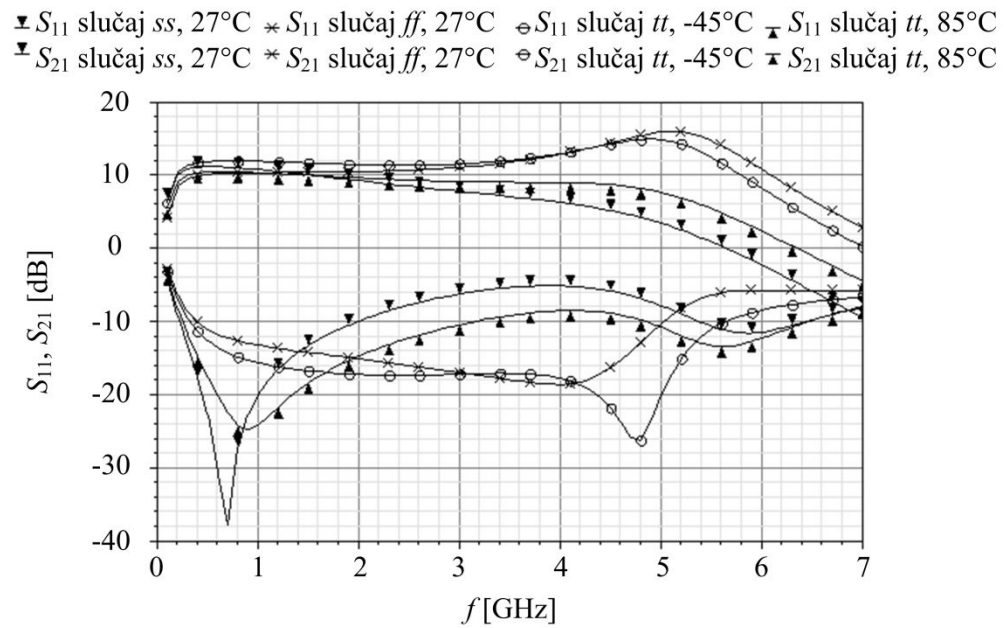
Slika 4 Rezultati postlejaут симулација: зависности параметара S_{21} и S_{11} од фреквенције при промени напона напајања V_{DD_sf1} у опсегу 1–1,8 V, са кораком 0,4 V.



Slika 5 Rezultati postlejaут симулација: зависности параметара S_{21} и S_{11} од фреквенције при промени напона напајања V_{DD_n} у опсегу 1–1,8 V, са кораком 0,4 V.



Slika 6 Rezultati postlejaут симулација: зависности параметара S_{21} и S_{22} од фреквенције при промени напона напајања V_{DD_sf2} у опсегу 1–1,8 V, са кораком 0,4 V.



Slika 7 Rezultati postlejaут симулација: зависности параметара S_{11} и S_{21} од фреквенције за два гранична случаја вредности параметара транзистора и на два граничним температурама.

Могућности представљеног техничког решења

UWB примопредајници се користе у бежичним комуникацијама са великим протоком података и малим дометом, малим протоком података и нешто већим дометом, у бежичној комуникацији између чипова, као и у медицинским применама. Због великог пропусног опсега UWB системи су широко заступљени и у системима за прецизно одређивање локације. Ниско-шумни појачавачје саставни део сваког бежичног примопријемника и налази се у пријемном делу уређаја непосредно након антене. Увидом у научну литературу може се уочити да предложена решења често захтевају сложене дизајне или нове процесе фабрикације што их чини скупим решењима. Због тога је развој UWB НШП једноставне топологије, у јефтинијој технологији, са dobrим карактеристикама и малом потрошњом веома битан.

У овом техничком решењу је приказана нова конфигурација широкопојасног ниско-шумног појачавача реализованог у $0,18\mu\text{m}$ UMC CMOS технологији за фреквенцијски опсег 3,1–5 GHz. Коришћењем технике за повећање струје дрејна појачавачког транзистора постигнута је велика вредност напонског појачања у целом пропусном опсегу при малој потрошњи. Коло садржи само једна индуктор чиме је укупна површина НШП смањена, а тиме и цена његове фабрикације. Такође, коришћене су додатне технике како би се задовољили услови и за остале параметре НШП и превазишли недостаци одабране технологије. Током пројектовања биле је потребно увести и пар подешљивих напона, како би се подешавањем вредности карактеристичних параметара НШП омогућила компензација изобличења карактеристика уређаја насталих услед процесних, напонских и температурних промена. Резултати постлејаут симулација показали су ефикасност овог дизајна за доњи део UWB фреквенцијског опсега од 3,1 до 5 GHz

Нова конфигурација широкопојасног ниско-шумног појачавача реализованог 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 2017. године

РЕЦЕНЗИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Подаци о техничком решењу

Назив техничког решења: Интегрисани широкопојасни ниско-шумни појачавач намењен за рад у фреквенцијском опсегу од 3,1 до 5 GHz

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 (Руководилац пројекта проф. др Љиљана Живанов)

Година: 2017

Примена: новембар 2017

Реализатори: Факултет техничких наука, Нови Сад

Корисници: Факултет техничких наука, Нови Сад

Категорија техничког решења: Ново техничко решење (прототип) – M85

Подаци о рецензенту

Име и презиме, звање: др Душан Грујић, доцент

Ужа научна област за који је изабран у звање, датум избора у звање и назив факултета: Електроника, изабран у звање 02.02.2016. године на Електротехничком факултету у Београду

Установа где је запослен: Електротехнички факултет, Универзитет у Београду

Стручно мишљење рецензента

У овом техничком решењу приказан је прототип широкопојасног нискошумног појачавача реализован у 180 nm CMOS технологији произвођача UMC. Приказан је поступак пројектовања који узима у обзир потрошњу и заузеће површине, и приказује могућности за прављење компромиса. Постигнут је добар компромис перформанси – пропусног опсега, појачања и фактора шума, потрошње и заузећа површине, односно цене.

Након што су резултати симулација на нивоу електричне шеме испунили захтеве постављене на дизајн НПП, приступило се физичкој реализацији кола. Укупна површина коју коло заузима износи $1,251 \times 0,729 \text{ mm}^2$, док је површина активног дела кола, без приступних педова приближно једнака $0,919 \times 0,384 \text{ mm}^2$. Посебна пажња посвећена је поступку пројектовања лејаута РФ интегрисаног кола како би се што више отклонио утицај паразитних ефеката на његове параметре. Постлејаут симулације су извршене на основу екстраховане нетлисте. Појачавач има добре карактеристике у значајно ширем опсегу учестаности од доњег UWB опсега и може се користити у системима који раде у опсегу од 1 до 5 GHz.

Како би се испитала поузданост резултата добијених постлејаут симулацијама, анализиране су перформансе кола при граничним вредностима компоненти прописаних од стране произвођача и при различитим температурама.

Током пројектовања уведено је и пар подешљивих напона, како би се подешавањем вредности карактеристичних параметара НИШП омогућила компензација изобличења карактеристика уређаја насталих услед процесних, напонских и температурних промена.

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) –М85

Прототип широкопојасног ниско-шумног појачавача у CMOS технологији је испројектован 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 Београду, 12.12.2017.

Рецензент

Доц. др Душан Грујић

Електротехнички факултет

Универзитет у Београду

РЕЦЕНЗИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Подаци о техничком решењу

Назив техничког решења: Интегрисани широкопојасни ниско-шумни појачавач намењен за рад у фреквенцијском опсегу од 3,1 до 5 GHz

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: 2017

Примена: новембар 2017

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 детаљно је описан прототип широкопојасног нискошумног појачавача (НШП) реализованог у 180 nm UMC CMOS технологији. Применом напредних техника пројектовања постигнута је велика вредност напонског појачања са малим варијацијама вредности у фреквенцијском опсегу од 3,1 до 5 GHz, широкопојасно прилагођење улазне и излазне импедансе и низак ниво шума. Такође, предложеном топологијом, која у својој структури има само један индуктор, укупна површина НШП је смањена. Предложени прототип као компактно решење, малих димензија и добрих карактеристика, може наћи своју примену у широкопојасним бежичним примопредајницима, као део пријемног уређаја.

Прототип заузима укупну површину $1,251 \times 0,729 \text{ mm}^2$, док је површина активног дела кола, језгра, без приступних педова приближно једнака $0,919 \times 0,384 \text{ mm}^2$. Постлејаут симулације су извршене на основу екстраховане нетлисте. Вредности S-параметара којима се описује прилагођење улазне и излазне импедансе су мање од -10 dB у фреквенцијском осегу од интереса. Вредност појачања је 11,18 dB, са варијацијама вредности до $\pm 0,4 \text{ dB}$. Вредност параметра шума варира од 4,39 dB на 3 GHz до 4,72 dB на 5 GHz. Такође, коло испуњава услове стабилности и показује добру линеарност.

Укупна потрошња снаге, рачунајући и потрошњу поларизационих кола и излазног бафера је 27,7 mW при напону напајања 1,8 V.

Робусност предложеног решења, проверена је постлејаут симулацијама, за граничне вредности параметара компонената које гарантује произвођач као и при различитим температурама.

НШП је пројектован тако да му се параметри мало мењају са процесним, напонским и температурним варијацијама. Како би се омогућила додатна контрола параметара појачавача, након фабрикације, додати су пинови за спољашњу регулацију напона поларизације.

Постојећа решења широкопојасних НШП користе сложене топологије или захтевају увођење нове процесе фабрикације што им повећава цену и чини неконкурентним на тржишту. Значај предложеног прототипа широкопојасног НШП огледа се у једноставности његове топологије, реализацији у јефтинијој технологији са прихватљивим карактеристикама и у малој потрошњи.

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) –М85

Прототип широкопојасног ниско-шумног појачавача у CMOS технологији је испројектован 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, 12.12.2017.

Рецензент



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



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:



Валентина Вребалов
Шеф кабинета декана

Наш број: 022-22/ 322

Ваш број:

Датум: 28.11.2017. Нови Сад

ПРЕДМЕТ: Именовање рецензената и прихватање рецензије за Техничко решење

Наставно-научно веће Департмана за енергетику, електронику и телекомуникације на 96. седници од 28.11.2017., на иницијативу Катедре за електронику једногласно је донело одлуку о именовању рецензената и прихватању рецензије за следеће техничко решење, које је резултат рада на пројекту ТР-32016.

Наслов: **Интегрисани широкопојасни ниско-шумни појачавач намењен за рад у фреквенцијском опсегу од 3,1 до 5 GHz.**

Аутори: Алена Ђугова, Јелена Радић, Мирјана виденовић Мишић и Ласло Нађ.

Предложени рецензенти:

1. др Душан Грујић, доц., Електротехнички факултет, Београд,
2. др Предраг Петковић, ред. проф., Електронски факултет, Ниш.

С поштовањем,

Доц. др Борис Думнић
руководилац Департмана

Доставити:

- 1 Јасмина Димић, Служба за опште и правне послове,
- 2 архива Департмана ЕЕТ.



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
МЕНАДЖМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: _____

Ваш број: _____

Датум: 2017-12-05

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научно веће Факултета техничких наука у Новом Саду, на 47. редовној седници одржаној дана 29.11.2017. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

**Тачка 12.3.1. Верификација нових техничких решења
и именовање рецензента**

Тачка 12.3.5.: У циљу верификације новог техничког решења усвајају се рецензенти:

1. Др Душан Грујић, доцент, Електротехнички факултет у Београду
2. Др Предраг Петковић, ред. проф, Електронски факултет у Нишу

Назив техничког решења:

**“ИНТЕГРИСАНИ ШИРОКОПОЈАСНИ НИСКО-ШУМНИ ПОЈАЧАВАЧ
НАМЕЊЕН ЗА РАД У ФРЕКВЕНЦИЈСКОМ ОПСЕГУ ОД 3,1 ДО 5 GHz”**

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



Декан

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; 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: 2018-01-12

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научно веће Факултета техничких наука у Новом Саду, на 49. редовној седници одржаној дана 27.12.2017. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

ТАЧКА 13.1. Верификација нових техничких решења и именовање рецензената

Тачка 13.1.9.: На основу позитивног извештаја рецензената верификује се техничко решење (М85) под називом:

**"ИНТЕГРИСАНИ ШИРОКОПОЈАСНИ НИСКО-ШУМНИ ПОЈАЧАВАЧ
НАМЕЊЕН ЗА РАД У ФРЕКВЕНЦИЈСКОМ ОПСЕГУ ОД 3,1 ДО 5 GHz"**

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



Декан

Проф. др Раде Дорословачки