

РЕГИОНАЛНИ ЦЕНТАР ЗА ТАЛЕНТЕ ВРАЊЕ

---

**ИЗВОРИ КОНСТАНТНЕ СТРУЈЕ У ЕЛЕКТРОНИЦИ**  
**SOURCES OF CONSTANT CURRENT IN ELECTRONICS**

*Аутор:*

**ДРАГАНА МИТРОВИЋ**, ученица 3. разред гимназија „ Стеван Јаковљевић”, Власотинце

*Ментори:*

**МАЈА ВЕЉКОВИЋ** професор физике у Гимназији „Стеван Јаковљевић“, Власотинце  
и

**НОВИЦА СТОЈИЛКОВИЋ** дипл. инж. ел. самостални стручни сарадник при Ф.Д.В.  
„Христифор Црниловић - Кица“, Власотинце

Власотинце 2016.

# ИЗВОРИ КОНСТАНТНЕ СТРУЈЕ У ЕЛЕКТРОНИЦИ SOURCES OF CONSTANT CURRENT IN ELECTRONICS

Аутор: **ДРАГАНА МИТРОВИЋ**, ученица 3. разреда Гимназија „Стеван Јаковљевић”  
Ментори: **МАЈА ВЕЉКОВИЋ** професор физике у Гимназији „Стеван Јаковљевић“ и  
**НОВИЦА СТОЈИЛКОВИЋ** дипл. инж. ел. самостални стручни сарадник при Ф.Д.В.  
„Христифор Црниловић - Кица“

## РЕЗИМЕ

Овим радом желимо показати како се користе **извори константне струје у електроници**, као на пример у дискретној и интегрисаној техници (диференцијални појачавач, операциони појачавач), мерној техници (пренос мерне величине жичаним путем на већем растојању), за готове уређаје (добивање сребрне воде, пуњачи). Кроз практични део биће приказане особине извора константне струје тако што ће се доказати да се јачина струје неће мењати иако се мења отпорност потрошача на излазу. За реализацију овог дела пројекта користили смо операциони појачивач UA741 са осталим пратећим компонентама (отпорници, хеликоидни тример...).

**Кључне речи:** операциони појачавач UA 741, извор константне струје, Вилсонов извор константне струје, биполарни транзистор и струјно огледало

## SUMMARY

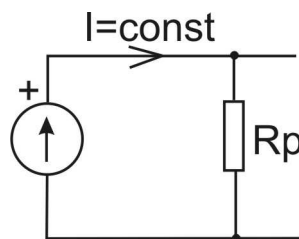
These work we want to show how to use sources of constant current in electronics, such as in the discrete and integrated technologies (differential amplifier, operational amplifier), measuring technology (measuring the size of the transfer by wire to the greater distance) for finished devices (obtaining silver water, battery) . Through the practical part will be shown features constant current source so it will be proved that the current strength will not change even though the changes in the output of consumer resistance. For the realization of this part of the project we used the operational amplifier UA741 with other supporting components (resistors, helical trimmer ...).

Keywords: operational amplifier UA 741, constant current source, constant current source of Wilson, bipolar transistor and current mirror

## Увод

Када се говори о изворима напајања најчешће се мисли на напонске изворе напајање. То су извори напајања који на својим крајевима дају сталан напон а излазна струја је у зависности од потрошача. Знање да постоје само напонски извори је заступљено у широј јавности. Управо због тога овим се радом жели да укаже да поред напонских извора постоје и извори струје. Велику примену су нашли извори константне струје у електроници. За разлику од напонских извора, струјни извори на излазу дају сталну струју и она се не мења са променом потрошача већ се на крајевима таквог извора мења напон. Њихова примена у електроници је велика како у дискретној тако и интегрисаној техници, као готови уређаји или мерној техници. Практичним радом је реализован извор константне струје и њиме је показано да се вредност подешене струје за извор константне струје не мења већ да се са променом потрошача, у овом случају вредности отпора, мења напон на крајевима извора константне струје.

На слици 1 приказана је основна шема и ознака извора константне струје.



Слика 1, ознака извора константне струје са потрошачем  
Picture 1, mark of constant current source with the consumer

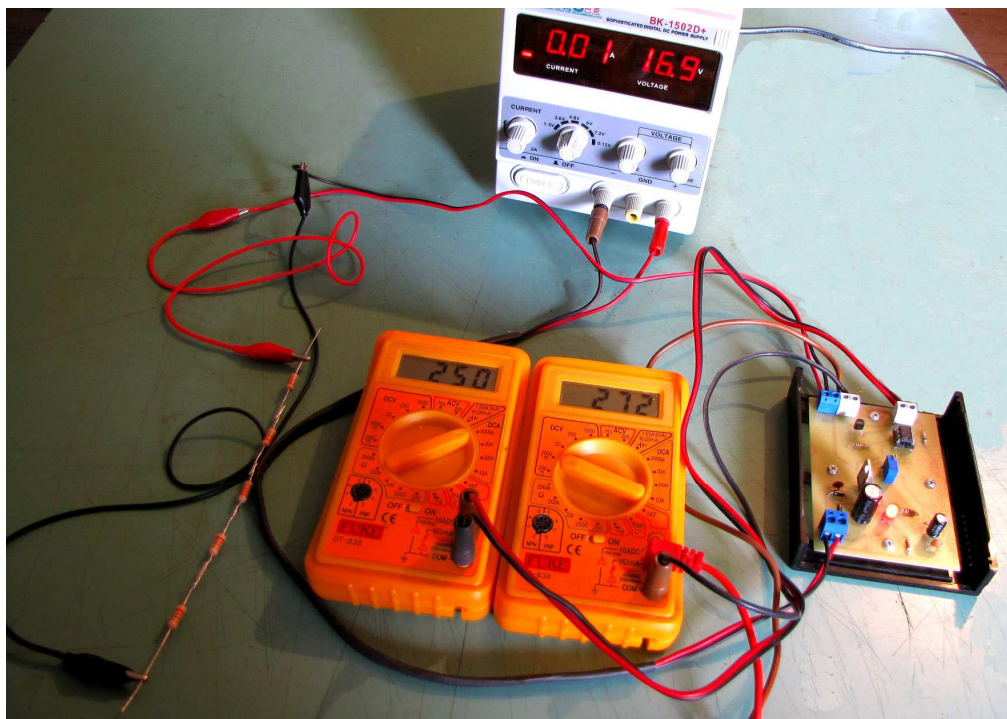
## МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ РАДА

За реализацију овог рада коришћена је следећа опрема:

- Извор напонског напајања,
- Посебно направљен извор константне струје,
- Унимер као волтметар,
- Унимер као амперметар,
- Каблови, проводници са крокодимицама (штипаљке) и бананицама,
- Отпорници као потрошачи на извору константне струје



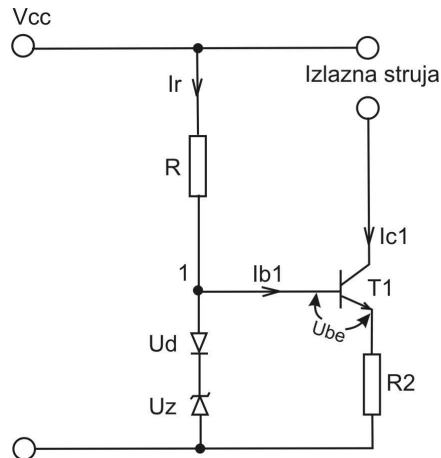
Слика 2, Шематски приказ практичног дела  
Picture 2, Schematic representation of the practical work



Слика 3, Практични изглед апаратуре за мерење  
Picture 3 Practical layout apparatus for measuring

## Неки извори константне струје

### Једноставан извор константне струје



Слика 4, Једноставан извор константне струје  
Picture 4, simple constant current source

Отпорник  $R$  служи да ограничи струју која протиче кроз диоде. Нека орјентациона вредност струје је неколико  $\text{mA}$ . Напон на диоди је око  $U_d=0,7\text{V}$ . Напон на транзистору је око  $U_{be}=0,6\text{V}$ . Напон на зенер диоди  $U_z$  зависи од зенер диоде за који је напон направљена. За напон у тачки 1 имамо:

$$U_1 = U_d + U_z \quad (1)$$

Диода која ствара напон  $U_d$  је стављена ради температурне стабилизације вредности излазне струје. Наиме, напон  $U_d$  има исту промену напона у зависности од температуре као напон на транзистору  $U_{be}$ . Тиме је промена напона на отпорнику  $R_2$  у зависности од температуре компензована.

За струју која протиче кроз отпорник  $R_2$  која је уједно и струја кроз емитер транзистора је:

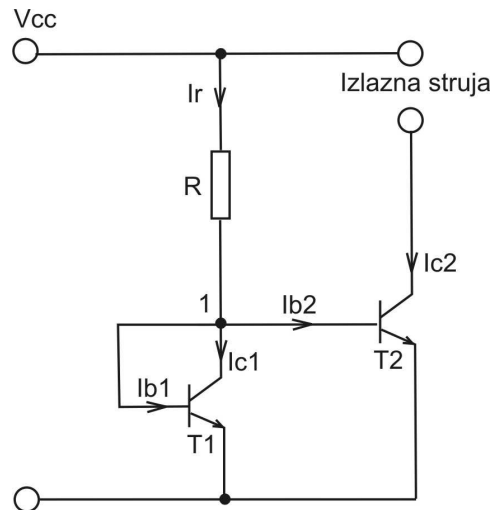
$$I_{R2} = I_e = \frac{U_z + U_d - U_{be}}{R_2} \quad (2)$$

$$I_e = I_b + I_c \text{ како је } I_b \ll I_c \text{ имамо да је} \quad (3)$$

$$I_e \approx I_c \text{ па је} \quad (4)$$

$$I_c = \frac{U_z + U_d - U_{be}}{R_2} \quad (5)$$

## Струјно огледало



Слика 5, струјно огледало  
Picture 5, current mirror

$$\text{Појачање транзистора } \beta_1 = \beta_2 = \beta \quad (6)$$

$$U_{be1} = U_{be2} = U_{be} \quad (7)$$

$$I_r = \frac{V_{cc} - U_{be}}{R} \quad (8)$$

$$I_{b1} = I_{b2} = I_b \quad (9)$$

$$I_r = I_{b1} + I_{b2} + I_{c1} = 2 \cdot I_b + I_{c1} = 2 \cdot I_b + \beta \cdot I_b = I_b \cdot (2 + \beta) \quad (10)$$

$$I_b = \frac{I_r}{2 + \beta} \quad (11)$$

$$I_{c1} = I_{c2} = \beta \cdot I_b \quad (12)$$

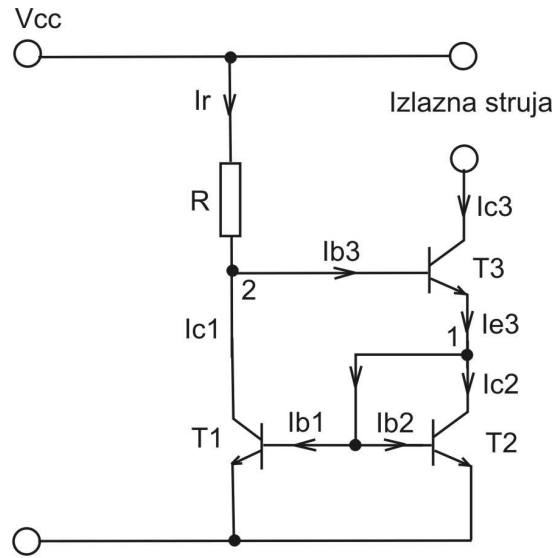
$$I_{c2} = I_r \cdot \frac{\beta}{2 + \beta} \quad (13)$$

$$\frac{I_{c2}}{I_r} = \frac{\beta}{2 + \beta} = \frac{1}{\frac{2}{\beta} + 1} \quad (14)$$

Како је  $\beta$  много веће од 2 имамо да је:

$$I_{c2} \approx I_r \quad (15)$$

## Wilsonov izvor konstantne struje



Слика 6, Wilsonov izvor konstantne struje  
Picture 6, the Wilson constant current source

$$I_{b1} = I_{b2} = I_b \quad (16)$$

$$\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta \quad (17)$$

$$I_{e3} = I_{b1} + I_{b2} + I_{c2} \quad (18)$$

$$I_{e3} = 2 \cdot I_b + I_{c2} = 2 \cdot I_b + \beta \cdot I_b = I_b \cdot (2 + \beta) \quad (19)$$

$$I_{e3} = I_{b3} + I_{c3} = \frac{I_{c3}}{\beta} + I_{c3} = I_{c3} \left( \frac{1}{\beta} + 1 \right) \quad (20)$$

$$I_b \cdot (2 + \beta) = I_{c3} \cdot \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (21)$$

$$I_b = I_{c3} \frac{1 + \beta}{\beta \cdot (2 + \beta)} \quad (22)$$

$$I_{c1} = I_r - I_{b3} \quad (23)$$

$$\frac{I_{c1}}{\beta} = \frac{I_r - I_{b3}}{\beta} = I_b \quad (24)$$

$$\frac{I_r - I_{b3}}{\beta} = I_{c3} \frac{1 + \beta}{\beta \cdot (2 + \beta)} \quad (25)$$

$$I_r - I_{b3} = I_{c3} \frac{\beta \cdot (1 + \beta)}{\beta \cdot (2 + \beta)} \quad (26)$$

$$I_r = \frac{I_{c3}}{\beta} + I_{c3} \frac{\beta \cdot (1 + \beta)}{\beta \cdot (2 + \beta)} \quad (27)$$

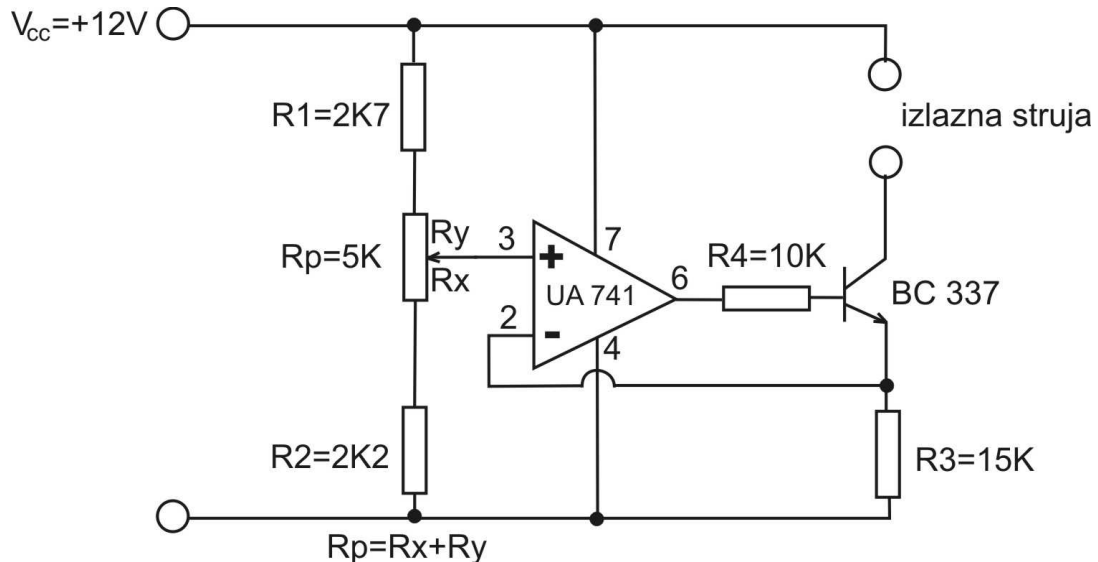
$$I_r = I_{c3} \cdot \left( \frac{1}{\beta} + \frac{\beta \cdot (1 + \beta)}{\beta \cdot (2 + \beta)} \right) \quad (28)$$

$$I_r = I_{c3} \cdot \frac{2 \cdot \beta + \beta + \beta^2}{\beta^2 + 2 \cdot \beta} = I_{c3} \frac{\beta^2 + 3 \cdot \beta}{\beta^2 + 2 \cdot \beta} \quad (29)$$

$$I_{c3} = I_r \cdot \frac{\beta^2 + 2 \cdot \beta}{\beta^2 + 2 \cdot \beta + \beta} \approx I_r \quad (30)$$

## РЕЗУЛТАТ ИСТРАЖИВАЊА И ДИСКУСИЈА

На слици 7 приказана је електрична шема реализованог извора константне струје



Слика 7, Електрична шема извора константне струје са операционим појачавачем  
 Picture 7 Schematic constant current sources of the operational amplifiers



### Прорачун излазне струје

За операциони појачавач сматрамо да је:

- појачање операционог појачавача је бесконачно велико.
- улазна отпорност појачавача је бесконачно велика
- Разлика напона на улазу је нула. ( $U_+ - U_- = 0$ ,  $U_+ = U_-$ ,  $U_3 = U_2$ )
- Излазна отпорност операционог појачавача је 0, идеални напонски извор.

Напон на улазном пину 3 операционог појачавача је:

$$U_3 = \frac{V_{cc}}{R_1 + R_2 + R_p} (R_2 + R_x) \quad (31)$$

Како је  $U_3 = U_2$  тада имамо да је напон на улазном пину 2 означен са  $U_2$ :

$$U_2 = \frac{V_{cc}}{R_1 + R_2 + R_p} (R_2 + R_x) \quad (32)$$

$U_2$  је уједно и напон на отпорнику  $R_3$  па је струја кроз отпорник уједно и струја кроз емитер  $I_e$ .

$$I_{R3} = I_e = \frac{V_{cc}}{R_3 \cdot (R_1 + R_2 + R_p)} (R_2 + R_x) \quad (33)$$

Како имамо да је:

$$I_e = I_b + I_c \text{ и } I_c = \beta \cdot I_b \quad (34)$$

$$I_e = \frac{I_c}{\beta} + I_c \quad (35)$$

$$\beta \cdot I_e = I_c + \beta \cdot I_c \quad (36)$$

$$\beta \cdot I_e = I_c (1 + \beta) \quad (37)$$

$$I_c = \frac{\beta \cdot I_e}{1 + \beta} \quad (38)$$

$$I_c = \frac{V_{cc} \cdot (R_2 + R_x) \cdot \beta}{R_3 \cdot (R_1 + R_2 + R_p) \cdot (1 + \beta)} \quad (39)$$

Како је обично  $\beta$  (од 100 до 400) велико тада имамо да је:

$$I_c \approx \frac{V_{cc} \cdot (R_2 + R_x)}{R_3 \cdot (R_1 + R_2 + R_p)} \quad (40)$$

## Практичан део

Подешена вредност излазне струје извора константне струје је  $200\mu\text{A}$ .

Номинална вредност оторности на излазу извора константне струје	Напон на извору константне струје	Мерена вредност струје на излазу извора константне струје
$0\Omega$	0V	$200\mu\text{A}$
$220\Omega$	44mV	$200\mu\text{A}$
$440\Omega$	88mV	$200\mu\text{A}$
$660\Omega$	130mV	$200\mu\text{A}$
$880\Omega$	173mV	$200\mu\text{A}$
$1100\Omega$	218mV	$200\mu\text{A}$

Табела 1, табеларни приказ за константну струју  $I=200\mu\text{A}$

Table 1, tabulation for constant current  $I = 200\mu\text{A}$

Из табеле се види да се вредност струје не мења са променом отпорности на излазу извора константне струје.

Подешена вредност излазне струје извора константне струје је  $250\mu\text{A}$ .

Номинална вредност оторности на излазу извора константне струје	Напон на извору константне струје	Мерена вредност струје на излазу извора константне струје
$0\Omega$	0V	$250\mu\text{A}$
$220\Omega$	55mV	$250\mu\text{A}$
$440\Omega$	110mV	$250\mu\text{A}$
$660\Omega$	163mV	$250\mu\text{A}$
$880\Omega$	217mV	$250\mu\text{A}$
$1100\Omega$	272mV	$250\mu\text{A}$

Табела 2, табеларни приказ за константну струју  $I=250\mu\text{A}$

Table 2, tabulation for constant current  $I = 250\mu\text{A}$

Из табеле се види да се вредност струје не мења са променом отпорности на излазу извора константне струје.

Подешена вредност излазне струје извора константне струје је  $300\mu\text{A}$ .

Номинална вредност оторности на излазу извора константне струје	Напон на извору константне струје	Мерена вредност струје на излазу извора константне струје
$0\Omega$	0V	$300\mu\text{A}$
$220\Omega$	66mV	$300\mu\text{A}$
$440\Omega$	132mV	$300\mu\text{A}$
$660\Omega$	195mV	$300\mu\text{A}$
$880\Omega$	260mV	$300\mu\text{A}$
$1100\Omega$	326mV	$300\mu\text{A}$

Табела 3, табеларни приказ за константну струју  $I=300\mu\text{A}$

Table 3, tabulation for constant current  $I = 300\mu\text{A}$

Из табеле се види да се вредност струје не мења са променом отпорности на излазу извора константне струје.

Подешена вредност излазне струје извора константне струје је  $350\mu\text{A}$ .

Номинална вредност отпорности на излазу извора константне струје	Напон на извору константне струје	Мерена вредност струје на излазу извора константне струје
$0\Omega$	0V	$350\mu\text{A}$
$220\Omega$	76mV	$350\mu\text{A}$
$440\Omega$	153mV	$350\mu\text{A}$
$660\Omega$	228mV	$350\mu\text{A}$
$880\Omega$	303mV	$350\mu\text{A}$
$1100\Omega$	380mV	$350\mu\text{A}$

Табела 4, табеларни приказ за константну струју  $I=350\mu\text{A}$   
Table 4, tabulation for constant current  $I = 350\mu\text{A}$

Из табеле се види да се вредност струје не мења са променом отпорности на излазу извора константне струје.

Подешена вредност излазне струје извора константне струје је  $400\mu\text{A}$ .

Номинална вредност отпорности на излазу извора константне струје	Напон на извору константне струје	Мерена вредност струје на излазу извора константне струје
$0\Omega$	0V	$400\mu\text{A}$
$220\Omega$	87mV	$400\mu\text{A}$
$440\Omega$	175mV	$400\mu\text{A}$
$660\Omega$	261mV	$400\mu\text{A}$
$880\Omega$	347mV	$400\mu\text{A}$
$1100\Omega$	435mV	$400\mu\text{A}$

Табела 5, табеларни приказ за константну струју  $I=400\mu\text{A}$   
Table 5, tabulation for constant current  $I = 400\mu\text{A}$

Из табеле се види да се вредност струје не мења са променом отпорности на излазу извора константне струје.

Подешена вредност излазне струје извора константне струје је  $450\mu\text{A}$ .

Номинална вредност отпорности на излазу извора константне струје	Напон на извору константне струје	Мерена вредност струје на излазу извора константне струје
$0\Omega$	0V	$450\mu\text{A}$
$220\Omega$	98mV	$450\mu\text{A}$
$440\Omega$	197mV	$450\mu\text{A}$
$660\Omega$	294mV	$450\mu\text{A}$
$880\Omega$	390mV	$450\mu\text{A}$
$1100\Omega$	489mV	$450\mu\text{A}$

Табела 6, табеларни приказ за константну струју  $I=450\mu\text{A}$   
Table 6, tabulation for constant current  $I = 450\mu\text{A}$

Из табеле се види да се вредност струје не мења са променом отпорности на излазу извора константне струје.

Подешена вредност излазне струје извора константне струје је  $500\mu\text{A}$ .

Номинална вредност отпорности на излазу извора константне струје	Напон на извору константне струје	Мерена вредност струје на излазу извора константне струје
$0\Omega$	0V	$500\mu\text{A}$
$220\Omega$	109mV	$500\mu\text{A}$
$440\Omega$	219mV	$500\mu\text{A}$
$660\Omega$	325mV	$500\mu\text{A}$
$880\Omega$	433mV	$500\mu\text{A}$
$1100\Omega$	544mV	$500\mu\text{A}$

Табела 7, табеларни приказ за константну струју  $I=500\mu\text{A}$

Table 7, tabulation for constant current  $I = 500\mu\text{A}$

Из табеле се види да се вредност струје не мења са променом отпорности на излазу извора константне струје.

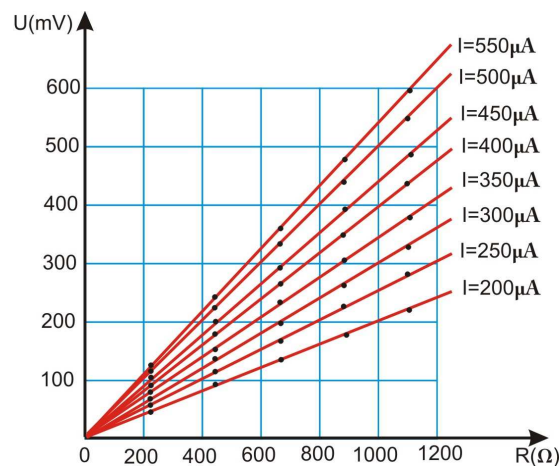
Подешена вредност излазне струје извора константне струје је  $550\mu\text{A}$ .

Номинална вредност отпорности на излазу извора константне струје	Напон на извору константне струје	Мерена вредност струје на излазу извора константне струје
$0\Omega$	0V	$550\mu\text{A}$
$220\Omega$	120mV	$550\mu\text{A}$
$440\Omega$	241mV	$550\mu\text{A}$
$660\Omega$	358mV	$550\mu\text{A}$
$880\Omega$	476mV	$550\mu\text{A}$
$1100\Omega$	597mV	$550\mu\text{A}$

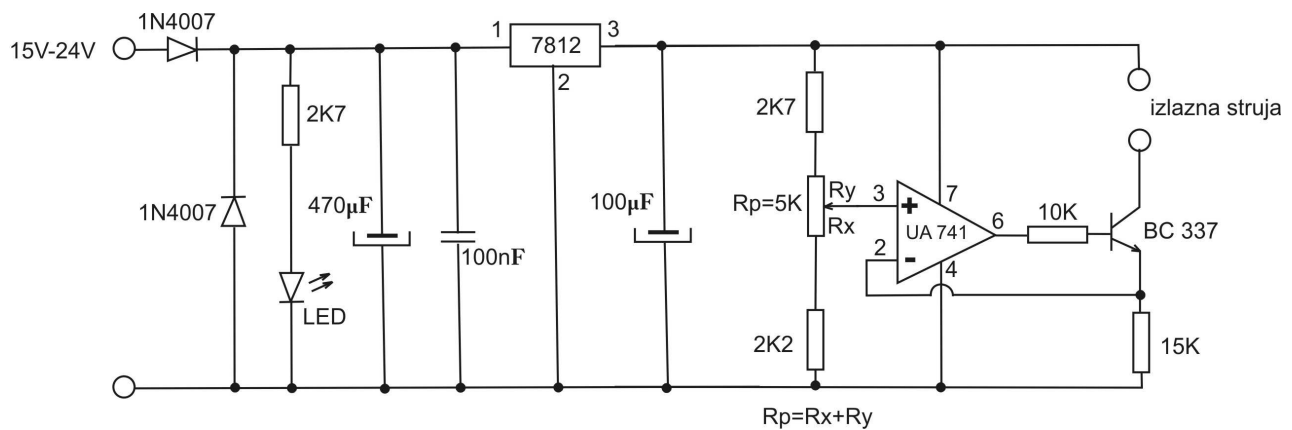
Табела 8, табеларни приказ за константну струју  $I=550\mu\text{A}$

Table 8, tabulation for constant current  $I = 550\mu\text{A}$

Из табеле се види да се вредност струје не мења са променом отпорности на излазу извора константне струје.



Слика 8, график мерених величина  
Picture 8, graph of the measured values



Слика 9, електрична шема реализованог извора константне струје  
 Picture 9, the electrical scheme realized constant current source

### Неке примене извора константне струје

- Извори константне струје су нашли примену у реализавцији електронских кола како у дискретној тако и у интегрисаној техници. (диференцијални појачавач, операциони појачавач), У интегрисаној техници се доста користи Wilsonov извор константне струје.
- Мерној техници за пренос мерне величине жичаним путем на већем растојању. Употребом извора константне струје се добија да мерена величина не зависи од дужине каблова већ само од отпорника који је повезан на крају.
- За готове уређаје (добијање сребрне воде, пуњачи).

### ЗАКЉУЧАК

Овим радом је практично показана особина извора константне струје да струја остаје иста на излазу иако се мења потрошач, у овом случају вредност отпорности. Показано је како се прорачунавају вредности излазне струје за различите електронске реализације извора константне струје. Поред тога неведене су неке примене извора константне струје у електроници као и у реализацији готових уређаја.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] С. М. Лазовић, В. Б. Литовски, Електроника I, Научна књига Београд, 1989.  
[https://hr.wikipedia.org/wiki/Strujni\\_aktivni\\_električni\\_izvor](https://hr.wikipedia.org/wiki/Strujni_aktivni_električni_izvor)