

SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET
Stručni studij elektrotehnike

Završni rad

POZADINSKO TV OSVJETLJENJE I OLED TEHNOLOGIJA

Rijeka, ožujak 2016.

Gabrijel Cigula

0069058722

SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET

Stručni studij elektrotehnike

Završni rad

POZADINSKO TV OSVJETLJENJE I OLED TEHNOLOGIJA

Mentor: Doc. dr sc. Saša Sladić

Rijeka, ožujak 2016.

Gabrijel Cigula

0069059228

TEHNIČKI FAKULET

Povjerenstvo za završne ispite
preddiplomskog stručnog studija elektrotehnike
Br.: 602-05/15-14/37
Rijeka, 06.03.2015.

Z A D A T A K
za završni rad

Pristupnik: Gabrijel Cigula

Matični broj: 0069058722
Lokalni matični broj: 12800020

Naziv zadatka:

POZADINSKO TV OSVJETLJENJE I OLED TEHNOLOGIJA

Naziv zadatka na
engleskom jeziku:

LCD BACKLIGHTS AND OLED TECHNOLOGY

Sadržaj zadatka:

Opišite teoriju pozadinskog osvjetljenja kod LCD (eng. *liquid cristal display*) zaslona sa stajališta učinskog pretvarača. Razmatranje upotpunite rezultatima simulacije. U razmatranju se usmjerite na upotrebu OLED (eng. *organic light emitting diode*) tehnologije.


Zadano: 17.03.2015.

Mentor:


Doc. dr. sc. Saša Sladić



Predsjednica Povjerenstva:


Izv. prof. dr. sc. Vera Gradišnik

Zadatak preuzeo dana: 17.03.2015.


(potpis pristupnika)

Dostaviti:

- Predsjednica Povjerenstva
- Mentor
- Djelovođa Povjerenstva
- Evidencija studija
- Pristupnik
- Arhiva Zavoda

SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET

Stručni studij elektrotehnike

IZJAVA

Sukladno članku 10. "Pravilnika o završnom radu, završnom ispitu i završetku stručnih studija" Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, izjavljujem da sam samostalno izradio završni rad prema zadatku za završni rad pod brojem 602-05//15-14/37 (Pozadinsko TV osvjetljenje i OLED tehnologija) uz konzultiranje s mentorom.

Gabrijel Cigula

Rijeka, ožujak 2016.

0069058722

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. LCD	2
3. MRTVI I ZAGLAVLJENI PİKSELI	6
4. POZADINSKO TV OSVJETLJENJE	7
4.1 Katodna cijev	7
4.2 LED	12
4.3 Simulacija LED rasvjete	17
4.3.1 Shema spajanja LED dioda bez povratne veze	17
4.3.2 Shema spajanja LED doda sa povratnom vezom	20
4.3.2.1 Negativna povratna veza	21
4.3.2.2 PI regulator	23
4.3.2.3. PWM- Modulacija širine impulsa	25
4.3.2.4 IGBT	27
4.4 Katodna cijev vs LED	29
5. KONTRAST	32
6. OLED	33
7. ZAKLJUČAK	38
8. POPIS LITERATURE	39
8.1 Internetski izvori	39
8.2 Slike	42

1. UVOD

Katodne cijevi za svoj rad zahtijevaju velik broj električnih kontakata, a to je ujedno najveći uzročnik kvarova koji su se mogli pojaviti kod televizora. Danas, svijet teži za uređajima manje potrošnje električne energije te izbjegavanju korištenja štetnih, samim time i smrtonosnih elemenata. Kako katodne cijevi rade na vrlo visokom naponu te u sebi sadrže štetne elemente kao što su živa, argon i slično, stručnjaci su se odlučili prijeći na LED pozadinsko osvjetljenje. Svojom značajno manjom potrošnjom, većom iskoristivošću te brojnim drugim prednostima, LED diode pokazale su se kao idealna zamjena za katodne cijevi. Tako danas televizori koriste LED pozadinsko osvjetljenje.

Kako tehnologija napreduje, tako dolazi i do otkrića novih materijala i njihovih kombinacija koji uvelike mogu promijeniti sadašnju tehnologiju. U tu noviju tehnologiju spadaju i OLED - organske LED diode. Njihovo otkriće drastično utječu ne samo na televizor, nego i na sve ostale uređaje koji posjeduju zaslon, kao što su mobiteli, pametni satovi, prijenosna računala i slično. Iako ta tehnologija još nije u potpunosti usavršena, ona već i sad ima drastično bolju kvalitetu slike, a što je još bitnije, troši zanemarivo malu količinu električne energije te se izrađuju od organskih materijala koji nisu štetni za okoliš i za nas.

2. LCD

LCD (engl. *liquid crystal display*) je vrlo tanak zaslon s tekućim kristalima ili „propusni“ zaslon. On za prikaz slike koriste tehnologiju tekućih kristala. Slika koja se prikazuje na zaslonu sastoji se od velikog broja (nekoliko milijuna) piksela, a svaki taj piksel se dijeli na dodatna tri podpiksela, po jedan za svaku primarnu boju (crvena, zelena i plava), koji kada su osvijetljeni pozadinskim osvjetljenjem daju sliku na zaslonu. Svaki piksel ima svoj jedan ili više tranzistora, ovisno o tehnologiji izrade, [1].

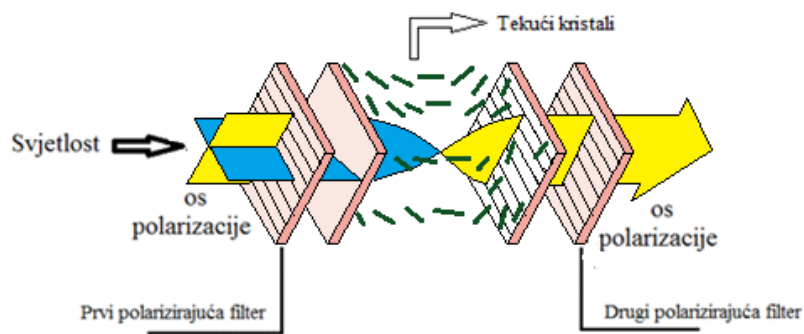


Slika 1: LCD zaslon (foto Cigula)

Tekući kristali su štapićastog oblika i imaju svojstvo, lomljenja valova svjetlosti. Svaki kristal djeluje kao okidač, ili dopušta svjetlu da prođe ili ga blokira. Takvim propuštanjem i blokiranjem svjetla dobivamo sliku na zaslonu. Kada električnu struju propustimo kroz slojeve tekućih kristala, oni se okreću u smjeru struje, a kada ju ne propustimo onda se oni poslože paralelno u odnosu jedni na druge, kao što je prikazano na slici 2 i 3. Ti slojevi djeluju i kao polarizator, tj. ne filtriraju svjetlosne valove, osim onih koji su usmjereni u određenom smjeru. Bez tekućih kristala, svjetlost koja prolazi kroz jednu os bi bila blokirana drugom osi, [2], [3].

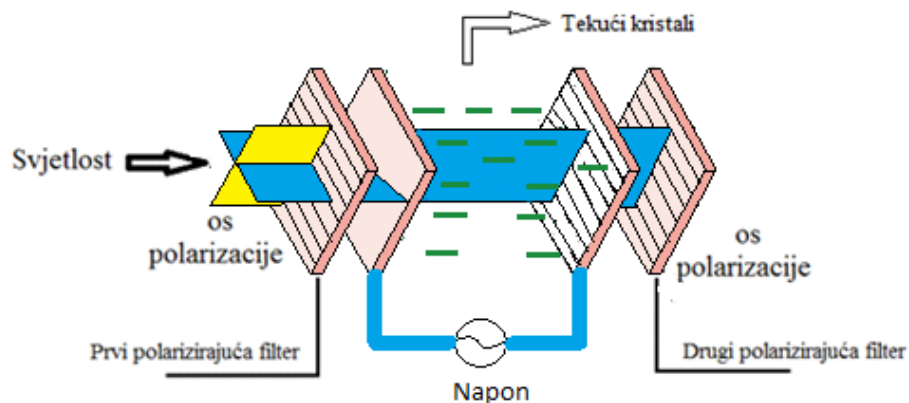
LCD zaslone koji se danas koriste sastoje se od dva polarizirajuća filtera, jedan propušta svjetlost u vertikalnom, a drugi u horizontalnom smjeru. Između polarizirajućih filtera nalaze se dvije površine koje služe za poravnavanje molekula tekućih kristala, a između njih se nalazi tanak sloj tekućeg kristala. [1], [2], [6].

Uključenjem pozadinskog osjetljenja svjetlost dolazi na prvi filter. U početnom stanju napon nije priključen između dviju površina te su one okrenute za 90° jedna prema drugoj. Iako su okrenute jedna prema drugoj, kroz njih prolazi svjetlost, jer se i molekule tekućeg kristala okreću po osi kojom svjetlost prolazi, kao što je prikazano na slici 2 te tako dobivamo sliku.



Slika 2: Ilustracija prolaza svjetlosti kada nije priključen napon [1]

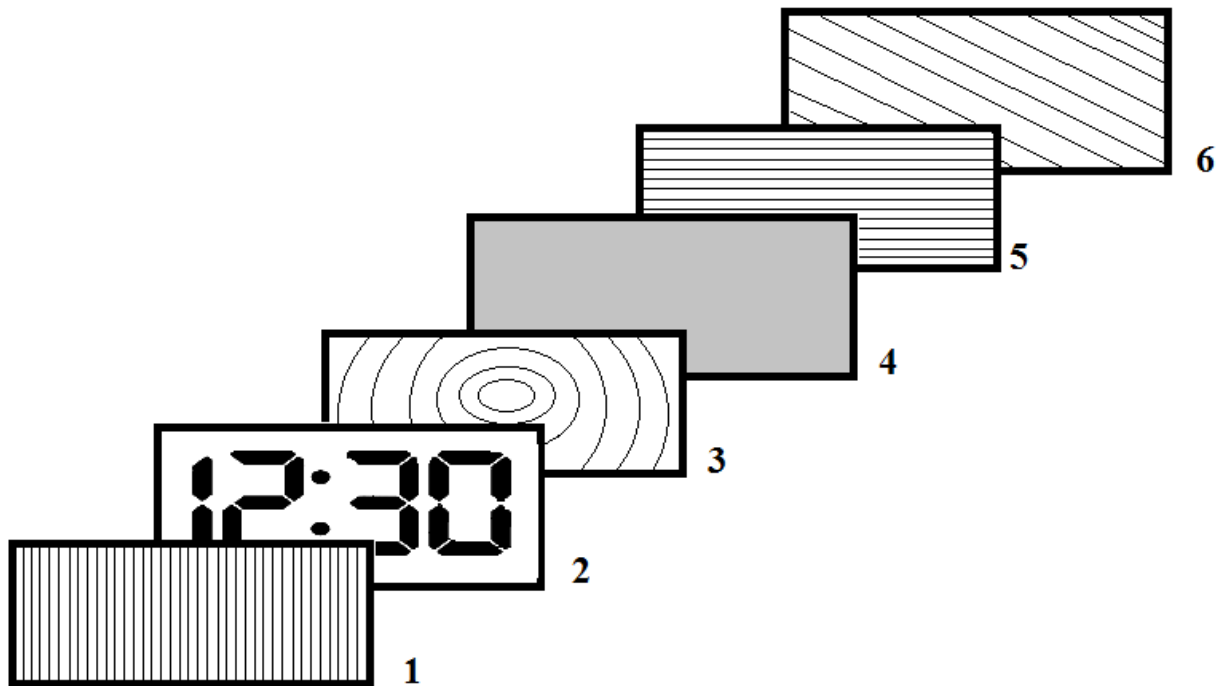
Kada ne želimo prolazak svjetlosti (najčešće kod mračnih scena) tada priključimo napon između dvaju površina te se zatim molekule kristala izravnavaju iz spiralnog u linearni oblik. Prilikom ispravljanja, osi rotacije su i dalje okomite jedna na drugu kao i u prethodnom slučaju, te se sada molekule ne okreću po osi i svjetlost ne može prolaziti dalje, kao što je prikazano na sljedećoj slici.



Slika 3: Ilustracija prolaza svjetlosti pod utjecajem napona [1]

LCD zaslon se sastoji od nekoliko različitih slojeva prikazanih na sljedećoj slici. Oni služe kako bi filtrirali svjetlost prema svojim potrebama za dobivanjem željene i čiste slike na zaslonu, [5], [6].

LCD se sastoji od sljedećih slojeva:



Slika 4: Ilustracija unutrašnjosti LCD zaslona [2]

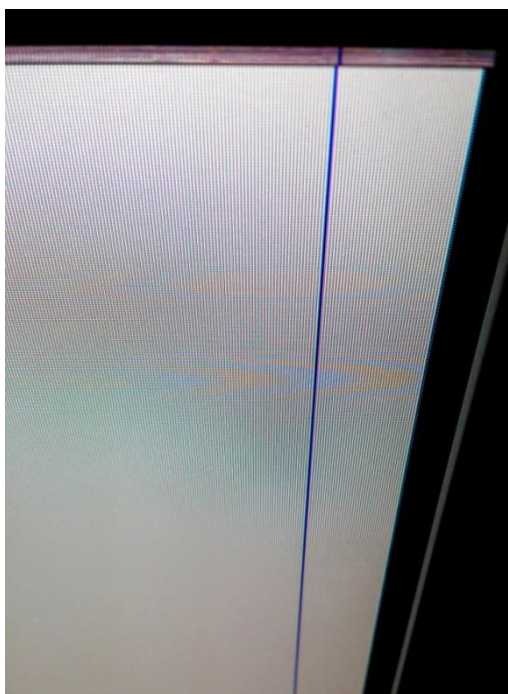
1. Vertikalni filterski panel koji polarizira ulaznu (pozadinsku) svjetlost
2. Staklena ploča sa ITO elektrodama koja određuje tamne nijanse na zaslonu
3. Izokrenuti tekući kristali
4. Staklena ploča sa zajedničkim elektrodnim slojem
5. Vodoravni filterski panel koji blokira ili propušta svjetlost
6. Reflektivna površina koja šalje svjetlost prema gledatelju

Prikaz slike kod LCD zaslona dobivamo uključivanjem ili isključivanjem pojedinih elemenata LCD-a, stoga postoje dvije vrste LCD zaslona:

- zaslon sa pasivnom matricom- prvi tipovi LCD zaslon su bili oni koji su koristili tehnologiju pasivne matrice. Naziv su dobili po tome što su LCD elementi poslagani u matricu i pritom spojeni na vodiče. Slika nastaje tako što se propusti struja kroz svaki redak i stupac posebno, pa kada dođe struja do onog piksela koji se mora aktivirati on se aktivira. Međutim, kada se aktivira piksel kroz koji teče struja, on se ubrzo isključi jer gubi napon koji „odlazi“ u novi red, a ako želimo ponovo aktivirati taj piksel onda moramo čekati da struja prođe sve retke i stupce te da ponovo dođe to tog piksela. Taj cijeli proces se odvija velikom brzinom, pa to ljudsko oko ne može primijetiti i time je ovo štedljiviji vrsta LCD zaslon. Zbog tog uključivanja i isključivanja pojedinog piksela gubi se kontrast i svjetlina, a pritom i kvaliteta slike, što je glavni razlog zbog čega se više ne koriste često takve vrste zaslona.
- zaslon sa aktivnom matricom- oni djeluju na gotovo istom načelu kao i zasloni sa pasivnom matricom. Glavna razlika je u tome što ovdje svaki element ima svoj tranzistor. On mu omogućava da ostane uključen koliko god je potrebno što daje bolji kontrast i daleko veći kut gledanja, [5]. Dodatni tranzistori su izvedeni u obliku tankog filma, pa se takvi zasloni nazivaju TFT zasloni. Zbog dužeg ostajanja upaljenosti piksela i korištenja većeg broja tranzistora ovakav tip cjenovno manje pristupačan u odnosu na prethodni, a i troši više električne energije, [2], [4], [6].

3. MRTVI I ZAGLAVLJENI PIKSELI

Kao što se može zaključiti, za bilo kakav prikaz slike na monitoru potreban je ogroman broj tranzistora. Bilo zbog tvorničke greške u proizvodnji ili mehaničkog oštećenja nastalog zbog nepravilnog rukovanja (udarci, nagli pokreti i sl.), na LCD monitoru se mogu pojaviti tzv. mrtvi ili zaglavljene pikseli prikazani na slici 5. Mrtav piksel može biti potpuno aktivan i tada je bijele boje ili potpuno neaktivan i tada je crne boje, dok je zaglavljene piksel u pravilu obojen nekom od boja najčešće crven, zelen ili plavi. Kod broja mrtvih piksela u većini slučajeva proizvođači sami određuju standarde koji se po njihovom mišljenju smatraju prihvatljivima. Premda je broj mrtvih piksela definiran normom ISO 13406-2, to većina proizvođača ignorira jer im to nije u interesu. Stoga, većina proizvođača obraća pozornost na kojem su se dijelu pojavili mrtvi pikseli, pa u ovisnosti o tome oni odlučuju o besplatnoj zamjeni monitora. Ukoliko se na proizvodu vidi oznaka „Class I“ to znači da taj proizvođač garantira ako se pojavi neki mrtvi piksel, da kupac ima besplatnu zamjenu monitora. Mrtvi pikseli se mogu pojaviti u nakupinama ili pojedinačno, a to nekada djeluje iritantno, [1], [7], [8].



Slika 5: Zaglavljene pikseli (foto Cigula)

4. POZADINSKO TV OSVJETLJENJE

Kako bi sliku dobivenu na LCD zaslonu mogli prikazivati potrebno je imati pozadinsko osvjetljenje. Ono služi da šalje svjetlost prema LCD zaslonu kroz određen broj filtera. Kada svjetlost dođe do zaslona, tada on propuštanjem ili blokiranjem svjetlosti kroz sebe daje vidljivu sliku. Do prije nekoliko godina koristile su se katodne cijevi, ali napretkom tehnologije danas se koriste LED diode kao pozadinsko osvjetljenje. Pozadinsko osvjetljenje stvara svjetlost (engl. *brightness*) koja se mjeri u broju kandela po metru kvadratnom (cd/m^2), a govori koliko jasno će se vidjeti slika na zaslonu u uvjetima velike okolne osvjetljenosti. Što je ova vrijednost veća to će se lakše vidjeti slika u uvjetima jake okolne osvjetljenosti. Tipičan televizor ima osvjetljenost od oko 350 cd/m^2 , a kod modernih i HD televizora ova se vrijednost može popeti i do 1000 cd/m^2 , [9], [10].

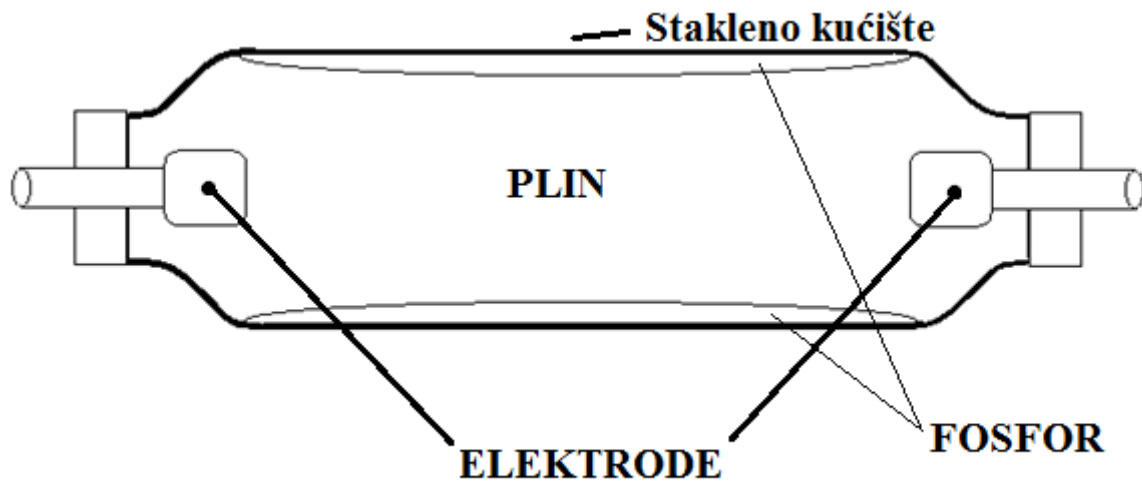
4.1 Katodna cijev

CCFL (engl. *cold cathode fluorescent lamp*) ili hladna katodna fluorescentna cijev, kod nas poznatija kao neonka ili katodne cijevi, su starija tehnologija koja se danas rjeđe koristi. Iako je to starija tehnologija većina sadašnjih televizora još uvijek koriste katodne cijevi kao pozadinsko osvjetljenje. One su cjenovno pristupačnije od LED osvjtljenja, a razlika u slici nije toliko očita, [10].



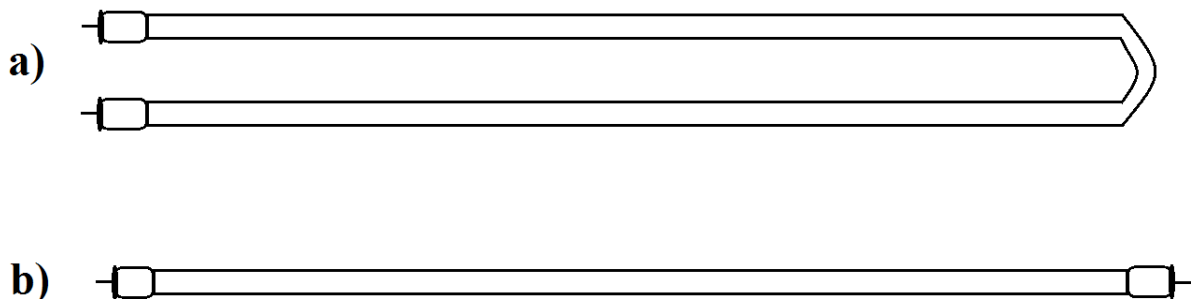
Slika 6: Katodne cijevi kod LCD televizora (foto Cigula)

Fluorescentna cijev u sebi sadrži plin pod niskim tlakom koji može biti: živa, argon, neon, ksenon i slično. Taj plin se nalazi u staklenoj cijevi koja je s unutarnje strane obložena fluorescentnim premazom, a on se izrađuje od mješavine raznih soli. Taj premaz služi da bi ljudsko oko vidjelo svjetlost, a kada ga ne bi bilo tada bi se stvaralo isključivo UV zračenje. Sa bočnih strana nalaze se elektrode, njihov cilj je da izbacuju elektrone koji u kontaktu sa plinom daju potrebnu svjetlost, taj proces se naziva proboj u plinu, [11].



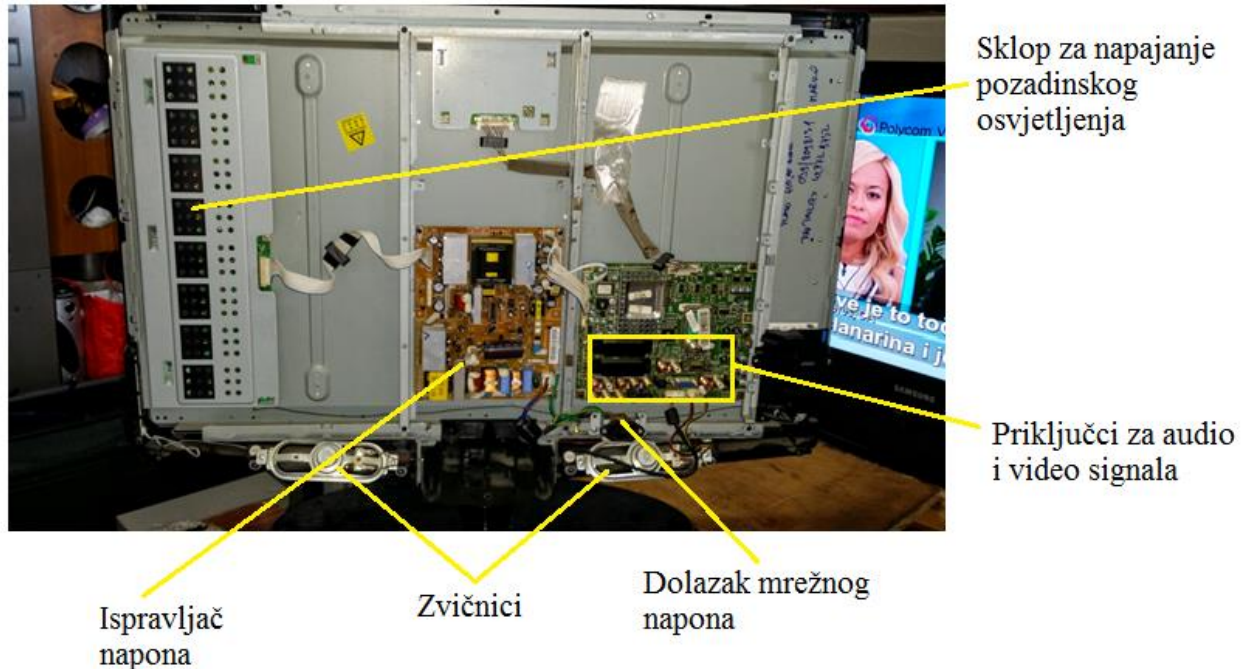
Slika 7: Ilustracija fluorescentne cijevi iznutra [3]

Katodne cijevi se nalaze sa stražnje strane zaslona, a kod monitora i manjih zaslona s bočnih ili gornjih strana. Kod manjih monitora i zaslona najčešće se koriste dvije cijevi, iako postoje izvedbe sa jednom ili više od dvije. Što se televizora tiče, tada broj katodnih cijevi prvenstveno ovisi o veličini zaslona te su postavljene horizontalno. U pravilu se koriste dva načina na koji mogu biti postavljene cijevi kod televizora, prvi su u obliku slova U kao na slici a), dok su drugi štapićasti kao na slici b).



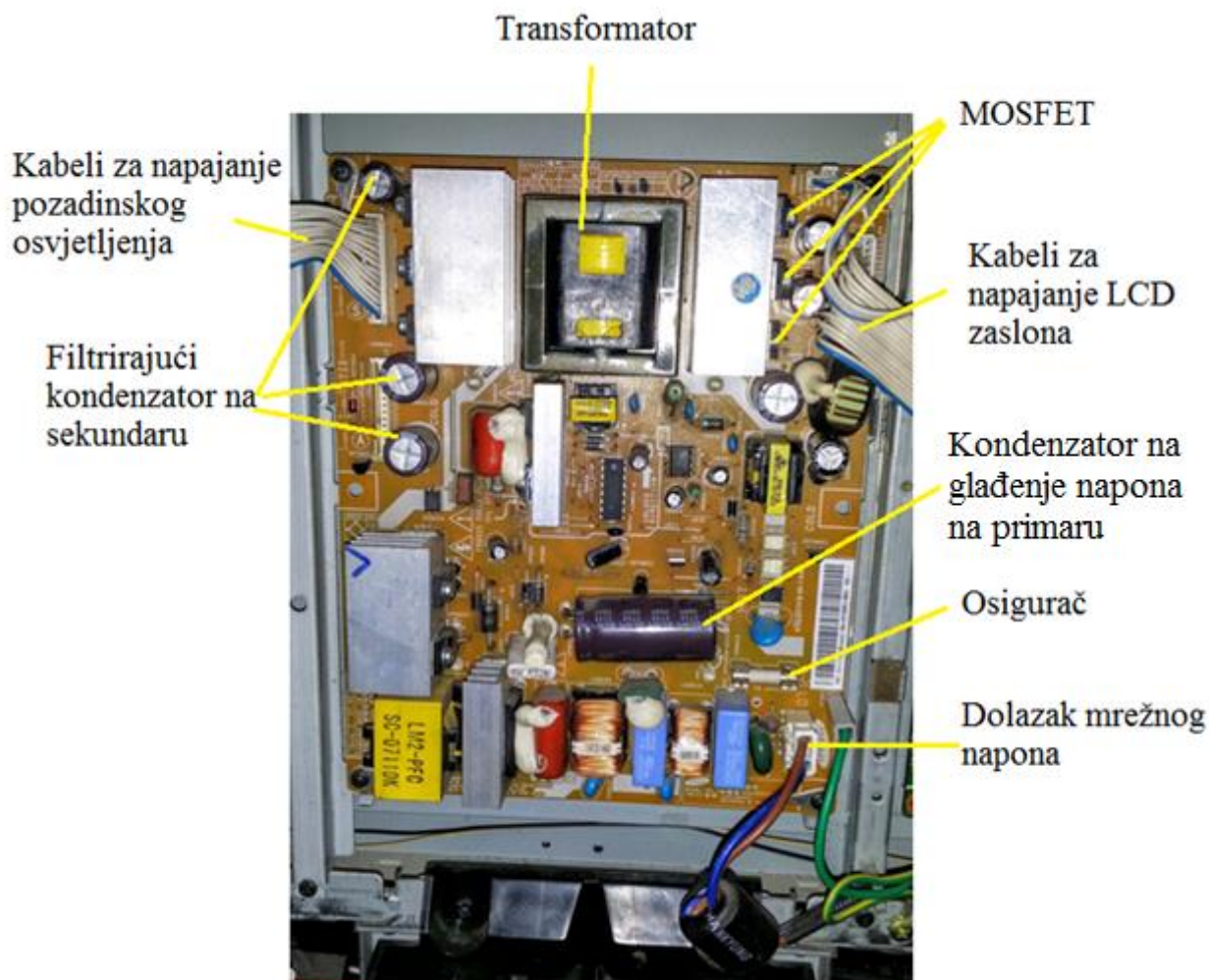
Slika 8: Ilustracija vrsta katodnih cijevi [3]

Takve cijevi se ne mogu spojiti direktno na mrežni napon kao žarulje sa žarnom niti. One moraju imati posebne pretvarače za stvaranje početnog visokog napona i uređaj za ograničavanje struje kroz fluo cijev.



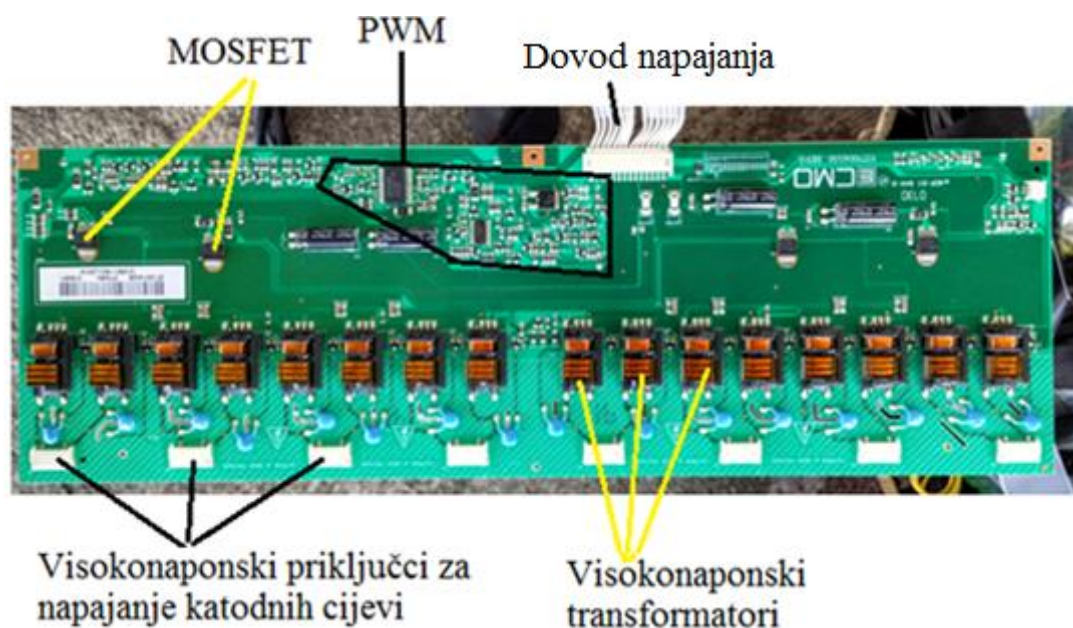
Slika 9: Pikaz sa stražnje strane LCD televizora (foto Cigula)

Kada visoki napon dođe na krajeve cijevi, tada se u roku od nekoliko sekundi elektroni počnu gibati velikom brzinom i međusobno sudarati. Prilikom njihovih sudaranja počnu stvarati UV zračenje unutar cijevi te se prilikom kontakta s fluorescentnim premazom dobiva vidljiva svjetlost. U ovisnosti o duljini cijevi ovisi napon koji je potreban da bi se ona upalila i dalje nastavila raditi. Kada priključimo televizor na mrežni napon 230V, 50Hz, tada on prvo dolazi na transformator. Tamo se početni napon transformira na manje napone (25V, 13V, 12V i 5.3V) te se šalje na sljedeće komponente kojima je potreban, a to su napajanje pozadinskog osvjetljenja i LCD zaslona.



Slika 10: Ispravljač napona kod LCD televizora (foto Cigula)

Što se tiče pozadinskog osvjetljenja, preko snopa kabela napon se šalje na iduću elektroničku ploču prikazanu na slici 11. Ona na sebi sadrži određen broj transformatora (ovisno o tome koliko veliki zaslon se koristi), a služe da bi povisili napon na napon potreban katodnim cijevima za njihov rad. Ta ploča na sebi sadrži PWM (engl. *Pulse-width modulatio*) - modulator. Njegov zadatak je da povisuje i snižava frekvenciju u ovisnosti da li korisnik želi svjetliji ili tamniji zaslon. Kod katodnih cijevi, ta frekvencija se može mijenjati od 20-80kHz, ali što je niža frekvencija to manje titra, pa ako dođe do nekog kvara u elektronicu, ljudsko oko bi moglo početi primjećivati te titraje što može biti iritantno, [10],[12],[13].



Slika 11: Upravljačka ploča katodnih cijevi (foto Cigula)

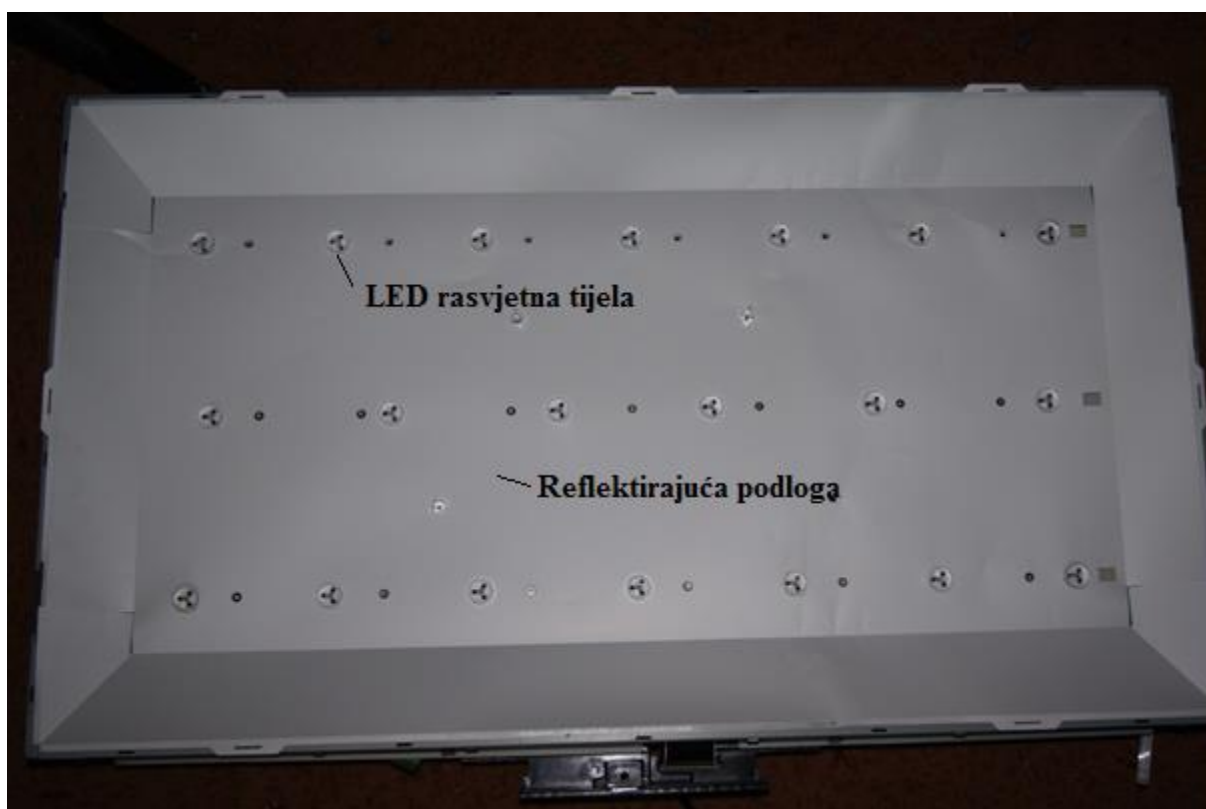
CCFL – katodne cijevi zahtijevaju poseban izmjenjivač za stvaranje visokog napona, visoke frekvencije i struju sinusoidnog oblika za njihov pravilan rad, [14].

Da bi se ti si zahtjevi zadovoljili potrebno je uzeti četiri ključna parametra u obzir prilikom projektiranja izmjenjivača:

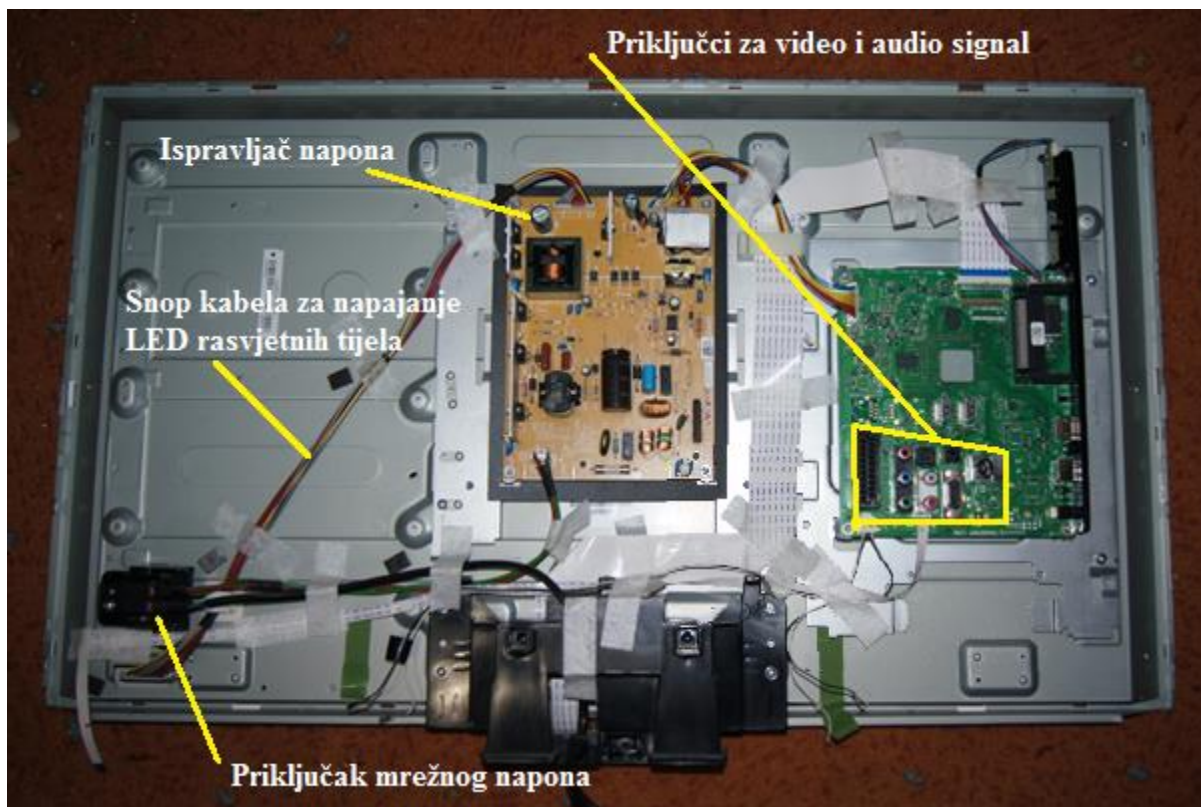
- Nazivni napon napajanja- je minimalan potrebni napon da bi se katodna cijev upalila. Važno je poznavati koliki početni napon je potreban za uključivanje katodnih cijevi, jer kako cijevi stare, tada im je s vremenom potreban sve veći i veći napon za uključivanja. Ukoliko se desi da pretvarač ne može proizvesti tako veliki početni napon, tada se cijevi neće upaliti, [39], [40].
- Izlazni nazivni napon- to je napon koji je potreban za rad katodnih cijevi poslije njihovog uključivanja. Taj napon se izražava u RMS (engl. root mean square) napon stabilnog stanja i on održava zadane karakteristike cijevi, [39], [40].
- Izlazna radna struja- to je najvažniji parametar katodnih cijevi jer ona određuje jačinu svjetlosti, potrošnju energije i očekivani životni vijek pozadinskog osvjetljenja, [39], [40].
- Radna frekvencija- je frekvencija izmjeničnog signala koja se koristi u pogonskom sklopu i može utjecati na jačinu svjetlosti. Idealna frekvencija varira od 20 do 80kHz u ovisnosti o željenosti jačine svjetla, [39], [40].

4.2 LED

LED (engl. *Light Emitting Diode*) ili svjetleće diode su trenutno najaktualnija svjetleća tijela pa su tako našla svoju primjenu u televizorima. Iako su otkrivena davne 1962. godine tek su početkom 21. stoljeća krenula u masovniju upotrebu. Do tada su se koristile samo gdje su bile nužno potrebne kao u medicini, jer je njihova proizvodnja, pa tako i krajnja cijena bila previsoka. Do prije nekoliko godina LED LCD televizori su bili također znatno skuplji u odnosu na LCD televizore, ali današnja sve masovnija uporaba LED dioda dovode do znatnog smanjenja cijene tih rasvjetnih tijela. Zbog svojih odličnih karakteristika u odnosu na katodne cijevi kao što su: veća korisnost, duži vijek trajanja, manja potrošnja električne energije i slično, danas se isključivo proizvode LED LCD televizori. Standardne izvedbe televizora sa LED osvjetljenjem prikazane su na slici 12. One su postavljene na trakama, a svaka traka ima određen broj LED dioda, u ovisnosti o veličini LCD panela, [15], [16], [17], [21].

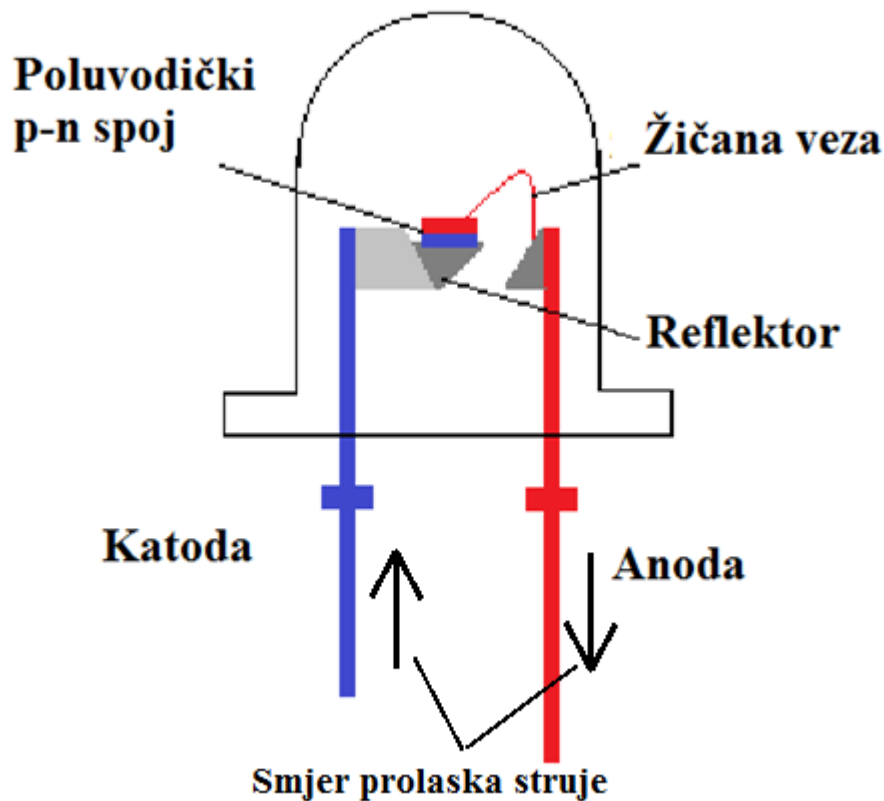


Slika 12. LED diode LCD televizora (foto Cigula)



Slika 13: Prikaz stražnje strane LED LCD televizora (foto Cigula)

Kao i obična dioda, LED dioda se sastoji od dva poluvodička sloja P - tip i N - tip, pri čemu P - tip ima veliku koncentraciju šupljina, a N - tip veliku koncentraciju slobodnih elektrona te između njih je suženi energetska prostor. Kada pustimo struju kroz diodu tada je ona propusno polarizirana, jer struja jedino može teći od N-tipa (katoda odnosno "-") prema P-tipu (anoda odnosno "+") , zato kažemo za diodu da je polupropusna. Kada elektroni dođu do šupljina oni ih popunjavaju, tada oni mijenjaju svoj energetska nivo, i pri tome oslobađaju energiju u obliku fotona. Svaki foton proizvodi sitnu česticu svjetlosti, a sve većim porastom brojem oslobđenih fotona dobivamo jače svjetlo. Pošto fotoni nisu vidljivi ljudskom oku diode je potrebno premazati nekim materijalom ukoliko želimo vidjeti tu svjetlost, a to je najčešće galij, arsen ili fosfor, [15], [20], [21].



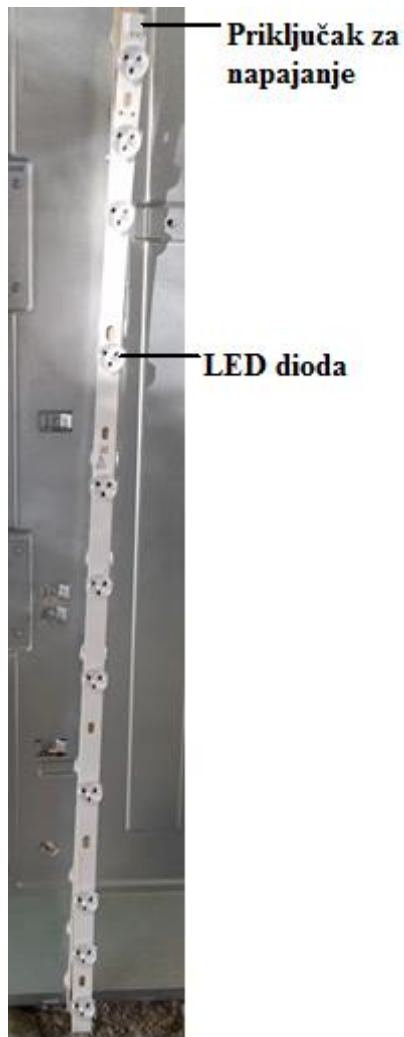
Slika 14: Ilustracija LED dioda

U LCD televizorima se koriste LED diode koje proizvode najčešće bijelu svjetlost kao što je prikazano na slici 14. Njihova snaga ovisi o broju dioda i veličini LCD panela koje moraju osvijetliti. One su postavljene u trakama, a svaka traka ima određen broj LED dioda kao što je prikazano na slici 15. Spojene su serijski, što im je glavni nedostatak, jer ukoliko naiđe preveliki napon i jedna pregori, tada cijela traka prestaje raditi.

Postoje dvije vrste LED dioda koje se ugrađuju kao pozadinsko osvjetljenje. Jeftinija, a samim time i više upotrebljivija je ona koja koristi čisto bijele LED diode, dok skuplja izvedba koristi RGB (crvenu, zelenu i plavu) diodu, te kombinacijom tih triju boja dobiva se bijela svjetlost. Prednost skuplje izvedbe je ta što se dodatno poboljšavaju performanse boja, [22], [23].

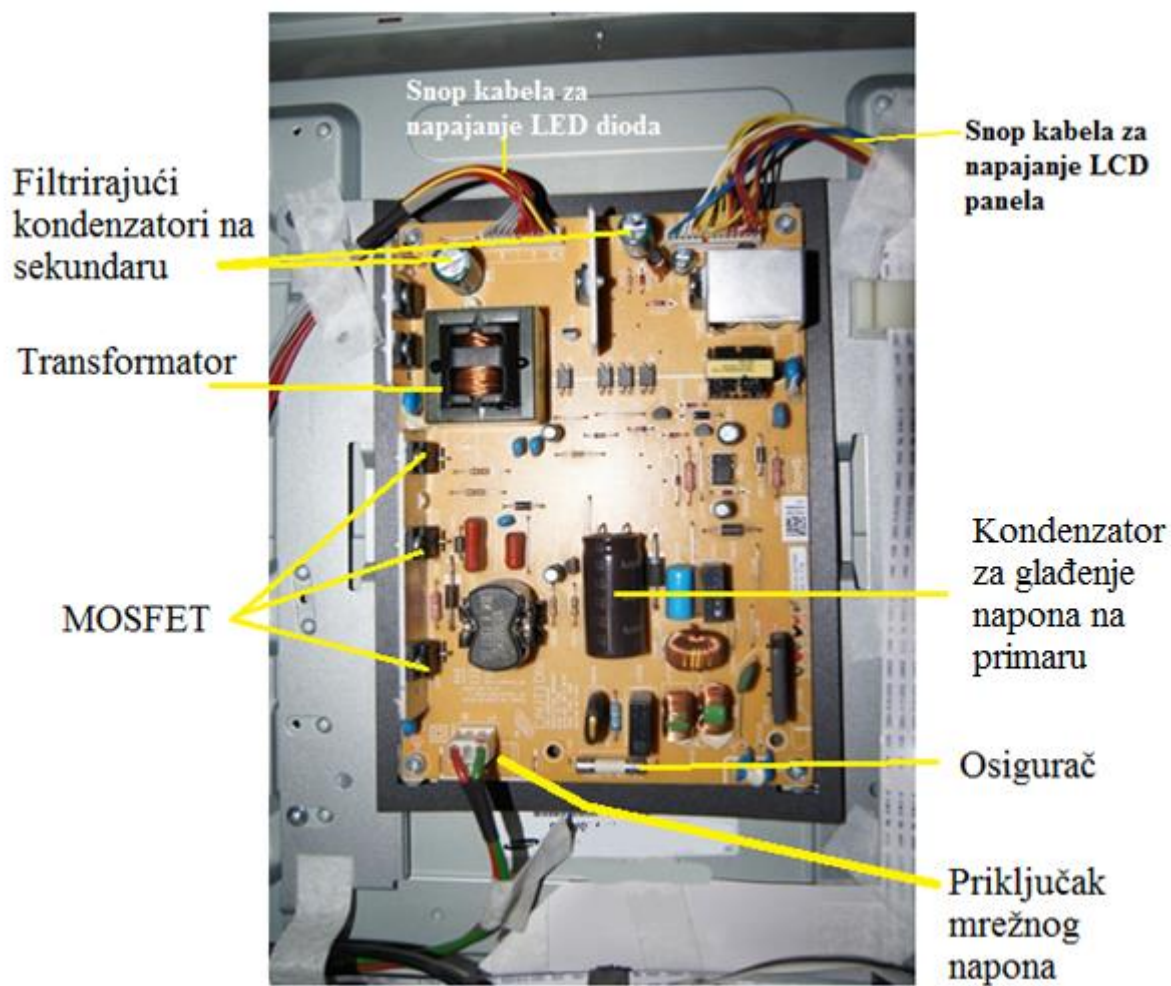
Kada govorimo o jačini LED dioda koje se ugrađuju u LED pozadinsko osvjetljenje tada mogu postojati tri vrste LED dioda:

1. Standardne LED diode < 50mA
2. Visoko strujne LED diode 50-150mA
3. Visoko učinske LED diode 150-1000mA



Slika 15: Serijski spoj LED dioda u traci (foto Cigula)

Kao i katodne cijevi tako i LED diode ne možemo spojiti direktno na mrežu. Njihov glavni razlog te nemogućnosti je što one rade na istosmjernom naponu i potrebno im je ograničiti struju. Da bi od izmjenične gradske mreže dobili istosmjerni napon željene veličine potreban je punovalni ispravljač sa greatzovim spojem. Korištenje greatzovog spoja ne neophodno, jer sam transformator ima ulogu samo da smanjuje vrijednost napona, a ne i da pretvara izmjeničnu komponentu struje u istosmjernu, stoga tu zadaću obavlja greatzov spoj. Na slici ispod prikazana je električna ploča punovalnog ispravljača sa greatzovim spojem, čija je uloga osim napajanja LED dioda da i napaja LCD panel. Takav gotovo pa identičan sklop vidamo i kod klasičnog LCD televizora, [21], [22], [23].



Slika 16: Ispravljač napona kod LED LCD televizora (foto Cigula)

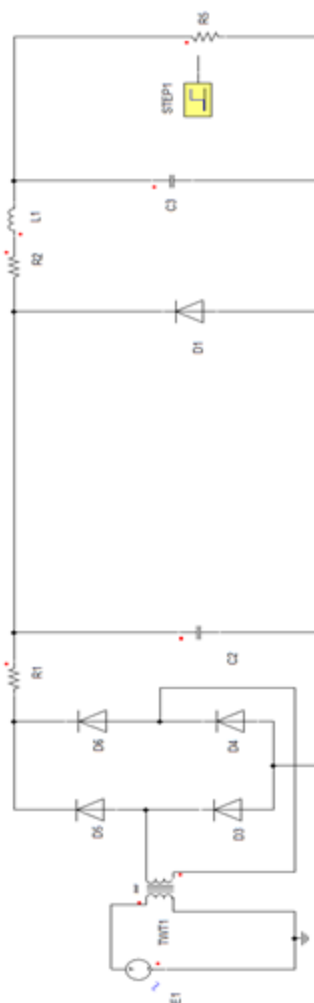
4.3 Simulacija LED rasvjete

Za konstantan intenzitet svjetlosti kod LED rasvjete potrebna je konstantna struja, pa je strujno reguliran pretvarač izvor napajanja LED rasvjetna tijela (engl. *LED Driver*).

Zadatak je simulacijom prikazati usporedbu jačine svjetlosti LED dioda korištenjem povratne veze i bez nje te prikazati prednosti koje pruža povratna veza.

4.3.1 Shema spajanja LED dioda bez povratne veze

Korištenjem programa Simplorer Simulation Center 7.0 izrađena je shema spajanja LED dioda na izmjeničnu mrežu.



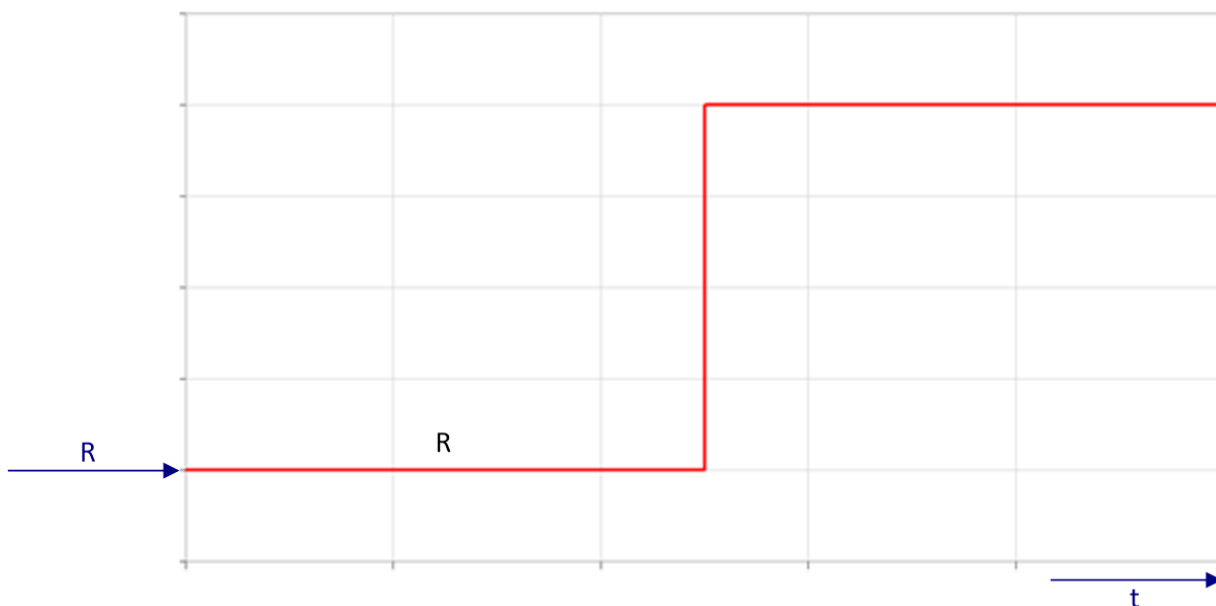
Slika 17: Shema izmjenični pretvarača bez povratne veze

Vrijednosti elemenata korištenih u simulaciji su sljedeći:

- $E1 = 230V, 50Hz$
- $TWT1 = K=0,25$
- D4-D6= diode početnih postavki
- $R1 = 1\Omega$
- $C2 = 0,47mF$
- $R2 = 10\Omega$
- $L1 = 0,2mH$
- $R5 =$ promjenjiv otpornik u ovisnosti o STEP funkciji
- $STEP1 =$ početna vrijednost 120Ω , krajnja 200Ω , vrijeme promjene $500ms$

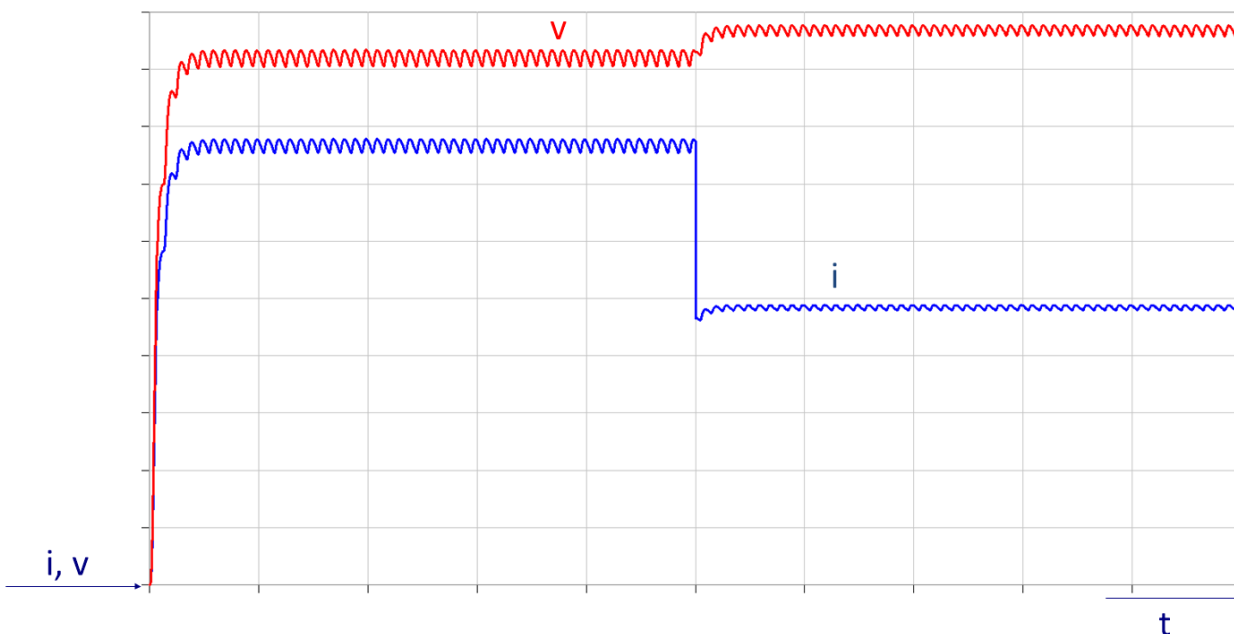
Na slici 17. prikazan je izmjenični pretvarač bez povratne veze. Izvor napajanja E1 predstavlja standardni mrežni napon od 230V, 50Hz, koji se pomoću transformatora transformira u manji ali i dalje izmjenični napon. Da bi ga pretvorili u istosmjerni napon koristimo greatzov spoj, a korištenjem otpornika, kondenzatora i zavojnica, dobivamo željeni istosmjerni napon i osiguranje od nailaska prevelikog napona koji bi mogao uništiti LED diode.

Otpornik R5 predstavlja serijski niz LED dioda. Njegov otpor ovisan je o STEP funkciji koji se mijenja u određenom vremenu. STEP funkcija simulira povećanje unutarnjeg otpora LED diode koji može biti izazvan porastom temperature ili nekim drugim faktorom. Na grafu 1. prikazan je iznos STEP funkcije u ovisnosti o vremenu.



Graf 1: Simulirani valni oblici STEP funkcije (20Ω/d.s., 200mS/d.s.)

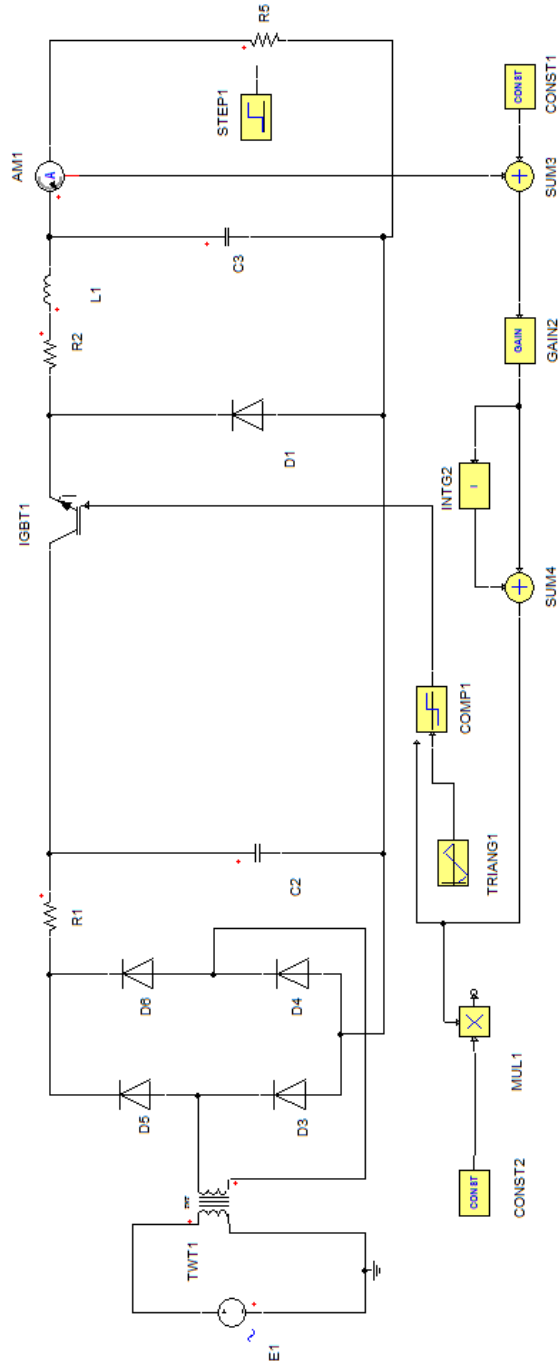
Pošto je to sklop bez povratne veze tada nema povratne informacije kojom bi mogla pratiti vrijednost struje. Kao što je se može vidjeti na grafu 2., u trenutku povećanja otpora struja kroz otpornik R5 pada te se ne vraća u početni iznos, što bi u praksi značilo slabije svijetljenje LED dioda.



Graf 2: Simulirani valni oblici struje i napona bez povratne veze (50mA/d.s., 5V/d.s., 100ms/d.s)

4.3.2 Shema spajanja LED doda sa povratnom vezom

Korištenjem programa Simplorer Simulation Center 7.0 izrađena je shema spajanja LED dioda na izmjeničnu mrežu.



Slika 18: Shema reguliranog ispravljачa za LED rasvjetu

Vrijednosti elemenata korištenih u simulaciji su sljedeći:

- E1= 230V, 50Hz
- TWT1= K=0,25
- D4-D6= diode početnih postavki
- R1= 1 Ω
- C2= 0,47mF
- IGBT1= bipolarni tranzistor početnih postavki
- R2= 10 Ω
- L1= 0,2mH
- R5= promjenjiv otpornik u ovisnosti o STEP funkciji
- STEP1= početna vrijednost 120 Ω , krajnja 200 Ω , vrijeme promjene 500ms
- CONST1= konstanta iznosa 0,2
- GAIN2= 70
- INTG2= 100
- CONST2= konstanta iznosa 0,05
- TRIANG1= amplituda= 10, frekvencija 1kHz

Pošto su sheme izmjeničnih pretvarača sa povratnom vezom i bez nje gotovo pa identične, samim time su i elementi jednaki. Jedina, razlika je povratna veza koja je prikazana na slici 18. Ona se sastoji od senzora struje koji očituje vrijednost struje, negativne povratne veze, konstanti, PI regulatora, PWM-a te bipolarnog tranzistora. Radi bolje razumijevanja svaki će element biti detaljnije opisan u nastavku.

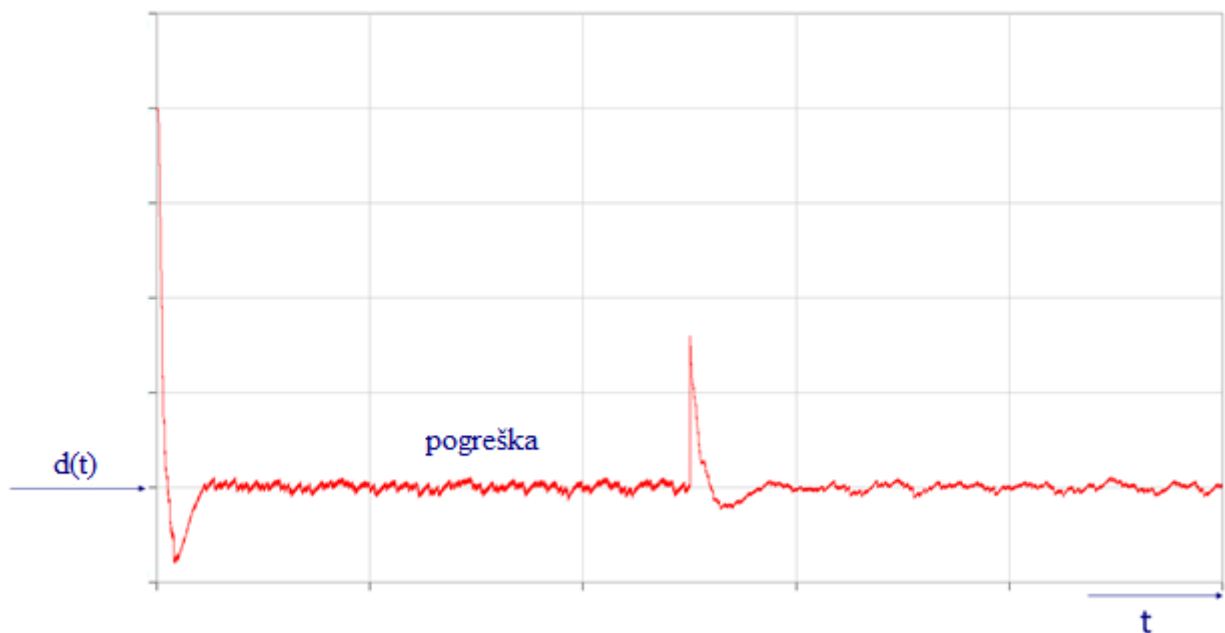
4.3.2.1 Negativna povratna veza

Da bi se mogla održavati željena jačina svjetlosti kod pozadinskog osvjetljenja, potrebno je imati povratnu vezu. Ona služi da se signal vraća s izlaza na ulaz, gdje se uspoređujući sa izlaznom veličinom promatra željena vrijednost, te na osnovu izračunate pogreške ispravlja se izlazna vrijednost. Gotovo pa svaki današnji proces sadrži neku vrstu povratne veze, ona može biti temperatura, pomak, tlak, napon, dok u slučaju kod televizora je ta mjerena veličina struja. Kao što je već prije spomenuto, promjenom vrijednosti struje smanjuje se ili povećava intenzitet svjetlosti LED dioda. Stoga korištenjem povratne veze održava se željena vrijednost. [24], [25].

Kao što sam naziv govori, negativna povratna veza smanjuje izlazni signal i pojačanje ukupnog pojačala. Iako zvuči nelogično da se namjerno smanjuje izlazni signal, to zapravo ima smisla jer time dobivamo niz drugih poboljšanja kao što su:

- stabilizacija pojačanja, ona čini pojačanje neosjetljivim na razne parametre kao što je temperatura.
- Smanjuje učinak nesavršenosti komponenata npr. bipolarnog tranzistora čija pojačanja mogu vrlo varirati prilikom malih promjena kao što su nečistoće.
- Utječe na ulaz i izlaz impedancija, čime se postiže gotovo idealna karakteristika pojačala.

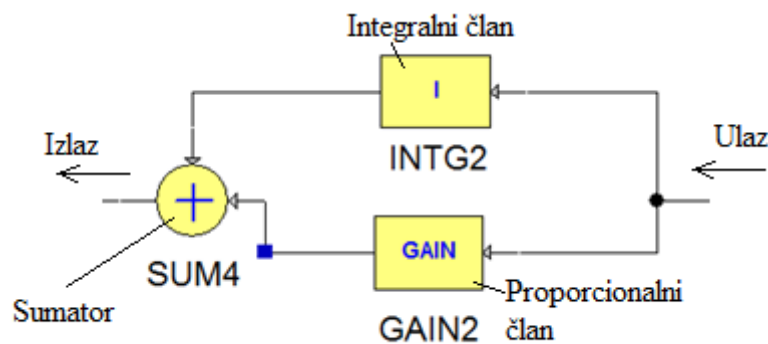
Na shemi je to SUM3, ona uspoređuje vrijednost struje koju očituje ampermetar sa konstantom koja je na shemi prikazana elementom CONST1. Kada je sve u ravnoteži tada iznos povratne veze je 0, a bilo kakvom promjenom vrijednosti elemenata mijenja se iznos povratne veze te ona šalje dalje informaciju o potrebi za smanjivanjem ili pojačavanjem signala PI regulatoru. Na grafu 3. prikazana je negativna povratna veza sa pogreškom, [26].



Graf 3: Simulirani valni oblici negativne povratne veze (50m/d.s., 200ms/d.s.)

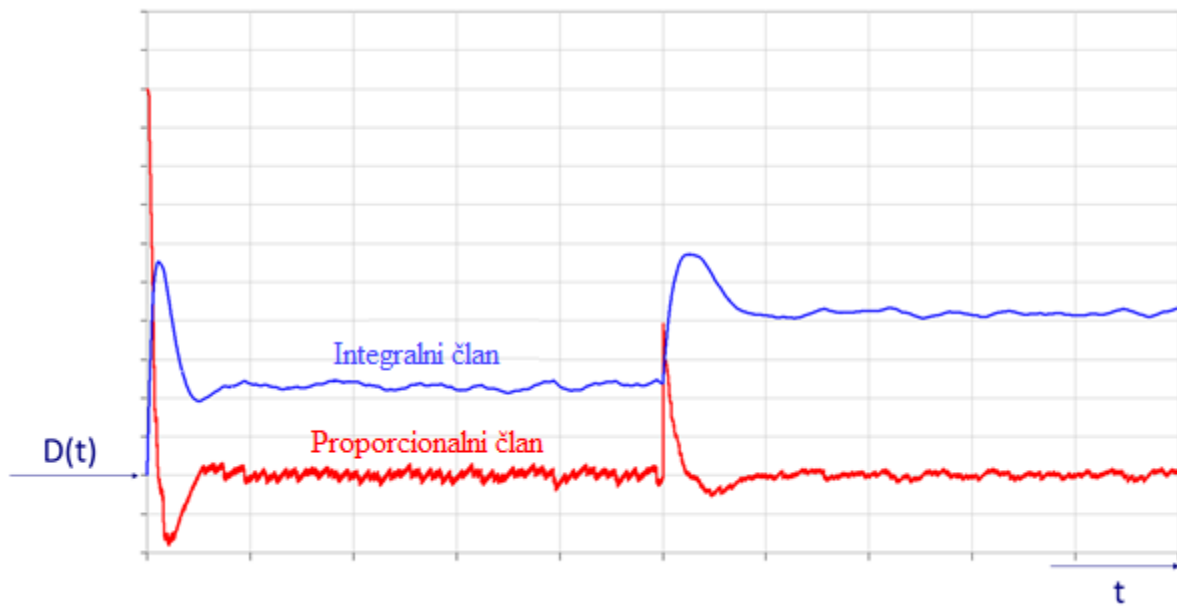
4.3.2.2 PI regulator

Naziv je dobio po tome što se sastoji od proporcionalnog člana na shemi označenog GAIN2 i integralnog člana na shemi označenog INTG2. P-regulator, ima ulogu praćenja stanja sustava te prilikom poremećaja u sustavu osigura prethodno regulirano stanje. Kako se u simulaciji povećava otpor u trenutku 500ms tada i struja počne padati, pa regulator to primijeti te želi vratiti struju u početno stanje. Da bi ju mogao vratiti na približan iznos potreban mu je I-integrator. On ima ulogu eliminira pogrešku u ustaljenom stanju, [28], [29], [30].



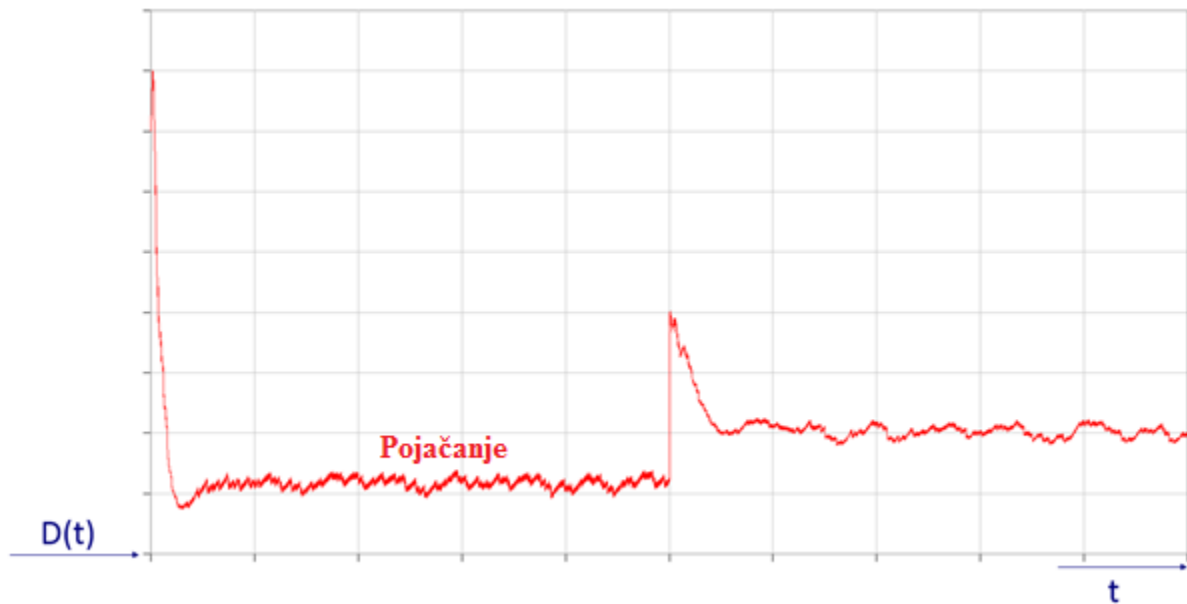
Slika 19: Shema prikaza PI regulatora sa sumatorom

Prilikom pokretanja simulacije dobiva se graf 4. On pokazuje promjenu iznosa regulatora prilikom povećanja otpora te povećanje iznosa integratora kako bi se održao željeni iznos struje.



Graf 4: Simulirani valni oblici integralnog i proporcionalnog člana (1/d.s., 100mS/d.s)

Kako bi zbroji signale integralnog te proporcionalnog člana potreban je sumator, na shemi označen kao SUM4. Njegova uloga je da priključenjem pojačala dodatno pojačavamo signal kada je to potrebno. Pozitivna strana je ta što pojačavanjem signala konstantno se održava željena vrijednost struje ili neke druge tražene veličine. Ona ima ulogu da zbraja pojačanja PI regulatora te dalje šalje signal prema PWM-u. Kao što je prikazano na grafu 5. u trenutku porasta otpora STEP funkcije prikazane na grafu 1. trenutno se povećava signal $d(t)$ kako bi struja ostala nepromjenjena, [27].

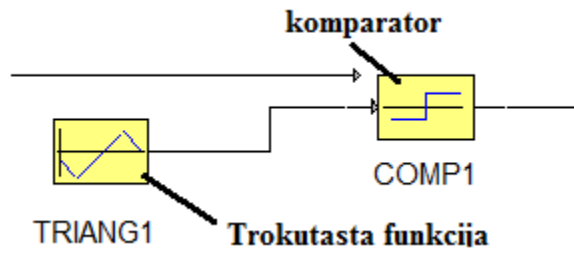


Graf 5: Simulirani valni oblici faktora opterećenja prilikom povećanja otpora trošila (2/d.s., 100ms/d.s.)

4.3.2.3. PWM- Modulacija širine impulsa

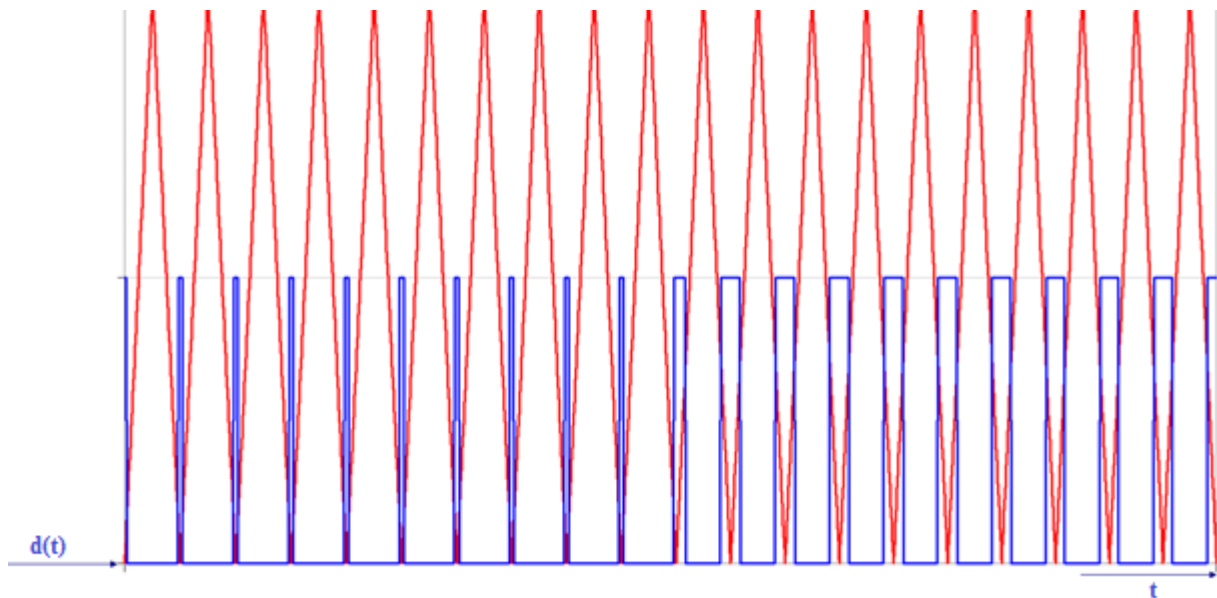
PWM (engl. *Pulse-width modulatio*) je tehnika koja se koristi za smanjivanje i pojačavanje osvjetljenja LED rasvjetnog tijela. Djelovanje se zasniva na pomjeni faktora opterećenja, što je veći faktor opterećenja to LED diode više svijetle i obrnuto, uglavnom se to radi o niskim frekvencijama od 180-240Hz. Glavne prednosti koje pruža PWM su te što pruža veliki raspon mogućeg osvjetljenja, brzo djeluje na uključivanje i isključivanje LED dioda te se struja može držati u zadanim vrijednostima radnog ciklusa, što dovodi do nemogućnosti dolaska preopterećenja. No pošto ništa nije idealno tako se i ovdje susreću problemi. Problem je što se sve odvija na niskim frekvencijama, stoga ljudsko oko može primijetiti u nekim situacijama treptanje, pogotovo kada je pozadinsko osvjetljenje na minimumu, što može dovesti do glavobolje i mučnine te je iritantno, [31].

PWM se može koristiti kao gotov element, a može i kao kombinacija dvaju elemenata kao što je to i učinjeno slika 20.. Prvi je TRIAGN1 koji označava trokutastu funkciju, on šalje svoj signal u drugi element koji je komparator, na shemi označen kao COMP1., njegova uloga je da kombinacijom dvaju ulaznih signala daje jedan željeni te ga dalje prosljeđuje.



Slika 20: Shema prikaza PWM modulatora

Kao što se može vidjeti na sljedećem grafu 6., prilikom povećanja otpora trokutasta funkcija se ne mijenja pošto je to konstantna funkcija, ali zato se mijenja iznos komparatora da se održi željen iznos struje. Kako bi se bolje vidjela ta promjena, prikazan je samo dio simulacije od 490ms do 510ms, pošto se u tom dijelu odvija promjena otpora.

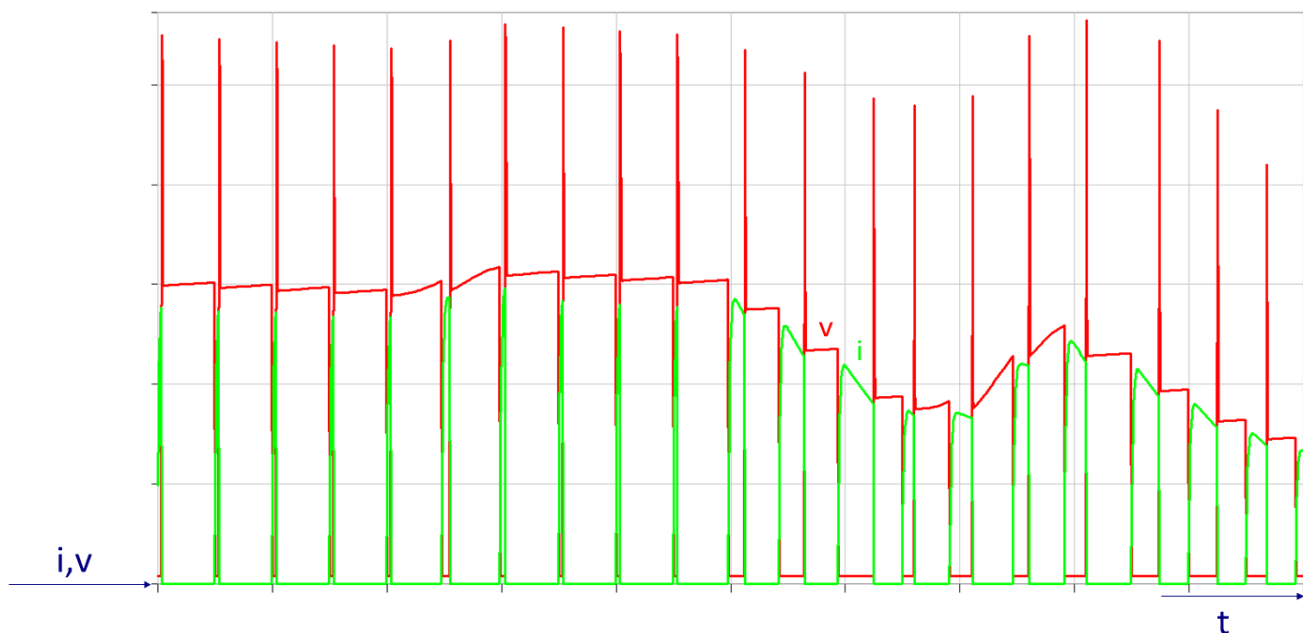


Graf 6: Simulirani valni oblici trokutaste funkcije i komparatora u trenutku promjene iznosa otpora (2/d.s., 2mS/d.s)

4.3.2.4 IGBT

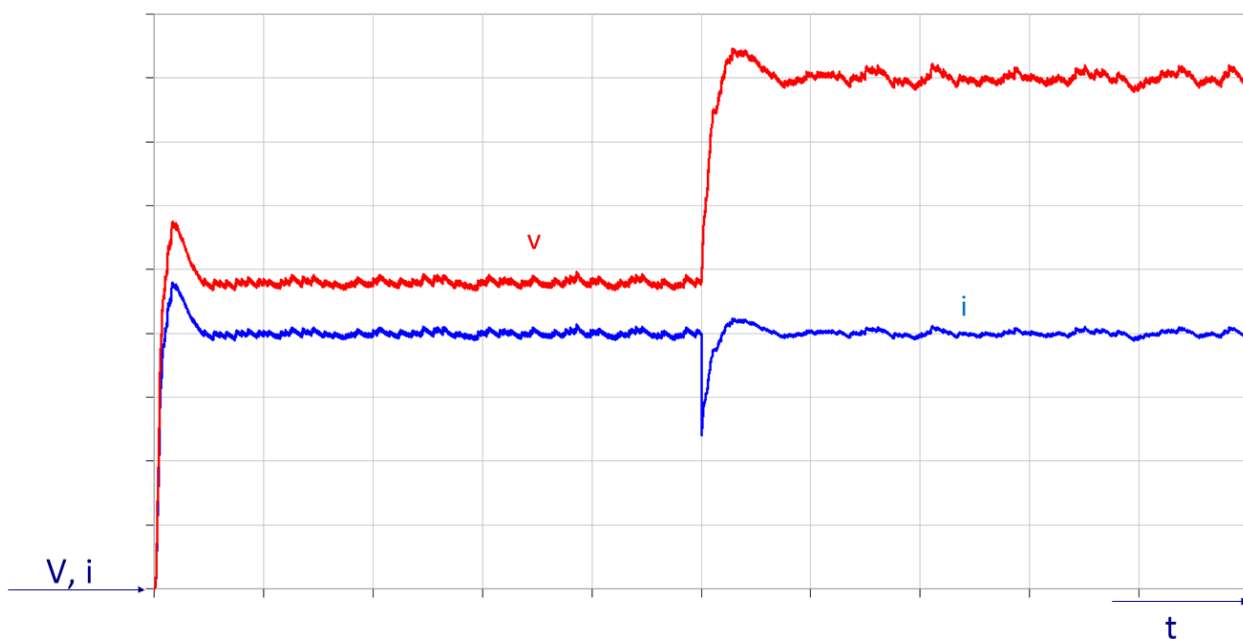
IGBT (eng. *insulated gate bipolar transistor*) ili bipolarni tranzistor je elektronička sklopka koja se koristi kako bi omogućila protok struje kada je potrebno i obrnuto u vrlo kratkom vremenu. Najčešće se koristi u energetskej elektronicj, a zasnovan je na MOSFET-u. Karakterizira ga to što je naponski upravljiv, može prenositi veliku snagu te visoke frekvencije. Na shemi je to element označen s IGBT1 te njime upravlja PWM modulator. Njegov kolektor je priključen na Greatzov spoj, emiter je priključen na izlaz, dok je na upravljačkoj elektrodi spojen PWM, [32], [33].

Kao što se može vidjeti na sljedećem grafu 7., prilikom povećanja otpora mijenja se trajanje toka se struje dok je kod napona obrnuto. Kako bi se bolje vidjela ta promjena, prikazan je samo dio simulacije od 490ms do 510ms, pošto se u tom dijelu odvija promjena otpora.



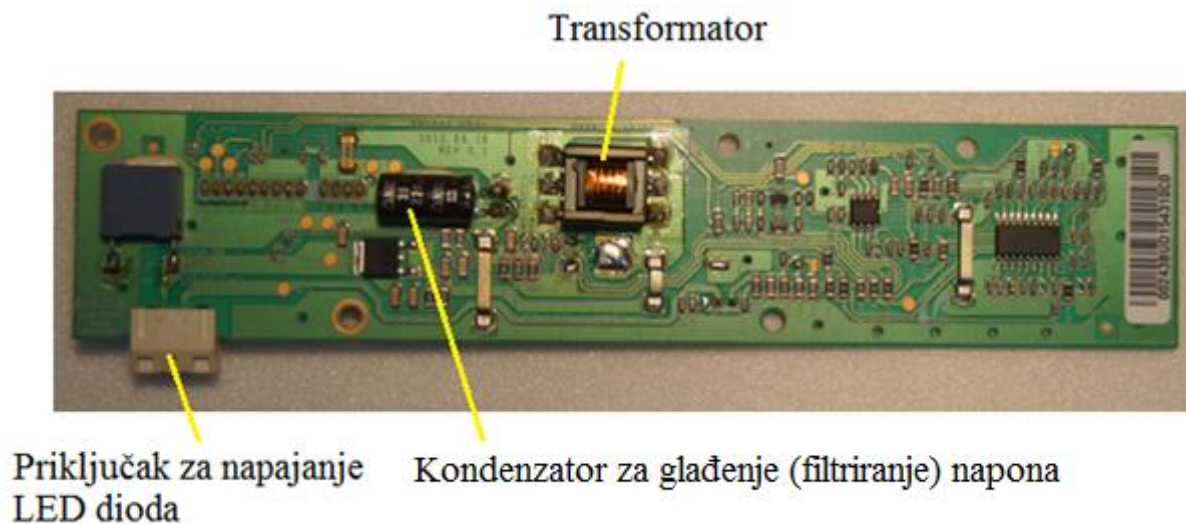
Graf 7: Simulirani valni oblici struje i napona na IGBT-u u trenutku promjene iznosa otpor (1mA/d.s. , 10V/d.s. , 2mS/d.s.)

Nakon opisa svakog pojedinog elemenata slijedi simulirani prikaz napona i struje sa povratnom vezom.



Graf 8: Simulirani valni oblici struje i napona s povratnom vezom (5mA/d.s., 5V/d.s., 100ms/d.s)

Kao što se može primijetiti, u trenutku povećanja otpora, struja naglo padne te se pomoću povratne veze u vrlo kratkom vremenu vrati na zadanu vrijednost i napon poraste, što u pravilu znači da bi LED diode nastavile jednako svijetlit. U praksi povratna veza prikazana je na slici 21.



Slika 21: Strujni regulator (engl. LED driver) za napajanje LED rasvjetnih tijela (foto Cigula)

4.4 Katodna cijev vs LED

Kada govorimo o usporedbi klasičnih LCD televizora i LED LCD televizora, tada mislimo samo na usporedbu pozadinskog osvjetljenja kod televizora, jer sve ostale komponente su jednake, pa tako i LCD panel. Iako danas gotovo nema u prodaji klasičnih LCD televizora, prikazat će se osnovne prednosti i nedostaci kako klasičnog tako i LED pozadinskog osvjetljenja.

Ako na televizoru nema nikakvih specifikacija o kojem se tipu pozadinskog svjetla radi, to se vrlo lako može otkriti. Klasični LCD televizori su značajnije deblji slika 22., a samim time i teži od LED LCD televizora radi potrebnog prostora za katodne cijevi, a i LED LCD televizori imaju tanje rubove.



Slika 22: Usporedba LED i LCD televizora [4]

Osim vizualnog izgleda ono što kupce najviše zanima je kvaliteta slike koje prikazuje televizor. Iako se smatra da novija tehnologija automatski znači i bolji proizvod to ne mora uvijek biti tako. Ukoliko usporedimo LCD televizor sa jeftinijim LED televizorima, tada klasični LCD televizor može imati bolju sliku, ali ako usporedimo kvalitetniji LED televizor tada sa klasičnim LCD televizorom, tada je razlika u slici veća. LED televizori nudi više boja,

osobito oni koji koriste RGB LED pozadinsko osvjetljenje. Slika 23. prikazuje razliku u slici kod klasičnih LCD i LED LCD televizora, [10].



Klasični LCD televizor



LED LCD televizor

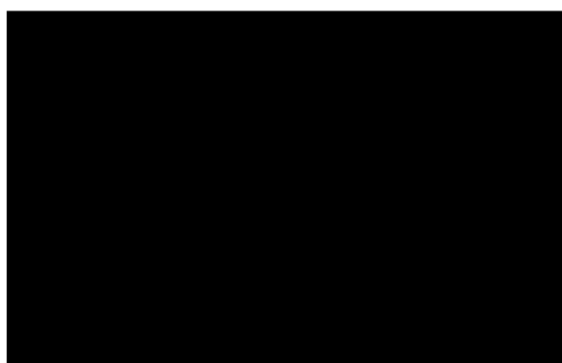
Slika 23: Usporedba kvalitete slike kod LED i LCD televizora (foto Cigula)

Što se potrošnje energije tiče, tu LED LCD televizori troše i do 40% manje električne energije u odnosu na klasične televizore. Također, LED LCD televizori su puno više otporniji na udarce jer klasičan LCD televizori sadrže katodne cijevi koje nespretnim prenošenjem vrlo lako mogu puknuti. Nadalje, ne sadrže živu što je uvelika prednost, pogotovo za kupce koji su ekološki osviješteni, imaju duplo dulji vijek trajanja čak preko 100000h, a samim time su i pouzdaniji te LED LCD televizori imaju veću učinkovitost (više svjetla po Wat-u). Među svim tim prednostima, LED LCD televizori su imali i jednu manu radi kojih su se više prodavali klasični LCD televizori, a to je bila poprilično visoka cijena. Međutim, u današnje vrijeme, velikom proizvodnjom LED LCD televizora, ta cijena se snizila, a klasični LCD televizori se izbacuju iz prodaje radi velike potrošnje i zagađenosti. Još jedna mana koju imaju LED LCD televizori je ta što, ukoliko dođe do pregaranja jedne diode u seriji, tada cijeli red prestaje svijetliti, ali to baš nije tako čest slučaj, pa ga skoro i zanemarujemo. Ali,

ako zanemarimo mane LED LCD televizora i uzmemo u obzir sve prednosti koje pružaju ti televizori, ne samo da će mo uštedjeti na potrošnji struje nego će mo imati i vrhunsku sliku te doživljaj, a i postat će mo ekološki osviješteni građani, [10], [13].

5. KONTRAST

Kontrast je među najvažnijim faktorima prilikom odabira novog televizora. On predstavlja omjer najsvjetlijeg i najtamnijeg dijela zaslona, tj. predstavlja koliko je bijela točka na zaslonu puta svjetlija od crne točke. Označava se u omjeru npr. 3000:1 što znači da je bijela točka na zaslonu tri tisuće puta svjetlija od crne točke. U današnje vrijeme kontrast iznosi oko 20000:1, a oni skupljiji televizori mogu doseći i do 1000000:1. U pravilu, što je veći omjer to su vjernije boje na zaslonu. Kontrast ne utječe na rezoluciju, osvježavanje slike i oštrinu slike, nego samo određuje kvalitetu boja. Ako usporedimo LED LCD i klasičan LCD, tu se javlja velika razlika u kontrastu. Pošto klasični LCD televizori koriste katodne cijevi za pozadinsko osvjetljenje, one se ne mogu pojedinačno gasiti i paliti, nego one moraju biti uključeni cijelo vrijeme. Tu nastaje velika razlika prilikom prikazivanja slike koja sadrži puno crne boje, jer LCD zaslon ne može u potpunosti blokirat svjetlost, pa tako crna boja u stvari nije crna nego je više sivkasta. Što se LED LCD televizora tiče, naprednije verzije imaju mogućnost lokalnog zatamnjenja, pa čak i potpunog gašenja LED dioda kako bi se dobila realnija crna boja i bolja ukupna slika. To im donosi skoro pa najveću prednost u usporedbi sa klasičnim LCD televizorima. Na slici 24. je prikazana razlika između klasičnog i LED LCD televizora prilikom prikazivanja slike koja sadrži crnu boju. Nažalost, ne postoji standard po kojem se on mjeri, pa svaki proizvođač televizora to određuje na svoj način, a i nema uređaja s kojim bi se to moglo kontrolirati, [10], [34].



LED LCD televizor

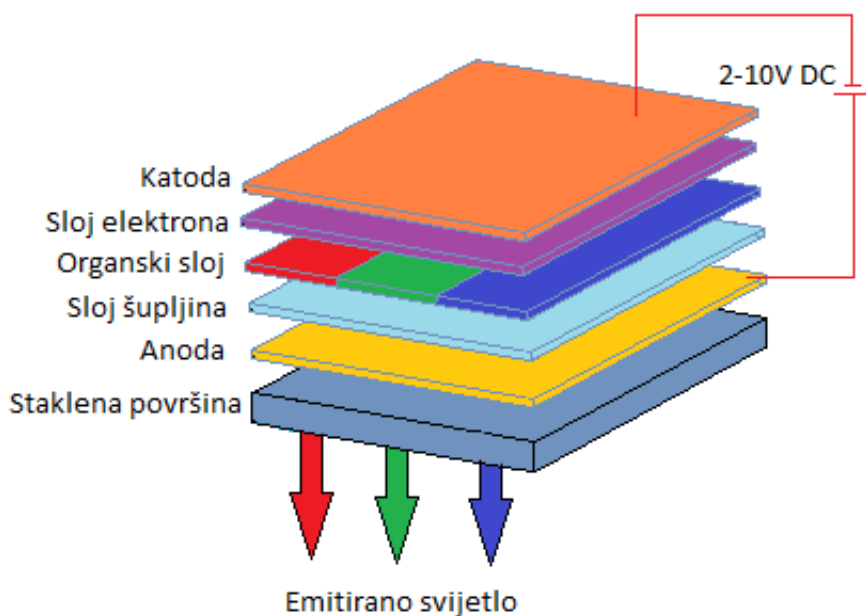


Klasični LCD televizor

Slika 24: Ilustracija između klasičnog i LED televizora

6. OLED

OLED (eng. *Organic Light Emitting Diode*) ili Organske LED diode su najnovija tehnologija čija je uloga zamijenit sadašnje LED LCD televizore. Izrađeni su od organskih materijala - ugljika, koji prolaskom struje kroz njih emitiraju svjetlost. Korištenjem poluvodičke tehnologije moguće je pobuditi i kontrolirati svaki piksel posebno, te takvom kombinacijom stvaramo sliku. Taj organski proces korišten kod OLED-a, naziva se elektrofosforescencija i biološki je fenomen. Njega su znanstvenici otkrili tako da što su promatrali kako krijesnica proizvodi svjetlost bez izvora električne energije, te na osnovu toga su stvorili OLED panel. On radi na sličan način kao i LED dioda, ali umjesto korištenja n-tipa i p-tipa, on koristi organske molekule koje proizvode elektrone i šupljine. OLED se sastoji od 6 različitih slojeva prikazanih na slici 25. Na vrhu i dnu se nalazi zaštitni sloj načinjen od stakla ili plastike, između njih nalazi se katoda i anoda te između katode i anode nalazi se dva sloja izrađena od organskih materijala koja proizvode svjetlost, [35], [36].



Slika 25: Ilustracija unutrašnjosti OLED panela [5]

Da bi OLED počeo prikazivati sliku, potrebno je priključiti vrlo mali napon od 2-10V na anodu i katodu. Kada struja poteče, tada katoda ima veliku koncentraciju elektrona, a anoda šupljina. Pošto se između njih nalazi organski sloj, tada se elektroni i šupljine gibaju pomoću električnog polja i mimoilaze u njemu. Prilikom međusobnog spajanja nastaje svjetlost, u prošlosti je bila iskoristivost samo 25%, dok je ostalo otpadalo na toplinu, ali

brojnim istraživanjem, danas je iskoristivost 100%. U ovisnosti u kojem organskom sloju su se sastali, takvu boju proizvode. Intenzitet svjetlosti ovisi o jačini struje koja prolazi kroz organski sloj, [36].

Uspoređujući OLED-e i LCD panele, OLED-i imaju značajne prednost koje će kroz nekoliko godina odgurati LCD panel u povijest. Jedna od glavnih prednosti je skoro pa idealna kvaliteta slike koju pružaju. Daju puno svjetlije i tamnije boje, a samim time i kristalniju sliku, kao što je prikazano na slici 26.



Slika 26: Usporedba kvalitete slike kod LED i OLED televizora

Što se brzine reagiranja kod promjene signala tiče, tu su neusporedivo bolji ne samo u odnosu na LCD panele nego i plasme te daju puno bolju sliku gdje ima puno snažnih i brzih pokreta, kao što je kod igranja dinamičnih video igara i filmova. Također znatno su tanji čak i do nekoliko desetaka puta, kao što se vidi na slici 27., samim time su i lakši, stoga podloga ne mora biti ravna kao kod LCD panela, nego može biti i fleksibilna. Samim time što su fleksibilni, otporni su na udarce i izvijanje, što dovodi do težeg razbijanja, [37].



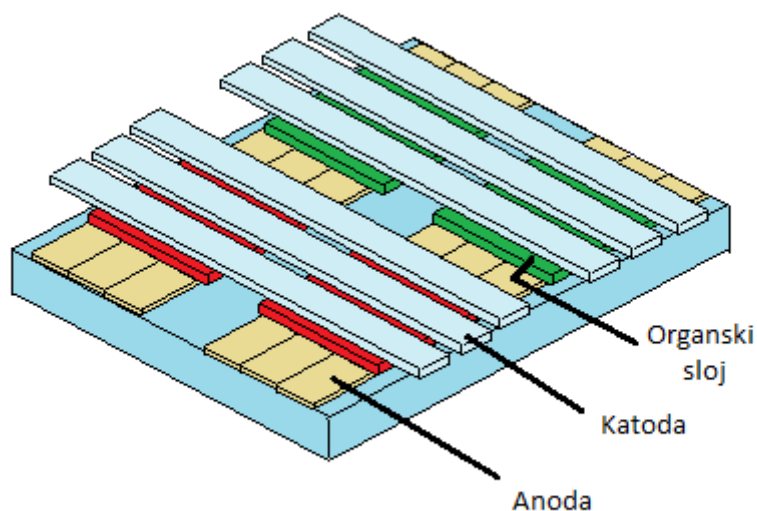
Slika 27: Usporedba debljine OLED i LED televizora [4]

Mogu raditi na višim temperaturama, što ih čini prikladnim za korištenje u neprikladnim okruženjima. Pošto im nije potrebno pozadinsko osvjetljenje, troše manje električne energije te imaju jedan dio manje koji se može pokvariti, a pošto je pozadinsko osvjetljenje dosta česti kvar, to im je velika prednost. Pošto se sastoje samo od 6 slojeva proizvodnja je jako jednostavna te se mogu proizvoditi u velikim dimenzijama. Uz brojne prednosti koje pružaju OLED paneli imaju i neke nedostatke. Glavni nedostatak do prije par godina bio je životni vijek. Dok su crveni i zeleni pikseli imaju dug životni vijek do 230000 radnih sati, plavi piksel su imali puno kraći životni vijek do 14000 radnih sati, a već nakon 1000 radnih sati može doći do smanjenja intenziteta plavih piksela, ali napretkom tehnologije danas imaju puno duži vijek trajanja u odnosu a LED televizore. Također pošto je to nova tehnologija proizvodnja je skupa, ali s masovnijom proizvodom i vremenom cijena će značajnije pasti. Danas u Hrvatskoj cijena im se kreće oko 40000 kuna.

Postoje dvije vrste OLED zaslona, jedna je sa pasivnom matricom- PMOLED, dok je drugi sa aktivnom matricom- AMOLED

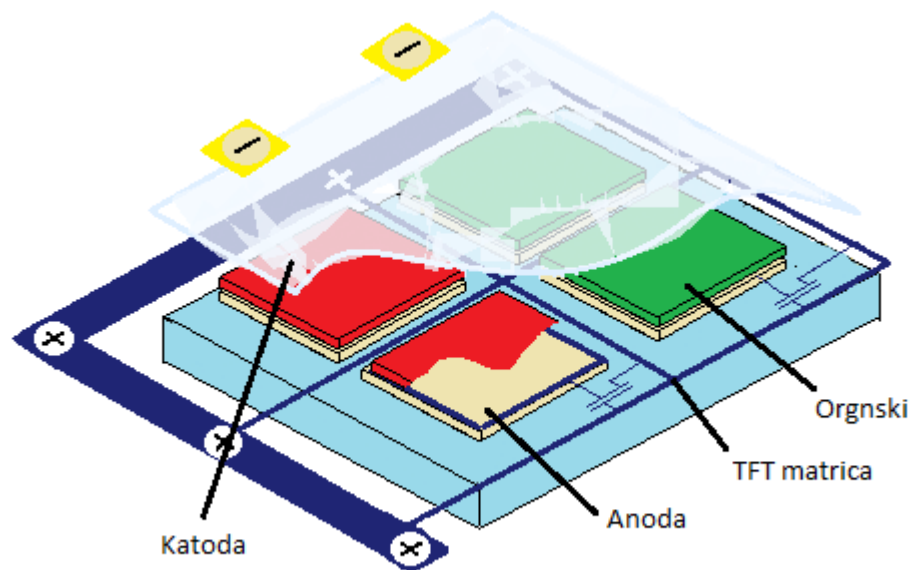
- PMOLED (Engl. *Passive-Matrix OLED*) su zaslone koje je vrlo jednostavno i jeftino za napraviti. Njihovu primjenu susrećemo u uređajima sa malim zaslonom kao što su MP3-playeri, PDA uređaji i slično, a mogu biti savitljivi te prozirni što im je velika prednost. Zbog visokog potrebnog napona imaju kraći životni vijek u odnosu na OLED-e, a samim time ograničena im je

veličina do 3". Sastoje se od rešetkastih stupova anoda i katoda između kojih je organski sloj, te mjesto gdje se sijeku anoda i katoda predstavlja jedan piksel, slika 28.. Kod njih se pomoću mikroprocesora može kontrolirati svaki redak i stupac zasebno, tako dobijemo čistu sliku, isto tako može se mijenjati iznos struje pobude, pa samim time možemo mijenjati intenzitet svakog pojedinog piksela, [36], [38].



Slika 28: Ilustracija strukture pasivne matrice [6]

- AMOLED (engl. *Active-Matrix OLED*) su zaslone koji se u današnje vrijeme koriste u mnogim aplikacijama. Svoju primjenu najviše pronalaze u skupljim telefonima, tabletima, televizorima te ostalim uređajima. Njihova struktura se razlikuje od PMOLED-ove te je znatno složenija. AMOLED ima katodu preko cijele površine zaslona, dok anoda zauzima samo onaj dio površine na kojem su slojevi organskih molekula, slika 29.. Anoda je spojena preko tranzistora na pobudu, pa tako da bi se pobudila potrebno je dobiti impuls od tranzistora. Time se dobiva sličan rad kao i kod pasivnih matrica, samo ovdje tranzistori služe kao brzi prekidači i oni pale točno određenu anodu, stoga slika koju prikazuje kristalno je čista.



Slika 29: Ilustracija strukture pasivne matrice [6]

U usporedbi sa PMOLED-om, AMOLED troši manje energije, jer se za prikaz slike koriste TFT matrice, dok kod pasivne matrice slika nastaje prilikom spajanja anode i katode gdje je potreban viši napon. Što se cijene tiče tu je PMOLED znatno jeftiniji jer njegova elektronika ne sadrži kondenzator za pohranu stoga su pikseli dosta vremena isključeni i samim time nisu pogodni za prikazivanje slika te videa, dok kod AMOLED-a je drugačiji slučaj, [36], [38].

Budući da OLED tehnologija ne zahtjeva pozadinsko osvjetljenje pošto ju sami proizvode, samim time i dodatne filtere kroz koje prolazi svjetlost, znatno su učinkovitiji od LCD zaslona, jednostavnije ih je za napraviti i znatno su tanji.

7. ZAKLJUČAK

Trenutno najpopularniji LCD paneli nisu u mogućnosti proizvoditi vlastitu svjetlost, stoga je potrebno pozadinsko osvjetljenje. Ukoliko nemamo pozadinsko osvjetljenje kao neki digitalni satovi, kalkulatori i slično, nećemo moći u mračnoj okolini vidjeti što zaslon prikazuje. Stoga, koristeći katodne cijevi ili LED diode, u mogućnosti smo i u slabije osvijetljenim prostorima vidjeti što zaslon prikazuje. Otkrićem organskih LED dioda, smatram da bi u narednih nekoliko godina moglo pozadinsko osvjetljenje otić u povijest. Samim time što korištenjem pozadinskog osvjetljenja imamo i veći broj elemenata, što znači i veća vjerojatnost nastanka kvara, imamo i veću potrošnju. Iako je cijena današnjih OLED televizora nepristupačna za većinu građana, njihovom sve većom i većom proizvodnjom će biti cjenovno pristupačni.

8. POPIS LITERATURE

8.1 Internetski izvori

- [1] W. Gottwein, Uređaji sa LCD zaslonom, Zagreb, Veljača 2004.
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA (listopad 2015.)
- [2] Liquid Crystals in Displays
http://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-007-electromagnetic-energy-from-motors-to-lasers-spring-2011/lecture-notes/MIT6_007S11_lec26.pdf (listopad 2015.)
- [3] LCD (Liquid Crystals in Displays)
<http://whatis.techtarget.com/definition/LCD-liquid-crystal-display> (listopad 2015.)
- [4] LCDTV buying guide
<https://lcdtvbuyingguide.com/howlcdtvworks.shtml> (listopad 2015.)
- [5] D. Bukarica, Ergonomija televizora, FER 2004
<http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/bukarica/index.htm> (studeni 2015.)
- [6] Kućni zaslonski uređaji, Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2003.
<http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2003/hegedus/lcd.htm> (studen 2015.)
- [7] D. P. Curtin, Pixels and Images
<http://www.photocourse.com/itext/pixels/pixels.pdf> (studen 2015.)
- [8] Savjeti za fiksiranje mrtvih piksela na CD TV
<http://hr.ruodiantong.com/tvs/flat-screen-tvs/1016042223.html> (studen 2015.)
- [9] Becklights Explained, ScreenTek
<http://www.screentekinc.com/backlight-ccfl-led-explained.shtml> (studen 2015.)
- [10] B. Jović, Enciklopedija: CCFL vs LED
<http://www.hi-files.com/ccfl-vs-led/> (studeni 2015.)
- [11] What is a Cold Cathode Fluorescent Lamp?, NEC Lighting, Ltd.
<https://www.nelt.co.jp/english/products/ccfl/about.html> (studen 2015.)
- [12] CCFL Backlight Installation, Lcdparts.net
<http://www.lcdparts.net/howto/troubleshooting/LCDTVCCFL.aspx> (studen 2015.)

- [13] CCFL VERSUS LED
<http://urreview.blogspot.hr/2011/05/ccfl-versus-led.html> (studeni 2015.)
- [14] CCFL (Cold cathode florescent lamps)
<http://www.byfort.com/ccflamps.htm> (studeni 2015.)
- [15] Led rasvjetna tehnologija, AURORA ENERGETIKA d.o.o.
<http://www.auroraenergetika.hr/main.asp?dir=news&newsid=26> (prosinac 2015.)
- [16] B. Vasić LED – Svjetleće diode, Saobraćajni fakultet – Doboj, (prosinac 2015.)
- [17] F. Prebeg, LED- Svjetlo budućnosti
<http://www.gradimo.hr/clanak/led-ndash-svjetlo-buducnosti/24040> (prosinac 2015.)
- [18] A. Lara, Designing LED Backlights, Senior Applications Engineer
http://www.nxp.com/files/training_pdf/WBNR_FTF10_CON_F0897.pdf?lang_cd=en (prosinac 2015.)
- [19] D. Prindle, LED VS LCD TVS
<http://www.digitaltrends.com/home-theater/led-vs-lcd-tvs/> (prosinac 2015.)
- [20] T. Harris i W. Femlon, How Light Emitting Diodes Work
<http://electronics.howstuffworks.com/led5.htm> (prosinac 2015.)
- [21] G. Morrison, LEC LCD backlights explained
<http://www.cnet.com/news/led-lcd-backlights-explained/> (prosinac 2015.)
- [22] Maxim Integrated Products, Inc., 120 San Gabriel Drive, Sunnyvale, CA, 2011.
http://www.symmetron.ru/suppliers/lighting/files/lighting/power_supply/dc-dc-led-drivers/dc-dc-controllers/Maxim/MAX16814.pdf (prosinac 2015.)
- [23] LED Lighting Solutions, ON Semiconductor, Energy Efficient Innovations, 11.02.2016.
http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/BRD8034-D.PDF (veljača 2016.)
- [24] Ž. Butković, Elektronika 2- Pojačala s povratnom vezom, Sveučilište u Zagrebu
https://www.fer.unizg.hr/download/repository/Poglavlje_05_El2.pdf (siječanj 2016.)
- [25] Feedback System, Electronis Tutorials
<http://www.electronics-tutorials.ws/systems/feedback-systems.html> (siječanj 2016.)
- [26] Negative Feedback, All about CIRCUITS
<http://www.allaboutcircuits.com/textbook/semiconductors/chpt-8/negative-feedback/> (siječanj 2016.)
- [27] Feedback, All about CIRCUITS

- <http://www.allaboutcircuits.com/textbook/semiconductors/chpt-8/negative-feedback/> (siječanj 2016.)
- [28] D. Stanič, Automatizacija regulatora P,PI,PID, 2012.
<http://www.scribd.com/doc/86086040/Automatizacija-Regulatori-P-PI-PID#scribd>
(siječanj 2016.)
- [29] N. Mišković, Regulatori, Digitalni sustav upravljanja, 2006/2007
[http://www.fer.unizg.hr/_download/repository/Predavanje_-_Regulatori_1_\(2_slajda_po_stranici\).pdf](http://www.fer.unizg.hr/_download/repository/Predavanje_-_Regulatori_1_(2_slajda_po_stranici).pdf) (siječanj 2016.)
- [30] J. Petrić, Osnovna načela povratne veze
http://titan.fsb.hr/~mcipek/base/novosti/oa_pi_II_dio.pdf (siječanj 2016.)
- [31] S. Baker, Pulse Width Modulation, TFT Central, 17.05.2015.
http://www.tftcentral.co.uk/articles/pulse_width_modulation.htm (siječanj 2016.)
- [32] IGBT Fundamentals, Abdus Sattar, IXYS Corporation
http://www.ixys.com/documents/appnotes/ixys_igbt_basic_i.pdf (veljača 2016.)
- [33] M. Predojević, IGBT, 25.06.2007.
<http://www.otpornik.com/elektronika/komponente/igbt.html> (veljača 2016.)
- [34] D. Prindle, LED VS LCD TVS, 05.04.2013.
<http://www.digitaltrends.com/home-theater/led-vs-lcd-tvs/> (veljača 2016.)
- [35] C. Woodford, OLEDs (Organic LEDs) and LEPs (light-emitting polymers),
<http://www.explainthatstuff.com/how-oleds-and-leps-work.html> (veljača 2016.)
- [36] Y. Cao, OLED display
https://www3.nd.edu/~gsnider/EE698A/Ying_Cao_OLED.pdf (veljača 2016.)
- [37] A. Hrustanović, OLED Tehnologija, 2009.
<http://www.am.unze.ba/pzi/2009/HrustanovicAlmina/kakoOledRadi.html> (veljača 2016.)
- [38] D. Radić, Monitor računala, Informatička abeceda
<http://www.informatika.buzdo.com/s202-monitor-racunala.htm> (veljača 2016.)
- [39] Liquid Crystal Solutions, Inc
<http://www.lcs-lcd.com/ccfl.php> (studeni 2015.)
- [40] A. Efthvoulidis, Designing LCD Backlighting System With CCFL
<http://www.loreti.it/Download/PDF/LCD/ccflapp.pdf>

8.2 Slike

- [1] <http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2003/gottwein/lcd.pdf> - Siječanj,2016
- [2] D. Bukarica, Ergonomija televizora, FER 2004.
<http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/bukarica/index.htm> - Siječanj,2016
- [3] <https://www.nelt.co.jp/english/products/ccfl/about.html> - Siječanj,2016
- [4] <http://www.rtings.com/tv/learn/lcd-vs-led-vs-plasma/thickness-and-weight?uxtv=58da> - Siječanj,2016
- [5] <http://www.informatika.buzdo.com/s202-monitor-racunala.htm> - Siječanj,2016
- [6] <http://www.digizone.cz/clanky/co-to-je-oled-a-cim-se-lisi-televizory-lcd-a-led/> - Siječanj,2016