

VEZA IZMEĐU OPTIČKOG Q FAKTORA I BER ZA TELEKOMUNIKACIONU MREŽU SA BITSKIM PROTOKOM OD 10Gbit/s

Andrija Kunarac, dipl.inž.
"Telekom Srbija" a.d.

1. UVOD

U prošlosti postojala su dva načina za procenu performansi optičkih mreža. Jedan od načina je bio pristup ograničen na optičkom nivou. Na optičkom nivou možemo meriti talasne dužine i nivoe snaga pojedinačnih DWDM kanala isto tako dobro kao optički odnos signal/šum (OSNR). Na električnom nivou, možemo direktno odrediti BER, koji je aktuelni kriterijum kvaliteta. Za DWDM sisteme to je bezuslovno proces kanal po kanal. Instrument za merenje optičkog Q faktora kontroliše amplitudu i faznu raspodelu po redu i izračunava BER korišćenjem statističkih metoda. To znači da rezultate za BER u opsegu od 10^{-4} do 10^{-40} možemo dobiti za manje od jedne minute. Ova tehnika ima neke važne prednosti:

- radi nezavisno od brzine prenosa, formata podataka i tipa transportovanih servisa
- vreme merenja je nezavisno od BER
- rezultat reflektuje istinski kvalitet signala na linku.

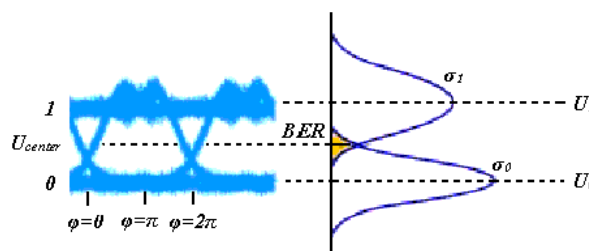
Optički Q faktor je parametar koji direktno reflektuje kvalitet optičkog komunikacionog signala. To je standardni matematički simbol za Gauss-ov integral greške. Optički Q faktor se određuje monitoringom amplitude i faze signala na električnom nivou. Korišćenjem statističkih tehnika, tada je moguće odrediti Q faktor koji odgovara optimalnim uslovima uzorkovanja. Procedura je prema tome fundamentalno različita od testa BER. Postoje veze između Q faktora i BER, pošto su oštećenja signala stohastički raspodeljena. U ovom radu izrađen je simulacioni model za optički komunikacioni sistem sa bitskim protokom od 10Gbit/s i na osnovu njega dobijena je veza između ova dva parametra za konkretan sistem.

2. OPTIČKI Q FAKTOR I BER (TEORIJSKO RAZMATRANJE)

Slika 1 prikazuje tipičan dijagram oka. Što je veći otvor oka, više tačnih "1" i "0" će biti detektovano, čineći niži BER. Instrument za merenje optičkog Q faktora uzima nekoliko uzoraka i izračunava prosečnu vrednost U_1 i standardnu devijaciju σ_1 za stanje "1", i takođe isto to za stanje "0". U ovom slučaju, faza uzorkovanja je u centru oka tj. $\varphi=\pi$. Bazirano na ovim uzorcima, instrument pravi Gauss-

ove funkcije raspodele. Optički Q-faktor je tada određen korišćenjem proste formule:

$$Q = \frac{U_1 - U_0}{\sigma_1 + \sigma_0} \Big|_{\varphi=\pi}$$



Slika 1: Gustina amplitudske raspodele i BER za signale sa dodatim belim šumom

Verovatnoća bitskih grešaka prema tome odgovara oblasti gde se dve raspodele preklapaju - ponovo pretpostavljajući stohastičku interferenciju (beli šum), koja je osnova za pretpostavljenu Gauss-ovu raspodelu:

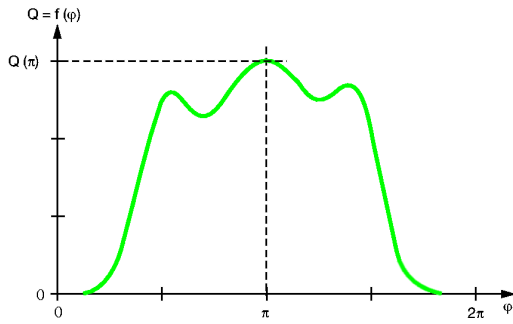
$$BER = \frac{1}{4} \operatorname{erfc} \left(\frac{U - U_0}{\sqrt{2}\sigma_0} \right) + \frac{1}{4} \operatorname{erfc} \left(\frac{U_1 - U}{\sqrt{2}\sigma_1} \right)$$

Minimum BER je dobijen postavljanjem praga odlučivanja za "0" i "1" kao da jednako deli "zonu greške":

$$U_{center} = \frac{\sigma_0 U_1 + \sigma_1 U_0}{\sigma_1 + \sigma_0}$$

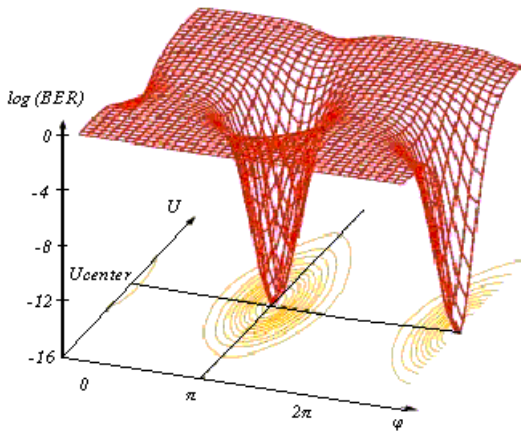
Sve ove formule (za optički Q faktor, BER i U_{center}) važe uz pretpostavku da je uzorkovanje uvek na mestu u centru oka. U mrežama koji imaju niske bitske brzine i prema tome "čiste" ivice signala, Q faktor određen u ovom slučaju je dovoljan za proceni kvalitet. Razlog je taj što samo veće amplitude šteta oštećuju signal. U mrežama sa velikim bitskim brzinama, 10Gbit/s i većim, ovaj rezultat je samo polovična slika pošto fazni šum, disperzioni efekti i interferencija igraju širu ulogu i izazivaju dodatne bitske

greške. Slika 2 prikazuje vezu između Q faktora i faze uzorkovanja. Ukupna veza između BER, amplitude i faze je prema tome trodimenzionalna.



Slika 2: Optički Q faktor iako je obično definisan za centar impulsa, takođe je funkcija i faze uzorkovanja. Rezultujuća kriva nije obavezno simetrična: neslaganje ivica u dijagramu oka daje asimetrične rezultate.

Slika 3 prikazuje BER-log(BER) odnos kao funkciju amplitude praga i faze uzorkovanja. Nacrtano je malo više od 1.5 impulsa. Prelazna oblast u 3π pomaže vizualizaciju dvodimenzionalne zavisnosti između BER i amplitude praga. Projekcija verovatnoće greške na amplitudno-faznu ravan daje linije konstantnog BER. Površ $\log(\text{BER})$ pravi asimptotske prilaze ravni $\text{BER}=0.5$. Slika 3 prikazuje da nije moguće prosto ekstrapolirati BER rezultate u zavisnosti od amplitude bez uzimanja u obzir faze uzorkovanja.

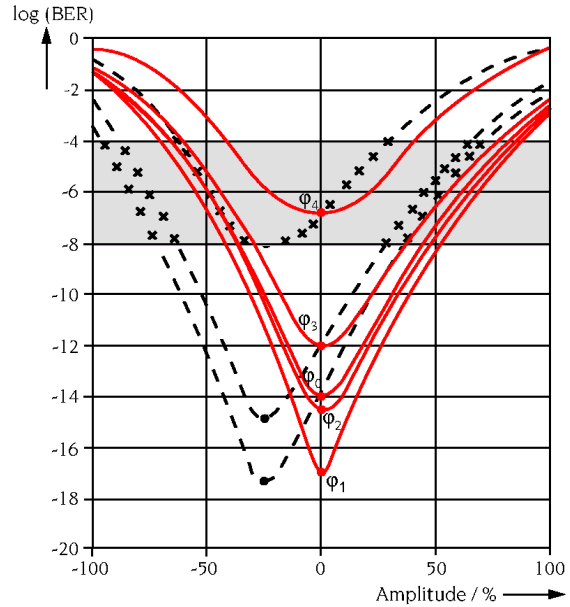


Slika 3: BER kao funkcija amplitude i faze uzorkovanja

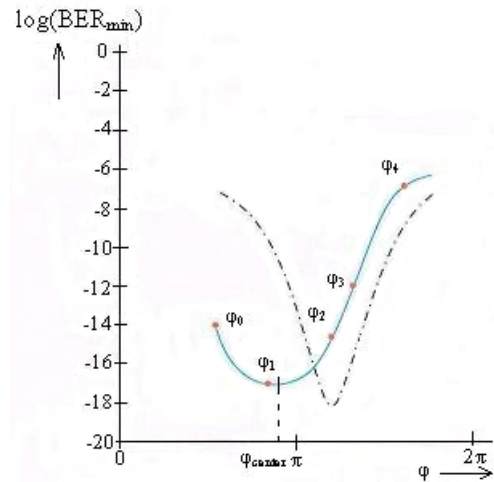
Za nalaženje najniže tačke levka, tj. najnižeg mogućeg BER i prema tome aktuelni Q faktor signala, trenutno uzorkovanje mora biti pravilno izabrano. U dvodimenzionalnoj prezentaciji datoj na slici 4, BER je nacrtan u zavisnosti od amplitude za različite faze uzorkovanja ϕ . Krive prema tome odgovaraju različitim delovima u smeru amplitude za konstantnu fazu.

Pod pretpostavkom asimetričnog ponašanja impulsa na početku i kraju, tj. za pozitivne i negativne vrednosti ϕ sa obzirom na nominalnu fazu uzorkovanja π nacrtamo minimalne vrednosti bitske greške pronađene na slici 4 u zavisnosti od faze i dobijamo kontinualnu krivu na slici 5. Kroz interpolaciju možemo naći korektnu fazu uzorkovanja ϕ_{center} . Pošto ekstrapolacija merene bit error-amplitudne krive daje verodostojne rezultate, isto se ne može održati za bit

error-faznu krivu. Ovde, rezultati variraju kao funkcija tipa slabljenja, jitter-a, disperzije.



Slika 4: Instrument za merenje Q faktora ima opseg u osenčenom (sivom) delu. Slika pokazuje zašto instrument za merenje optičkog Q faktora daje rezultate tako brzo: merenja se rade na visokim vrednostima BER i na osnovu njih se vrši procena za niže vrednosti BER.

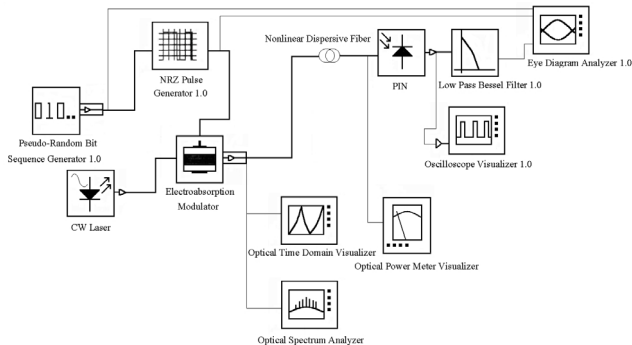


Slika 5: Interpolacija izmerenih vrednosti za $\text{BER}_{\text{min}}(\phi)$ daje "ispravnu" fazu uzorkovanja ϕ_{center}

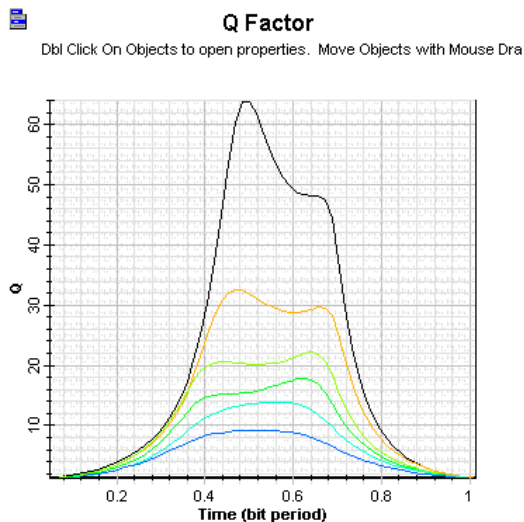
3. SIMULACIONI MODEL

Simulacioni model napravljen je pomoću software OptiSys 2.0 proizvođača kompanije Optiwave. Za što bolji simulacioni model koji će najbolje odgovarati stvarnom modelu korišćeni su rezultati merenja slabljenja optičkog vlakna izvršenih pomoću OTDR-a i rezultati merenja hromatske disperzije. Rezultati merenja disperzije polarizacionog moda (PMD) nisu mogli biti iskorišćeni za simulaciju zbog dinamičke prirode efekta koji se jako teško simulira pa su u modelu zadate pseudoslučajne vrednosti za PMD, ali vrednosti koje su u okvirima dozvoljenih za

normalan rad. Ostale korišćene vrednosti za simulaciju su preuzete iz Alcatel dokumentacije. Simulacija je urađena za svaku posebnu dužinu optičkog vlakna, a dužina je povećavana za po 20km.



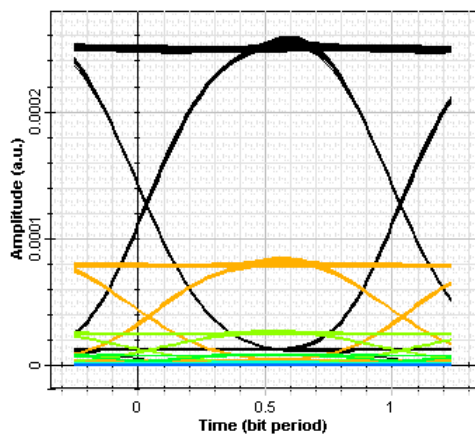
Slika 6: Simulacioni model za STM-64 optičke interfejsne (Single Channel)



Slika 9: Dijagrami optičkog Q faktora

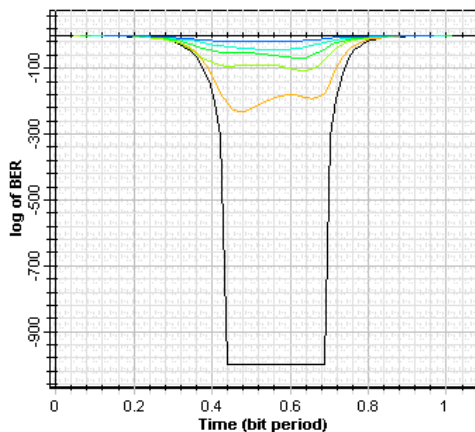
4. REZULTATI SIMULACIJE

Eye Diagram
Dbl Click On Objects to open properties. Move Objects with Mouse Dra



Slika 7: Dijagrami oka

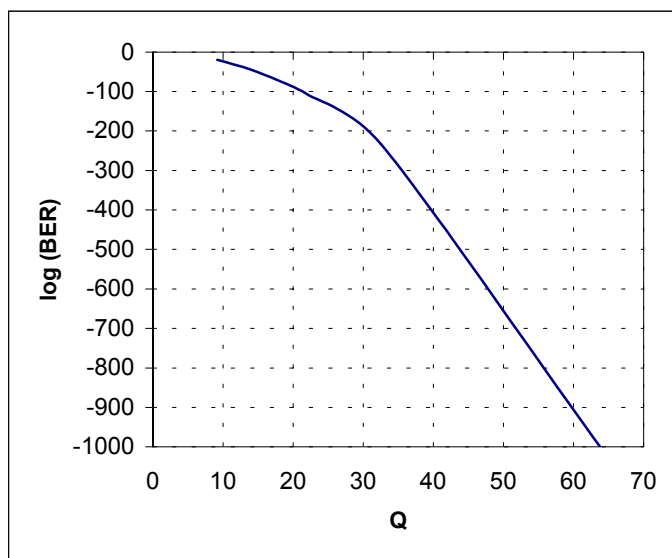
Min. BER
Dbl Click On Objects to open properties. Move Objects with Mouse Dra



Slika 8: Dijagrami BER-a

| <i>Min. log of BER</i> | <i>Max. Q Factor</i> |
|------------------------|----------------------|
| -1000 | 63.88491374635 |
| -232.6743053881 | 32.59874465672 |
| -108.1859238186 | 22.13987116167 |
| -70.41693532541 | 17.79467467579 |
| -43.7597779216 | 13.93413583483 |
| -19.84751781502 | 9.207468978617 |

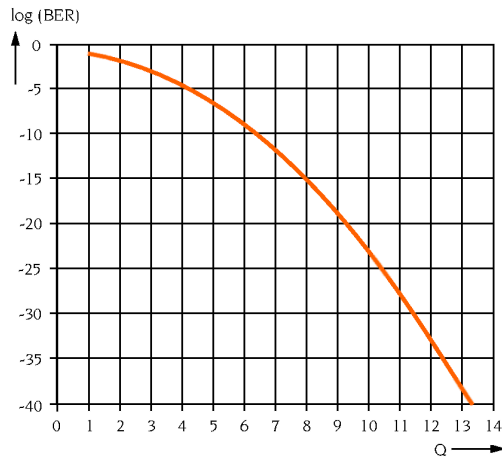
Tabela 1: Brojčana zavisnost BER-a od optičkog Q faktora



Slika 10: Grafički prikaz zavisnosti BER-a od optičkog Q faktora

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijene zavisnosti BER-a od optičkog Q faktora instrument za merenje Q faktora izračunava vrednost (aproksimira) za BER. Dakle, suština rada instrumenta je u tome da za vrlo kratko vreme (kraće od minute) dobije vrednost BER-a koja bi se u protivnom, standardnom metodom za merenje BER-a za bitski protok od STM-64 (10Gbit/s), merila neprihvatljivo dugo (24 sata i duže). Rezultati simulacije se odlično slažu sa vrlo složenim matematičkim proračunima i teoriskim razmatranjima ove zavisnosti što slika 11 i potvrđuje.



Slika 11: Relacija između optičkog Q faktora i BER dobijena složenim teoriskim razmatranjima i matematičkim proračunima

Naime, rezultati simulacionog modela su vrlo dobri samim tim jer je model napravljen na osnovu potpuno realnog sistema. Merenja optičkog Q faktora će u bliskoj budućnosti potpuno zameniti merenje BER-a za velike bitske protoke. Od nedavno, i nekoliko svetski poznatih proizvođača mernih instrumenata iz oblasti optičkih telekomunikacija, izbacilo je na tržište svoje modele za merenje optičkog Q faktora.

6. REFERENCE

- [1]. *Optičke telekomunikacije*, Dr Aleksandar Marinčić
- [2]. *Optoelektronske telekomunikacije*, Mr Branislav Đurić dipl.inž.
- [3]. Katalog: HP, Light Test and Measurement Catalog 2001
- [4]. Katalog: EXFO, Product Overview 1997-1998 Fiber-Optic Test Equipment
- [5]. Katalog: EXFO, Dense WDM Testing Methods and Products 1997-1998
- [6]. Katalog: Tektronix, Measurement Products Catalog 1998/1999
- [7]. Siemens, CTE Report, Communications Test Equipment Information
- [8]. www.optiwave.com
- [9]. www.alcatel.com
- [10]. www.agilent.com
- [11]. www.nettest.com
- [12]. *Osnovi telekomunikacija*, Dr Ilija Stojanović

Abstract:

This article consists theoretical background and simulation about optical Q factor and BER. The simulations were making for STM-64 system. The results of simulation are quite good and according to mathematical calculation.