

# Določanje Boltzmannove konstante

Samo Krejan

maj 2025

## 1 Uvod

Boltzmanova konstanta  $k_b$  je ena izmed najpomembnejših konstant v fiziki. Mi smo jo določali na podlagi diskusije o tokovih znotraj bipolarnega tranzistorja ( $n - p - n$ ). To so najbolj osnovni tranzistorji sestavljeni iz dveh  $p - n$  stikov.

Naš bipolarni tranzistor ima tri kontakte imenovane kolektor, emitor in baza. V vaji kolektor in bazo kratko sklenemo in merimo kolektorski tok  $I_c$  v odvisnosti od napetosti med bazo in emitorjem  $U_{BE}$ . Tevretična napoved te odvisnosti je podana z Ebbbers-Mollovo enačbo:

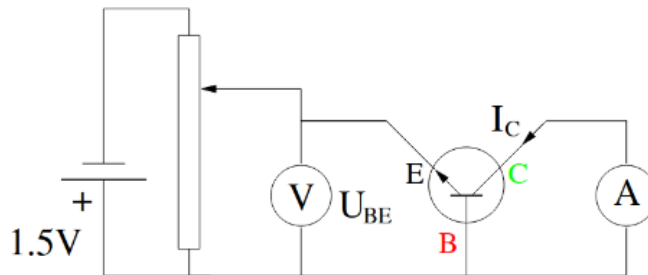
$$I_c(T) = I_s(T) \left[ \exp\left(\frac{e_0 U_{BE}}{k_b T}\right) - 1 \right],$$

kjer je  $e_0$  osnovni naboj,  $T$  temperatura in  $I_s(T)$  velikost nasičenega toka v zaporni smeri.

Ker že v naprej vemo, da je Boltzmannova konstanta izredno majhna, vemo, da bo eksponent izredno velik in lahko *pozabimo* na  $-1$  saj je efektivna napaka zaradi tega manjša od procenta. Tako dobimo poenostavljeno enačbo 1:

$$I_c(T) = I_s(T) \exp\left(\frac{e_0 U_{BE}}{k_b T}\right), \quad (1)$$

Pri eksperimentu smo nadzorovali napetost med bazo in emitorjem s pomočjo baterije in variabilnega upora glej vezje 1, temperaturo pa smo nadzorovali s pomočjo Dewarjeve posode z vodo.



Slika 1: Skica vezja, uporabljenega skozi celotno vajo (vir: navodila)

## 2 Potrebščine

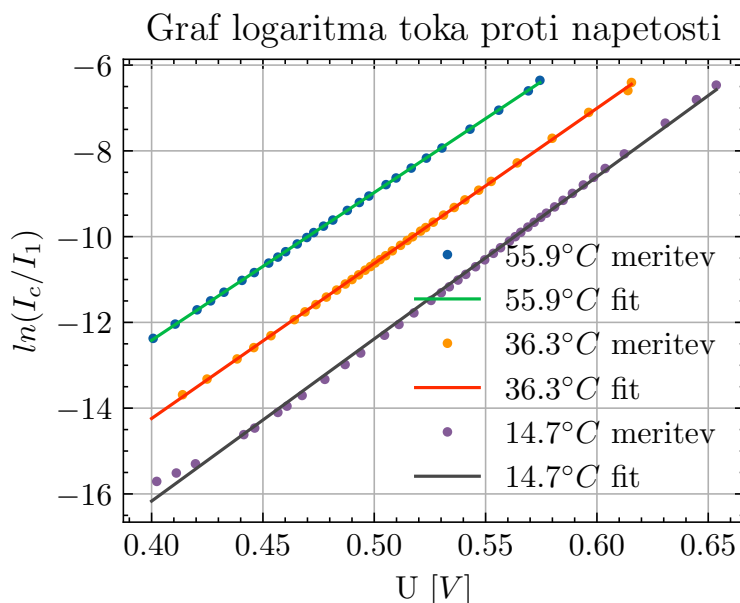
- bipolarni n-p-n tranzistor tipa BC182B,
- potenciometer in baterija (1,5 V),
- multimeter (Voltcraft 870) in namizni multimeter (SigLent SDM 3065X), žice,
- termometer, Dewarjeva posoda, grelec vode in izdelovalec ledu,
- prenosnik z ustrezno programsko opremo.

## 3 Naloga

1. Izmerite odvisnost kolektorskega toka  $I_c$  v odvisnosti od napetosti  $U_{BE}$  pri temperaturah: 15, 35 in 55 stopinj,
2. določite razmerje  $e_0/k_b$ ,
3. izmerite temperaturno odvisnost kolektorskega toka tranzistorja od temperature pri napetostih  $U_{BE}$ : 0,5 in 0,58 volta.

## 4 Rezultati in analiza

Najprej smo merili odvisnost kolektorskega toka  $I_c$  od napetosti med bazo in emitorjem  $U_{BE}$ . Iz enačbe 1 vidimo, da bi bilo koristno enačbo linearizirati z logaritmom, da bomo lahko določali razmerje  $e_0/k_b$ . To storimo za meritve pri vseh treh različnih temperaturah. Tako je nastal graf 2, ki prikazuje linearizirane vse tri meritve posebj.



Slika 2: Linearizirane odvisnosti kolektorskega toka od napetosti

S pythonom, smo lahko zelo zanesljivo določili naklon premic na grafu 2 s čimer smo dobili  $\frac{e_0}{k_b T}$ . Ko to vrednost končno pomnožimo še s temperaturo pri kateri smo izvedli posamezno meritev dobimo iskano razmerje  $\frac{e_0}{k_b}$ . Vrednosti so zapisane v tabeli 1:

T [°C]	$\frac{e_0}{k_b}$ [K/V]
$55,9 \pm 0,6$	$11340 \pm 20$
$36,3 \pm 0,3$	$11190 \pm 10$
$14,7 \pm 0,1$	$10888 \pm 4$
average	$11100 \pm 200$

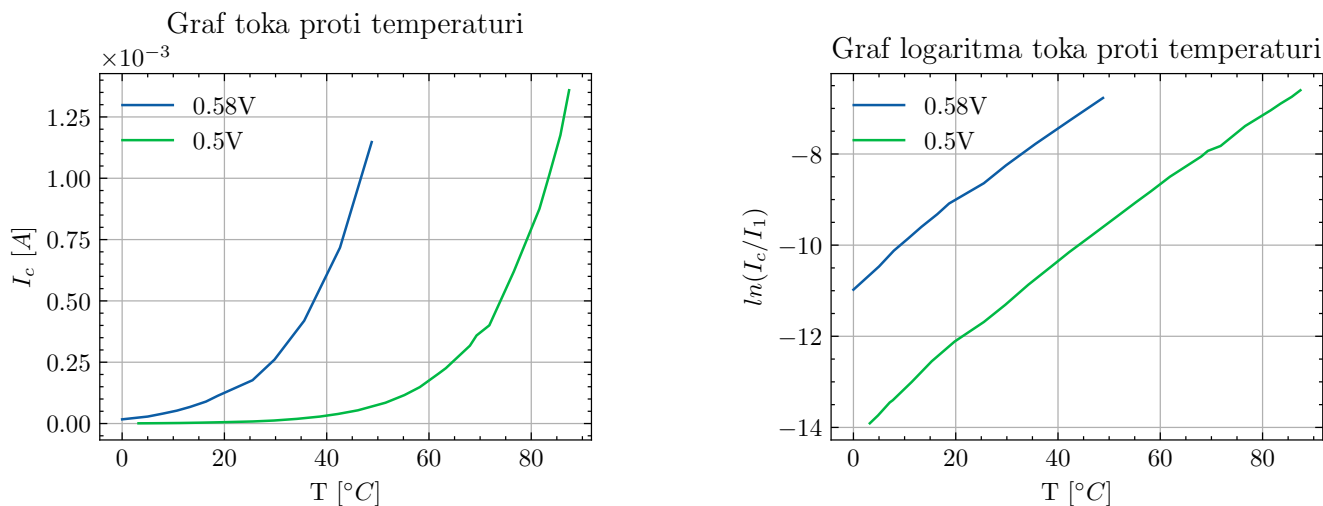
Tabela 1: preračunane vrednosti za iskano razmerje ter njegova povprečna vrednost

S tem smo na žalost nekoliko zgrašili vrednost iz literature (11604 K/V). A pogumno je delati statistične zaključke po treh meritvah, zato sem si sposodil še 38 meritev mojih sošolcev, kjer sem preko enakega postopka prišel do rezultata:

$$\frac{e_0}{k_b} = (11200 \pm 400) K/V,$$

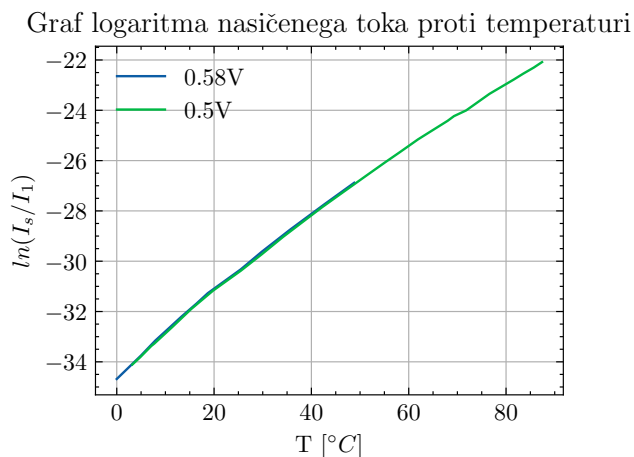
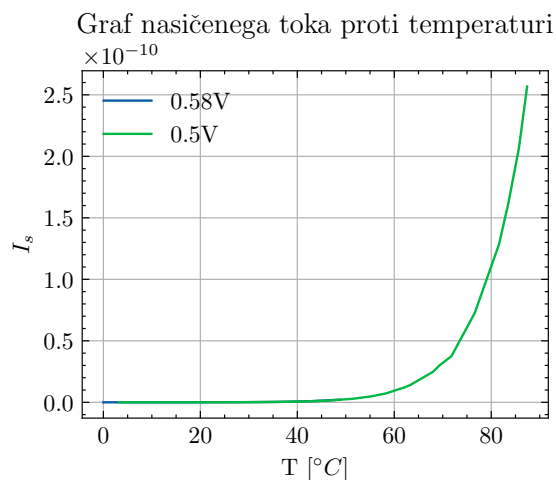
ki se dejansko strinja z teoretično vrednostjo v okviru napake.

Sledi raziskava odvisnosti kolektorskega toka od temperature. Merili smo pri dveh različnih nape-  
tostih  $U_{BE}$  in dobili naslednje grafe 3:



Slika 3: Meritev kolektorskega toka na levi in njegovega logaritma na desni, v odvisnosti od temperature

Kot vidimo, je odvisnost blizu eksponentni, a ne popolnoma. Kot nas navodila podučijo, nas tukaj bolj zanima neposredna meritev saturacijskega toka v odvisnosti od temperature. Slednjega lahko izrazimo iz enačbe 1 in odvisnost tudi graframo. Na ta način dobimo slednja grafa 4:



Slika 4: Preračunane vrednosti nasičenega toka in njegovega logaritma

Na žalost mi ni uspelo na neposredno meritve nasičenega toka fitati v navodilih predstavljenega modela, a že iz slike nas ni težko prepričati, da odvisnost velja. Da smo naredili nekaj prav še bolje dokazuje dejstvo, da se grafa čez skupno definicijsko območje zelo natančno prekrivata. To dvoje skupaj nam da nekaj zaupanja, da smo res uspešno izmerili nasičen tok.