

PRIPREMA

1. Proučiti poglavlje Poluvodičke diode iz skripte Elektronika 1, I dio.
2. Strujno-naponska karakteristika diode dobro je opisana jednačbom

$$I_D = I_S \left[\exp \left(\frac{U_D}{m U_T} \right) - 1 \right]$$

Uz pretpostavku da je $m = 1$, $U_T = 25,84$ mV i $I_S = 1$ nA, odredite napon na diodi pri kojem je struja kroz diodu jednaka $10 \cdot I_S$ i $100 \cdot I_S$. Kolika se greška unosi u proračun struje pri naponu $U_D = 0,5$ V u slučaju da se zanemari jedinica u uglatoj zagradi? Grešku izrazite u postocima u odnosu na vrijednost struje koja se dobiva bez zanemarenja.

Prostor za rješavanje:

1. slučaj

$$10 \cdot I_S = I_S \left(\exp \left(\frac{U_D}{U_T} \right) - 1 \right)$$

2. slučaj

$$100 = \exp \left(\frac{U_D}{U_T} \right) - 1$$

11 = exp $\frac{U_D}{U_T}$ / kalkulator

$U_D = 0,062$ V

$U_D = 0,119$ V

regularno (da -1)

$$I_D = 10^{-9} \left[\exp \left(\frac{0,5}{25,84 \times 10^{-3}} \right) - 1 \right]$$

$$I_D = 0,2532392361 \text{ A}$$

„zakoronićmo -1“

$$I_D' = 10^{-9} \cdot \exp \left(\frac{0,5}{25,84 \times 10^{-3}} \right)$$

$$I_D' = 0,2532392371 \text{ A}$$

$$\rightarrow \text{greška: } 100 - \frac{I_D}{I_D'} \cdot 100 = \frac{3,949 \times 10^{-2}}{1} \% = 0,0000003949 \%$$

3. Za diodu iz 1. zadatka odredite napon U_D pri kojem je struja I_D jednaka 0,1 mA, 1 mA, 10 mA, 20 mA, 30 mA, 40 mA i 50 mA. Rezultate upišite u tablicu.

I_D [mA]	U_D [V]
0,1	0,297
1	0,357
10	0,416
20	0,434
30	0,445
40	0,452
50	0,458

Prostor za rješavanje:

$$I_D = I_S \cdot \left(\exp \left(\frac{U_D}{U_T \cdot m} \right) - 1 \right)$$

* Shockley

$$U_D = \ln \left(\frac{I_D}{I_S} + 1 \right) \cdot U_T$$

$$U_D = \ln \left(I_D \cdot 10^9 + 1 \right) \cdot 25,84 \times 10^{-3}$$

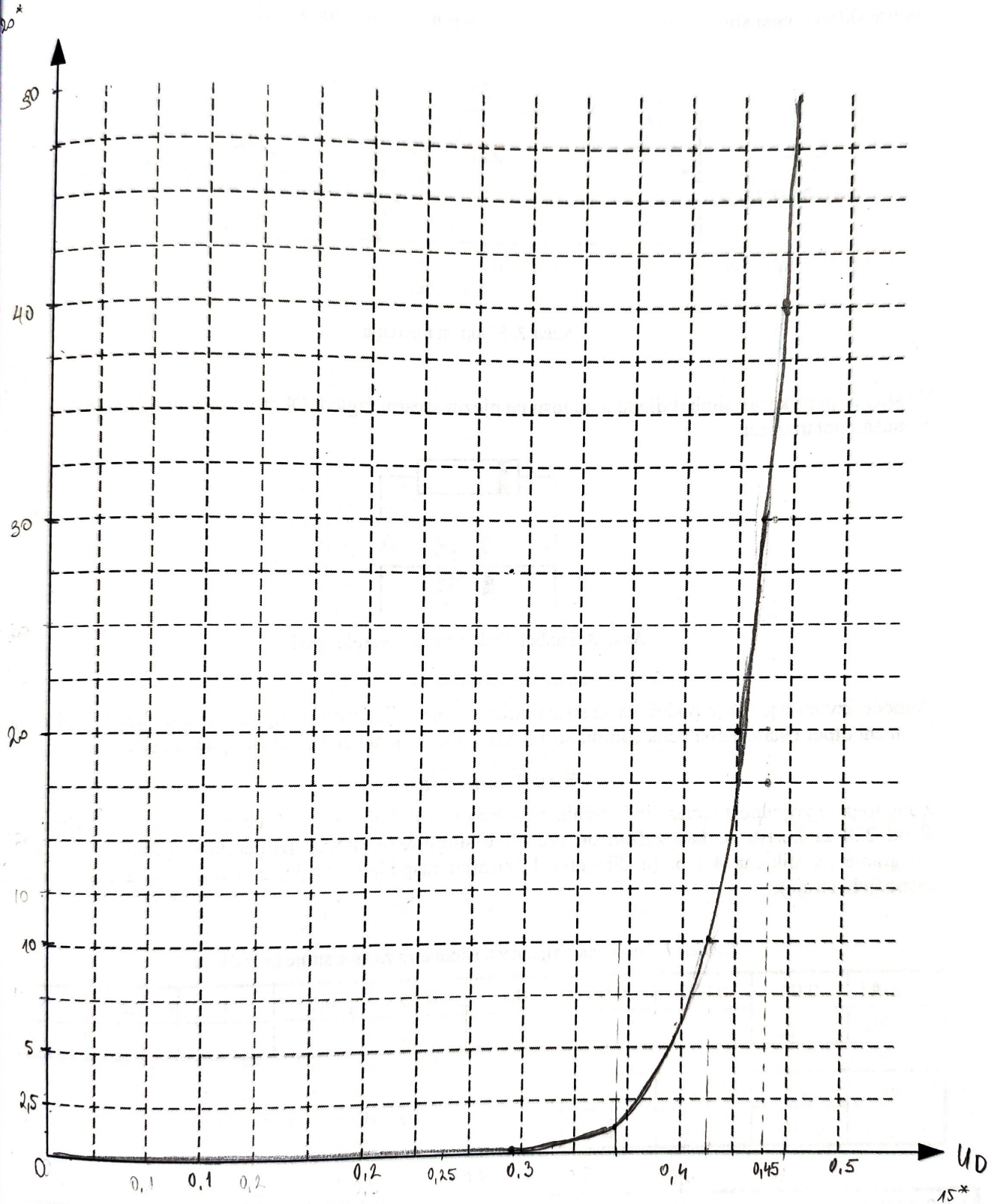
* iz prošlog zadatka?

$$U_T = 25,84 \text{ mV}$$

$$I_S = 1 \text{ nA}$$

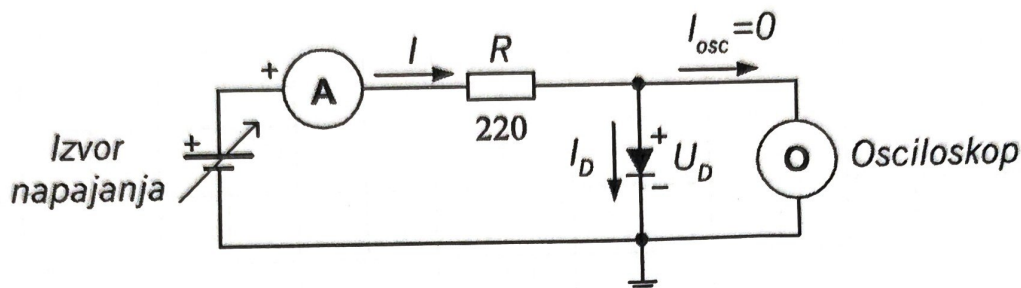
* kalkulator

4. Rezultate za strujno-naponsku karakteristiku iz 2. zadatka ucrtajte u dijagram (upute za dijagram: na apscisi je napon U_D u rasponu od 0 do 0,7 V, a na ordinati struja I_D u linearnom mjerilu u rasponu od 0 do 50 mA).



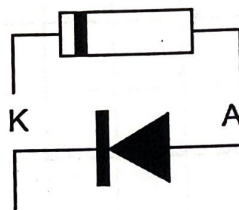
RAD U LABORATORIJU

1. Spojite sklop prema slici 2. Smanjiti napon na izvoru napajanja na 0 V!!!



Slika 2. Sklop za mjerenje

Na slici 3. je prikazan simbol diode u odnosu na njezin stvarni izgled. Obratite pažnju da dioda mora biti propusno polarizirana.



Slika 3. Simbol diode i njezin stvarni izgled

Pomoću izvora napajanja podešava se struja diode prema vrijednostima upisanim u tablici 1. Budući da je ulazni otpor osciloskopa velik (približno 1 MΩ), struja koja ulazi u osciloskop može se zanemariti.

$$I = I_D + I_{osc} \approx I_D \quad (2.1)$$

Zbog toga je vrijednost struje diode približno jednaka struji koja prolazi kroz ampermetar (A). Otpornik R od 220 Ω koristi se kao zaštita od prevelike struje kroz diodu. Izmjerene vrijednosti ucrtajte u dijagrame na slikama 4 i 5. (u dijagram 1 linearnu raspodjelu struje, a u dijagram 2 logaritamsku raspodjelu struje).

2. tab
1. tab
Tablica 1. Izmjerene vrijednosti napona za zadane struje kroz diodu

I_D [mA]	0,01	0,025	0,05	0,1	0,25	0,5	1	2,5	5
U_D [V]	0,46	0,50	0,52	0,56	0,60	0,63	0,65	0,68	0,72

I_D [mA]	10	25	50
U_D [V]	0,76	0,82	0,88

NAPOMENA: Kada ste izmjerili napon diode uz struju 50 mA isključite izvor jer će u protivnom pregoriti otpornik!!!!

2. Struja zasićenja I_S i parametar m određuju se iz jednačbi

$$I_1 \approx I_S \exp\left(\frac{U_1}{mU_T}\right) \quad (2.2)$$

$$I_2 \approx I_S \exp\left(\frac{U_2}{mU_T}\right) \quad (2.3)$$

gdje je naponski ekvivalent temperature U_T jednak

$$U_T = \frac{kT}{q} = \frac{T}{11600} \quad [\text{V}] \quad U_1 = 0,6 \quad U_2 = 0,68 \quad (2.4)$$

Pretpostaviti da je temperatura $T = 300 \text{ K}$, a za struje uzeti $I_1 = 0,25 \text{ mA}$ i $I_2 = 2,5 \text{ mA}$.

NAPUTAK: Najjednostavnije je prvo odrediti parametar m tako da se jednačba (2.2) podijeli s jednačbom (2.3). Rezultate upišite u tablicu 2.

Prostor za rješavanje:

$$\frac{I_1}{\exp\left(\frac{U_1}{mU_T}\right)} = \frac{I_2}{\exp\left(\frac{U_2}{mU_T}\right)}$$

$$\frac{0,25 \times 10^{-3}}{\exp\left(\frac{0,6}{m \cdot \frac{300}{11600}}\right)} = \frac{2,5 \times 10^{-3}}{\exp\left(\frac{0,68}{m \cdot \frac{300}{11600}}\right)}$$

$$\rightarrow m = 1,343$$

$$I_S = \frac{I_1}{\exp\left(\frac{U_1}{m \cdot U_T}\right)}$$

$$I_S = 7,863 \times 10^{-12} \text{ A}$$

Tablica 2. Parametri diode

$I_S [\text{A}]$	m
$7,863_{\text{pA}}$	1,34

3. Za grafičko određivanje parametra I_S poslužit će rezultati mjerenja za struje u rasponu od 0,1 mA do 10 mA. Pri tim strujama može se pretpostaviti da je

$$I_D \approx I_S \exp\left(\frac{U_D}{mU_T}\right) \quad (2.5)$$

Ako se ova jednačba logaritmirala, dobiva se

$$\log I_D = \log I_S + \frac{U_D}{mU_T} \log e \quad (2.6)$$

Ovdje valja primijetiti da lijeva strana gornje jednačbe predstavlja logaritamsku raspodjelu struje, tj. upravo ono što je prikazano na slici 5. Ako se kroz ucertane rezultate mjerenja povuče pravac i taj pravac produži do ordinate, mjesto presjecišta pravca i ordinate predstavlja I_S , jer za $U_D = 0$ vrijedi da je $\log I_D = \log I_S$, tj. $I_D = I_S$. Vrijednost I_S upišite u tablicu 3.

Tablica 3. Struja zasićenja određena grafičkim putem

$I_S [\text{A}]$
$7,316_{\text{pA}}$

4. Pomoću parametra I_S , izračunatog u drugom zadatku, odredite za struju $I_3 = 50 \text{ mA}$ teoretsku vrijednost napona na pn spoju

$$U_{3izr} = mU_T \ln \frac{I_3}{I_S} = 0,784 \text{ V} \quad (2.7)$$

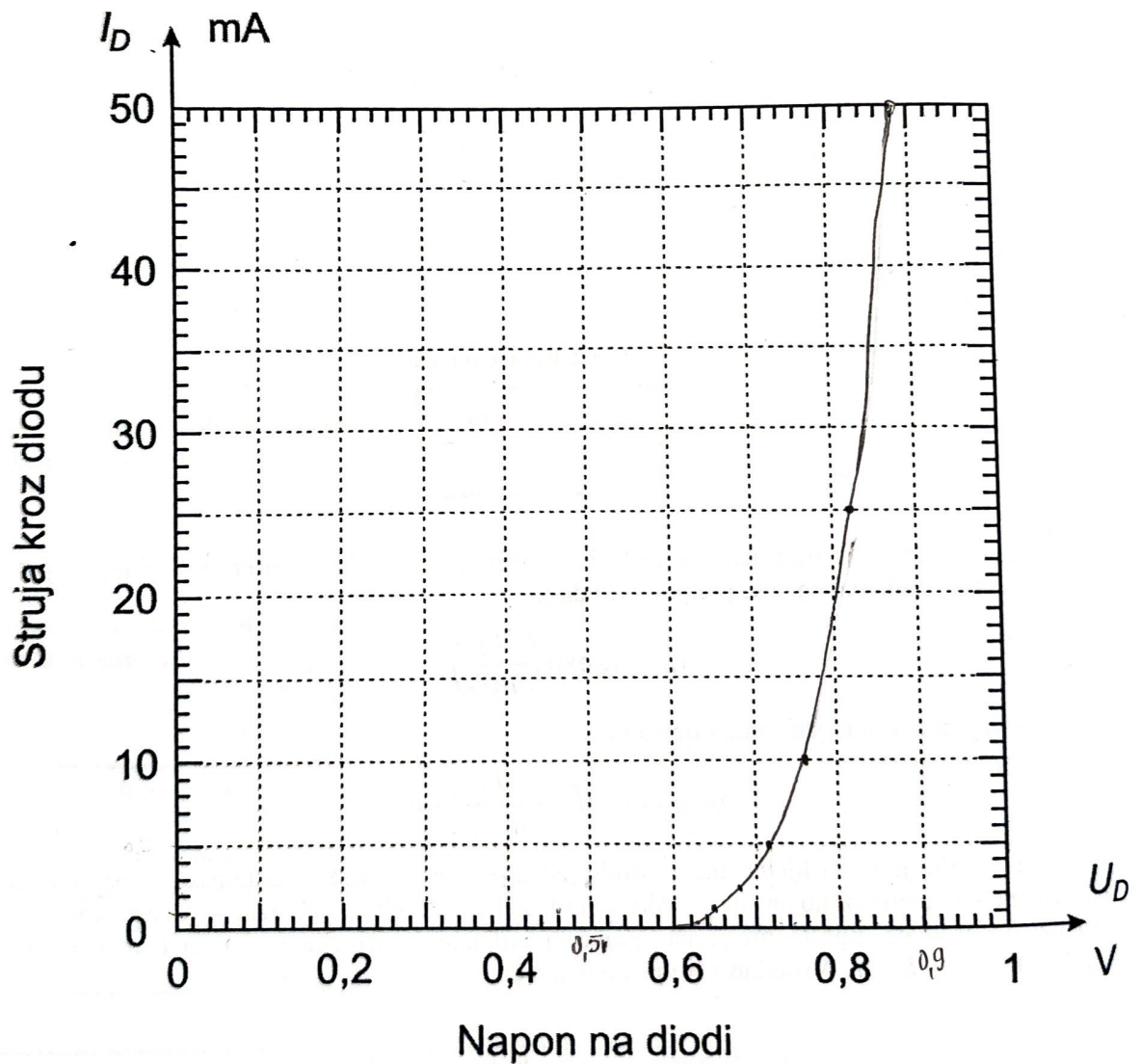
i na osnovu te vrijednosti odredite unutrašnji serijski otpor diode R_u preko izraza

$$R_u = \left| \frac{U_{3mj} - U_{3izr}}{I_3} \right| = 1,92 \, \Omega \quad (2.8)$$

Vrijednost R_u upišite u tablicu 4.

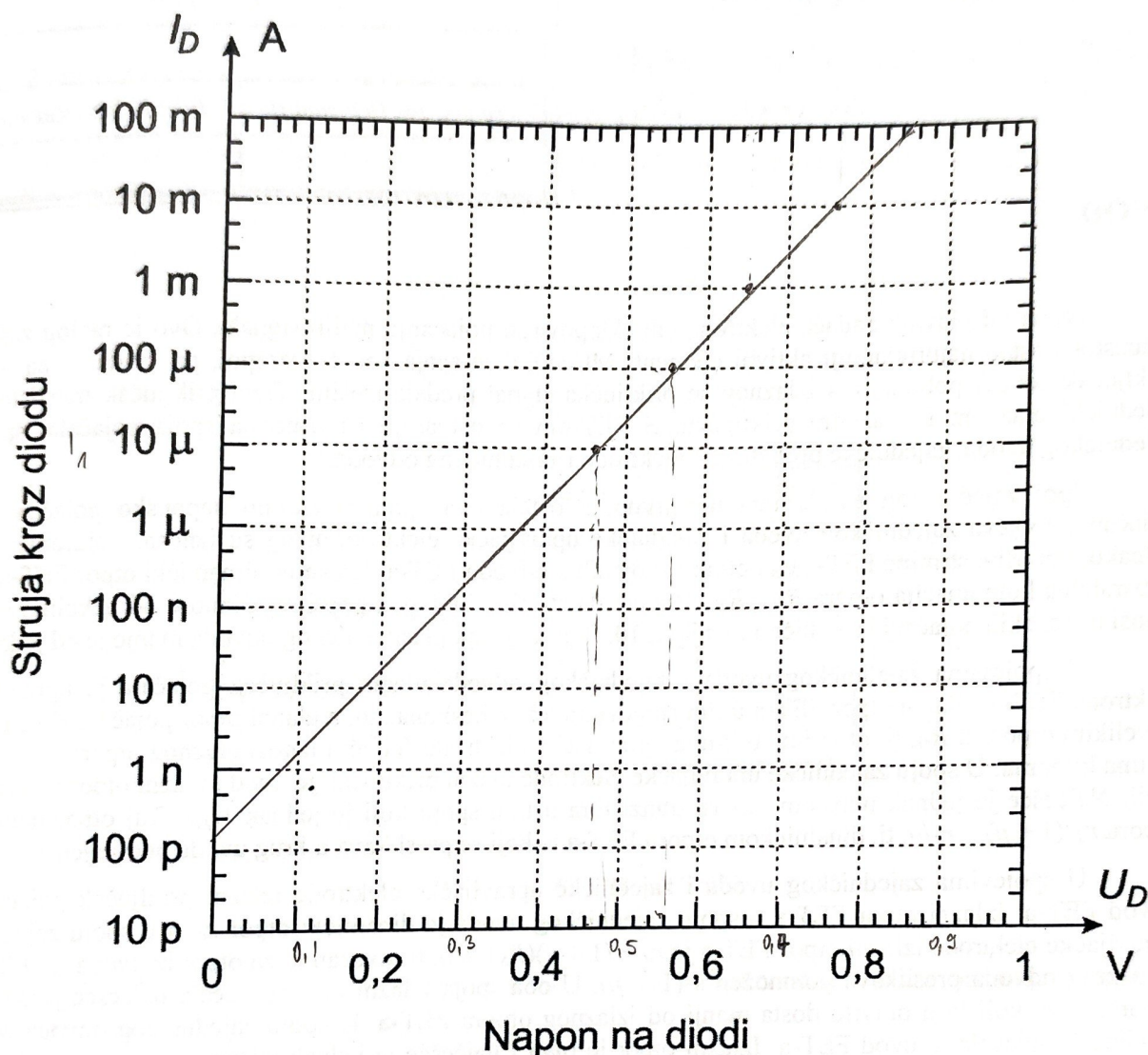
Tablica 4. Unutrašnji serijski otpor diode

$R_u [\Omega]$
1,92



Slika 4. Dijagram 1 - Ovisnost struje o naponu na diodi (linearna raspodjela struje)

$$0,01 \text{ mA} = 10 \mu\text{A} \quad 10$$



Slika 5. Dijagram 2 - Ovisnost struje o naponu na diodi (logaritamska raspodjela struje)

NAPOMENA: Na ordinati je prikazano logaritamsko mjerilo. Tako npr. između glavnih oznaka za struju od 1 mA i 10 mA postoje samo 2 dodatne crtice, za struje od 2,5 mA i 5 mA. Slično vrijedi za raspon struja od 10 do 100 nA, gdje dodatne crtice označavaju struje od 25 i 50 nA. Ako se udaljenost između glavnih oznaka, npr. između 1 i 10 mA, uzme kao 100%, tada je struja od 2,5 mA na 40 %, a 5 mA je na 70 % te udaljenosti.