

1. UVOD

Podaci dobiveni mjerenjem neophodni su pri tehničkoj realizaciji i eksploataciji telekomunikacijskog sustava. Kontrola ispravnosti različitih uređaja koji čine telekomunikacijsku mrežu nemoguća je bez električnih mjerenja. Granične vrijednosti u kojima se može nalaziti mjerena veličina određene su tehničkim propisima na temelju kojih se projektiraju uređaji i prijenosna mreža. Suvremeni telekomunikacijski sustav vrlo je složen i raznolik. Možemo ga podijeliti na veći broj podsustava ili mreža (telefonska mreža, ISDN mreža, mobilne mreže, satelitski sustav komunikacija, TV, radio mreža itd.). Svaki od tih podsustava koristi najrazličitija tehnička rješenja pa su tako i mjerenja kao sastavni dio projektiranja, konstrukcije, proizvodnje i eksploatacije vrlo različita. Možemo ih podijeliti prema mjestu gdje se obavljaju na laboratorijska i pogonska (servisna) te prema složenosti na temeljna i specijalistička.

Za sve vrste mjerenja potrebni su odgovarajući mjerni uređaji i postupci. Mjerni uređaji moraju biti u skladu s međunarodno dogovorenim mjernim sustavom za fizikalne veličine što se u svakoj zemlji zakonski regulira. Za postizanje odgovarajuće sigurnosti u mjerne rezultate potrebno je na propisani način u određenim vremenskim razmacima umjeravati (baždariti) mjerne uređaje za što svaka zemlja ima organizirani sustav laboratorija i njihov stalni nadzor.

Osnovni čimbenici mjerne tehnike su:

- određivanje prave vrijednosti mjerne veličine u određenim uvjetima,
- rezultati mjerenja fizikalnih veličina su imenovani brojevi,
- rezultati se dobivaju izravnim višekratnim mjerenjem ili posredno mjerenjem drugih veličina, tako što će se tražena veličina odrediti računski (formula).

Tehnička rješenja mjernih uređaja ovise o trenutnom razvoju znanosti i tehnologije te se stalno mijenjaju u smislu poboljšanja i stalnog približavanja osnovnom cilju mjerne tehnike: određivanja prave vrijednosti mjerene veličine.

Zbog različitih utjecaja (ne samo tehničke prirode) uvijek postoji odstupanje od prave i izmjerene vrijednosti pojedine fizikalne veličine. Ta odstupanja bez obzira na razloge njihova nastanka nazivamo pogreške mjerenja.

Mjerenja obavljamo na dva načina: 1) pomoću instrumenata na kojima direktno očitavamo mjernu veličinu 2) primjenom mjernih metoda (postupka) gdje je određivanje mjerne veličine indirektno. Instrumenti su (kao indikatori) sastavni dio mjernih metoda.

Mjerni uređaj-instrument može utjecati na objekt mjerenja. U tom smislu definira se idealni mjerni uređaj koji svojim prisustvom ne utječe na prilike u mjernom objektu.

Osobit napredak u mjernoj tehnici vezan uz smanjenje spomenutih pogrešaka kao i smanjenja utjecaja mjernog uređaja-instrumenta tj. njegova prilagođenja objektu mjerenja, postignut je primjenom elektronike.

U tom smislu instrumente možemo svrstati u dvije osnovne skupine:

- 1) elektromehanički (klasični) i
- 2) elektronički instrumenti.

Kod elektromehaničkih instrumenata postoji pomični organ na koji djeluje sila koja je ovisna o mjerenoj veličini. Sila je rezultat osnovnih manifestacija električne energije: magnetsko polje, električno polje, toplina, kemijske reakcije. Zajedničko svojstvo takvih instrumenata je odziv na kontinuiranu promjenu mjerene veličine. Nazivaju se analogni instrumenti.

Kod elektroničkih instrumenata mjerenu veličinu se najprije obradi različitim elektroničkim sklopovima (pojačalima, filterima itd). Prema odzivu na mjerenu veličinu mogu biti analogni ili digitalni. Digitalni instrumenti reagiraju na diskretne iznose mjerene veličine. Indikator kod elektroničkih instrumenata može biti elektromehaničkog tipa sa kazaljkom ili brojčani na kojem se mjerna veličina iskazuje brojem. Elektronički mjerni uređaji omogućavaju

dvodimenzionalan prikaz mjerene veličine na zaslonu. U novije vrijeme spajanjem mjerne i računalske tehnike nastaju automatizirani mjerni sustavi u kojima se fizikalna veličina ne samo mjeri nego i obrađuje pa može služiti za upravljanje. Obrada podataka kao i komunikacija sa korisnikom ostvaruje se prikladnim programima. Obično je komunikacija s korisnikom organizirana preko izbornika aktivnosti. Mjerenje se istovremeno obavlja na većem broju mjernih kanala. Na pojedinim kanalima kao ulazna veličina može biti neelektrična veličina koja se pomoću pretvornika pretvara u električnu.

2. INDIKATORI ZA PRIKAZ MJERENE VELIČINE

Osnovna svrha mjernog instrumenta je prikaz neke električne veličine u obliku koji je razumljiv čovjeku. U mjerne svrhe pri tom se koristi vizualna percepcija. Ton (govor) također može biti korišten kao izlaz mjernog uređaja osobito u raznim automatiziranim sustavima, ali u svrhu upozorenja (alarm). Medij na kojem se obavlja prikaz nazivamo indikator. Prikaz može biti jedno ili dvodimenzionalan. Kod jednodimenzionalnog prikaza se očitava iznos mjerene veličine (npr. napon) dok se kod dvodimenzionalnog prikaza dobiva dijagram (graf) promjene jedne veličine u ovisnosti o drugoj npr. ovisnost napona o vremenu.

Kao medij za vizualni prikaz koristi se:

- a) skala s kazaljkom,
- b) brojčani pokaznik,
- c) stupičasti pokaznik,
- d) papir i
- e) zaslon (ekran).

a) Mjerena veličina djeluje silom na pomični organ instrumenta koji pokreće kazaljku. Ovisno o principu na kojem radi instrument skala može biti linearna ili nelinearna (najčešće kvadratna). Skala je podijeljena u veći broj dijelova koje nazivamo dio skale. Npr. ako instrument mjeri napon do 10 V, a skala je podijeljena u 100 dijelova jednom dijelu skale odgovara napon od 0,1 V. Za položaje kazaljke između dvije oznake na skali očitanje se procjenjuje što je jedan od uzroka pogrešaka pri mjerenju. Pomicanje kazaljke je obično u rasponu od 90 stupnjeva. Početak skale (nula) može biti bilo gdje u području pomicanja, ali je obično na: a) sasvim lijevoj strani b) sasvim desnoj strani c) u sredini. Instrumenti koji imaju početak skale u sredini koriste se kao nul-instrumenti. Kod takvih instrumenata se lako utvrđuje polaritet. Većina instrumenata ima početak skale na lijevoj strani. Prikaz sa skalom ima određene prednosti u pogledu preglednosti osobito u smislu praćenja promjene mjerene veličine. Primjenom raznobojnih oznaka na skali se lako se kod kontrolnih instrumenata uočava da li je mjerena veličine u dozvoljenim granicama. Veća točnost očitavanja postiže se primjenom optičkih skala.

b) Brojčani pokaznik imaju digitalni instrumenti. Broj znamenaka koji se prikazuje je 3-8. Uobičajene izvedbe imaju pokaznike koji prikazuju četiri broja s tim da prvi ne može poprimiti sve vrijednosti (obično može biti jedan ili nula). Npr. ako instrument mjeri napone do 200 mV i ima pokaznik sa 3 1/2 znamenki tada je najveće pokazivanje 199,9 mV, a najmanje 000,1 mV. Najmanji napon koji instrument može razlikovati naziva se rezolucija. Za područje od 200mV to je napon od 100 μ V. U tehničkom podacima navodi se rezolucija za svako mjerno područje.

Pokaznik je izveden sa svjetlećim diodama (LED) ili tekućim kristalima (LCD). Za svaku znamenku postoji sedam segmenata. Aktiviranjem (paljenjem) pojedinih segmenata dobivaju se različiti brojevi (ili slova). Na pokazniku se mogu prikazati i neke dodatne informacije (npr. mjerno područje, vrsta mjerene veličine, + ili -, BAT LOW i sl.). Digitalni pokaznici imaju (osobito oni s više znamenki) velike prednosti u pogledu točnosti očitavanja odnosno u

eliminaciji subjektivnih pogrešaka kao rezultat procjene koje je potrebno obaviti kod indikatora s kazaljkom.

c) Stupčasti pokaznici nemaju veću primjenu u mjerenjima pogotovo ne onim u kojima se zahtjeva veća točnost. Prikladni su međutim za prikazivanje promjene mjerene veličine. Mogu se koristiti u kombinaciji sa bročanim pokaznikom. Tehnički se izvode kao svjetleći stupac ili svjetleća točka, a sve to pomoću niza dioda odnosno tekućih kristala.

d) Papir se koristi kao izlazni medij kod instrumenata kojima vremenski pratimo određenu mjernu veličinu. To su tzv. registratori koji mogu biti elektromehanički ili elektronički.

e) Zaslon odnosno ekran ima sve veću primjenu u prikazivanju mjernih rezultata. U prvo vrijeme razvoja dvodimenzionalnih prikaza ekran je bio sinonim za katodnu cijev, dok je u novije vrijeme osobito kod prijenosnih uređaja katodna cijev uspješno zamijenjena ekranom sa tekućim kristalima. Tendencija povezivanja mjernih postupaka sa računalima također doprinosi sve široj primjeni ekrana i za prikaz jednodimenzionalnih (alfa-numeričkih) podataka. Ovdje se ne smije zaboraviti i sve šira primjena mjernih metoda kod kojih se mjerene veličine "učitavaju" u obično računalo (PC), putem posebnih sabirnica i programa. Za prikaz tako dobivenih rezultata i računalom obrađenih podataka koristi se zaslon računala (monitor). Tipičan instrument sa dvodimenzionalnim prikazom je osciloskop.

3. POGREŠKE PRI MJERENJU

Odstupanja od prave vrijednosti mjerene veličine nazivamo pogreškama mjerenja. Pod pravom vrijednošću smatramo onu koja se u danom trenutku može izmjeriti najtočnijim postupkom. Najtočniji uređaj kojim se utvrđuje iznos neke fizikalne veličine naziva se etalon. Pogreške iskazujemo u apsolutnom i relativnom iznosu. Apsolutni iznos pogreške je razlika izmjerene i prave vrijednosti.

$$A = \text{izmjerena vrijednost} - \text{prava vrijednost}$$

Relativni iznos pogreške dobijemo tako da apsolutni iznos pogreške podijelimo sa pravom vrijednošću. Često se relativni iznos pogreške izražava u postotku.

$$R = \frac{\text{izmjerena vrijednost} - \text{prava vrijednost}}{\text{prava vrijednost}}$$

Razlikujemo tri vrste pogrešaka: grube, sistematske i slučajne.

Grube pogreške nastaju nepažnjom čovjeka koji mjeri. Nepažnja se odnosi na odabir neprikladne mjerne metode (instrumenta) na rukovanje opremom i na način očitavanja mjernih podataka. Takve se pogreške mogu otkloniti edukacijom korisnika. Podaci opterećeni grubom pogreškom se odbacuju i ne uzimaju se u obzir kod obrade rezultata.

Sistematske pogreške nastaju zbog nesavršenosti mjerne opreme (instrumenata i mjernog postupka), objekta na kojem mjerimo i obuhvatljivog utjecaja okoline. Te pogreške imaju predznak i iznos pa se mogu uzeti u obzir kod interpretacije rezultata mjerenja, putem odgovarajuće korekcije.

Slučajne pogreške nastaju zbog slučajnih i neobuhvatljivih promjena na opremi okolini i mjernom objektu. Zbog mnoštva uzroka koji djeluju na različite načine te pogreške mijenjaju iznos i predznak te na taj način unose nesigurnost u mjerne rezultate.

Veća sigurnost u mjerni rezultat može se postići većim brojem mjerenja koja se često izvode od strane različitih osoba i s različitim instrumentarijem. Kao najvjerojatnija "prava" vrijednost uzima se tada *aritmetička sredina* dobivenih rezultata. Osim aritmetičke sredine važan podatak je i rasipanje mjernih podataka. Mjerni postupak je precizniji ako je rasipanje malo. Kao mjera rasipanja uzima se *standardna devijacija*. Za n ($n < 30$) mjerenja dobivamo da je srednja vrijednost:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

a standardno odstupanje:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Preciznost se ne smije zamijeniti sa tačnošću. U preciznom postupku mjerenja mjerni rezultati se međusobno malo razlikuju, ali to ne znači da su tačni. Statističke obrade koje su sastavni dio svakog složenijeg mjerenja, obavljaju kod suvremenih mjernih uređaja odgovarajući računalni programi. Pojedini elektronički instrumenti imaju ugrađenu memoriju za pamćenje većeg broja mjernih podataka. Jednostavnije statističke obrade nad tim podacima može obaviti sam instrument i prikazati ih na brojčanom pokazniku ili se podaci prebacuju (preko tzv. sabirnice) u računalo koje praktički nema ograničenja u mogućnostima njihove obrade.

POKAZNI OPSEG

Cjelokupni opseg skale na kome se mogu promatrati otkloni pomičnog organa instrumenta.

MJERNI OPSEG

Mjerni opseg je dio pokaznog opsega gdje instrument mjeri s naznačenom tačnošću (kod analognih instrumenata ovaj je dio najčešće posebno označen).

Tablica

Indeks klase i granice pogrešaka

INDEX KLASE	0,05	0,1	0,2	0,5	1	1,5	2,5	5
Granice pogrešaka	±0,05%	±0,1%	±0,2%	±0,5%	±1%	±1,5%	±2,5%	±5%

PRIMJERI

1. Preciznim voltmetrom je izmjerena napon od 50 V. Običan voltmetar pokazuje 49 V. Izračunajte apsolutnu i relativnu pogrešku običnog voltmetra?

apsolutna pogreška:

$$p := 50 - 49$$

$$p = 1 \text{ V}$$

relativna pogreška:

$$p\% := \frac{50 - 49}{50} \cdot 100$$

$$p\% = 2 \%$$

Koja je "prava vrijednost napona? Budući da ne raspolažemo boljim voltmetrom tada se uzima da je prava vrijednost ona koju smo u datim okolnostima izmjerili preciznim postupkom (50) V. Treba kazati da za pojedine fizikalne veličine postoje tzv. etaloni koji služe za umjeravanje mjerila. Obična mjerila-instrumenti moraju imati podatak o tačnosti. To je tzv. razred ili klasa instrumenta. Osoba koja obavlja mjerenja mora imati podatak o tačnosti instrumenta.

2. Napon mjerimo analognim voltmetrom koji ima razred tačnosti 2. Mjerni opseg je 300 V. Skala je podijeljena na 100 dijelova. Očitavanje je 86,5 dijelova skale. Izračunajte napon koji pokazuje voltmetar i tačnost mjerenja.

$$\text{napon} := \frac{300}{100} \cdot 86,5$$

$$\text{napon} = 169,5 \text{ V}$$

iznos pogreške je:

$$P := 0,02 \cdot 300$$

$$P = 6 \text{ V}$$

prava vrijednost napon je u granicama 163,5 i 175,5 V

Pogreška izražena u postotku je:

$$P\% := \frac{P}{169,5} \cdot 100 \quad P\% = 3,54 \%$$

Zaključak: Voltmetar je najtočniji ako mjeri napon oko 300 V. Tada je pogreška 2 %. Kod manjih iznosa napona je pogreška izražena u postotku veća. U opisanom slučaju pogreška je 3,54 %.

3. Izvršena su četiri mjerenja napona. Očitane su ove vrijednosti:

$$x_1 := 50,1$$

$$x_2 := 49,7$$

$$x_3 := 49,6$$

$$x_4 := 50,2 \text{ V}$$

Izračunajte a) aritmetičku sredinu b) srednju vrijednost c) preciznost drugog mjerenja.

$$\text{a) } X := \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4}{4} \quad X = 49,9 \text{ V}$$

b)

$$\sigma := \sqrt{\frac{(X - x_1)^2 + (X - x_2)^2 + (X - x_3)^2 + (X - x_4)^2}{4 - 1}}$$

$$\sigma = 0,294 \text{ V}$$

c)

$$\text{preciznost}_2 := 1 - \left| \frac{x_2 - X}{X} \right| \quad \text{preciznost}_2 = 0,996$$

3.1. PREGLED KORISNIH FORMULA ZA RAČUN POGREŠAKA

1. Aritmetička sredina:

$$\bar{L} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{L_i}{n} = \frac{L_1 + \dots + L_n}{n}$$

2. Pogreška pojedinog mjerenja:

$$\Delta L_i = \bar{L} - L_i \quad (i = 1, \dots, n)$$

3. Standardna devijacija (aritmetičke sredine) σ_F izravno mjerene veličine:

$$\sigma_L = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (\Delta L_i)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{(\Delta L_1)^2 + \dots + (\Delta L_n)^2}{n(n-1)}}$$

4. Standardna devijacija (aritmetičke sredine) σ_F posredno mjerene veličine F :

$$\sigma_F = \sqrt{\sum_{k=1}^{k=n} \left(\frac{\partial F}{\partial x_k} \cdot \sigma_{x_k} \right)^2}$$

a σ_{x_k} je standardna devijacija izravno mjerenih veličina.

4.1. Složena pogreška (nepouzdanost) sume i razlike:

$$F = a \pm b \quad \sigma_F = \sqrt{(\sigma_a)^2 + (\sigma_b)^2}$$

odnosno: $F = a \pm b \pm \dots \pm k \quad \sigma_F = \sqrt{(\sigma_a)^2 + (\sigma_b)^2 + \dots + (\sigma_k)^2}$

4.2. Složena pogreška produkta i kvocijenta:

$$F = a \cdot b \text{ ili } F = \frac{a}{b} \quad \frac{\sigma_F}{F} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_b}{b}\right)^2}$$

4.3 Složena pogreška potencije:

$$F = a^m \cdot b^n \quad \frac{\sigma_F}{F} = \sqrt{\left(m \frac{\sigma_a}{a}\right)^2 + \left(n \frac{\sigma_b}{b}\right)^2}$$

Specijalni slučaj: $F = a^m \quad \frac{\Delta F}{F} = m \cdot \frac{\Delta a}{a}$

5. Maksimalna pogreška:

$$\Delta L_m = 3\sigma_L$$

6. Relativna pogreška:

$$\Delta L_R = \frac{3\sigma_L}{L} \cdot 100\%$$





7. Rezultate pokusa (mjerjenja veličine L) prikazujemo ovako:

$$L = (\bar{L} \pm \sigma_L) \quad [\text{jedinice}] \quad \Delta L_R = \dots\%$$

4. OZNAKE NA MJERNIM INSTRUMENTIMA





Simboli koji označavaju vrst struje koju instrument mjeri

Ovdje su prikazani najčešći simboli koji označavaju vrstu struje koje instrument mjeri.

	Istosmjerna struja
	Izmjenična struja
	Istosmjerna i izmjenična struja
	Trofazna izmjenična struja




Simboli ispitnih napona

Ovdje su prikazani najčešći simboli ispitnih napona instrumenata.

	Ispitni napon 500 V
	Ispitni napon 2000 V
	Instrument se ne podvrgava ispitnom naponu
	Visoki napon na instrumentu ili na priboru



Simboli položaja instrumenta

Ovdje su prikazani neki od simbola koji označavaju položaj instrumenta pri mjerenju.

	Vertikalni položaj
	Horizontalni položaj
	Kosi položaj (60° u odnosu na horizontalu)




Simboli klase točnosti


Ovdje su prikazani neki simboli koji označavaju točnost instrumenata

1,5	Pogreška izražena u postotku dogovorne vrijednosti
	Pogreška izražena u postotku duljine skale
	Pogreška izražena u postotku prave vrijednosti

Simboli koji označavaju princip rada mjernog instrumenta i pribora

Ovdje su prikazani samo najčešće upotrebljeni simboli instrumenata i pribora

	Instrument s pomičnim svitkom
	Instrument s unakrsnim svicima
	Instrument s pomičnim magnetom

	Kvocjentni instrument s pomičnim magnetom
	Instrument s pomičnim željezom
	Instrument s pomičnim željezom i permanentnim magnetom
	Kvocjentni instrument s pomičnim željezom
	Elektrodinamički instrument
	Izolirani termopretvarač
	Elektronički sklop u mjernom krugu
	Stezaljka za uzemljenje
	Podešavanje nule
	Posebno uputstvo, upozorenje ili dokument uz instrument