

PŘÍSPĚVEK K APLIKACI PROGRAMOVÉHO PROSTŘEDÍ MATLAB PŘI ANALÝZE A NÁVRHU OPTICKÉHO PŘENOSOVÉHO SYSTÉMU MIKROVLNNÝCH SIGNÁLŮ.

Aneta COUFALÍKOVÁ, Miroslav TITL

Univerzita obrany v Brně

Anotace:

Příspěvek se týká dílčích výsledků studentské aktivity aplikace MATLABu při počítačové podpoře analýzy a návrhu optického přenosového systému mikrovlenných signálů (dále jen OPSMS) vláknovými vlnovody. Optimalizace analýzy a návrhu OPSMS vychází z matematicko-fyzikálních relací mezi základními systémovými parametry, které jsou implementovány do počítačového programu v prostředí MATLAB. Výsledky jsou uváděny v graficko-analytické presentaci a textovém doprovodu s možností kontinuální optimalizace výsledků analýzy pro návrh OPSMS.

1 Úvod

Hlavním cílem studentské aktivity, jejíž komplexní výsledky jsou uvedeny ve výzkumné zprávě [1], bylo navrhnout a optimalizovat koncepci přenosu analogových a digitálních rádiových signálů, speciálně mikrovlenných signálů, v gigahertzovém kmitočtovém pásmu s optickými vláknovými vlnovody na vzdálenost řádově desítky kilometrů.

V příspěvku je presentován dílčí výsledek počítačové implementace více-parametrických korelací analýzy a optimalizace návrhu koncepce OPSMS v programovém prostředí MATLAB

2 Počítačová implementace matematicko-fyzikálních více-parametrických korelací analýzy a návrhu OPSMS

S ohledem na dosažení hlavního cíle, uvedeného výše, byly definovány dílčí cíle jejichž obsahem bylo provedení rozboru technologického řešení jednotlivých komponent a matematicko-fyzikální analýza subsystémů OPSMS se zaměřením na výpočet systémových parametrů trasy, dále vytvoření metodiky realizace navržené koncepce OPSMS pro konkrétní technologické komponenty a konečně implementace počítačové podpory v prostředí MATLAB realizované programem s grafickými výstupy, umožňující optimalizovat parametry OPSMS z hlediska aktuálních potřeb.

Rozsah originálu aplikace [1] je 80 stran textu a tudíž přesahuje možnosti této publikace. Originál aplikace řeší komplexně počítačovou podporu analýzy a optimalizace koncepce OPSMS z hlediska návrhu vstupních parametrů, výpočtu účinnosti optického přijímače, relace mezi poměrem SNR a BER, optických ztrát, energetické bilance spoje, návrhu parametrů zesilovačů, šumových omezení, dynamického rozsahu a intermodulačního zkreslení.

Matematicko-fyzikální báze popisu výše uvedených systémových hledisek je uvedena v již citovaném originále [1] a je východiskem pro počítačovou implementaci programu více-parametrických korelací. Limitní možnosti byly dány návrhem technologie optických komponentů na základě katalogů společnosti ORTEL [2].

Aby bylo možné provést návrh konkrétního řešení, musíme znát požadavky kladené na navrhovaný přenosový systém, včetně parametrů vstupního signálu, ale i parametry jednotlivých konkrétních komponentů[2].

V rámci splnění požadavků na tuto publikaci, bude dále presentován pouze výběr několika aplikací ze zprávy [1] počítačové podpory analýzy a optimalizace OPSMS s odpovídajícími výpisy programů a souvisejícím grafickým zobrazením více-parametrických korelací systémové optimalizace OPSMS.

Počítačovou podporou optimalizace návrhu OPSMS je originální program vytvořený v programovém prostředí Matlab 6.5 R13. Program postupně počítá více-parametrické korelace a převádí je do grafické podoby. Z grafů je možné určit optimální hodnoty zvolených parametrů přenosového systému podle zadaných kritérií.

2.1 Výpisy programů více-parametrických korelací OPSMS

Ve výpisech programů byla použita následující symbolika systémových parametrů:

$A_{xxx, zzz}$	- parametr A prvku xxx vyjádřený v jednotkách zzz
a	- poloměr jádra vlnovodu [m]
B_0	- šířka pásma přenášeného signálu, šířka pásma jednoho kanálu [Hz]
BER	- parametr chybovost přenosového kanálu [-]
$BW_{dB/Hz}$	- šířka pásma přenášeného signálu vztažená k 1Hz
CW	- stálý výkon (continues wave) [mW]
con	- počet konektorů [ks]
D_λ	- koeficient materiálové disperze [$s \cdot m^{-2}$]
D_ω	- koeficient vlnové disperze [$s \cdot m^{-2}$]
DFB	- rozprostřená zpětná vazba (Distributed FeedBack)
DR_{1dB}	- dynamický rozsah odpovídající poklesu signálu o 1dB obecně
DR_{app}	- dynamický rozsah aplikace [dB]
EIN	- ekvivalentní vstupní šum (Equivalent Input Noise) obecně
EIN_{xxx}	- výkon ekvivalentního vstupního šumu daného prvku
f	- frekvence obecně
FP	- Fabry-Perot laserová dioda
G	- zisk obecně
G_{xxx}	- zisk daného prvku
I_0	- proud odpovídající pracovnímu bodu laserové diody, fotodiody [mA]
I_{in}	- vstupní proud optického vysílače [mA]
I_{out}	- výstupní proud optického přijímače [mA]
I_{th}	- prahový proud laserové diody [mA]
k	- Boltzmannova konstanta
L	- délka vlákna [km]
LD	- laserová dioda
LED	- LED diody (Light-Emitting Diode)
L_{opt}	- optické ztráty obecně, poměrově
$L_{opt, dB}$	- optické ztráty v decibelovém vyjádření [dB]
$L_{RF, dB}$	- optické ztráty přepočítané na elektrické ztráty [dB]
M_{DC}	- modulační zisk laserové diody [mW/mA]
n	- polovodič typu n
n	- index lomu vlnovodu
$Noise_{kanal}$	- šum v jednom přenášeném kanálu [dBm]
$Noise_{out}$	- výstupní šum spoje obecně
NF	- šumové číslo obecně
NF_{xxx}	- šumové číslo prvku xxx obecně
p	- polovodič typu p

P_{1dB}	- parametr bod jednodécibellové komprese [dBm]
P_{laser}	- výkon laserové diody [mW]
$P_{opt, vys}$	- optický výkon laserové diody [mW]
$P_{opt, prij}$	- optický výkon dopadající na aktivní plochu fotodiody [mW]
r_{pd}	- citlivost fotodiody [mA/mW]
R_{in}	- vstupní odpor optického vysílače [Ω]
R_{pd}	- vnitřní odpor optického přijímače sloužící k odporovému přizpůsobení [Ω]
R_{out}	- výstupní odpor optického přijímače [Ω]
RC	- časová konstanta RC článku
RIN	- relativní šumová intenzita laserové diody (Relative Intensity Noise) [dB/Hz]
SFRD	- dynamický rozsah systému (Spur Free Dynamic Range) [dB]
T_0	- šumová teplota [K]
TOI	- parametr laserové diody (Third Order Intercept) [dBm]
α	- charakteristický útlum optického vlákna [dB/km]
α_{con}	- vložený útlum konektoru [dB/kon]
λ_0	- operační vlnová délka spoje [nm]
η_{Tx}	- účinnost vysílače [mW/mA]
η_{Rx}	- účinnost přijímače [mA/mW]
σ_λ	- spektrální šířka zdroje záření [nm]
σ_r	- parametr rozšíření vstupního impulsu po průchodu optickým vlnovodem [ps]

Vybrané výpisy programu “Optimalizace“

Vliv účinnosti vysílače a optických ztrát na zisk trasy (Obr.1)

clf

```
GlinkdB=0;
UcPrij=0.375;
UcVys=0.02:0.01:0.16;
k=size(UcVys);
for p=1:15;
    GlinkdB(p)=20*log10(UcVys(p)*UcPrij);
end
```

```
subplot(121),plot(UcVys,GlinkdB,'r');
set(gca,'XGrid','on','YGrid','on');
title('Vztah mezi účinností vysílače a ziskem trasy pro bezeztrátové vedení');
xlabel('Účinnost vysílače [mW/mA]');
ylabel('Zisk trasy [dB]');
hold on
pause
```

```
GlinkdB=0;
L=0:1:10;
k=size(L);
p=1;
```

```
UcVys=0.16;
for p=1:11;
    LoptdB(p)=L(p)*0.4;
    GlinkdB(p)=20*log10(UcVys*UcPrij)-2*LoptdB(p);
end
```

```

GlinkdBG=GlinkdB+47;
subplot(122),plot(L,GlinkdB,'r');
set(gca,'XGrid','on','YGrid','on');
title('Vztah mezi délkou trasy a ziskem trasy pro ztrátové vedení');
xlabel('Délka trasy [km]');
ylabel('Zisk trasy [dB]');
hold on

UcVys=0.10;
for p=1:11;
    LoptdB(p)=L(p)*0.4;
    GlinkdB(p)=20*log10(UcVys*UcPrij)-2*LoptdB(p);
end

subplot(122),plot(L,GlinkdB,'g');
hold on

UcVys=0.04;
for p=1:11;
    LoptdB(p)=L(p)*0.4;
    GlinkdB(p)=20*log10(UcVys*UcPrij)-2*LoptdB(p);
end

subplot(122),plot(L,GlinkdB);
hold on
legend('0.16 mW/mA','0.10 mW/mA','0.04 mW/mA',3);
pause

L=0:1:20;
k=size(L);

LoptdB1=0;
LoptdB2=0;
GlinkdB1=0;
GlinkdB2=0;
GlinkdB3=0;
GlinkdB4=0;
con=0;

for p=1:21;
if p<8
    con(p)=0; %počet konektorů
    LoptdB1(p)=L(p)*0.4+con(p)*0.5; % dB,a=0.4 pro l=1310nm
    GlinkdB1(p)=20*log10(0.02*0.375)-2*LoptdB1(p); %dB, LD norm,FP LD
    GlinkdB2(p)=20*log10(0.16*0.375)-2*LoptdB1(p); %dB, LD super,DFB LD
    LoptdB2(p)=L(p)*0.3+con(p)*0.5; %dB, =0.3 pro l=1550nm, DFB LD
    GlinkdB3(p)=20*log10(0.05*0.375)-2*LoptdB2(p); %dB, LD min Mdc
    GlinkdB4(p)=20*log10(0.1*0.375)-2*LoptdB2(p); %dB, LD typ Mdc
    GlinkdB1G(p)=GlinkdB1(p)+47;
    GlinkdB2G(p)=GlinkdB2(p)+47;
    GlinkdB3G(p)=GlinkdB3(p)+47;
    GlinkdB4G(p)=GlinkdB4(p)+47;
elseif (7<p)&(p<16)
    con(p)=1; %počet konektorů
    LoptdB1(p)=L(p)*0.4+con(p)*0.5; % dB,a=0.4 pro l=1310nm
    GlinkdB1(p)=20*log10(0.02*0.375)-2*LoptdB1(p); %dB, LD norm,FP LD
    GlinkdB2(p)=20*log10(0.16*0.375)-2*LoptdB1(p); %dB, LD super,DFB LD
    LoptdB2(p)=L(p)*0.3+con(p)*0.5; %dB, =0.3 pro l=1550nm
    GlinkdB3(p)=20*log10(0.05*0.375)-2*LoptdB2(p); %dB, LD min Mdc
    GlinkdB4(p)=20*log10(0.1*0.375)-2*LoptdB2(p); %dB, LD typ Mdc
    GlinkdB1G(p)=GlinkdB1(p)+47;
    GlinkdB2G(p)=GlinkdB2(p)+47;

```

```

GlinkdB3G(p)=GlinkdB3(p)+47;
GlinkdB4G(p)=GlinkdB4(p)+47;
else
con(p)=2; %počet konektorů
LoptdB1(p)=L(p)*0.4+con(p)*0.5; % dB, a=0.4 pro l=1310nm
GlinkdB1(p)=20*log10(0.02*0.375)-2*LoptdB1(p); %dB, LD norm,FP LD
GlinkdB2(p)=20*log10(0.16*0.375)-2*LoptdB1(p); %dB, LD super,DFB LD
LoptdB2(p)=L(p)*0.3+con(p)*0.5; %dB, =0.3 pro l=1550nm
GlinkdB3(p)=20*log10(0.05*0.375)-2*LoptdB2(p); %dB, LD min Mdc
GlinkdB4(p)=20*log10(0.1*0.375)-2*LoptdB2(p); %dB, LD typ Mdc
GlinkdB1G(p)=GlinkdB1(p)+47;
GlinkdB2G(p)=GlinkdB2(p)+47;
GlinkdB3G(p)=GlinkdB3(p)+47;
GlinkdB4G(p)=GlinkdB4(p)+47;
end
end

subplot(131),plot(L,GlinkdB1,'r-',L,GlinkdB2,'r-',L,GlinkdB1G,'r-',L,GlinkdB2G,'r-'); %graf pro 1310nm
legend('min uc. vysílance, bez zesílení','typ uc. vysílance, bez zesílení','min uc. vysílance, zesílení ','typ
uc. vysílance, zesílení');
set(gca,'XGrid','on','YGrid','on');
title('\Vliv uc.vys. na zisk trasy pro 1310nm');
xlabel('Délka spoje [km]');
ylabel('Zist trasy [dB]');

subplot(132),plot(L,GlinkdB3,'b-',L,GlinkdB4,'b-',L,GlinkdB3G,'b-',L,GlinkdB4G,'b-'); %graf pro
1550nm
legend('min uc. vysílance, bez zesílení','typ uc. vysílance, bez zesílení','min uc. vysílance, zesílení ','typ
uc. vysílance, zesílení');
set(gca,'XGrid','on','YGrid','on');
title('\Vliv uc.vys. na zisk trasy pro 1550nm');
xlabel('Délka spoje [km]');
ylabel('Zist trasy [dB]');

subplot(133),plot(L,GlinkdB1,'r-',L,GlinkdB2,'r-',L,GlinkdB3,'b-',L,GlinkdB4,'b-',...
L,GlinkdB1G,'r-',L,GlinkdB2G,'r-',L,GlinkdB3G,'b-',L,GlinkdB4G,'b-'); %); %obě vln.délky
%legend('min uc. vysílance, 1310nm','max uc. vysílance, 1310nm','min uc. vysílance, 1550nm','typ uc.
vysílance, 1550nm',3);
set(gca,'XGrid','on','YGrid','on');
title('\Vliv uc.vys. na zisk trasy');
xlabel('Délka spoje [km]');
ylabel('Zist trasy [dB]');
pause

```

Dynamický rozsah (Obr.2)

```

smin=-19;
smax=-10;
Bo=1e9;

SNR=10:4:90;
DRapp=smax-smin+SNR;
IIP3=22;
SFDR1=2/3*(IIP3-EINcdB1-10*log10(1e8));
SFDR2=2/3*(IIP3-EINcdB1-10*log10(1e9));
SFDR3=2/3*(IIP3-EINcdB1-10*log10(1e10));
plot(SNR,SFDR1,'b',SNR,SFDR2,'g',SNR,SFDR3,'m',SNR,DRapp,'r-');
grid on
title('Dynamický rozsah - IIP3=22dB');
xlabel('SNR [dB]');

```

```

ylabel('SFDR [dB]');
legend('100MHz','1GHz','10GHz','DRapp');
hold on
plot([25 25],[0 100],'k');
hold on

pause

IIP3=35;
SFDR1=2/3*(IIP3-EINcdB1-10*log10(1e8));
SFDR2=2/3*(IIP3-EINcdB1-10*log10(1e9));
SFDR3=2/3*(IIP3-EINcdB1-10*log10(1e10));
plot(SNR,SFDR1,'b-.',SNR,SFDR2,'g-.',SNR,SFDR3,'m-.',SNR,DRapp,'r--');
grid on
title('Dynamický rozsah - IIP3=35dB');
xlabel('SNR [dB]');
ylabel('SFDR [dB]');
legend('100MHz','1GHz','10GHz','DRapp');
pause

```

BER a SNR pro přímou intenzitní modulaci, amplitudové klíčování (Obr.3)

```

clc
clf

BER=1e-12:1e-10:1e-6;
k=size(BER);
for p=1:10000;
    SNR(p)=log10((1/(2*BER(p)))^4);
end

subplot(121),plot(SNR,BER);
grid on
set(gca,'XScale','lin','YScale','lin');
xlabel('SNR [dB]');
ylabel('BER [-]');
title('Vztah mezi SNR a BER')
hold on

subplot(122),plot(SNR,BER);
grid on
set(gca,'XScale','lin','YScale','log');
hold on
plot([25 25],[1e-12 1e-6],'r');
plot([10 50],[1e-9 1e-9],'r');
xlabel('SNR [dB]');
ylabel('BER [-]');
title('Vztah mezi SNR a BER')

%závěr

k=input('Přejete si program zopakovat? (0=NE 1=ANO 2=ukončení Matlabu)');
if k==0
    clc;
    close;
elseif k==1
    clc;
    close;
    run CELEK;
elseif k==2

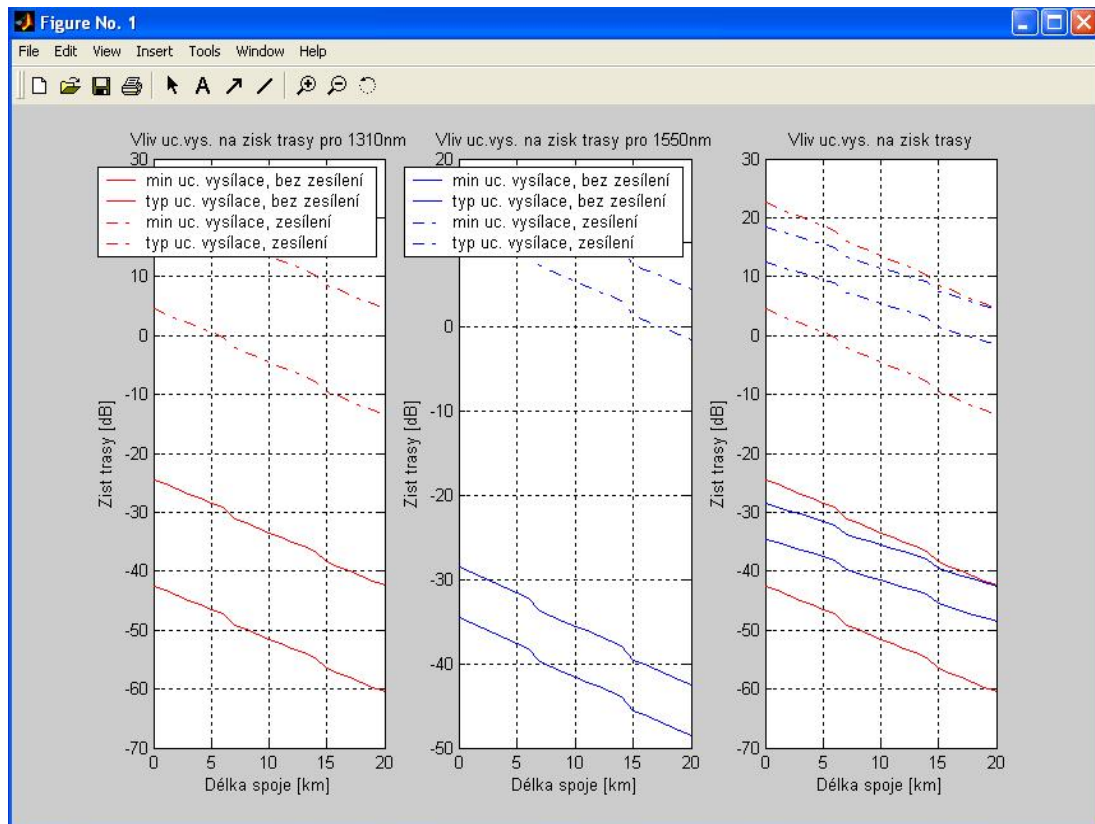
```

```

clc;
close;
exit;
else clc;
close;
end

```

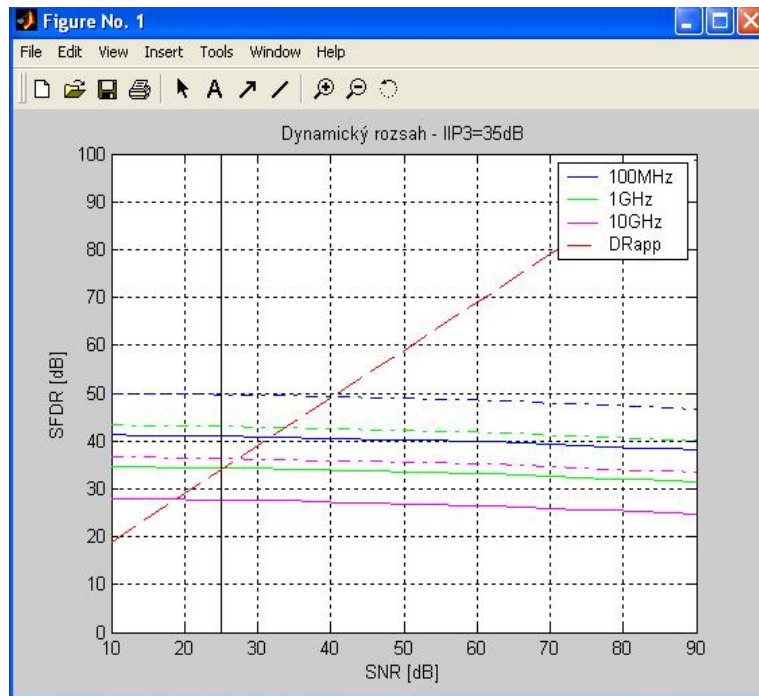
2.2 Vybrané grafické výsledky počítačové podpory analýzy a optimalizace OPSMS



Obr. 1. Vliv účinnosti vysílače a vlnové délky na zisk trasy

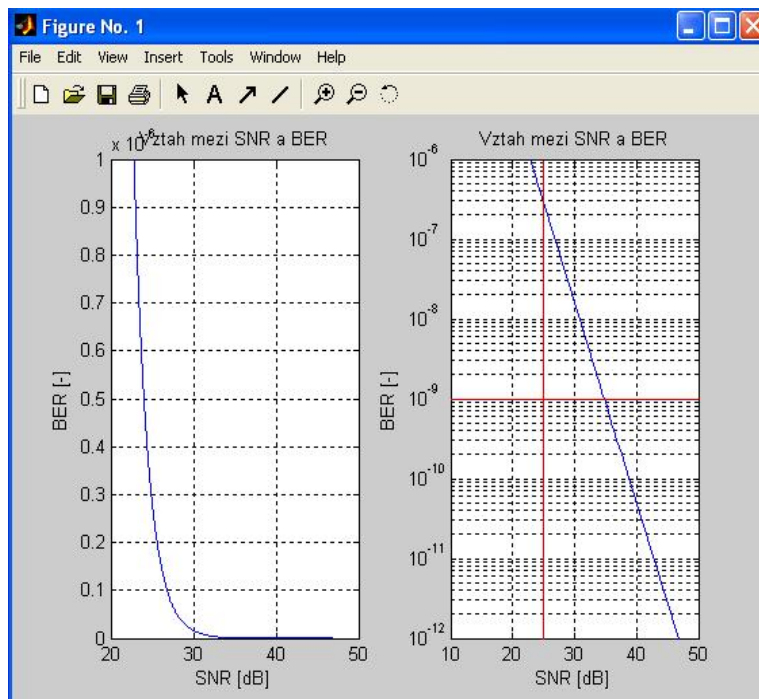
Na obr. 1 je patrná změna zisku trasy při zařazení zesilovačů. Křivky minimální a typické účinnosti vysílače vymezují hranice pásem, ve kterých se pohybuje hodnota zisku trasy. Šířka pásma pro vlnovou délku 1550 nm je užší než šířka pásma pro vlnovou délku 1310 nm což je způsobeno užším intervalem hodnot účinnosti vysílače pro laserovou diodu. Náhlé poklesy křivek jsou způsobeny zvýšením útlumu vlivem zařazených konektorů

Po srovnání pásem obou vlnových délek na třetím grafu obr. 1 je patrné, že systém vyhovuje podmínce nulového zisku trasy pro obě vlnové délky.



Obr. 2. Dynamický rozsah

Při zvýšení parametru IIP3 z 22 dB na 35 dB a porovnání hodnot parametru SFDR pro různé šířky přenosového pásma kanálu s dynamickým rozsahem aplikace můžeme konstatovat podle obr. 2, že volba předzesilovače by byla v tomto případě správná, protože dynamický rozsah aplikace je menší pro všechny tři hodnoty šířky přenosového pásma kanálu. S rostoucím parametrem IIP3 roste i parametr SFDR



Obr. 3. Vztah mezi SNR a BER

Z grafů na obr.3 můžeme vidět vztah mezi chybovostí a parametrem SNR. Parametr BER exponenciálně klesá se vzrůstem parametru SNR. Chybovost klesne téměř o tři řády při zlepšení odstupu signál/šum o 10 dB.

U OPSMS se uvádí chybovost 10^{-9} . Tuto hranici systém nepřekročí, pokud parametr SNR nebude menší než 35 dB, jak ukazuje druhý graf. Při zadaném parametru SNR = 25 dB je chybovost větší než 10^{-7} .

3 Závěr

V příspěvku byly uvedeny vybrané výsledky aplikace programového prostředí MATLAB pro potřeby vysoce efektivní analýzy a optimalizace OPSMS jejíž komplexní výsledky jsou předmětem výzkumné zprávy vypracované v rámci studentské tvůrčí aktivity.

Literatura:

- [1] Coufalíková, A.- Titl, M.: Analýza a optimalizace optických komunikačních systémů s vláknovými vlnovody při přenosech mikrovlnných signálů. Výzkumná zpráva. Univerzita obrany Brno, 2004.
- [2] Katalogové listy fy Ortel. WWW stránky fy. Ortel: www.ortel.com, 1999

E-mail a telefon:

Aneta.Coufalikova@unob.cz

973 444 824

Miroslav.Titl@vabo.cz

973 444 801

Poštovní adresa:

Aneta Coufalíková

Univerzita obrany v Brně

Kounicova 65

612 00 BRNO