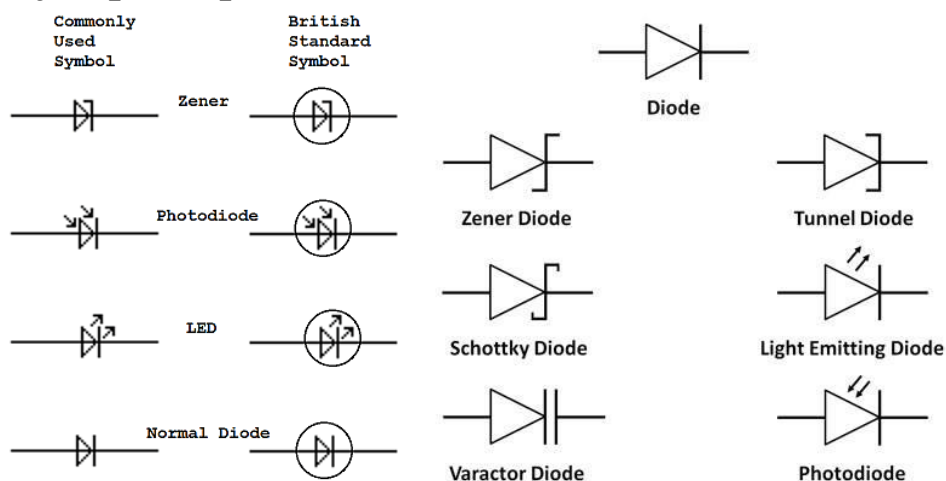


# КОНТРОЛНИ ИЗ ЕЛЕКТРОНИКЕ

## 24.10.2019

1. Симболи диода, опиши намену за барем 3 диоде и дај карактеристике за:



(група а) Зенер диоду?

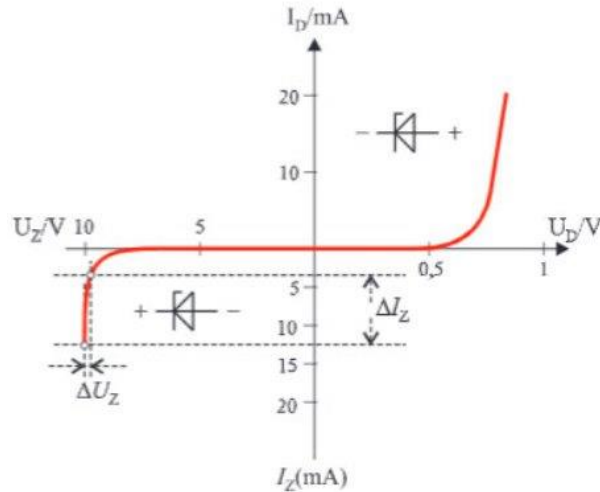
Зенер диода (звана и Ценер диода) је силицијумска полупроводничка диода, чији је пробојни напон у инверзном режиму рада значајно мањи него код уобичајних диода захваљујући Зенер ефекту. Напон пробоја диоде при инверзној поларизацију се често зове зенеров напон. Зенер диоде се користе за стабилизацију и ограничавање напона.[1]

Названа је по америчком научнику Кларенсу Зенеру. Он је објаснио како се код полупроводничких диода са великом концентрацијом нечистоћа повећава проводност у инверзном режиму рада услед тунелирања електрона из валенте у проводну област. Ова

појава доминира у диодама са инверзним напоном пробоја до 5 волти. За диоде са већим пробојним напоном доминира ефекат лавине, појава да електрично поље убрза електроне толико да ударом о атоме из валентне области избијају нове електроне у проводну област, али уобичајено је да се и такве диоде такође називају зенер диодама, док се назив пробојна диода користи само за више напоне.

Код Зенеревог ефекта температурни коефицијент је негативан, а код лавинског ефекта је позитиван, па је укупан температурни коефицијент најмањи за диоде са зенер напоном од око 5 волти, јер су тада оба ефекта уједначена.

Вредности пробојног напона Зенерових диода може се контролисати у току процеса производње. То омогућује да се производе диоде с пробојним напонима од неколико волта до неколико стотина волта. Диоде с пробојним напоном мањим од 5 В немају оштро изражен пробојни напон и имају негативан температурни коефицијент (с порастом температуре смањује се Зенеров напон). Диоде са Зенеровим напоном вишим од 5 V имају позитиван температурни коефицијент (с порастом температуре расте Зенеров напон).



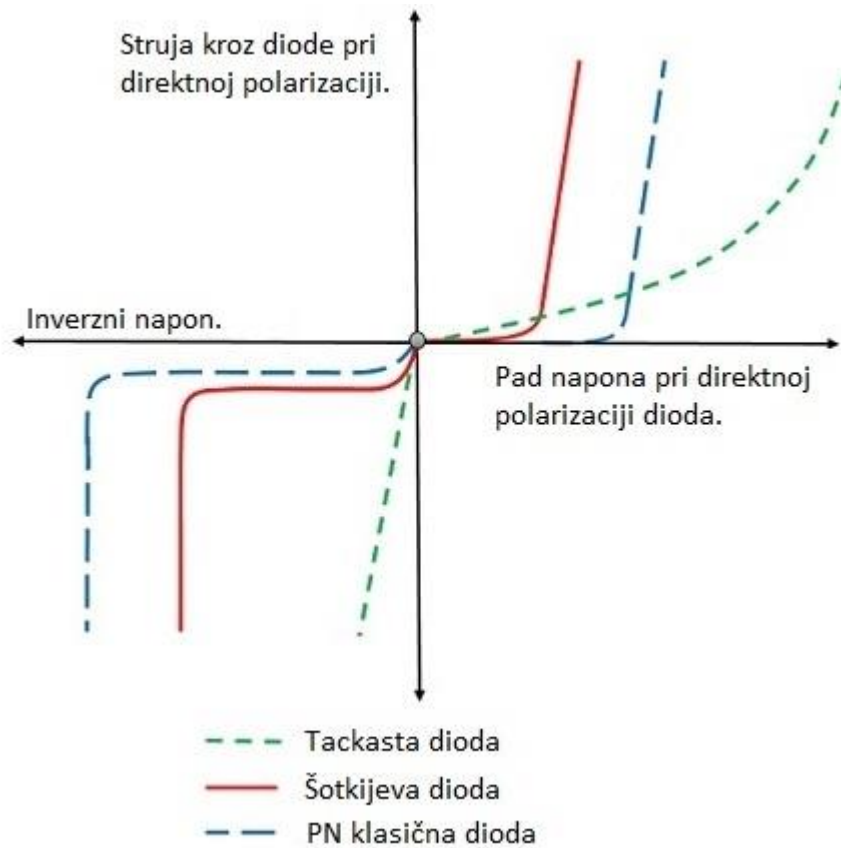
(група б) Шоткијеву диоду?

Израђују се тако што се директно на полупроводник  $N$  врсте наноси метал. Електрони из полупроводника прелазе у метал због дифузије, па се у полупроводнику образује просторно наелектрисање у којем се налазе некомпензовани позитивни јони. Ово просторно наелектрисање постоји практично само у полупроводнику, па је електрично поље мање него у нормалном ПН-споју. Електрони могу да прелазе из полупроводника у метал, јер је енергија електрона у металу мања, али обрнуто не могу. На овај начин се добије усмјерачки спој између полупроводника и метала, а такође и прикључак за аноду. Други контакт се добије тако што се накнадно образује област са великом концентрацијом  $N^+$  примјеса, па се добије  $N^+$  област, која је слична проводнику. На  $N^+$  област се наноси метал са којим се образује неусмјерачки контакт, који чини катоду диоде.

Код Шотки диода нема прелаза шупљина из П у Н област, као ни електрона из Н у П област, па не постоји дифузна капацитивност споја. Вријеме укључивања и искључивања је веома кратко и износи типично 100 псес.

Праг провођења Шотки диоде је мањи него код обичних силицијумских диода јер је потенцијална баријера мања. Праг провођења може се мијењати промјеном густине примјеса у полупроводнику. Што је већа концентрација примјеса, нижи је инверзни напон и нижи је праг провођења, скоро једнак нули, али је релативно велика и инверзна струја. На примјер код диоде BAS40-03 фирме Сименс праг провођења је око 0,25 V, а инверзни напон је око 40 V. Код диоде BAS70-03 исте фирме праг провођења је око 0,4 V, а инверзни напон око 70 V.

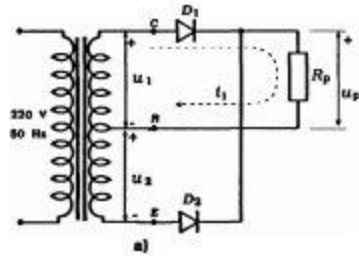
Шотки диоде се употребљавају у веома брзим прекидачким колима. Шотки диоде са великом концентрацијом примјеса се користе у области микроталаса (10 GHz). Постоји посебна врста усмјерачких Шотки диода за струју до неколико десетина ампера (на примјер BVS76 фирме Сименс за струју до 75 A), које се употребљавају у брзим усмјерачким колима или код импулсних регулатора напона.



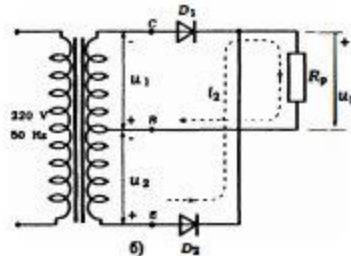
2. (група а)

Исправљач са средњом тачком нацртај шему и објасни рад (без и са кондензатором) дај дијаграме напона и струја?

**ДВОСТРАНИ УСМЕРАЧ.** - Усмерач са две диоде је приказан на сл.2.5.5.а, а одговарајући таласни облици на сл.2.5.5.в, г, и, д. Код овог усмерача струја тече



Сл.2.5.5.а) Усмерач са две диоде са означеним смером струје у позитивној полупериоди наизменичног напона



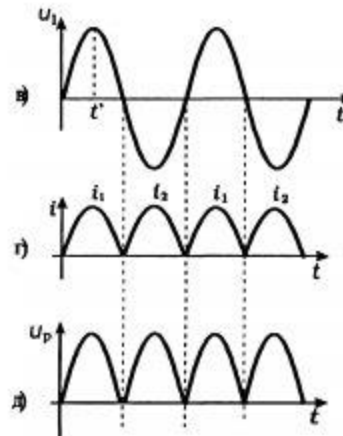
Сл.2.5.5.б) Усмерач са две диоде са означеним смером струје у негативној полупериоди наизменичног напона

у обе полупериоде наизменичног напона и то кроз једну диоду у позитивној, а кроз другу у негативној полупериоди. У позитивној полупериоди наизменичног напона  $u$ , диода  $D_1$  је пропусно поларисана и струја  $i_1$  тече од тачке  $C$  кроз диоду  $D_1$  и отпорник  $R_p$  ка тачки  $B$ . За ово време диода  $D_2$  не проводи јер је напон на њеној аноди негативан, а на катоди позитиван. У негативној полупериоди наизменичног напона  $u$ , тачка  $C$  је негативна у односу на тачку  $B$  и диода  $D_1$  не проводи. Тачка  $E$  је позитивна у односу на тачку  $B$ , па диода  $D_2$  проводи. Струја  $i_2$  тече у смеру који је обележен на сл. 2.5.5.б. Код овог усмерача у тренутку  $t'$  напон  $u_1$  је позитиван и максималан, а  $u_2$  је негативан и максималан. Ови напони се сабирају, па је у овом тренутку инверзни напон на диоди  $D_2$  једнак  $2U_m$ .

Сличан закључак може да се изведе и за диоду  $D_1$ .

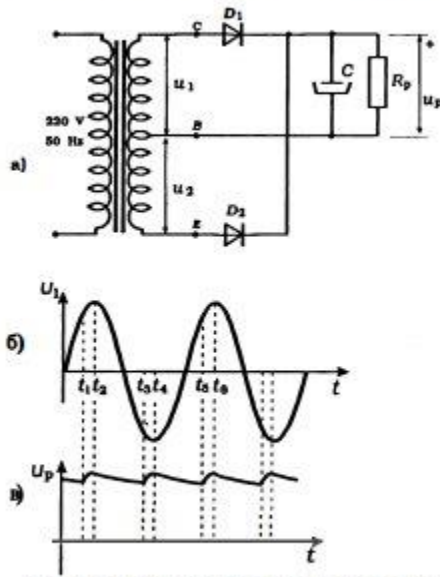
Иначе, ефективне вредности добијеног једносмерног напона и струје кроз диоду и потрошач су једнаке као и код наизменичног:  $U=0,707 \cdot U_m$  и  $I=0,707 \cdot I_m$ .

Усмерач приказан на сл.2.5.5.а даје такође једносмерни напон, који није погодан за напајање електронских уређаја. И овде треба додати кондензатор за филтрирање једносмерног пулсирајућег напона (сл.2.5.6.а). У овом колу се



Сл.2.5.5.в) Облик наизменичног напона; г) облик струје; д) облик напона на потрошачу

кондензатор пуни од тренутка  $t_1$  до  $t_2$  (сл.2.5.6.б и в) преко диоде  $D_1$ , затим празни од тренутка  $t_2$  до  $t_3$ , поново пуни од тренутка  $t_3$  до  $t_4$  кроз диоду  $D_2$ , затим поново



Сл.2.5.6.а) Усмерач са две диоде и филтарским кондензатором; б) и в) таласни облици напона

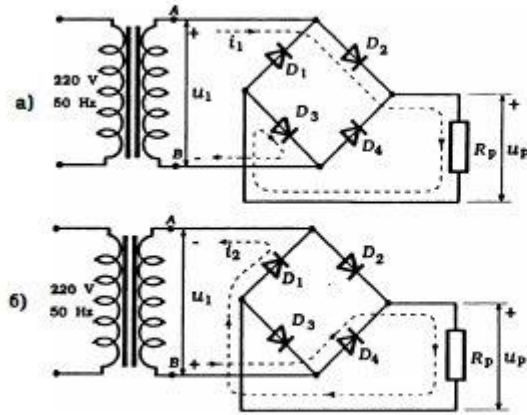
празни од тренутка  $t_4$  до  $t_5$ , итд. Код оваквог усмерача добијени једносмерни напон се мање мања. Трансформатор је равномерније оптерећен нако струја не тече увек кроз исти секундарни намотај. И овде је добијени једносмерни напон приближан амплитуди наизменичног напона. Највиши инверзни напон на диоди  $D_1$  настаје у тренутку када је напон  $u_1$  негативан и максималан. Тада се напон на кондензатору сабира са напонем  $u_1$  па је максималан инверзни напон на диоди  $D_1$  једнак двострукој амплитуди наизменичног напона. Главни недостатак овог усмерача је у томе што му је потребан двоструки секундарни намотај. Капацитивност филтарског кондензатора овде може да буде два пута мања него код једностраног усмерача јер је и време пражњења два пута мање. Пример: нека

је  $R=100 \Omega$  и  $RC > 2,5 T$ , где је  $T=20 \text{ ms}$ .  $C > 2,5 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \text{ s} / 100 \Omega = 500 \mu\text{F}$ .

(група б)

Исправљач са 4 диоде нацртај шему и објасни рад (без и са кондензатором) дај дијаграме напона и струја?

**ГРЕЦОВ (ИЛИ МОСНИ) УСМЕРАЧ.** - Усмерач са четири диоде је приказан на сл.2.5.7.а и б, а одговарајући таласни облици на сл.2.5.7.в и г. Када је напон на секундару трансформатора позитиван, струја тече од тачке А, кроз диоду  $D_2$ , потрошач  $R_p$  и диоду  $D_3$  ка тачки В. Када је напон на секундару негативан, струја тече од тачке В, кроз диоду  $D_4$ , потрошач  $R_p$  и диоду  $D_1$  ка тачки А. Види се да је у оба случаја смер струје кроз потрошач исти, па је струја кроз њега једносмерна. Максимални инверзни напон (на пример на диоди  $D_4$  у тренутку  $t'$

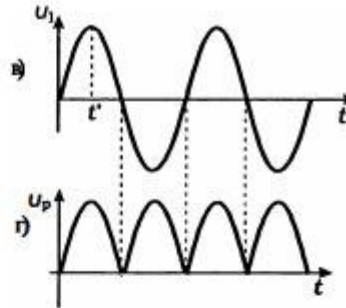


Сл.2.5.7. а) Усмерач са четири диоде и смером струје у позитивној полупериоди наизменичног напона; б) у негативној

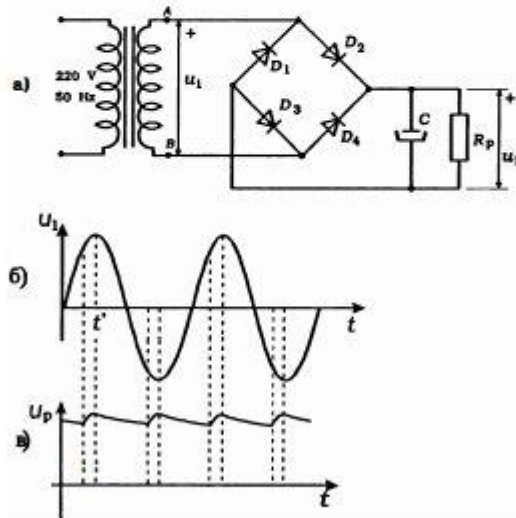
полупериоди наизменичног напона; б) у негативној

на сл.2.5.7.в) је једнак  $U_m$ , јер је на аноду доведен „+“, а на катоду „-“ крај наизменичног напона.

Коло на сл.2.5.7.а се такође ретко примењује у електронским уређајима па му се додаје кондензатор (сл. 2.5.8.а). Сада је напон на потрошачу равномернији (сл.2.5.8.в) и практично је исти као на сл.2.5.6.в. И у овом случају се филтарски кондензатор пуни у обе полупериоде, па је добијени напон ближи сталном једносмерном напону. Предност оваквог усмерача над усмерачем са сл.2.5.6.а је у употреби трансформатора са једним секундарним намотајем. Код усмерача на сл. 2.5.8.а једна диода треба да издржи инверзни напон једнак амплитуди наизменичног.



Сл.2.5.7. в) и г) таласни облици наизменичног и једносмерног напона

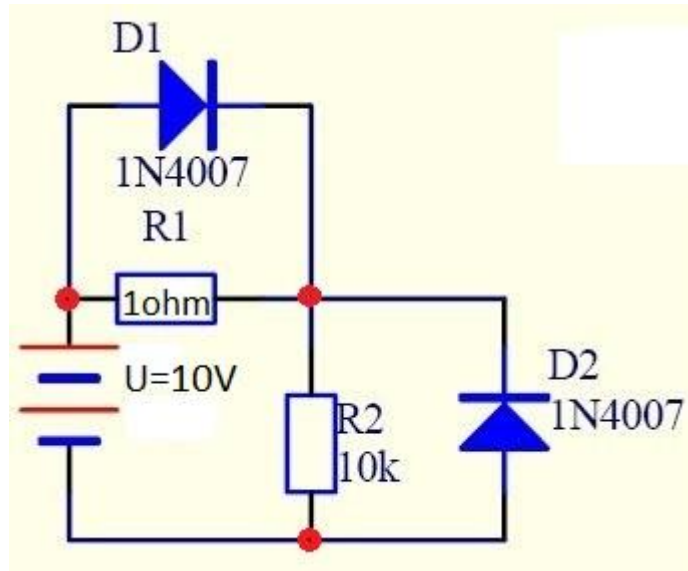


Сл.2.5.8. а) Усмерач са четири диоде и филтарским кондензатором; б) и в) облици наизменичног и једносмерног напона

Капацитивност филтарског кондензатора се одређује као и код двостраног усмерача.

3. За коло на слици израчунај напоне и све струје кроз сваку компоненту кола?(сматрати да је пад напона кроз директно поларисану диоду 0.7V) (група а)





Струја кроз диоду  $D_2$  не протиче јер је инверзно поларисана. На диоди  $D_1$  би требало да имамо стални пад напона директне поларизације од  $0.7V$  што би кроз отпорник од  $1\Omega$  требало да да струју од:

$$0.7V/1\Omega=0.7A$$

нормално оволику струју не дозвољава отпорник од  $10K\Omega$  па је он тај који ограничава максималну струју на вредност од приближно:

$$10V/10001\Omega=0.9999mA$$

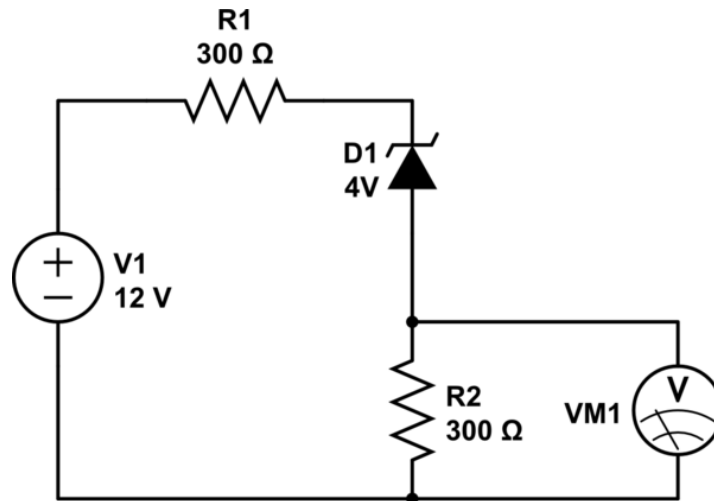
зато је пад напона на отпорнику од  $1\Omega$  свега:

$$1\Omega \cdot 0.9999mA=0.9999mV$$

$$0.9999mV < 0.7V$$

што је недовољно да проведе диода јер њој треба  $0.7V$  минимално, па кроз диоду  $D_1$  не иде никаква струја.

(група б)



Напон од 12V је већи од зенеровог напона пробоја од 4V (зенерица је инверзно поларисана) те једначина написан по другом Кирхофовом закону гласи:

$$(12V-4V)/(300\Omega-300\Omega)=13.333mA$$

Пад напона на отпорнику  $R_1=300\Omega$  и на отпорнику  $R_2=300\Omega$  је потпуно исти и износи:

$$300\Omega \cdot 13.333mA = 4V$$

Дакле посматрано коло се понаша као троструки делитељ напона по 4V на сваком елементу кола!

4. (група а)

Ако је максимална снага транзистора 100W, колика сме да му буде максимална побудна струја базе а да не изгори (напомена: напон између колектора и емитора при  $I_b=0A$  је  $U_{ce}=25V$ ,  $\beta=16$ )?

Струја колектора је:

$$I_c = \beta \cdot I_b \Rightarrow I_b = I_c / \beta$$

$$100W = 25V \cdot I_c \Rightarrow I_c = 100W / 25V = 4A$$

$$\Rightarrow I_b = I_c / \beta = 4A / 16 = 0.25A \text{ максимално}$$

побудна струја базе како не би прешли 100W.

(група б)

Колики сме максимални напон бити између колектора и емитора транзистора ако му је  $P_{\max}=17W$ ,  $I_b=1mA$  и  $\beta=45$ ?

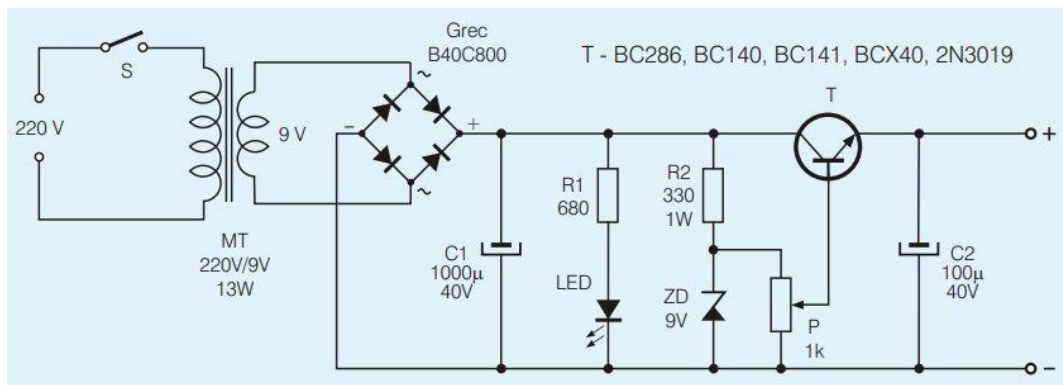
$$P_{\max}=U_{ce} \cdot I_c = U_{ce} \cdot \beta \cdot I_b \Rightarrow$$

$$U_{ce} = P_{\max} / I_c = P_{\max} / (\beta \cdot I_b) =$$

$$17W / (45 \cdot 1mA) = 377.77V$$

5. (група а)

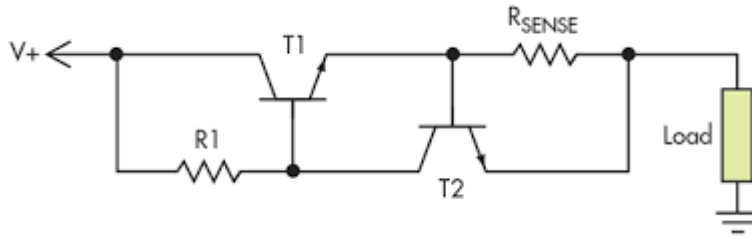
У ком опсегу се могу кретати излазни напони за коло на приказаној слици?(сматрати да је пад напона на деоници база емитор транзистора  $0.7V$ )



Излазни напон је у опсегу напона зенер диоде умањено за пад напона база емитор транзистора од приближно  $0.7V$ . То значи од  $0V$  до  $9V - 0.7V = 8.3V$ ! Нормално ово важи докле год потрошач који није приказан на слици не повуче већу струју него што може овај стабилизовани исправљач да да.

(група б)

Израчунај напон и струју кроз потрошач на слици? (Познати су следећи параметри:  $R_{\text{sense}}=10\Omega$ ,  $V=+20V$ ,  $U_{be}=0.7V$  за оба транзистора,  $R_1=100\Omega$ ,  $\beta_1=45$ ,  $\beta_2=250$ ,  $R_p=10\Omega$ ,  $U_{\text{cesat}}=0.3V$ ).



Ако урадимо анализу кола можемо писати следећу једначину по другом Кирхофовом закону од улазног напона напајања  $+V$  преко  $R_1$ , деонице база емитор  $T_1$ ,  $R_{sense}$  и  $R_{potrosaca}$  :

$$+V - R_1 \cdot I_{b1} - U_{be1} - (R_{sense} + R_{potrosaca}) \cdot \beta_1 I_{b1} = 0$$

одакле сређивањем добијамо:

$$I_{b1} = (+V - U_{be1}) / (R_1 + (R_{sense} + R_{potrosaca}) \cdot \beta_1) = 19.3 \text{ mA}$$

$$I_{c1} = I_{b1} \cdot \beta_1 = 19.3 \text{ mA} \cdot 45 = 868.5 \text{ mA}$$

$$I_{e1} = I_{b1} + I_{c1} = 887.8 \text{ mA}$$

Пад напона на отпорнику-шанту  $R_{sense}$  где се детектује вредност струје је:

$$U_{R_{sense}} = I_{e1} \cdot R_{sense} = 887.8 \text{ mA} \cdot 10 \Omega = 8.878 \text{ V} > 0.7 \text{ V}$$

Што значи да ће морати да проради струјна заштита на транзистору  $T_2$  јер ће морати  $T_2$  да проведе и да украде део побудне струје базе  $T_1$  како би ограничио струју да му напон између базе и емитора  $T_2$  не пређе  $0.7 \text{ V}$ . Значи сада када смо закључили да мора да проради струјна заштита струја је на основу тога да не прелази  $0.7 \text{ V}$  на шанту  $R_{sense}$  износи :

$$0.7 \text{ V} / 10 \Omega = 70 \text{ mA}$$

А напон на потрошачу је:

$$70 \text{ mA} \cdot 10 \Omega = 700 \text{ mV} = 0.7 \text{ V}$$

б. (група а)

Директно поларисан ПН спој и пробој услед превелике струје објасни? (види књигу и предавања)

(група б)

Инверзно поларисан ПН спој и пробој услед превисоког инверзног напона објасни? (види књигу и предавања)

Слободан Вуковљак  
Предметни професор