

Model multikanalnih VLC opto-telekomunikacija između SoC razvojnih i IoT/Senzorskih sistema

Jovan Ivković, Tehnički Fakultet „Mihajlo Pupin“ Zrenjanin, Alempije Veljović, *Member, IEEE*

Apstrakt - Ovaj rad predstavlja nastavak istraživanja u oblasti analize, modelovanja i uspostavljanja optimalnog modela PAN VLC opto-telekomunikacije između razvojnih SoC računarskih, mikrokontrolerskih, IoT i senzorskih sistema. U njemu je predstavljen koncept i dizajn rešenja primo – predajnih elektronskih sklopova namenjenih za uspostavljanje peer-to-peer komunikacije na malim rastojanjima između uređaja visoke energetske efikasnosti. Veliki broj ovakvih uređaja na malom prostoru je izazov za rad klasičnih radio primo-predajnika u raspoloživim ISM RF područjima, sa druge strane širina raspoloživog opsega u svetlosnom delu spektra predstavlja ogroman potencijal.

Ključne reči – Opto – telekomunikacija, IoT, senzorski sistemi, SoC razvojni sistemi, mikrokontroleri, LED diode, foto prijemna kola

I. UVOD

Svetlosna opto – telekomunikacija u poslednje vreme sve više dobija na značaju jer pored šireg propusnog opsega i energetske efikasnosti donosi i ono najznačajnije, a to je da nema negativnih uticaja na zdravlje ljudi. Prema McKinsey predviđanjima do 2025. godine u svetu će biti oko bilion (10^{12}) internet povezanih smart uređaja.[1] Ako prihvatimo ove tvrdnje postaje jasno da su postojeći kapaciteti radio i mikrotalasnih područja za bežičnu komunikaciju nedovoljni i da je neophodan mrežni telekomunikacioni standard koji bi omogućio da se na relativno malim rastojanjima poveže što veći broj uređaja.

U ovom radu predstavimo koncept i dizajn rešenja primo – predajnih elektronskih sklopova namenjenih za uspostavljanje peer-to-peer komunikacije na malim rastojanjima, između uređaja visoke energetske efikasnosti. U drugom poglavlju predstavimo LED diode i neka od rešenja namenjenih za uspostavljanje komunikacije u vidljivom delu spektra. U trećem poglavlju predstavimo prijemno i predajno kolo uz analizu ključnih komponenata i parametara rada. Dok ćemo u četvrtom poglavlju predočiti iskustva i rezultate primene rešenja za prenos informacija između SoC računara i mikrokontrolera pomoću navedenih primo – predajnika.

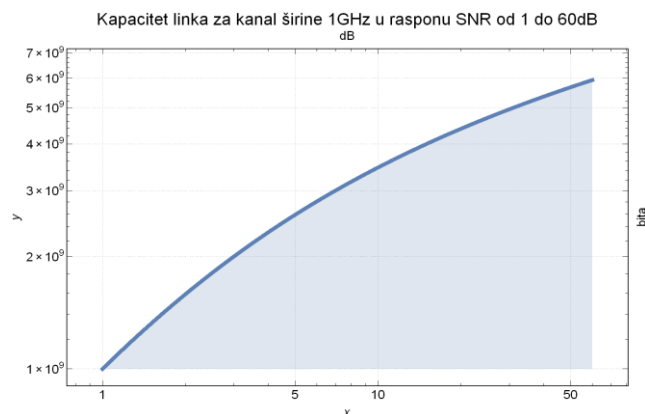
Jovan Ivković – Tehnički Fakultet „Mihajlo Pupin“, Univerzitet u Novom Sadu, Đure Đakovića bb, 23000 Zrenjanin, Srbija (e-mail:jovan.eps@gmail.com).

Alempije Veljović – Tehnički Fakultet Čačak, Univerzitet u Kragujevcu, Svetog Save 65, 32000 Čačak, Srbija (e-mail:alempije.veljovic@ftn.kg.ac.rs).

II LED DIODE

Svi bežični standardi bazirani na IEEE/IEC 802.11 rade na nelicenciranom radio frekventnom području. Međutim iako ti frekventni opsezi nisu licencirani oni nisu neregulirani. Svi WiFi ili ne-WiFi uređaji se moraju povinovati striktnim ograničenjima vezanim za izlaznu snagu i metod modulacije. Ukupna širina trenutno raspoloživih ISM područja ne prelazi 1GHz, a sa novim tehnologijama i primenom svih alociranih maksimalno 4GHz.

Na slici 1. prikazana je maksimalna transmisiona brzina u funkciji SNR-a za kanal propusnog opsega od $W=1\text{GHz}$, što bi bila širina istovremene primene svih ISM kanala ispod 62GHz (WiFi 802.11a,b,g,n,ac,ad,ah,af; Zigbee itd.).



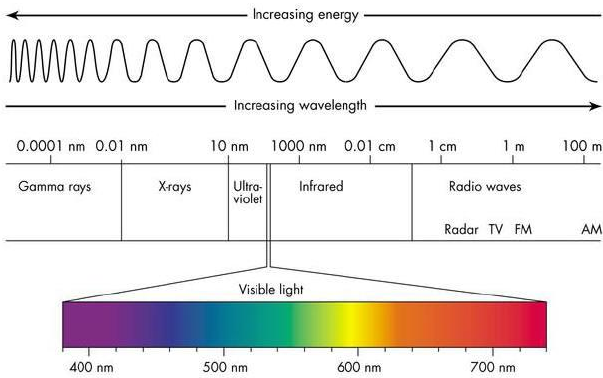
Sl. 1. Grafikon porasta kapaciteta u bit-ima kanala širine 1GHz u rasponu odnosa SNR 1 do 60dB.¹

S obzirom da je sveukupan propusni opseg manji od 7×10^9 bita, to je daleko od dovoljnog za povezivanje predviđenog broja IoT uređaja. Uz sva poboljšanja koja mogu doneti adekvatna kodiranja, MIMO višekanalni/antenski transmisioni sistemi sa adaptivnim beam-formingom i sl. očekuje se da radio deo EM spektra neće biti dovoljan. [2]

Kako sa porastom frekvencije u mikrotalasnom radio području već od $\lambda=10\text{mm}$ dolazi do pojačane jonizacije usled apsorpcije u H_2O i drugim atmosferskim elementima, sledeći veći transmisioni prozor u elektromagnetnom spektru se otvara tek u bliskom IR i vidljivom svetlosnom delu spektra u rasponu talasnih dužina od 1100 do 300nm. Ovaj takozvani „optički prozor“ u IR području u EM spektru je širine 800nm tj. $7,3 \times 10^{14}$ Hz i prostire se delom u bliskom

¹ Autori su za zadatak Shannon-ovu funkciju kreirali grafikon u alatu Wolfram Mathematica.

infracrvenom IR i UV delu spektra sa rasponom od $2,7 \times 10^{14}$ do 1×10^{15} . Ujedno to je slobodno, svima dostupno područje za korišćenje i ne zahteva licenciranje. Primenom navedenog svetlosnog područja pod sličnim uslovima kao kod postojećih RF kanala, a u skladu sa Šenonomovom teoremom i uslovima prikazanim slikom 1. (pri SNR odnosu od 50dB) mogao bi se postići propusni opseg od 4×10^{15} bita/s, što je za oko 1×10^6 više od svega trenutno raspoloživog u Radio EM spektru.



Sl. 2. Svetlosni opseg u elektromagnetnom spektru

LED (Light emitting diode) - svetlosno emitujuće diode predstavljaju tehnologiju koja omogućava korišćenje raspoloživog resursa uz veliku energetska efikasnost. Njihov rad počiva na korišćenju kvantne prirode fotonske emisije svetlosti u poluprovodnicima, gde se višak energije nastao kretanjem elektrona u zaprečnom sloju oslobađa u obliku fotona čija frekvencija zavisi od materijala od koga je napravljen poluprovodni sloj. Ono što je moguće sa njima postići je da se „pobuđuju“ tj. pale i gase velikim brzinama. To može biti iskorišćeno za direktno sekvencirano kodiranje, delimično za ortogonalno, jer se donekle može upravljati nivoom fotonske emisije tj. intenzitetom svetlosti. S obzirom da se LED diode proizvode u nekoliko različitih nijansi boja moguće je primenom odgovarajućih kolonih filtera na prijemu sprovesti i STC prostorno-vremensko kodiranje tj. svaka od boja može postati zaseban kanal. Jer usled svog dualizma svetlost pored kvantne prirode zadržava i talasnu, svojstvenu svim EM talasima tako da se može polarizovati i sl.

Stoga su LED diode idealan medijum za svetlosnu signalizaciju visokih učestalosti, pre svega za PAN (personal area network) i LAN rešenja. Standard IEEE 802.15.7-2011² je predvideo mogućnost postojanja 3 različita PHY (Physical Layer) operaciona moda kod kojih će se obezbediti do 96 Mb/s za Optical clock rate od 24MHz i 16-CSK modulaciju (PHY III op. Mode) [3][4]. Kako standard daje samo okvire, a ne i tehnologiju kojom bi se oni mogli ostvariti, treba spomenuti projekat RONJA (Reasonable Optical Near Joint Access) koji je 2010. godine sproveo Karel Kulhavý iz kompanije Twibright Labs gde je postignut prenos 10Mbps na razdaljinu do 1,4 km primenom

² Ovaj standard je namanjen da obezbedi adekvatne brzine prenosa dovoljne za audio i video multimedijalne servise. On vodi računa o mobilnosti uređaja koji treba da koriste vizuelni link, svetlosnom šumu interferencije, kao i bezbednosnim standardima i regulativama vezanim za vid.

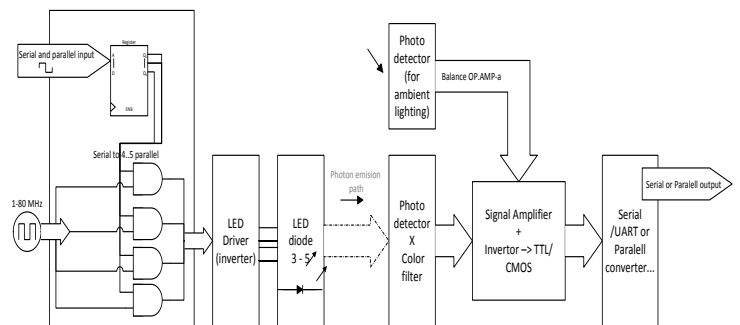
jednokolornog LED kanala. Takođe krajem 2015. godine profesor Herald Has sa Edinburškog univerziteta je predstavio koncept 100Gbps mreže primenom difuzno raspršenog snopa laserske LED diode u cilju smanjenja opasnosti po okolinu. [5][6]

U prethodnom istraživanju [7] predstavljen je model i analiza koncepta VLC – LiFi u PAN rešenju za svetlosnu opto–telekomunikaciju. Ovaj model se može primeniti za prenos podataka senzorskih IoT mreža na bazi komercijalno dostupnih elektronskih komponenata čija ukupna potrošnja ne prelazi 1W. Nadovezujući se na prethodno istraživanje predstaviceemo unapređeno rešenje sa svim problemima i izazovima sa kojima smo se suočili.

III MODEL VLC SISTEMA I REZULTATI PRIMENE

A. Predajno kolo

Na osnovu modela dijagrama koncepta razrađenog u radu [7] prikazanog na slici 3. usled potrebe za pronalazanjem što optimalnijeg, bržeg i energetski efikasnijeg dizajna predajnog i prijemnog kola koji bi nam garantovao pouzdan rad, uspešno okidanje predajnih LED dioda i prijem signala do brzina od 100MHz pristupili smo redizajnu rešenja.



Sl. 3. Blok dijagram prijemnog i predajnog bloka [5]

Potreba za podizanjem performansi predaje i prijema iznad 24MHz po primo – predajnom kanalu, kao i anomalija uočena na prethodnom rešenju pri radu sa radnim taktom od oko 48MHz zahtevala je analizu celog spektra trenutno dostupnih komercijalnih TTL/CMOS logičkih kola, sposobnih za rad u radnom području 2-5V sa izlaznom strujom većom od 10mA.

U tabeli I vide se brzine odziva/kašnjenja logičkih IC kola pod nominalnim radnim opterećenjem 3x LED diode u optimizovanom za tu namenu predajnom kolu (slika 4.) tako da su u funkciji ostale samo 3 LED diode. Pri čemu je zbog povećanja tačnosti merenja od slobodnih i jednog LED opterećenog, kreirana serijska veza 4 logička kola.

Prilikom merenja sistem je imao sledeće parametre $V_{cc}=5,1V \pm 0,05 V$, $C_{input/output} \approx 21nF$, $f = 5,0000MHz$ (slika 4.).

Nakon izbora 74AHC14 logičkog kola kao glavnog pokretača LED drajvera, usled potrebe da primenimo što efikasnije svetlosne LED diode, izvršena je reevaluacija svetlosnog intenziteta raspoloživih Ultrabright LED dioda. Rezultati merenja svetlosnog inteziteta su prikazani u tabeli II.

TABELA I
FORMATIRANJE STRANICE

Br.	IC oznaka	Kolo	TIP	TTL comp. input	tPLH (ns)	tPHL (ns)
1	74 ALS 04		Bi-polar	da	6,25	6,5
2	74 LS 04		Bi-polar	da	7,75	8,5
3	74 HCT 04		CMOS	da	10,1	12,3
4	74 HCU 04		CMOS	ne	4,12	5,25
5	74 F 04		Bi-polar	da	3,75	4,25
6	74 AC 04		CMOS	ne	3,86	4,14
6	74 ACT 04		CMOS	da	4,38	6,12
7	74 LS 14		Bi-polar	da	12,62	13
8	74 HC 14		CMOS	ne	6,87	8,5
9	74 HCT 14		CMOS	da	9,62	9,88
10	74 AC 14		CMOS	ne	3,88	4,12
11	74 ACT 14		CMOS	da	6,5	7
12	74 AS 1004A		Bi-polar	da	2,5	2,5
13	74 AS1034A		Bi-polar	da	3,5	3,25
14	74 AHC 04		CMOS	ne	2,78	2,9
15	74AHC14*		CMOS	ne	3,38	3,42

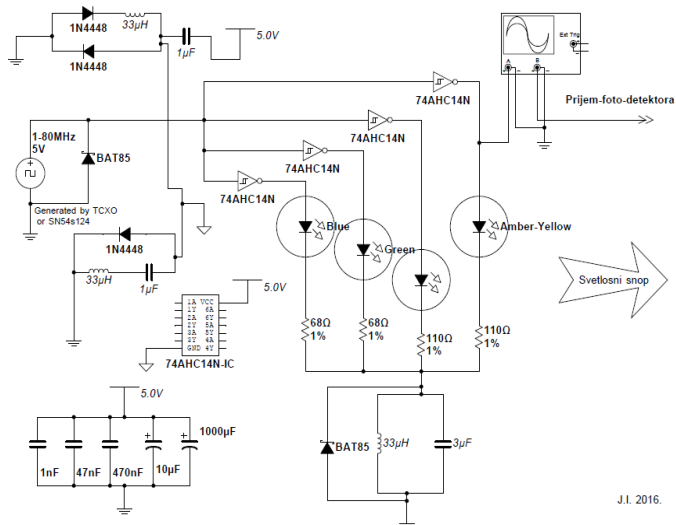
TABELA II

SVETLOSNI INTENZITET ULTRABRIGHT 5MM LED DIODA U KOLU LED DRAJVERA U ZAVISNOSTI OD UDALJENOSTI MERENJA

Br.	Opis	EV ₍₁₀₀₎ na 12cm	EV ₍₁₀₀₎ na 1m	Illum. (Lux) na 12cm	Illum. (Lux) na 1m	Ifc mA
1	Crvena, Kgb. 8000mcd	11,2	5,2	5881,34	91,90	11,3
2	Zelena, Kgb. 18000mcd	12	6	10240	160,0	7,20
3	Plava, Kgb. 18000mcd	11,8	5,4	8914,4	105,56	7,50
4	Crvena, LL 10560mcd	11,6	6	7760,5	160,0	11,6
5	Zelena, LL G53 15000mcd	11,6	5,7	7760,47	129,96	7,84
6	Plava, LL 12000mcd	10,8	4,9	4457,22	74,64	7,41
7	*1W HB Zelena,LL 70 lum	10,6	5,3	3880,23	98,49	431

Ovo je dodatno suzilo izbor mogućih IC kola pošto je za RGB LED kombinaciju potrebno da IC kolo ima Fan-out od minimum 50mA.

Analizom proširenog³ skupa od 15 različitih logičkih kola sličnih funkcija (invertorski, ne-invertorski drajveri sa ili bez Schmitt-trigger-a) raznih familija (AS, ASL, LS, F, HC, HCT, HCU, AC, ACT, AHC) u okviru 74 serije, zaključeno je da unapređeno 74AHC14 CMOS Schmitt-trigger invertorsko kolo sa $I_{oh}/I_{ol}=\pm 24mA$ i garantovanim maksimalnim $t_{pHL/LH}=8,6ns$ na 5,0V predstavlja bolju alternativu od prethodno korišćenog 74AC14. Sličnih karakteristika kao 74AC14⁴ kolo (vezano za dozvoljeno naponsko i strujno opterećenje) 74AHC14 CMOS IC kolo je na testovima pod opterećenjem uspešno održavalo nivo signala na oko 4,75-4,8V za raspon, dok mu je Fan-out od $\approx 24..75mA$ bio dovoljan za pokretanje 3 UB-LED diode sa strujom od $I_{fc}=20mA$. Ovo CMOS kolo zahvaljujući Schmitt-trigger histerizisnoj funkciji širine 1,6V je nešto otpornije na ulazne smetnje i ima strmiji ugao tj. brži odziv u V/ μs . Sprovođenjem mera kao što su kondicioniranje oblika signala brzim Schottky diodama, uvođenje oklopljenih talasovodiča, izborom odgovarajućih otpornosti sa tolerancijom od 1% (68R, 71R, 110R) prilagođenih pojedinačnom radnom režimu svake od UB dioda (da bi se postigao njihov svetlosni maksimum na $\sim 20mA$) zaokružena je predaja kao brzo rešenje do 100MHz, sa potrošnjom od $\sim 400mW$.



Slika 4. Optimizovano predajno LED driver kolo

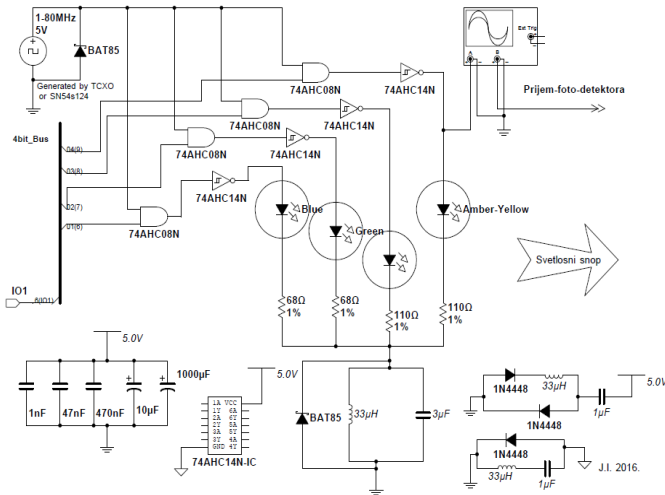
Interesantno je istaći da su sve Ultrabright LED dioda iz RGB serije proizvođača LuckyLight (LL) i Knightsbright(Kgb) već na početku radnog režima ($\sim 7..12mA$) postigle bolji intenzitet svetlosnog snopa od *izuzetno svetle* 70lum 1W Zelene High Brightness LL LED diode.

Kako bi se postiglo bolje iskorišćenje raspoloživih Ultrabright LED dioda predajno kolo je dodatno optimizovano, dodavanjem otpornika niske tolerancije sa vrednostima usklađenim sa visinom radnog napona svake od primenjenih dioda. Primenom ovih prilagođenih otpornosti postignuto je da svaka od predajnih dioda sa ulazom na CMOS nivou bude pobuđena sa $I_{fc}=20-21,5mA$. Ujedno to predstavlja područje u kome diode treba da pruže 100% od nominalne svetline.

Sledeći korak je bio ubacivanje odgovarajućeg logičkog kola („I“) kako bismo omogućili kodiranje tj. modulaciju nosećeg taktog signala sa serijskom ili paralelnom bit-nom sekvencom što je predviđeno blok dijagramom na slici 3., a čija se shema može videti na slici 5.

³ Prošireno u odnosu na prethodno istraživanje [5]

⁴ Texas Instruments Incorporated „SN54AC14, SN74AC14 HEX SCHMITT-TRIGGER INVERTERS“ DATASHEET - SCAS522F - AUGUST 1995 - REVISED OCTOBER 2003.



Sl. 5. Optimizovano predajno kolo sa 4-bitnom modulacionom logikom

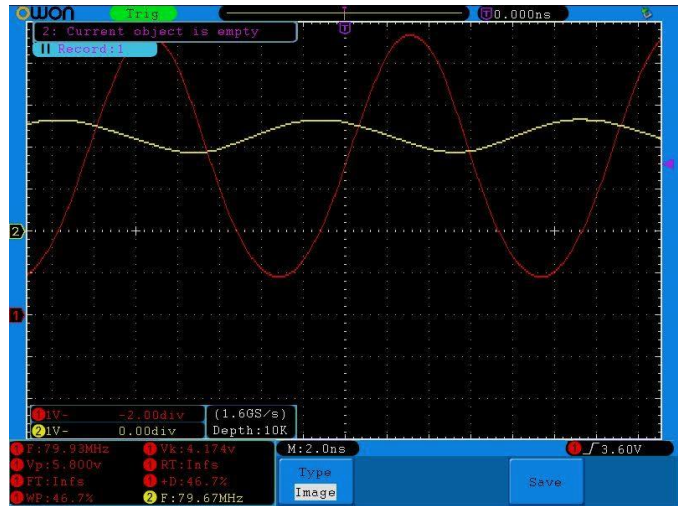
B. Prijemno kolo

Nakon testiranja i merenja brzine prenosa starog sistema u rasponu radnog takta od 2 pa od 80MHz RGB LED drajvera uz laboratorijske uslove izolacije RF zračenja i adekvatnu mernu⁵ opremu (Owon osciloskop, cezijumski generator takta...) detektovan je i potvrđen uspešan prenos svetlosnog pulsog signala od 80MHz ali na veoma maloj razdaljini od 5~10cm pri svetlosnom ambijentalnom fonu od oko $6.8EV_{(100)} = 278 \text{ lux-a}$. Na slici 6. može se videti izlaz sa Owon SDS9302 (300 MHz, 3.2 GS/s, 10M rec.) osciloskopa. Na slici se vidi crveni taktni signal meren na anodnom pinu jedne od predajnih LED dioda, dok je žutom linijom predstavljen primljeni signal na izlazu jednokanalnog foto prijemnog bloka predstavljenog u prethodnom radu. Bez obzira na jasno uočen oblik signala, problem predstavlja njegov mali intenzitet, nešto veći od 0,5V.

Kako intenzitet svetlosne emisije opada sa kvadratom rastojanja ovakav nivo signala bi bio praktično neupotrebljiv. Kako je naš cilj bio razvoj rešenja koje bi obezbedilo prenos podataka u PAN okruženju, prilagođeno potrošnji i zahtevima SoC/mikrokontrolerskih razvojnih sistema i IoT/senzorskih mreža bila su neophodna unapređenja. S obzirom da smo u prethodnom odeljku predstavili novi optimizovani predajni blok koji može da pruži maksimum iz jedne serije RGB ili RGBY LED dioda, u prijemnom delu ćemo predstaviti novi dizajn trostepenog jednokanalnog foto prijemnog bloka.

Foto-prijemni blok inicijalno je dizajniran uz pomoć alata kompanije Analog Devices za simulaciju i dizajn fotodetektora i simulatora (LTSPICE, NI Multisim i dr.) ali se finalni dizajn rešenja drastično razlikuje usled praktičnih iskustava do kojih smo dolazili tokom razvoja i eksperimenata.

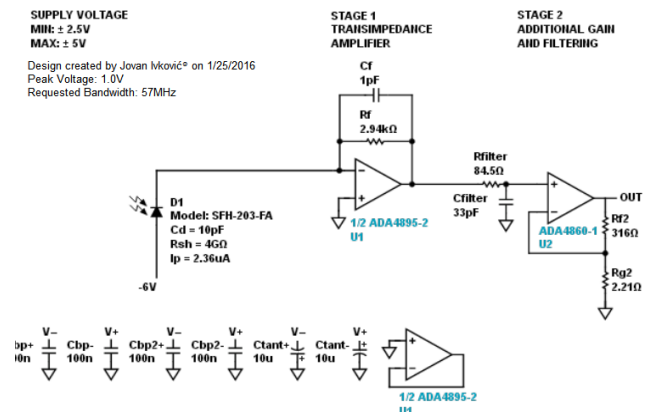
⁵ Uz podršku Tehničkog opitnog centra Vojske Srbije, Laboratorija za elektroniku i RF merenja.



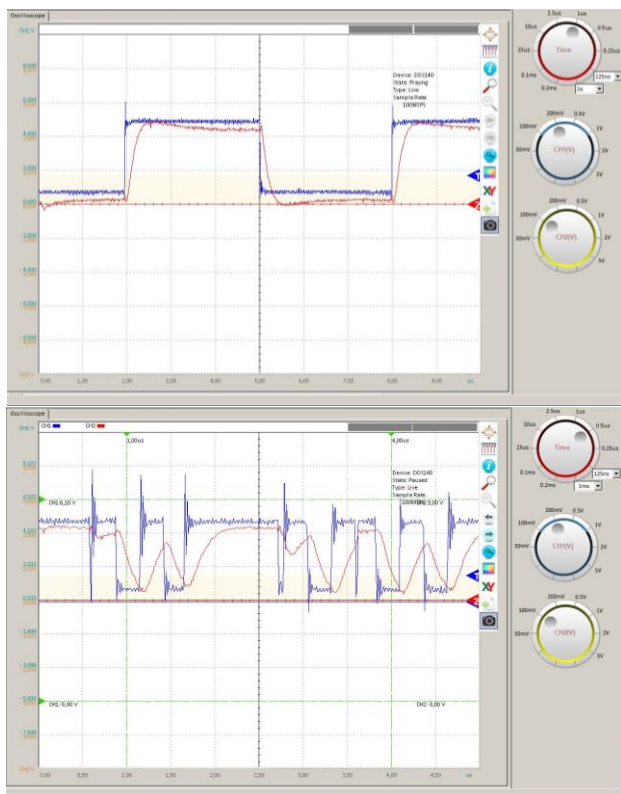
Sl. 6. Rezultat merenja svetlosne prenosne funkcije RGB LED drajvera u fotodetektoru [7]

Broj nepoznatih faktora u ovakvim slučajevima mnogo veći od uskog skupa sa kojima barataju simulatori, stoga je potreba za empirijskim istraživanjem od ključnog značaja.

Težeći da celo rešenje dovedemo do mogućeg maksimuma primenom protoboard i DIP elemenata (korišćeni su elementi pristupačne cene, jer je to polazna pretpostavka obezbeđivanja masovnosti i upotrebljivosti za razvojne i IoT/senzorske sisteme) zadržali smo veoma brze AD8055AN 300MHz operacione pojačivače (Voltage Feedback Amplifiers). Njihova karakteristika je ravan frekventni odziv pojačanja do 40MHz (Gain flatness 0.1 dB) i radni opseg do 300MHz [8]. Primenom 3 pojačivača sa AD8055AN prevazišli smo karakteristike koje bi nam obezbedio skuplji dizajn na bazi SOT/SOIC dvostepenog dizajna sa ADA4895-2 i ADA4860-1 od 57MHz za Vp-p = 1V [9] za SHP 203P / SHP 213 foto diodu [10] (slika 7.). Ideja o pojačavanju foto prijemnog kanala javila se usled potrebe da prijem bude osetljiviji na veće frekvencije i da za njih daje izlazni signal dovoljno visokog nivoa. Uz ograničenja po kome IEEE/IEC 802.15.7-2011 predviđa da „Optical clock rate“ za „PHY III“ Fmax bude 24Mhz i uz činjenicu da je prekidna frekvencija primenjenih IR dioda takođe 24MHz, ovo pojačanje treba da obezbedi da sa padom nivoa signala usled povećanja razdaljine, prijemnik i dalje može da detektuje i razluči signal od pozadinskog šuma.



Sl. 7. Dvostepeni fotodetektorski blok – idejno rešenje.



Sl. 10. Ilustracija prenosa serijskog signala od 163kHz (gore) i random-bit modulisan 470kHz signal na noseći takt od 1.83MHz (dole).

Na slici 10. vidi se izgled poslatog modulisanog taktog signala i njegov izgled po prijemu u jednokanalnom foto prijemnom bloku na razdaljini od 1m ($\pm 0,002m$) pri ambijentalnom svetlu u prostoriji od oko 350 lux. Pri čemu je modulisan takt nešto veći do standardnog tj. 163kHz.

Nažalost uzrok problema je *zbirna kapacitivnost* prijemnih linija fotodetektora, linija na protoboard-u i pojedinačnih foto dioda koja je veća od 5-10pF. Sama po sebi ova vrednost usporava rast i opadanje T_r/T_f signala za više od 300ns. Posledica toga je da za frekvencije signala veće od graničnih $1/2x$ (T_r+T_f) signal gubi na intenzitetu u funkciji povećanja frekvencije.

V ZAKLJUČAK

U ovom trenutku razvili smo sistem sposoban da prenese svetlosni signal na nekoliko metara. Pri čemu visina napona na prijemu prelazi 3V i direktno je upotrebljiva ali uz uslov da je noseća frekvencija po kanalu manja od maksimalne frekvencije pune pobude LED dioda. I pored ovog ograničenja rešenje je u stanju da na kratkim rastojanjima moduliše nivo signala LED dioda veći od 80MHz po kolornom kanalu. U slučaju da je unapred predefinisana modulaciona frekvencija predaje, moguće je primenom prijemnog ugađanja (tuninga) na prijemnoj strani uspešno primeniti i mnogo slabije signale frekvencija većih od 80MHz. Ako uzmemo u obzir da se svaki kolorni kanal može uz primenu odgovarajućih filtera odvojiti i na taj način prostorno-vremenski kodirati i polarizovati, moguće je ostvariti prenos od 360 - 400Mbit/s, a što će biti tema budućih istraživanja.

U ovom trenutku predstavljeni model sistema je sposoban za primenu u SoC/mikrokontrolerskim i IoT/senzorskim

sistemima primenom kodiranja putem direktne sekvence.

ZAHVALNICA

Autori žele da se zahvale: g-di Jeleni Lužija Ivković na pomoći, kompaniji Insel elektronika d.o.o. Novi Sad na podršci u razvoju sa retkim delovima, kao i Tehničkom opitnom centru Vojske Srbije.

LITERATURA

- [1] McKinsey & Company, objavljeno: 13 Aprila 2015. Slide:http://www.slideshare.net/McKinseyCompany/no-ordinary-disruption-the-four-forces/3-iii_II_II_ils_I
- [2] Hanzo, L.; Haas, H.; Imre, S.; O'Brien, D.; Rupp, M.; Gyongyosi, L.; "Wireless myths, realities, and futures: from 3G/4G to optical and quantum wireless," Proc. IEEE 100(13), p.p. 1853–1888, (2012).
- [3] IEEE 802.15.7 Working group for WPAN, "Short-range wireless optical communication using visible light," (2011), <http://www.ieee802.org/15/>
- [4] IEEE802 Part15.7: "PHY and MAC standard for short-range wireless optical communication using visible light". (Draft 4), December 2010.
- [5] Elgala., H.; Mesleh., R.; Haas., H. "Indoor optical wireless communication: potential and state-of-the-art", Communications Magazine, IEEE (Volume:49, Issue: 9), Page(s): 56 - 62, ISSN :0163-6804, DOI:10.1109/MCOM.2011.6011734, September, 2011
- [6] Tsonev., D., Videv., S., and Haas., H. "Towards a 100 Gb/s visible light wireless access network" Li-Fi R&D Centre, Institute for Digital Communications, University of Edinburgh Edinburgh, UK. Published on 2015 Optical Society of America.
- [7] Ivkovic, J., Odadzic, B.: Analysis of Visible Light Communication System for Implementation in Sensor Networks. XV International Conference INFOTEH-JAHORINA 2016. (IEEE BiH, RS, MNE section) Sarajevo, BiH. 2016., ISBN 978-99955-763-9-4, KST-1-15.
- [8] A.D. Inc. <http://www.analog.com/en/products/amplifiers/operational-amplifiers.html>; visited 01.03.2016.
- [9] Analog Devices Inc. „2 MHz Bandwidth PIN Photodiode Preamp with Dark Current Compensation“ Circuit Note CN-0272, Analog Devices, Inc. USA, 2012-2013.
- [10] OSRAM Opto Semiconductors, (OSRAM GmbH) http://www.osram-os.com/osram_os/en/; visited 01.03.2016.
- [11] Ivkovic, J., Radulovic, B.: The Advantages of Using Raspberry Pi 3 Compared to Raspberry Pi 2 SoC Computers for Sensor System Support. (work accepted for) International Conference AIIT 2016, Bitola, FMRY Macedonia
- [12] Ivkovic, J., Veljovic, A.: ODROID-XU4 as a desktop PC and Microcontroller Development boards Alternative: 6th International Conference TI2016, Faculty of Technical Sciences, Čačak, Serbia

ABSTRACT

This work is a continuation of research in the field of analysis, modeling and establishing an optimal model PAN VLC opto – telecommunications between SoC development computer, microcontroller, IoT and sensor systems. The work presents the concept and design solutions of receive – transmitting electronic circuits intended to establish peer – to – peer communication over short distances between devices with high energy efficiency. A large number of such devices in a relatively area is somewhat of a challenge when we consider the expectations for these devices operating in the available classic transceiver ISM RF fields, currently available, on the other hand the width of the available range of the light part of spectrum represent a huge potential.

Model of multichannel VLC opto-telecommunications between the SoC development and IoT/sensor system

Jovan Ivković, Alempije Veljović