

# Določanje Boltzmannove konstante

Miha Pompe

Maj 2021

## 1 Teorija

Meritev Boltzmannove konstante smo izvedli s pomočjo bipolarnega tranzistorja. Le-ta ima tri kontakte kolektor, emitor in baza. Kolektor in bazo v vaji kratko sklenemo in merimo odvisnost toka skozi kolektor – kolektorskega toka  $I_C$  od napetosti med bazo in emitorjem  $U_{BE}$ . Teoretična napoved te odvisnosti je podana z Ebers-Mollovo enačbo

$$I_C = I_S(T) \left( \exp\left(\frac{e_0 U_{BE}}{K_B T}\right) - 1 \right)$$

kjer je  $e_0$  osnovni naboj,  $T$  absolutna temperatura,  $U_{BE}$  pozitivna napetost med bazo in emitorjem ter  $I_S(T)$  velikost nasičenega toka v zaporni smeri. Že za majhne pozitivne napetosti  $U_{BE}$  je eksponentni člen v zgornji enačbi dosti večji kot 1 in zato lahko v tem režimu enačbo brez prave izgube natančnosti zanemarimo 1.

Pri vseh meritvah posredno merimo tudi saturacijski tok  $I_S$ , katerega temperaturna odvisnost je podana z nastavkom

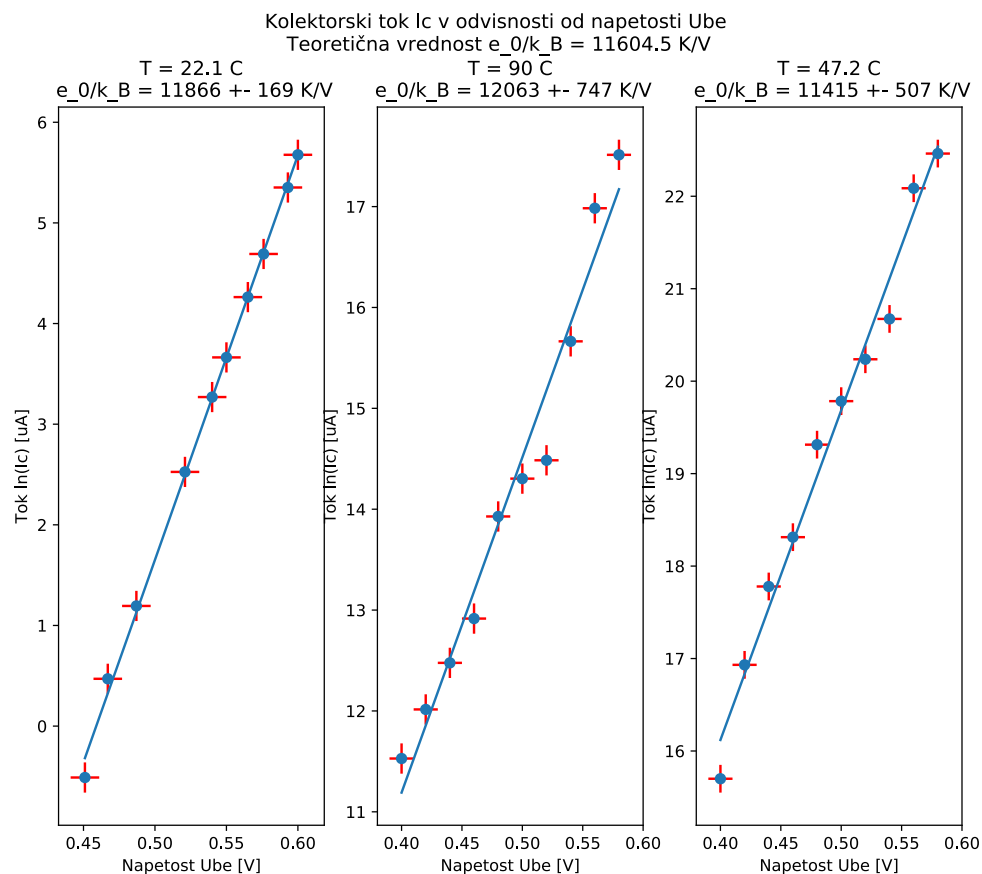
$$I_S(T) = \alpha T^n \exp\left(\frac{-E_g(T)}{k_B T}\right)$$

kjer sta  $\alpha$  in  $n$  praktično neodvisna od temperature in močno zavisita od načina izdelave tranzistorja,  $E_g$  pa je širina energetske vrzeli nedopiranega silicija, ki je odvisna od temperature. Za parameter  $n$  se v literaturi pojavljajo vrednosti od 2 do 4.

## 2 Rezultati in analiza

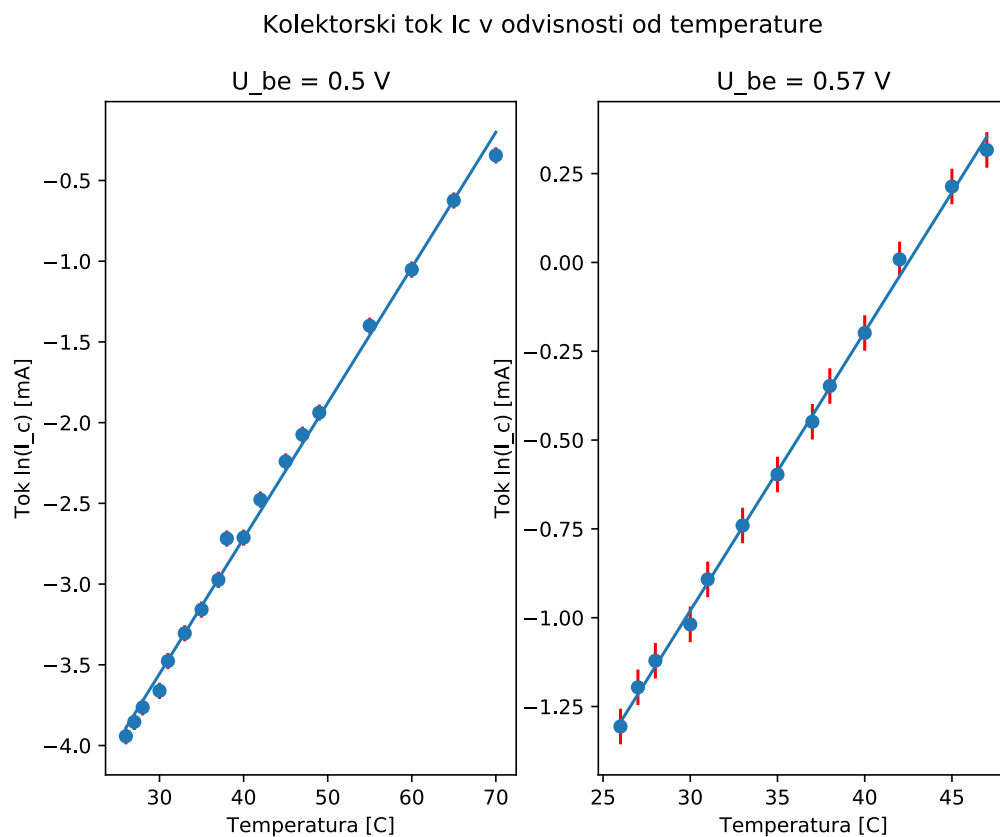
Prvi del meritev je bilo merjenje odvisnosti kolektorskega toka in napetosti med bazo in emitorjem. Na podlagi prve enačbe pričakujemo eksponentno

odvisnost med tema količinama. Graf 1 zato prikazuje logaritem toka v odvisnosti od napetosti, na kar lahko nanesemo premico z naklonom  $e_0/k_B T$ . Meritve smo izvedli pri treh različnih temperaturah. Iz naklonov premic smo izmerili željen koeficient. Vrednosti koeficientov se od teoretične vrednosti (11604 K/V) razlikujejo v okviru merske napake. Le-ta je posledica napake meritve toka in napetosti ter fluktuacij temperature.



Graf 1: Odvisnost kolektorskega toka od napetosti.

Drugi del meritev je bilo merjenje odvisnosti kolektorskega toka od temperature pri konstantni napetosti. Pri tem smo pričakovali prav tako eksponentno odvisnost, katero lahko potrdimo z opazovanjem Grafa 2, kjer je prikazan logaritem toka v odvisnosti od temperature. Opazimo lahko tudi višje vrednosti toka pri višji napetosti, kar se prav tako sklada s teorijo. Vzroki odstopanj meritev od teoretične vrednosti so napak pri meritvi toka in napetosti ter zagotavljanje konstante temperature vode.



Graf 2: Dimenzije vrtavke in preračunani vztrajnostni momenti.

### 3 Diskusija

Z vajo smo potrdili našo teoretično razumevanje delovanja tranzistorja, njegovo eksponentno odvisnost tok in napetosti ter temperature. Izmerili pa smo tudi količnik  $e_0/k_B$  na 6% natančno (v najslabšem primeru).