



Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija odsek NIŠ

Katedra za Informaciono-komunikacione tehnologije

ELEKTRONSKA MERNÁ INSTRUMENTACIJA - EMI



Prof. dr Zoran Veličković, dipl. inž. el.

2019/2020.

Prof. dr Zoran Veličković, dipl. inž. el.

ELEKTRONSKA MERNA INSTRUMENTACIJA

OSCILOSKOPI – 2D indikatori
(8)



Sadržaj

➤ 2D INSTRUMENTI

- Oscilografi
- Osciloskopi

➤ KATODNI OSCILOSKOP

- Osnovne karakteristike i podela
- Komponente katodnog osciloskopa
- Blok šema katodnog osciloskopa

➤ PRINCIP RADA KATODNOG OSCILOSKOPA

- Uloga tsterastog napona
- Formiranje oscilograma
- Animacija oscilograma
- Nestabilnost slike oscilograma
- Uslovi stabilne slike oscilograma

➤ POSMATRANJE PRELAZNIH POJAVA

- Uloga okidnog sklopa u posmatranju signala

➤ KATODNA CEV

- Unutrašnja struktura katodne cevi
- Izgled katodne cevi osciloskopa
- Otklonski sistem
- Skteranje elektronskog mlaza u elektrostatičkom polju
- Sistem za fokusiranje
- Ekran katodne cevi

➤ ZADACI

- Prikazati izgled oscilograma za zadate uslove.

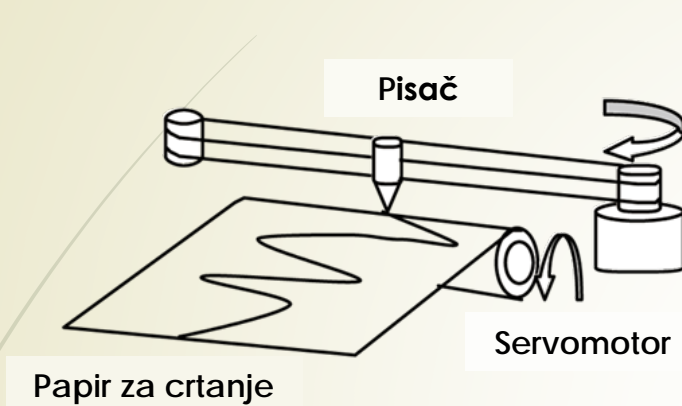
2D instrumenti

- ▶ Da se potsetimo, elektronski voltmetri su **JEDNODIMENZIONALNI** (1D) merni instrument kojima se može izmeriti i prikazati samo jedna – izabrana karakteristika naizmjeničnog napona.
- ▶ Voltmetri pripadaju klasi **1D INSTRUMENTATA** koji mogu prikazati samo **JEDAN** parametar konstantan u vremenu – to je uobičajeno **EFEKTIVNA VREDNOST** merenog napona.
- ▶ Ako se želi istovremeno posmatranje **NAIZMENIČNE** veličine (pa i napona) neophodan je **DVODIMENZIONALI (2D) MERNI INSTRUMENT** koji može prikazati naizmjenični napon u funkciji vremena.
- ▶ **OSCILOGRAFI** su 2D uređaj koji omogućavaju predstavljanje funkcija zavisnih od vremena **NA PAPIRU** ili **FILMU** ne veće frekvencije od **NEKOLIKO** kHz.
- ▶ **OSCILOSKOPI** su elektronski merni instrumenti koji imaju mogućnost posmatranja (prikazivanja) promenljivih veličina u **FUNKCIJI VREMENA** i svrstavaju se u **VRLO BRZE** X-Y registratore.

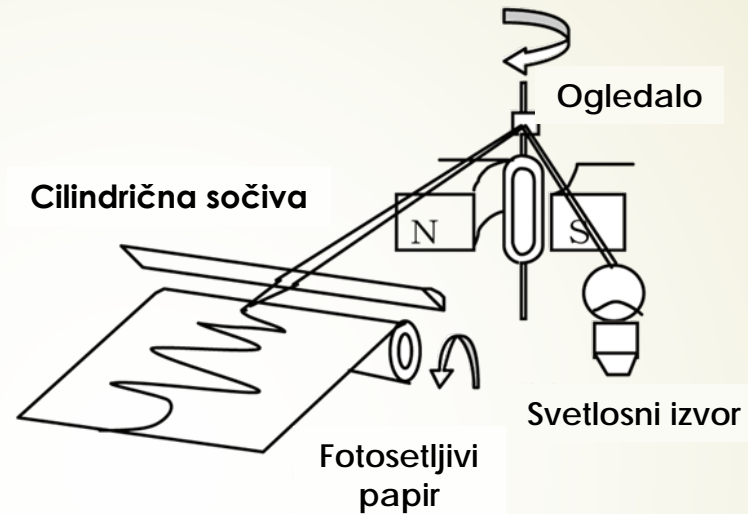
Oscilografi

- ▶ Dobijeni zapis oscilografa se može **NAKNADNO** analizirati ili poslužiti kao **PISANI DOKUMENT**.
- ▶ **OSCILOGRAF** se sastoji od
 - ▶ Senzora,
 - ▶ Pojačavača
 - ▶ Registratora.
- ▶ Da bi se ulazna veličina mogla prikazati u funkciji vremena, kod oscilografa treba obezbediti **POMERAJ PAPIRA** proporcionalan vremenu.
- ▶ Konstantnu brzinu kretanja papira obezbeđuje **MOTOR** koji može biti sinhroni ili jednosmerni sa (elektronskim) regulatorom.
- ▶ U ovu grupu instrumenata spadaju i uređaji za registraciju **BIOELEKTRIČNIH SIGNALA**.
 - ▶ **ELEKTROKARDIOGRAFI** su oscilografi koji registruju **ELEKTRIČNE SIGNALE SRCA** postavljanjem elektroda na obe ruke i na levu nogu.
 - ▶ **ELEKTROENCELOGRAFI** registruju **SIGNALE MOZGA** putem više elektroda na glavi pacijenta.

Tipovi oscilografa



Analogni oscilograf sa materijalnim pisačem (x100Hz)



Analogni elektromagnetni oscilograf sa optičkim pisačem i fotopapirom x10kHz



Digitalni - data logger

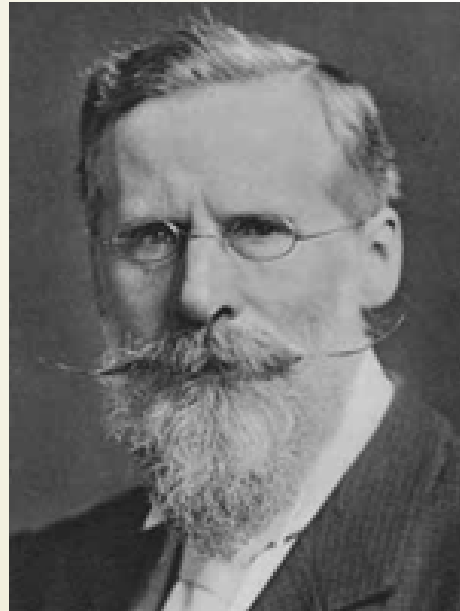
- Sa napredkom tehnologije, **ANALOGNI OSCILOGRAFI** se zamenjuju **DIGITALNIM**.
- **DATA LOGERI** su elektronski instrumenti koji mere i beleže temperature vazduha i/ili relativne vlažnosti prilikom transporta i skladištenja u dužem vremenskom intervalu.
- Poseduju **VELIKI KAPACITET** memorije i **PODESIVI INTERVAL MERENJA** od 1 sekunde do 24 sata i funkciju alarma sa podesivim gornjim i donjim pragom alarma.

Osciloskopi

- Osciloskop je **ELEKTRONSKI MERNI INSTRUMENT – REGISTRATOR** koji prikazuje električne signale u **FUNKCIJI VREMENA**, baš onako kako ih u **MATEMATIČKOM SMISLU** i predstavljamo.
- **OSCILOSKOP** je pre svega, **INDIKATOR** koji daje mogućnost prikazivanja **VIZUELNE PREDSTAVE**:
 - Periodičnih,
 - Neperiodičnih i
 - Slučajnih **TALASNIH OBLIKA** električnih signalau **GRAFIČKOM OBLIKU**, najčešće u funkciji koordinate **VREMENA**.
- U istoriji **ELEKTRIČNIH i ELEKTRONSKIH** mernih instrumenata nijedna pojava nekog instrumenta nije imala veći odjek nego što je to bio slučaj sa **OSCILOSKOPOM**.

Katodni osciloskop (1)

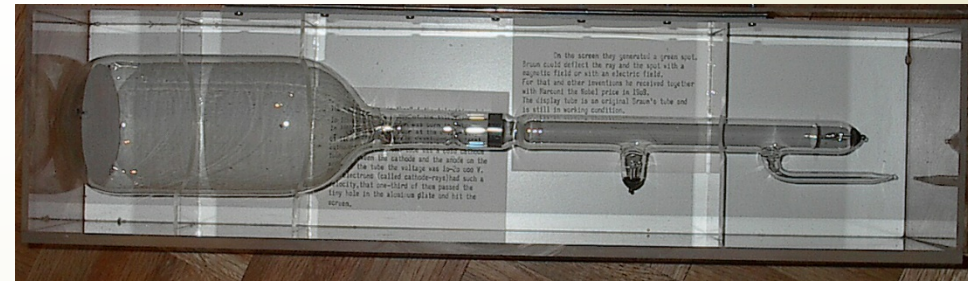
- ▶ Razvoj osciloskopa počeo je još 1879. godine kada je **WILLIAM CROOKES** demonstrirao mogućnost **SKRETANJA KATODNIH ZRAKA** u vakuumskoj cevi pomoću **PERMENENTNOG MAGNETA**.



<http://www.youtube.com/watch?v=U1iWE2SVjEc>

Katodni osciloskop (2)

- ▶ Godine 1897, **KARL FERDINAND BRAUN** je konstruisao preteču osciloskopa, koji je svoj današnji oblik dobio tek 1936. godine.
- ▶ Osciloskop se može svrstati u **VRLO BRZE DVODIMENZIONE X-Y REGISTRATORE** tipa **PLOTERA**, gde se na **Y-OSI** nalazi **POSMATRANA VELIČINA**, dok je na **X-OSI** vreme (ili neka druga veličina).



<https://archive.org/details/KF.BraunCathodeRayTube>

Katodni osciloskop (3)

- ▶ **OSCILOSKOP** je verovatno **NAJUNIVERZALNIJI** elektronski merni instrument, s obzirom da se sa njim mogu direktno meriti:
 - ▶ Jednosmerni i naizmjenični naponi;
 - ▶ Periode, frekvencije i fazne razlike;
 - ▶ Karakteristike talasnog oblika signala;
 - ▶ Karakteristike amplitudne modulacije;
 - ▶ Vreme uspostavljanja signala;
 - ▶ Vreme opadanja, premašenje, itd.
- ▶ Na **INDIREKTAN** (posredan) **NAČIN** može se meriti **JEDNOSMERNNA** i **NAIZMENIČNA** struja!
- ▶ Da li imate ideju kako bi se to moglo uraditi?
- ▶ Pogledajte laboratorisku vežbu br. 5 kako se to može uraditi i šta je potrebno za to merenje.

Podela osciloskopa

- ▶ U **KONSTRUKTIVNOM** pogledu postoje **ČETIRI** osnovne vrste osciloskopa:
 - ▶ Analogni (katodni) osciloskopi;
 - ▶ Memorijski osciloskopi;
 - ▶ Osciloskopi sa uzorkovanjem (odbirni, sampling osciloskopi);
 - ▶ Digitalni osciloskopi.
- ▶ **BROJ** električnih signala koji se **ISTOVREMENO** mogu priključiti na osciloskop radi posmatranja ili merenja zavisi od **BROJA KANALA** koje on poseduje.
- ▶ Osciloskopi mogu imati **JEDAN KANAL** (tzv. jednokanalni osciloskopi) pa do najviše **OSAM KANALA** (kod digitalnih osciloskopa).
- ▶ Najčešći osciloskopi su oni sa **DVA KANALA** (tzv. **dvokanalni** osciloskopi).
- ▶ Ova klasa osciloskopa – **DVOKANALNI OSCILOSKOP** se koristi na lab. vežbama.

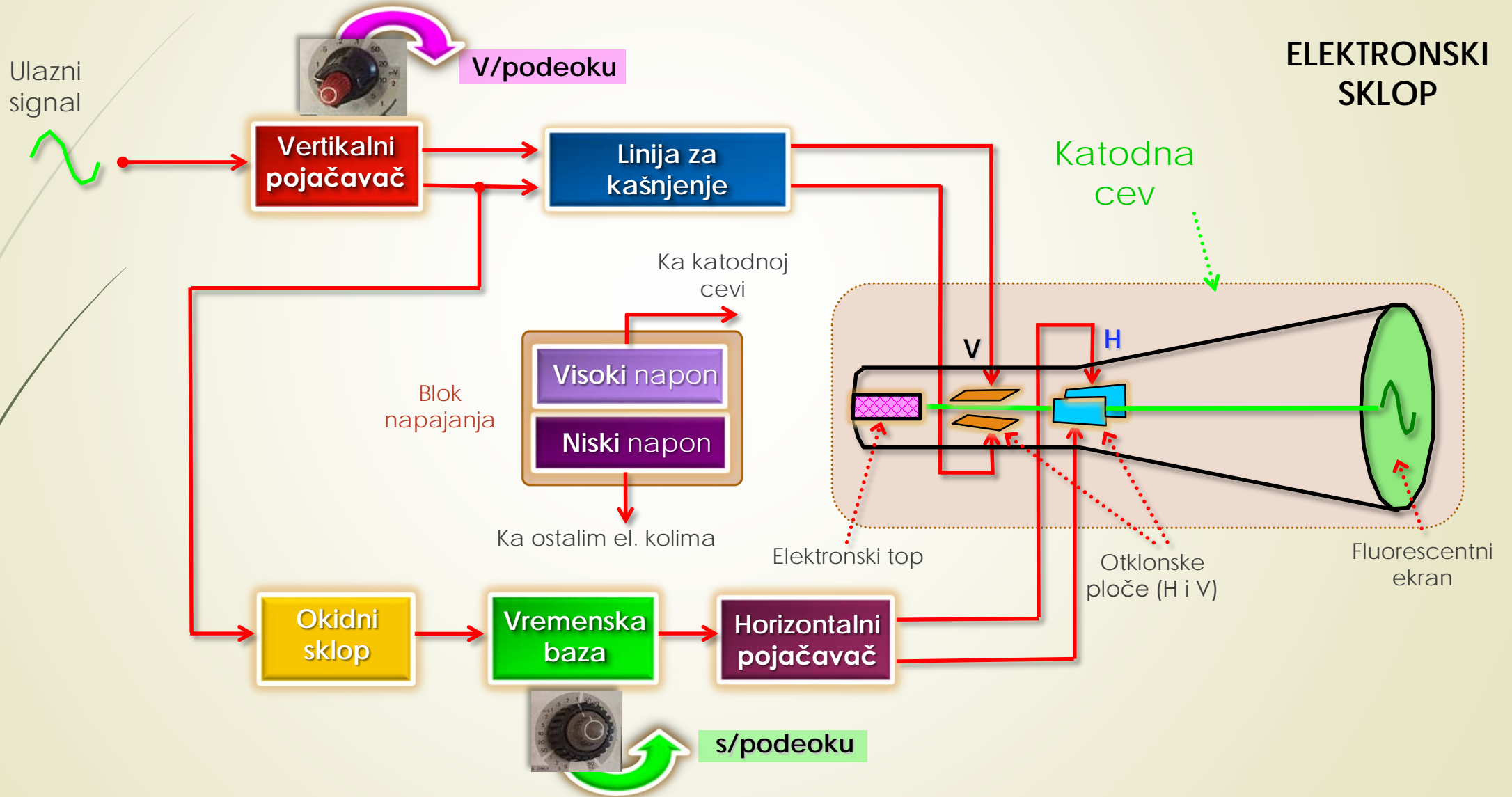
Izgled katodnog 2-kanalnog osciloskopa



Komponente katodnog osciloskopa

- ▶ Osnovni delovi **ANALOGNOG (KATODNOG) OSCILOSKOPA** su:
 - ▶ Katodna cev;
 - ▶ Vertikalni pojačavač;
 - ▶ Linija za kašnjenje
 - ▶ Horizontalni pojačavač;
 - ▶ Vremenska baza;
 - ▶ Okidni sklop, i
 - ▶ Izvor visokog i niskog napona.
- ▶ SVAKI STUDENT će dobiti **BAR JEDNO PITANJE** iz ove nastavne jedinice.
- ▶ Ovo pitanje na usmenom delu ispita je **ELIMINATORNO!**
- ▶ Na sledećem slajdu je prikazana **BLOK ŠEMA ANALOGNOG – KATODNOG OSCILOSKOPA** koja povezuje pomenute delove – funkcionalne blokove osciloskopa.

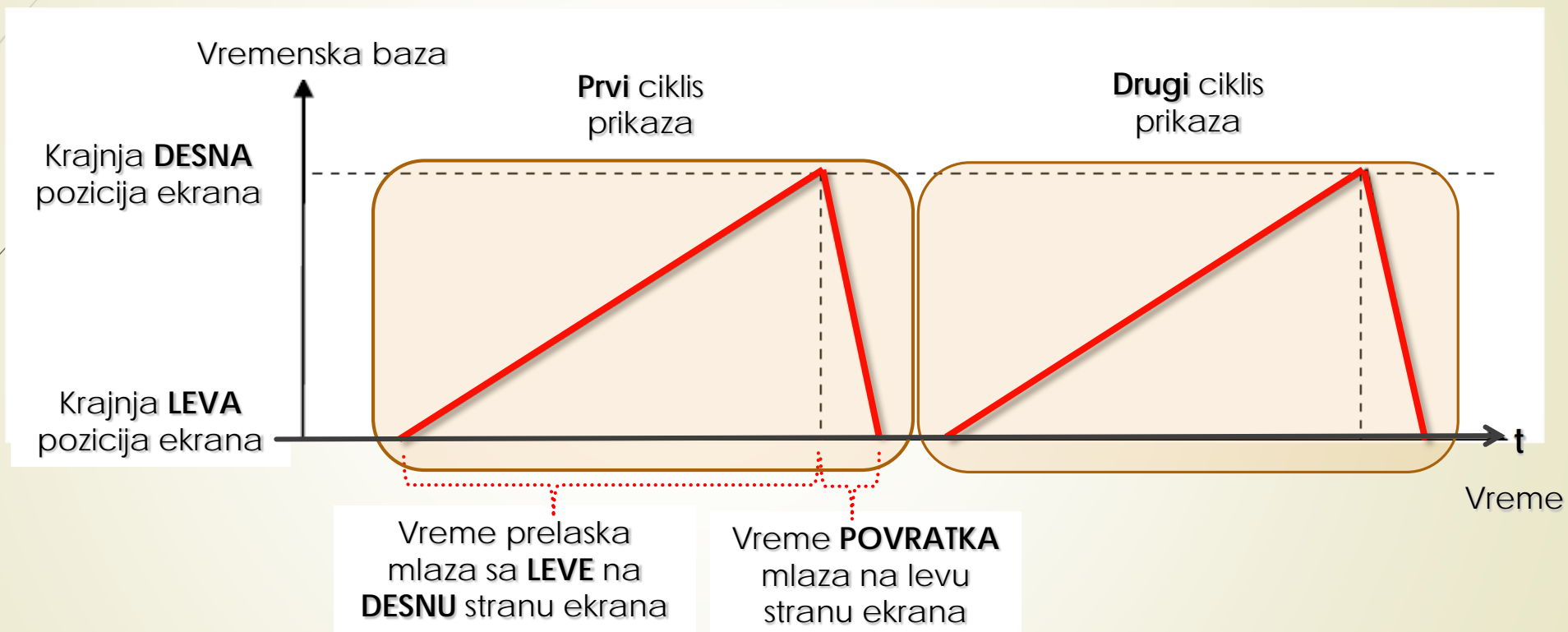
Blok šema katodnog osciloskopa



Princip rada katodnog osciloskopa (1)

- ▶ Električni signal čiji se talasni oblik želi prikazati na ekranu osciloskopa dovodi se na **VERTIKALNE OTKLONSKE PLOČE (Y)**.
- ▶ Ako se pri tome, na **HORIZONTALNE OTKLONSKE PLOČE (X)** ne bi dovodio pogodan oblik napona, na ekranu bi se pojavila samo **VERTIKALNA LINIJA** dužine srazmerne **TRENUTNOJ AMPLITUDI** posmatranog signala.
- ▶ Da bi se ovakva slika "razvukla" po širini ekrana, potrebno je **ISTOVREMENO** na horizontalne otklonske ploče dovoditi **NAPON TESTERASTOG OBLIKA**.
- ▶ Ovaj napon testerastog oblika **LINEARNO RASTE** u toku određenog vremena do neke maksimalne vrednosti, a zatim **TRENUTNO PADA NA POČETNU VREDNOST** jednaku nuli (tačnije na negativnu vrednost koja definiše krajnje levi položaj elektronskog mlaza na ekranu katodne cevi).

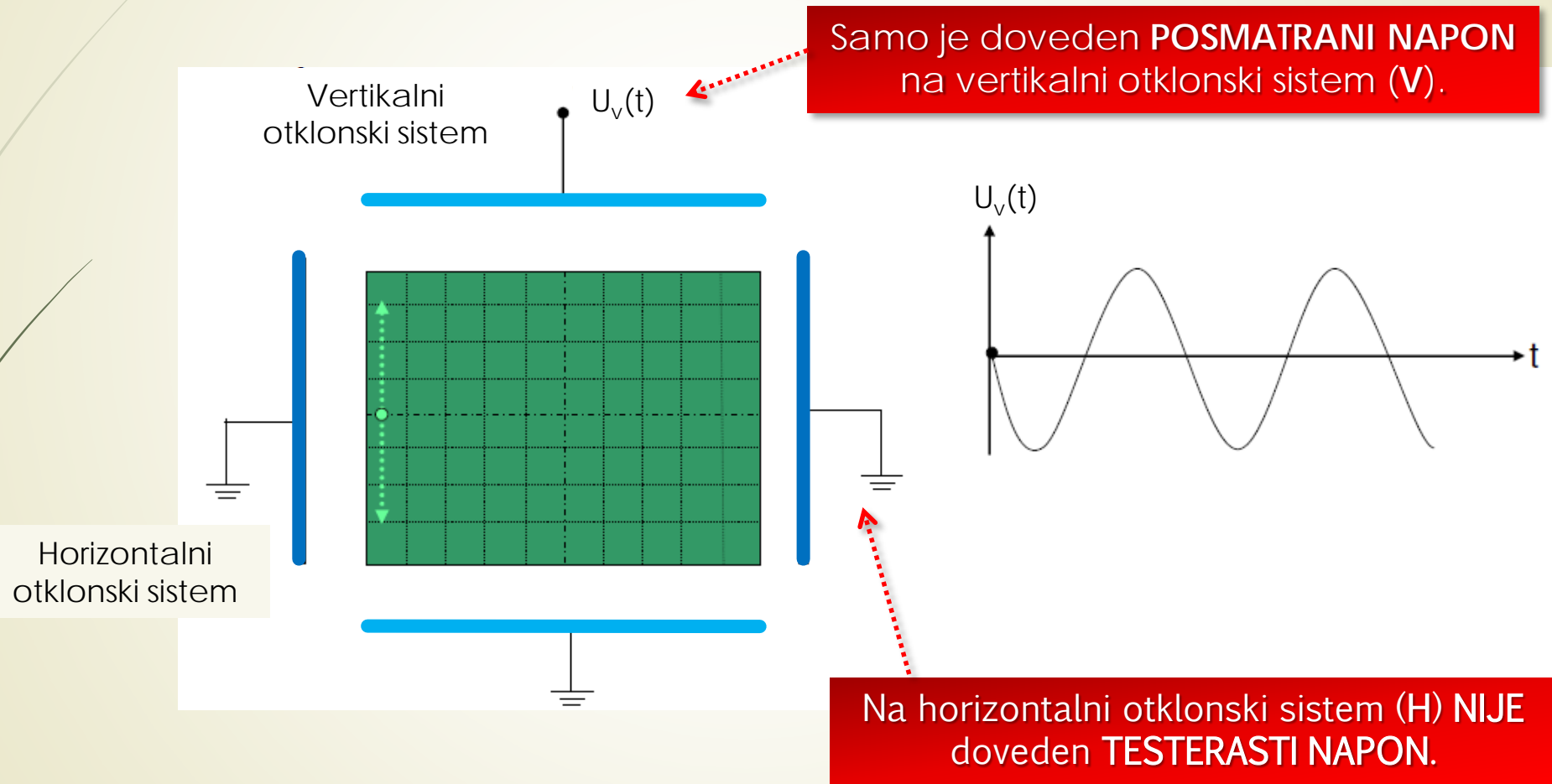
Testerasti napon



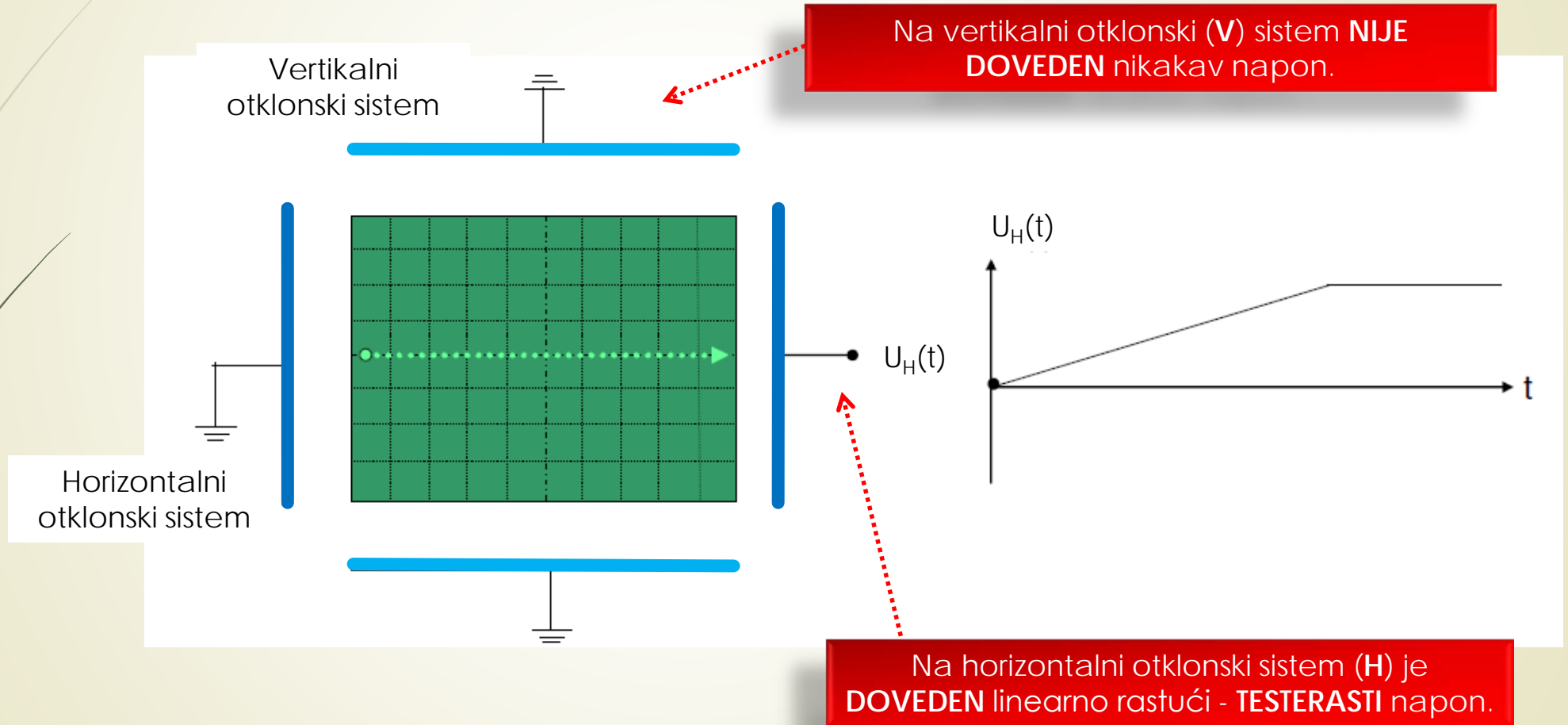
Princip rada katodnog osciloskopa (2)

- ▶ **BEZ PRIKLJUČENJA** bilo kakvog napona na ulaz osciloskopa, na ekranu se dobija **HORIZONTALNA LINIJA** po celoj dužini ekrana kao posledica kretanja elektronskog mlaza **OD LEVOG KA DESNOM KRAJU EKRANA I VRAĆANJA NA POČETAK**.
- ▶ Ovoje **UOBIČAJENA SLIKA** na ekranu osciloskopa po njegovom uključenju.
- ▶ Pri **ISTOVREMENOM** dovodenju **POSMATRANOG NAPONA** na vertikalne otklonske ploče i idealnog **TESTERASTOG NAPONA** na horizontalne otklonske ploče dobiće se verna **SLIKA TALASNOG OBLIKA** signala na ekranu.
- ▶ Ako vremenski interval u kojem testerasti napon pada sa maksimalne vrednosti na nultu (negativnu) vrednost nije jednak nuli, može se pojaviti manje ili **VIŠE IZOBLIČENA SLIKA** posmatranog signala.

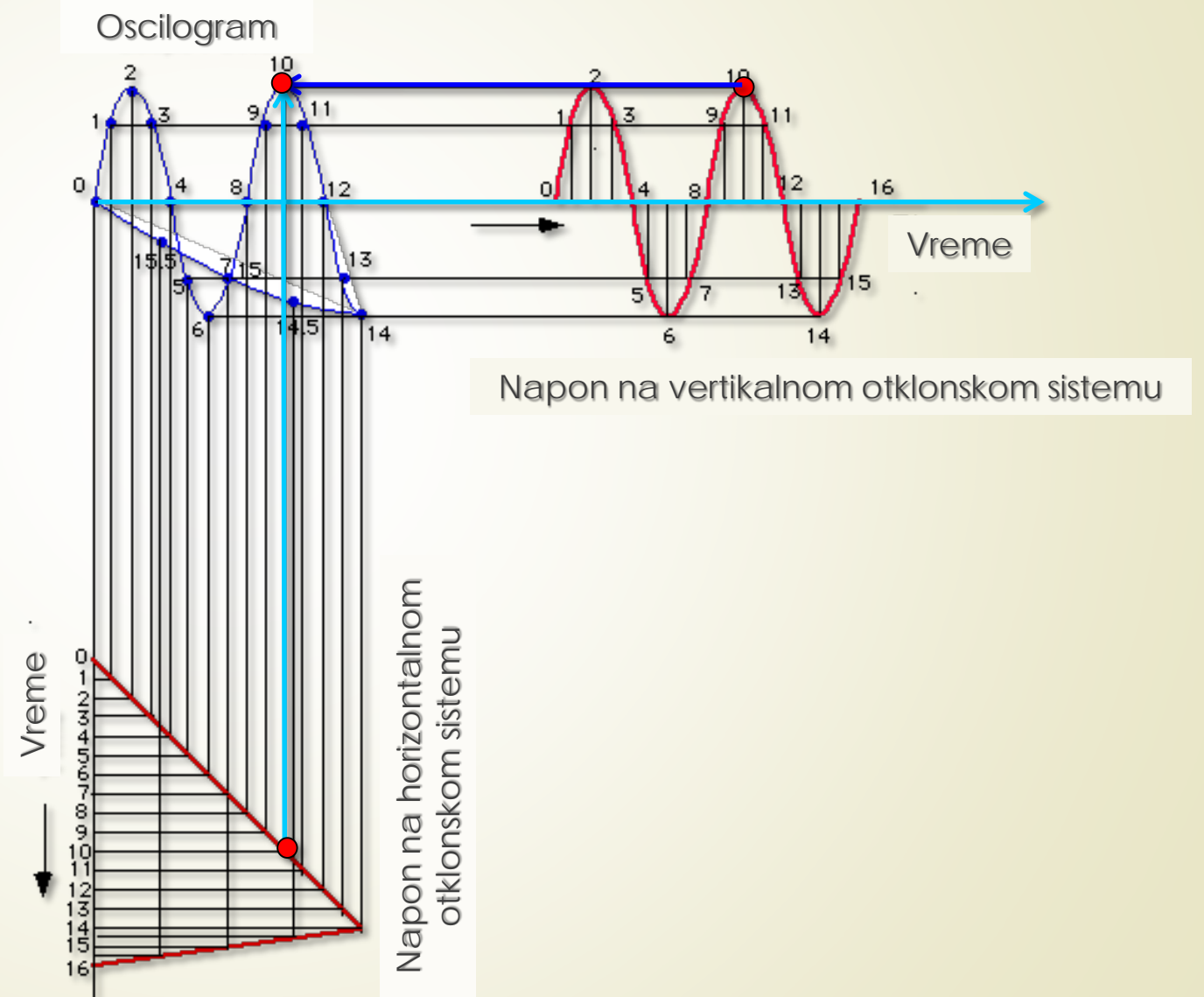
Formiranje oscilograma - H otklonski sistem



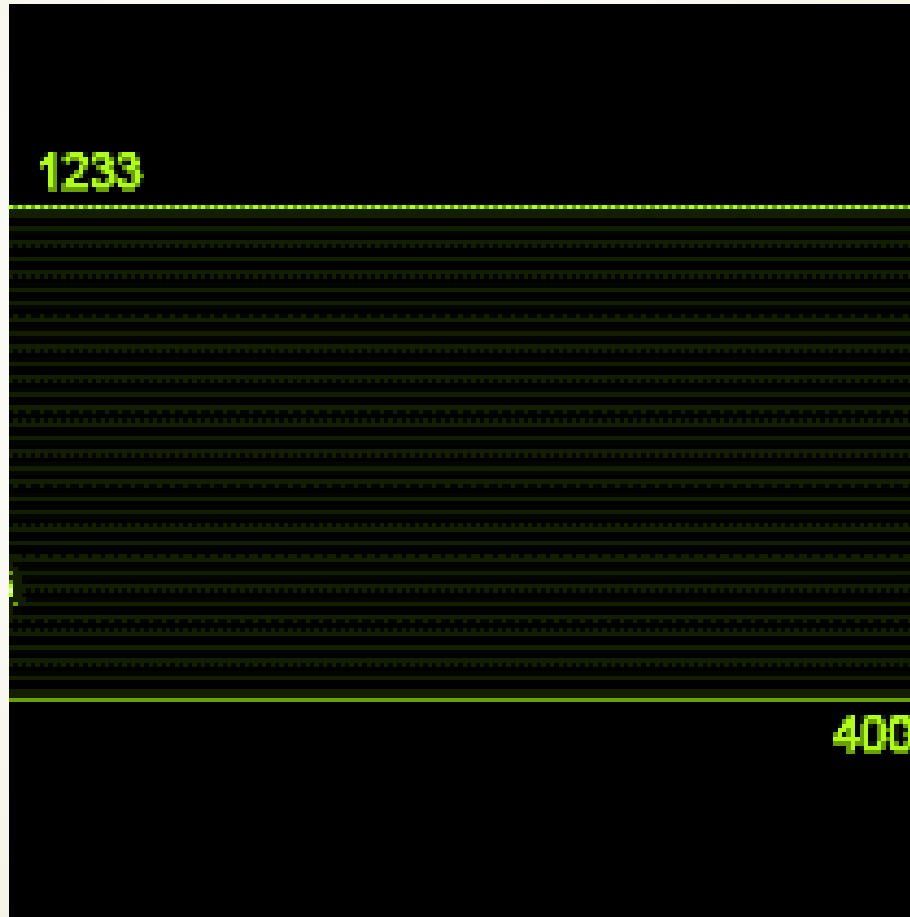
Formiranje oscilograma – V otklonski sistem



Formiranje oscilograma H+V

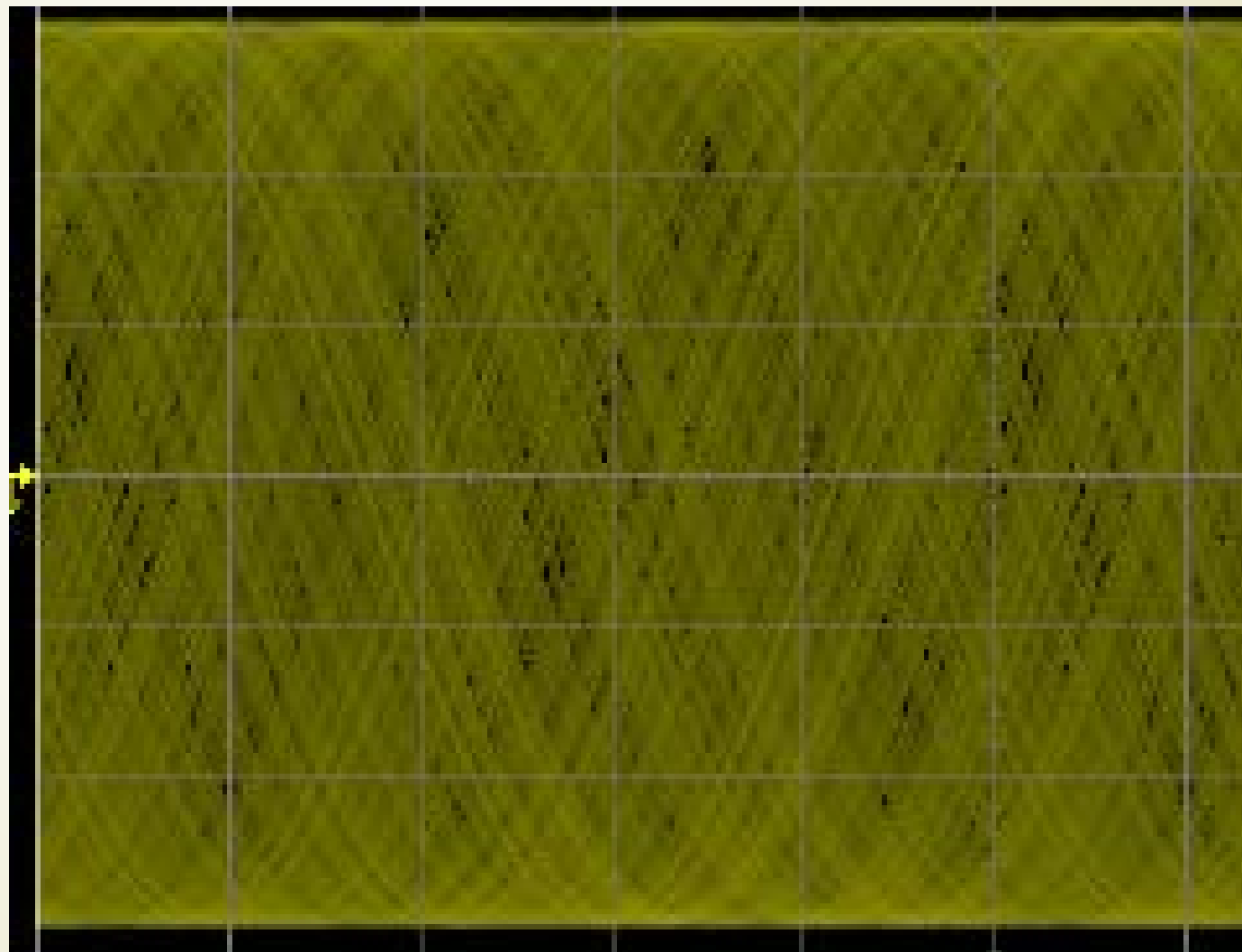


Animacija oscilograma



<http://www.youtube.com/watch?v=kWbvqDzr2Bc>

Nestabilna slika oscilograma



Uslovi stabilne slike oscilograma (1)

- ▶ Da bi se dobila **NEPOKRETNNA SLIKA** na ekranu osciloskopa potrebno je još da perioda testerastog napona bude **UMNOŽAK CELOG BROJA PERIODA** posmatranog signala.
- ▶ Ukoliko to nije zadovoljeno, slika se **NEPREKIDNO KREĆE** manjom ili većom brzinom sa jedne strane ekrana na drugu i vizuelno posmatranje **NIJE MOGUĆE**.
- ▶ Ako je perioda testerastog napona T , i ako na ulaz osciloskopa dovodimo sinusoidni napon **JEDNAKE PERIODE** T , na ekranu će biti prikazana jedna perioda sinusoidnog signala.
- ▶ Ukoliko je frekvencija sinusoidnog napona **DVOSTRUKO VEĆA**, tj. perioda iznosi $T/2$, na ekranu će se pojaviti **DVE SINUSOIDE**, i dalje, ako je frekvencija ulaznog sinusoidnog signala **n PUTA** veća od frekvencije testerastog napona, na ekranu će se pojaviti **n SINUSOIDA**.

Uslovi stabilne slike oscilograma (2)

- ▶ Takođe, ako je frekvencija **MERENOG SINUSOIDNOG SIGNALA NIŽA** od frekvencije testerastog napona, na ekranu će se prikazati samo odgovarajući **DEO JEDNE SINUSOIDE**.
- ▶ Pored **USAGLAŠENOSTI PERIODA**, potrebno je i da se **FAZNI POMERAJ** između posmatranog signala i testerastog signala **NE MENJA** za vreme posmatranja.
- ▶ Potrebna **USAGLAŠENOST PERIODA** između posmatranog signala i testerastog napona ostvaruje se **SINHRONIZACIJOM**, koja se najjednostavnije postiže tako što posmatrani signal **AUTOMATSKI REGULIŠE** rad generatora testerastog signala.
- ▶ U prvom redu ovo se odnosi na **TRENUTAK POČETKA GENERISANJA LINEARNO RASTUĆEG TESTERASTOG NAPONA** koji se dovodi na horizontalni otklonski sistem.

Posmatranje prelaznih pojava

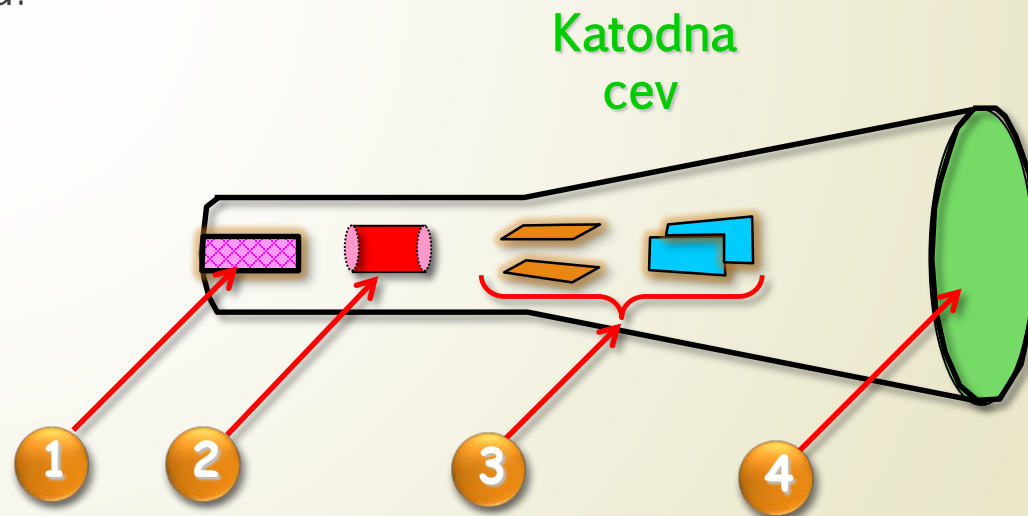
- ▶ Da bi se omogućilo prikazivanje **KRATKOTRAJNIH** prelaznih signala koji se **NE PONAVLJAJU**, ili se neperiodično ponavljaju, potreban je okidni sklop koji startuje (još kaže i okida) jednu periodu testerastog napona **ČIM SE POJAVI** posmatrani signal.
- ▶ Za svako **NOVO STARTOVANJE** generatora testerastog napona potrebna je **NOVA POJAVA** posmatranog signala.
- ▶ U slučaju rada sa **OKIDNIM SKLOPOM**, slika elektronskog mlaza na ekranu je **UGAŠENA** sve dok se posmatrani signal ne pojavi.
- ▶ **USPOSTAVLJANJE MLAZA** i njegovo skretanje počinje tek sa **POJAVOM SIGNALA**, tj. kada okidni sklop generiše **KRATKOTRAJNI IMPULS** potreban za startovanje **GENERATORA TESTERASTOG NAPONA**.

Okidni sklop i posmatranje signala

- ▶ Kako je za ovaj proces potrebno određeno vreme, a da bi posmatrani signal i testerasti napon bili **SINHRONIZOVANI**, mora se predvideti odgovarajuće **KAŠNENJE** dovodenja **POSMATRANOG SIGNALA** na **VERTIKALNE OTKLONSKE PLOČE**.
- ▶ Posmatrani signal deluje **TRENUTNO** na okidni sklop, a preko linije za kašnjenje na vertikalne otklonske ploče.

Katodna cev (1)

- ▶ **KATODNA CEV** je **DVODIMENZIONALNI INDIKATOR** kod koga se slika ostvaruje pretvaranjem kinetičke energije **ELEKTRONSKOG MLAZA** u **SVETLOST** u tački u kojoj elektronski mlaz udara u **FOSFORNI ZASLON - EKRAN**.
- ▶ Katodna cev se sastoji od **VAKUUMIZIRANOG STAKLENOG BALONA** unutar kojeg je pritisak manji od 10^{-4} Pa.
- ▶ Osnovne **KOMPONENTE KATODNE** cevi su:
 - ▶ Elektronski top;
 - ▶ Deo za naknadno ubrzavanje;
 - ▶ Otklonski sistem i
 - ▶ Ekran (zaslon).



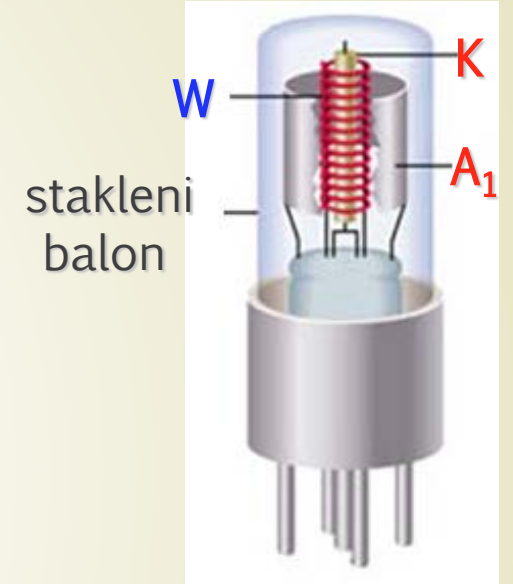
Katodna cev (2)

- ▶ **ELEKTRONSKI TOP** vakuumske cevi - TRIODE se sastoji od:

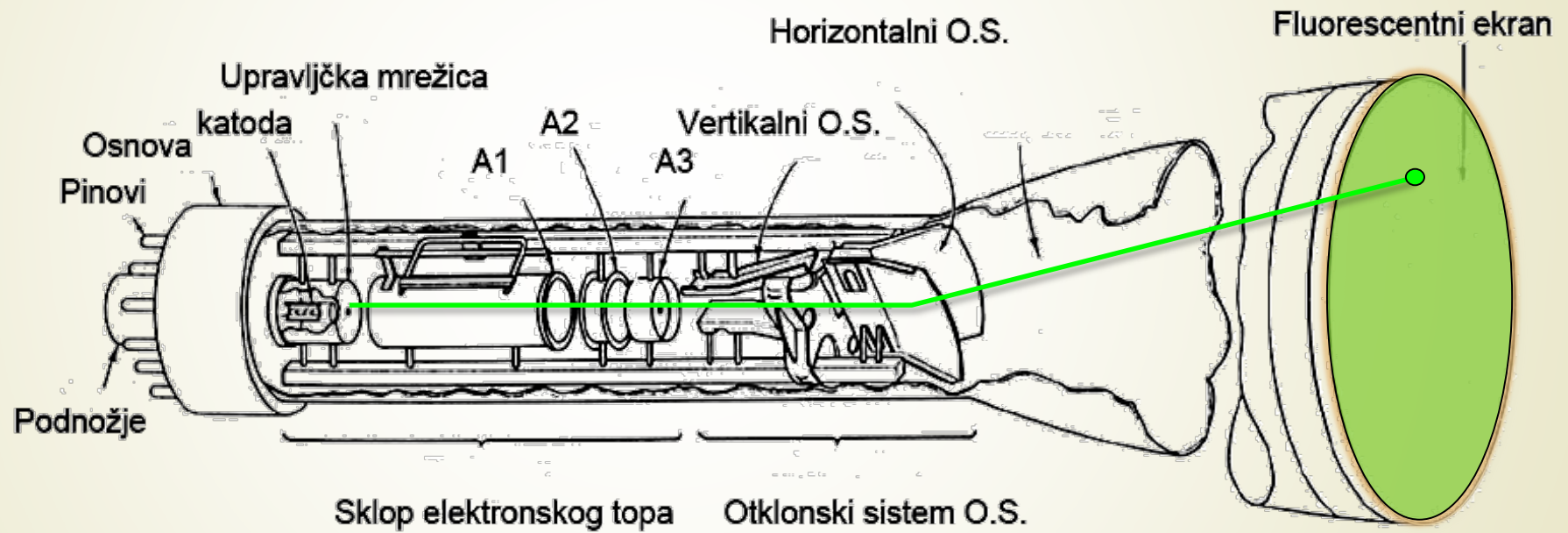
- ▶ Katode K;
- ▶ Upravljačke rešetke W;
- ▶ Prve anode za formiranje elektronskog mlaza A1;
- ▶ Sistem za fokusiranje sastavljen

od druge i treće anode A2 i A3 (nije prikazan na slici).

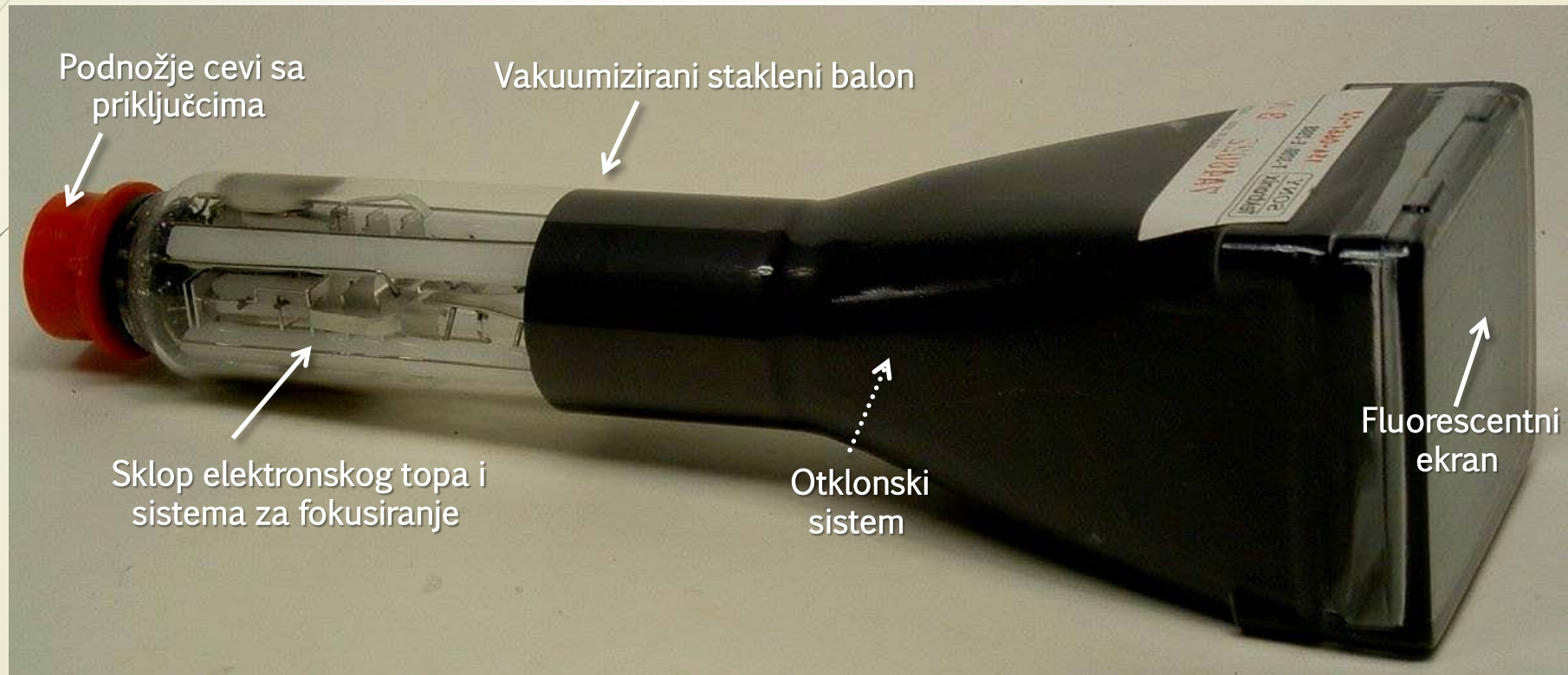
- ▶ **TERMOJONSKA KATODA** (K) od NIKLA presvučena oksidima barijuma, stroncijuma i kalcijuma se indirektno zagreva na oko 830°C čime se ostvaruje TERMOJONSKA EMISIJA elektrona.
- ▶ **MLAZ ELEKTRONA** se zatim uobličava prolaskom kroz prvu anodu A1 koja se nalazi na pozitivnom potencijalu od oko 300 V u odnosu na katodu.
- ▶ **SISTEM ZA FOKUSIRANJE** elektronskog mlaza i otklonski sistem mogu biti rešeni na dva načina, i to ELEKTROSTATIČKIM i ELEKTROMAGNETSKIM putem.



Unutrašnja struktura katodne cevi



Izgled katodne cevi osciloskopa



<http://www.youtube.com/watch?v=E55h2JCuCWk>

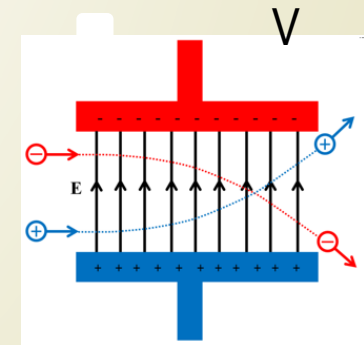
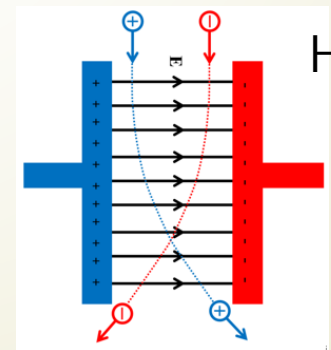
Katodna cev (3)

- ▶ Kod mernih osciloskopa se primenjuje katodna cev sa **ELEKTROSTATIČKIM REŠENJEM**, što znači da se na skretanje elektronskog mlaza deluje električnim poljem.
- ▶ Ovo rešenje se karakteriše:
 - ▶ Dobrom linearnošću;
 - ▶ Veoma malom potrošnjom;
 - ▶ Širokim frekvencijskim opsegom;
 - ▶ Dimenziono malim ekranom.
- ▶ **ELEKTROMAGNETSKO** rešenje zasnovano na delovanju **MAGNETNOG POLJA** na elektronski mlaz, omogućava **VEĆI OTKLON**, a time i prikazivanje talasnog oblika signala na znatno većem ekranu, kao i prikazivanje slike u boji, ali uz veću potrošnju i sa primenom rastera.
- ▶ Elektromagnetsko rešenje primenjuje se kod katodnih cevi za **TELEVIZORE**, alfanumeričke i grafičke **CRT** displeje.

Otklonski sistem katodne cevi (1)

- ▶ **OTKLONSKI SISTEM** se sastoji od **DVA PARA** otklonskih ploča za skretanje elektronskog mlaza, obeleženih na slikama sa **Y** i **X**, koje su međusobno upravno postavljene.
- ▶ **OTKLONSKE PLOČE** jednog para mogu biti paralelne, postavljene pod nekim uglom, delom paralelne a delom postavljene pod uglom, pa čak i krive!
- ▶ **JEDAN PAR** otklonskih ploča se koristi za skretanje elektronskog mlaza u vertikalnom pravcu (Y), a drugi u horizontalnom (X).
- ▶ **OBA PARA** otklonskih ploča su postavljena **SIMETRIČNO** u odnosu na osu cevi, a svaki par pojedinačno predstavlja **PLOČASTI KONDENZATOR** kapacitivnosti reda **10 pF**.

Skretanje elektronskog mlaza u električnom polju pločastog kondenzatora



Otklonski sistem katodne cevi (2)

- ▶ Ako na otklonske ploče **NIJE PRIKLJUČEN NAPON**, elektronski mlaz udara (pada) u **CENTAR EKRANA**.
- ▶ Ako se na jedan par otklonskih ploča međusobnog rastojanja d dovede napon U , dobiće se **ELEKTRIČNO POLJE** intenziteta U/d koje je normalno na pravac kretanja elektronskog mlaza.
- ▶ Ako su u pitanju **VERTIKALNE** otklonske ploče, lako se dobija da je skretanje elektronskog mlaza po visini Y :

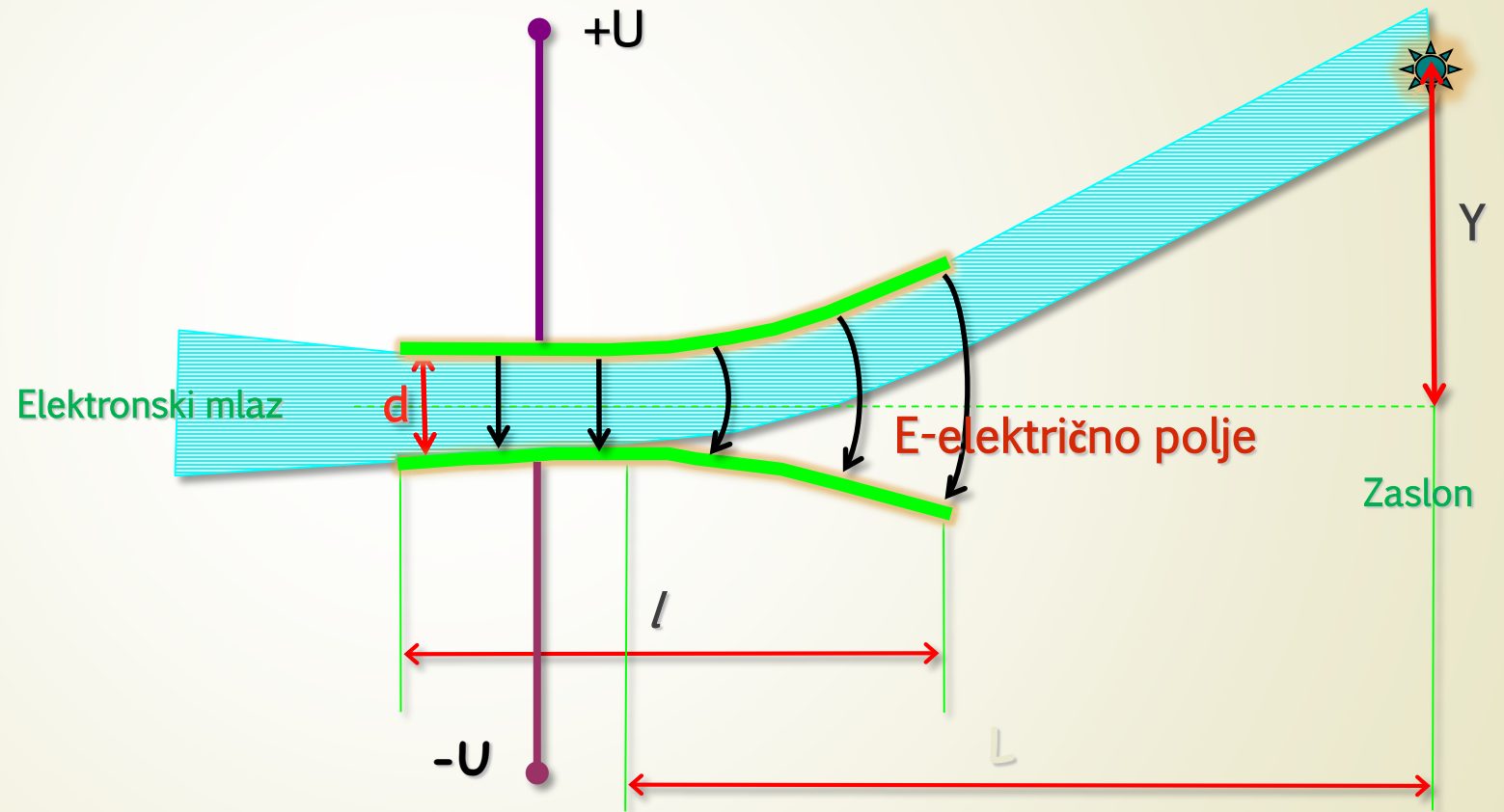
$$y = \frac{1}{1} \frac{U}{U_3} \frac{l}{d} L$$

$$s = \frac{y}{U}$$

s - statička osetljivost
[mm/V]

- ▶ l – dužina ploča, L - rastojanje sredine ploča do ekrana, U_3 - Napon treće anode.

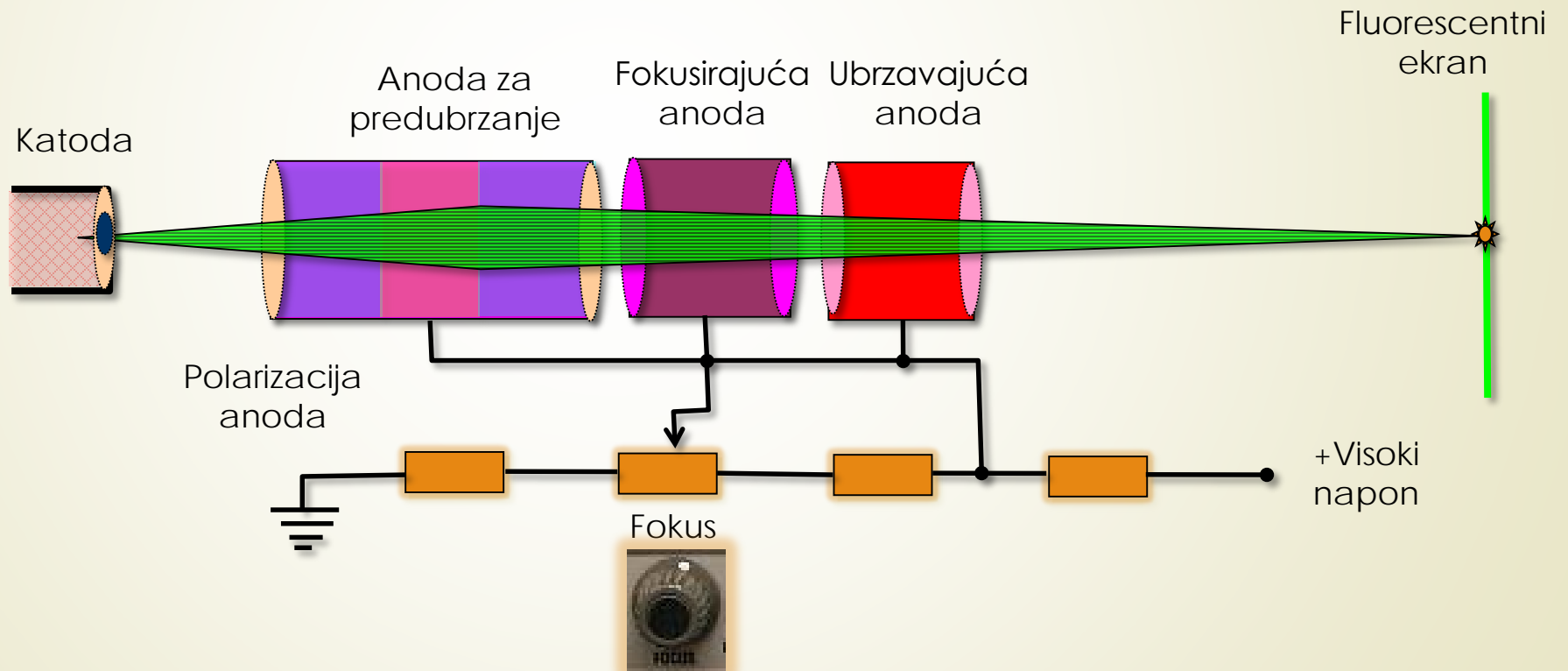
Skteranje elektronskog mlaza u E polju



<http://www.youtube.com/watch?v=2qOozsiwyzU>

Sistem za fokusiranje

- Deo za **NAKNADNO UBRZAVANJE** se primenjuje u cilju povećanja osvetljenosti slike kod katodnih cevi koje prikazuju talasne oblike signala frekvencija većih od 10 MHz.



Ekran katodne cevi (1)

- ▶ **EKRAN KATODNE CEVI** je prekriven fosforom sa unutrašnje strane i na njemu se prikazuje talasni oblik signala koji posmatramo, a koji se naziva slika, zapis ili **OSCILOGRAM**.
- ▶ Fosfor ima osobinu **FLUORESCENCIJE**, tj. kada na njegovu površinu padaju elektroni sa velikom kinetičkom energijom fosfor apsorbuje kinetičku energiju i emituje svetlost.
- ▶ Različite vrste fosfora daju različite boje ekrana,
 - ▶ od **ŽUTO-ZELENE**,
 - ▶ preko **BELE i PLAVE**, do
 - ▶ **ZELENE** (fosfor P 31),
- ▶ Različitu efikasnost **OSVETLJENOSTI** (od 15 % do 100 % - P 31) i različitu **PERZISTENCIJU**, tj. vreme za koje osvetljenost pogođene tačke na ekranu padne na nulu.

Tipovi fosfora i njihove karakteristike

TIPOVI FOSFORA I NJEGOVE KARAKTERISTIKE

Fosfor		Fluorescencija i fosforescencija	Relativna luminiscenca	Relativna fotografska brzina pisanja	Starenje	Relativna otpornost na gorenje
WTDS	JEDEC					
GJ	P1	yellowish green	50%	20%	medium	medium
WW	P4	white	50%	40%	medium short	medium high
GM	P7	blue	35%	75%	long	medium
BE	P11	blue	15%	100%	medium short	medium
GH	P31	green	100%	50%	medium short	high
GR	P39	yellowish green	27%	—	long	medium
GY	P43	yellowish green	40%	—	medium	very high
GX	P44	yellowish green	68%	—	medium	high
WB	P45	white	32%	—	medium	very high

Ekran katodne cevi (2)

- ▶ **PERZISTENCIJA** ili naknadno osvetljavanje je posledica druge osobine fosfora **FOSFORESCENCIJE**, tj. nastavka emitovanja svetlosti za neki period i nakon prestanka bombardovanja fosfora elektronima.
- ▶ **KRATKOPERZISTENTNI** fosfori (perzistencija traje nekoliko mikrosekundi xms) se koriste za prikazivanje brzopromenljivih periodičnih i prelaznih pojava, dok se **DUGOPERZISTENTNI** fosfori (perzistencija traje nekoliko sekundi x s) primenjuju kod posmatranja signala **NISKE FREKVENCije** kada se želi da slika bude vidljiva i nakon nestanka pojave.
- ▶ **VELIČINA DIJAGONALE** pravougaonog ekrana katodne cevi kod mernih osciloskopa se kreće najčešće od oko **12** cm do oko **16** cm.
- ▶ Pogledaj tehnologiju izrade katodne cevi od 5 min, YouTube.

<http://www.youtube.com/watch?NR=1&v=5NwMPcYH71g&feature=endscreen>