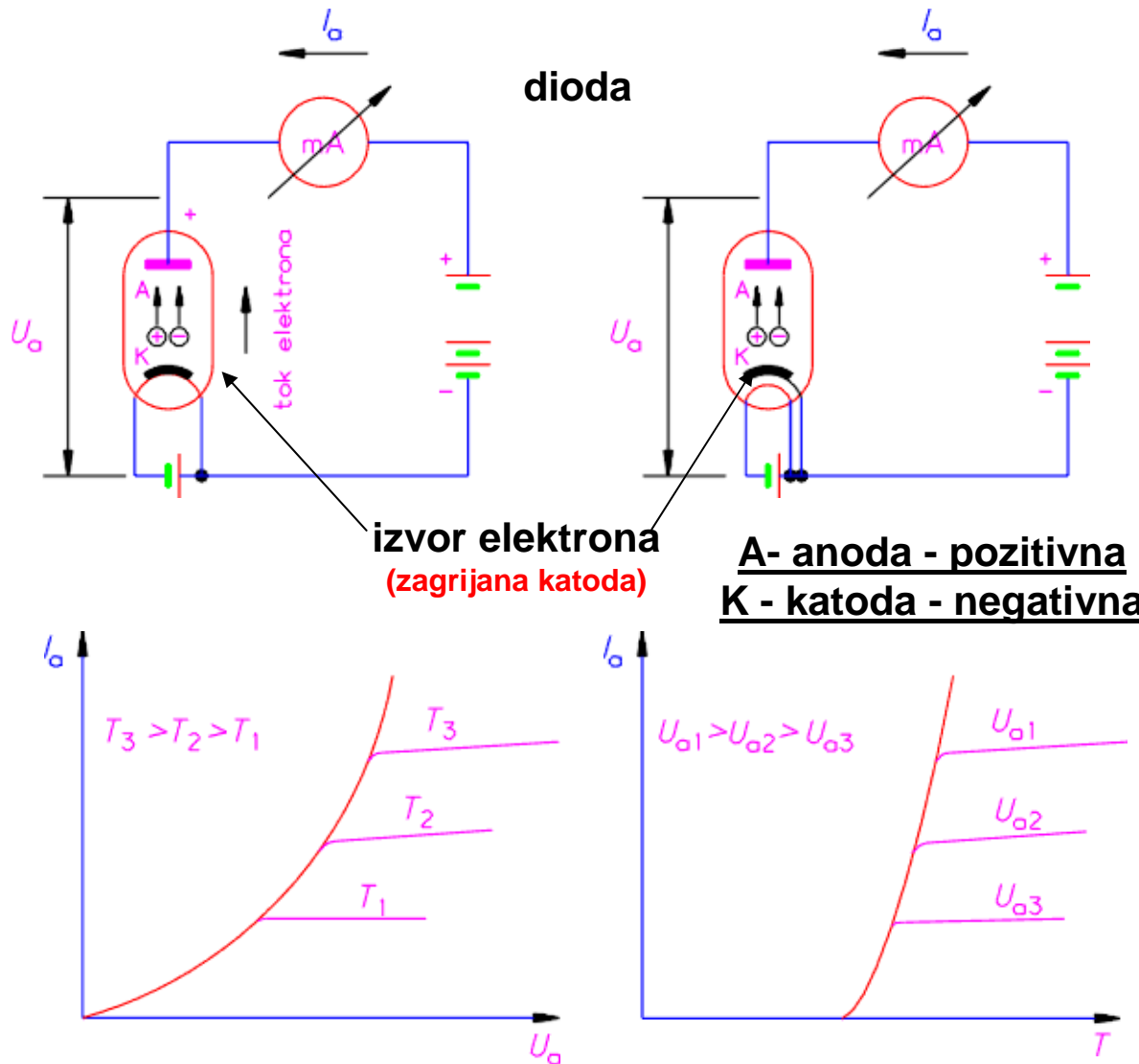


ELEKTRIČNA STRUJA KROZ VAKUUM

Struja kroz vakuum ili plinove -> tok elektrona ili ioniziranih molekula

Tok elektrona – iz materije (zagrijavanje), naponom (el. poljem) uzrokuje gibanje



djelovanje napona na elektrone
(potencijalna energija)



gibanje elektrona
(kinetička energija)

$$Q \cdot U = \frac{m_e \cdot v^2}{2} \quad (\text{kgm}^2\text{s}^{-1})$$

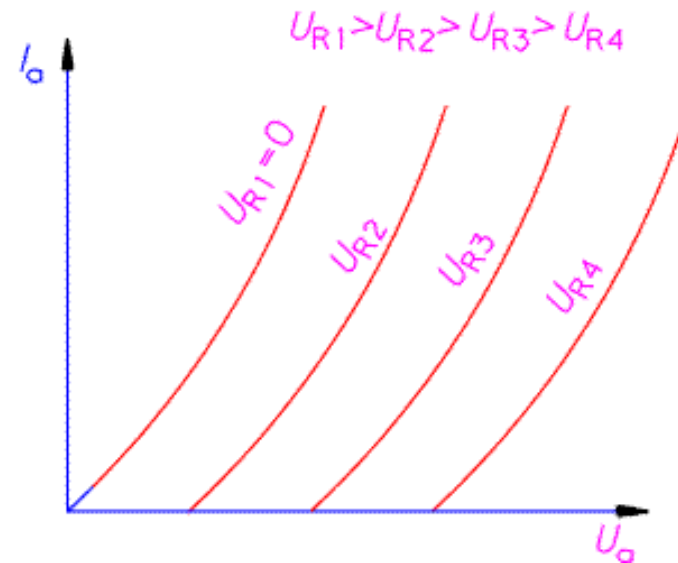
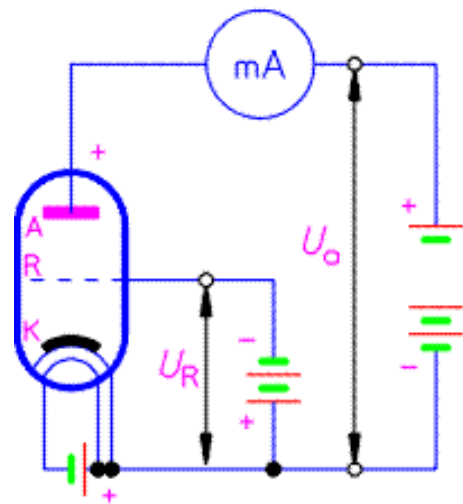
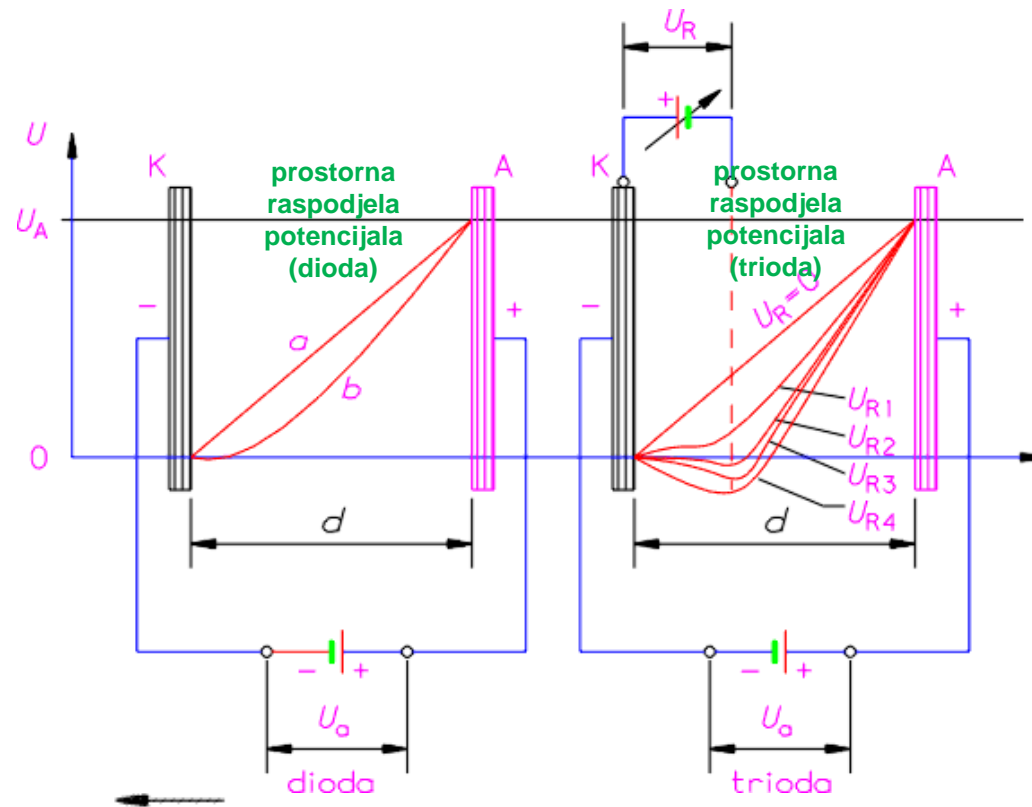
$$Q = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$m_e = 9,107 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$U = \text{napon V}$$

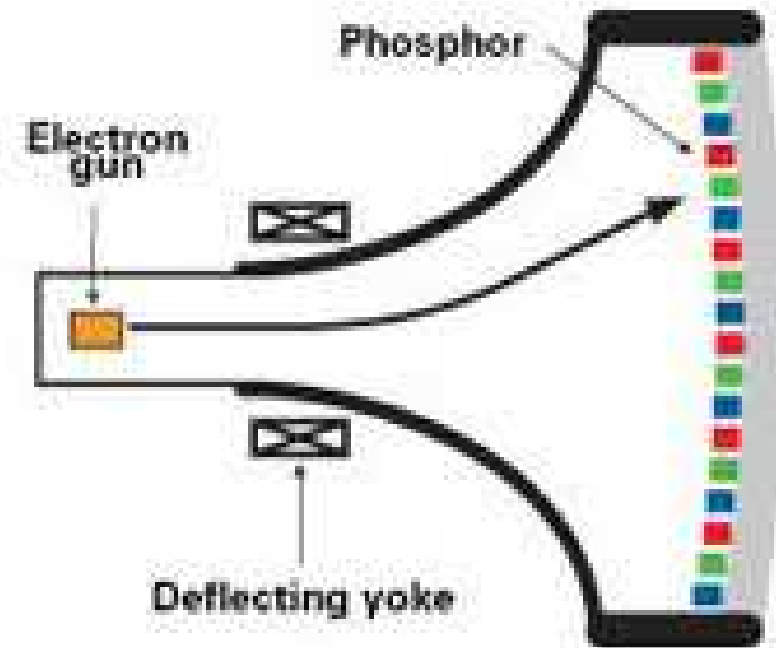
brizna koju postižu elektroni

$$v = 0,5931 \cdot 10^6 U^{1/2} \sim 0,6 \cdot 10^6 U^{1/2}$$



Pojačalo – audiofili, VF pojačala viskoih snaga

CRT



ELEKTRIČNA STRUJA KROZ PLINOVE

- tlak plina jedan od bitnih parametara za uvjete toka elektrona kroz plin
 - tlak > atmosferskog (visokotlačne žarulje, komore za prekidanje luka)
 - tlak = atmosferskom (atmosferska pražnjenja - električni luk, korona)
 - tlak = 10^{-1} atmosferskog (neonske i fluorescentne svjetiljke)
 - tlak = 10^{-5} atmosferskog (živini usmjerivači)
 - tlak = 10^{-8} atmosferskog (vakuum, elektronske cijevi - zaostale molekule)
- kemijska reakcija plina na elektrode \Rightarrow inertni plinovi
- tok elektrona \Rightarrow brojni sudari električki nabijenih čestica i molekula plina
- atom - apsorbira, prenosi, predaje energiju
 - energiju uzima od drugog atoma ili predaje drugom atomu plina
 - elektrode i stijenke uređaja (atomi) primaju i daju energiju
- atom (molek.) plina može imati i prenositi potencijalnu i kinetičku energiju
 - svi elektroni na najnižim razinama \Rightarrow normalno stanje
 - energija unutar atoma \Rightarrow potencijalna energija
 - uzbuđeno stanje
 - metastabilno stanje
 - ionizacija

dovođenje energije atomu \Rightarrow

elektroni u višu ljusku \Rightarrow uzbuđeno stanje (n kvanta u J)

minimalna energija uzbude

živina para - $7,52 \cdot 10^{-19}\text{J}$

helij - $31,52 \cdot 10^{-19}\text{J}$

vezani elektron natrag \Rightarrow foton (ispuštanje energije - zračenje)

područja zračenja - rendgensko, ultravioletno, vidljivo, infracrveno, NF elemag.

trajanje uzbuđenog stanja $\sim 10^{-8}\text{s}$

frekvencija zračenja $f = \frac{q_E}{h}$ (Hz)

q_E - količina energije

h - Planckova konstanta $6,6256 \cdot 10^{-34}$ Js

elektron vezan u višoj ljusci - sam ne oslobađa foton \Rightarrow metastabilno stanje

trajanje metastabilnog stanja $\sim 10^{-1}\text{s}$

prenos energije na velike udaljenosti - bitno za provođenja struje plinovima

predavanje energije drugom atomu plina, elektrodi ili stijenci (granica prostora)

elektron se oslobađa atoma \Rightarrow ionizacija

pozitivni ion - masa \sim masi atoma
naboj = n naboja elektrona ali suprotnog predznaka

slobodni elektron i pozitivni ion \Rightarrow moguće neovisno kretanje

elektično polje \Rightarrow slobodni elektron i pozitivni ion - usmjerno i ubrzano kretanje

masa u kretanju \Rightarrow kinetička energija

sudar pozitivnog iona i elektrona \Rightarrow atom normalnog stanja + energija (zagrijavanje)

negativni ion - masa \sim masi atoma
naboj = n naboja elektrona

(inertni plinovi, živine pare)

kisik veže na sebe elektrone i smanjuje vodljivost prostora

vlastita energija negativnog iona \ll vlastita energija pozitivnog iona

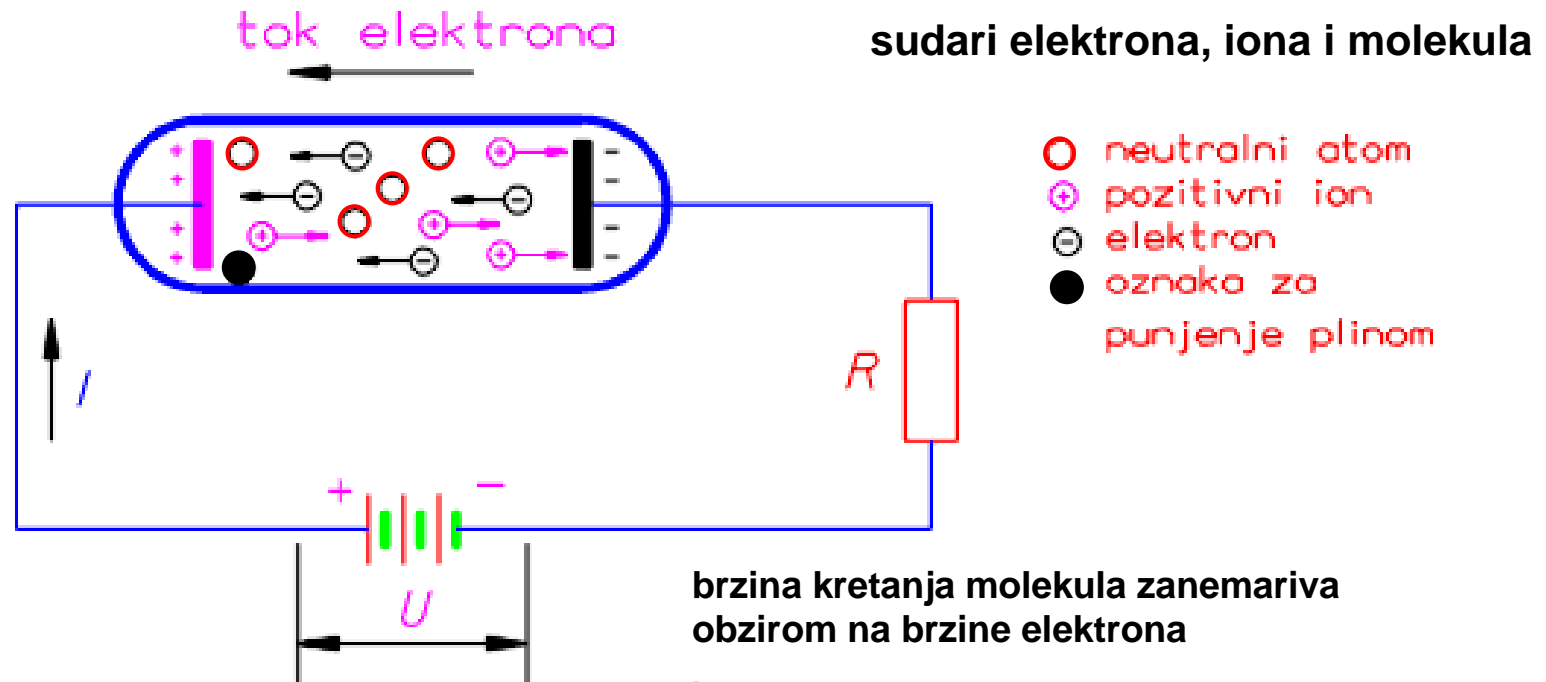
minimalna energija ionizacije

živina para - $16,64 \cdot 10^{-19} \text{J}$

helij - $139,2 \cdot 10^{-19} \text{J}$

plinom punjena cijev

promjer molekule 10^{-8} elektrona $10^{-13} \Rightarrow$ molekule u kretanju velike prepreke elektronu



kretanje elektrona veoma nepravilno zbog sudara s molekulama

sudari i slobodne staze jedan od glavnih fizikalnih parametara provodljivosti plinova

na fotone ne djeluje električno polje ali mogu uzrokovati višestruke ionizacije prenošenjem energije

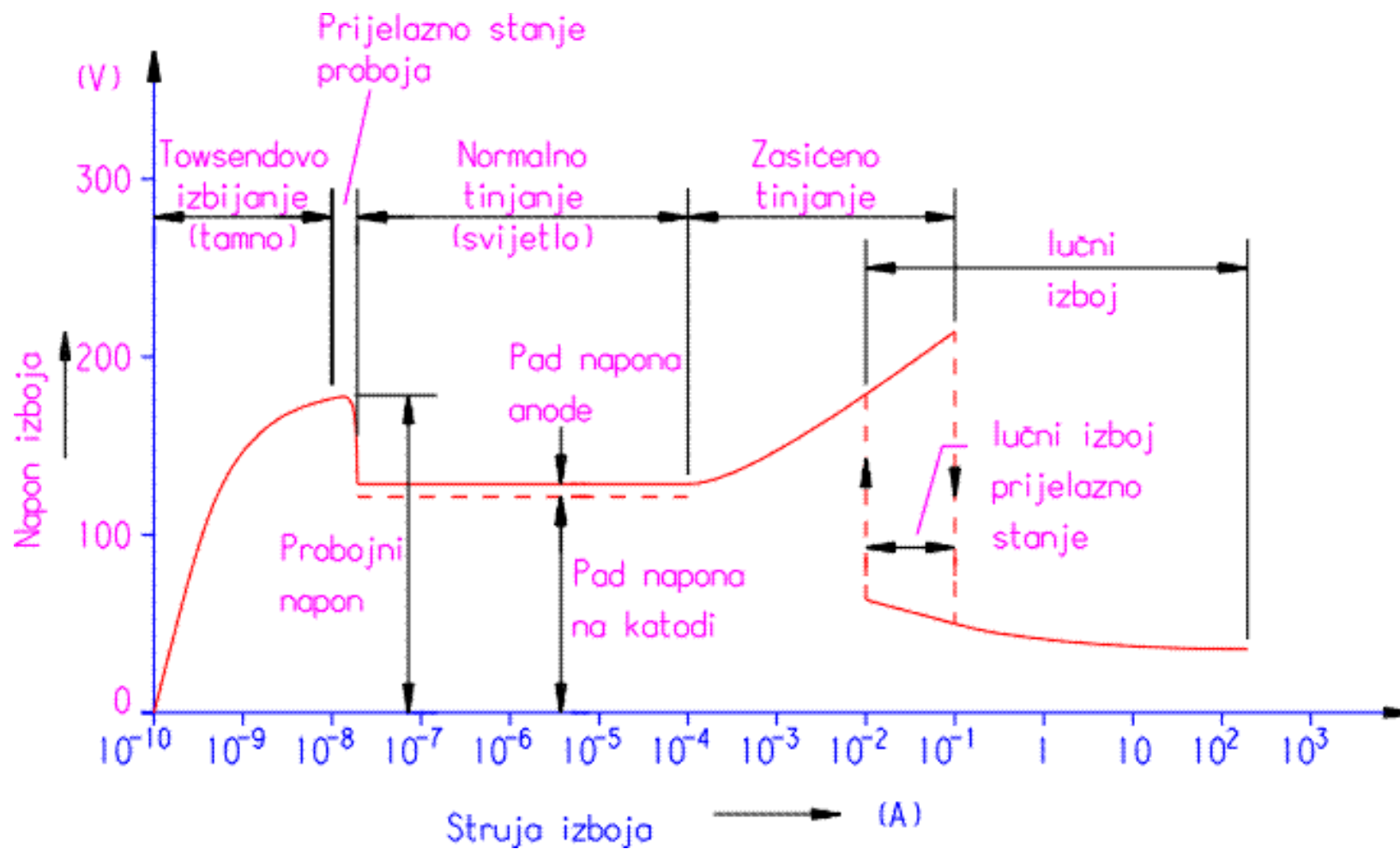
brzina kretanja molekula zanemariva obzirom na brzine elektrona

između dva sudara slobodna staza

pozitivni ioni se pri sudaru s nabijenom površinom neutraliziraju i pri tome oslobađaju energiju ionizacije, a djelomično i kinetičku energiju, što može uzrokovati zagrijavanje ili zračenje, a to može biti i korisno i razorno

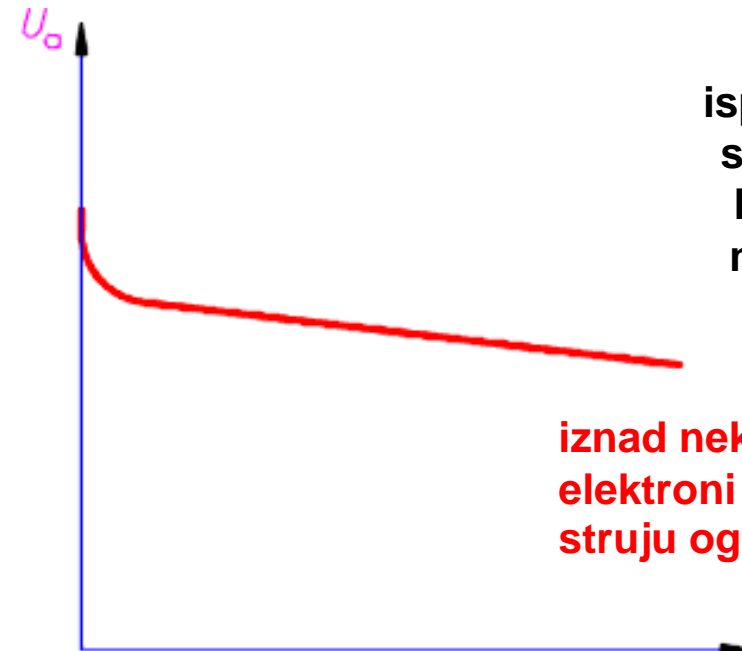
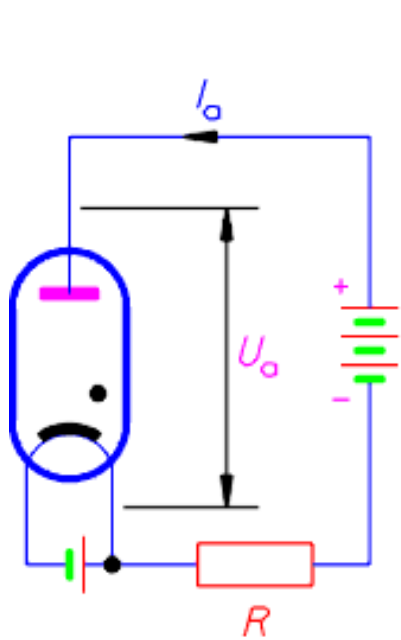
metastabilni atomi mogu predavati energiju pri sudaru s neutralnim atomima

Izbijanje u plinovima



Plinom punjene cijevi

Zagrijana elektroda



ispod napona U_a gotovo da nema struje (elektroni gotovo ne mogu kroz prostor ispunjen plinskim molekulama, minimalan utjecaj ioniziranih molekula plina)

iznad nekog napona U_a (napon paljenja) elektroni izazivaju lanačanu reakciju struju ograničava R

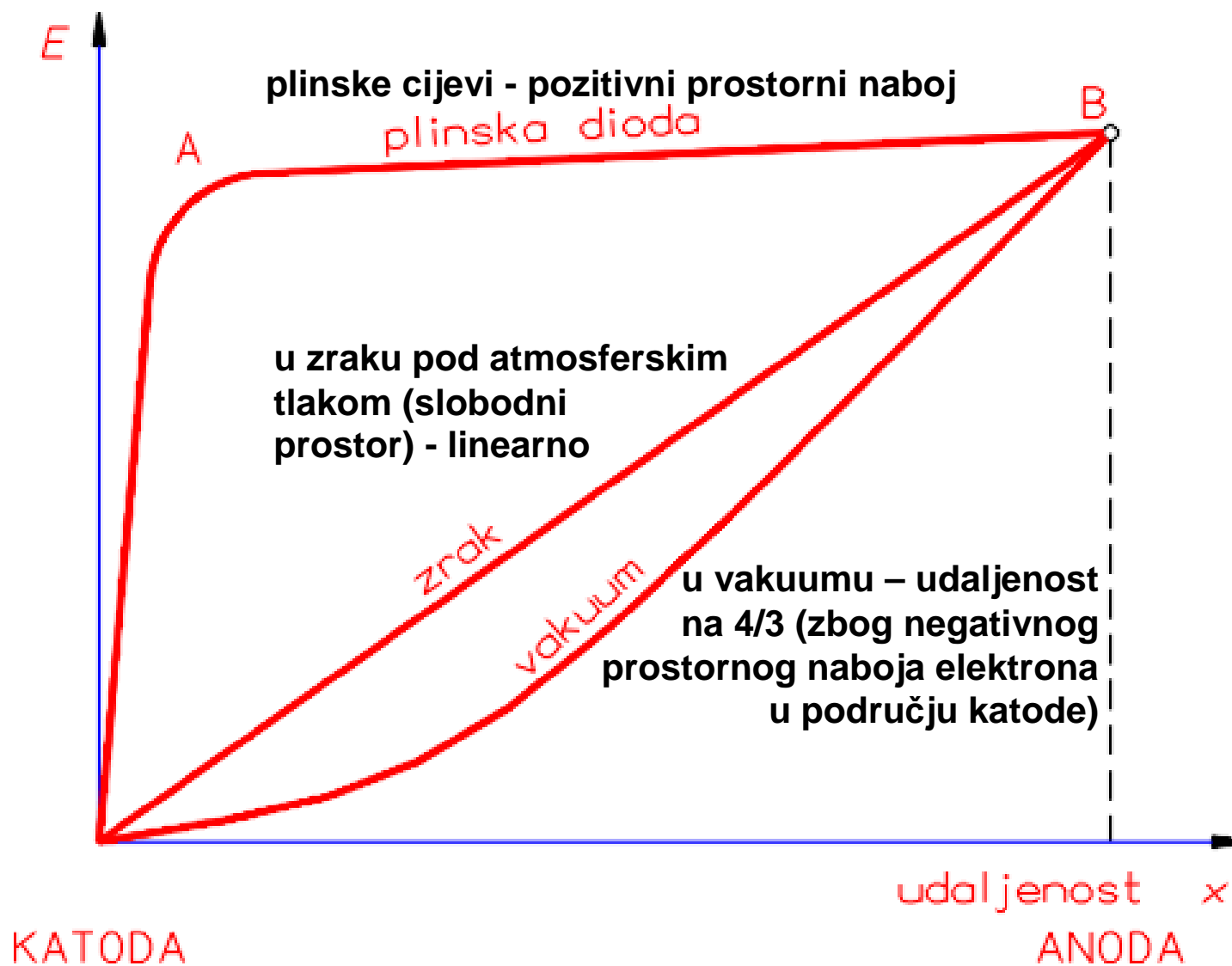
povećanje struje uz neznatan pad napona

raspodjela potencijala kao i pri tinjavom izbijanju

međuelektrodni prostor diode se dijeli

- katodno područje ili područje iona, u neposrednoj blizini katode,
- ostalo područje plina, tzv. plazmu

Prostorna raspodjela potencijala

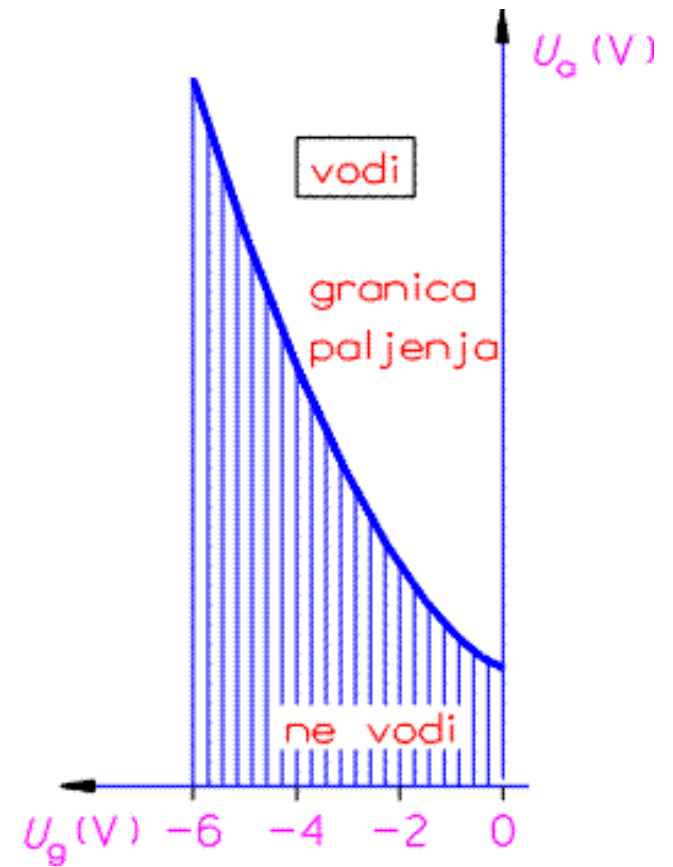
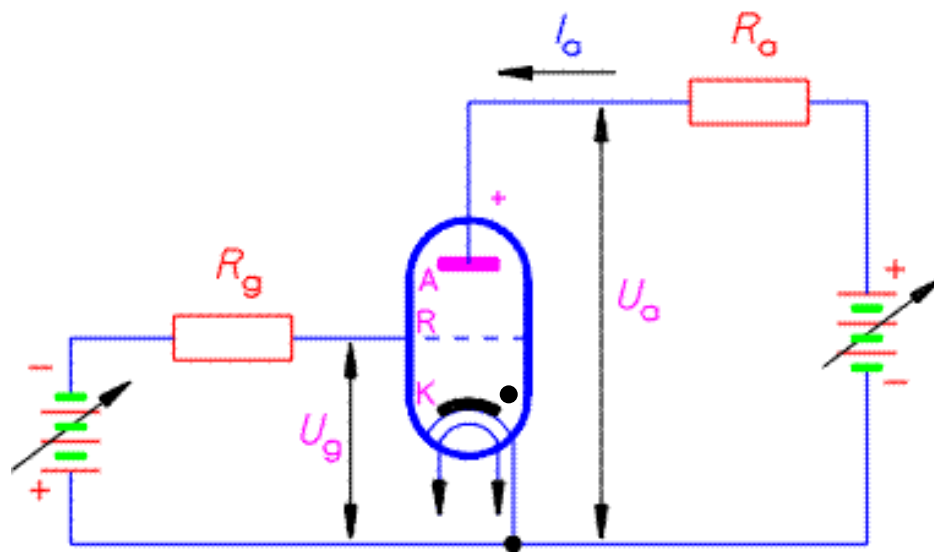


Plinska trioda

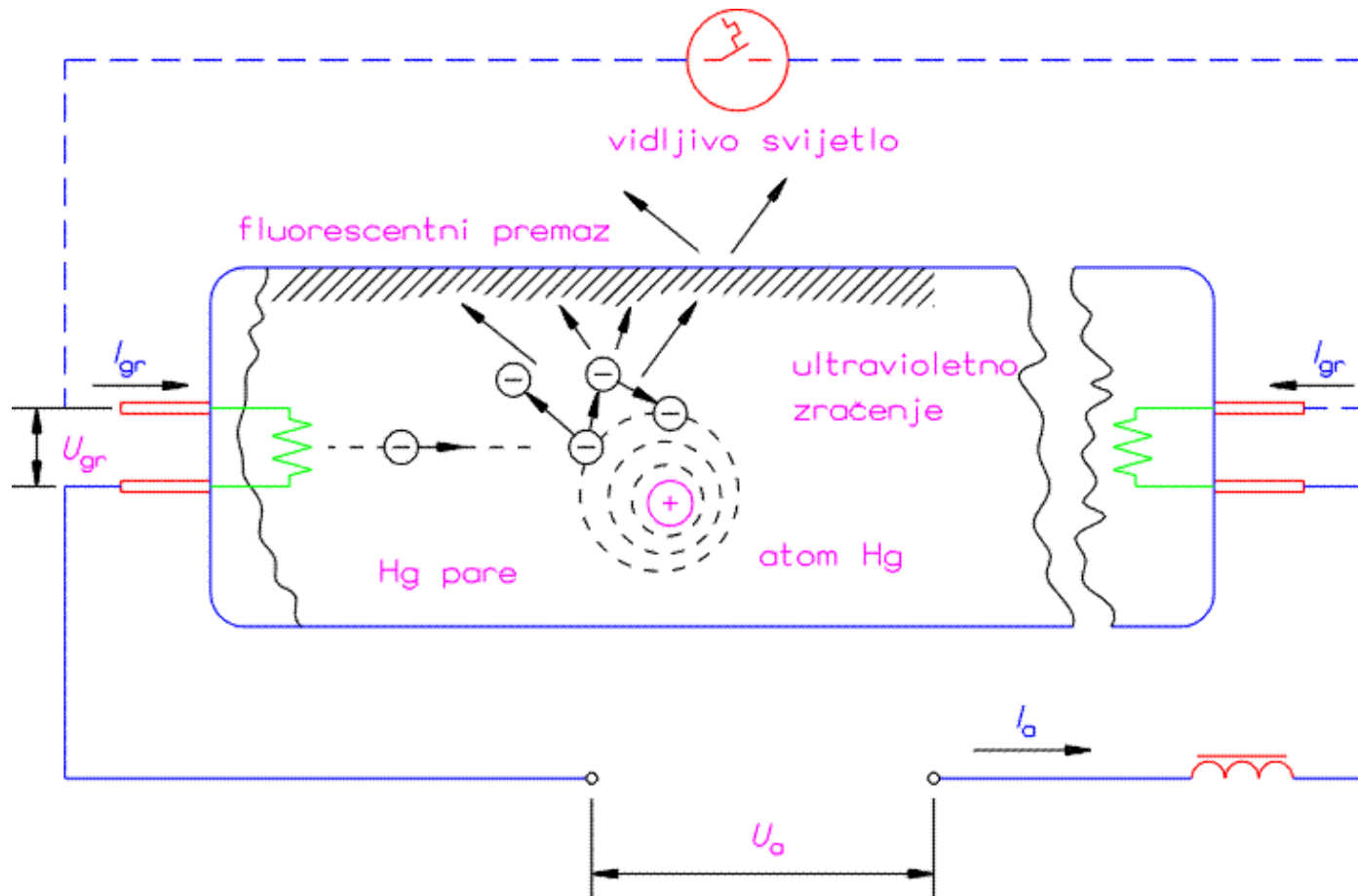
umetnuta rešetka

kad cijev provede rešetka više ne djeluje

prednapon određuje U_a početka vođenja



Fluorescentne cijevi



žarne niti \Rightarrow prvo zagrijavaju prostor cijevi \Rightarrow isparavanje žive \Rightarrow živine pare

žarne niti \Rightarrow elektrode (izmjeničan napon $>$ od napona paljenja) \Rightarrow stvaranje plazme po cijeloj duljini \Rightarrow ultravioletno zračenje \Rightarrow uzbuđivanje premaza \Rightarrow fluorescentni premaz vidljivo svijetli

UV cijevi za solarij, bez fluorescentnog premaza

vidljivi spektar frek. el.mag. zračenja $4 \cdot 10^{14}$ Hz (crveno) do $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz (ljubičasto)

brzina el.mag. valova u slobodnom prostoru $3 \cdot 10^8$ m/s

elektroni samo određene razine energije u atomskoj strukturi

$$W_q = W_p - W_k = h \cdot f \quad (\text{J})$$

W_q - energija dovedena elektronu (prije zračenja) u J

W_p - početna energija (prije zračenja) u J

W_k - konačna energija (nakon zračenja) u J

h - Planckova konstanta

f - frekvencija zračenja u Hz

minimalna energija uzbuđivanja atoma žive - $7,44 \cdot 10^{-19}$ J

minimalna energija uzbuđivanja atoma natrija - $3,344 \cdot 10^{-19}$ J

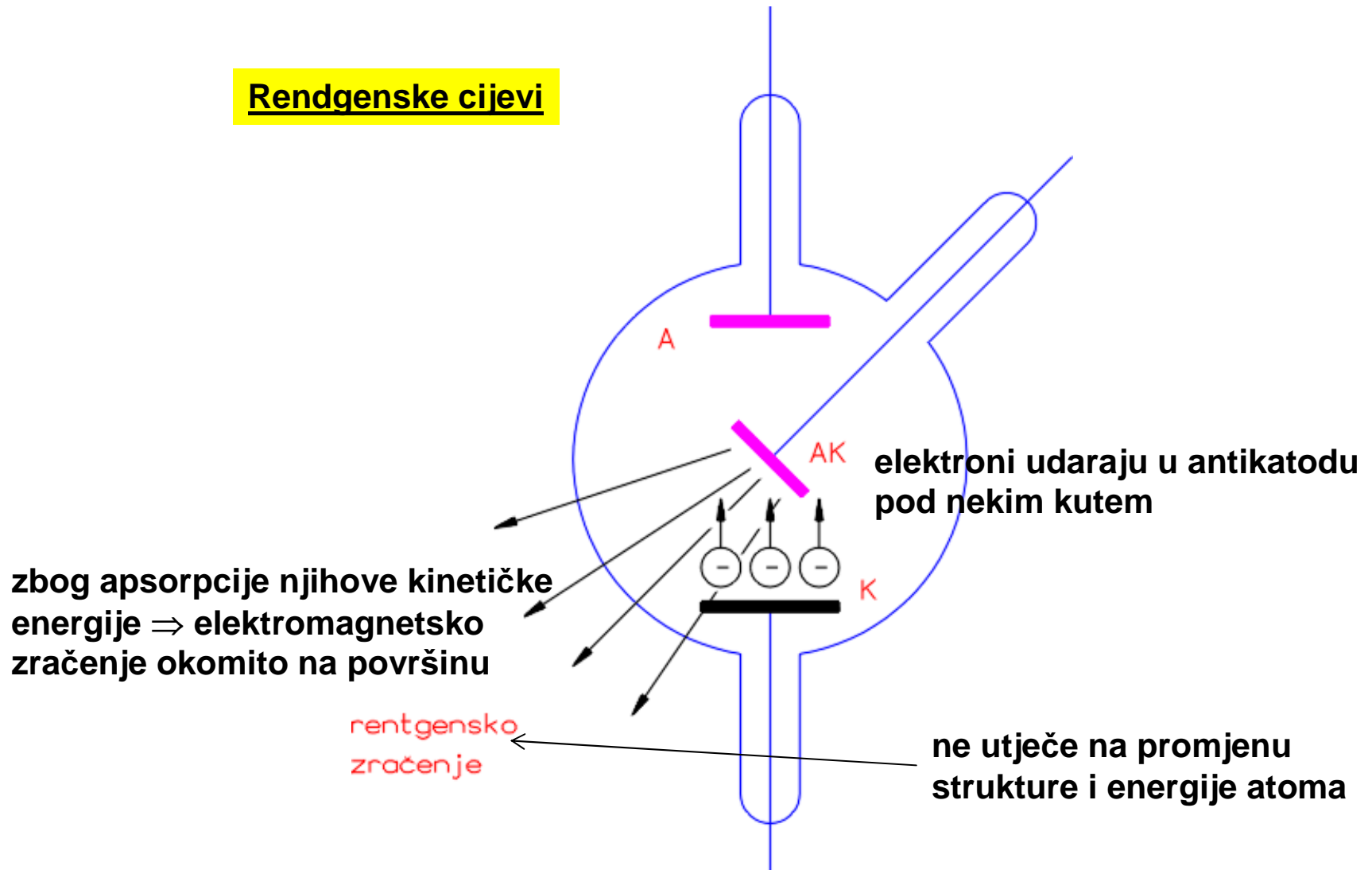
$$f_{(\text{Hg})} = \frac{7,44 \cdot 10^{-19}}{6,624 \cdot 10^{-34}} = 11,23 \cdot 10^{14} \quad \text{Hz}$$

$$f_{(\text{Na})} = \frac{3,344 \cdot 10^{-19}}{6,624 \cdot 10^{-34}} = 5,05 \cdot 10^{14} \quad \text{Hz}$$

natrijske svjetiljke bez premaza

živine svjetiljke - boja svijetla ovisi o unutarnjem premazu (prah)

Rendgenske cijevi



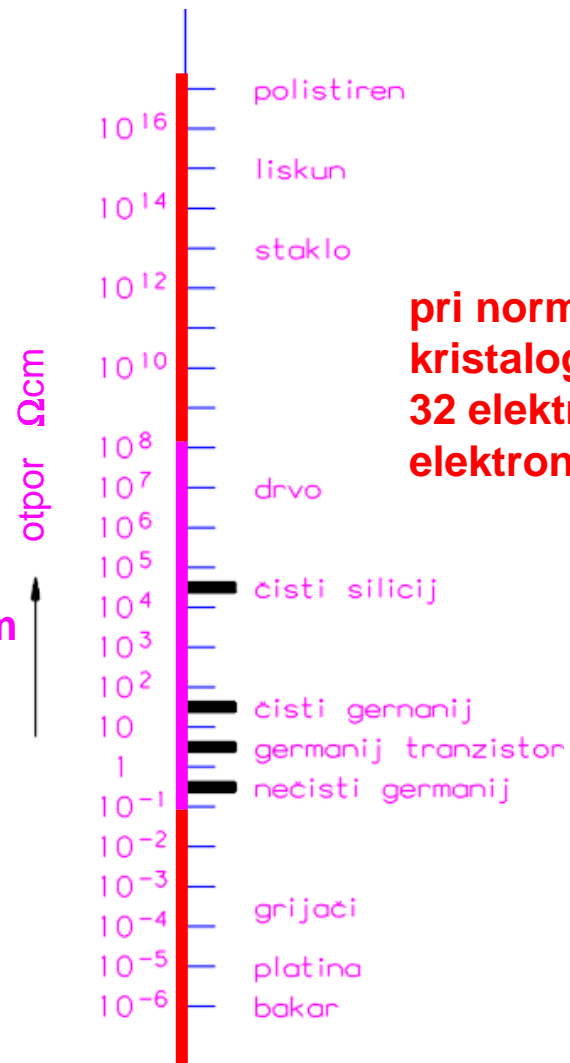
frekvencija elektromagnetskog zračenja - 10^{18} - 10^{22} Hz
između ultravioletnog svjetla i gama-zraka (dijelom se prekriva s oba područja)

ELEKTRIČNA STRUJA KROZ POLUVODIČE

izolatori $\gg 10^8 \Omega\text{cm}$

poluvodiči $10^{-1} - 10^8 \Omega\text{cm}$

vodiči $\ll 10^{-1} \Omega\text{cm}$



plou vodička tehnika
silicij (Si) i germanij (Ge)
4-valentni elementi

pri normalnoj temperaturi i tlaku
kristalografska rešetka atoma – (germanij
32 elektrona, silicij 14 elektrona) 4 valentna
elektrona nisu čvrsto vezana

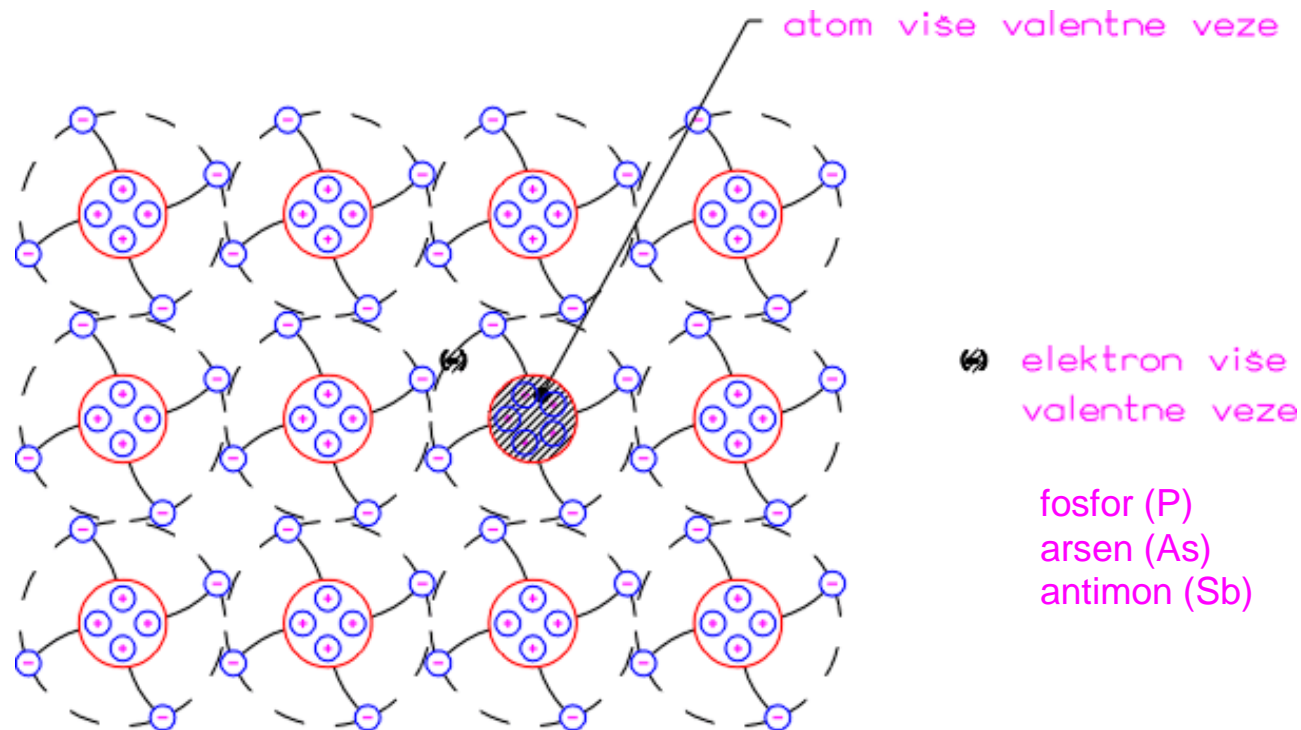
"električki" prikaz atoma (Ge, Si)
- jezgra sa 4 pozitivna naboja
- 4 kružeća "slobodna" elektrona

poluvodiči - niske temperature \Rightarrow valentne veze stabilnije \Rightarrow kristali izolatori
povišene temperature \Rightarrow valantne veze nestabilnije \Rightarrow slobodni elektroni

čisti poluvodič \Rightarrow intrinzična vodljivost **obogaćeni poluvodič \Rightarrow ekstrinzična vodljivost**

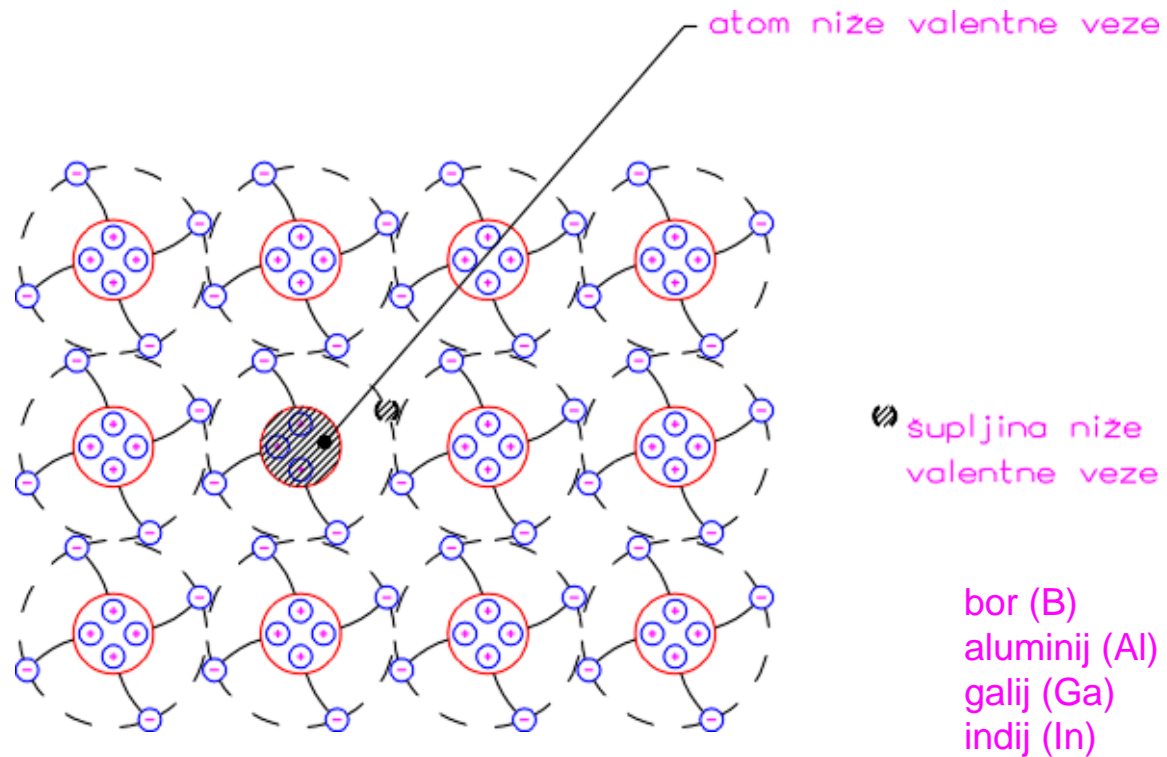
obogaćivanje (dopiranje) = onečišćavanje primjesama (tro i peterovalentnim atomima)

dopiranjem poluvodič ostaje električki neutralan



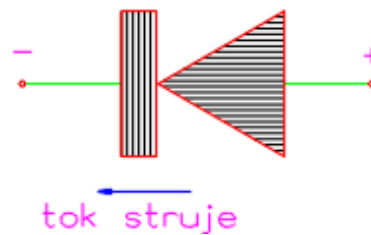
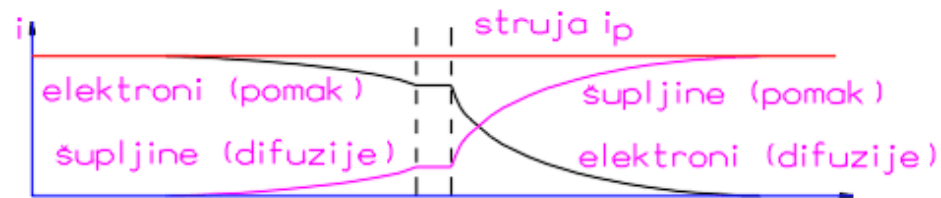
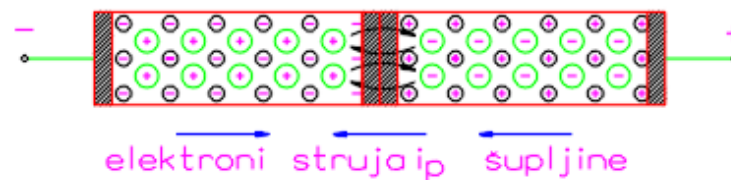
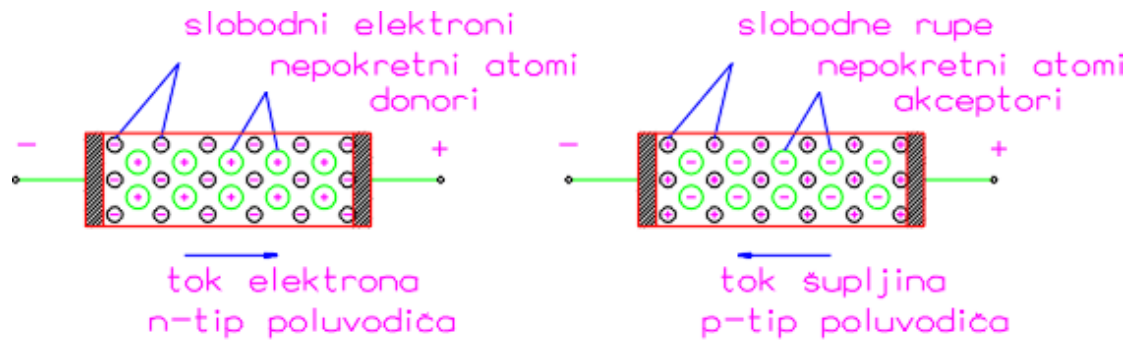
dopiranje peterovalentnim elementom (donorima) \Rightarrow višak elektrona = N tip poluvodiča
u vođenju električne struje sudjeluju i šupljine i elektroni ali s različitim omjerom

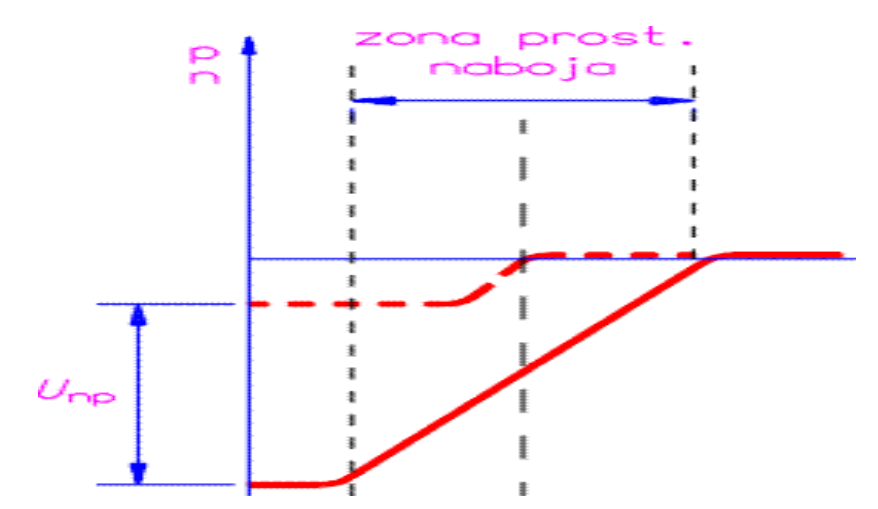
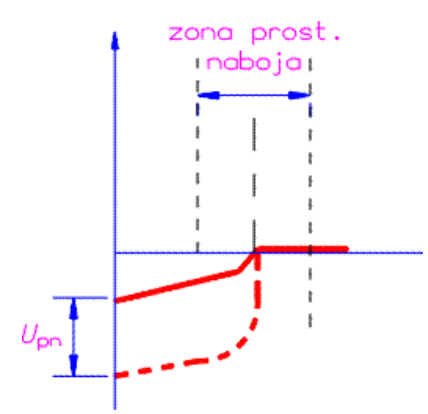
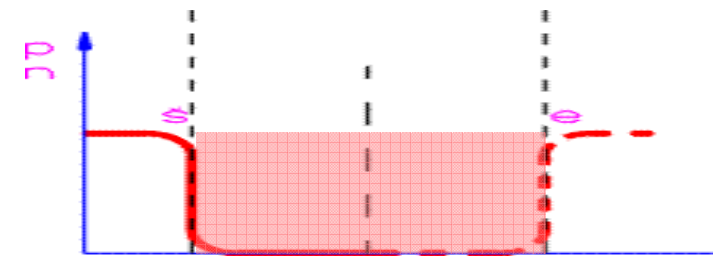
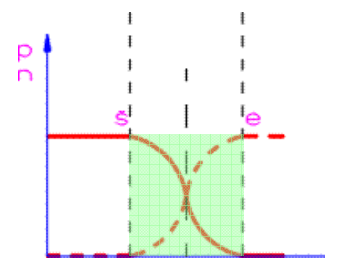
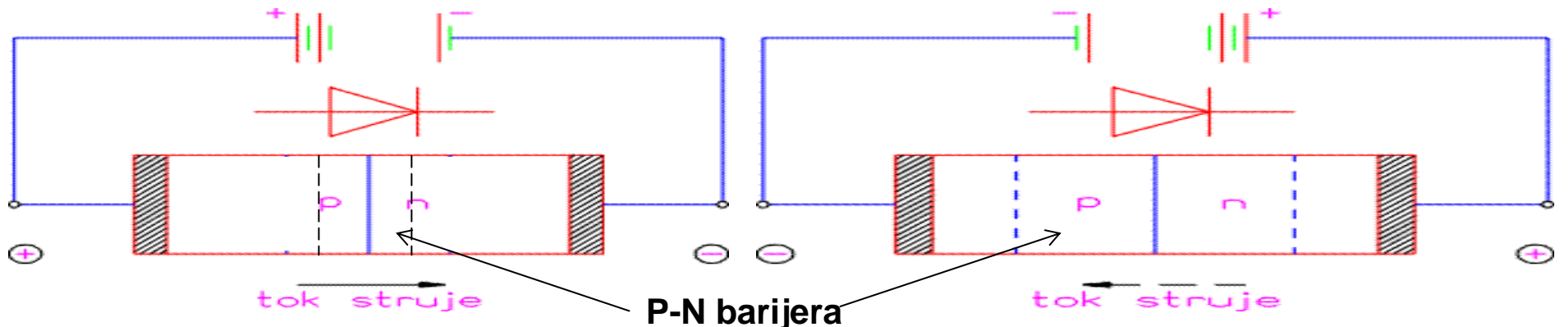
jače dopiranje (veći broj akceptora ili donora) \Rightarrow veća koncentracija nosioca naboja \Rightarrow
manja koncentracija nosioca suprotno polariziranog naboja (elektrona ili šupljina) \Rightarrow
mijenja se vodljivost poluvodiča



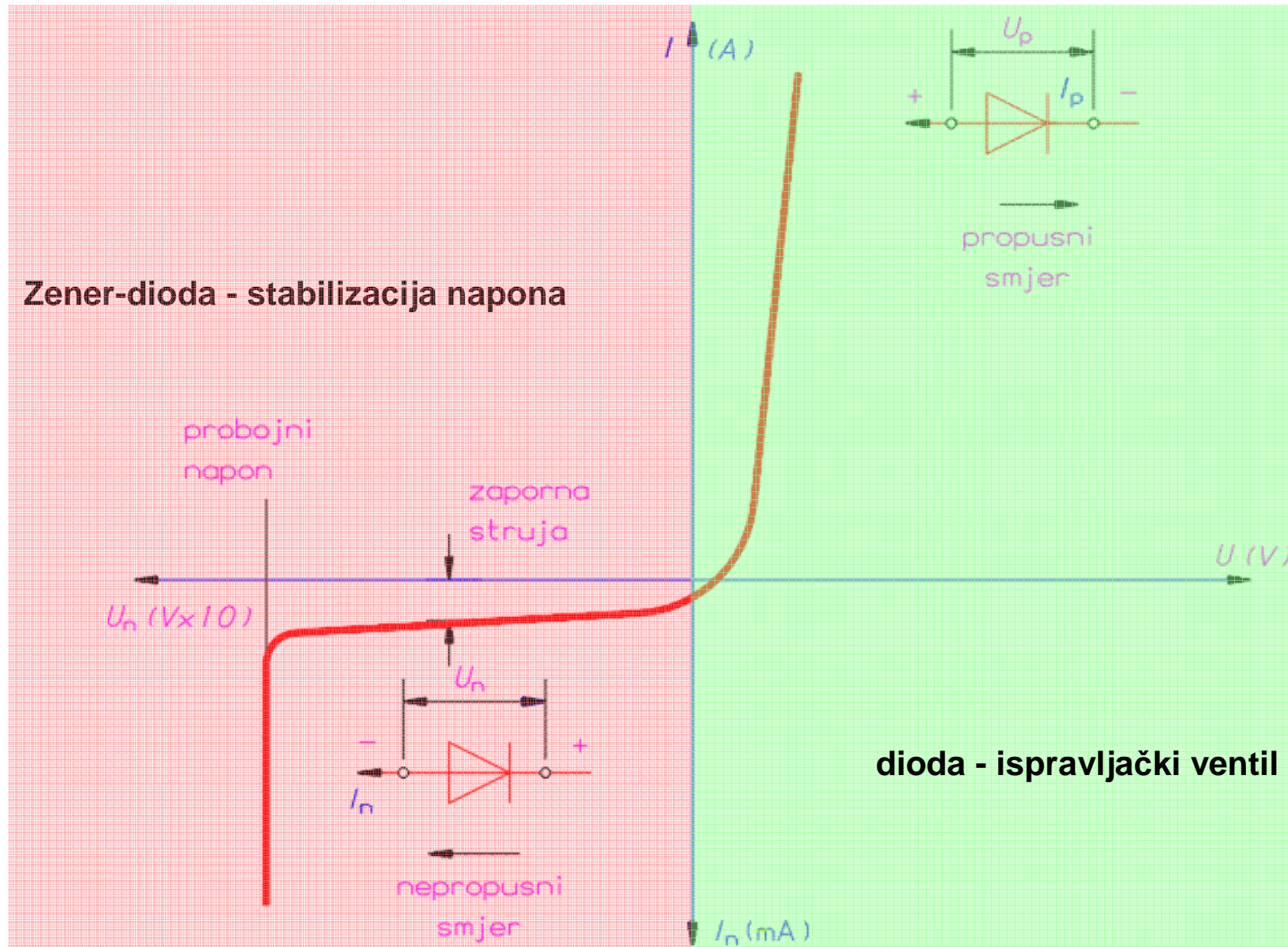
**dopiranje trovalentnim elementom (akceptorima) \Rightarrow višak šupljina = P tip poluvodiča
u vođenju električne struje sudjeluju i šupline i elektroni ali različitim omjerom**

P-N spoj - poluvodička dioda



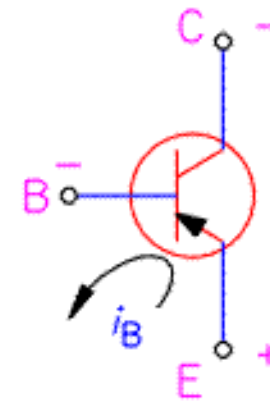
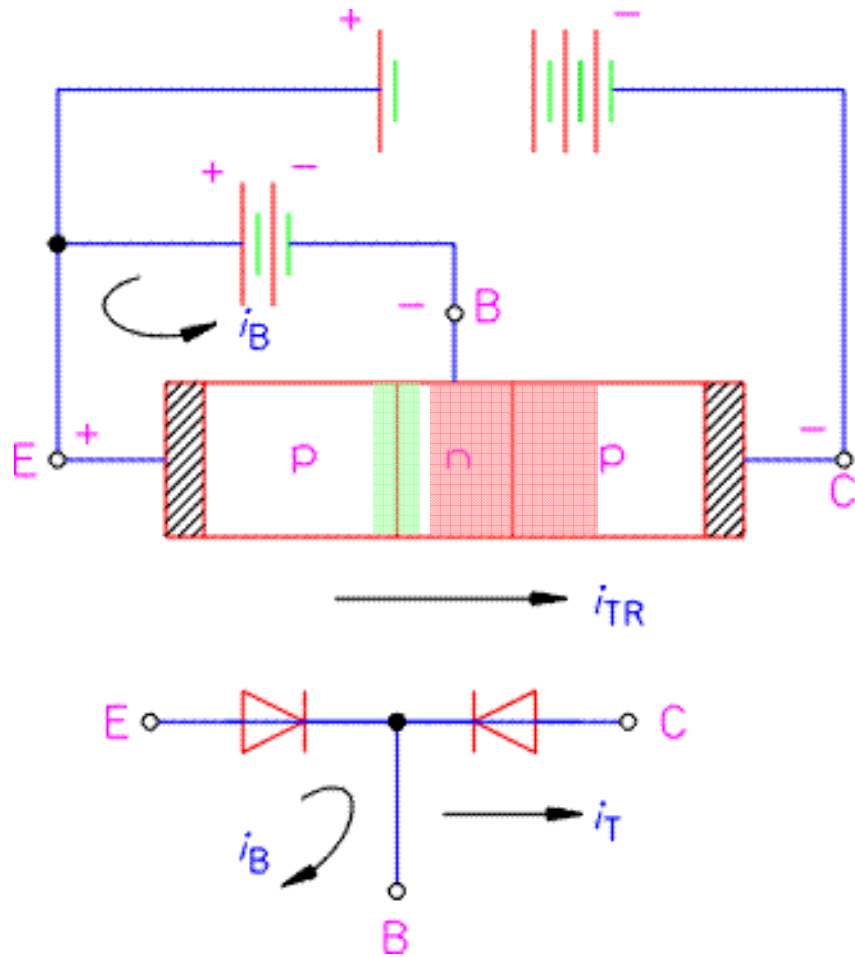


Zener-dioda - stabilizacija napona

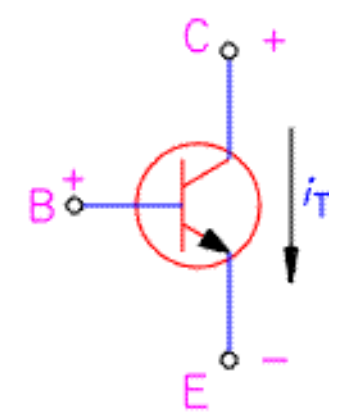
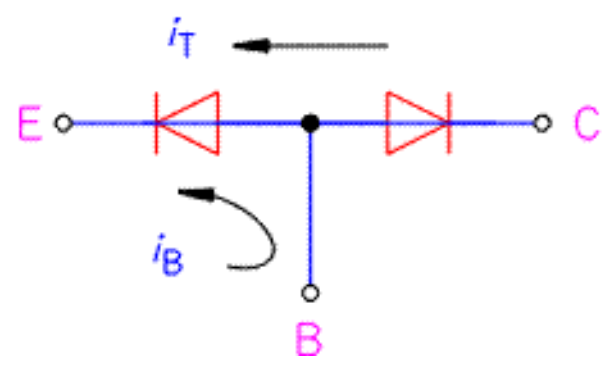
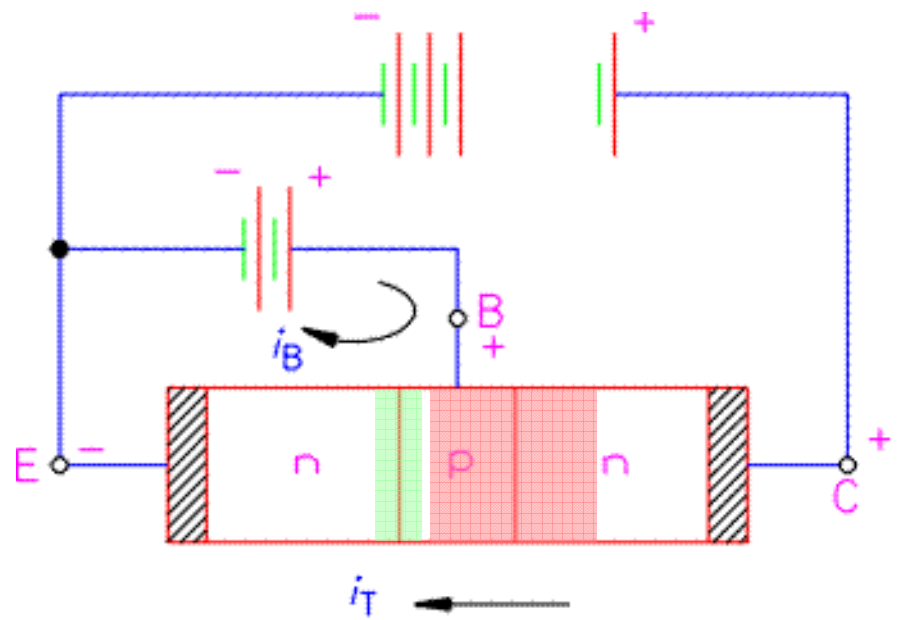


Pad napona u propusnom smjeru 0,5 V do 0,7 V (silicijska dioda)

Tranzistori

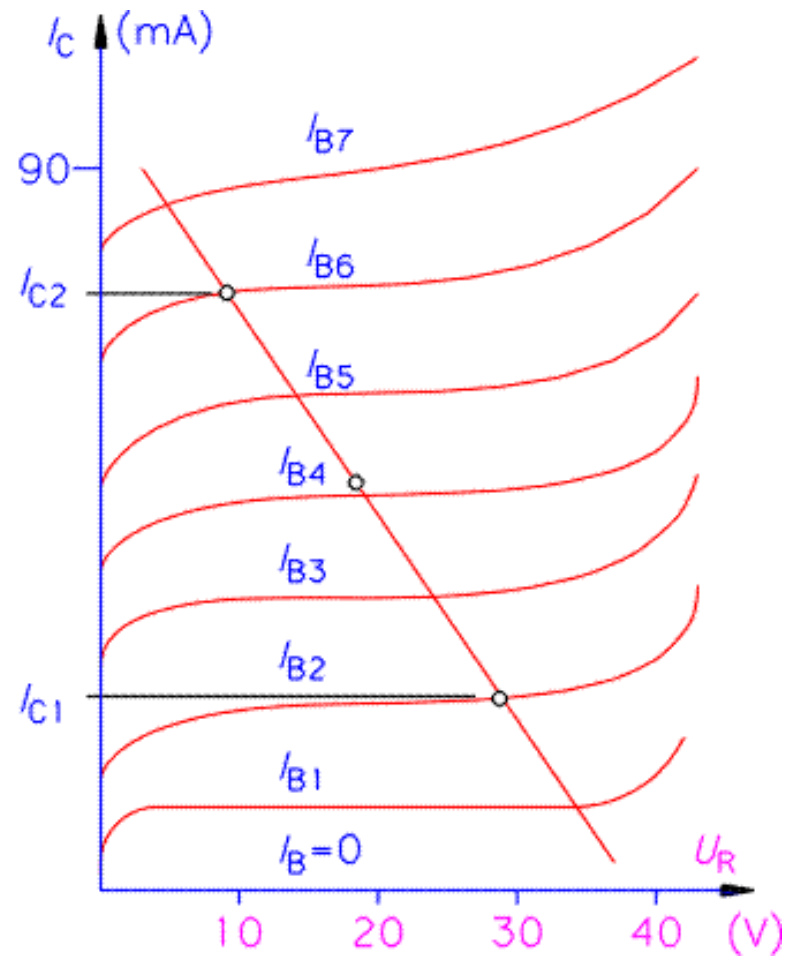
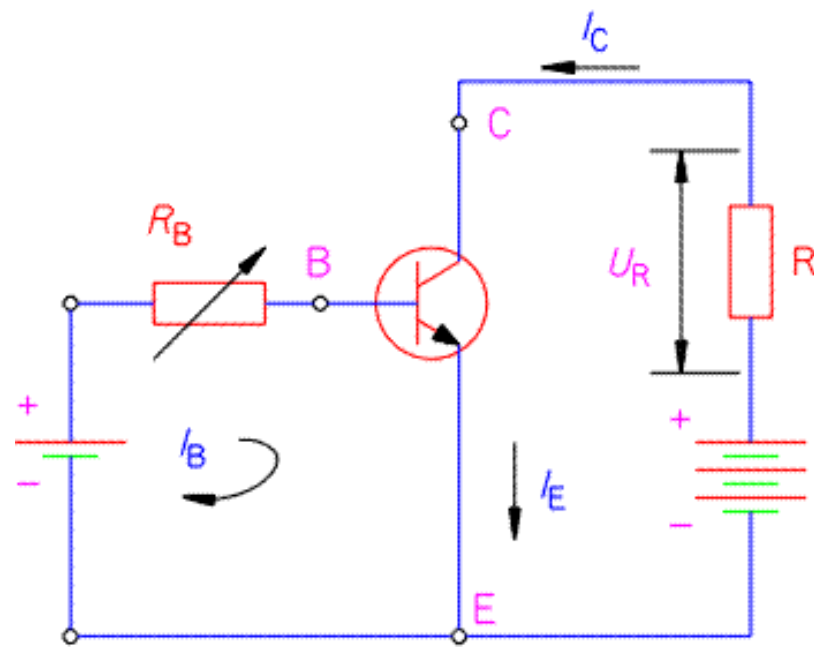


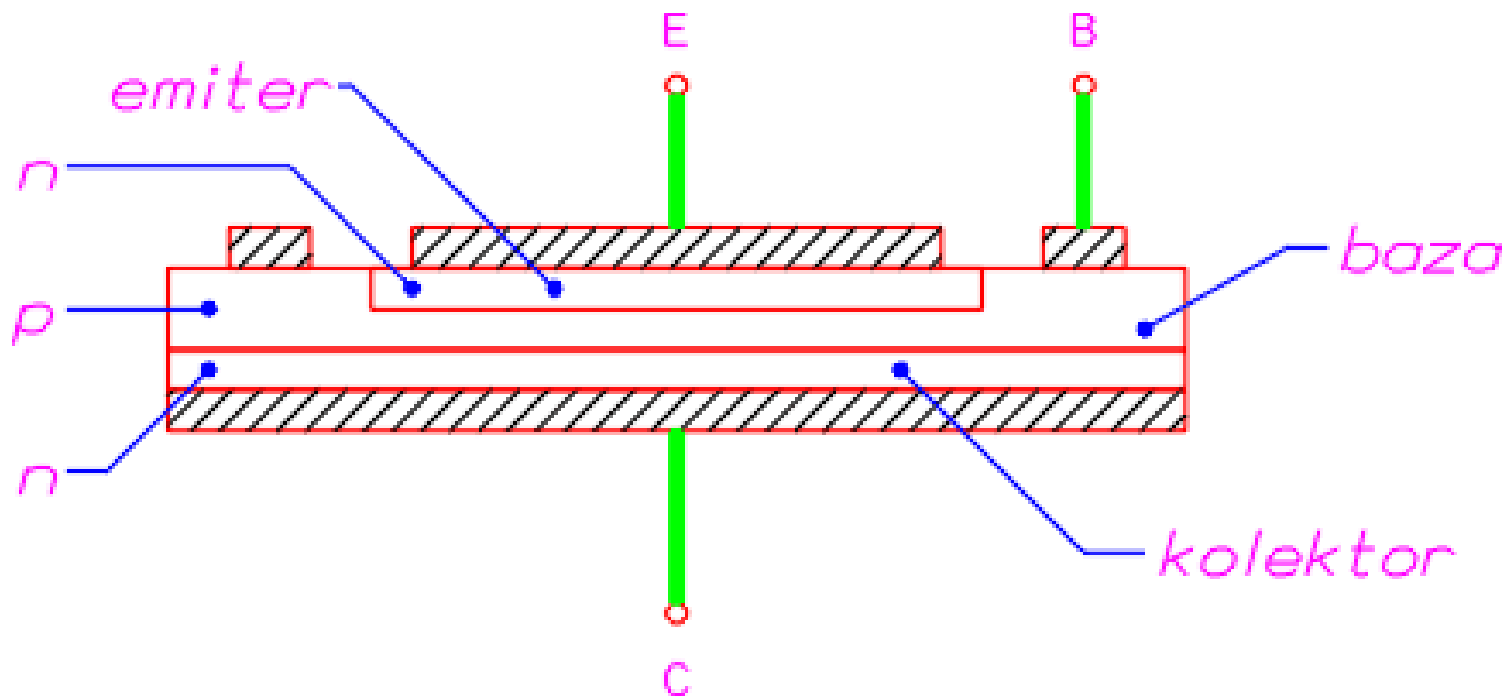
Baza mora biti jako tanka



Tranzistor kao sklopka

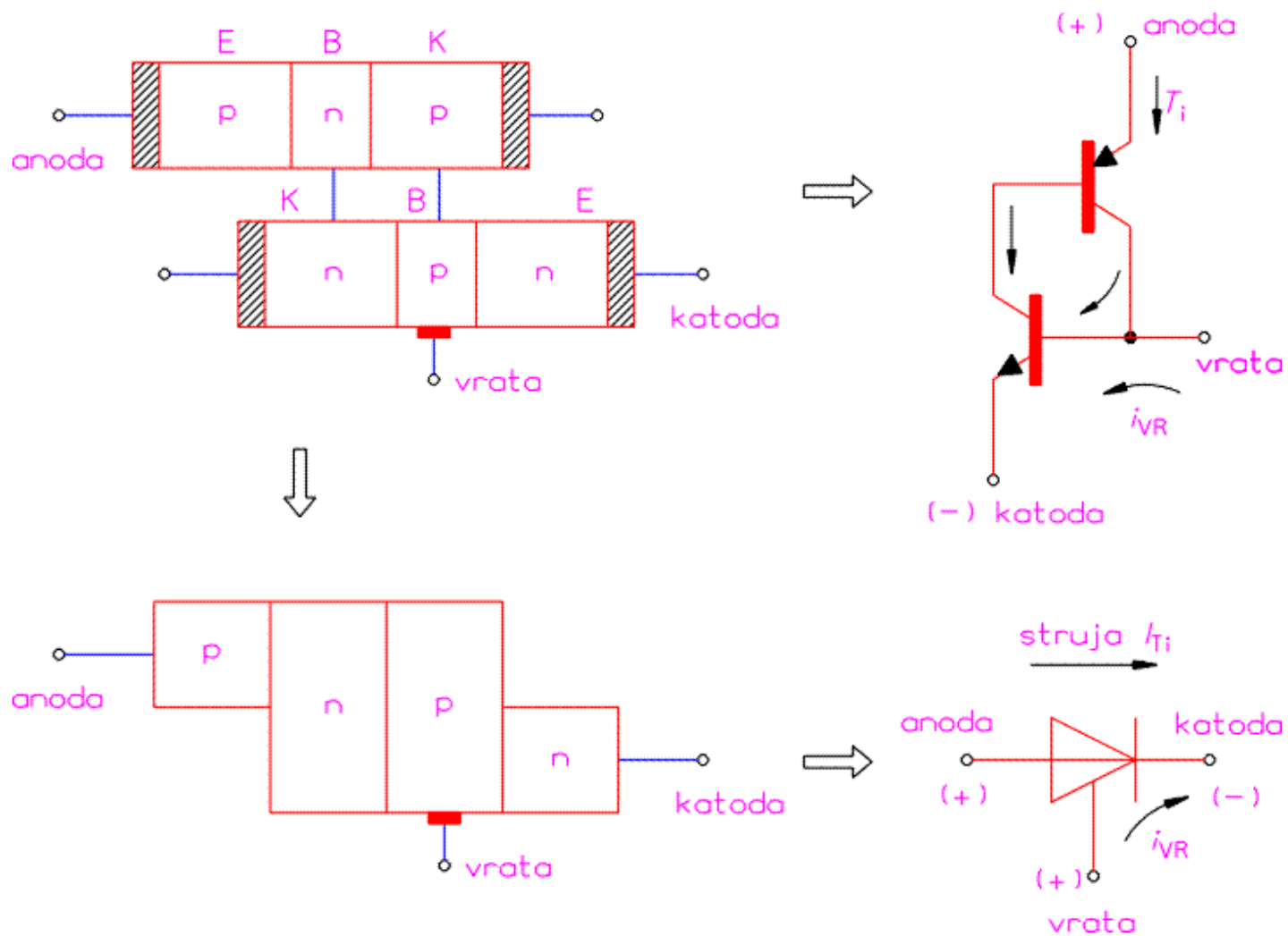
Pojačalo

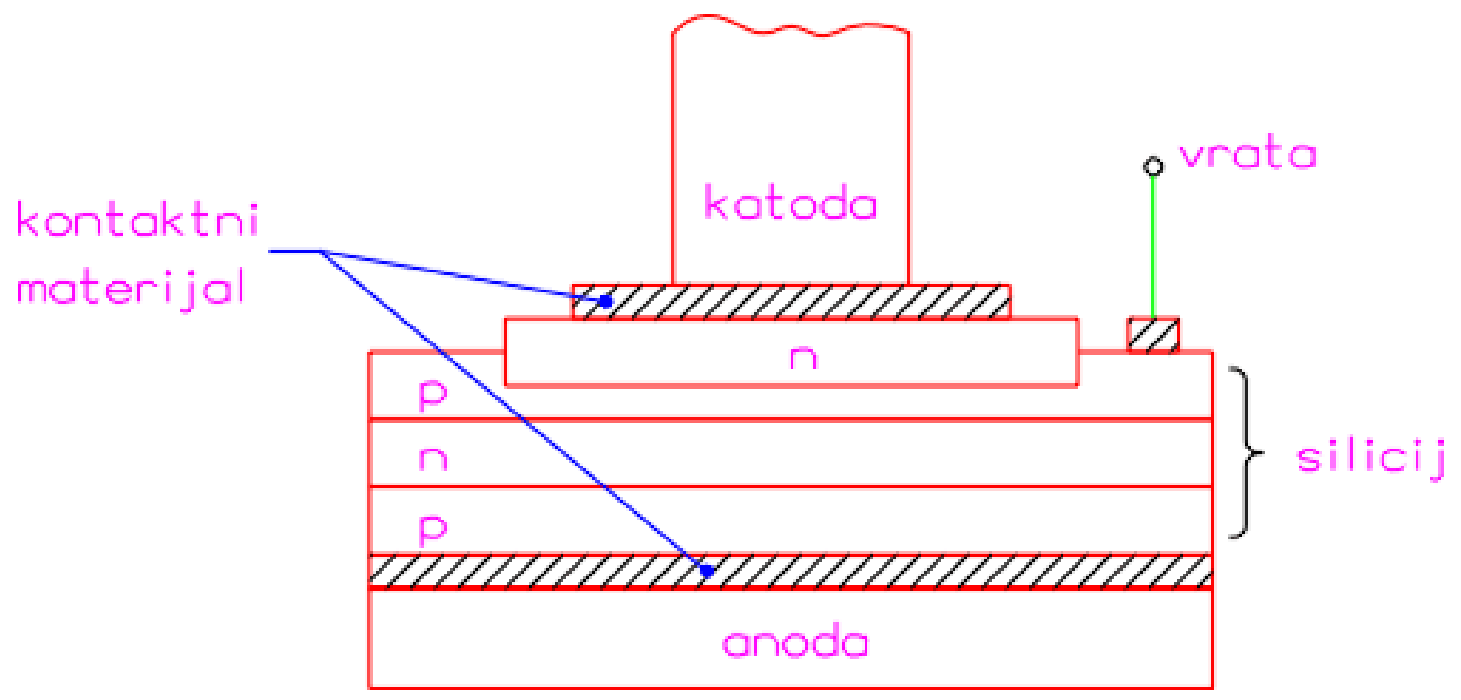




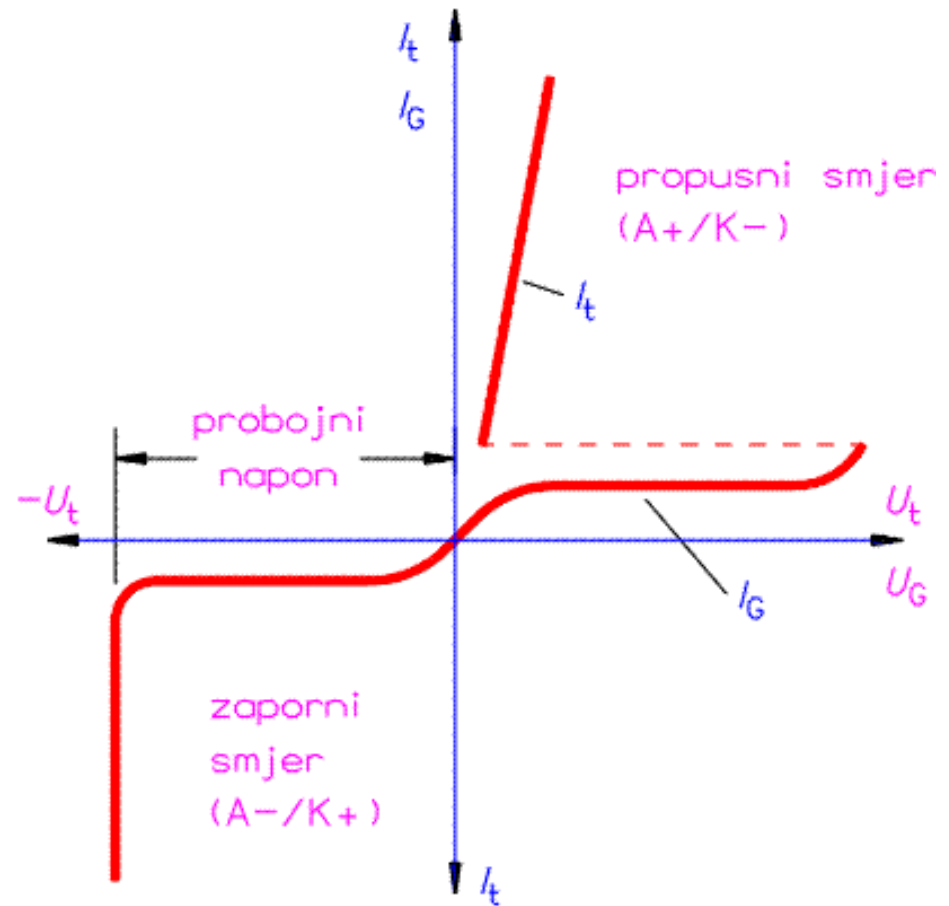
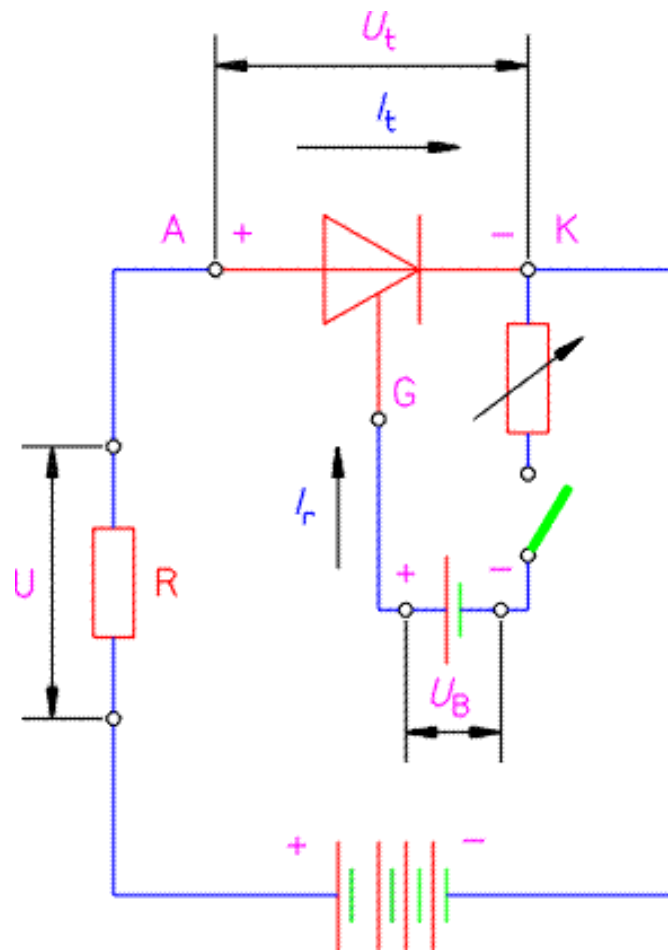
Tiristori

Funkcija- brza upravljiva beskontaktna sklopka - uključivanje



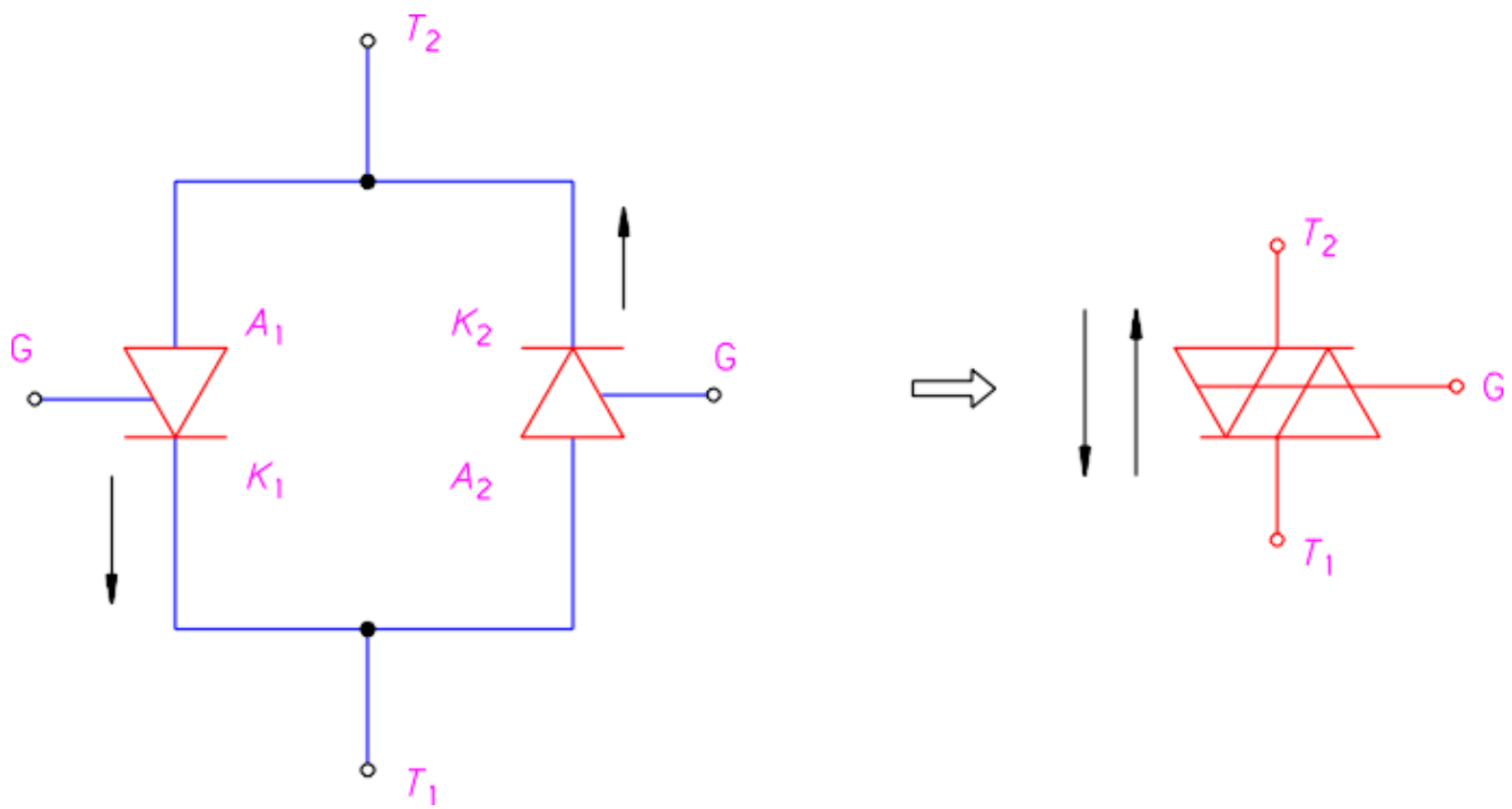


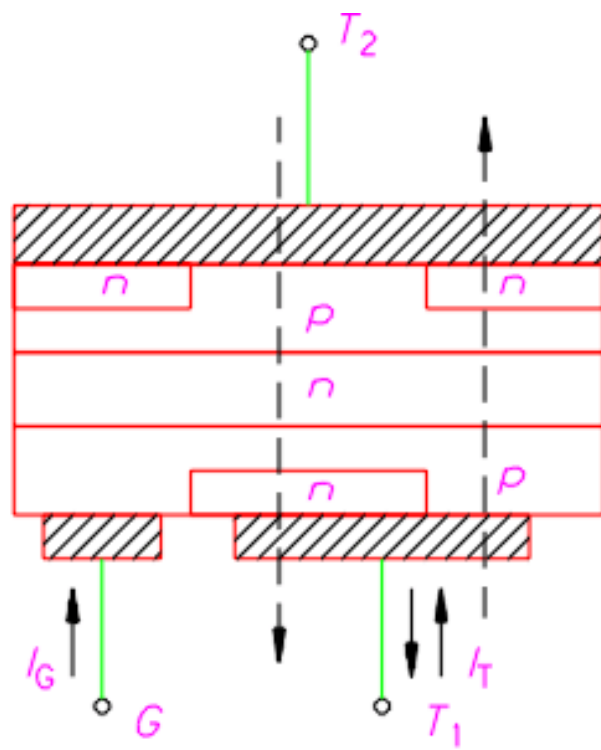
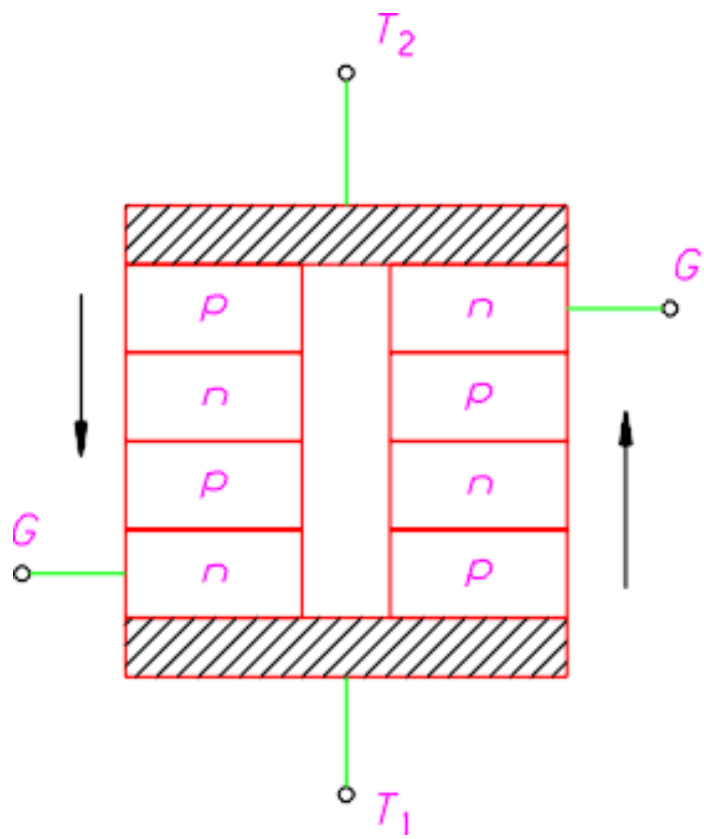
Upravljeni poluvalni ispravljač



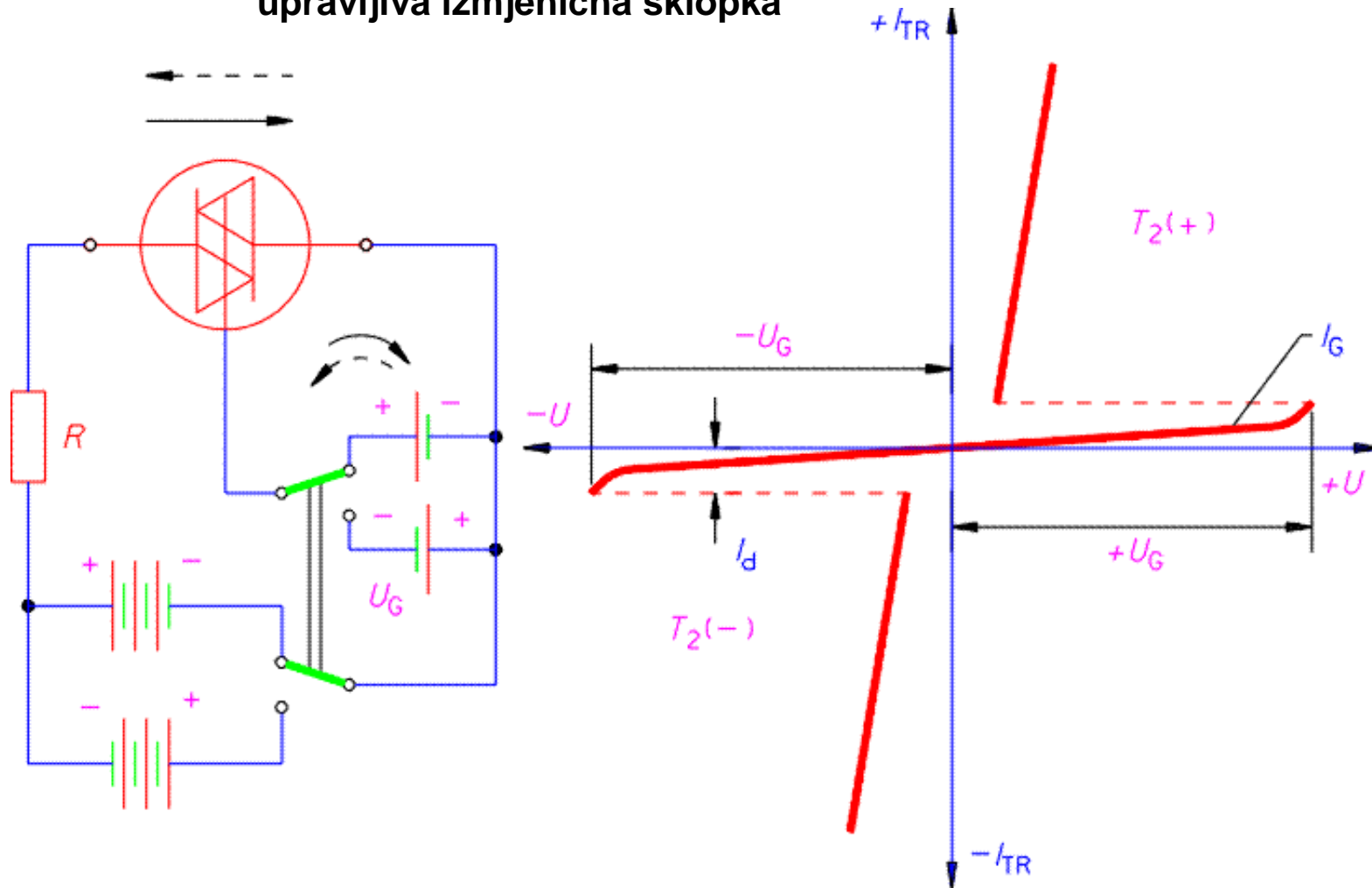
Triak

Funkcija - brza upravljiva beskontaktna sklopka – uključivanje – moguć tijekom struje u oba smjera





upravljiva izmjenična sklopka



1874 Fredinand Braun – *metal oksid / metal sulfid ispravljački efekt*

1935 Bediks – Švedska *Ge detektor*

1941 Davidenko, Morgulius, Davidov - *teorija poluvodiča (Akademija SSSR)*

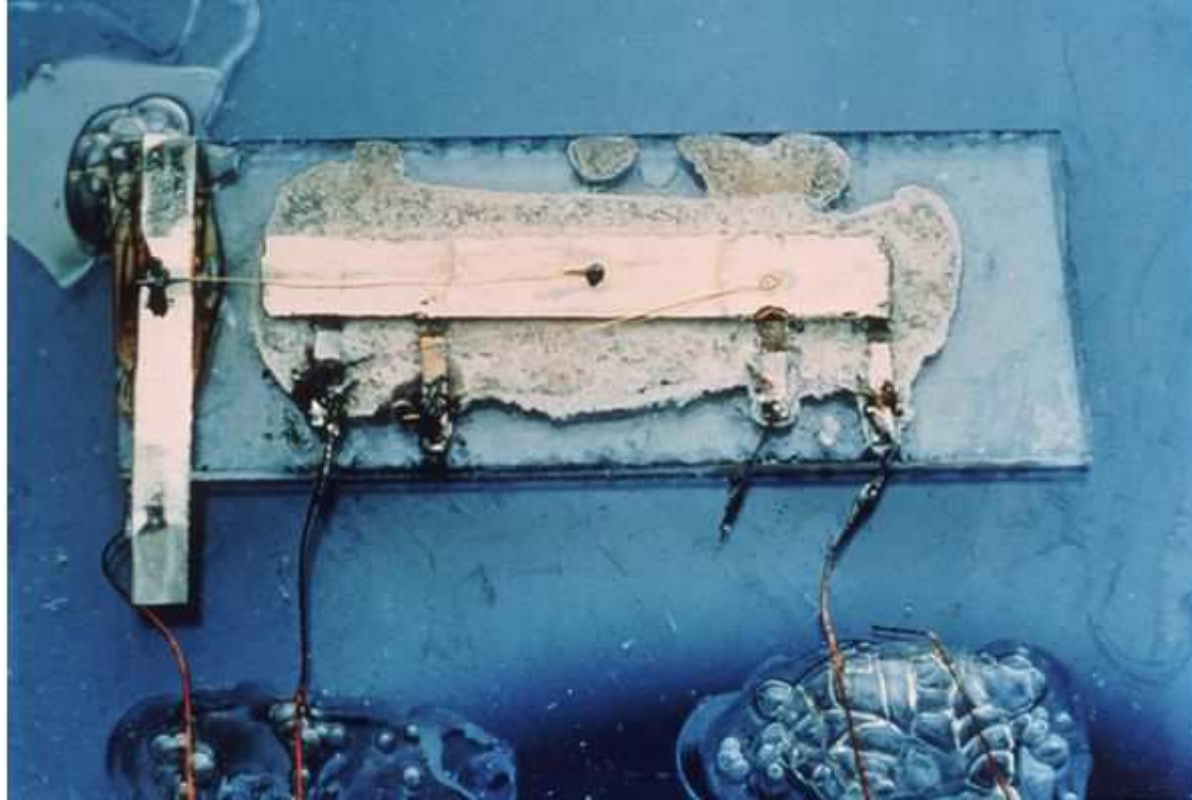
1947 Pearson, Moor, Shockley – tranzistorski efekt Bell laboratorij – (NN 1956)
istraživanje polja u blizini metalne elektrode točkaste diode (nekoliko desetaka μm)

1949 *slojni tranzistor*

1952 *unipolarni tranzistor*

1958 Jack Kilby /Texas Instrimenuts/ i Robert Novace /Fairchild Semiconductors/
integrirani sklop

Više na: http://en.wikipedia.org/wiki/Integrated_circuit#Invention



integrirani sklop - Jack Kilby 1958