

Mogućnost etaloniranja BERT metara u Tehničkom opitnom centru

1. Neda Spasojević
Sektor za metrologiju
Tehnički opitni centar
Beograd, Srbija
nedamilivojcevic@yahoo.com
0000-0001-8051-982X

2. Miša Markuš
Sektor za metrologiju
Tehnički opitni centar
Beograd, Srbija
markus.misa@gmail.com
0009-0006-0163-4330

3. Slobodan Subotić
Sektor za metrologiju
Tehnički opitni centar
Beograd, Srbija
slobodansubotic80@gmail.com,
0009-0008-3389-2451

4. Dragan Lazić
Sektor za metrologiju
Tehnički opitni centar
Beograd, Srbija
astazu.lazic@gmail.com
0009-0005-1800-7838

5. Miloš Jovanović
Sektor za metrologiju
Tehnički opitni centar
Beograd, Srbija
mjovanovic@raf.rs
0000-0002-6621-8235

6. Aleksandar Atanacković
Sektor za metrologiju
Tehnički opitni centar
Beograd, Srbija
salelovac1@gmail.rs

Abstract—Ovaj rad opisuje problematiku etaloniranja BERT metara, često zastupljenih merila za testiranje stope bitske greške u digitalnim sistemima. Osnovne prepreke u formiranju metoda etaloniranja vezane su za deficit javno dostupne literature u oblasti BERT metara i specifikacije neophodne za formiranje kriterijuma za ocenu metrološke ispravnosti merila. U radu je predložen metod etaloniranja koji laboratorija ML 02 Tehničkog opitnog centra (TOC) primenjuje uz sva postojeća ograničenja. Metod se oslanja na dostupna uverenja o etaloniranju dva tipa BERT metara izdata od akreditovane laboratorije iz Italije. Međutim, u uslovima ograničenih informacija, obuka iz oblasti etaloniranja BERT metara se nameće kao neophodnost.

Ključne reči—BER, BERT metar, etaloniranje, interfejs

I. UVOD

Ostvarivanje zahtevanih performansi digitalnih komunikacionih sistema predstavlja veliki izazov u prisustvu brojnih faktora kao što su šum, izobličenje, džiter, greška kvantizacije, problemi u sinhronizaciji itd. Usled ovih uticaja dolazi do grešaka u prenosu podataka. Jedan od ključnih parametara za procenu pouzdanosti i kvaliteta digitalnih sistema jeste stopa bitske greške (engl. Bit Error Rate/Ratio, BER). Definiše se prema izrazu (1) kao odnos broja pogrešno primljenih bitova (N_{err}) i ukupnog broja bitova (N_{bits}) nekog toka podataka prenetih preko komunikacionog kanala u posmatranom vremenskom intervalu. Drugim rečima, to je odnos nastalih grešaka u poređenju sa očekivanom sekvencom bitova na ulazu prijemnika. Ovaj parametar je bezdimenzioni i često se predstavlja u procentima [1][2][3][4].

$$BER = \frac{N_{err}}{N_{bits}} \quad (1)$$

BER je gotovo beznačajno mali u slučaju signala dovoljne snage koji se prenose neometano. Međutim, ukoliko je potrebno održati dovoljan odnos signal/šum u slučaju nesavršenog prenosa kroz elektronska kola (pojačavači, filteri, mikseri, A/D konverteri) i različite medijume za prenos (radio-komunikacioni linkovi ili optička vlakna), vrednost BER postaje značajna. U zavisnosti od namene, različite vrednosti BER se definišu kao dobre. Dok se vrednost od 10^{-9} smatra prihvatljivom u telekomunikacijama, za prenos podataka prihvatljivi minimum iznosi 10^{-13} [5]. Uređaji za merenje ovog parametra su BERT/BER metri (engl. Bit Error Rate Testers ili Bit Error Rate



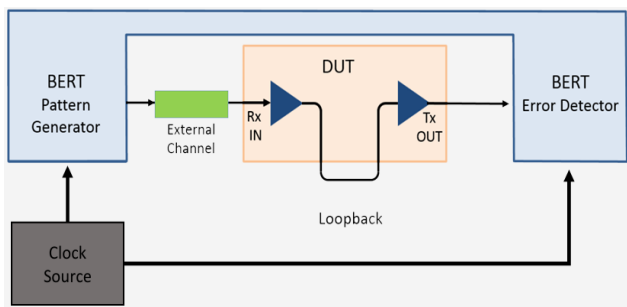
Sl. 1 Primeri BERT metara

Meters). Koriste se za testiranje kvaliteta prenosa signala kroz pojedinačne komponente ili čitave sisteme. Oni predstavljaju najznačajnija merila za testiranje digitalnih linkova koji koriste serijski prenos podataka, među kojima je Ethernet. Imaju široku primenu u verifikaciji dizajna, karakterizaciji, testiranju komunikacija velikih brzina itd. BERT metri su prvenstveno namenjeni za testiranje digitalnih linkova kao što su satelitski i ćelijski modemi, ruteri i svičevi, mrežne kartice ili serveri, radne stanice itd. Takođe se mogu koristiti u rešavanju problema u komunikaciji ili pri optimizaciji prenosa signala. Shodno nameni, postoji nekoliko tipova BERT metara: za optičke ili bežične signale, za prenos podataka i kablovske signale [6]. Mogu biti prilično malih dimenzija i jednostavne izvedbe, ili vrlo robustni sa širokim spektrom mernih mogućnosti. Izgled pojedinih tipova BERT metara prikazan je na slici 1.

BERT metri, pored stope bitske greške često mogu meriti mnoštvo drugih parametara poput ukupnog džitera, tolerancije džitera i interferencije, osetljivosti prijemnika i sl. Ova merila se moraju periodično pregledati, kako bi se potvrdila njihova metrološka ispravnost. Tom prilikom, kao i pri testiranju komunikacionih sistema, parametri BERT metra kao što su brzina prenosa podataka, nivoi signala, interfejs i sl. moraju biti pravilno postavljeni.

II. PRINCIP RADA BERT METARA

Najčešći metod za merenje stope bitske greške se zasniva na slanju poznatog test obrasca (paterna, engl. pattern) kroz mrežu i poređenju primljene sekvence sa poslatom. BERT metri koriste predefinisane test obrasce, ili proizvoljno kreirane obrasce korisnika. Sastoje se od sekvence logičkih jedinica i nula koje generiše test generator. Ova merila se sastoje od tri osnovna dela: generatora paterna, detektora greške i generatora takta (kloka,



Sl. 2 Uprošćena šema BERT metra

engl. clock). Uprošćena šema BERT metra prikazana je na slici 2. Generator paterna i detektor greške se radi sinhronizacije pokreću istim generatorom takta. Testiranje BER se odvija tako da generator paterna šalje odabrani patern ka prijemniku uređaja/sistema koji se proverava (DUT, engl. Device Under Test), a zatim predajnik DUT-a šalje podatke nazad ka detektoru greške BERT metra. Tada BERT metar izračunava stopu greške u odnosu na poslate i primljene bitove. Radi boljeg razumevanja principa rada BERT metara, detaljnije su opisani njegovi pojedini delovi.

Generator paterna se koristi za generisanje i prenos definisanih test obrazaca do komponente, uređaja ili sistema koji se proverava (DUT). Patern takođe može biti paket podataka. Ovaj generator može generisati signale različitih brzina prenosa reda kbit/s do Gbit/s. On kreira test patern na odabranoj brzini prenosa zajedno sa posebnim signalom takta, te ih dalje šalje ka DUT.

Detektor greške broji greške koje je unela testirana komponenta ili sistem na koji je BERT metar povezan. On koristi sopstveni generator koji proizvodi tačnu repliku prenošenog test paterna predajnika. Zatim upoređuje svaki primljeni bit sa interno generisanim paternom. Greška se detektuje svaki put kada se primljeni bit razlikuje od odgovarajućeg poznatog prenetog bita. Međutim, očekivani patern u detektoru grešaka takođe može biti definisan nezavisno od izlaza generatora paterna. Ovo je važna karakteristika BERT metara, jer pojedini interfejsi poput USB, SATA i sl. uklanjaju simbole za popunu i ubacuju sopstvene simbole kako bi kompenzovali razliku u kloku između uređaja i domaćina. Zbog toga detektor greške mora biti u stanju da detektuje sve ove umetnute simbole i da ih ignoriše tokom brojenja grešaka.

Generator takta ima ulogu da sinhroniše generator paterna i detektor greške i on ima ključnu ulogu u pravilnom funkcionisanju BERT metara. BERT metri imaju veoma tačnu vremensku bazu u vidu kvarcnog ili čak rubidijumskog oscilatora. Često im je referentni klock niže frekvencije, koja se zatim umnožava na brzinu prenosa od interesa, pomoću fazno zatvorene petlje za umnožavanje. Generator paterna i detektor greške rade na istoj frekvenciji klocka, dok faza između njih mora biti stabilna. Najbolji način da se to obezbedi jeste da se koristi klock generatora paterna kao izvor klocka detektora greške. Ovo je lako ostvariti u uslovima kada su ove jedinice fizički blizu jedna drugoj, odnosno kada postoji direktna električna veza između njih. To se odnosi na slučaj kada se za testiranje koristi jedan BERT metar. Međutim, kada su generator paterna i detektor greške na suprotnim krajevima prenosnog linka, njihova direktna veza nije moguća. Tada se koriste dva BERT metra, po jedan na

svakoj strani prenosnog linka. Tada se klock detektora greške izdvaja direktno iz primljenih podataka [6].

III. PROBLEMATIKA ETALONIRANJA I MOGUĆNOSTI TEHNIČKOG OPITNOG CENTRA

Osnovna problematika etaloniranja BERT metara odnosi se na nedostatak informacija o ovoj temi u literaturi. U većini slučajeva proizvođači ne daju javno dostupnu proceduru za njihovo etaloniranje, niti se sreću naučni radovi koji se bave ovom temom. Kako u Vojsci Srbije postoji značajan broj BERT metara, obezbeđenje njihove metrološke sledivosti je rešeno na osnovu vrlo skromnih informacija koje laboratorija ML 02 Tehničkog opitnog centra (TOC) poseduje. Naime, procedura etaloniranja je formirana po uzoru na Uverenja o etaloniranju italijanske akreditovane laboratorije „DELO Services“ izdata za merila Anritsu CMA3000 i EXFO PUMA 4340E [7][8].

Prema saznanjima TOC, u Srbiji ne postoji nijedna laboratorija koja vrši etaloniranje BERT metara, što dodatno otežava situaciju u pogledu razmene informacija i iskustava. Postojeći metod je realizovan u uslovima veoma skromnih mogućnosti, te su u ovom radu navedena sva ograničenja sa kojima se ML 02 suočava prilikom etaloniranja BERT metara.

Kako BERT metri pored stope bitske greške mogu meriti i brojne druge parametre, u TOC se etaloniranje ovih merila isključivo vrši u režimu rada BERT metra. Pored toga, TOC nema mogućnost etaloniranja optičkih veličina, konkretno optičke snage. Stoga se specifično vrši etaloniranje BERT metara za električne sisteme sa žičnom komunikacijom.

Na osnovu raspoloživih uverenja o etaloniranju, siromašne literature i iskustva u metrološkoj praksi, donet je zaključak o ključnim parametrima koje je potrebno proveriti prilikom etaloniranja BERT metara. Generalni problem uređaja koji generišu ili mere digitalne signale jeste što se oni mogu pregledati samo u domenu analognih veličina, kada se etaloniranje vrši van laboratorija proizvođača. Takođe, takve veličine se mogu pregledati isključivo na standardnim ulazima, odnosno izlazima, najčešće BNC ili N tipa.

Uzevši u obzir osnovne delove ovih merila, zaključeno je da je osnovni parametar koji se proverava frekvencija generisanog test signala. Ona se direktno oslanja na interni kvarcni oscilator korišćen kao generator takta [9]. Međutim, dozvoljeno odstupanje, odnosno njena tačnost se pretežno ne specificira od strane proizvođača, što korisniku, kao i metrološkim laboratorijama otežava tumačenje dobijenih rezultata. Kako TOC vrši isključivo etaloniranje, bez izdavanja izjave o usaglašenosti sa specifikacijom, na korisniku se ostavlja procena da li je izmerena vrednost frekvencije zadovoljavajuća za njegove potrebe.

Kada su u pitanju generator paterna i detektor greške, pravilno generisanje i odlučivanje o vrednosti svakog bita zavisi pre svega od tačnosti takt signala. Njihove funkcije se mogu proveriti upravo kroz proveru funkcionalnosti primopredaje, zadavanjem poznatog paterna i posmatranjem prijema u odnosu na predaju.

Pored frekvencije generisanog test signala, moguće je proveriti i napon generisanog signala na predaji. Ovaj napon se takođe ne specificira od strane proizvođača. Nominalna frekvencija i vršna vrednost napona impulsa, u zavisnosti od vrste interfejsa su definisani odgovarajućim standardom, kao što

je ITU-T G.703 [10]. Međutim, ove uslove treba da zadovolje pojedini interfejsi, ali se oni ne odnose direktno na karakteristike BERT metara.

Osnovni problem kod merenja napona i frekvencije jeste što zvanične specifikacije proizvođača ne sadrže podatak o njihovoj nominalnoj vrednosti, niti dozvoljenoj tačnosti. Pomenuta uverenja o etaloniranju iz Italije sadrže navedene podatke, uz obrazloženje da su isti dati na osnovu specifikacije proizvođača. Pretpostavka je da su podaci dobijeni direktnim obračunom proizvođaču, s obzirom da pomenuta laboratorija daje izjavu o usaglašenosti sa specifikacijom prema standardu ISO 14253-1, te su im ovakvi podaci neophodni.

TOC je pokušao da pribavi potrebne informacije od proizvođača, no do sada nije bilo konkretnih rezultata. Upućivanje upita proizvođaču za svaki novi tip BERT metra koji je predmet provere se ne smatra najboljim rešenjem, čak uz pretpostavku o njihovom pozitivnom odgovoru. Ovim se otežava i produžava komunikaciju sa korisnicima u procesu vršenja usluge. Usled navedenih problema i brojnih nepoznanica, TOC planira neki vid obuke u oblasti etaloniranja BERT metara. U pokušaju realizacije iste, do sada nije bilo uspeha pri obračunu pojedinim nacionalnim metrološkim institutima van Srbije, jer ne vrše ovu vrstu etaloniranja.

IV. METOD ETALONIRANJA

Kako se BERT metri mogu razlikovati prema svojim funkcijama, broju i tipu ulaza/izlaza, ovde je opisan opšti postupak etaloniranja BERT metara koji se sprovodi u TOC. Najčešće provere ovih merila su:

- funkcionalna provera predaje i prijema signala,
- provera frekvencije generisanog signala i
- provera efektivne vrednosti napona generisanog naizmeničnog signala

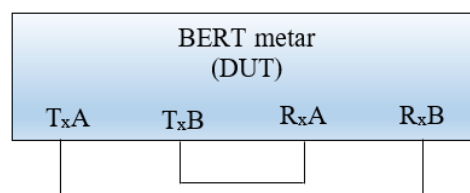
Pritom se posmatraju interfejsi sa brzinom prenosa 2 Mbit/s (E1), budući da se većina postojećih telekomunikacionih sistema zasniva na ovakvim linijama. Opciono se posmatra i interfejs sa brzinom prenosa 34 Mbit/s (E3). Karakteristike i zahtevi koje treba da ispune ovi digitalni interfejsi definisani su u ITU-T G.703 preporuci [10]. Postupak etaloniranja je opisan na primeru BERT metra Anritsu CMA3000, ali su date i moguće varijacije u zavisnosti od tipa merila.

Pre početka merenja potrebno je izvršiti „selftest“ merila koji se automatski izvršava prilikom svakog uključivanja merila. Preduslov za nastavak etaloniranja je da rezultati ove funkcionalne provere budu pozitivni za sve elemente provere.

A. Funkcionalna provera predaje i prijema signala

Funkcionalnom proverom se istovremeno proverava predaja i prijem predefinisane povorka bita, kada merilo radi u režimu primopredaje. Ona se može izvršiti na više načina, u zavisnosti od tipa merila. Jedan od njih je da se proizvoljna predefinisana sekvenca bita preko Tx nebalansiranog (75 Ω) BNC izlaza pošalje na Rx nebalansirani ulaz prijemnika. Ukoliko nema grešaka u prijemu poslate sekvence, merilo pravilno šalje i prima test signal. U slučaju BERT metra Anritsu CMA3000, koji poseduje A i B predajnik i prijemnik, ova funkcionalna provera se izvodi prema šemi na slici 3.

Predaja i prijem ne moraju biti ukršteni, odnosno signal sa predajnika A se može slati na prijemnik A. Isto važi i za



Sl. 3 Funkcionalna provera predaje i prijema signala kod BERT metra sa dva predajnika i prijemnika

prijemnik i predajnik B. Odgovarajući izlazi na merilu se povezuju BNC kablom. Da bi se ova funkcionalna provera ostvarila, neophodno je izvršiti odgovarajuće postavke na merilu. U tabeli 1 su data odgovarajuća podešavanja za Anritsu CMA3000 :

TABELA 1. POSTAVKE NA ANRITSU CMA3000 PRILIKOM ETALONIRANJA

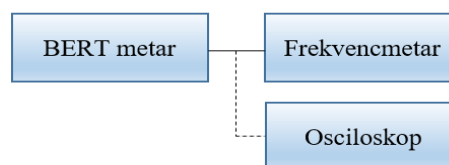
Interface	2 Mbit/s
Transmission	on
Connector	Unbalanced
Clock Source	Internal
Line Code	HDB3
PCM frame	off
Pattern type	All 1's (FFFF)

Funkcionalna provera se može izvršiti i namernim generisanjem greške (funkcija „error injection“) kod tipova BERT metara koji je poseduju. Pritom se na prijemu prati broj pogrešno primljenih bita. Tip BERT metra EXFO PUMA 4340E ima mogućnost generisanja željenog broja grešaka u sekvenci.

B. Provera frekvencije generisanog signala

Provera frekvencije generisanog signala se vrši prema šemi prikazanoj na slici 4, kada merilo radi u režimu predaje, odnosno generatora. Pritom se meri frekvencija signala na nebalansiranim izlazima TxA, odnosno TxB, ukoliko ih je više. Podešavanja na BERT metru su prikazana u tabeli 1. Ukoliko BERT metri, pored interfejsa sa brzinom prenosa 2 Mbit/s imaju mogućnost testiranja interfejsa od 34 Mbit/s, meri se frekvencija izlaznog signala za svaku od navedenih brzina prenosa signala. Nominalna frekvencija signala u slučaju E1 interfejsa iznosi 1,024 MHz, a za E3 iznosi 17,184 MHz. Ove frekvencije se ostvaruju za odabrani test patern sa svim jedinicama, odnosno FFFF ($2^{15}-1$), budući da se njegovom promenom menja frekvencija i oblik generisanog signala.

Pre samog merenja frekvencije potrebno je proveriti oblik i nivo generisanog signala osciloskopom, kako bi se sprečilo eventualno preopterećenje ulaza frekvencometra i podesio nivo trigera na kome se frekvencija meri. U retkim slučajevima je ovaj nivo signala previsok, te tada potrebno umetnuti

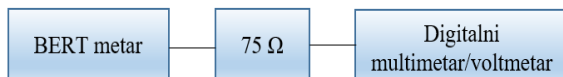


Sl. 4 Provera frekvencije generisanog signala

odgovarajući oslabljivač na ulaz frekvencometra. Izmerena vrednost frekvencije predstavlja srednju vrednost više ponovljenih merenja, najčešće 10 uzastopnih merenja. Za izmerenu frekvenciju se daje i apsolutno odstupanje od nominalne vrednosti. Ukoliko BERT metar ima više izlaza, tj. predajnika, opisani postupak se ponavlja za svaki izlaz posebno. Prilikom ove provere nije neophodno prolazno opterećenje 75 Ω radi prilagođenja impedanse, s obzirom da ono prvenstveno utiče na tačnost merenja napona, ali ne i frekvencije. Kako je efektivna vrednost merenog signala u većini slučajeva veća od 1,5 V (u intervalu od 1,65 V do 1,75 V), ovaj nivo je daleko iznad osetljivosti frekvencometra.

C. Provera efektivne vrednosti napona generisanog naizmeničnog signala

Ova provera se takođe vrši kada je BERT metar u režimu predaje, pri postavkama datim u tabeli 1. Efektivna vrednost napona se meri digitalnim multimetrom ili opcionalno osciloskopom nešto veće tačnosti (bolje od 3%), prema šemi prikazanoj na slici 5. Kako se ovom proverom meri naizmenični napon pri izlaznoj impedansi 75 Ω , za ovu proveru je neophodna primeniti prolazno opterećenje 75 Ω , radi prilagođenja impedansi.



Sl. 5 Provera efektivne vrednosti napona generisanog naizmeničnog signala

Ova provera se sprovodi za odabrani interfejs 2 Mbit/s, budući da je frekvencija generisanog signala u opsegu rada digitalnih multimetara (1,024 MHz). Ukoliko se meri napon na drugim interfejsima, pritom treba voditi računa o izboru merila u zavisnosti od nominalne frekvencije signala odabranog interfejsa.

Izmerena efektivna vrednosti napona se formira na osnovu više ponovljenih merenja, računanjem njihove srednje vrednosti. Ukoliko BERT metar ima više predajnika (izlaza), napon se meri na svakom od njih.

Imajući u vidu da nije poznata specifikacija merenog napona, kao ni granice u kojima se njegova vrednost mora naći, upotreba visoko tačne merne opreme nije neophodna. Na osnovu ovoga se zaključuje da je i osciloskop sa nešto većom nesigurnošću većom od 4,5% dovoljan za procenu vrednosti napona. Navedena referentna uverenja o etaloniranju ukazuju na potrebu za tačnijom opremom, pre svega jer poseduju informaciju o specifikaciji etaloniranih BERT metara. Stoga se jasno nameće potreba za pribavljanjem dodatne specifikacije.

V. ZAKLJUČAK

Rad se bavi BERT metrima, kao jednim od ključnih merila za testiranje kvaliteta digitalnih sistema. Opisan je osnovni princip rada ovih merila, uz poseban akcenat na problem njihovog etaloniranja. Prikazane su i provere koje se mogu izvršiti u Tehničkom opitnom centru, u skladu sa memnim mogućnostima metrološke laboratorije za mikrotalasnu tehniku ML 02.

Jedan od primarnih izazova jeste formiranje metoda etaloniranja u uslovima veoma oskudne literature, a pre svega nepotpune specifikacije za bilo koji tip BERT metara. Dosadašnji metod etaloniranja se oslanja na dva dostupna uverenja o etaloniranju akreditovane laboratorije „DELO Services“ iz Italije. Ovo međutim nije dovoljno za sveobuhvatno sagledavanje problematike, ali za sada zadovoljava korisnike, pretežno iz Ministarstva odbrane i Vojske Srbije. Imajući u vidu brojna ograničenja, dalji razvoj laboratorije u ovoj oblasti se ogleda u težnji za uspostavljanjem kontakata sa proizvođačima merne opreme i pribavljanjem neophodnih informacija radi kompletne realizacije etaloniranja. U cilju usavršavanja postojećeg metoda i eventualnih proširenja mernih mogućnosti neophodne su obuke iz oblasti etaloniranja BERT metara u inostranim metrološkim laboratorijama ili putem veb seminara proizvođača.

LITERATURA

- [1] B. Elliott, "Cable Engineering For Local Area Networks", 2000.
- [2] L. Sukumaran et al, "Bit Error Rate Testers-A Study", *Journal of Engineering Research and Applications*, vol. 4, issue. 4, pp. 122–125, 2014.
- [3] G. Breed, "Bit Error Rate: Fundamental concepts and measurement issues", January 2003, Preuzeto sa High Frequency Electronics: http://www.highfrequencyelectronics.com/Archives/Jan03/HFE0103_Tutorial.pdf
- [4] S.Kaptalopoulos, "Optical Bit Error Rate", Chapter 6, 2004.
- [5] Viavi Solutions Inc., Bit Error Rate Test (BERT), preuzeto sa <https://www.viavisolutions.com/en-us/products/bit-error-rate-test-bert>
- [6] Keysight Technologies, "What is a Bit Error Ratio Tester", White paper, 2018.
- [7] Dello Services, Report of calibration number 16331/12, EXFO PUMA 4340E, Italia, July 2012.
- [8] Dello Services, Report of calibration number 16335/12, Anritsu CMA3000, Italia, July 2012.
- [9] FarSite Communications, FarSync BERT Tester Calibration Guide, preuzeto sa <https://farsite.com/product-support/farsync-bert-calibration/>
- [10] ITU-T G.703, Series G: Transmission Systems and Media, Digital Systems and Networks, Physical/Electrical Characteristics of Hierarchical Digital Interfaces, November 2001.

ABSTRACT

This paper describes the problem of BERT meters calibration, measuring devices frequently used in digital systems for testing the bit error rate. The basic issues in developing a calibration method are related to the lack of publicly available literature on BERT meters and the specifications necessary for establishing criteria to evaluate the metrological correctness of these measuring devices. The paper proposes a calibration method that the ML 02 laboratory at the Technical Test Center (TTC) applies, with all existing limitations. The method relies on the available Certificates of calibration of two types of BERT meters issued by an accredited laboratory in Italy. However, given the limited informations, training in the field of BERT meters calibration is deemed necessity.

POSSIBILITY OF BERT METERS CALIBRATION IN THE TECHNICAL TEST CENTER

Neda Spasojević, Miša Markuš, Slobodan Subotić,
Dragan Lazić, Miloš Jovanović, Aleksandar Atanacković