

# PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 20 (1992/1993)

Številka 3

Strani 170-173

Andrej Likar:

## ZAČARANI KROG

Ključne besede: fizika.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/20/1137-Likar-krog.pdf>

© 1992 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2010 DMFA - založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.

## ZAČARANI KROG

V vsakdanjih pogovorih pogosto omenjamo začarani krog. Denimo, da ima učenec v šoli težave. Slabo zna, ker se ne uči dovolj. Ve, da bi moral doma več delati, a nekako ne najde prave energije za delo. Pravi takole: "Sem v začaranem krogu: čim slabše ocene imam v šoli, tem težje se spravim k učenju." V Slovarju slovenskega knjižnega jezika je začarani krog jedrnato opisan kot proces ali pojav, pri katerem posledice rodijo nove vzroke.

V začaranem krogu sta med seboj povezana dva dejavnika. Sprememba enega dejavnika (slabe ocene) vpliva na spremembo drugega (intenzivnost učenja doma), ta pa še poveča spremembo prvega (še slabše ocene). Učenec v začaranem krogu bo nazadnje prav hitro pristal v končnem stanju kroga: same slabe ocene in lenarjenje doma. Pri dobrem učencu sta dejavnika povezana drugače. Slaba ocena ga spodbudi k intenzivnejšemu delu, dobra pa ga malo poleni. Učenec je v stabilnem stanju: slabo oceno hitro popravi, odlično pa pokvari.

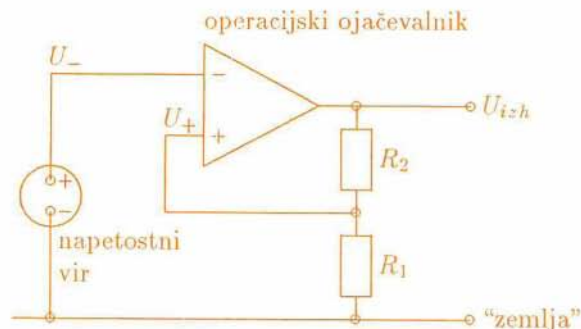
Tudi v naravi zasledimo pojave, ki jih vodi začarani krog. Oglejmo si preprost primer. Palico postavimo z ostrim koncem čim bolj navpično na tla, jo umirimo in nato spustimo. Čeprav se še tako trudimo, palice ne moremo postaviti popolnoma navpično. Majhna napaka v legi povzroči, da se začne palica vse hitreje oddaljevati od navpičnice in končno pade. Začarani krog opišemo v tem primeru takole: Malo nagnjeni palici se zaradi teže hitrost zgornjega konca poveča, večja hitrost pa pomeni še večji nagib.

Pri naslednjem primeru se spomnimo nadležnih valov na cesti. Najpogosteje nanje naletimo na makadamskih cestah v hribih ali pred asfaltiranimi križišči, kjer avtomobili pogosto zavirajo (slika A na zadnji strani ovitka). Nastanek valov vodi začarani krog. Navidez še tako gladka cesta ni brez vzboklin. Zavirajoče vozilo na hribčku poskoči in naredi malo naprej vdolbino v mehki cesti. Naslednja vozila število vdolbin povečujejo, narašča pa tudi globina vdolbin. Vdolbine torej zanihajo vozila, ta pa v istem ritmu poglobljajo valove. Pri nastanku valov je pomembno, da imajo vozila približno enako hitrost in kolesa podobne nihajne čase. Ker so avtomobili podobno grajeni, se pojavijo valovi na tistih odsekih ceste, kjer imajo vozila približno enake hitrosti.

Kdo še ni delal sneženega moža? Majhno kepo začnemo valiti po mokrem snegu. Kepe se sneg oprime in majhna kepa lahko postane tako velika, da je niti valiti ne moremo več. V hribih zmore droban kamenček tako sprožiti velik plaz, ki podira vse pred seboj.

V začaranem krogu se na začetku zelo majhna sprememba enega dejavnika sčasoma zelo poveča. Drobna kepa se spremeni v rušilni plaz, gladka cesta postane valovita, navpična palica pade, učenec konča z negativno oceno. Vsi ti pojavi so nam v nadlego in se jim poskušamo izogniti. Začarani krog pa nam je lahko tudi v pomoč. Učenec, ki ga dobre ocene spodbujajo k še večji dejavnosti, se veliko nauči. Osnovne delce, na primer elektrone, protone, fotone in delce alfa, zaznavamo z Geiger-Muellerjevo cevjo. Delci ionizirajo plin v cevi, sproščeni elektroni pa na poti k tanki žički na sredi cevi sprožijo plaz novih elektronov. Končno prispe na žičko toliko naboja, da sproži števno napravo.

Oglejmo si še en tak začarani krog, ki se vrti nam v prid. To je elektronski prožilnik. Kaže ga slika 1, sestavljajo ga *operacijski ojačevalnik* in upornika.



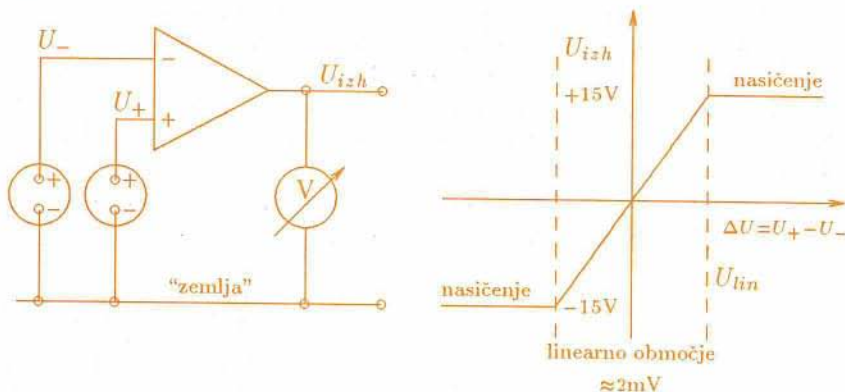
**Slika 1.** Skica elektronskega prožilnika. Izhodna napetost  $U_{izh}$  je +15 V. V trenutku, ko se napetost vira  $U_-$  dovolj približa napetosti praga  $U_+$ , se začne začarani krog. Izhodna napetost se v hipu prevesi od +15 V na -15 V.

Navada je, da označimo upornike s pravokotniki, ojačevalnik pa s trikotnikom. Za upornik velja Ohmov zakon

$$U = IR,$$

kjer je  $U$  napetost med priključkoma upornika z uporom  $R$ ,  $I$  pa tok, ki teče skozenj. Operacijski ojačevalnik je sicer zapleten elektronski element, a ga lahko prav preprosto opišemo. Ima dva vhoda, ki sta na skici označena z matematičnima znakoma + in -, ter izhod, na skici je v desnem oglišču trikotnika. Vhoda povežemo z viroma napetosti, kot kaže slika 2, na izhodu pa merimo napetost med izhodnim priključkom in vodnikom, ki je skupen in ki se ga je oprijelo ime "zemlja". Operacijski ojačevalnik močno ojači razliko napetosti  $\Delta U = U_+ - U_-$ , vendar je na izhodu napetost omejena. Ne more biti večja kot +15 voltov in ne manjša od -15 voltov, saj sta to napajalni napetosti ojačevalnika. Če je torej razlika  $\Delta U$  večja kot denimo 1 milivolt, je

na izhodu iz ojačevalnika napetost  $+15\text{ V}$ , če pa je manjša kot  $-1\text{ milivolt}$ , pa dobimo na izhodu negativno napetost  $-15\text{ V}$ . Razlika napetosti  $\Delta U$ , ki je po absolutni vrednosti manjša od enega milivolta, pa se ojači: na izhodu dobimo napetost, ki je v našem primeru 15000-krat večja od  $\Delta U$ .



**Slika 2.** Operacijski ojačevalnik močno ojači razliko napetosti  $\Delta U = U_+ - U_-$  le, če je njena absolutna vrednost manjša kot  $U_{lin}$ , denimo  $U_{lin} = 1\text{mV}$ , sicer je ojačevalnik v nasičenju. Vrednost  $1\text{mV}$  za  $U_{lin}$  smo zapisali le zaradi nazornosti. Vrednosti za  $U_{lin}$  so navadno še manjše.

Sedaj si oglejmo vezje. Napetost  $U_+$  na + vhodu je določena z uporoma  $R_1$  in  $R_2$  ter z izhodno napetostjo. Na - vhodu naj bo napetost  $U_- = 0$ , izhodna napetost  $U_{izh}$  pa naj bo  $+15\text{ V}$ . Tok  $I$  skozi upornika  $R_1$  in  $R_2$  sledi iz Ohmovega zakona:

$$U_{izh} = (R_1 + R_2)I,$$

napetost  $U_+$  pa tudi:

$$U_+ = R_1 I = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{izh}.$$

Napetosti  $U_+$  bomo rekli *napetost praga*. Elektronski prožilnik je pripravljen. Sedaj na - vhod priključimo nastavljivi vir napetosti in napetost počasi spreminjamo od vrednosti  $0\text{V}$  navzgor. V trenutku, ko se ta napetost na manj kot milivolt približa napetosti praga, se začne začarani krog. Izhodna napetost se začne zmanjševati, s tem pa se niža napetost praga. V naslednjem hipu postane razlika napetosti  $\Delta U$  zelo majhna, hkrati z njo je zelo majhna tudi napetost na izhodu. Napetost praga se krepko zniža, razlika napetosti

