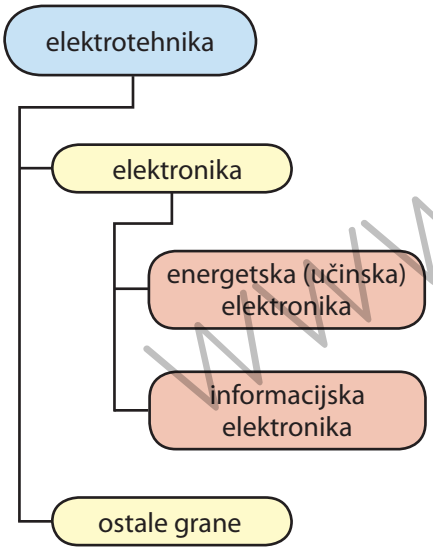
1. Uvod u elektroniku i njena uloga u ljudskoj djelatnosti

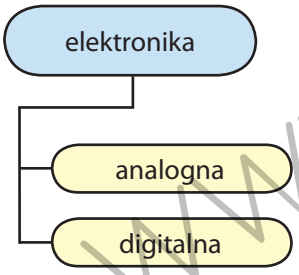


Elektronika je grana tehnike koja proučava i primjenjuje pojave pri gibanju nabijenih čestica kroz vakuum, vodiče i poluvodiče.

Kao dio elektrotehnike, elektronika proučava upravljanje tokom i pretvorbom parametara električne energije (energetska ili učinska elektronika) te dobivanjem, pretvorbom, prijenosom i obradom elektromagnetskih valova, električnih signala i informacija (informacijska elektronika). Informacijska elektronika sastoji se od više grana: telekomunikacija, radiokomunikacija, mjerne elektronike, biomedicinske elektronike, optoelektronike itd.

- Telekomunikacije se bave prijenosom informacija na daljinu.
- Radiokomunikacije se bave prijenosom informacija na daljinu radio-valovima.
- Mjerna elektronika bavi se postupcima i metodama mjerenja mjernih veličina elektroničkim uređajima.
- Biomedicinska elektronika bavi se primjenom elektroničkih uređaja u medicini.
- Optoelektronika proučava pretvorbu električnog signala u svjetlosni i obrnuto te prijenos informacija svjetlošću.

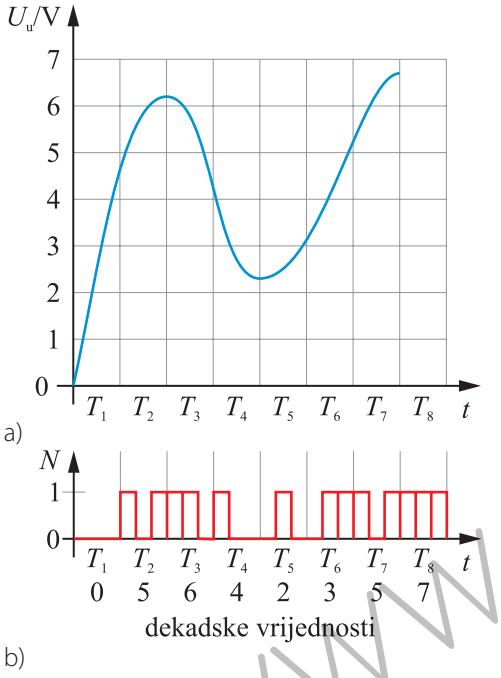
Osim podjele elektronike na energetsku i informacijsku, elektronika se prema vrsti signala koji obrađuje može podijeliti i na analognu i digitalnu elektroniku. Signali u analognoj elektronici mogu poprimiti bilo koju vrijednost između najmanje i najveće vrijednosti, a digitalni signali obično imaju samo jednu od dvije vrijednosti (slika 1.1-1).



Digitalna elektronika je dio elektronike koji se bavi obradom digitalnog signala.

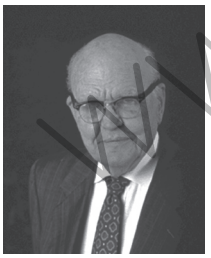
Digitalna elektronika obuhvaća teoriju funkcioniranja te analizu, projektiranje i izgradnju elektroničkih digitalnih sklopova i složenijih sustava. Ti se sklopovi sastoje od osnovnih logičkih sklopova, a obrađuju podatke u binarnom obliku. Složeniji su digitalni sustavi brojilo, zbrajalo, dekoder, multipleksor, aritmetičko-logička jedinica, memorija, sekvencijski sklop itd.

Najsloženiji digitalni sustavi su elektronička računala, bilo da se radi o osobnom računalu ili superračunalu (slike 1.1-2 i 1.1-3).



Slika 1.1-1
Signali:
a) analogni
b) digitalni

Slika 1.1-2
Osobno računalo



Slika 1.1-4
Jack Kilby

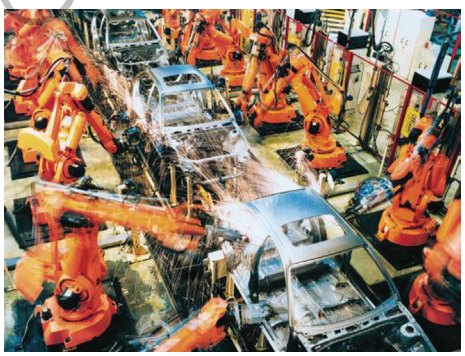
Slika 1.1-3
Superračunalo Blue Gene

Godine 1958. Jack Kilby (slika 1.1-4) stvara prvi integrirani sklop, što otvara novu fazu razvoja elektronike - integriranu elektroniku.

Integrirana elektronika omogućila je nagli razvoj digitalne elektronike i računalstva, tako da se danas digitalni uređaji primjenjuju u mnogim područjima ljudske djelatnosti. Mnogi imaju digitalne televizore, mobitele, digitalna računala, digitalne fotoaparate, kamere... Digitalna elektronika je posvuda.

Današnja industrijska proizvodnja nezamisliva je bez elektroničkih i računalnih sustava koji povećavaju produktivnost i kvalitetu, a provode nadzor procesa proizvodnje, pamćenje podataka te omogućuju automatsko vođenje procesa. Proizvodnju sve više obavljaju roboti, koji se upravljaju elektroničko-računalnim uređajima (slika 1.1-5).

U automobilima postoji mnogo sustava, kojima upravlja središnje računalo. Glavni alat autoelektričara postalo je računalo.



Slika 1.1-5
Primjena robota u autoindustriji

Slika 1.1-6
Digitalni navigacijski uređaj

U području mjerne elektronike sve su zastupljeniji digitalni i računalni mjerni uređaji i sustavi koji imaju mogućnost priključka na računalo u cilju pohranjivanja i obrađivanja mjernih rezultata. Mjerenja u industriji, trgovini, geodeziji, prometu, medicini, sportu ili vojsci obavljaju digitalni elektronički uređaji, a računalni ih uređaji obrađuju.

Financijsko poslovanje nezamislivo je bez elektroničkih uređaja. Sve se više koristi internet bankarstvo, a token omogućuje identifikaciju korisnika.

Navigacijski sustavi i sustavi upravljanja prometom koriste razne digitalne uređaje i sustave (slike 1.1-6 i 1.1-7).

Slika 1.1-7
Upravljanje prometom

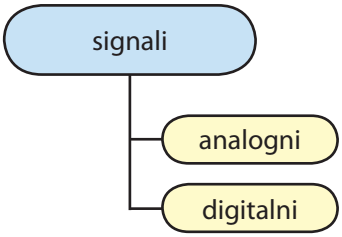
U području telekomunikacija koriste se digitalne telefonske centrale, digitalna mobilna telefonija i digitalni modulacijski postupci.

Svima je postalo dostupno snimanje, obrada i reprodukcija fotografija te audio i video sadržaja. Specijalni efekti u filmskoj industriji nezamislivi su bez računalne tehnike, a digitalna zemaljska i internetska televizija pružaju dodatne mogućnosti u postupku snimanja, obrade i prijenosa video informacija (slika 1.1-8).

Komuniciranjem putem telefona, interneta ili interaktivnim sustavima, informacije su postale dostupne svima, tako da nas digitalna i računalna tehnika uvode u novo informacijsko-komunikacijsko doba.

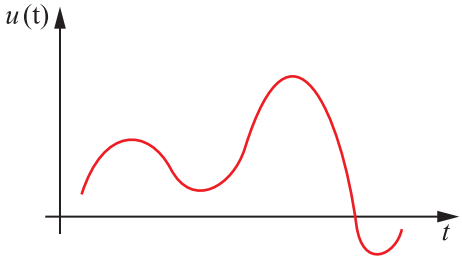
Slika 1.1-8
Digitalni televizor

2. Brojevni sustavi i kodovi



2.1 ANALOGNI I DIGITALNI SIGNALI

Signal je informacija koja prolazi određenim medijem, a informacija je podatak s točno određenim značenjem. Podaci se prikazuju električnim signalima koji mogu biti naponski i strujni. Signali mogu biti analogni i digitalni. Fizikalni procesi u velikoj većini slučajeva daju analogne signale, a potreba za digitalnim signalima ukazala se kad su postignuti uvjeti za računalnom obradom fizikalnih procesa. Kako bi se analogni signal mogao obraditi računalom, pretvaramo ga u digitalni.



Slika 2.1-1
Analogni naponski signal

Analogni signal je vremenski neprekinut (kontinuiran) signal, pri čemu je informacija o fizikalnoj veličini koju prikazuje sadržana u amplitudi signala.

Analogni naponski signal prikazuje slika 2.1-1. Napon u kontinuirano poprima različite vrijednosti u vremenu t između najveće i najmanje vrijednosti. Na taj se način može promatrati i jakost struje.

Elektronički sklopovi koji obrađuju analogne signale nazivaju se analogni sklopovi.

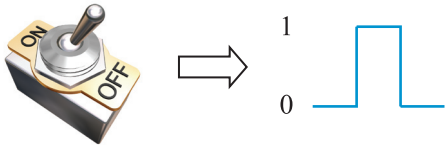
Napomena

Engleska riječ *digit*, što znači znamenka, potječe od latinske riječi *digitus*, što znači prst.

Digitalni signal je vremenski prekinut (diskontinuiran) signal, pri čemu je informacija o fizikalnoj veličini koju prikazuje sadržana u postojanju ili nepostojanju impulsa u nekom trenutku.

Podatak se digitalnim signalom predočava impulsima koji predstavljaju binarne znamenke.

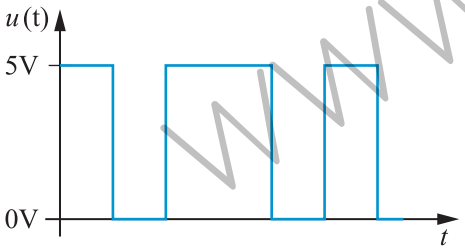
Elektronički sklopovi koji obrađuju digitalne signale nazivaju se digitalni sklopovi.



Slika 2.1-2
Predočavanje položaja sklopke binarnim znamenkama

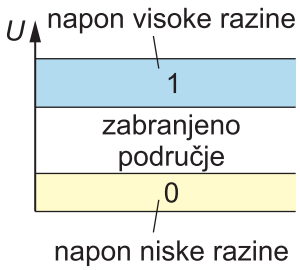
U digitalnoj elektronici koristi se binarni brojevni sustav zato što su digitalni uređaji građeni od sklopova koji imaju dva različita stanja, tj. rade kao sklopke. Jednoj znamenci odgovara jedan položaj sklopke, a drugoj znamenci drugi (slika 2.1-2). Znamenke binarnog brojevnog sustava 0 i 1 i mogu se prikazati niskom ili visokom razinom napona, vođenjem i nevođenjem struje i slično.

Osim oznaka binarnih znamenaka 0 i 1 koriste se i oznake L (engl. *low* - nisko) i H (engl. *high* - visoko) ili istina i laž (engl. *true* i *false*). S obzirom na to da najčešće nemaju matematičko značenje, često ih se naziva logička nula (kraće 0) i logička jedinica (kraće 1). Slika 2.1-3 prikazuje primjer digitalnog naponskog signala.

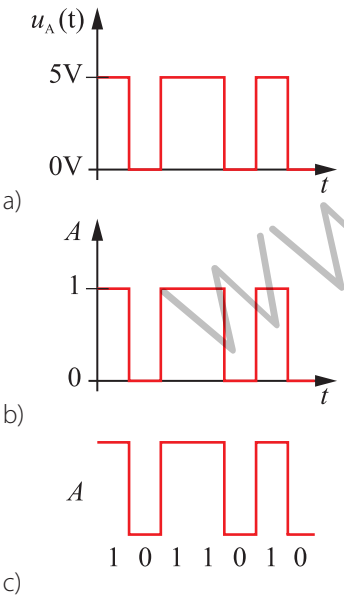


Slika 2.1-3
Primjer digitalnog naponskog signala

Binarnim znamenkama 0 i 1 dodjeljuje se određeno područje napona, a između njih je zabranjeno područje napona. Ukoliko je napon logičke jedinice veći od napona logičke nule, riječ je o pozitivnoj logici (slika 2.1-4). U praktičnoj primjeni prevladava pozitivna logika. Stoga će svi sklopovi u ovom udžbeniku biti objašnjeni primjenom pozitivne logike.



Slika 2.1-4
Pozitivna logika



Slika 2.1-5
Digitalni signali kao:
a) naponske razine
b) logičke razine
c) pojednostavljeni prikaz

Vrijednost napona logičke jedinice ovisi o tipu digitalnih sklopova, a napon logičke nule obično je približno 0 V.

Ukoliko je napon logičke jedinice niži od napona logičke nule, riječ je o negativnoj logici.

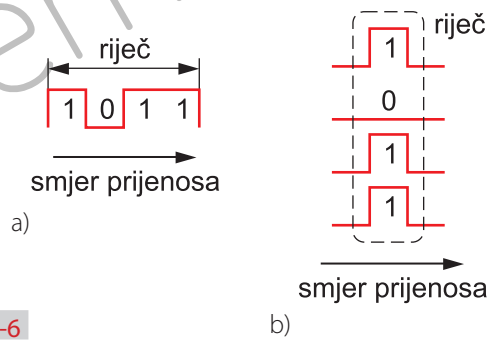
Vrijednosti visoke i niske razine napona mogu se mijenjati u određenim granicama, a da to ne utječe na binarno značenje koje im je dodijeljeno. Informacija o nekoj fizikalnoj veličini nije sadržana u amplitudi signala, nego u rasporedu niza impulsa jednake amplitude. Zbog toga su digitalni sklopovi pouzdaniji i manje osjetljivi na smetnje nego analogni. Točnost digitalnih sustava ovisi samo o broju bitova koji se koriste za prikaz podataka.

U digitalnim se sklopovima binarni brojevi predočavaju nizom naponskih impulsa, pri čemu je na *x*-osi vrijeme, a na *y*-osi napon ili logička vrijednost (0 ili 1). Često se radi jednostavnosti prikaza izostavljaju oznake koordinatnih osi (slika 2.1-5).

Pri radu digitalnih sustava podaci se stalno prenose iz jednog dijela sustava u drugi. Podatak sastavljen od više bitova može se prenositi serijski ili paralelno.

Serijski prijenos podataka odvija se jednim vodičem, tako da impulsi koji predstavljaju binarne znamenke slijede u vremenskim razmacima jedan za drugim. Serijski prijenos može početi s najznačajnijim bitom ili s najmanje značajnim bitom (slika 2.1-6a), a za ispravan prijenos potrebni su sinkronizacijski impulsi, koji sinkroniziraju predajnu i prijamnu stranu.

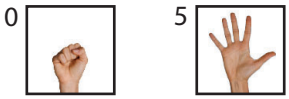
Kod paralelnog prijenosa podataka svi se bitovi jedne binarne riječi prenose istovremeno, i to svaki svojim posebnim vodičem (slika 2.1-6b). Binarne riječi prenose se jedna za drugom serijski. Na ovaj se način prenose podaci po sabirnicama digitalnog računala.



Slika 2.1-6
Prijenos podataka:
a) serijski
b) paralelni

2.2 BROJEVNI SUSTAVI

Brojevni sustav označava način zapisa brojeva pomoću skupa znamenaka.



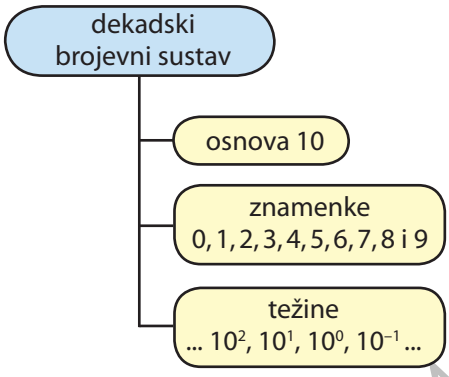
Slika 2.2-1
Brojanje na prste

U svakodnevnom životu koristimo dekadski brojevni sustav. Ljudi broje i računaju po dekadskom brojevnom sustavu, a ne razmišljaju o tome da je nastao na osnovi deset prstiju koji su čovjeku oduvijek pomoć pri računanju (slika 2.2-1).

Osnovni logički sklopovi suvremenih digitalnih računala temelje svoje djelovanje na binarnoj logici, odnosno logici koja koristi samo dva različita, i uz to stabilna stanja. Tim stanjima pridaju se dva značenja, primjerice istina/laž, da/ne, ima/nema, ima napona/nema napona, uključeno/isključeno, 0/1 i slično. Svi podaci koji ulaze u računalo moraju biti prevedeni u binarni oblik koji će računalo razumjeti. Uobičajeno je u računalu ta dva stanja označavati kao 0 i 1.

Brojevni sustav koji ima samo dvije znamenke pa je pogodan za prikaz u računalu naziva se binarni brojevni sustav. Radi lakšeg rada s binarnim brojevima koriste se drugi brojevni sustavi, primjerice oktalni i heksadekadski.

2.2.1 Dekadski brojevni sustav



Dekadski brojevni sustav ima osnovu ili bazu deset (10) i deset znamenaka: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 i 9.

Dekadski brojevni sustav je položajni ili pozicijski brojevni sustav. Svaka znamenka nekog broja nalazi se na određenom brojnom mjestu.

Brojno mjesto označava položaj znamenke u odnosu na decimalni zarez.

Brojna mjesta počinju se brojati od nule počevši od decimalnog zareza prema lijevo. Brojna mjesta lijevo od nule imaju pozitivan, a desno od nule negativan predznak. Brojevi u dekadskom sustavu ili dekadski brojevi prikazuju se nizom znamenaka, a svako brojno mjesto u nizu ima određeni težinski faktor ili težinu. Težina brojnog mjesta je osnova potencirana brojnim mjestom. Znamenka je to značajnija što je dalje lijevo u nizu.

Najmanje značajna znamenka ili znamenka najmanje težine (engl. *least significant digit*, skraćeno LSD) je znamenka na desnom kraju broja.

Najznačajnija znamenka ili znamenka najveće težine (engl. *most significant digit*, skraćeno MSD) je krajnja lijeva znamenka.

Tablica 2.2-1
Potencija broja 10

potencije broja 10		
n	10^n	
0	10^0	= 1
1	10^1	= 10
2	10^2	= 100
3	10^3	= 1000
4	10^4	= 10 000
5	10^5	= 100 000
6	10^6	= 1 000 000

Težina najnižeg cjelobrojnog mjesta je $10^0 = 1$, drugog mjesta je $10^1 = 10$, trećeg $10^2 = 100$ itd. (tablica 2.2-1). Na isti način, brojna mjesta iza decimalnog zareza imaju težine $10^{-1} = 0{,}1$, $10^{-2} = 0{,}01$ itd.

Opći prikaz cjelobrojnog prirodnog broja N u dekadskom sustavu ili u sustavu s osnovom 10 je:

$$N = d_n d_{n-1} \ldots d_1 d_{0(10)} = d_n \cdot 10^n + d_{n-1} \cdot 10^{n-1} + \ldots + d_1 \cdot 10^1 + d_0 \cdot 10^0.$$

brojno mjesto znamenka težina

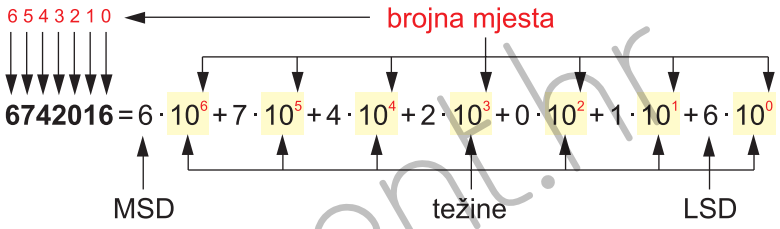
Pri pisanju dekadskih brojeva pišu se samo znamenke d_n, d_{n-1}, ..., d_1, d_0, koje su cijeli brojevi, a težina pojedine znamenke određuje se prema položaju znamenke, odnosno prema brojnom mjestu znamenke. Oznaka osnove obično se izostavlja.

Vrijednost svakog broja dobit ćemo tako da svaku znamenku pomnožimo s njenom težinom i sve zbrojimo.

Primjer 1

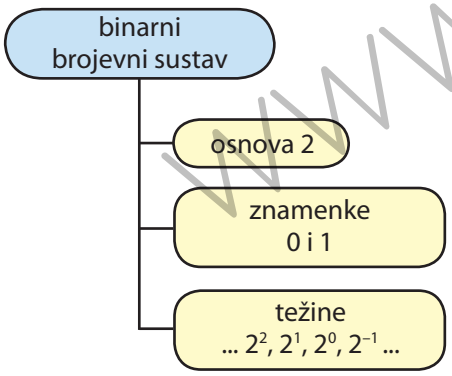
Dekadski broj 6742016 možemo detaljnije prikazati na sljedeći način:

Rješenje:



Znamenka 6 na lijevoj strani ima težinu 1 000 000, a znamenka 6 na desnoj strani ima težinu 1.

2.2.2 Binarni brojevni sustav



Binarni brojevni sustav ima osnovu dva (2) i dvije znamenke: 0 i 1.

Opći prikaz prirodnog broja N u binarnom brojevnom sustavu ili u sustavu s osnovom 2 je:

$$N = b_n b_{n-1} \ldots b_1 b_0 = b_n \cdot 2^n + b_{n-1} \cdot 2^{n-1} + \ldots + b_1 \cdot 2^1 + b_0 \cdot 2^0.$$

brojno mjesto znamenka težina

Pritom znamenke b_n, b_{n-1}, ..., b_1, b_0 mogu biti 0 ili 1.

Binarni brojevni sustav je položajni, odnosno pozicijski brojevni sustav, kao i dekadski. Pritom najniže cjelobrojno mjesto ima težinu $2^0 = 1$, dru-

go mjesto ima težinu $2^1 = 2$, treće $2^2 = 4$, četvrto $2^3 = 8$ itd. Tablica 2.2-2 prikazuje neke potencije broja 2, odnosno težine *n*-tog brojnog mjesta.

Na isti način, brojna mjesta iza zareza imaju težine $2^{-1} = 0{,}5$, $2^{-2} = 0{,}25$ itd.

U binarnom brojevnom sustavu binarna se znamenka naziva bit, što je skraćeno od engleskog *binary digit* i označava se malim slovom b. Primjerice, tako je binarni broj 1101 četverobitni broj, 110011 šesterobitni broj itd. Skupina od osam bitova zajedno čini jedan bajt (engl. *byte*) i označava se velikim slovom B.

Najmanje značajan bit ili bit najmanje težine (engl. *least significant bit*, skraćeno LSB) je krajnji desni bit binarnog broja.

Najznačajniji bit ili bit najveće težine (engl. *most significant bit*, skraćeno MSB) je krajnji lijevi bit binarnog broja, primjerice:

$$b_n\, b_{n-1}, \ldots, b_1\, b_0.$$

bit najveće težine — bit najmanje težine

Tablica 2.2-3 prikazuje dekadske brojeve od 0 do 15 i njihove binarne ekvivalente. Binarni brojevi prikazani su kao četverobitni. Pritom nule lijevo od najznačajnijeg bita (ispred zadnje jedinice u nizu) nemaju značenje, ali dodaju se da bi svi brojevi imali jednak broj bitova. Ovaj niz binarnih brojeva naziva se prirodni četverobitni niz.

Najveći broj s *n* znamenaka koji se može predočiti u nekom brojevnom sustavu je $B^n - 1$, pri čemu je *B* osnova (baza) brojevnog sustava. S četiri bita postoji $2^n = 16$ kombinacija ($n = 4$), što znači da se mogu prikazati dekadski brojevi od 0 do $B^n - 1 = 15$.

Brojeve u binarnom brojevnom sustavu čitamo znamenku po znamenku. Primjerice, broj 101 čitamo kao jedan-nula-jedan.

Tablica 2.2-2
Potencije broja 2

potencije broja 2		
n	2^n	
0	2^0	= 1
1	2^1	= 2
2	2^2	= 4
3	2^3	= 8
4	2^4	= 16
5	2^5	= 32
6	2^6	= 64
7	2^7	= 128
8	2^8	= 256
9	2^9	= 512
10	2^{10}	= 1024

Tablica 2.2-3
Dekadski, binarni i heksadekadski brojevi od 0 do 15

dekadski broj	binarni broj	heksa-dekadski broj
0	0000	0
1	0001	1
2	0010	2
3	0011	3
4	0100	4
5	0101	5
6	0110	6
7	0111	7
8	1000	8
9	1001	9
10	1010	A
11	1011	B
12	1100	C
13	1101	D
14	1110	E
15	1111	F

Primjer 1

Binarni broj 1011011 možemo detaljnije prikazati na sljedeći način:

Rješenje:

6 5 4 3 2 1 0 ← brojna mjesta

$$\mathbf{1011011} = 1 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$$

MSB — težine — LSB

2.2.3 Heksadekadski brojevni sustav

heksadekadski brojevni sustav
- osnova 16
- znamenke 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E i F
- težine ... 16^2, 16^1, 16^0, 16^{-1} ...

Heksadekadski brojevni sustav ima osnovu 16 i šesnaest znamenaka: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B C, D, E i F.

Za znamenke od 0 do 9 koriste se znamenke dekadskog brojevnog sustava, a za znamenke od $10_{(10)}$ do $15_{(10)}$ slova abecede sa značenjem: A = $10_{(10)}$, B = $11_{(10)}$, C = $12_{(10)}$, D = $13_{(10)}$, E = $14_{(10)}$ i F = $15_{(10)}$ (tablica 2.2-3).

Opći prikaz prirodnog broja *N* u heksadekadskom brojevnom sustavu ili u sustavu s osnovom 16 je:

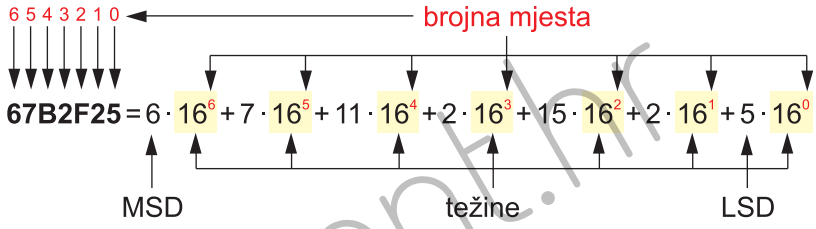
$$N = a_n a_{n-1} \ldots a_1 a_0 = a_n \cdot 16^n + a_{n-1} \cdot 16^{n-1} + \ldots + a_1 \cdot 16^1 + a_0 \cdot 16^0$$

brojno mjesto — znamenka — težina

Primjer 1

Heksadekadski broj 67B2F25 možemo detaljnije prikazati na sljedeći način:

Rješenje:



1011 0011 1111 0111
B 3 F 7

Heksadekadski sustav koristi se da bi se skratio zapis broja u binarnom sustavu, pri čemu četiri binarne znamenke, odnosno četiri bita, predstavljaju jednu heksadekadsku znamenku.

On služi samo kao pomoć programeru pri pisanju programa. Prije unosa u računalo potrebno je podatke zapisane u heksadekadskom brojevnom sustavu pretvoriti u binarni brojevni sustav.

2.2.4 Pretvorbe brojeva iz jednog brojevnog sustava u drugi

Pri radu s različitim brojevnim sustavima često je potrebno broj prikazan u jednom sustavu pretvoriti u broj u drugom sustavu.

dekadski → binarni

: 2

ostatak

LSB
MSB ↑

a) Pretvorba broja iz dekadskog brojevnog sustava u binarni i u heksadekadski

Pretvorba cjelobrojnog dekadskog broja u binarni svodi se na niz dijeljenja dekadskog broja s dva dok se ne dobije rezultat dijeljenja nula, pri čemu se kao binarne znamenke bilježe dobiveni ostaci. Prvo dijeljenje daje bit najmanje težine, a zadnje dijeljenje bit najveće težine.

Primjer 1

Pretvorimo dekadski broj 157 u binarni.

Rješenje:

dekadski broj	osnova 2	kvocijent	ostatak	značenje bita	smjer čitanja
157	: 2	= 78	1	bit najmanje težine	↑
78	: 2	= 39	0		
39	: 2	= 19	1		
19	: 2	= 9	1		
9	: 2	= 4	1		
4	: 2	= 2	0		
2	: 2	= 1	0		
1	: 2	= 0	1	bit najveće težine	

Dekadski broj 157 pretvoren u binarni je:

$$157_{(10)} = 10011101_{(2)}.$$

dekadski → heksadekadski

: 16

ostatak

LSD
MSD ↑

- Pretvorba broja iz dekadskog u heksadekadski brojevni sustav svodi se na niz dijeljenja dekadskog broja sa 16 dok se ne dobije rezultat dijeljenja nula, pri čemu ostatak daje heksadekadske znamenke. Prvo dijeljenje daje znamenku najmanje težine, a zadnje dijeljenje znamenku najveće težine.

Primjer 2

Pretvorimo dekadski broj 2717 u heksadekadski:

Rješenje:

dekadski broj	osnova 16	kvocijent	ostatak	značenje bita		smjer čitanja
2717	: 16	= 169	13	D	bit najmanje težine	↑
169	: 16	= 10	9	9		
10	: 16	= 0	10	A	bit najveće težine	

$2717_{(10)} = A9D_{(16)}$

b) Pretvorba broja iz binarnog i heksadekadskog brojevnog sustava u dekadski

binarni → dekadski
heksadekadski → dekadski

$\Sigma a_i B^i$

Broj prikazan u brojevnom sustava s osnovom *B* pretvaramo u odgovarajući broj u dekadskom brojevnom sustavu tako da svaku znamenku pomnožimo s njenom težinom te tako dobivene vrijednosti zbrojimo.

Primjer 3

Pretvorimo binarni broj 10011101 u dekadski.

Rješenje:

$$\begin{aligned} 10011101_{(2)} &= 1 \cdot 2^7 + 0 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 \\ &= 1 \cdot 128 + 0 \cdot 64 + 0 \cdot 32 + 1 \cdot 16 + 1 \cdot 8 + 1 \cdot 4 + 0 \cdot 2 + 1 \cdot 1 \\ &= 128 + 0 + 0 + 16 + 8 + 4 + 0 + 1 \\ &= 157_{(10)} \end{aligned}$$

Primjer 4

Pretvorimo heksadekadski broj A9D u dekadski.

Rješenje:

$$\begin{aligned} A9D_{(16)} &= 10 \cdot 16^2 + 9 \cdot 16^1 + 13 \cdot 16^0 \\ &= 10 \cdot 256 + 9 \cdot 16 + 13 \cdot 1 \\ &= 2560 + 144 + 13 \\ &= 2717_{(10)} \end{aligned}$$

binarni → heksadekadski

4 binarne znamenke
≙
1 heksadekadska znamenka

heksadekadski → binarni

1 heksadekadska znamenka
≙
4 binarne znamenke

c) Pretvorba broja iz binarnog u heksadekadski brojevni sustav i obratno

Heksadekadski sustav predstavlja skraćeni oblik pisanja binarnog sustava, pri čemu četiri binarne znamenke (četiri bita) predstavljaju jednu heksadekadsku znamenku i obratno, jedna heksadekadska znamenka predstavlja četverobitni binarni broj (tablica 2.2-3). Ako se broj pretvara iz binarnog u heksadekadski sustav, rade se grupe po četiri bita, počevši od zareza.

Primjer 5

Pretvorimo heksadekadski broj A9D u binarni.

Rješenje:

$$A9D_{(16)} = \underbrace{1010}_{10}\,\underbrace{1001}_{9}\,\underbrace{1101}_{13}$$
$$= 1010\,1001\,1101_{(2)}$$

Primjer 6

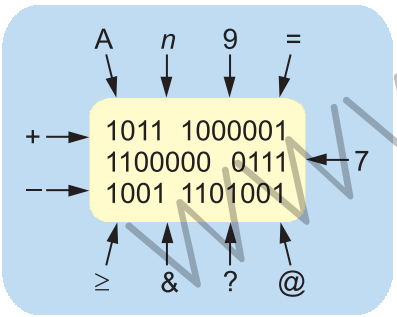
Pretvorimo binarni broj 1111101 u heksadekadski.

Rješenje:

$$1111101_{(2)} = \underbrace{0111}_{7}\,\underbrace{1101}_{D}$$
$$= 7D_{(16)}$$

2.3 BINARNI KODOVI

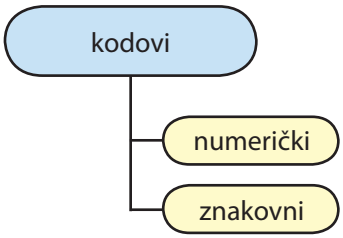
U digitalnim sklopovima podaci se prikazuju kombinacijom bitova 0 i 1. Podatak osim brojeva može predstavljati razne simbole, znakove, instrukcije i drugo. Značenje pojedinog niza nula i jedinica stvar je dogovora pa u tu svrhu služe kodovi.



Kod je dogovoreni skup znakova kojim se predočuju neki podaci.

Kodna riječ je niz bitova kojem se pridodaje određeno značenje. U digitalnim sustavima koriste se riječi duljine primjerice 4, 8, 16 i 32 bita. U digitalnim sklopovima koriste se binarni kodovi.

Binarni kod je kod u kojem kombinacija binarnih bitova predočuje neki podatak.



Numerički kodovi su kodovi za prikaz znamenaka.

Znakovni ili alfanumerički kodovi su kodovi kojima se mogu prikazati znamenke, slova, razni znakovi i simboli.

Treba razlikovati značenje niza bitova u binarnom brojevnom sustavu od niza istih bitova u nekom binarnom kodu. Kombinacija bitova u kodu predočuje podatak koji može biti broj, slovo, instrukcija, znak ili simbol, za razliku od kombinacije bitova u binarnom brojevnom sustavu, koja je uvijek neki broj. Kodiranje mora biti jednoznačno, odnosno jednom znaku treba odgovarati samo jedan niz nula i jedinica i obratno.

2.3.1 Numerički kod BCD

Za prikaz znamenaka dekadskog brojevnog sustava pomoću kombinacija bitova potrebno je deset četverobitnih kombinacija, i to po bilo kojem redu. Četverobitnih kombinacija ima $2^4 = 16$. Od tih 16 četvorki moguće je koristiti bilo koju četvorku za bilo koji dekadski broj, tako da postoji oko 30 milijardi kombinacija s deset binarnih četvorki. Kombinacije za određeni kod biraju se prema svojstvima tog koda.

Tablica 2.3-1
Kod BCD

dekadski broj	kod 8421 BCD
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1001

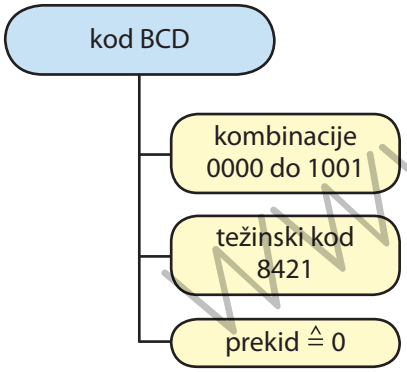
Binarno-dekadskim kodom ili kodom BCD (engl. *binary-coded decimal*) uporabom prvih deset kombinacija prirodnog četverobitnog niza prikazuju se znamenke dekadskog brojevnog sustava.

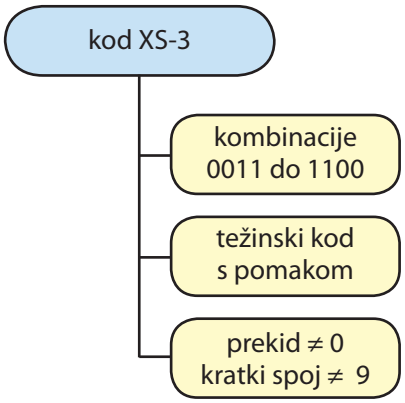
Za prikaz znamenaka dekadskog brojevnog sustava u kodu BCD upotrebljavaju se po redu kombinacije prirodnog binarnog četverobitnog niza (tablica 2.3-1) pa se kod BCD naziva i prirodni binarni kod ili NBCD (od engl. *natural binary-coded decimal*). To je težinski kod, čije su težine 8421. U praksi se uglavnom za kod NBCD koristi naziv kod BCD.

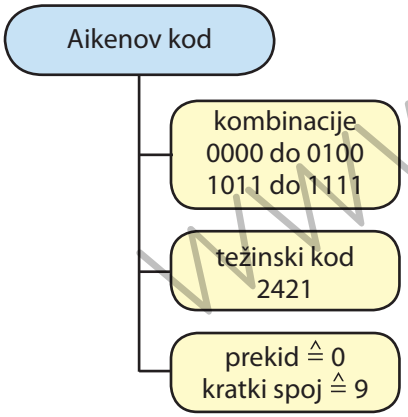
Težinski kod je onaj kod u kojem se svakom brojnom mjestu može dodijeliti određena težina. Ako se težine pomnože s pripadajućim znamenkama i dobiveni se rezultati zbroje, dobije se dekadski broj. Takvi kodovi često se nazivaju prema težinama brojnih mjesta.

Kodiranje u kodu BCD je jednostavno. Svakoj znamenci dekadskog broja odgovara četverobitni binarni ekvivalent.

Kod BCD sadrži i kombinaciju 0000 pa prekid u prijenosu podataka može biti shvaćen kao podatak nula.







Tablica 2.3-2
Aikenov i kod excess-3

dekadski broj	kod excess-3	Aikenov kod
0	0011	0000
1	0100	0001
2	0101	0010
3	0110	0011
4	0111	0100
5	1000	1011
6	1001	1100
7	1010	1101
8	1011	1110
9	1100	1111

Primjer 1

Pretvorimo dekadski broj 45 u binarni brojevni sustav i u kod BCD te usporedimo dobivene kombinacije bitova.

Rješenje:

Pretvorba dekadskog broja u binarni:

45 : 2 = 22	ostatak	1
22 : 2 = 11		0
11 : 2 = 5		1
5 : 2 = 2		1
2 : 2 = 1		0
1 : 2 = 0		1

slijedi: $45_{(10)} = 101101_{(2)}$

Kodiranje dekadskog broja u kod BCD izvodi se prema tablici 2.3-1:

$$45_{(10)} = \underbrace{0100}_{4}\,\underbrace{0101}_{5} = 01000101_{(BCD)}$$

U primjeru uočavamo da je različiti zapis broja u binarnom brojevnom sustavu i kodiranog u kod BCD.

Osim koda 8421, za kodiranje dekadskih znamenaka koriste se i drugi kodovi, primjerice excess-3 (XS-3) te Aikenov kod prema tablici 2.3-2.

Kod excess-3 (XS-3) dobiva se iz prirodnog četverobitnog niza odbacivanjem prve tri i zadnje tri kombinacije bitova, odnosno preskokom prve tri kombinacije. To je težinski kod s pomakom (težine koda BCD–3).

Aikenov kod (kod 2421) dobiva se iz prirodnog četverobitnog niza odbacivanjem srednjih šest kombinacija bitova.

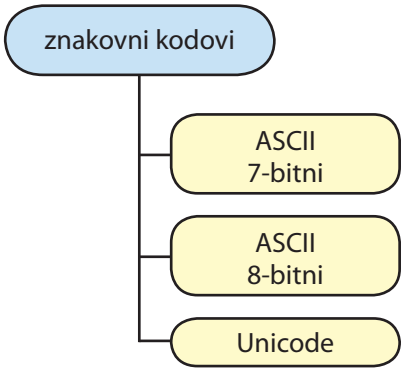
2.3.2 Znakovni kodovi

Znakovni ili alfanumerički kodovi su kodovi koji osim znamenaka omogućuju kodiranje slova, znakova i simbola.

U računalima se najčešće koristi alfanumerički 7-bitni ili 8-bitni ASCII kod.

ASCII je skraćenica od engleskog naziva *american standard code for information interchange*, što u prijevodu znači američki standardni kod za razmjenu informacija.

Osim kombinacija za dekadske znamenke, kod sadrži i kombinacije za velika i mala slova, interpunkcijske znakove, simbole i druge znakove.



Najčešće su u uporabi 7-bitni ASCII kod sa 128 kombinacija ($2^7 = 128$) i 8-bitni prošireni ASCII kod sa 256 kombinacija ($2^8 = 256$).

Za prikaz velikih i malih slova, znamenaka i znakova potrebno je stotinjak kombinacija pa se ostatak kombinacija koristi za kontrolu vanjskih uređaja računala. Radi jednostavnosti pri unosu i pregledu kombinacija, binarne kombinacije ASCII-koda pretvaraju se u dekadski brojevni sustav.

Kombinacije od 32 do 126 dodijeljene su znakovima s tipkovnice (tablica 2.3-3). Kombinacija 127 dodijeljena je naredbi brisanja (DELETE). Kombinacije od 0 do 31 u ASCII-tablici koriste se za kontrolu nekih vanjskih uređaja računala, primjerice pisača.

Osim unosa znaka pomoću tipkovnice, mogu se koristiti i tipkovni prečaci. U računalnom programu za unos teksta drži se tipka ALT i istovremeno se utipka odgovarajući dekadski broj iz tablice ASCII-kombinacija na numeričkom dijelu tipkovnice. Primjerice, kombinacija tipaka ALT i 64 prikazuje znak @, ALT i 65 prikazuje slovo A, itd.

Tablica 2.3-3
Osnovni ASCII-kod

dekadski broj	znak	dekadski broj	znak	dekadski broj	znak	dekadski broj	znak	dekadski broj	znak
32	razmak	52	4	72	H	92	\	112	p
33	!	53	5	73	I	93	]	113	q
34	“	54	6	74	J	94	^	114	r
35	#	55	7	75	K	95	_	115	s
36	$	56	8	76	L	96	`	116	t
37	%	57	9	77	M	97	a	117	u
38	&	58	:	78	N	98	b	118	v
39	‘	59	;	79	O	99	c	119	w
40	(	60	<	80	P	100	d	120	x
41	)	61	=	81	Q	101	e	121	y
42	*	62	>	82	R	102	f	122	z
43	+	63	?	83	S	103	g	123	{
44	,	64	@	84	T	104	h	124	|
45	-	65	A	85	U	105	i	125	}
46	.	66	B	86	V	106	j	126	~
47	/	67	C	87	w	107	k	127	DEL
48	0	68	D	88	X	108	l		
49	1	69	E	89	Y	109	m		
50	2	70	F	90	Z	110	n		
51	3	71	G	91	[	111	o		

Prošireni 8-bitni ASCII-kod sadrži kodove za posebne i specifične znakove u raznim jezicima pa tako i za hrvatski jezik. Postoji više kodnih tablica za određeni jezik.

S obzirom na to da u nekim jezicima postoji vrlo velik broj znakova, razvijen je 16-bitni kod Unicode koji sadrži 65536 znakova ($2^{16} = 65536$).

Primjer 2

Kodirajmo 7-bitnim ASCII-kodom znakovni podatak @hr.

Rješenje:

@ → $64_{(10)} = 1000000_{(ASCII)}$

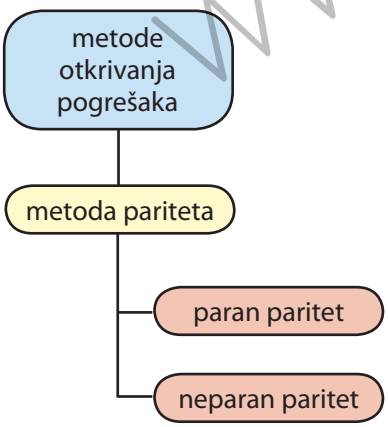
h → $104_{(10)} = 1101000_{(ASCII)}$

r → $114_{(10)} = 1110010_{(ASCII)}$

@hr = $1000000\ 1101000\ 1110010_{(ASCII)}$

2.3.3 Kodovi s otkrivanjem pogrešaka

Iako su digitalni sustavi vrlo pouzdani, pri prijenosu digitalnih signala mogu se pojaviti pogreške. Često je to pogreška u samo jednom bitu podatka. Na nekom se mjestu može pojaviti jedinica umjesto nule ili obratno. Kako bi se takva mjesta otkrila, koriste se kodovi s otkrivanjem pogrešaka.



Kodovi s otkrivanjem pogrešaka služe za prijenos digitalnih signala i otkrivanje moguće pogreške pri prijenosu.

Za otkrivanja pogreške jedne neispravne znamenke često se koristi metoda pariteta. Otkrivanje pogreške postiže se tako da se kodnoj riječi, koja predočuje određeni podatak, doda još jedan bit, tzv. paritetni bit. Dodani bit osigurava da svaka kodna riječ ima paran broj jedinica, ako se koristi metoda parnog pariteta (engl. *even parity*) ili neparan broj jedinica, ako se koristi metoda neparnog pariteta (engl. *odd parity*).

Primjer 1

Metodom parnog pariteta osigurajmo ispravan prijenos sljedećih 7-bitnih kodnih riječi: 1011000, 1000001, 1010111 i 0000101.

Rješenje:

Zadanim kodnim riječima dodaje se paritetni bit, tako da svaka kodna riječ ima paran broj jedinica:

1 1011000, 0 1000001, 1 1010111, 0 0000101.

Kodovi kod kojih se osim otkrivanja jednostruke pogreške određuje i mjesto pogreške pa se time dobiva i mogućnost njenog ispravljanja

Tablica 2.3-4
Ovisnost broja ispitnih bitova o broju znakovnih bitova Hammingova koda

broj znakovnih bitova	broj ispitnih bitova
1	2
2 - 4	3
5 - 11	4
12 - 26	5
27 - 57	6

Tablica 2.3-5
7-bitni Hammingov kod za dekadske znamenke

Hammingov kod	dekadske znamenke koda
$z_7\, z_6\, z_5\, i_4\, z_3\, i_2\, i_1$	
0 0 0 0 0 0 0	0
1 0 0 1 0 1 1	1
0 1 0 1 0 1 0	2
1 1 0 0 0 0 1	3
0 0 1 1 0 0 1	4
1 0 1 0 0 1 0	5
0 1 1 0 0 1 1	6
1 1 1 1 0 0 0	7
0 0 0 0 1 1 1	8
1 0 0 1 1 0 0	9

nazivaju se kodovi s ispravljanjem pogrešaka. Jedan od takvih kodova je Hammingov kod.

Hammingov kod sastoji se od znakovnih bitova z koji predočuju podatak i ispitnih bitova i. U kodu je bitan redoslijed znakovnih i ispitnih bitova. Potreban broj ispitnih bitova ovisi o broju znakovnih. Tablica 2.3-4 prikazuje ovisnost broja ispitnih bitova o broju znakovnih. Što je broj znakovnih bitova veći, potrebno je relativno manje dodatnih ispitnih bitova (tablica 2.3-4). Tako je, primjerice, za kodiranje dekadskog sustava, koji ima četiri znakovna bita potrebno tri ispitna bita, što u odnosu na četiri znakovna bita iznosi 75%. Za kodiranje 32-bitnog podatka potrebno je samo šest ispitnih bitova, što iznosi 15,6%.

Primjer Hammingovog koda za dekadske znamenke prikazan je u tablici 2.3-5. Kod ima ukupno sedam bitova, od čega su četiri znakovna, a tri ispitna. Podatak je predočen bitovima z_7, z_6, z_5 i z_3, uz dodana tri paritetna bita i_4, i_2 i i_1. Pogreška se određuje kroz tri provjere pariteta:

- provjerava se paran paritet bitova z_7, z_5, z_3 i i_1
- provjerava se paran paritet bitova z_7, z_6, z_3, i i_2
- provjerava se paran paritet bitova z_7, z_6, z_5 i i_4.

Uspješno ispitivanje na paritet označava se sa 0, neuspješno sa 1. Na taj se način dobije trobitna kombinacija, koja daje redni broj pogrešnog bita. Prikazani kod djeluje ispravno ako se radi o pogrešci u samo jednom bitu.

Primjer 2

Odredimo mjesto pogrešnog bita u kombinaciji 0111011 Hammingova koda za dekadske znamenke.

Rješenje:

Prema tablici 2.3-5 uočavamo da zadana kombinacija bitova ne postoji u tablici, što znači da se sigurno dogodila pogreška. Mjesto pogreške određujemo provjerom pariteta.

Prvo ispitivanje:

$z_7\, z_5\, z_3\, i_1 = 0101$ daje paran paritet i označava se s 0 (najmanje značajan bit).

Drugo ispitivanje:

$z_7\, z_6\, z_3\, i_2 = 0101$ daje paran paritet i označava se s 0.

Treće ispitivanje:

$z_7\, z_6\, z_5\, i_4 = 0111$ daje neparan paritet i označava se s 1 (najznačajniji bit).

Dobiven je binarni broj 100, što odgovara dekadskom broju 4 i znači da je četvrti bit pogrešan (0111011).

Ispravna bi kombinacija glasila: 0110011, a to je prema tablici 2.3-4 dekadska znamenka 6.

PITANJA ZA PROVJERU ZNANJA

1. Što je analogni signal?
2. Što je digitalni signal?
3. Koji se brojevni sustav koristi u digitalnoj elektronici?
4. Koje razine napona odgovaraju binarnim znamenkama?
5. Po čemu se razlikuje pozitivna i negativna logika pri prikazu binarnih brojeva?
6. Opišite serijski prijenos podataka
7. Opišite paralelni prijenos podataka.
8. Što je brojevni sustav?
9. Što je dekadski brojevni sustav?
10. Što je binarni brojevni sustav?
11. Kako se naziva znamenka u binarnom brojevnom sustavu?
12. Što je heksadekadski brojevni sustav?
13. Objasnite pretvorbu između dekadskog i binarnog brojevnog sustava.
14. Što je kod?
15. Što je binarni kod?
16. Što je binarno-dekadski kod?
17. Kako se dobije binarni kod?
18. Koji su kodovi težinski?
19. Kako se dobije XS-3 kod?
20. Kako se dobije Aikenov kod?
21. Čemu služe znakovni kodovi?
22. Kojoj vrsti kodova pripada ASCII-kod?
23. Čemu služe kodovi s otkrivanjem pogreške?
24. Objasnite metodu pariteta za otkrivanje pogreške pri prijenosu digitalnog signala.
25. Objasnite Hammingov kod.