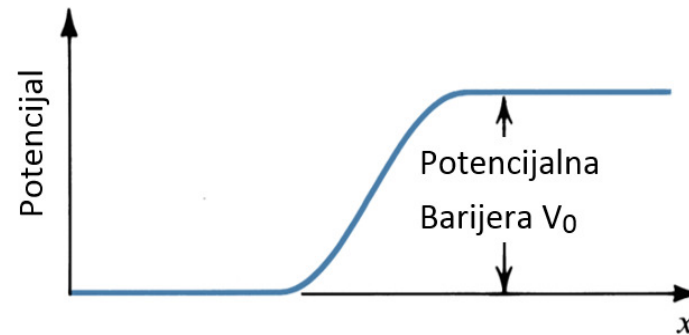
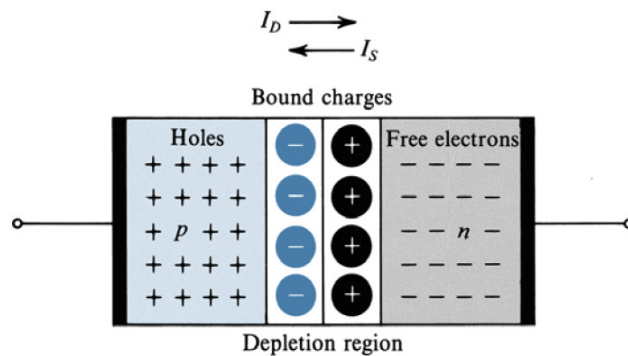


Kola sa diodama

Model diode

Na spoju p i n oblasti poluprovodnika usled difuzije (kretanje slobodnih nosilaca naelektrisanja iz oblasti veće koncentracije ka oblasti manje koncentracije) dolazi do prelaska šupljina iz p oblasti gde su većinski nosioci u n oblast gde su manjinski nosioci (isto važi i za elektrone). Tom prilikom dolazi rekombinacije između šupljina i elektrona. Prilikom svake rekombinacije ostaje u kristalnoj rešetki jedan pozitivan jon u n oblasti i jedan negativan jon u p oblasti. Na taj način formira se na samom spoju p i n oblasti **oblast prostornog naelektrisanja** ili **osiromašena oblast**. Električno polje koje stvara oblast prostornog naelektrisanja sprečava dalju difuziju većinskih nosilaca naelektrisanja. Razlika potencijala koja se pri tome formira naziva se potencijalna barijera.

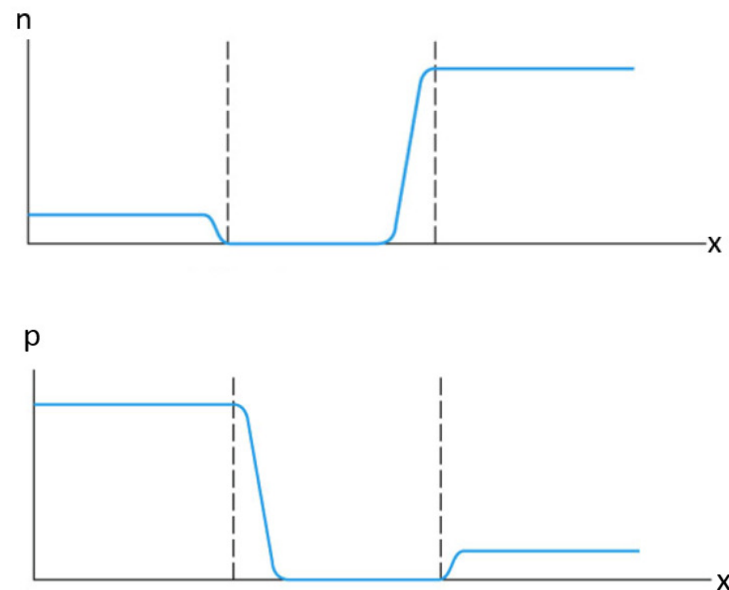
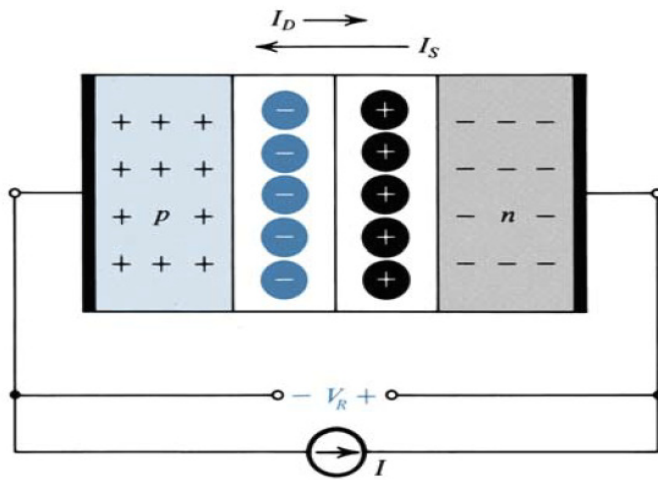


Model diode

Kada je spoljni napon priključen tako da je p oblast na nižem potencijalu od n oblasti kažemo da je dioda inverzno polarisana. Pri inverznoj polarizaciji pn spoja širina prelazne oblasti se povećava usled kretanja glavnih nosilaca naelektrisanja od pn spoja ka spoljnim priključicima. Spoljni napon deluje na takav način da podstiče kretanje sporednih nosilaca naelektrisanja kroz osiromašenu oblast. Usled toga dolazi do opadanja koncentracije sporednih nosilaca uz granicu osiromašene oblasti. Već pri malim vrednostima spoljašnjeg napona ($V > 4 V_T$) njihova koncentracija je praktično jednaka nulu. Odavde proističe da će pri daljem porastu napona inverzne polarizacije struja ostati nepromenljiva.

$$p_n(l_n) = p_{n0} \cdot e^{\frac{V}{V_T}}$$

$$n_p(l_p) = n_{p0} \cdot e^{\frac{V}{V_T}}$$

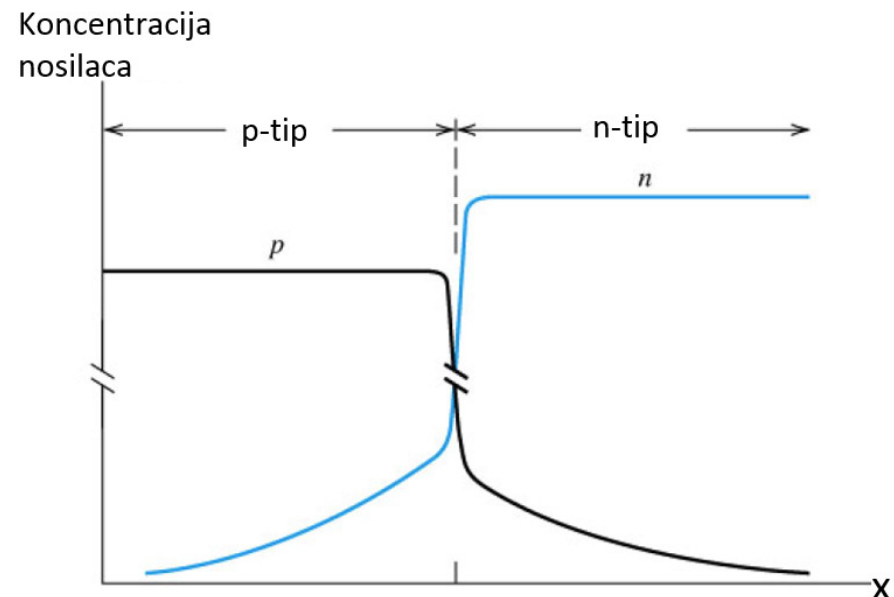
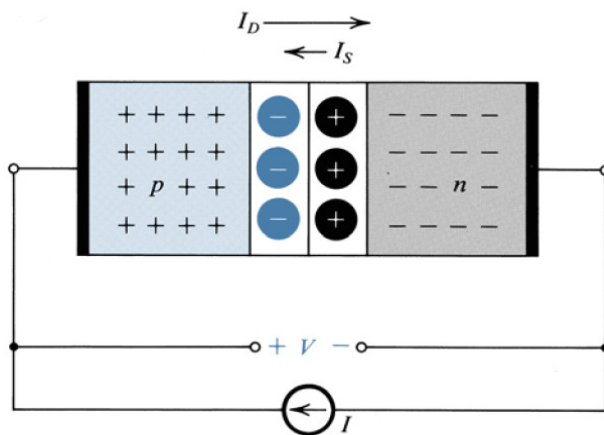


Model diode

Kada je p oblast na višem potencijalu od n oblasti kažemo da je dioda direktno polarisana. U tom slučaju je spoljašnji napon ima suprotan polaritet u odnosu na električno polje osiromašene oblasti. Spoljašnji napon podstiče kretanje većinskih nosioci naleytrisanja (šupljine u p oblasti i elektroni u n oblasti) kroz osiromašenu oblast. Usled toga dolazi do gomilanja ovih nosilaca naelektrisanja uz granicu osiromašene oblasti. Nakon što pređu u drugu oblast većinski nosioci postaju manjinski nosioci naleytrisanja i usled difuzije nastavljaju da se kreću u istom smeru.

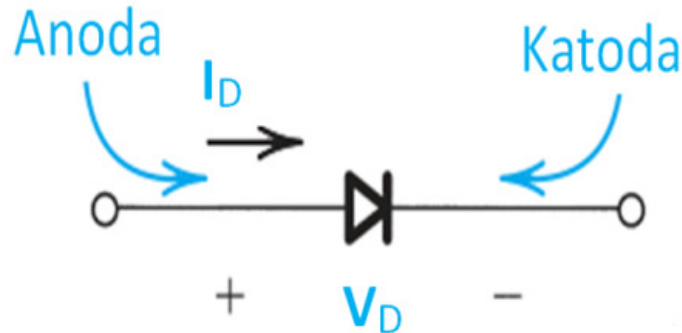
$$p_n(l_n) = p_{no} \cdot e^{\frac{V}{V_T}}$$

$$n_p(l_p) = n_{po} \cdot e^{\frac{V}{V_T}}$$



Model diode

-Diode (strujno naponska karakteristika)



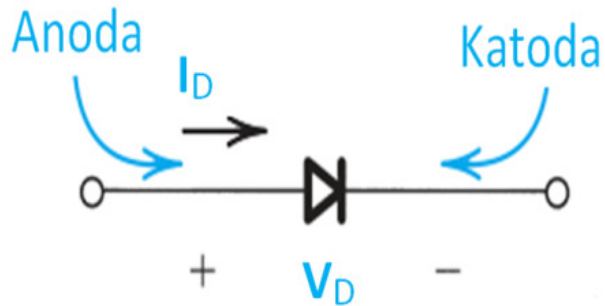
Dioda je elektronska komponenta sa dve elektrode koje se nazivaju: *anoda* i *katoda*. Napravljena je na bazi pn spoja.

Najvažnija osobina diode je da poseduje *usmeračko svojstvo*, odnosno da provodi struju u jednom smeru, od anode ka katodi.

Kada je potencijal na anodi veći od potencijala na katodi kažemo da je dioda *direktno polarisana* a ukoliko je obrnuto onda je *inverzno polarisana*.

Model diode

-Diode (strujno naponska karakteristika)



$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V_D}{\eta \cdot V_T}} - 1 \right)$$

V_T je *temperaturski potencijal*

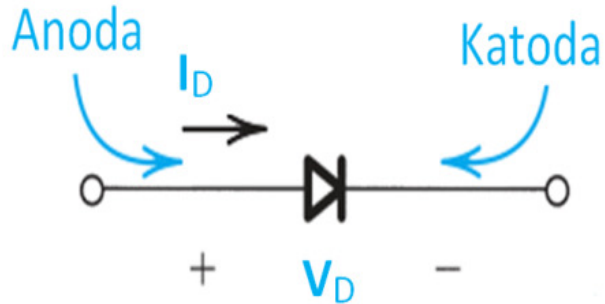
$$V_T = \frac{kT}{q} \Big|_{T=300K} = 0.026V = 26mV$$

I_S je *inverzna struja zasićenja*, za Si diodu reda nA a za Germanlijumsku reda μA .

η je *koeficijent idealnosti* koji zavisi od materijala, a vrednost mu se kreće između jedan i dva.

Model diode

-Diode (strujno naponska karakteristika)



$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V_D}{\eta \cdot V_T}} - 1 \right)$$

Za napone koji su mnogo veći ili mnogo manji od temperaturskog potencijal mogu se primeniti sledeće aproksimacije:

pri direktna polarizaciji za $V_D \gg V_T$ $I_D \approx I_S \cdot e^{\frac{V_D}{\eta \cdot V_T}}$

pri inverznoj polarizaciji za $V_D \ll V_T$ $I_D \approx -I_S$

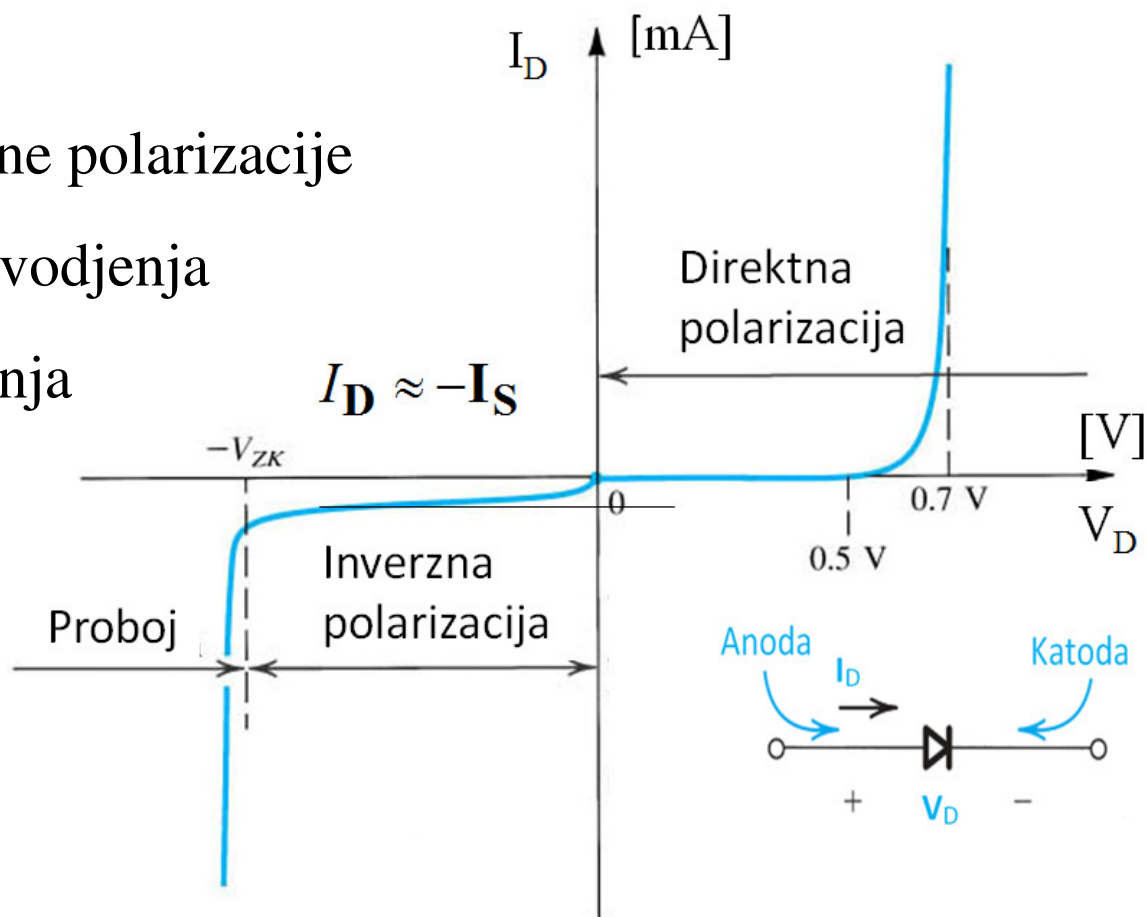
Oblasti rada diode:

$V_D < V_Z$ oblast proboja

$V_Z < V_D < 0$ oblast inverzne polarizacije

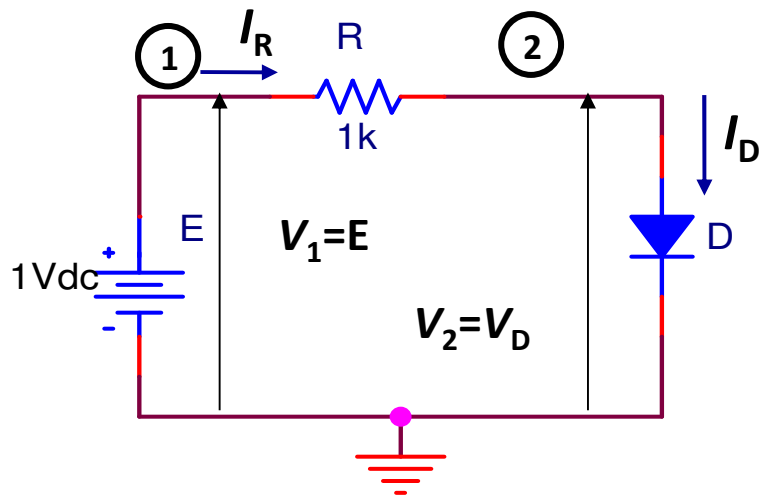
$0 < V_D < V_\gamma$ oblast neprovodjenja

$V_D > V_\gamma$ oblast provodjenja



Analiza kola sa diodama u jednosmernom režimu

Analiza kola sa diodama složenija je u odnosu na analizu linearnih kola zato što je dioda nelinearna komponenta. Jedan od postupaka koji se može primeniti na jednostavna kola sa diodom je grafička analiza korišćenjem radne prave.



$$\frac{V_1 - V_2}{R} = I_R$$

$$\frac{V_2 - V_1}{R} + I_D(V_D) = 0$$

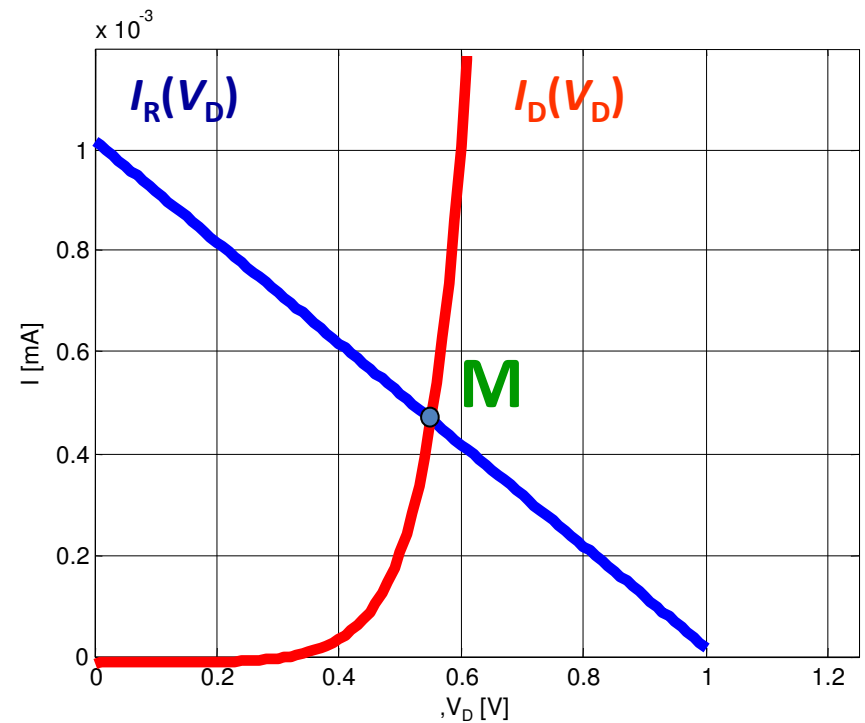
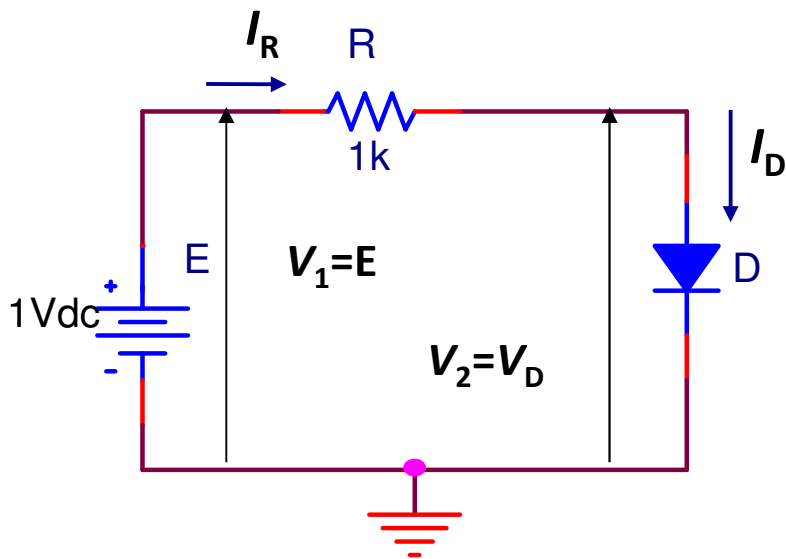
$$I_D(V_D) = I_s \left(e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right)$$

$$V_D = ?$$

Dioda u elektronskom kolu DC režim

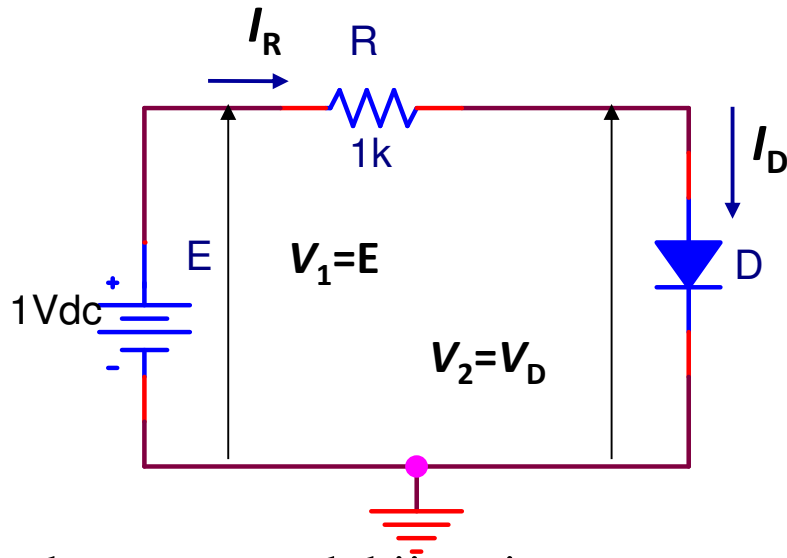
Grafička analiza kola

Grafička analiza kola je primenjiva kada može da se uspostavi relacija između struje kroz diodu i napona na diodi u funkciji spoljnjih elemenata. Ovaj postupak je praktično primenjiv samo na veoma jednostavnim kolima.



Dioda u elektronskom kolu DC režim

Grafička analiza kola



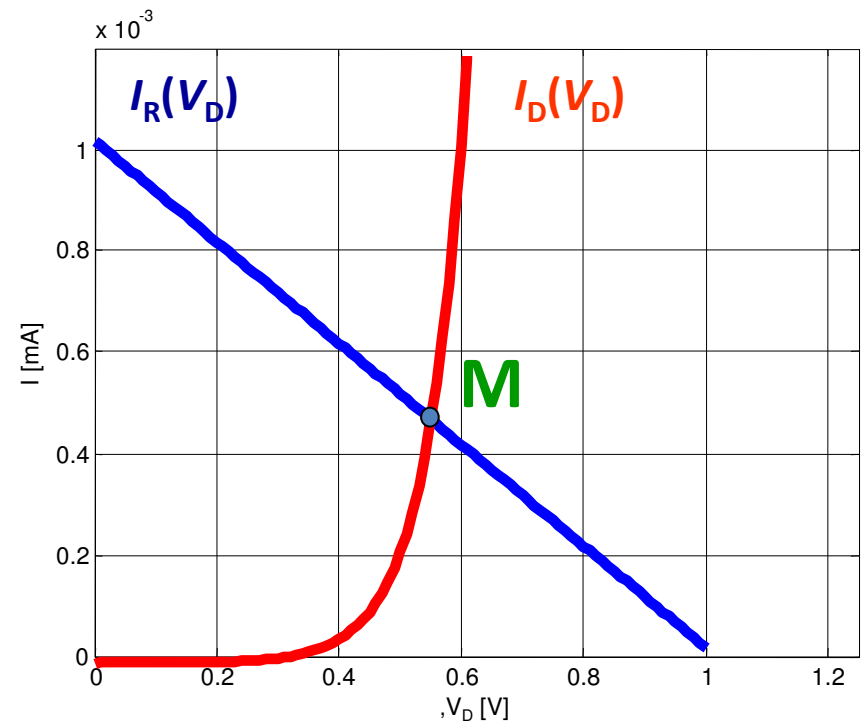
Radna prava se dobija primenom Kirhofovog zakona za napon.

$$E - I_R \cdot R - V_D = 0$$

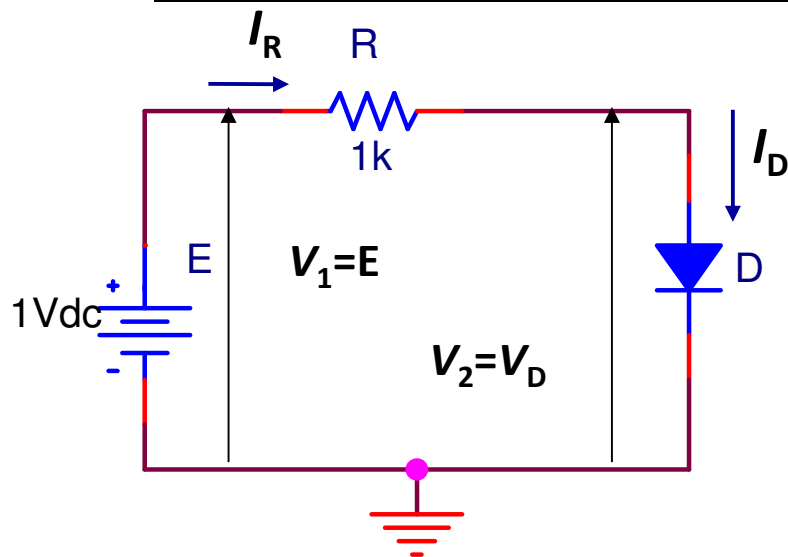
$$I_D = I_R = \frac{E - V_D}{R}$$

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right)$$

U preseku strujno naponske karakteristike diode (crvena linija) i radne prave (plava linija) nalazi se radna tačka diode. Radna tačka je određena strujom kroz diodu i naponom na diodi (tačka M).



Analiza matematičkim modelom diode



Kada se jedna jednačina zameni u drugu dobija se transcendentna jednačina po naponu na diodi. Ova jednačina se može rešiti samo numerički. Postupak analize pomoću matematičkog modela se retko koristi u praksi jer je matematički veoma kompleksana čak i za najjednostavnija kola.

S obzirom da je strujno naponska karakteristika diode poznata kolo sa diodama se može analizirati i matematički. Kirhofovi zakoni za struje i napone su univerzalni pa važe i za kola koja sadrže nelinearne komponente kao što je dioda.

$$E - I_D \cdot R - V_D = 0$$

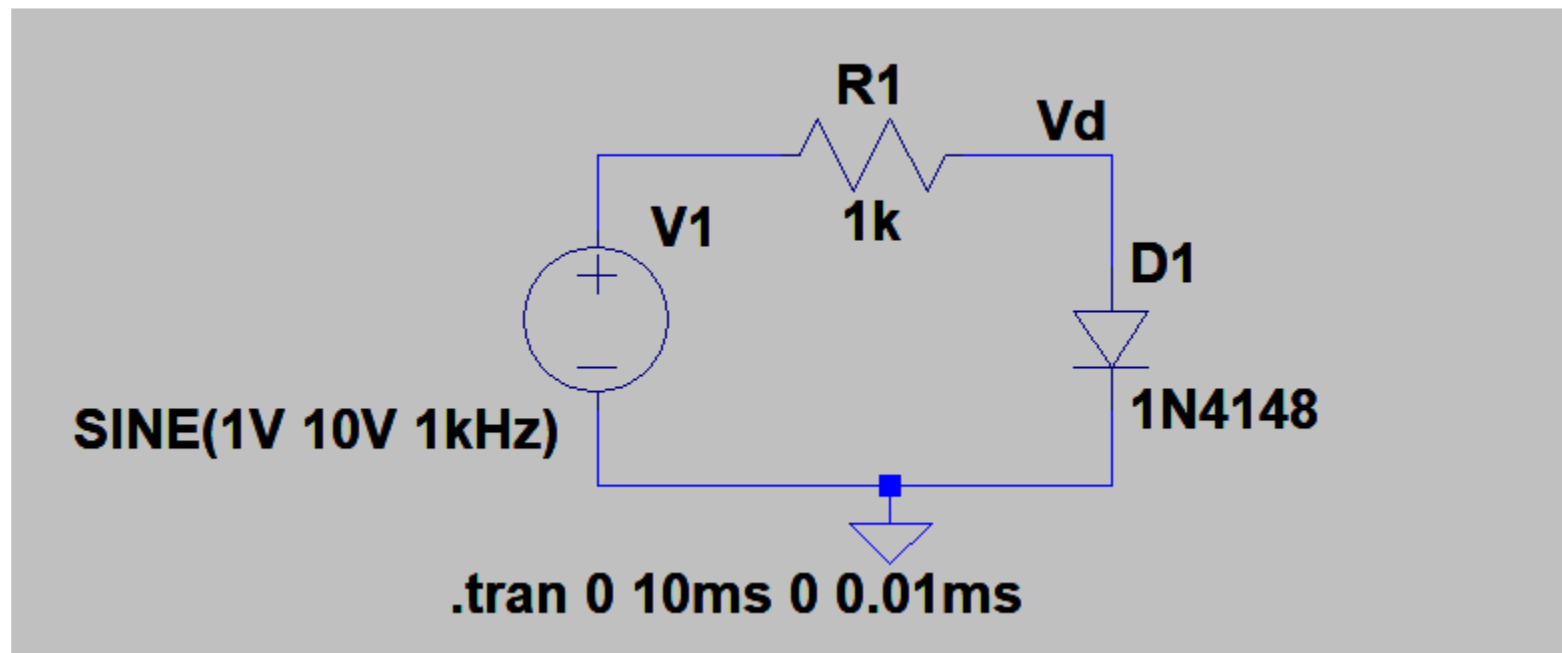
$$I_D(V_D) = I_s \left(e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right)$$

$$E - R \cdot I_s \left(e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right) - V_D = 0$$

Model diode

-Dioda u elektronskom kolu

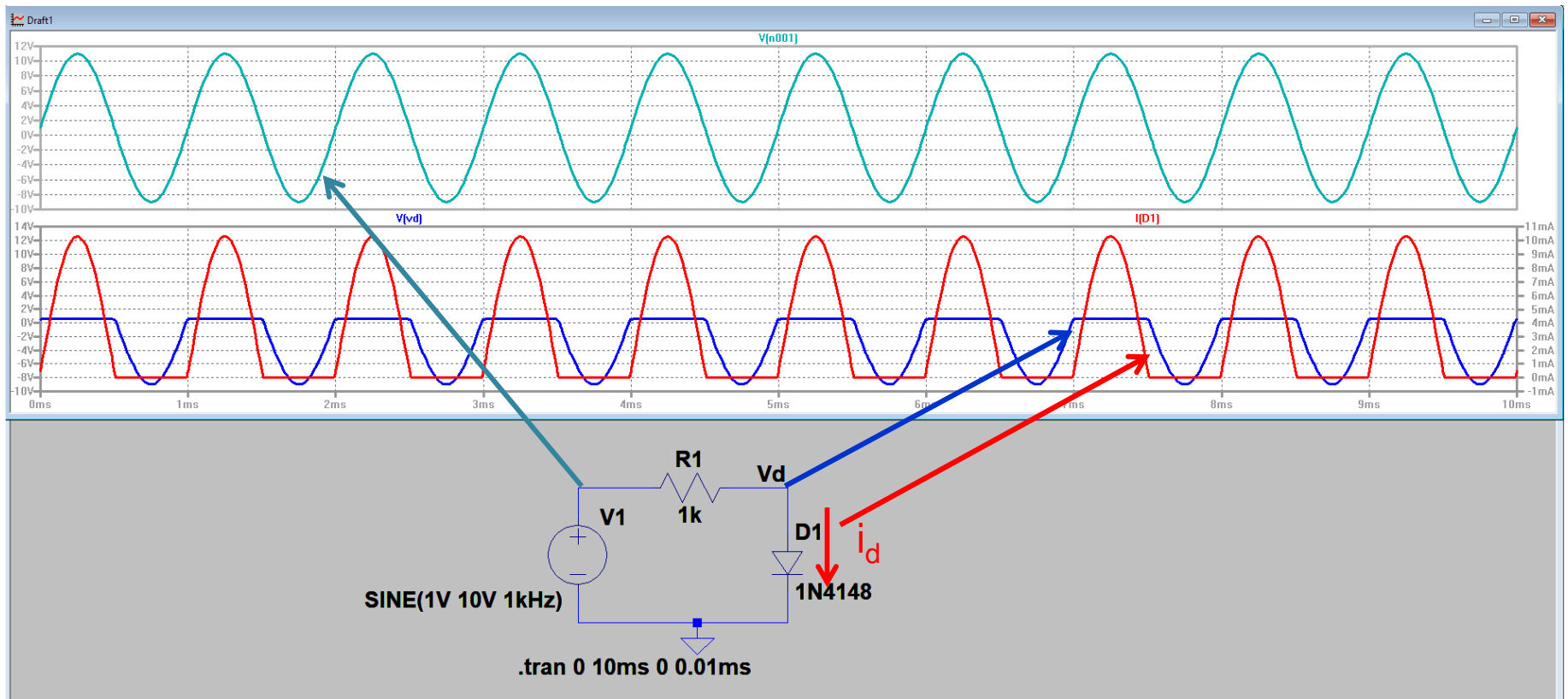
Model diode – nelinearan – za velike signale



Model diode

-Dioda u elektronskom kolu

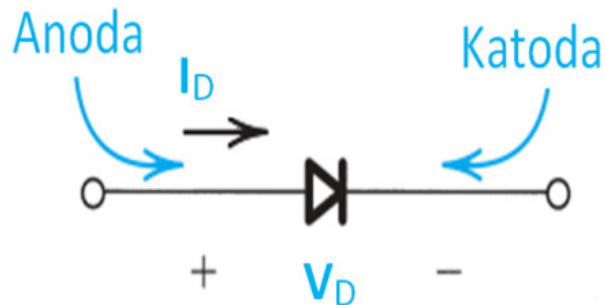
Model diode – **nelinearan** – za velike signale



Struja nije $k \cdot V$ (linearno proporcionalna naponu) za velike signale

Analiza matematičkim modelom diode

Prilikom analize kola sa diodama u praksi se najčešće pojednostavljuje strujno naponska karakteristika diode. Preciznije rečeno koristi se strujno naponska karakteristika sastavljena od linearnih segmenata. Na taj način se problem analize kola sa nelinearnom komponentom svodi na linearnu analizu. U nastavku su navedena tri **linearizovana modela diode za velike signale**.



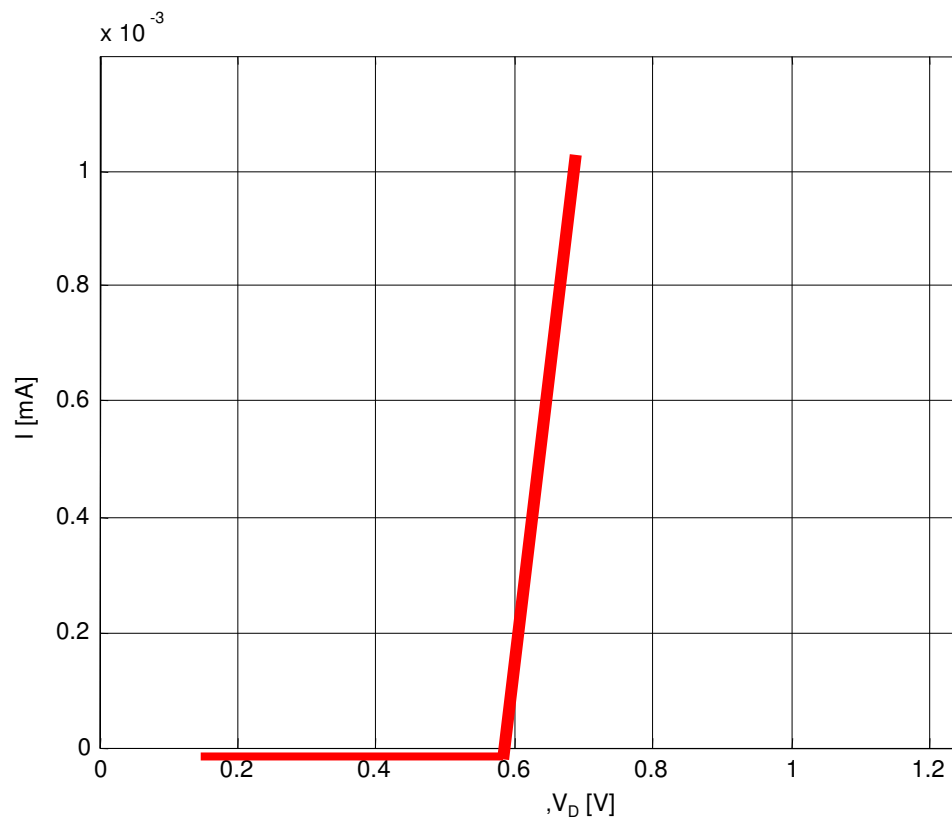
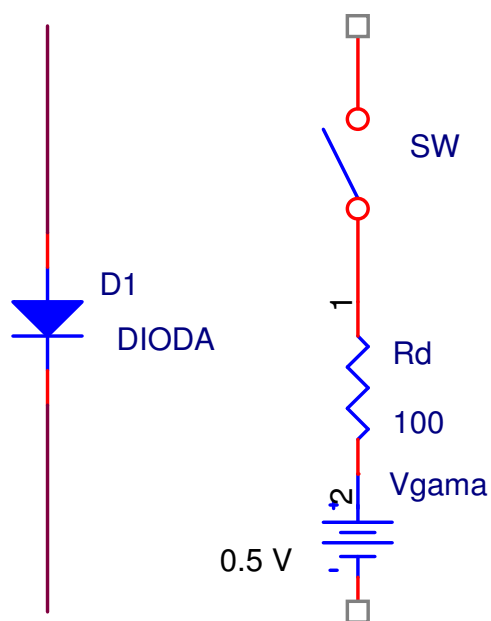
Model diode za velike signale

1) Model diode – linearizovan

$$I_D = 0 \quad \text{za } V_D < V_\gamma$$

$$I_D = \frac{V_D}{R_d} \quad \text{za } V_D > V_\gamma$$

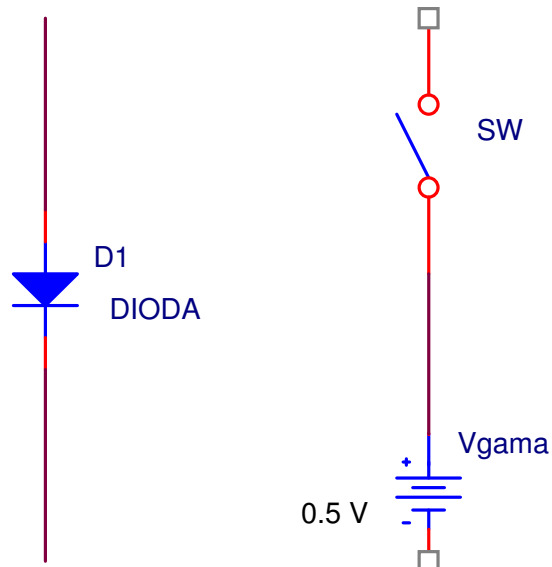
Dioda se modelira kao redna veza jednosmernog naponskog generatora V_γ i otpornika R_d .



Model diode za velike signale

Model diode – idealizovan – za velike signale

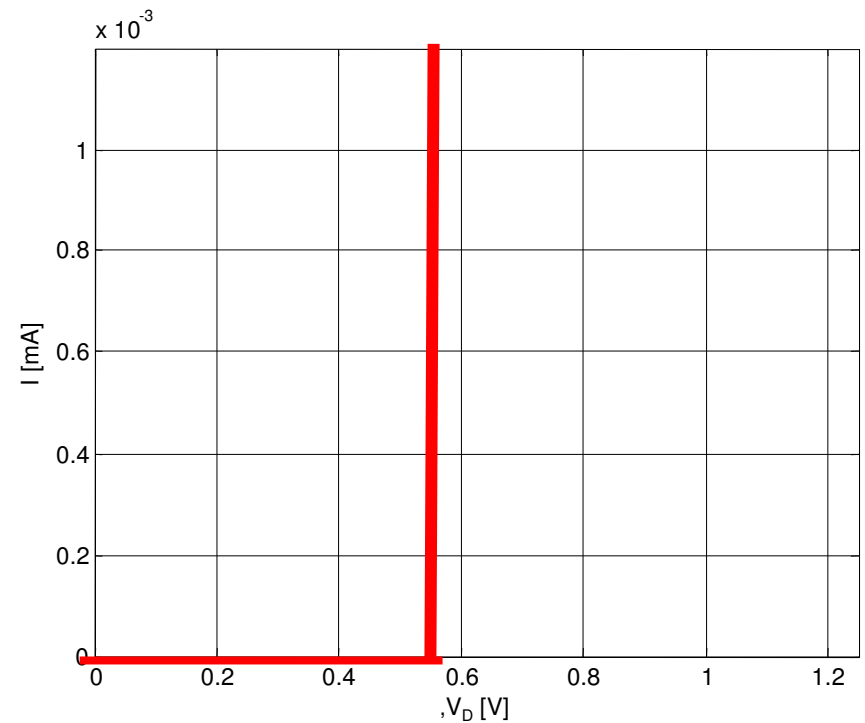
2) Model konstantnog napona



$$I_{\mathbf{D}} = 0 \quad \text{za } V_{\mathbf{D}} < V_{\gamma}$$

$$V_{\mathbf{D}} = V_{\gamma} \quad \text{za } I_{\mathbf{D}} > 0$$

V_{γ} je napon praga, koji za silicijumsku diodu iznosi oko 0,6 V a za germanijumsku oko 0,2 V

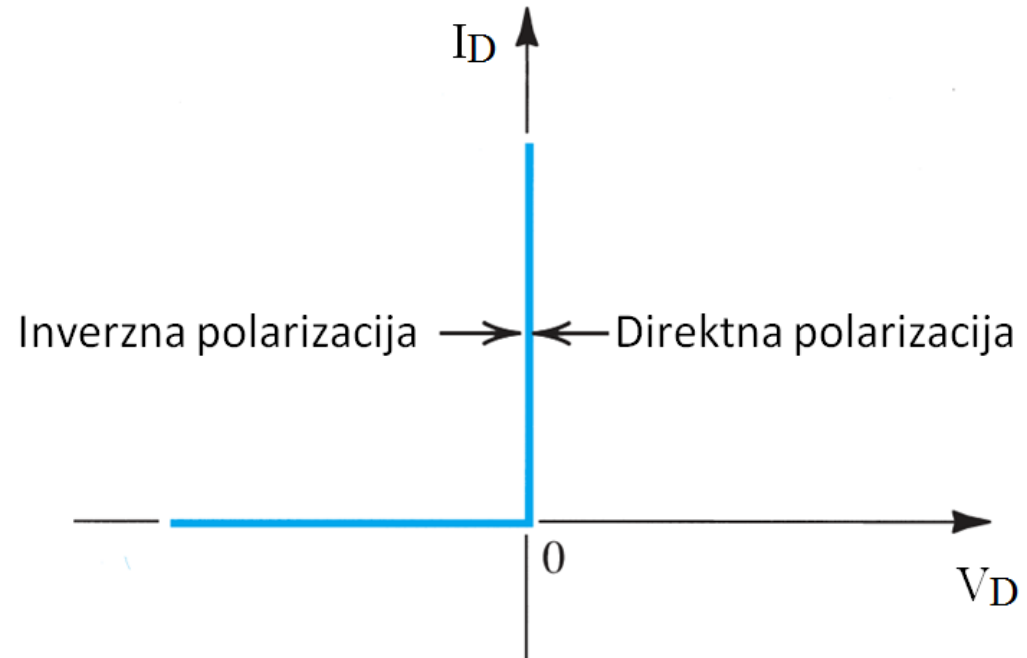


Model diode za velike signale

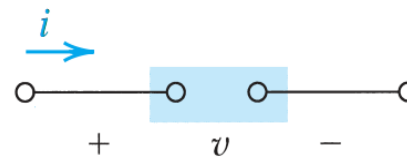
3) Model **idealne diode**

$$V_D < 0 \Rightarrow I_D = 0$$

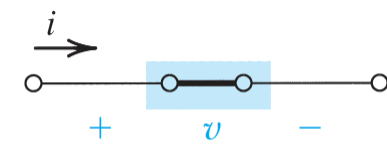
$$I_D > 0 \Rightarrow V_D = 0$$



Prekid



Kratak spoj



Model diode

Linearizacijom modela diode unosi se određena greška prilikom određivanja struja i napona u kolu. Vrednost dobijene greške zavisi od kola u kome je povezana dioda.

Izbor adekvatnog modela za linearizaciju zavisi od kola. Ukoliko pad napona na diodi nema veći uticaj na struje i napone u kolu onda se može primeniti i grublji model.

Model diode

Analiza kola sa diodom:

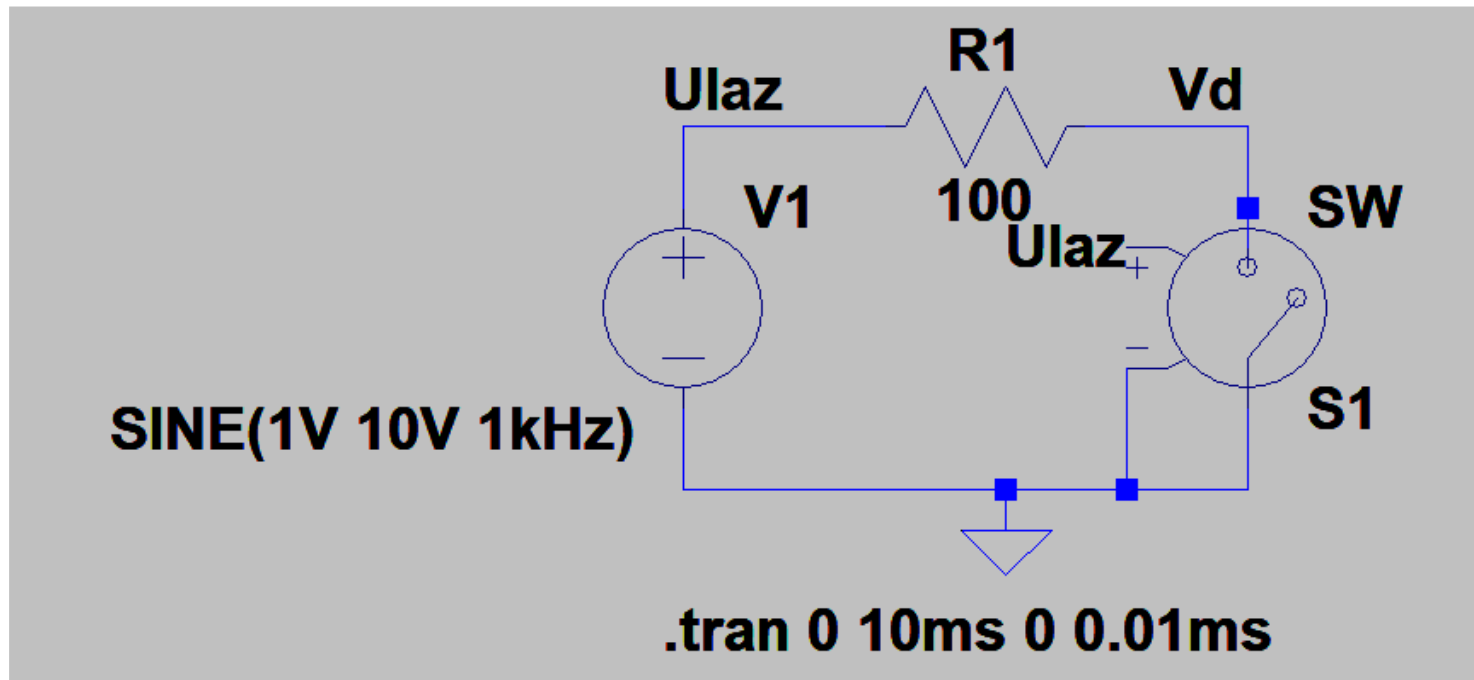
1. Usvaja se odredjeni model za diodu.
2. Pretpostavi se oblast u kojoj dioda radi.
3. Analiza kola sa usvojenim modelom za zadatu oblast rada.
4. Provera da li je dioda zaista u odabranoj oblasti rada. Ukoliko struja i napon na diodi ne odgovaraju zadatoj oblasti rada usvaja se druga oblast rada za diodu i ponavlja se analiza kola (vraća se na tačku 3).

Model diode

-Dioda u elektronskom kolu

Model idealne diode

$$I_D = 0 \quad \text{za} \quad V_D < V_\gamma = 0V$$

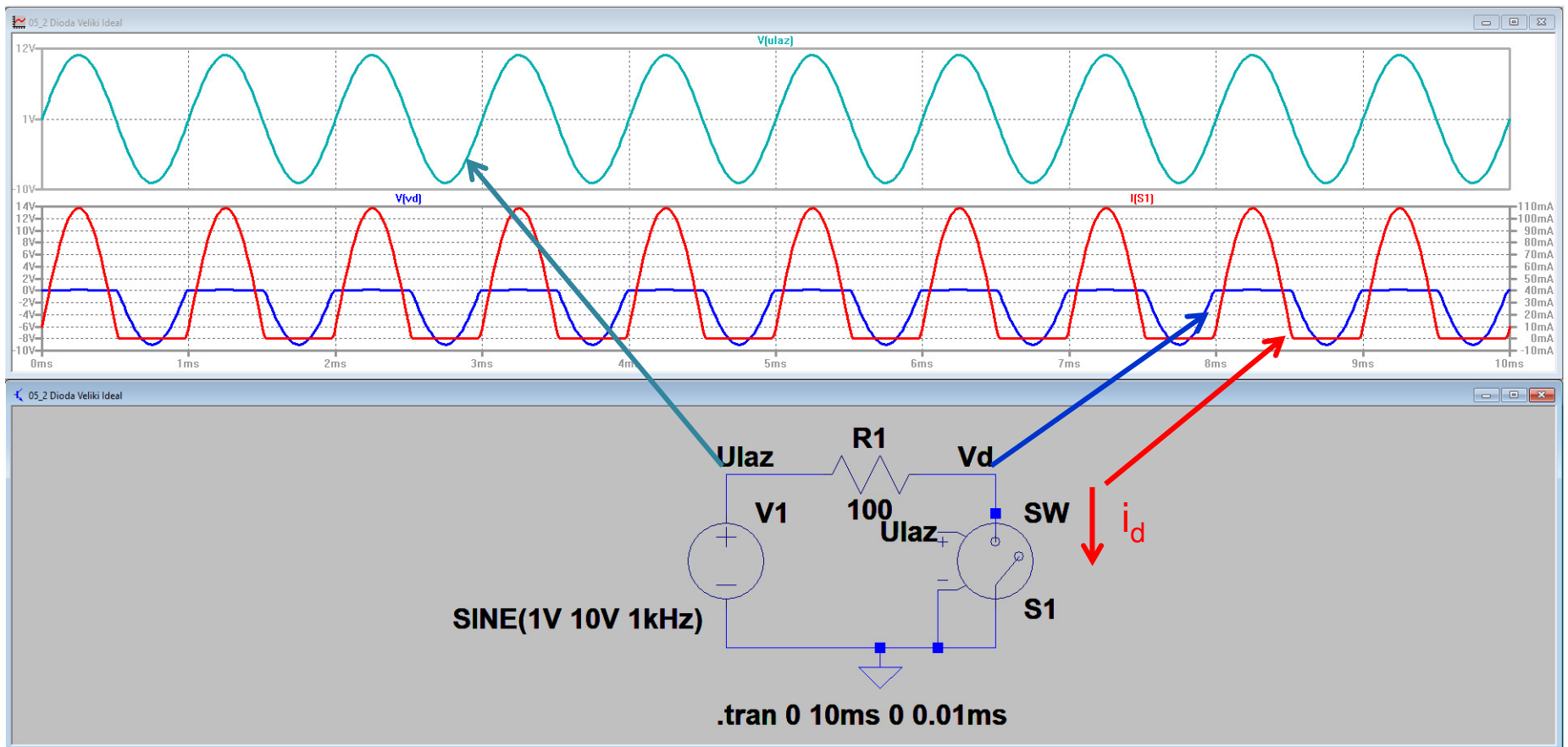


Model diode

-Dioda u elektronskom kolu

$$I_D = 0 \quad \text{za} \quad V_D < V_\gamma = 0V$$

Model idealne diode

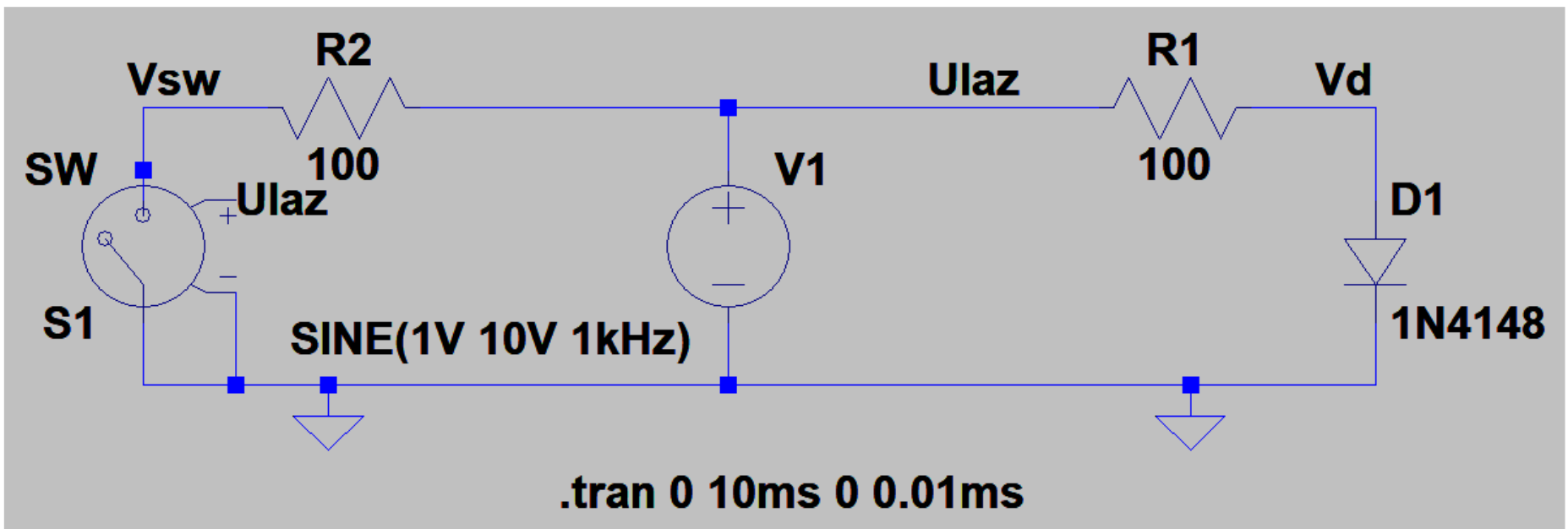


Model diode

-Dioda u elektronskom kolu

$$I_D = 0 \quad \text{za} \quad V_D < V_\gamma = 0V$$

Model za velike signale: realna i idealna dioda (prekidač)

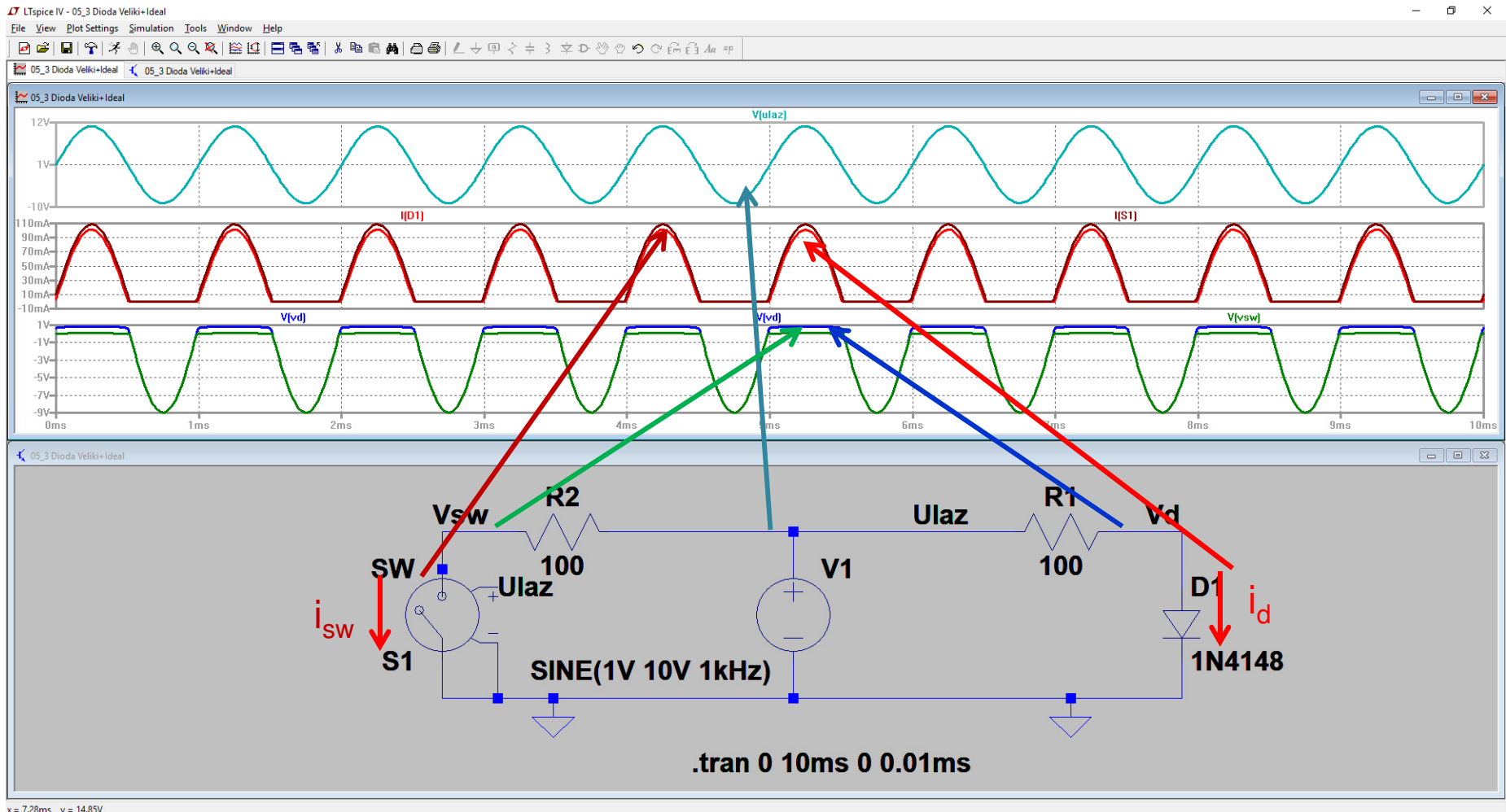


Model diode

-Dioda u elektronskom kolu

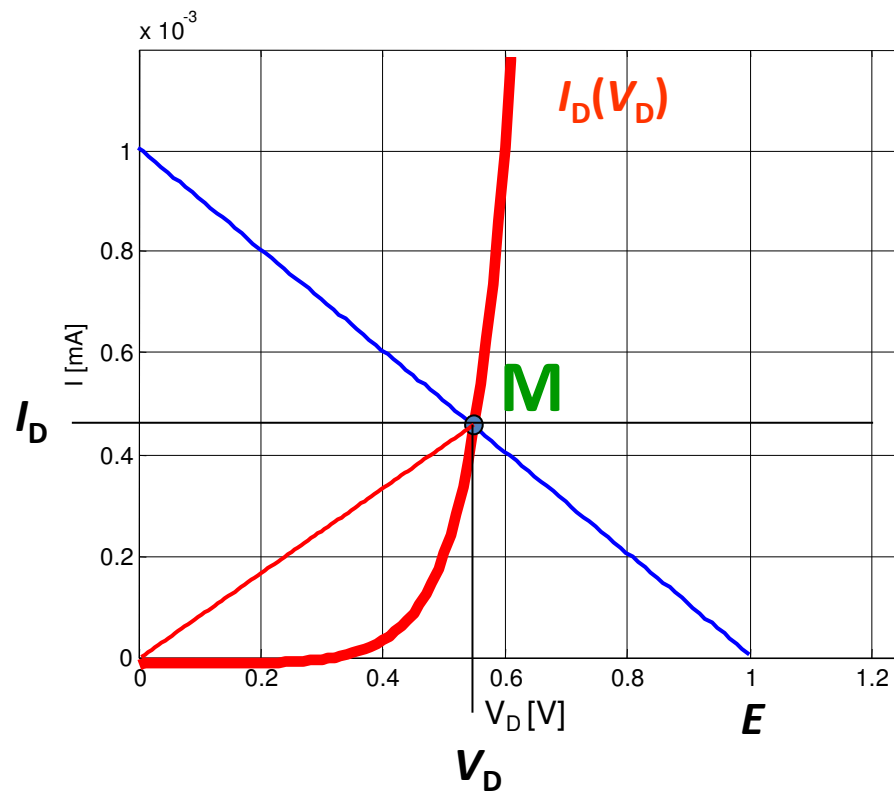
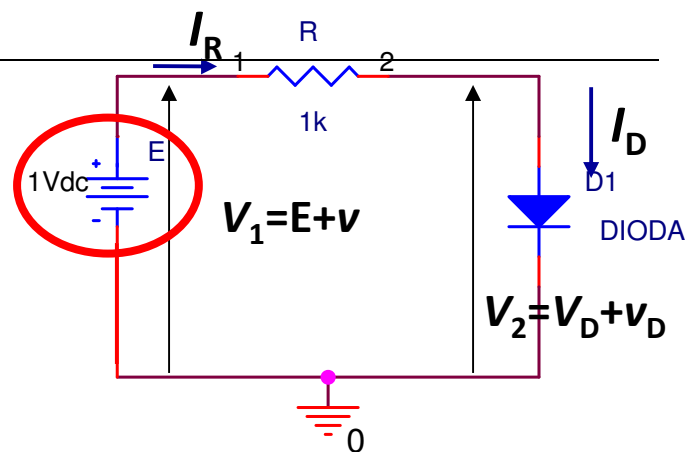
$$I_D = 0 \quad \text{za } V_D < V_\gamma = 0V$$

Model za velike signale: realna i idealna dioda (prekidač)



-Dioda u elektronskom kolu

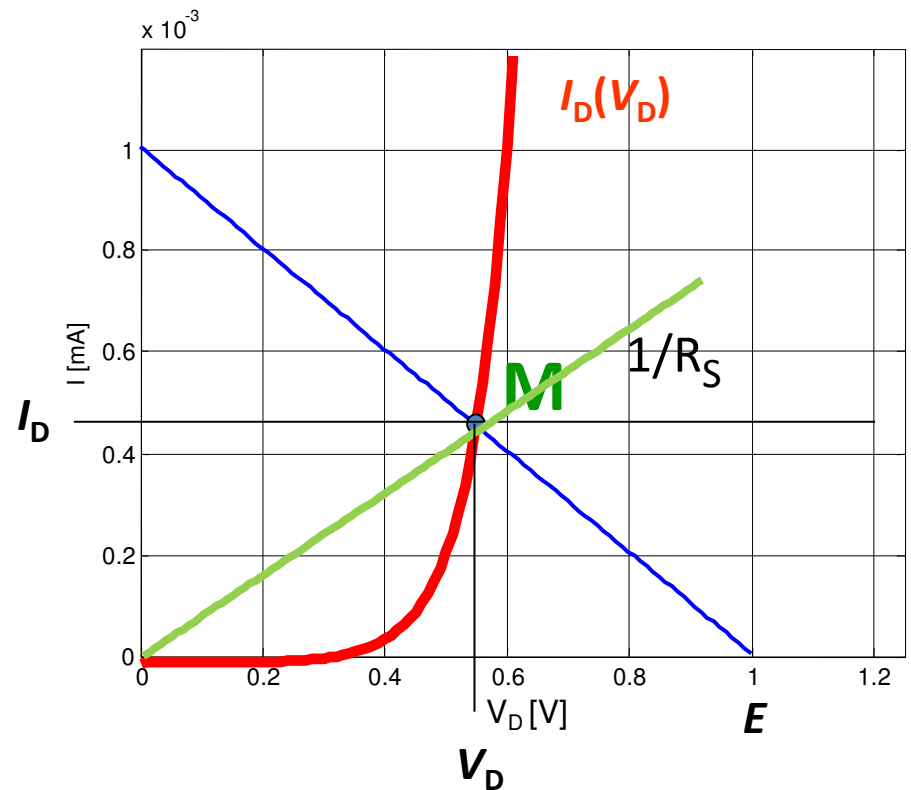
Uloga jednosmernog izvora napajanja je da obezbede odgovarajuću **mirnu radnu tačku** komponente (označena sa M). Mirnu radnu tačku diode čine jednosmerna struja kroz diodu i jednosmerni napon na diodi. Radna tačka treba da se nalazi u odgovarajućoj oblasti rada i da bude u što linearnijem delu karakteristike.



Statička i dinamička otpornost

Statička i dinamička otpornost se mogu odrediti grafički sa strujno naponske karakteristike.

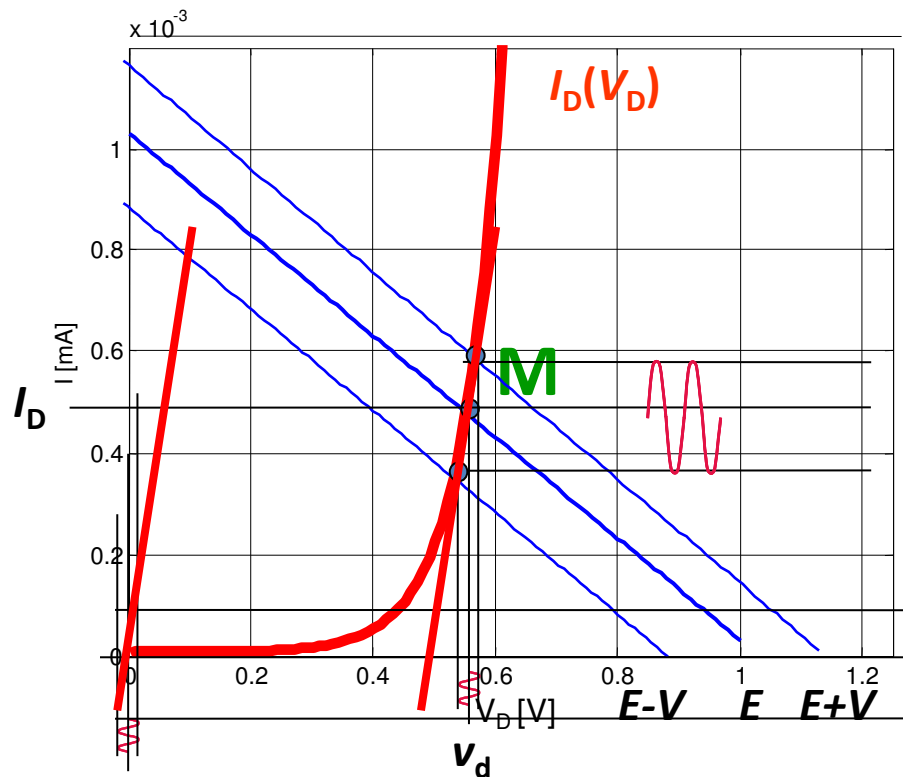
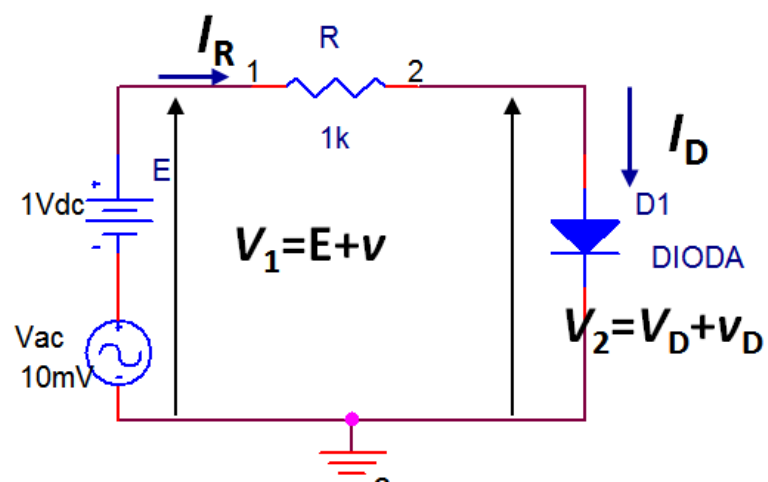
Statička otpornost, R_S , je obrnuto proporcionalna nagibu krive koja prolazi kroz koordinatni početak i radnu tačku. Dinamička otpornost, r_d , je inverzno proporcionalna nagibu prave koja je tangenta na strujno naponsku karakteristiku u radnoj tački.



-Dioda u elektronskom kolu

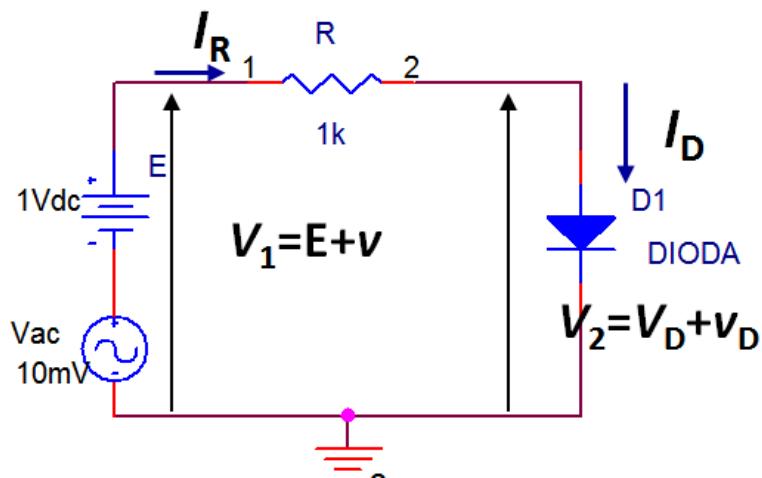
Grafička interpretacija problema

Promenjivi signal na ulazu kola predstavlja koristan signal. Pod dejstvom promenljivog signala pomera se radna tačka u okolini mirne radne tačke i duž statičke karakteristike diode.

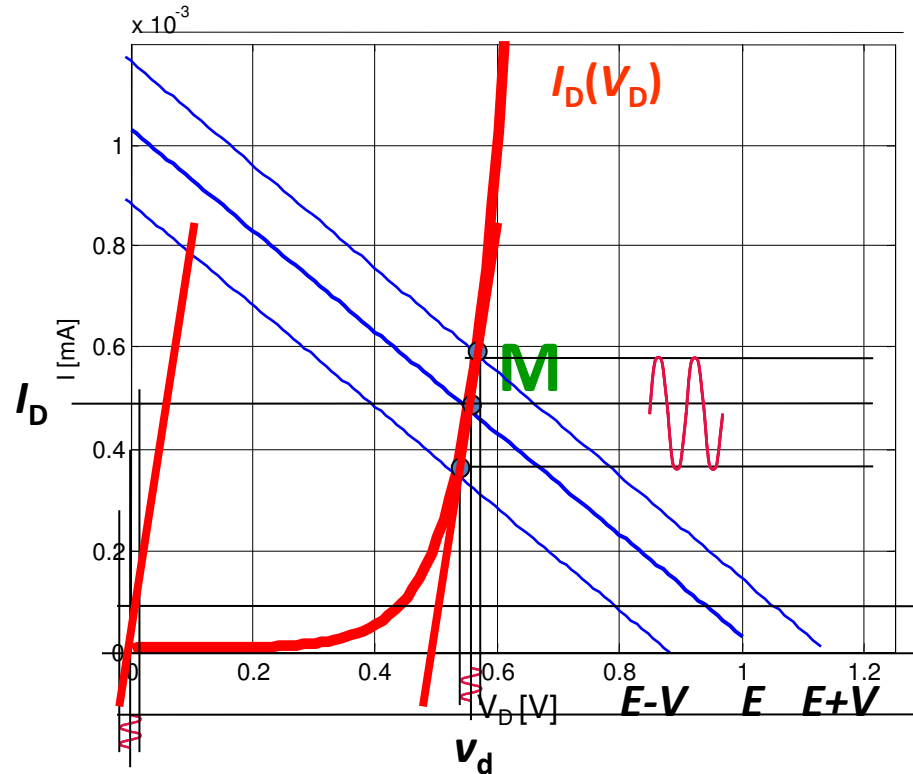


-Dioda u elektronskom kolu

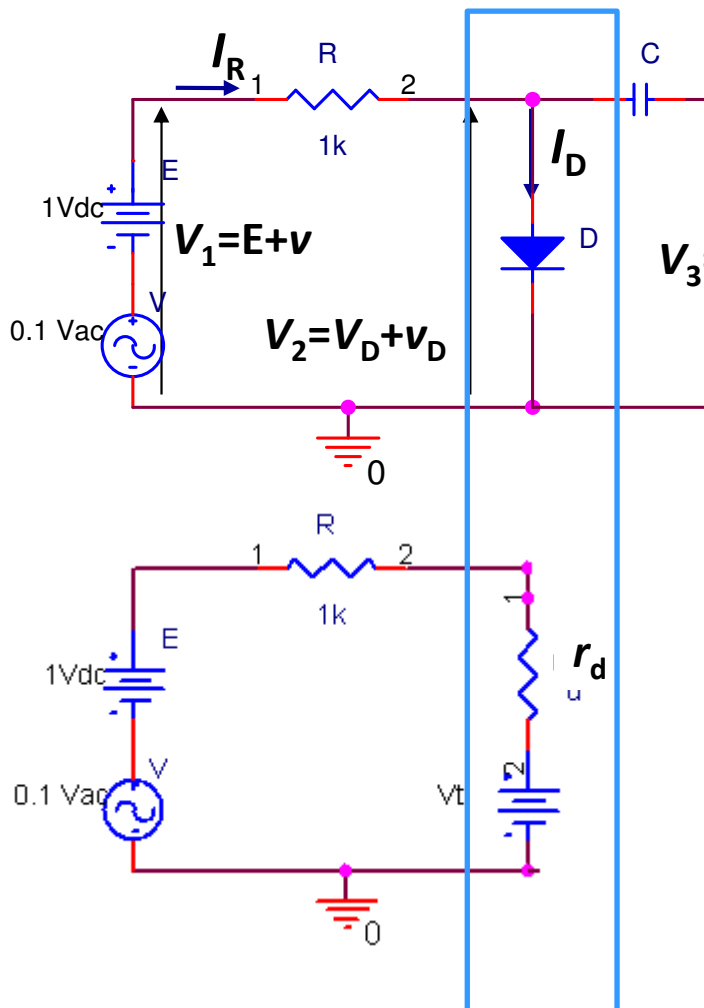
Ukoliko je promenjiva komponenta napona mala deo karakteristike duž koje se pomera radna tačka se može aproksimirati pravom linijom. Ova linija predstavlja tangentu statičke karakteristike na mestu radne tačke.



Grafička interpretacija problema

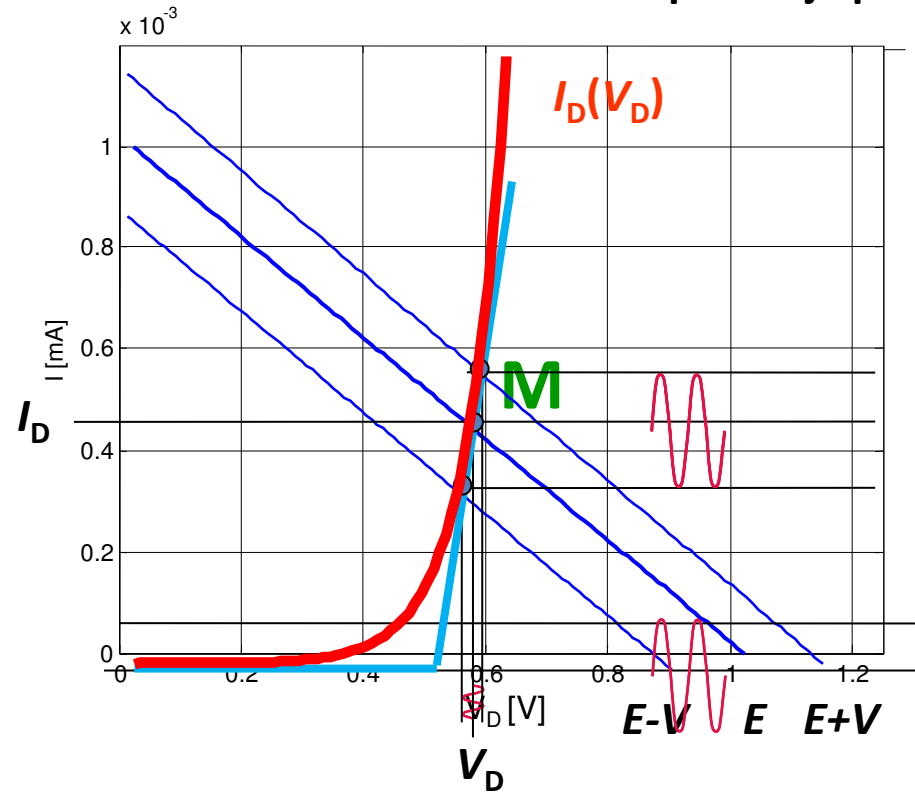


Dioda u elektronskom kolu



Linearizovan model

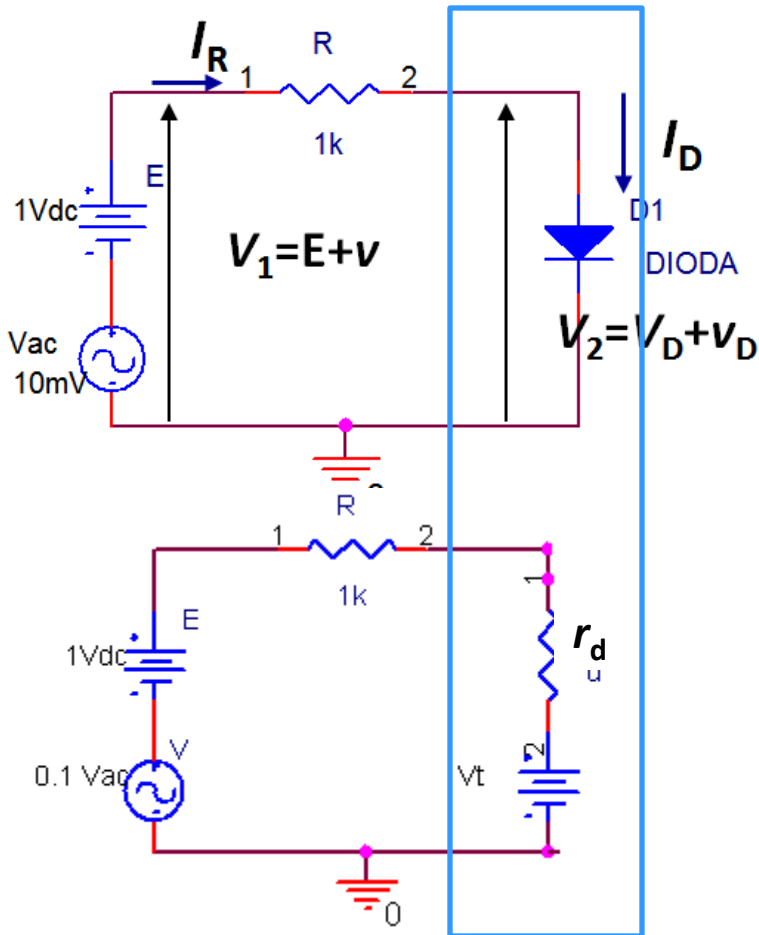
Grafička interpretacija problema



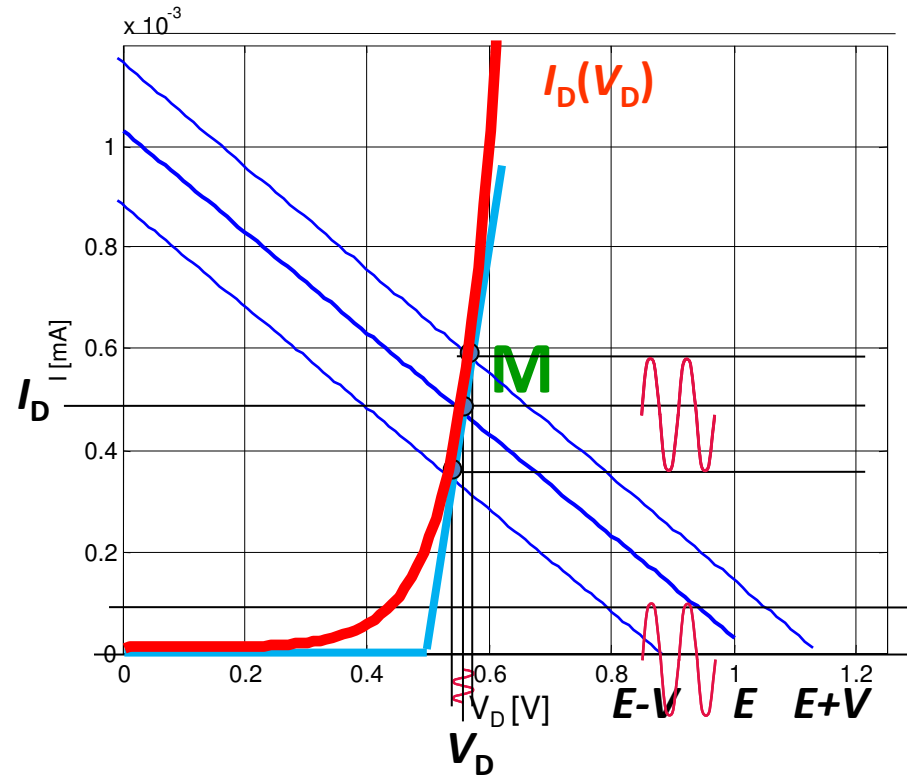
Aproksimacija dela karakteristike duž kojeg se pomera radna tačka pravom linijom znači da smo zamenili diodu otpornikom čija je otpornost

$$r_d = \left. \frac{dv_D}{di_D} \right|_{I_{DM}}$$

Dioda u elektronskom kolu



Grafička interpretacija problema



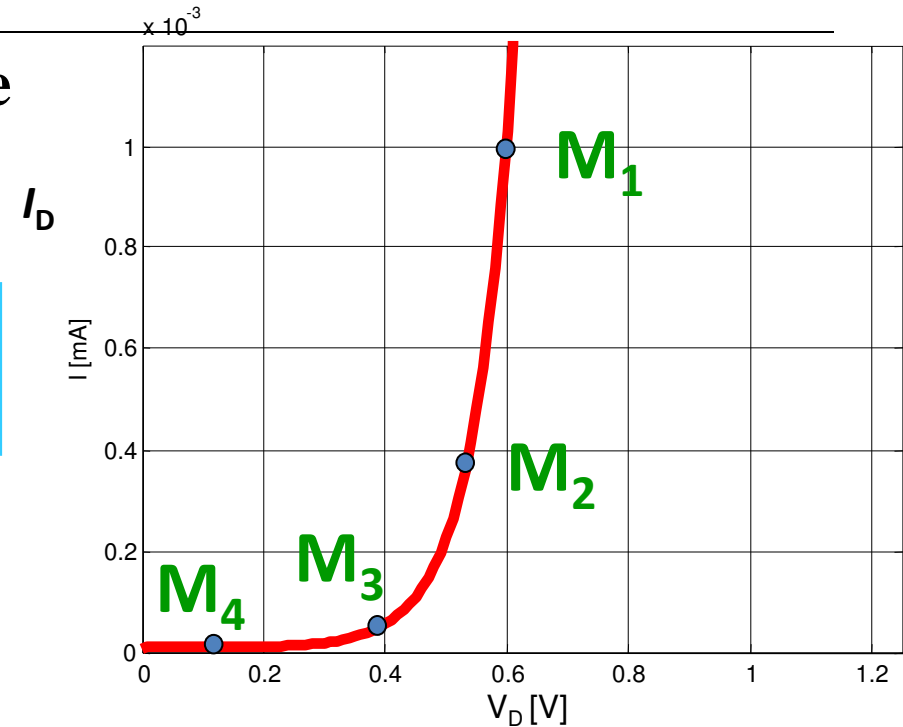
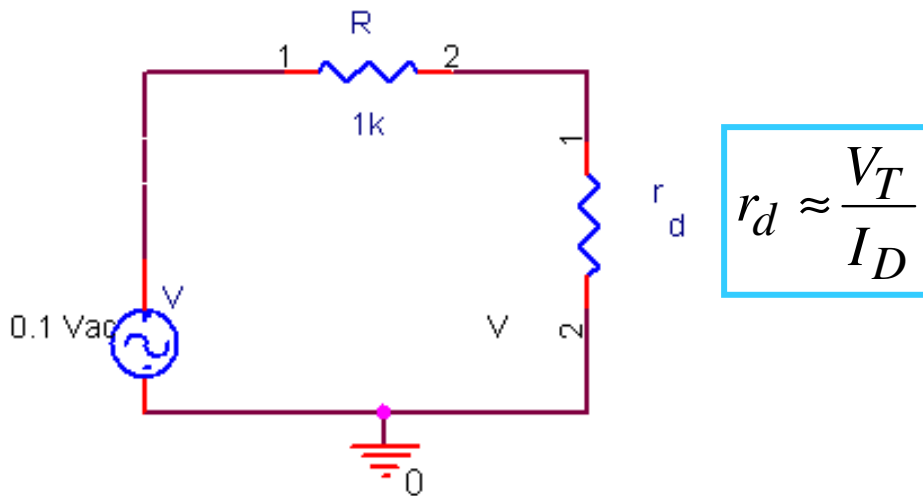
Linearizovan model

$$r_d = \frac{dV_D}{dI_D} \approx \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D}$$

$$r_d = \frac{1}{\frac{dI_D}{dV_D}} \approx \frac{1}{\frac{I_S e^{V_D/V_T}}{V_T}} \approx \frac{V_T}{I_D}$$

Model diode

VAŽNO model za male signale



Dinamička otpornost zavisi od položaja mirne radne tačke!

Postoji zavisnost između jednosmerne struje i dinamičke otpornosti. Manja struja – veća otpornost

$$r_{D1} < r_{D2} < r_{D3} < r_{D4}$$

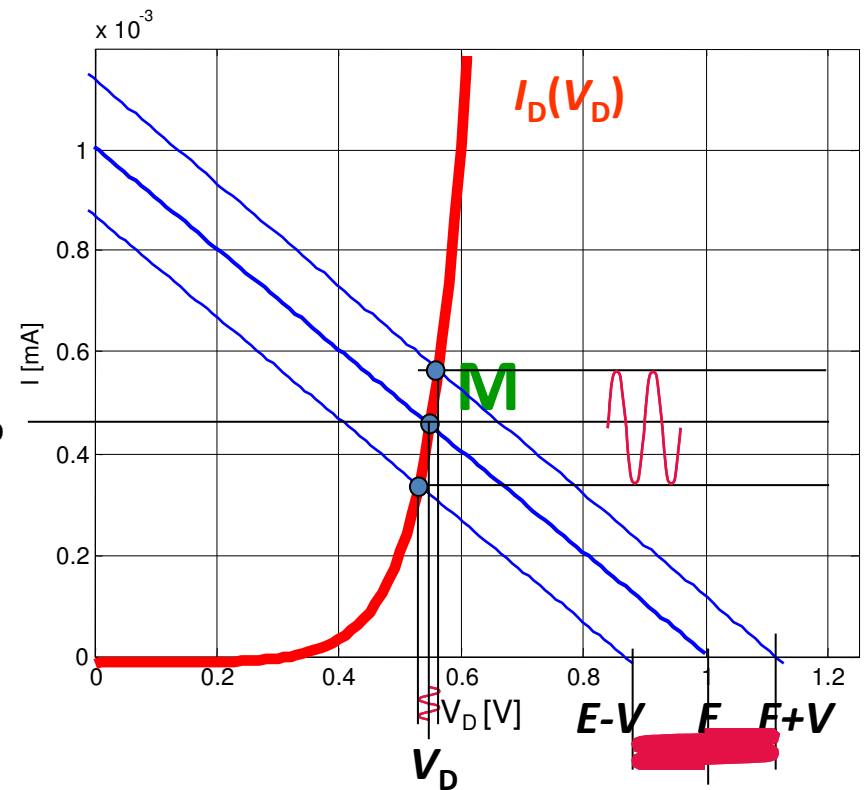
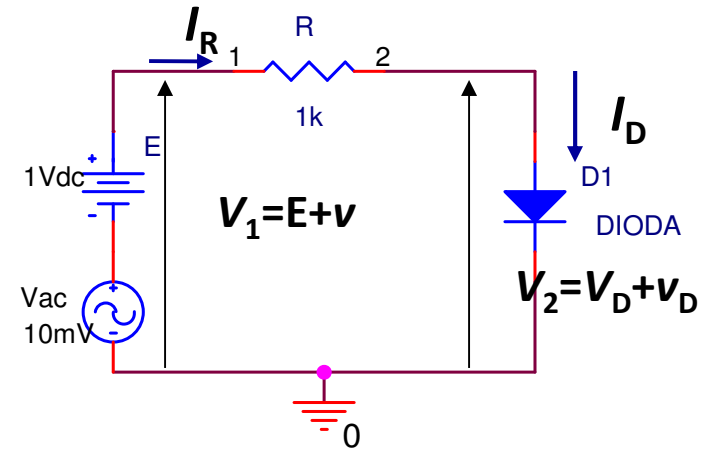
Jednosmera i naizmjenična analiza kola

Nakon linearizacije diode kolo će postati linearno. U analizi linearnih kola može se primeniti teorema superpozicije. U ovom slučaju to znači da se može odvojeno analizirati kolo u kome deluje samo jednosmerni generator, E , a odvojeno kolo u kome deluje samo naizmjenični.

Analiza kola kada deluju samo jednosmerni genertori a naizmjenični su jednaki nuli naziva se **jednosmerna analiza kola**. Ovom analizom se određuju jednosmerne struje i naponi.

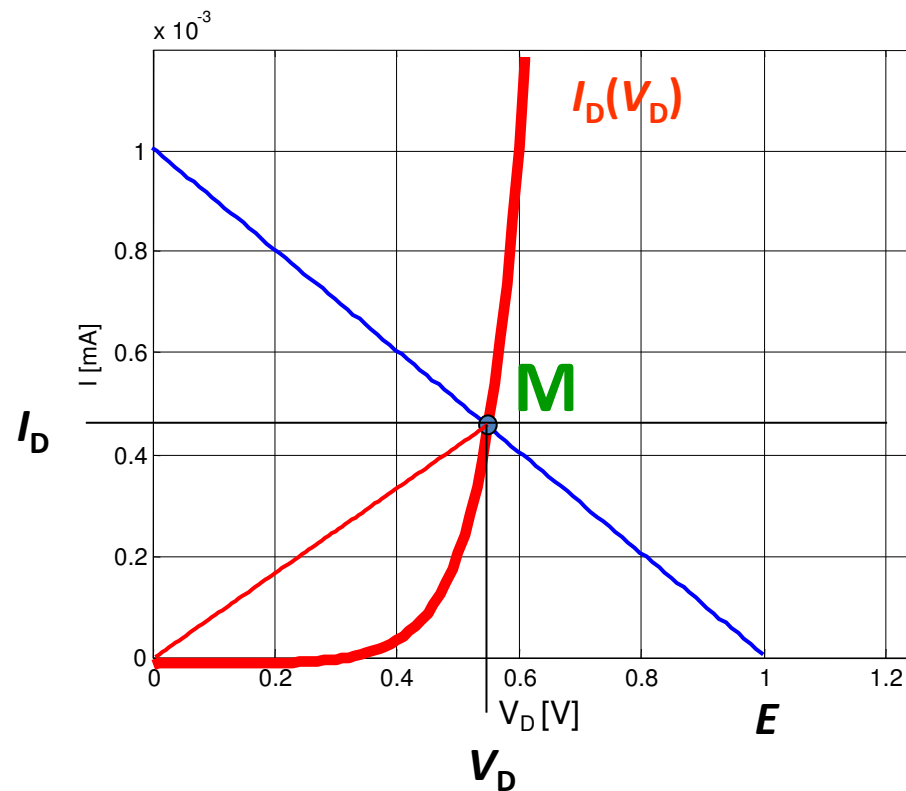
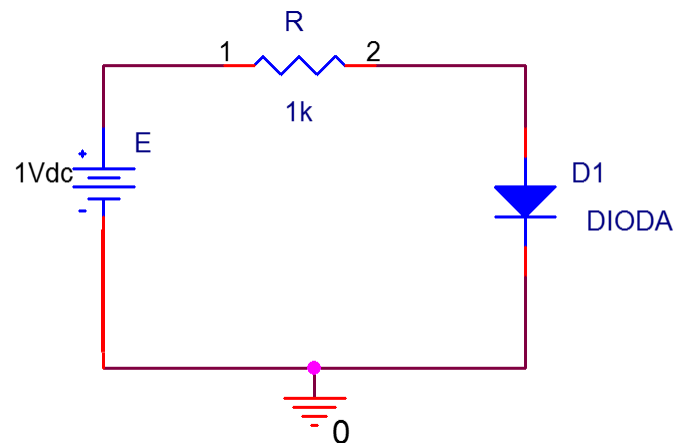
Analiza kola kada deluju samo naizmjenični generatori naziva se **naizmjenična analiza kola**.

$$V_1 = E + v \quad v = V \sin \omega t$$

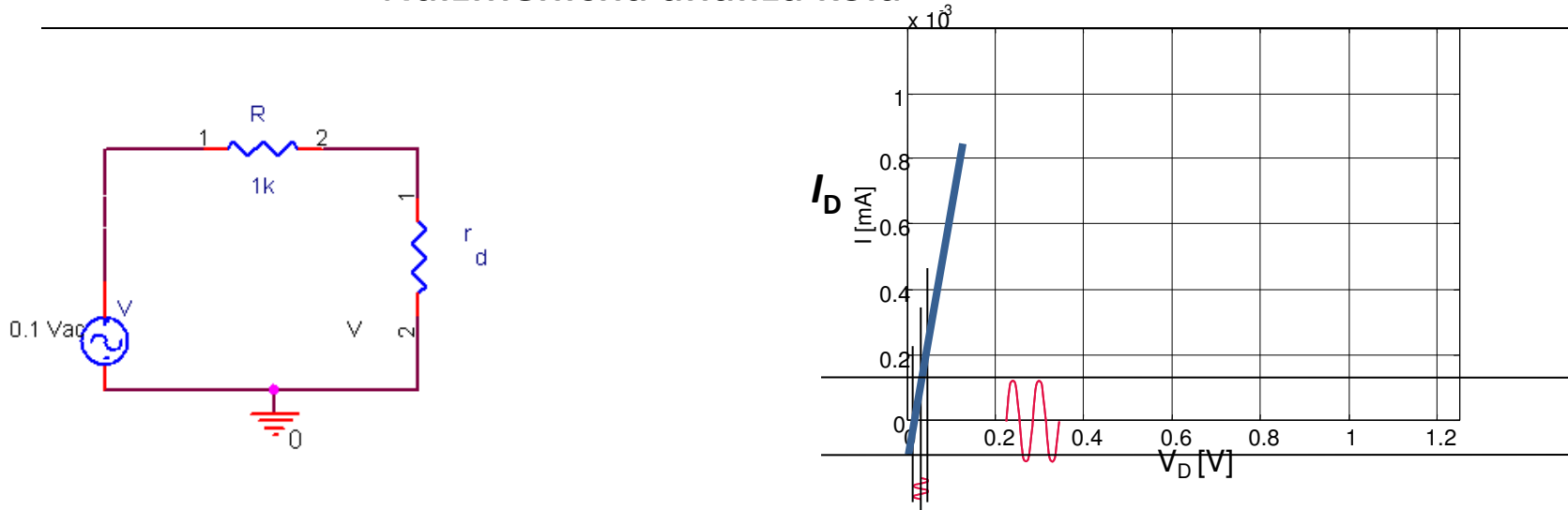


Jednosmerna analiza

Prilikom jednosmerne analize naizmenični naponski generator se kratkospaja jer je jednak nuli. Jednosmernom analizom određujemo jednosmernu komponentu napona na diodi, V_D , i jednosmernu komponentu struje kroz diodu, I_D . Sa ove dve veličine određena je mirna radna tačka M .



Naizmenična analiza kola



Pri naizmeničnoj analizi svi jednosmerni generatori su jednaki nuli. To znači da se naponski jednosmerni generatori kratkospajaju, a jednosmerni strujni su otvorene veze.

Svi elementi kola se zamenjuju **modelima za naizmeničnu struju**. Ovi modeli su definisani **dinamičkim parametrima** (parametrima za naizmeničnu struju).

Dinamički parametri elemenata zavise od radne tačke. Zato se uvek prvo radi jednosmerna pa nakon toga naizmenična analiza.

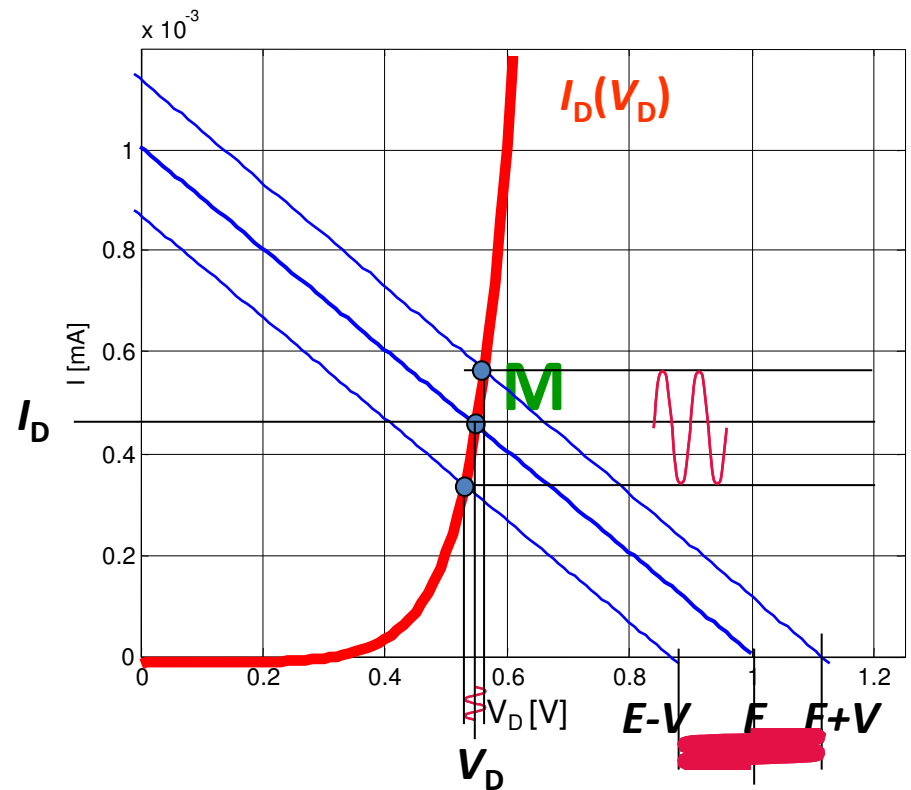
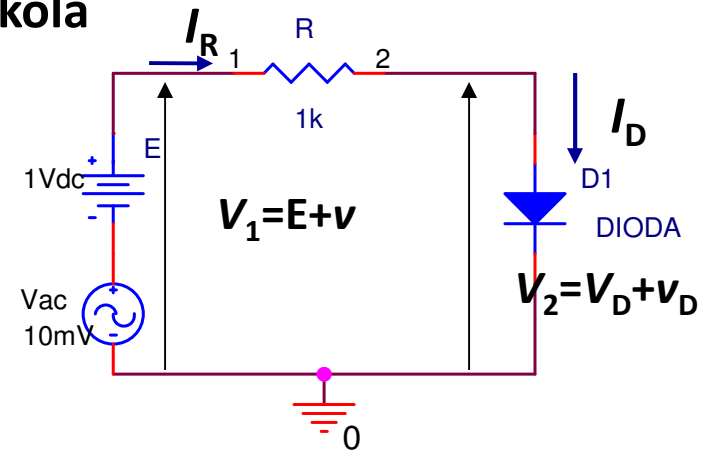
Jednosmera i naizmenična analiza kola

Napon na diodi se sastoji od jednosmerne komponente, V_D , i naizmenične komponente (promenjive komponente), v_d . Isto to važi i za struju kroz diodu.

$$v_D = V_D + v_d$$

$$v_d = V_d \sin \omega t$$

$$i_D = I_D + I_d \sin \omega t$$



Dioda u elektronskom kolu

Matematički postupak kojim se dokazuje da se za male promene napona u okolini radne tačke može linearizovati karakteristika diode zasniva se na Tajlorovom redu. Tajlorov red predstavlja vrednost date funkcije u okolini neke tačke beskonačnom sumom sabiraka, pri čemu se sabirci računaju preko višestrukih izvoda funkcije u odabranoj tački. Kada primenimo Tajlorov red na strujno naponskoj karakteristici diode u okolini radne tačke dobićemo:

$$i_D = I_D + \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_D} \right|_Q \cdot (v_D - V_D) + \left. \frac{\partial^2 i_D}{\partial^2 v_D} \right|_Q \cdot (v_D - V_D)^2 + \dots$$

Ukoliko je $v_d \ll 2V_T$ (50 mV) svi sabirci osim prva dva se mogu zanemariti.

$$\left. \frac{\partial i_D}{\partial v_D} \right|_Q = I_S \frac{1}{V_T} e^{v_D/V_T} \approx \frac{I_D}{V_T} = \frac{1}{r_d}$$

$$i_D \approx I_D + (v_D - V_D) \cdot \frac{1}{r_D}$$

Dioda u elektronskom kolu

Zanemarivanjem svih nelinearnih sabiraka u Tajlorovom redu karakteristika diode se linearizuje. Na taj način kolo postaje linearno pa se može primeniti princip superpozicije. Posebno se analizira kolo kada deluju samo jednosmerni generatori (polarizacija kola) a posebno kada deluju samo naizmenični genertori (izvor signala). Analiza kola sastojće se od dva dela:

- **Jednosmerna analiza kola** (DC –direct current)
- **Naizmenična analiza kola** (AC - Alternating current)

Model diode

Na pn spoju se pojavljuju dve vrste kapacitivnosti: kapacitivnost prostornog naelektrisanja i difuziona kapacitivnost. Ove kapacitivnosti su nelinearne, odnosno njihova vrednost zavisi od napona na diodi.

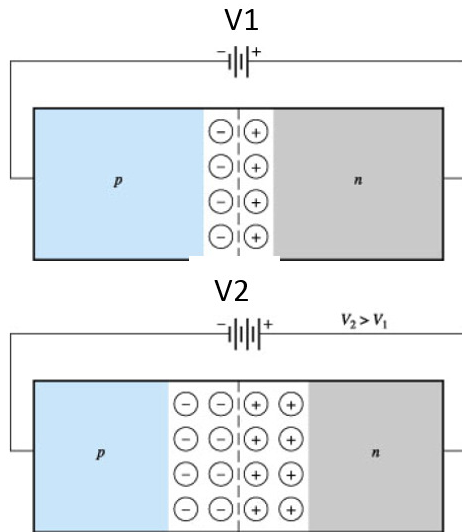
Kapacitivnost prostornog naelektrisanja je posledica postojanja prelazne oblasti koja se ponaša kao izolator koji je sa dve strane okružen oblastima mnogo veće provodnosti. Ova kapacitivnost dolazi do izražaja pri inverznoj polarizaciji diode i inverzno je proporcionalna korenu napona.

Difuziona kapacitivnost je posledica konačnog vremena prostiranja nosilaca naelektrisanja kroz diodu. Vrednost ove kapacitivnosti je direktno srazmerna struji koja teče kroz diodu. Dolazi do izražaja pri direktnoj polarizaciji diode.

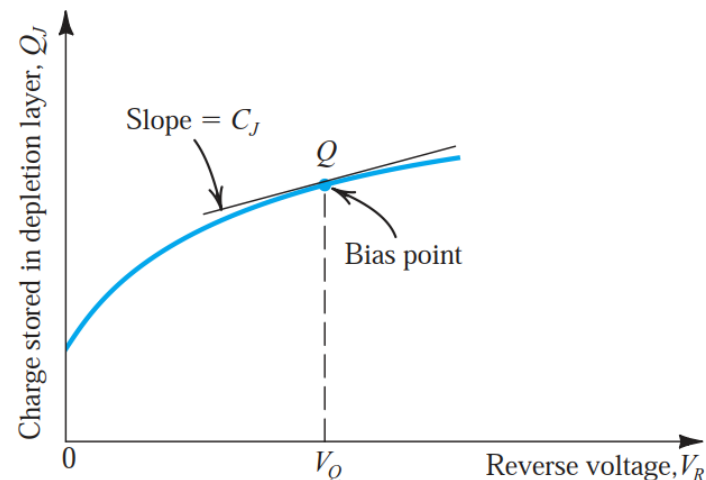
Model diode

Kapacitivnost prostornog naelektrisanja je posledica promene širine prelazne oblasti pod dejstvom napona na diodi. Ova kapacitivnost dolazi do izražaja pri inverznoj polarizaciji diode i inverzno je proporcionalna korenu napona.

$$C = \frac{dQ_T}{dV} \quad C_T = \frac{C_{T0}}{\sqrt{1 + \frac{V_R}{V_0}}}$$

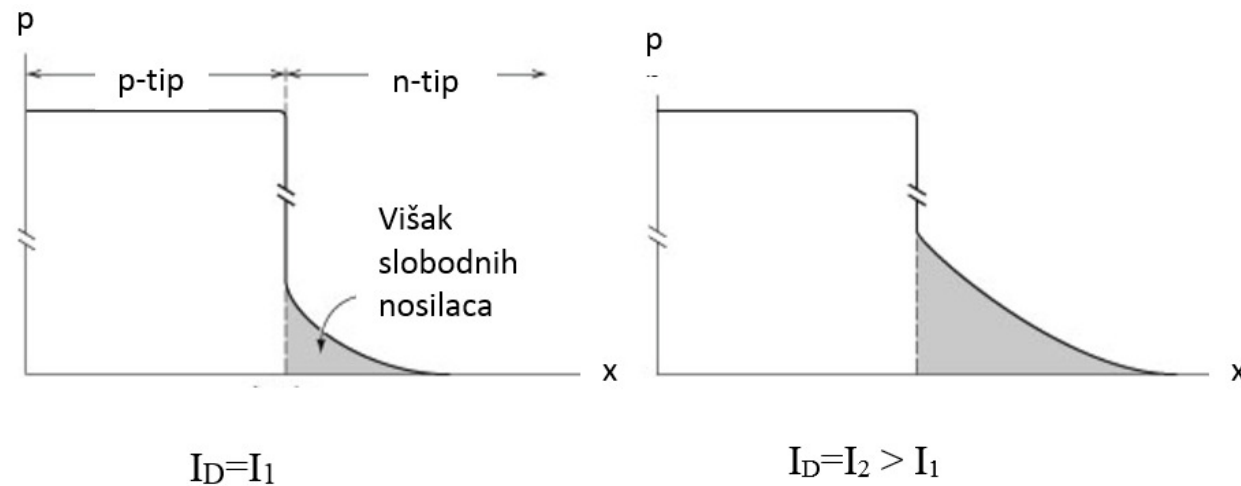


C_{T0} je kapacitivnost prostornog naelektrisanja kada dioda nije polarisana, V_r je spoljašni napon inverzne polarizacije, V_0 je potencijalna barijera.



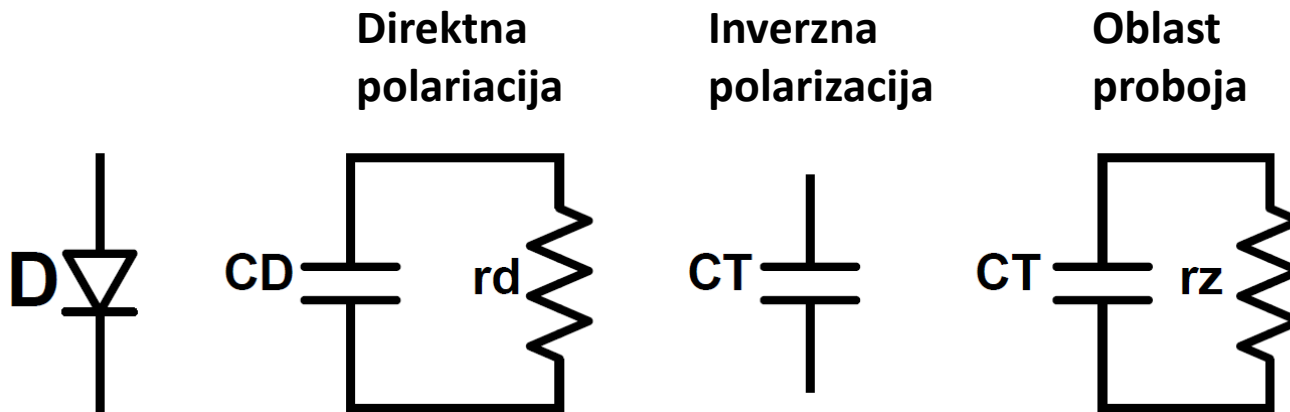
Model diode

Difuziona kapacitivnost je posledica akumuliranja nosilaca naelektrisanja u okolini prelazne oblasti prilikom direktne polarizacije diode. Da bi se stvrio višak slobodnih nosilaca naelektrisanja potrebno je određeno vreme zbog konačnog vremena prostiranja nosilaca naelektrisanja. Sama pojava je ekvivalentna pojavi punjenja kondenzatora. Difuziona kapacitivnost dolazi do izražaja pri direktnoj polarizaciji diode. Vrednost ove kapacitivnosti je direktno srazmerna struji koja teče kroz diodu (τ u jednačini je vreme preleta).



Model diode

Kapacitivnosti pn spoja su reda desetak pF i mogu se zanemariti pri niskim frekvencijama. Međtim, prilikom analize na visokim frekvencijama moraju se uzeti u obzir i parazitne kapacitivnosti diode. Pri direktnoj polarizaciji dominantan je uticaj difuzione kapacitivnosti a pri inverznoj polarizaciji uticaj kapacitivnosti prostornog naelektrisanja. Model diode za male signale pri visokim frekvencijama zavisice od položaja radne tačke.



Dioda u prekidačkom režimu rada

Dioda se u digitalnim kolima koristi kao prekidač, pri čemu se polaritet napona na diodi trenutno menja dovodeći diodu iz direktne polarizaciju u inverznu i obrnuto. Odziv diode na promene polariteta napona nije trenutan jer je potrebno izvesno vreme da se uspostavi koncentracija nosilaca naelektrisanja koja odgovara određenom režimu rada.

Vreme potrebno da dioda promeni režim rada (vreme uključenja ili isključenja) zavisi od karakteristika diode i od spoljnog kola. Preciznije rečeno od kapacitivnosti diode i od ekvivalentne otpornosti na krajevima diode. Da bi dioda brže promenila režim rada potrebno je obezbediti da vremenska konstanta punjenja ili pražnjenja kapacitivnosti diode bude što manja.

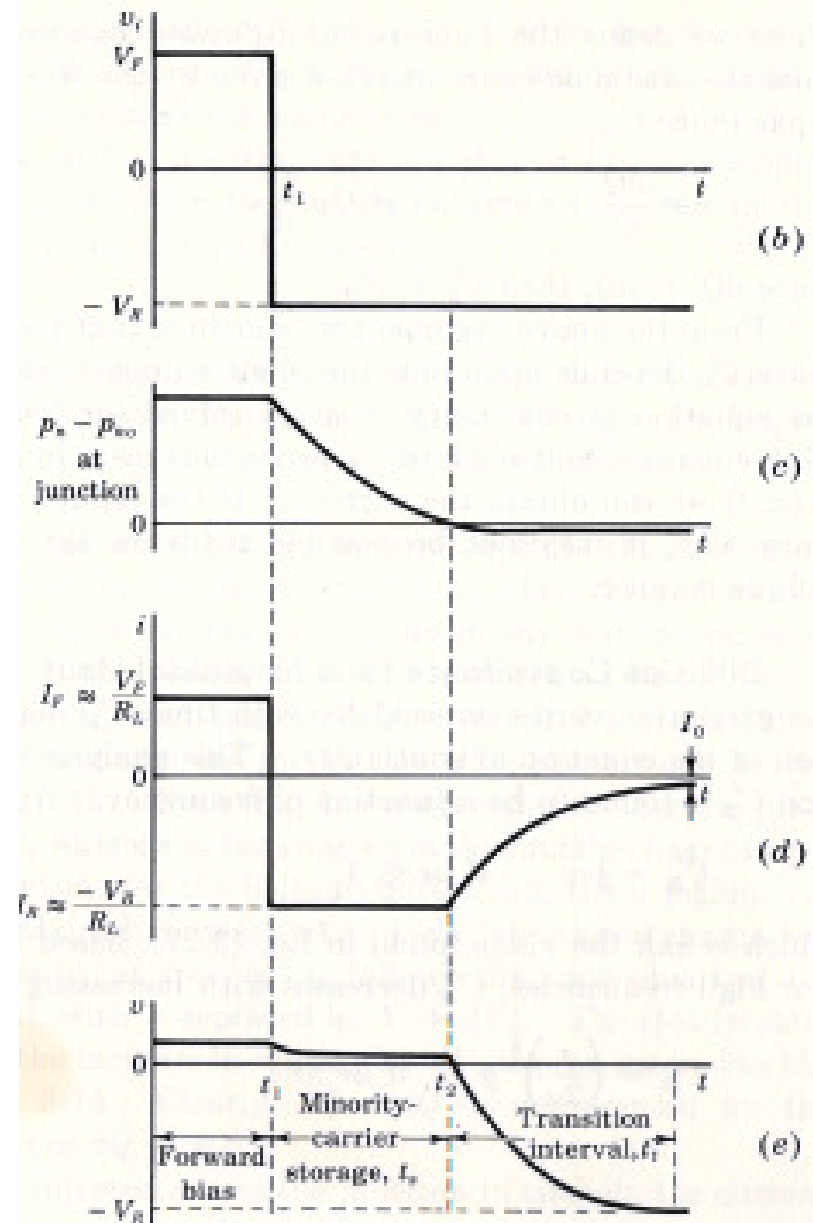
Dioda u prekidačkom režimu rada

Prilikom uključanja diode, odnosno prelaska iz neprovodnog u provodni režim (od otvorenog prekidača u zatvoreni prekidač) potrebno je određeno vreme da se uspostavi odgovarajuća koncentracija manjinskih nosilaca naelektrisanja. Da bi se opisalo funkcionisanje diode u ovom prelaznom režimu neophodno je pored strujno naponske karakteristike diode uzeti u obzir i difuzioni kapacitivnost. Vreme uključanja diode zavisiće od vremenske konstante koja je jednaka proizvodu difuzione kapacitivnosti i ekvivalentne otpornosti između krajeva diode.

$$\tau = C_D \cdot R_{ek}$$

Dioda u prekidačkom režimu rada

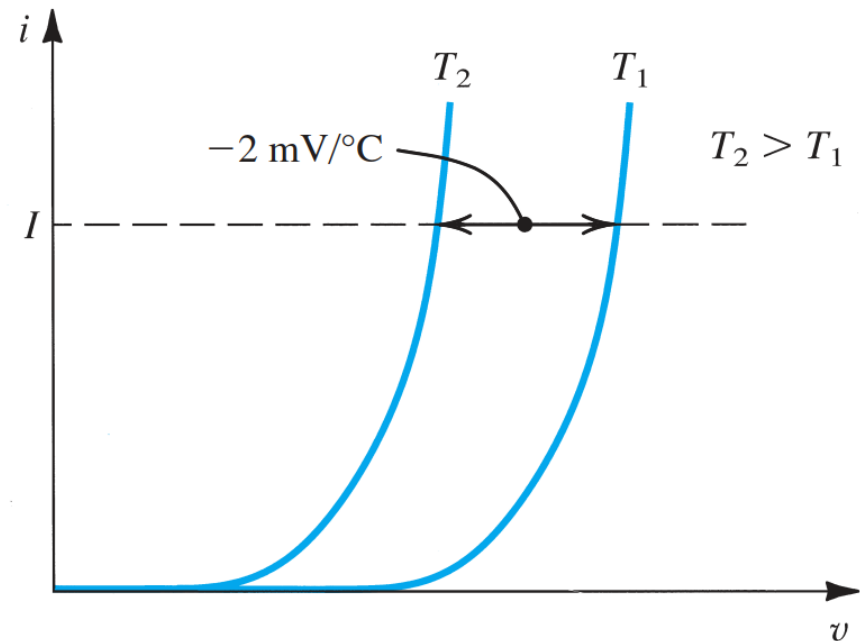
Proces isključenja, odnosno prelazak diode iz provodnog u neprovodni režim (od zatvorenog prekidača u otvoreni prekidač), sastoji se od dve faze. Tokom prve faze (**faza rasterećenja** – storage interval) eliminiše se višak manjinskih nosilaca naelektrisanja koji je nastao pri direktnoj polarizaciji. Pri tome se pojavljuje kratkotrajna struja u inverznom smeru, a napon na diodi ostaje nepromenjen. Nakon eliminisanja viška nosilaca naelektrisanja nastupa druga faza (**prelazna faza**– transition interval) u kojoj se formira oblast prostornog naelektrisanja što rezultuje i u promeni napona.



Temperaturska zavisnost modela diode

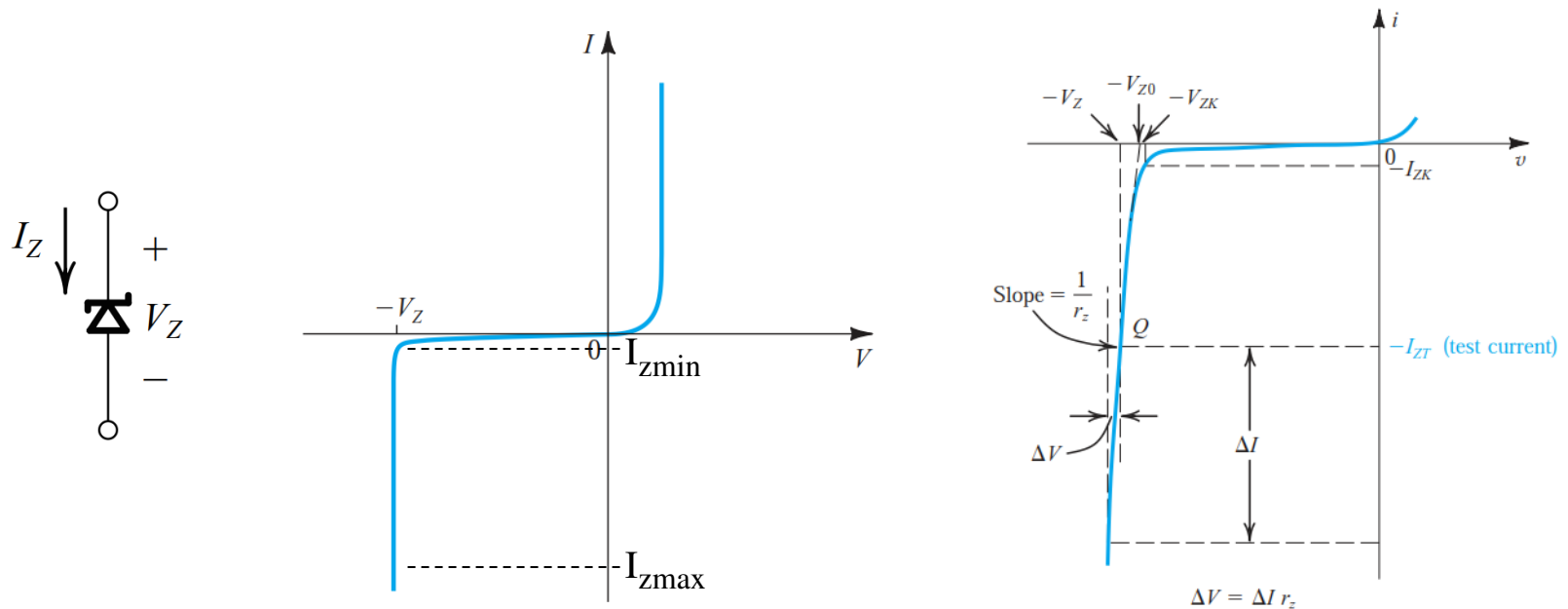
Vrednost priraštaja struje ili napona diode pod dejstvom temperature zavisi od položaja radne tačke. Inverzna struja zasićenja I_S se značajno povećava sa porastom temperature. Kod germanijumske diode I_S se udvostruči pri porastu temperature za 10 K, a kod silicijumske pri porastu temperature od 6 K.

Kao posledica ovog povećanja inverzne struje zasićenja napon praga provođenja diode, V_γ , se sa porastom struje menja. Pri direktnoj polarizaciji diode promena napona na diodi sa promenom temperature iznosi približno -2 mV/C . Ukolik je dioda inverzno polarisana pri porastu temperature dolazi do značajnog porasta struje.



Diode referentnog napona se koriste za obezbeđivanje konstantnog napona u kolu ili na potrošaču. Da bi ispunile ovu funkciju njihova strujno naponska karakteristika treba da bude takva da pri promenama struje u širokom opsegu napon na komponenti ostane približno konstantan.

Diode referentnog napona rade u oblasti proboja. **Cenerova dioda** primenjuje Cenerov proboj a dobija se kreiranjem p-n spoja koji je veoma dopiran primesama. Na ovaj način dobija se mala vrednost napona proboja. Radna oblast ove diode defnisana je opsegom struja $I_{Zmin} < I_Z < I_{Zmax}$. Minimalna vrednost struje u radnoj oblasti zavisi od karakteristike diode dok je maksimalna vrednost određena maksimalnom disipacijom na komponenti.

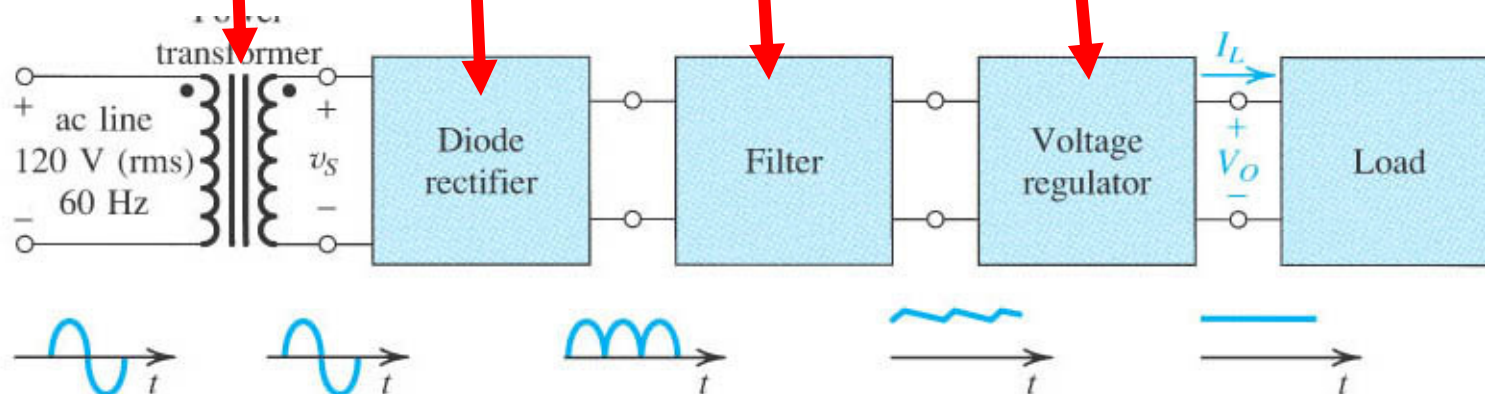


Izvori jednosmernog napajanja

1. Uvod

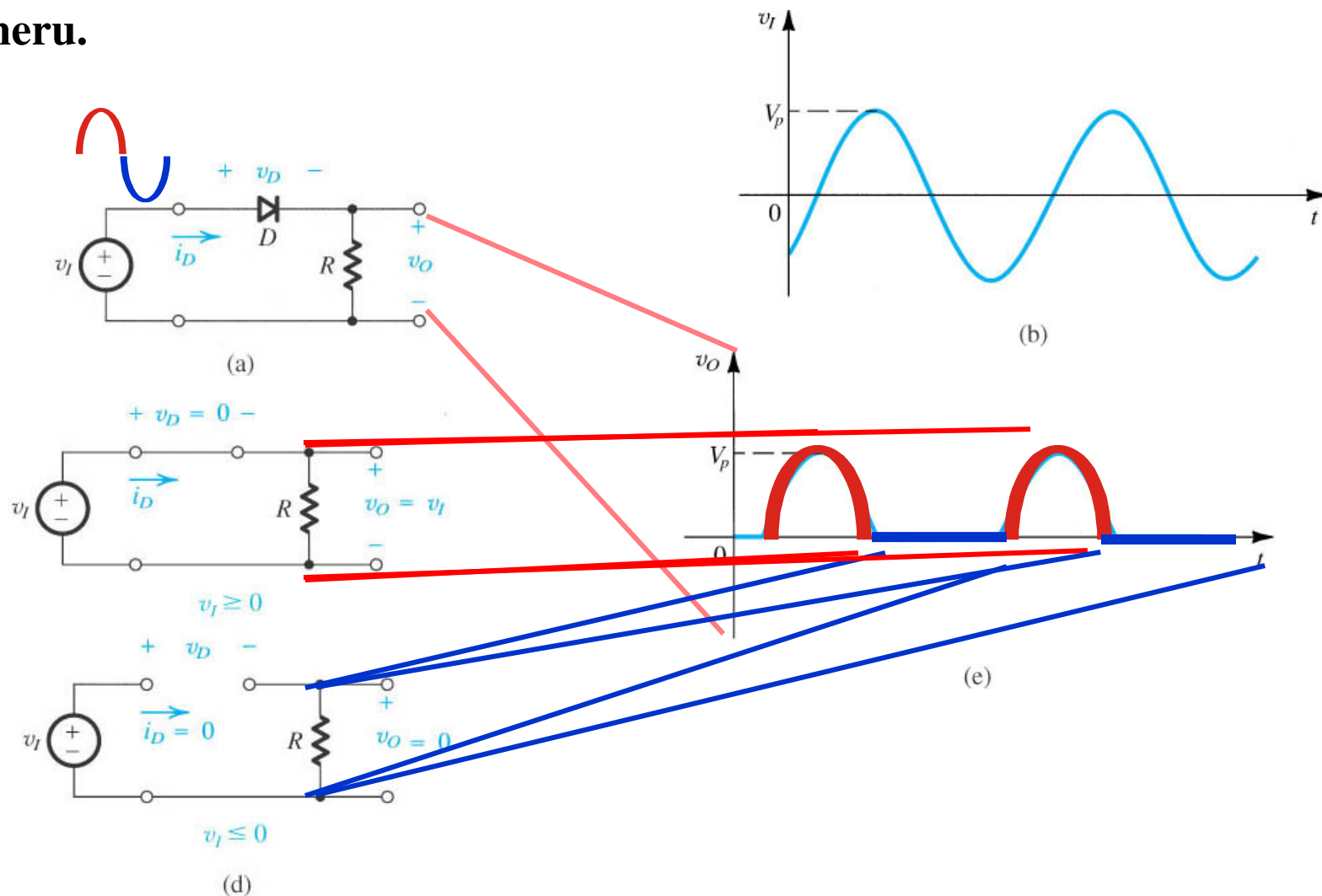
Da bi se od mrežnog napona dobio jednosmerni, željene vrednosti, potrebno je

1. smanjiti njegovu vrednost (transformator)
2. usmeriti ga ili napraviti jednosmerni napon (usmerač)
3. Filtrirati ili ukloniti naizmeničnu komponentu (filter)
4. stabilisati ga ili učiniti nezavisnim od promena uslova rada (stabilizator)



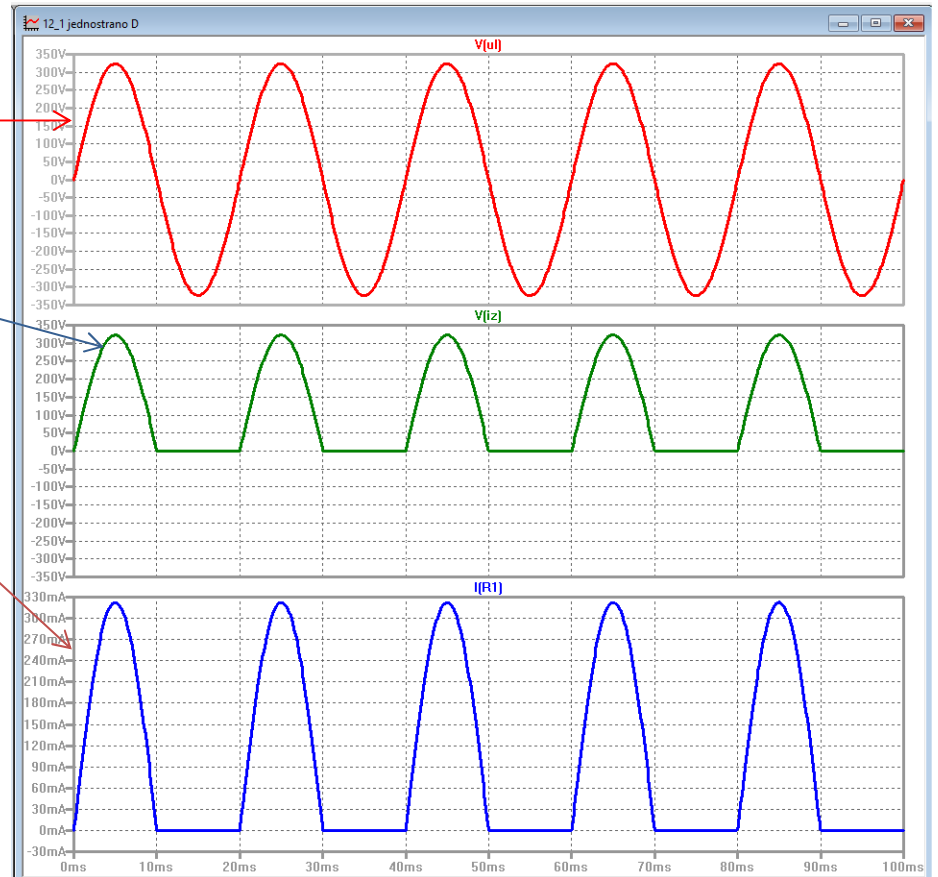
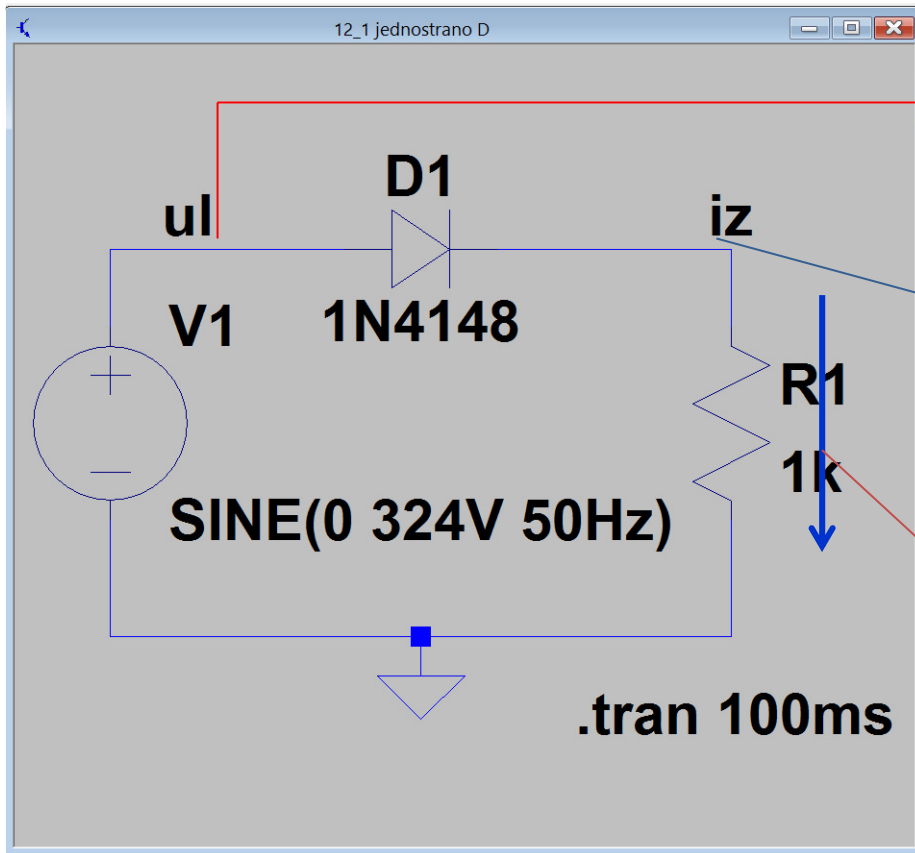
Usmeravanje naizmeničnog napona

Usmeravanjem se od naizmeničnog napona pravi jednosmerni. Kola koja imaju ovu sposobnost nazivaju se *usmerači*. Zasnovani su na primeni dioda zbog njihove osobine da provode struju samo u jednom smeru.



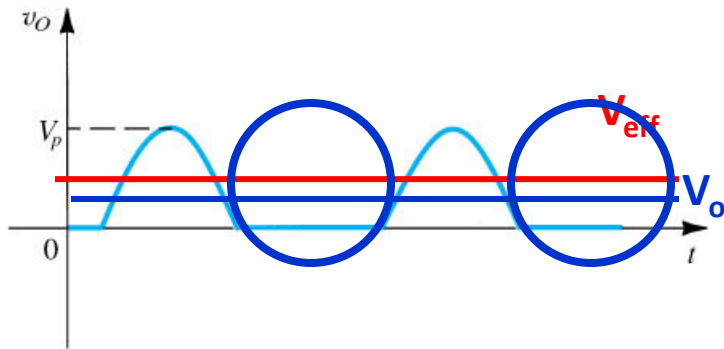
2. Usmeravanje naizmeničnog napona

2.1 Jednostrano usmeravanje



Usmeravanje naizmeničnog napona

2.1 Jednostrano usmeravanje



$$v_u = V_m \sin(\omega t)$$
$$v_o = \begin{cases} V_m \sin(\omega t) & 2k\pi < \omega t < (2k+1)\pi \\ 0 & (2k+1)\pi < \omega t < (2k+2)\pi \end{cases}$$

(e)

$k=0, 1, 2, \dots$

Napon na potrošaču ima jednosmernu komponentu (srednja vrednost signala)

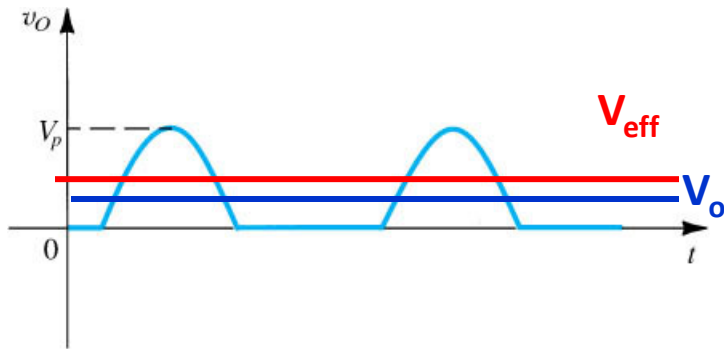
$$V_o = V_m / \pi$$

ukupnu efektivnu vrednost

$$V_{\text{eff}} = \frac{V_m}{2}$$

Usmeravanje naizmeničnog napona

2.1 Jednostrano usmeravanje



$$v_i = V_m \sin(\omega t)$$
$$v_o = \begin{cases} V_m \sin(\omega t) & \sin(\omega t) > 0 \\ 0 & \sin(\omega t) < 0 \end{cases}$$

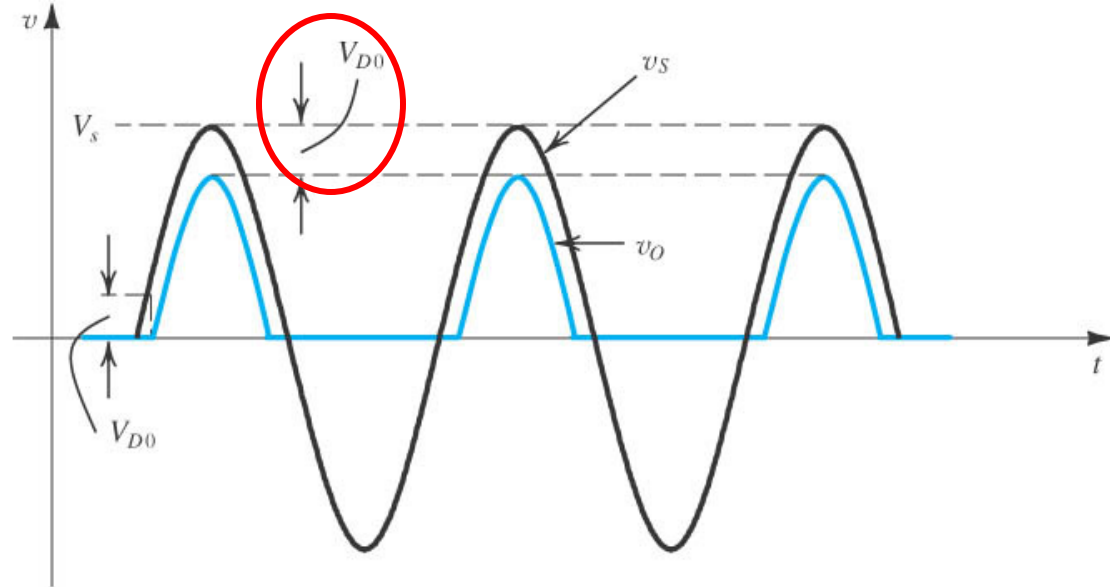
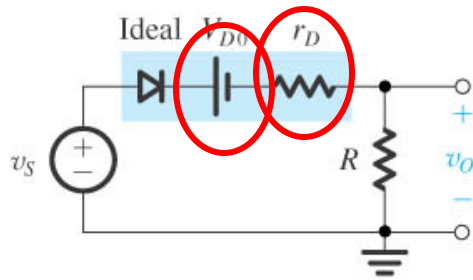
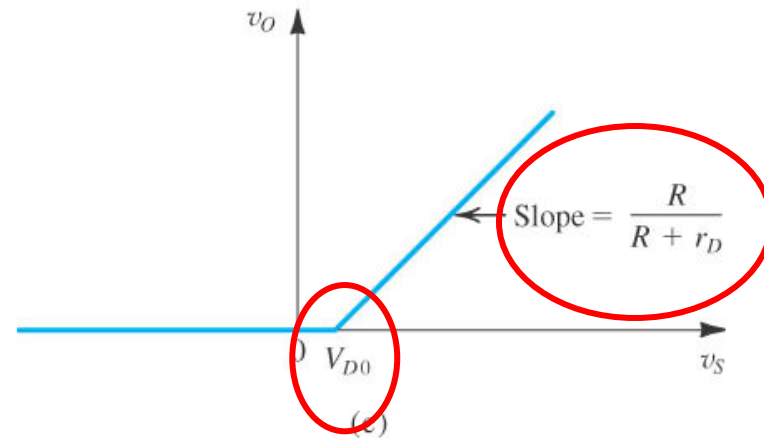
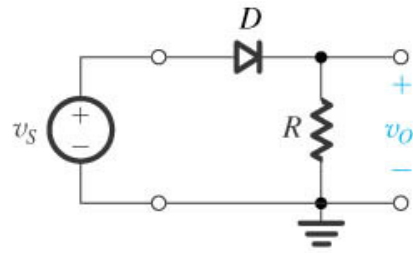
$$V_o = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} V_m \cdot \sin(\omega t) dt = \frac{1}{2 \cdot \pi} V_m \cdot (-\cos(\pi) + \cos(0)) = \frac{V_m}{\pi}$$

Trenutna vrednost vremenski promenljivog napona, bez jednosmerne komponente iznosi $v = v_o - V_o$, a njegova efektivna vrednost je

$$V_{\text{eff}}' = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\int_0^{2\pi} (v_o - V_o)^2 d\omega t} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\int_0^{2\pi} (v_o^2 - 2v_o V_o + V_o^2) d\omega t}$$

Jednostrano usmeravanje

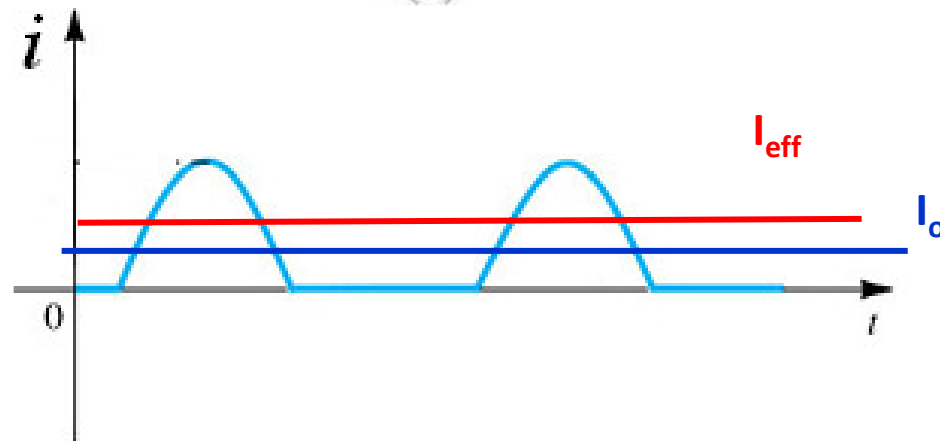
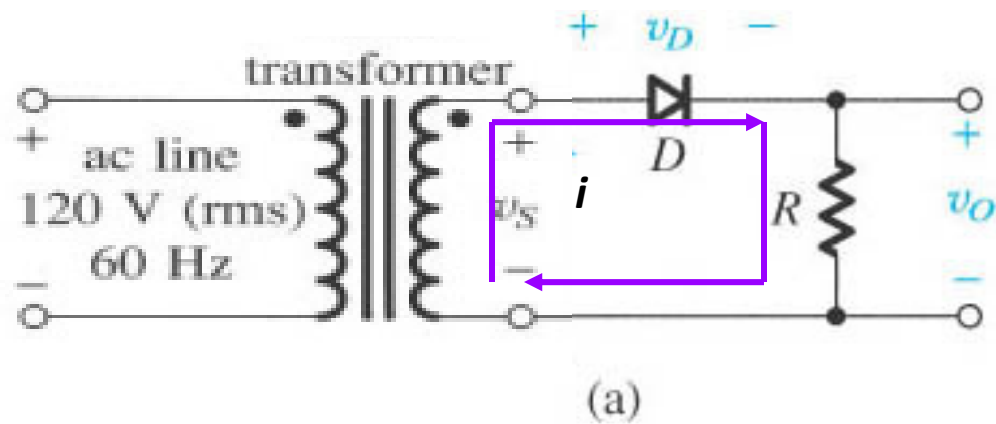
Linearni model realne diode



(d)

Jednostrano usmeravanje

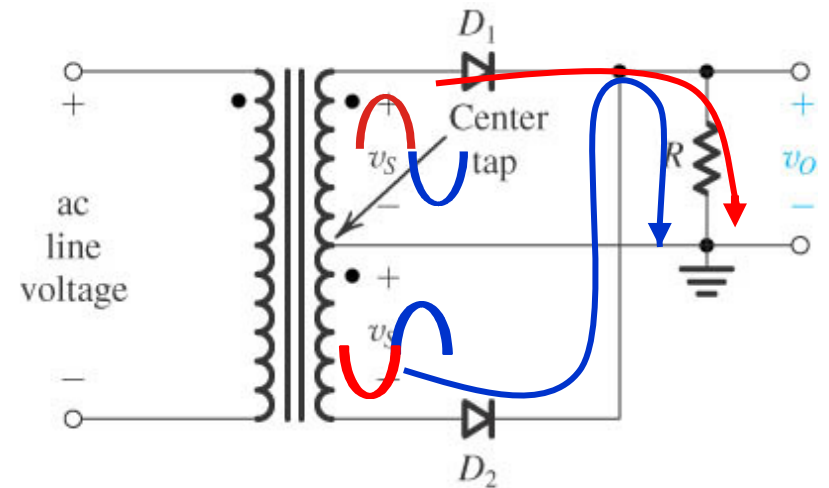
Kroz sekundar transformatora protiče i jednosmerna struja, čime se kvare performanse transformatora usled pojave premagnjećenja jezgra



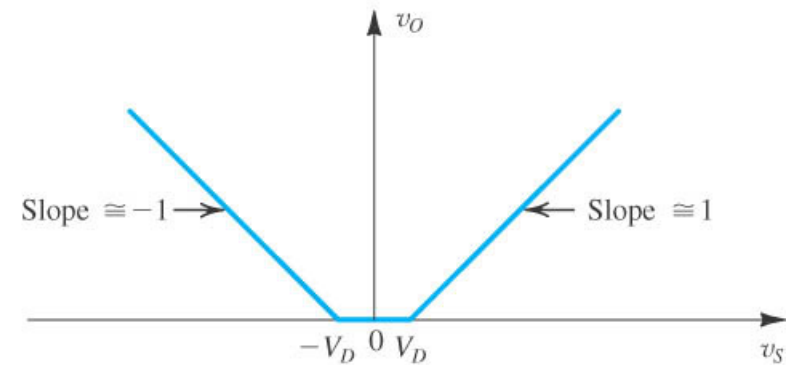
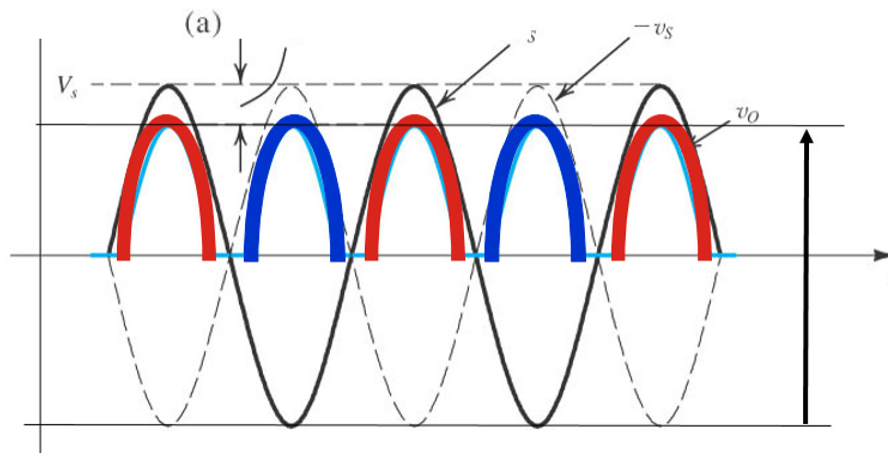
Usmeravanje naizmeničnog napajanja

Dvostrano usmeravanje

Kolo dvostranog usmerača je dobijeno spajanjem dva jednostrana usmerača. Svaka od dve diode provodi jednu poluperiodu signala, jedna pozitivnu a druga negativnu.



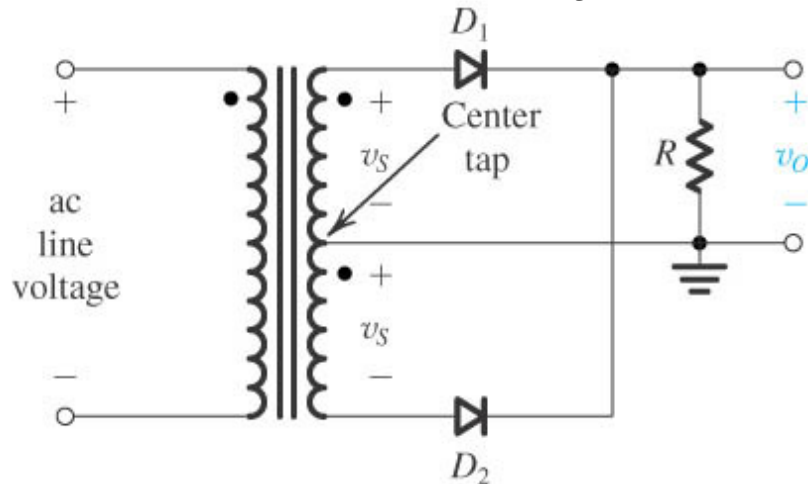
(a)



(b)

Usmeravanje naizmeničnog napajanja

2.2 Dvostrano usmeravanje

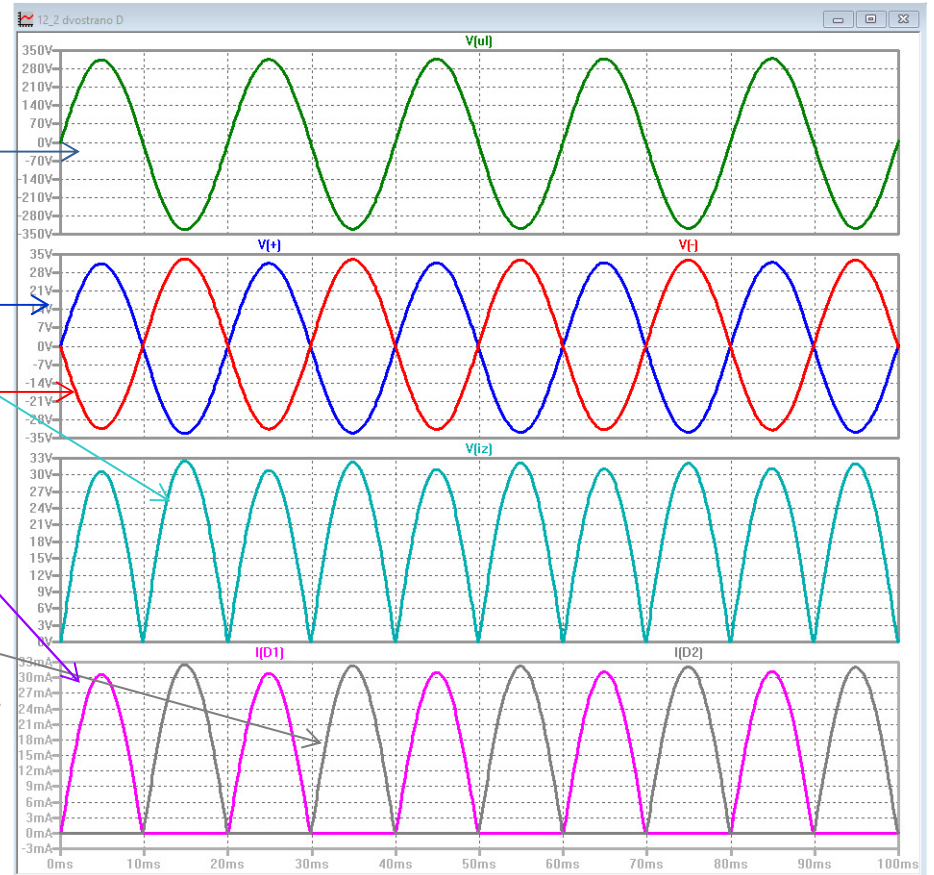
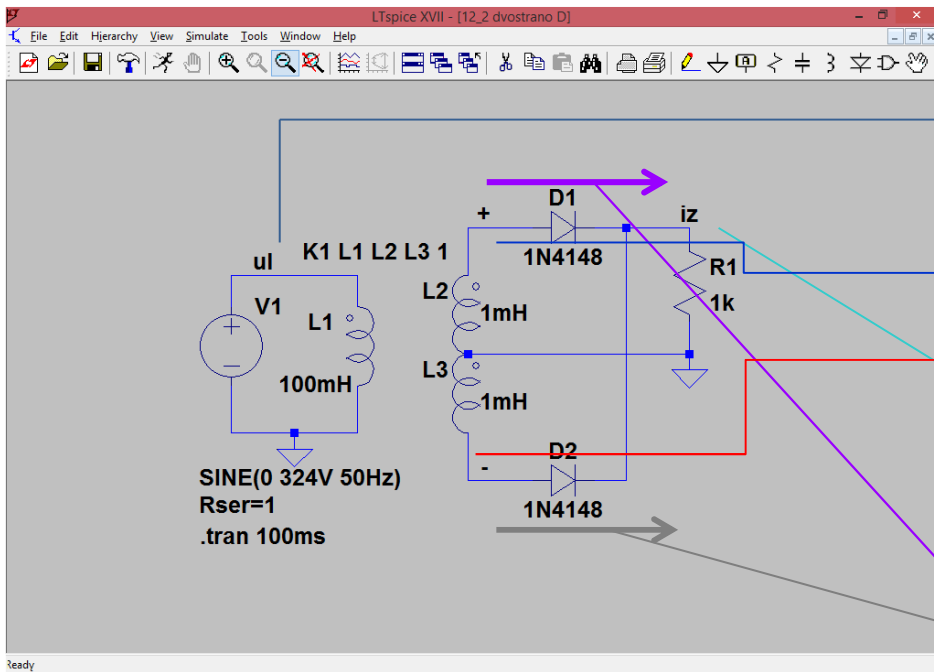


$$v_i = V_m \sin(\omega t)$$
$$v_o = \begin{cases} V_m \sin(\omega t) & \sin(\omega t) > 0 \\ -V_m \sin(\omega t) & \sin(\omega t) < 0 \end{cases}$$

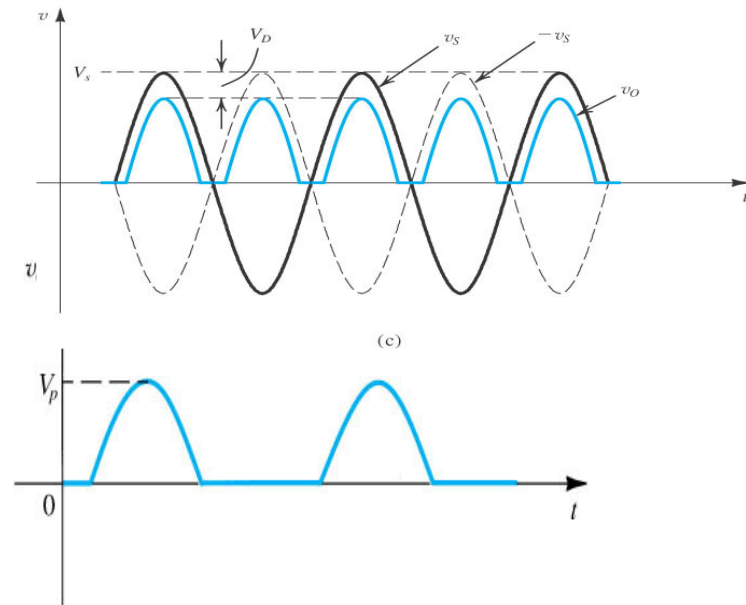
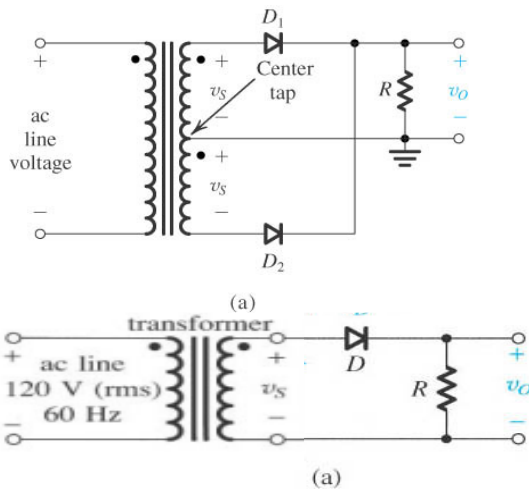
$$V_o = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_m \cdot \sin(\omega t) dt - \frac{1}{\pi} \int_{\pi}^{2\pi} V_m \cdot \sin(\omega t) dt = \frac{V_m}{\pi} + \frac{V_m}{\pi} = \frac{2 \cdot V_m}{\pi}$$

$$V_{eff} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\int_0^{2\pi} v_o^2 d\omega t} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\int_0^{2\pi} V_m^2 \cdot \sin^2(\omega t) d\omega t} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

Dvostrano usmeravanje



Dvostrano v.s. jednostrano usmeravanje

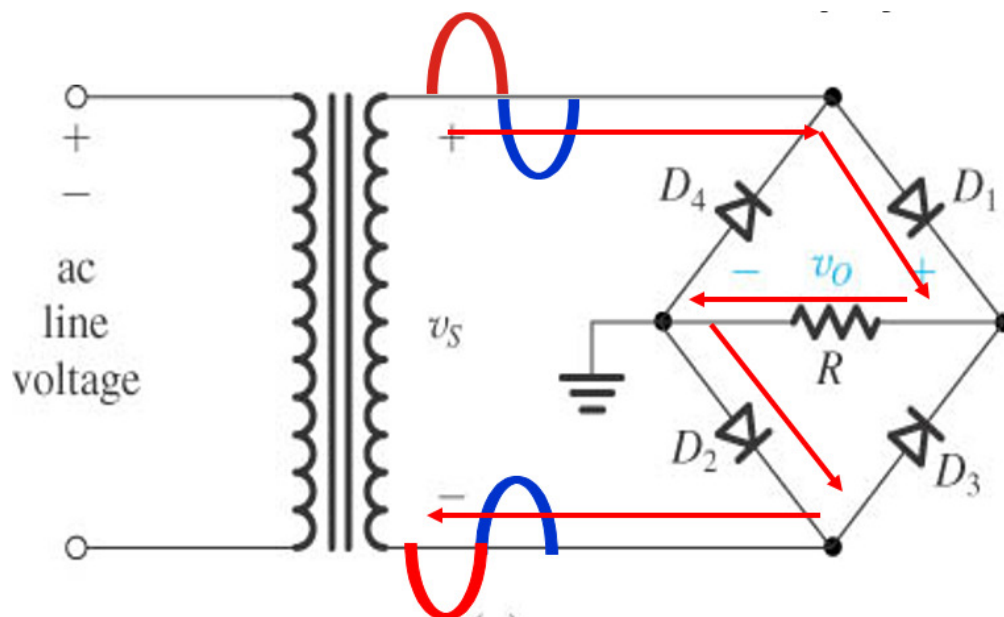


- + Ukupna jednosmerna komponenta udvostručena^{√(e)}
- + Na potrošaču samo parni harmonici napona
- + Kroz sekundar ne protiče jednosmerna komponenta struje
- Sekundar mora da ima simetrični izlaz
- - Najveći inverzni napon na diodi je $\approx 2V_m$!!!

Dvostrano usmeravanje

Grecov spoj (Gretz)

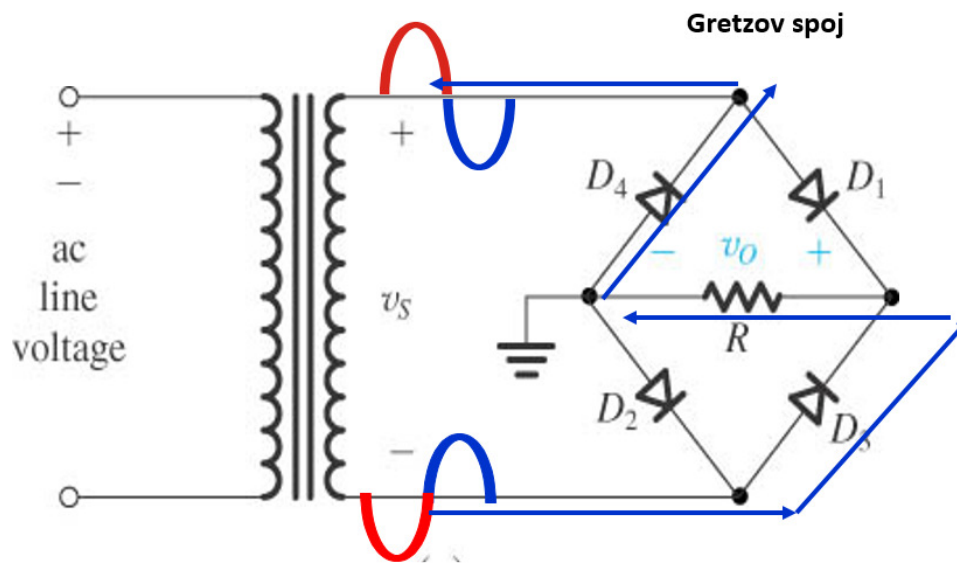
Mostni ispravljač funkcioniše na takav način da dve od četiri diode u mostu vode istovremeno. Diode D_1 i D_2 vode tokom poluperiode u kojoj je polaritet napona na transformatoru takav da je potencijal anode D_1 viši od potencijala katode D_2 (označeno crvenom).



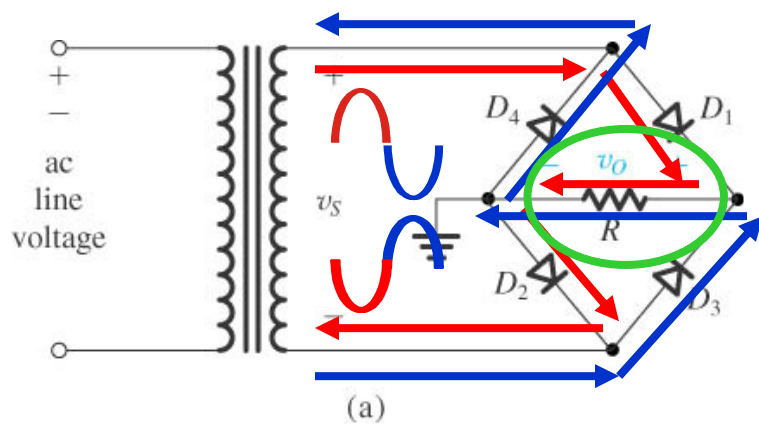
Dvostrano usmeravanje

Grečov spoj (Gretz)

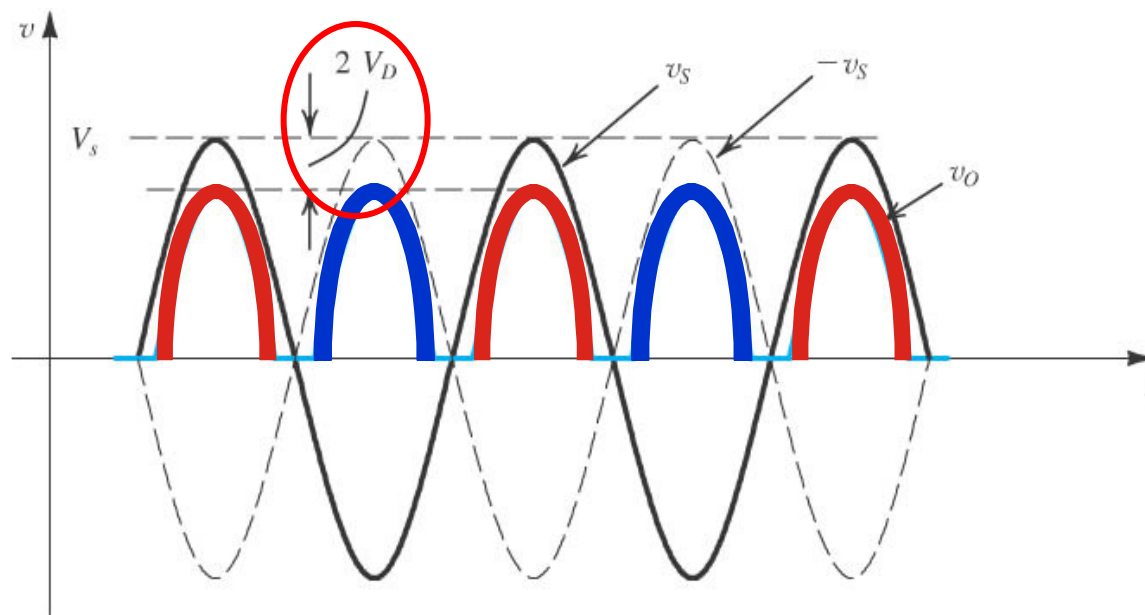
U toku sledeće poluperiode polaritet napona na transformatoru biće suprotan. Tada će voditi druge dve diode, D_3 i D_4 . Sada je potencijal anode D_3 na višem potencijalu od katode D_4 (označeno plavom bojom).



Dvostrano usmeravanje



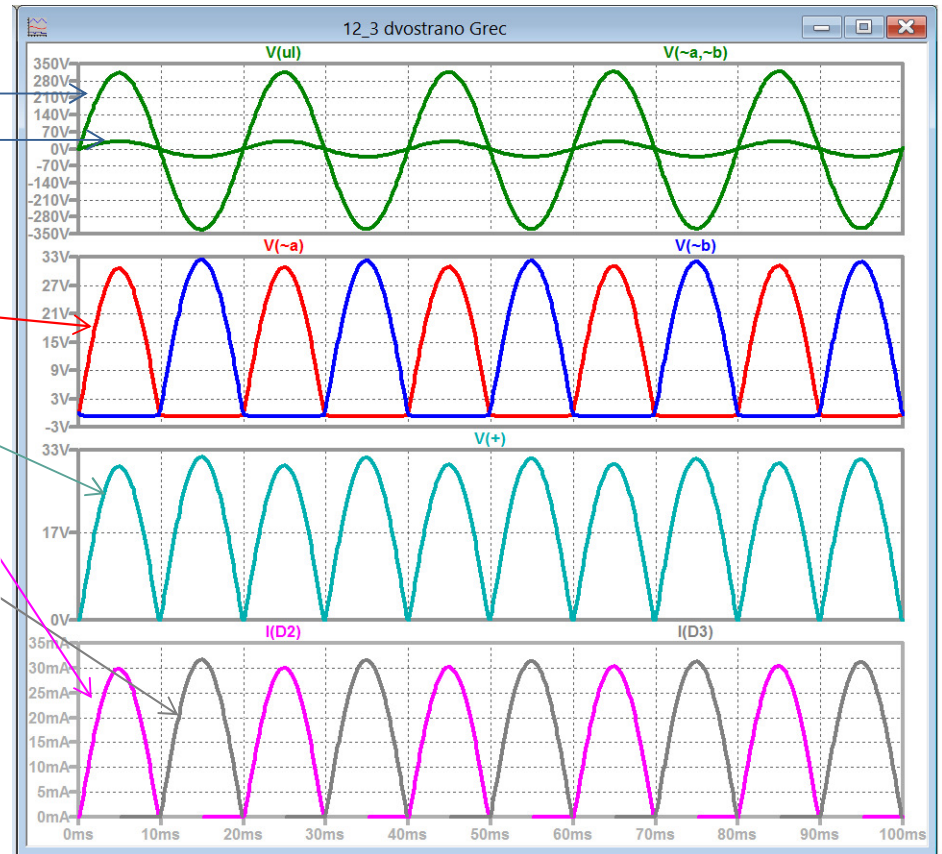
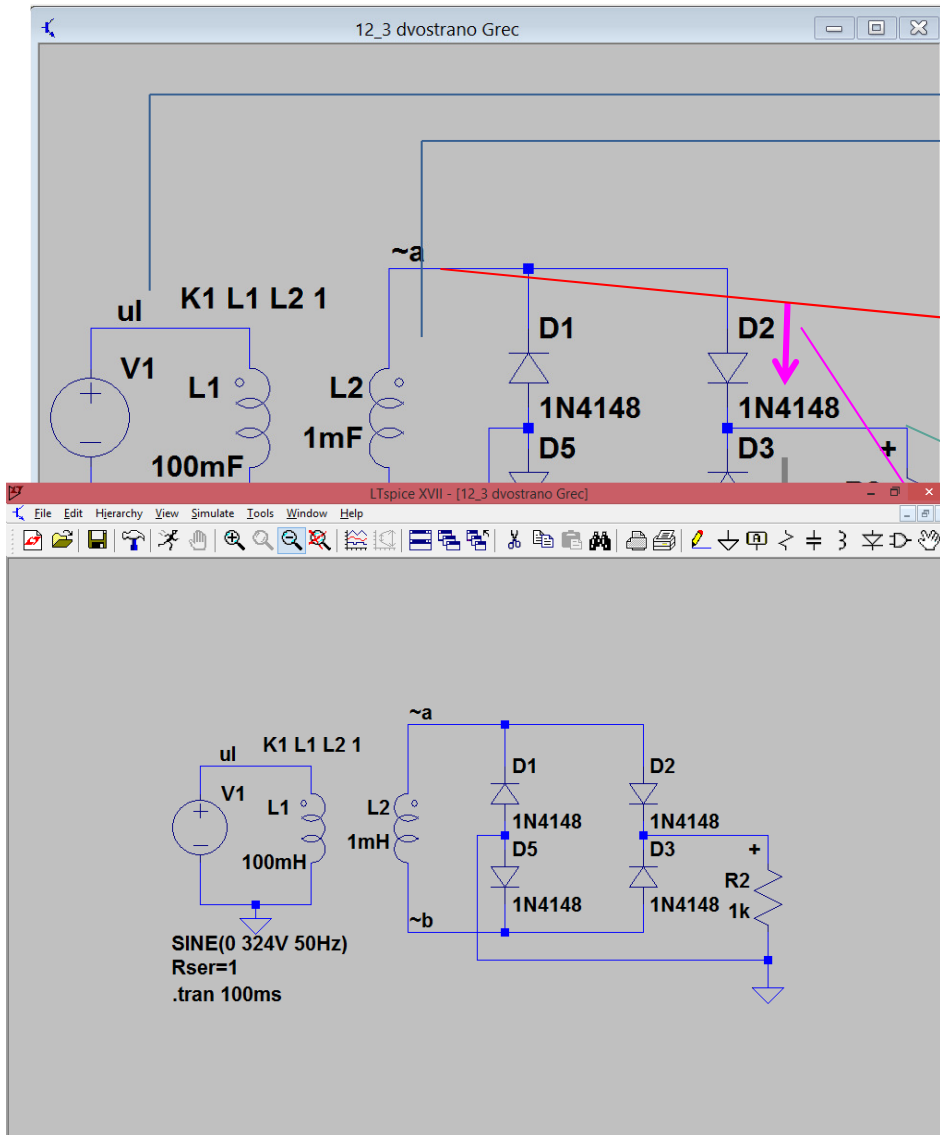
Gretzov spoj



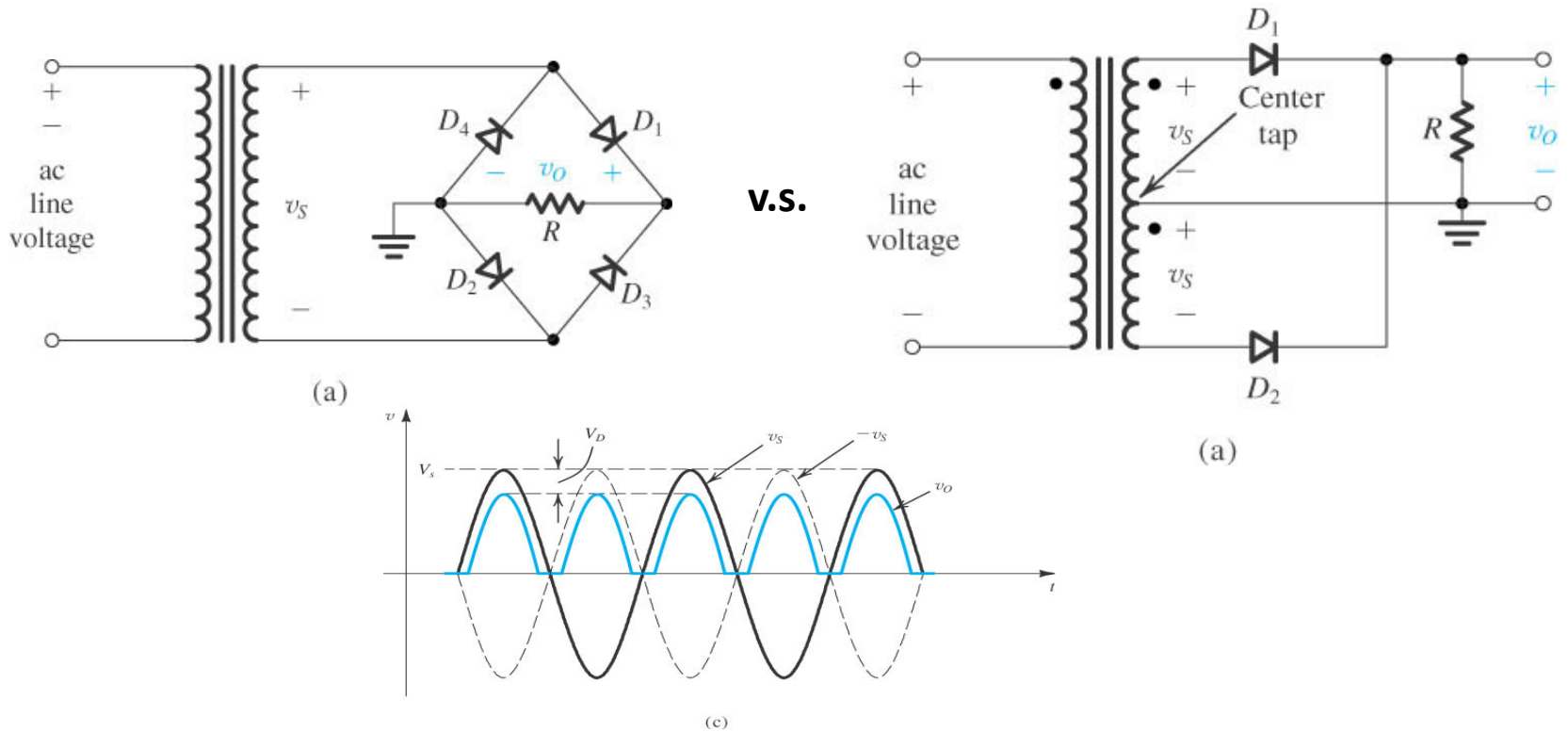
(b)

Dvostrano usmeravanje

Gretzov spoj



Dvostrano usmeravanje

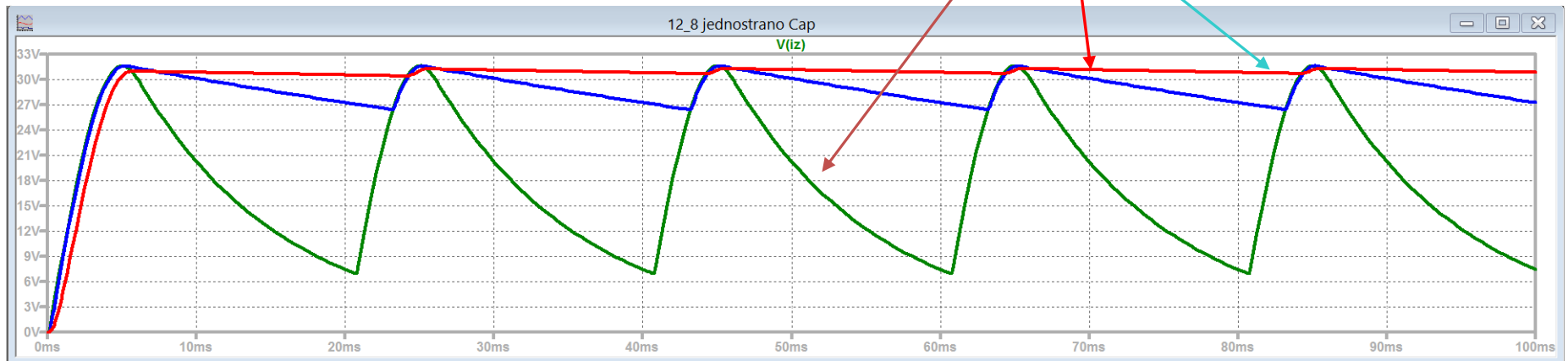
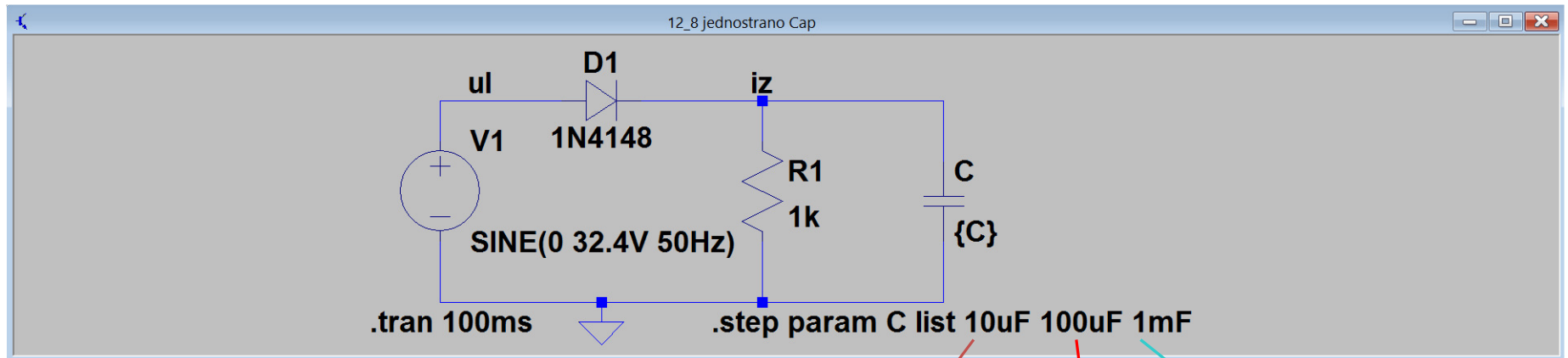


+ Sekundar NE mora da ima simetrični izlaz

+ Najveći inverzni napon na diodi je V_m a ne $2 V_m$!!!

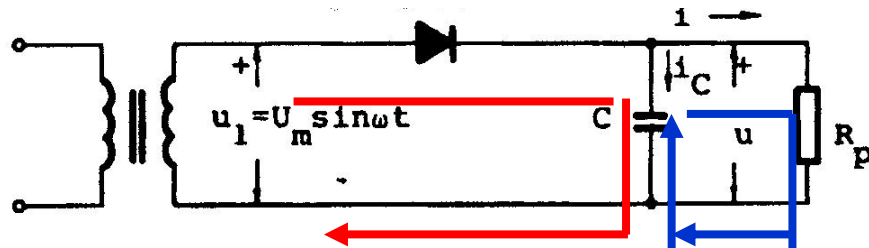
Filtriranje usmerenog napona

Kapacitivni filtar - jednostrano

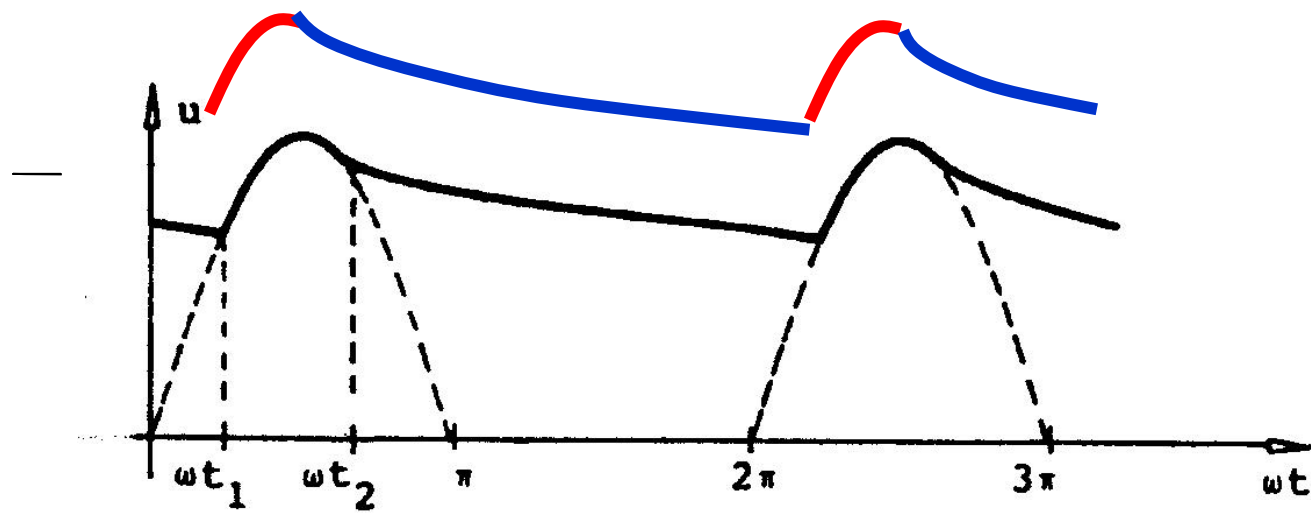


Filtriranje usmerenog napona

Kapacitivni filter



Dioda funkcioniše kao prekidač preko kojeg se puni kondenzator. Ukoliko je napon na transformatoru veći od trenutnog napona na kondenzatoru dioda provodi i predstavlja zatvoreni prekidač. Tokom intervala kadaje napon na kondenzatoru veći od napona na transformatoru dioda ne vodi odnosno predstavlja otvoreni prekidač.

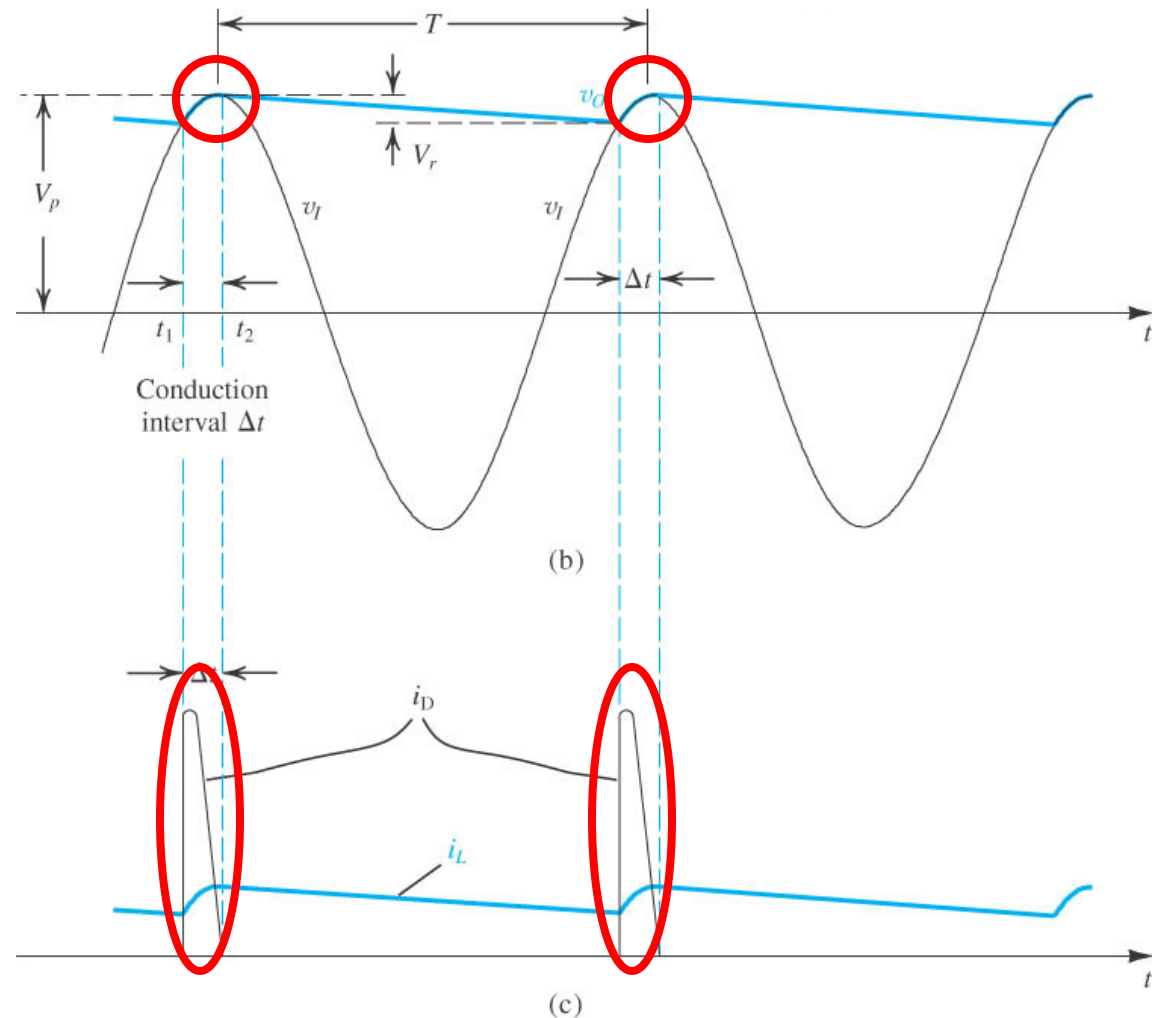
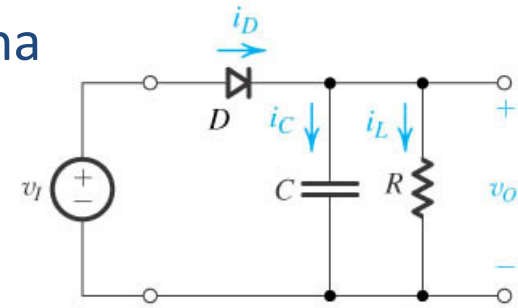


Filtriranje usmerenog napona

Kapacitivni filter

Dioda vodi samo u kratkom intervalu kada je anoda na višem potencijalu od katode.

Funkcionisanje kola se zasniva na činjenici da je vremeska konstanta punjenjakondenzatora ($\tau_1=C \cdot r_d$) mnogo manja od vremenske konstantne pražnjenja ($\tau_2=C \cdot R$). Kao posledica toga vremenski intervali punjenja biće mnogo kraći od vremenskog intervala pražnjenja.

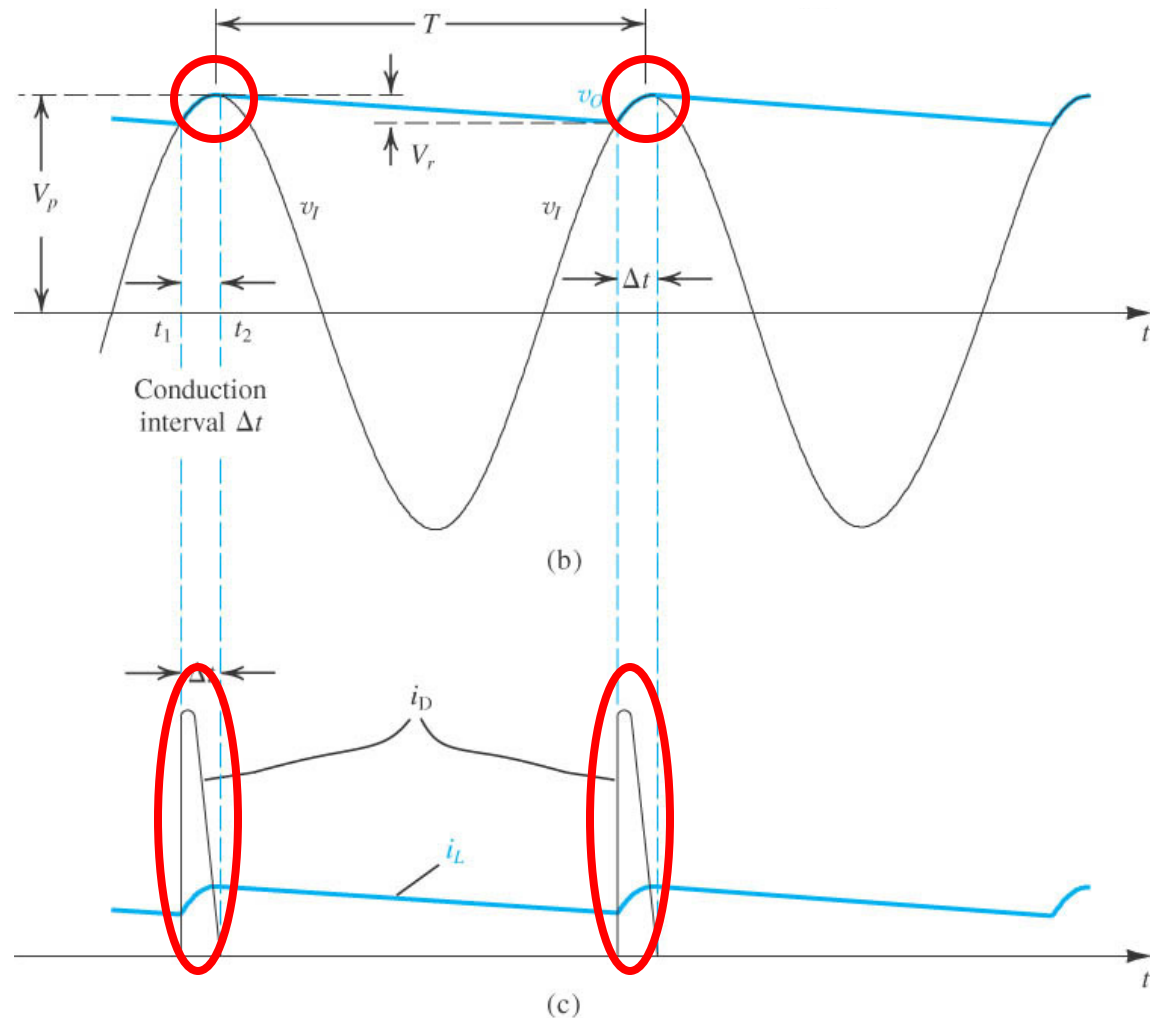
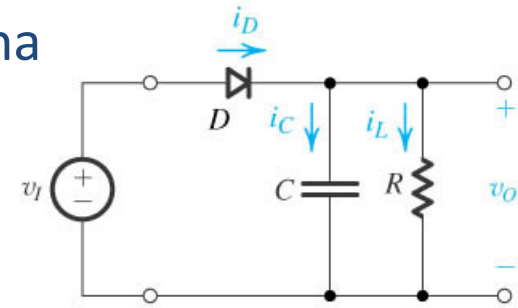


Filtriranje usmerenog napona

Kapacitivni filter

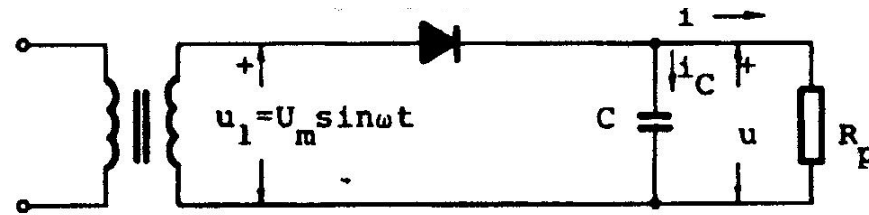
Interval vremena tokom koga se kondenzator puni predstavlja isečak sinusnog signala (zaokružen crvenim krugom).

Sa druge strane period vremena tokom koga se kondenzator prazni je eksponencijalna funkcija (karakteristična za RC kola).

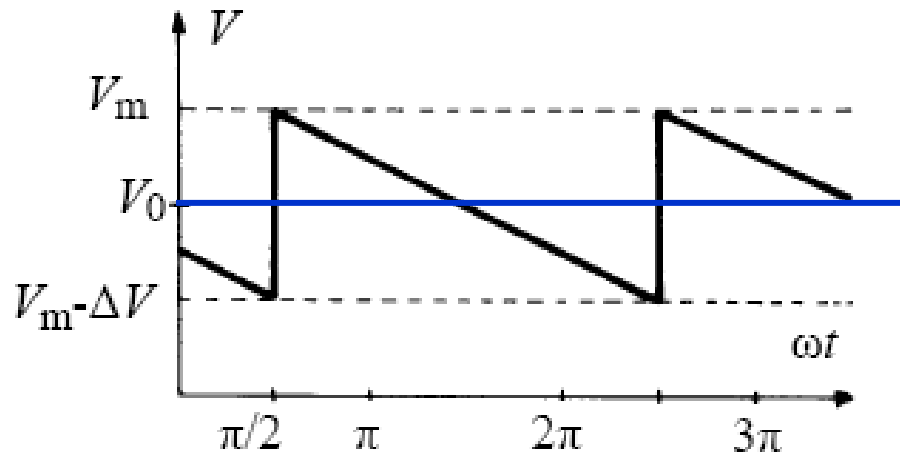


Filtriranje usmerenog napona

Kapacitivni filter



Analiza rada na osnovu pojednostavljenog talasnog oblika signala na potrošaču.



$$V_0 = V_m - \Delta V / 2.$$

$$V_m - \Delta V = V_m e^{-T/(CR)}$$

za $CR \gg T$,

$$e^{-T/(CR)} \approx 1 - T/(CR)$$

tako da je

$$\Delta V \approx V_m T / (CR) = V_m / (fCR)$$

Filtriranje usmerenog napona

$$V_{out}(t) = V_m \cdot e^{-\frac{t}{R_p C}}$$

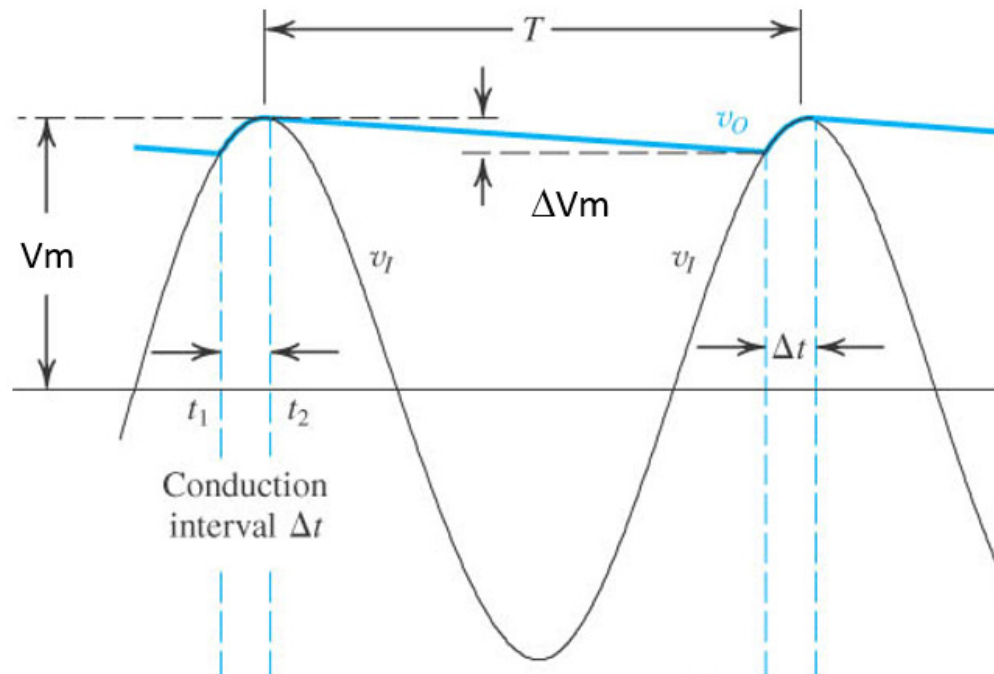
$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots$$

Ukoliko se u Tajlorovom razvoju zanemare sabirci čiji je stepen veći od jedan dobija se:

Minimalni napon na kondenzatoru biće u trenutku $T - \Delta t$:

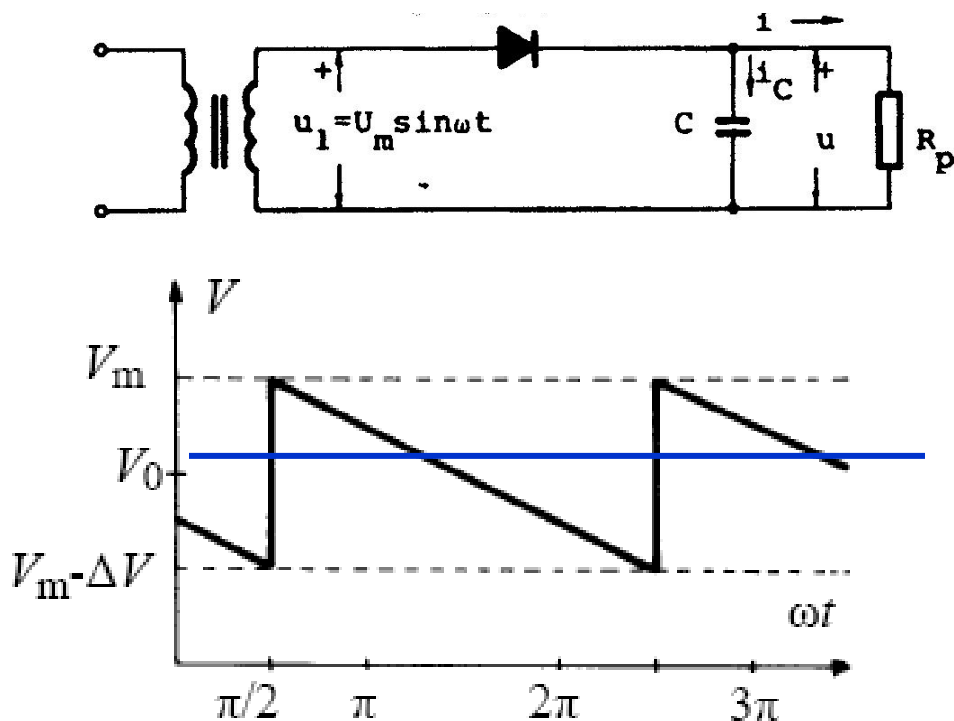
$$V_{out}(t) \approx V_m \cdot \left(1 - \frac{t}{R_p C}\right)$$

$$V_{min} \approx V_m \cdot \left(1 - \frac{T - \Delta t}{R_p C}\right)$$



Filtriranje usmerenog napona

Razlika između masimalnog i minimalnog napona na kondenzatoru naziva se **talasnost (ripple)**.



$$\Delta V \approx V_m - V_{\min}$$

$$\Delta V \approx \frac{V_m \cdot (T - \Delta t)}{R_p \cdot C}$$

$$\Delta t \ll T \Rightarrow \Delta V \approx \frac{V_m \cdot T}{R_p \cdot C}$$

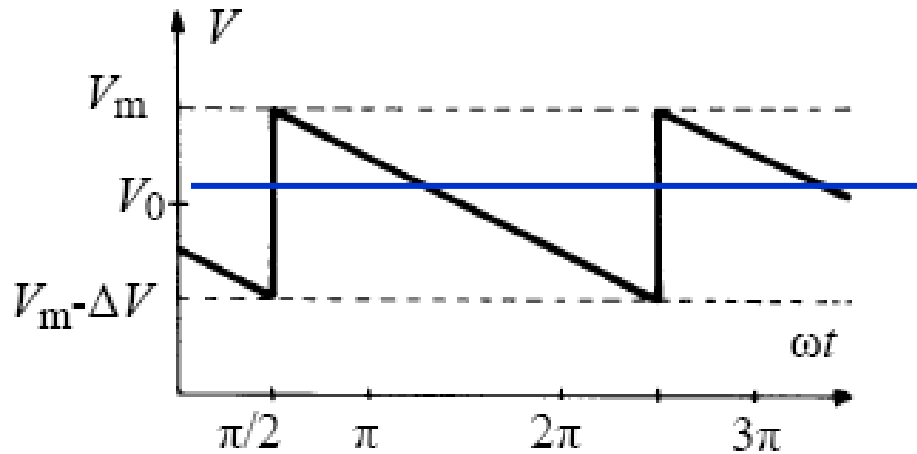
Δt je period vremena u toku koga dioda vodi

$$\Delta V \approx \frac{V_m}{R_p \cdot C \cdot f}$$

Talasnost filtra, ΔV , je obrnuto srazmerna kapacitivnosti kondenzatora i otpornosti potrošača.

Filtriranje usmerenog napona

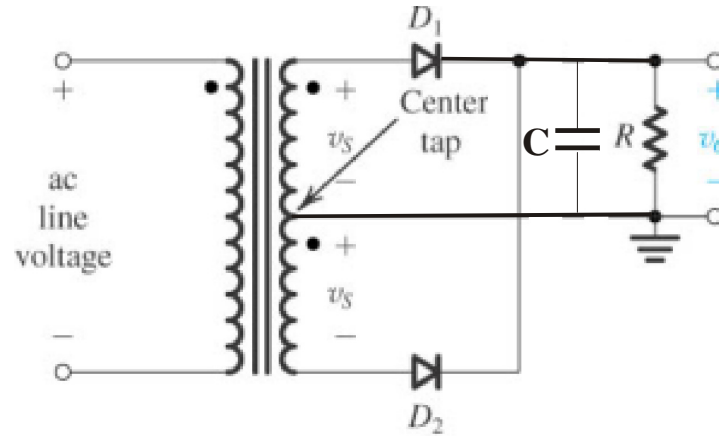
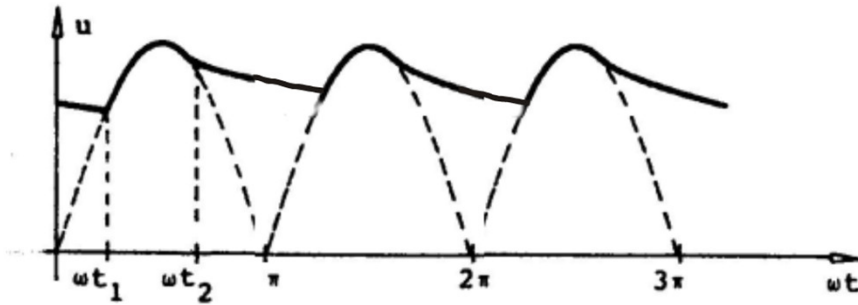
U prethodnom izrazu nije uzet u obzir pad napona na diodi. Ukoliko amplituda napon na sekundaru transformatora V_m nije značajno veći od pada napona na diodi V_D trebalo bi preciznije sračunati talasnost.



$$\Delta V \approx \frac{(V_m - V_D)}{R_p \cdot C \cdot f}$$

Filtriranje usmerenog napona

Kapacitivni filtar – dvostrano



Perioda je smanjena na $T/2$ tako da je

$$\Delta V \approx V_m T / (2CR) = V_m / (2fCR)$$

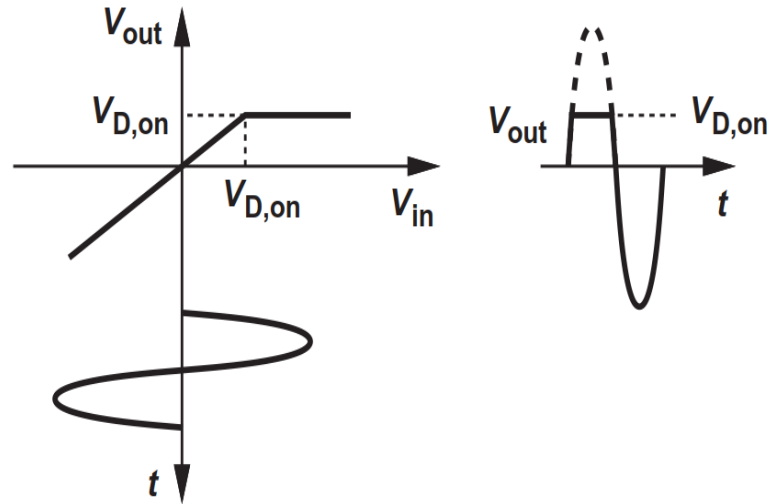
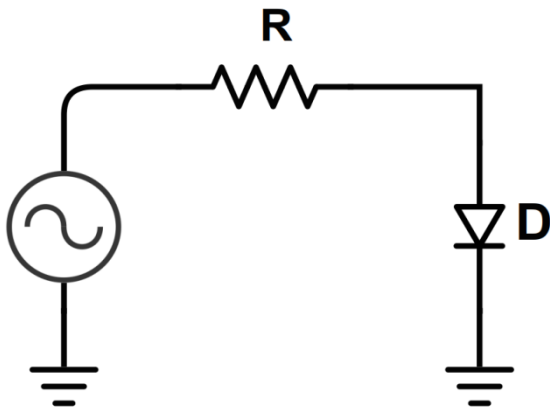
Dva puta manje za isto C i R !!!

ili

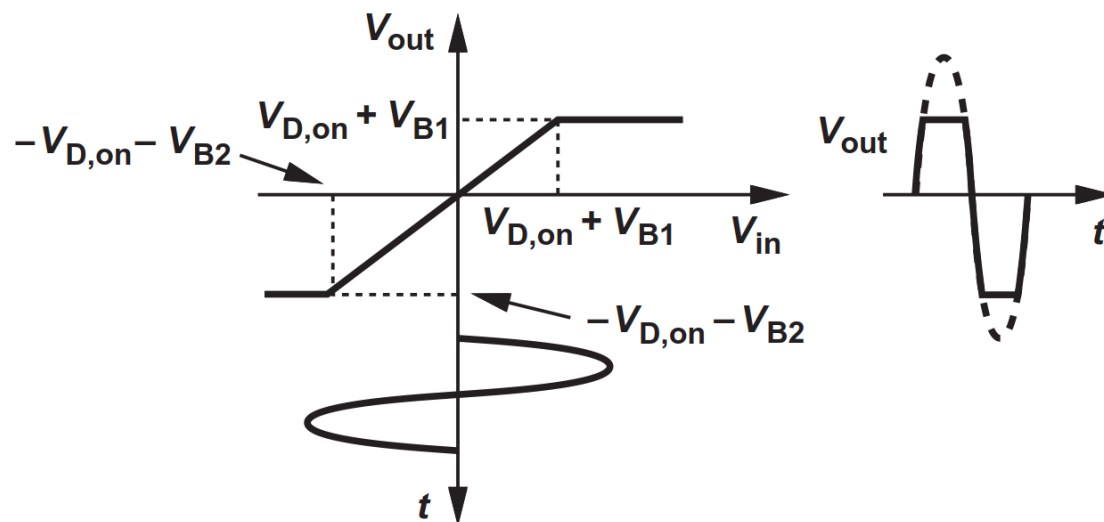
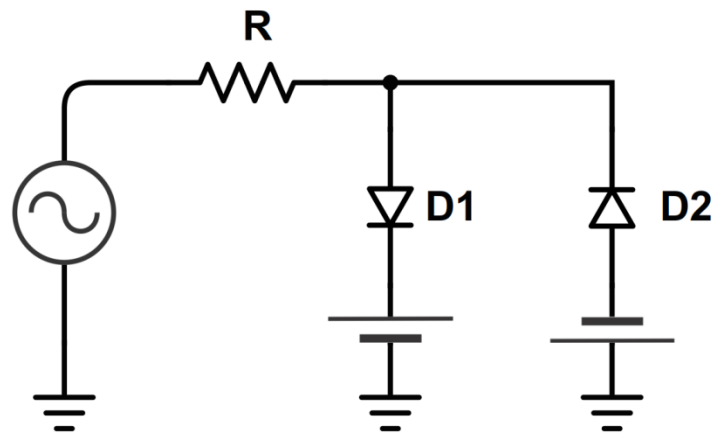
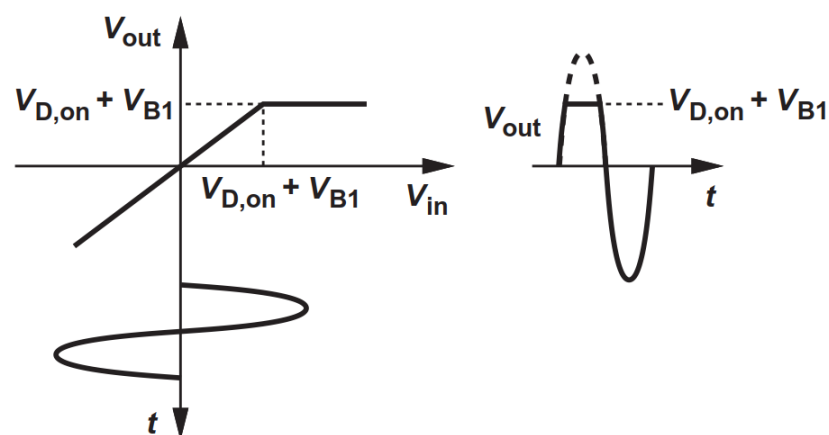
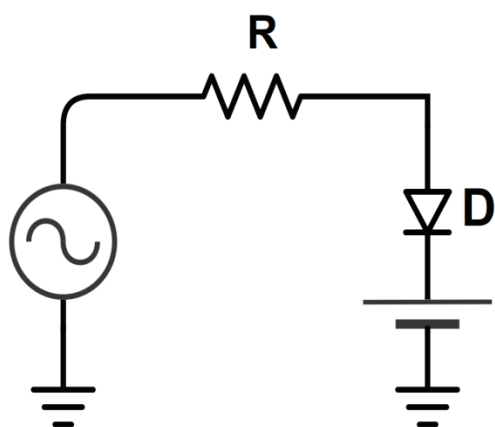
Da bi se dobilo isto ΔV , može da se upotrebi dva puta manje C (!!! dimenzije !!!)

Limiteri

Limiteri treba da propušta bez slabljenja sve signale čija je amplituda manja od zadate a da sve one čija je vrednost amplitude veća potisne. Koriste se kada postoji mogućnost da prevelika vrednost ulaznog signala promeni radnu tačku pojačavača kao i kod oscilatora. Limiteri se često realizuju diodama zbog njenih prekidačkih svojstava.



Dodavanjem jednosmernog naponskog generatora na red sa diodom dobija se limiter sa proizvoljnim ograničavajućim naponom.



Elementarna pitanja

- 1. Strujno naponska karakteristika diode i oblasti rada diode.**
- 2. Linearizovani modeli diode za velike signale.**
- 3. Dinamička otpornost diode (grafička predstava, jednačina).**

Ostala ispitna pitanja

- 1. Grafička analiza rada kola sa diodom, mirna radna tačka.**
- 2. Jednosmerna i naizmenična analiza kola.**
- 3. Kapacitivnost prostornog naleketrisanja, modeli diode za visoke frekvencije.**
- 4. Difuziona kapacitivnost, modeli diode za visoke frekvencije.**
- 5. Dioda u prekidačkom režimu rada.**
- 6. Temperaturska zavisnost modela diode.**
- 7. Dioda referentnog napona (Cenerova dioda).**
- 8. Dvostrano usmeravanje (šema, talasni oblici, prednost i nedostaci).**
- 9. Grecov spoj (šema, talasni oblici, prednost).**