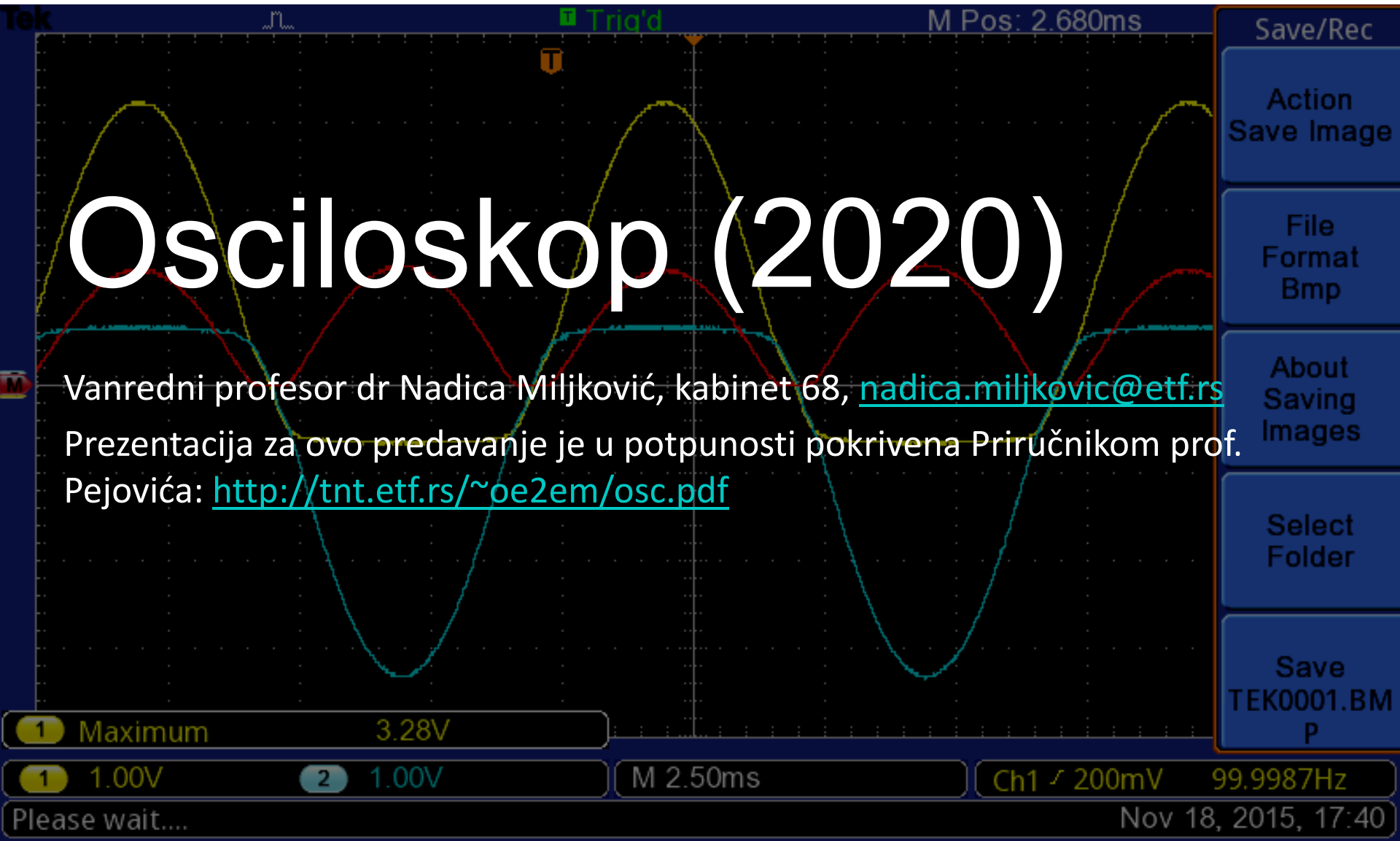


# Osciloskop (2020)

Vanredni profesor dr Nadica Miljković, kabinet 68, [nadica.miljkovic@etf.rs](mailto:nadica.miljkovic@etf.rs)  
Prezentacija za ovo predavanje je u potpunosti pokrivena Priručnikom prof. Pejovića: <http://tnt.etf.rs/~oe2em/osc.pdf>





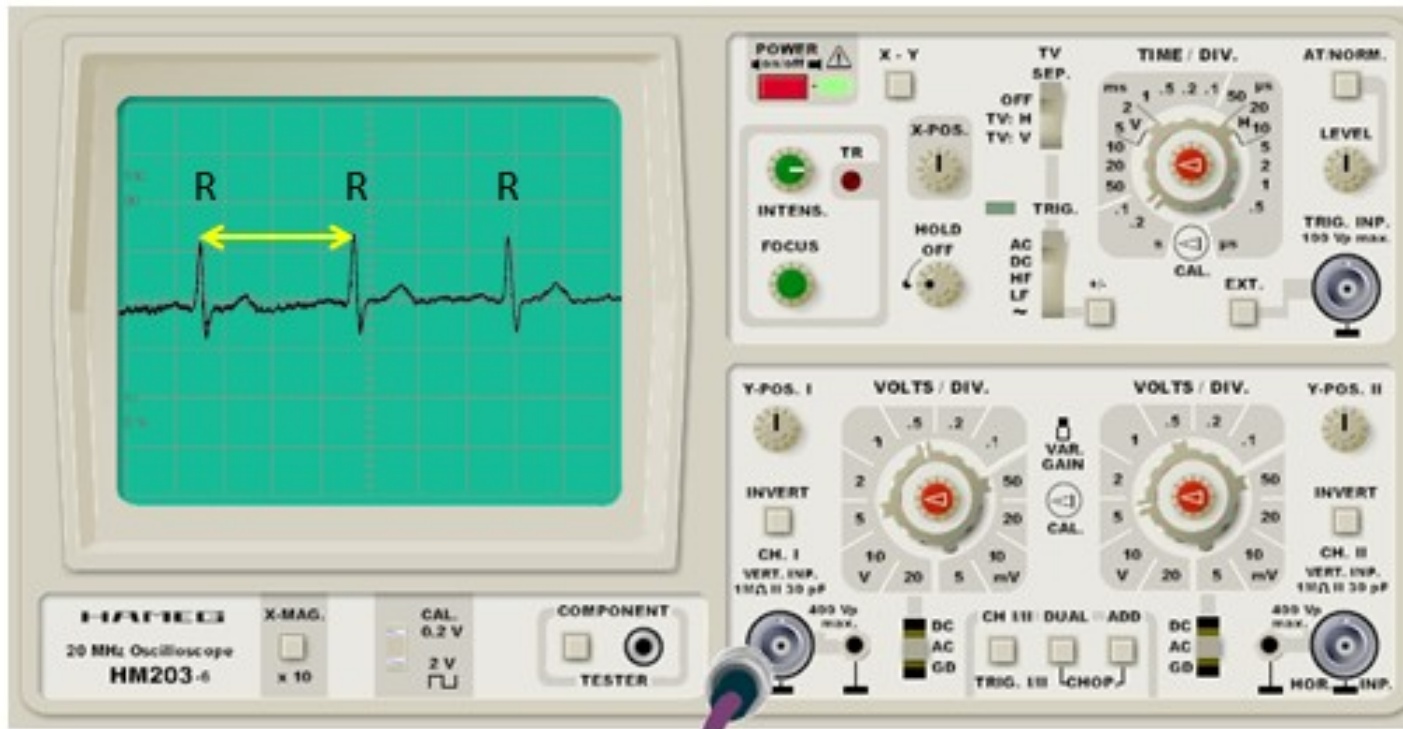
# Šta je osciloskop?

- Osciloskop je najčešće korišćen merni instrument, pored univerzalnog instrumenta za merenje struje, napona i otpornosti.
- Osnovna namena je prikazivanje vremenskih dijagrama naponskih signala (primenom strujnih sondi moguće je meriti i struju tj. strujne signale).
- Može se koristiti i za prikazivanje međusobne zavisnosti dva naponska signala (npr. merenje faze i frekvencije primenom Lisažuovih figura, biće objašnjeno kasnije).
- Da li je moguće meriti i druge veličine osim struje i napona?
  - Da, primenom konvertora iz neelektričnih u električne veličine (pretvarači i senzori).

# Analogni, digitalni i virtuelni osciloskopi

- Indikatorski sistem (prikaz 2D slike) kod **analognih** osciloskopa se zasniva na primeni katodnih cevi.
- Kod **digitalnih** osciloskopa, indikatorski sistem se zasniva na displeju na bazi tečnih kristala (smanjena dimenzija osciloskopa). Dodatno, automatsko proračunavanje parametara, povezivanje sa računarom i ekran u boji su neke od prednosti digitalnih osciloskopa.
- Pored ovog postoje i **virtuelni** instrumenti kod kojih su merenja zasnovana na primeni računara (najčešće primenom A/D konvertora i programabilne instrumentacije)
- Postoje i tablet osciloskopi, portabilni osciloskopi, ... Digitalni osciloskopi mogu imati dodatne opcije: *function generator*, digitalne ulaze, softverske module, ...

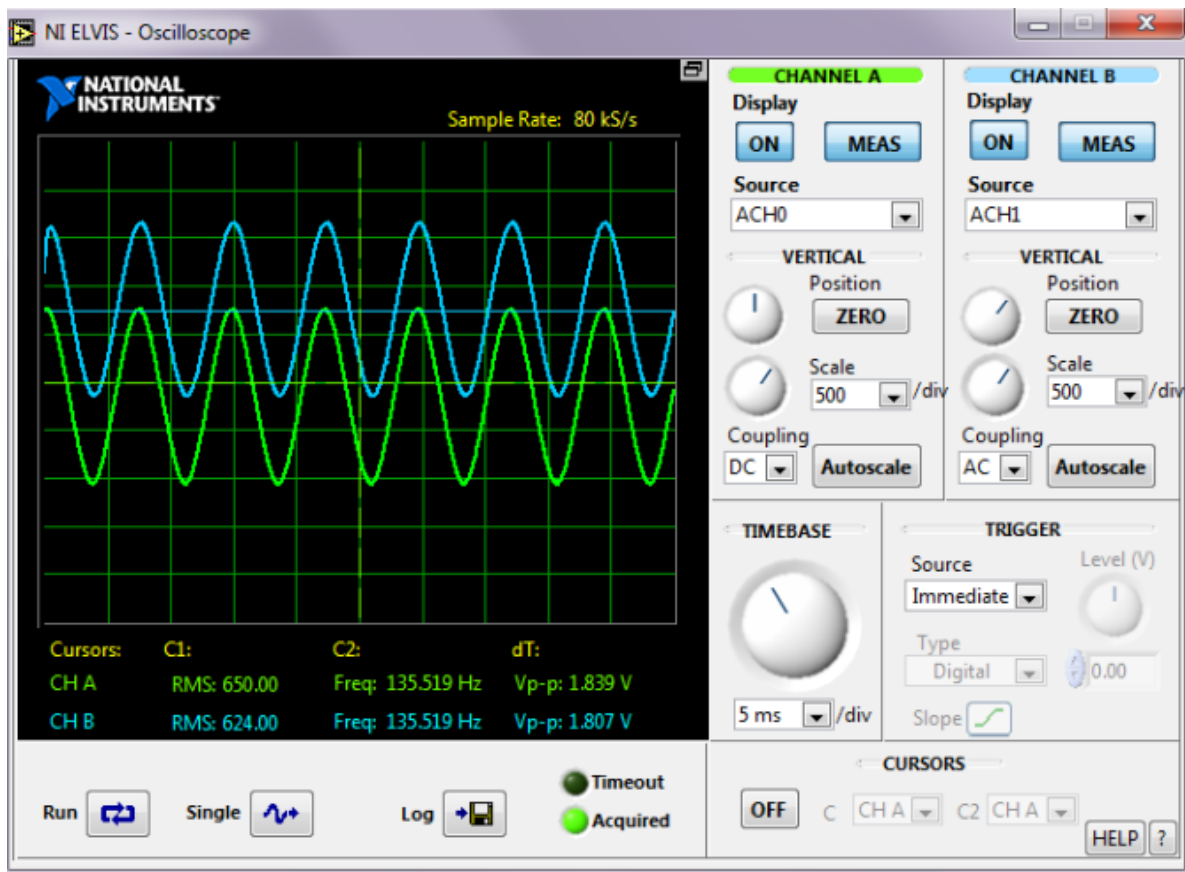
# Napomena



Maska osciloskopa je preuzeta sa sajta <https://www.virtual-oscilloscope.com/>, © 2002 Peter Debik, Berlin.

- Virtuelni osciloskop sa prošlog predavanja može da služi za *online* obuku studenata.
- Ovde su svi signali simulirani, pa termin “virtuelno” ima drugačije značenje.

# A taj drugi virtuelni osciloskop?



- Primer je dat na slici iz udžbenika [MIEM](#).
- Radi se o programu za NI ELVIS I (National Instruments Inc., Austin, USA).
- Primetiti korisnički interfejs. Slično, zar ne? Realni signali su prikazani na ovom instrumentu preko analogno-digitalnih konvertora (A/D).

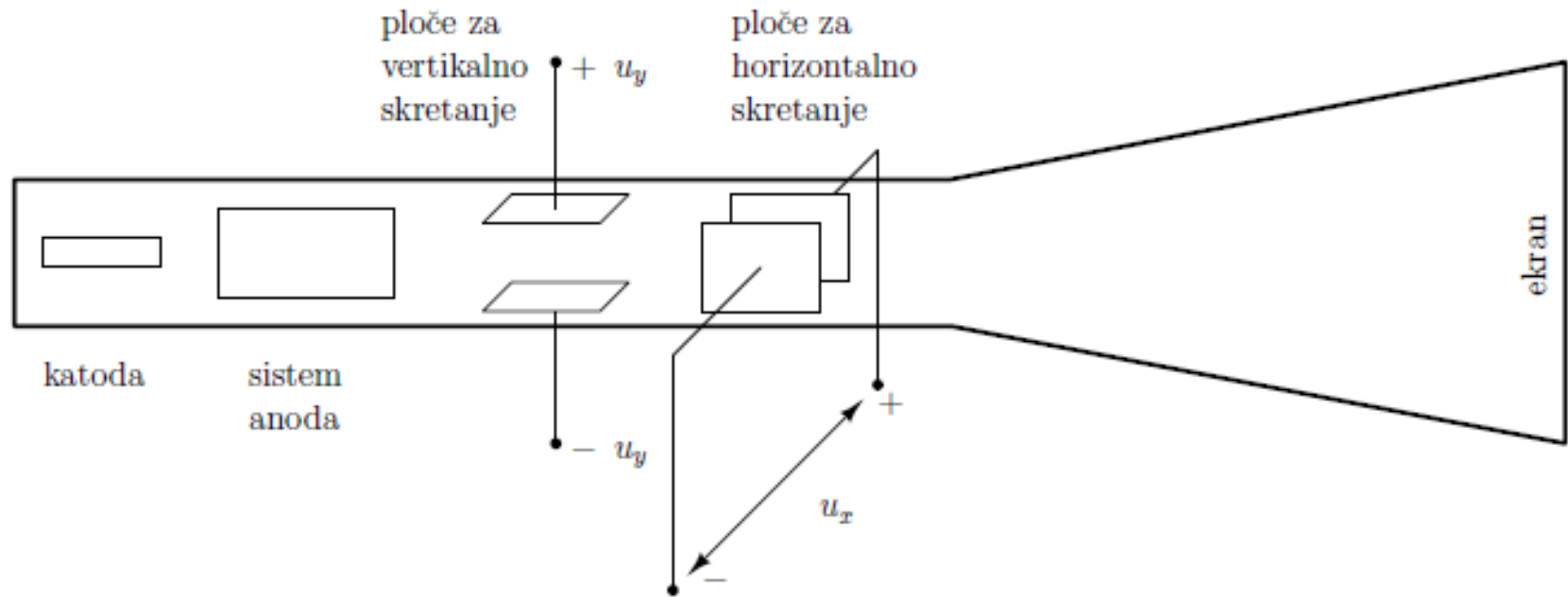
# Broj kanala na osciloskopu



- Dvokanalni osciloskop – mogu se posmatrati dva nezavisna signala, oba imaju isti referentni potencijal (nisu u potpunosti nezavisni). Šta to tačno znači?
- Četvorokanalni i dvokanalni digitalni osciloskopi su prikazani na slikama.
- Obratite pažnju na broj priključnih mesta za osciloskopske sonde.



# Katodna cev



- Cev iz koje je evakuisan vazduh.
- Katoda predstavlja izvor elektrona i radi po principu termoelektronske emisije. Šta to znači?
- Elektroni se ubrzavaju i fokusiraju sistemom anoda po elektrostatičkom principu. Kako?
- Elektronski mlaz na putu ka ekranu dolazi do sistema za skretanje.



# U realnosti



- Primer katodne cevi koja se može naći u analognim osciloskopima je data na slici (<http://www.crtsite.com/big/crt/sony%201-big.jpg>).
- Poslednja katodna cev je proizvedena u Evropi 2012. godine.
- Izgled prvih analognih osciloskopa (najčešće sa okruglim ekranom) možete pogledati na: <http://www.oscilloscopemuseum.com/>.

# Formiranje slike na ekranu

- Sistem za skretanje elektronskog mlaza u katodnoj cevi se sastoji iz dva para ploča:
  - para ploča za vertikalno skretanje is
  - para ploča za horizontalno skretanje
- Elektroni se nakon izlaska iz sistema za skretanje kreću ka ekranu osciloskopa (prilikom udara elektronskog mlaza na ekran, ostaje svetleći trag).
- Koordinata na kojoj elektronski mlaz udara u ekran osciloskopa je proporcionalna naponu primenjenom na pločama sistema za skretanje.

# Svetleća tačka

- Ekran osciloskopa ima osobinu fluorescencije kako bi se na mestu udara elektronskog mlaza stvorila svetleća tačka.
- Ovakva tačka nastavlja da svetli još neko vreme nakon prestanka delovanja elektronskog mlaza.
  - Značajno kada se posmatraju sporo promenljivi signali i kada perzistencija osvetljenosti tačke pogođene elektronskim mlazom treba da obezbedi veću trajnost i malo treperenje posmatranog dijagrama.

# Graduacija ekrana



- Odnos širine i visine 10:8
- Podeok se označava sa DIV (od eng. *division*)
- Centralne ose (horizontalna i vertikalna) su podebljane i dodatno su izgraduisane (0.2 DIV)
- Rezolucija (najmanji podeok koji je moguće izmeriti) u %:  $0.2/8 \rightarrow 2.5\%$  i  $0.2/10 \rightarrow 2\%$ .
- Na slici je prikazan ekran osciloskopa i komande za kontrolu elektronskog mlaza.

# Komande za kontrolu slike



INTENSITY – reguliše osvetljenost ekrana

TRACE ROTATION – podešavanje nagnutosti traga elektronskog snopa, ređe se koristi

BEAM FIND – ako je signal izvan slike

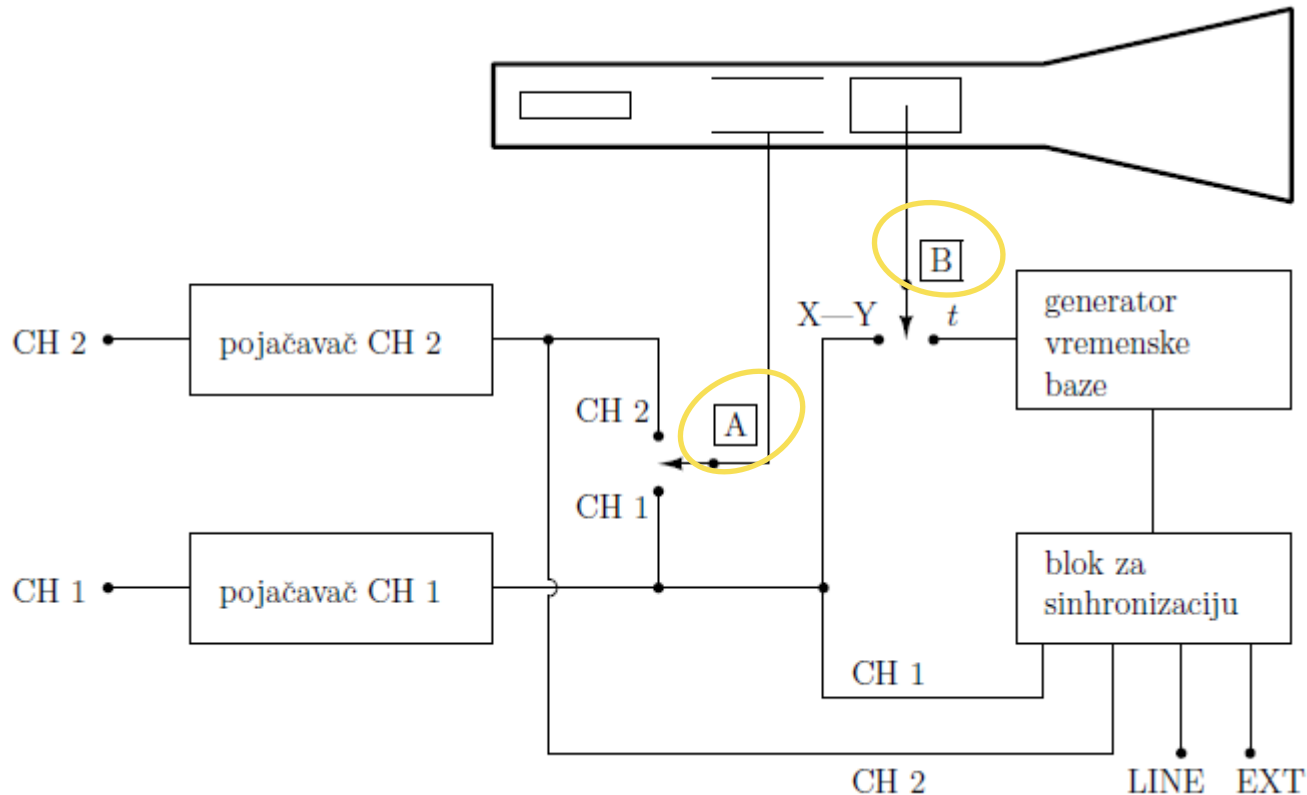
PROBE ADJUST – za testiranje i kompenzaciju sonde (eng. *probe*), ovde nećemo koristiti

FOCUS potencijometar – podešava se oštrina slike (fokusiranje elektronskog mlaza)

zelena LED – ON/OFF indikator

dugme za uključenje i isključenje osciloskopa

# A kako se napon prikazuje na ekranu?



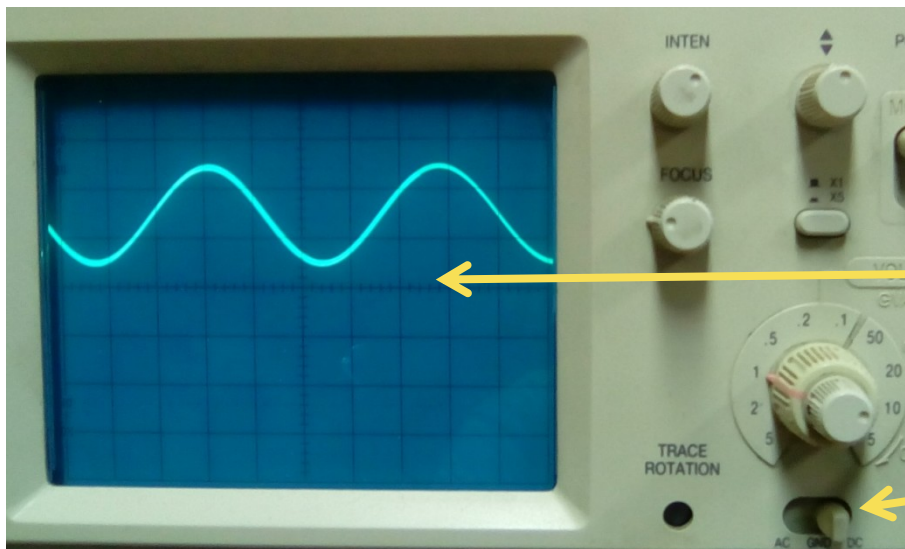
- Blok šema osciloskopa je prikazana na slici.
- Na slici se nalaze pojačavači za “vertikalno skretanje” i “pojačavači kanala” koji su povezani preklopnicama A i B na slici.

# DC, AC i GND



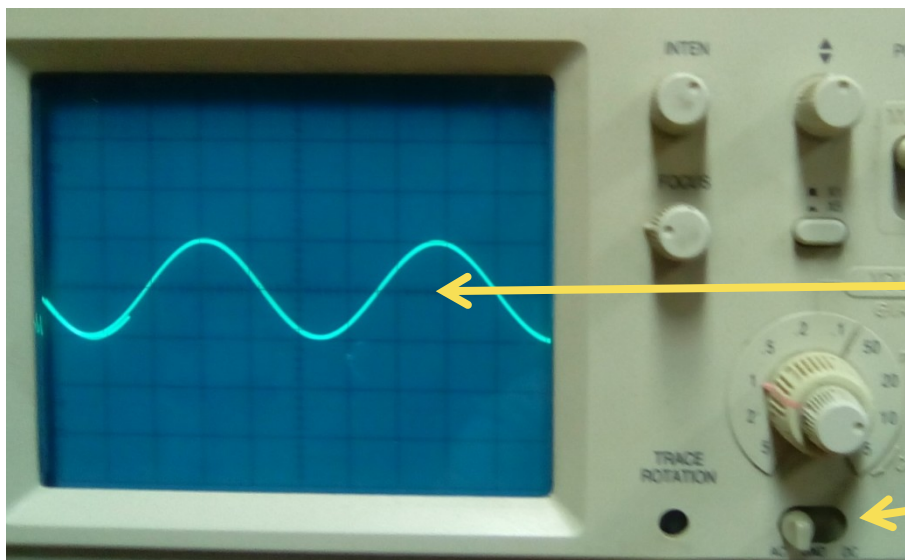
- Ulazni signal (koji želimo da posmatramo) se do pojačavača dovodi preko preklopnika sa tri položaja: AC, DC i GND.
- **GND preklopnik** – ulazni signal nije priključen na ulaz pojačavača, već je ulaz na masi (potencijal = 0). Služi za podešavanje 0-tog položaja.
- **DC preklopnik** – posmatra se trenutna vrednost signala (jednosmerna i naizmjenična komponenta)
- **AC preklopnik** – naizmjenična komponenta (ovo se postiže primenom kondenzatora i otpornika tzv. RC kolo, o tome će biti reči na kasnijim predavanjima). Za niže frekvencije potrebno je izbegavati ovaj preklopnik, kasnije o tome.

# DC i AC za sinusoidu



Prethodno je GND preklopnik bio podešen na 0-ti nivo.

DC



Prethodno je GND preklopnik bio podešen na 0-ti nivo.

AC



# Da ne bude zabune ...

- AC od eng. *alternating current* i u prevodu naizmenična struja tj. ovde komponenta ([https://en.wikipedia.org/wiki/Alternating\\_current](https://en.wikipedia.org/wiki/Alternating_current)).
- DC od eng. *direct current* i u prevodu jednosmerna struja tj. ovde komponenta ([https://en.wikipedia.org/wiki/Direct\\_current](https://en.wikipedia.org/wiki/Direct_current)).
- Signal je moguće dekomponovati na jednosmernu i nazimeničnu komponentu.
- Na sledećem slajdu ovo će biti ilustrovano na primeru periodičnog signala  $v(t)$ . Korišćena je ista notacija kao u knjizi prof. P. Pejovića “Princip rada i primena osciloskopa”, kako bi studenti jednostavnije mogli da savladaju ovaj deo kursa.

•••

- Za periodičan napon  $v(t)$  sa periodom  $T$ , gde je  $k$  ceo broj, važi  $v(t + kT) = v(t)$ . Jednosmerna komponenta  $V$  je srednja vrednost signala  $v(t)$  i jednaka je:

$$V = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt$$

- $v(t)$  je trenutna vrednost signala. Nazimenična komponenta je razlika trenutne i srednje vrednosti i jednaka je:

$$\hat{v}(t) = v(t) - V$$

- Sledi da je trenutna vrednost signala jednaka zbiru naizmjenične i jednosmerne komponente. Uobičajen zapis prethodnog izraza je  $v_A = V_A + v_a$  (srednja vrednost se obeležava velikim, a nazimenična malim slovom).
- **Message to take home:** DC na osciloskopu ima značenje trenutne vrednosti (DC + AC). Prethodno izloženo se koristi za računanje srednje vrednosti primenom osciloskopa.

# Zaštita na osciloskopu

- Uobičajeno, pre ulaza u pojačavač, a nakon preklopnika za selekciju tipa signala nalazi se zaštita. Nije ucrtana na 13. slajdu, pogledati knjigu za detalje.
- Od koga zaštita? Od nesavesnih korisnika i/ili nepredvidivih situacija.
- Zašto? Postoji ograničenje za maksimalan napon koji se može posmatrati. Pogledati uputstvo i koristiti odgovarajući instrument za odgovarajuća merenja.
  - Na primer, Tektronix 2215A ima maksimalan napon od 400 V na frekvencijama do 10 kHz, a za veće frekvencije maksimalni dozvoljeni napon se smanjuje. -> Treba voditi računa i o frekvenciji!
- **Savet:** odgovorno i savesno koristiti instrumente i ne oslanjati se na zaštitu.

# Kontrola pojačavača za vertikalno skretanja mlaza



- Obezbeđuje pojačanje u diskretnim skokovima (preklopnik VOLTS/DIV).
- Kontinualna promena pojačanja između dva diskretna se postiže manjim potenciometrom (CAL na slici).
- Položaj 0-tog naponskog nivoa (GND) se postiže potenciometrom POSITION.
- BW LIMIT služi da se smanji propusni opseg -> kada se smanjuje šum. Ovde do 10 MHz.
- Za drugi pojačavač postoji i prekidač IN koji invertuje signal.

# Kontrola pojačavača za vertikalno skretanja mlaza



POSITION potenciometri za promenu 0-og napona

BW LIMIT 10 MHz za smanjenje propusnog opsega oba kanala istovremeno

INVERT za invertovanje drugog kanala: množenje signala sa -1

CAL potenciometri

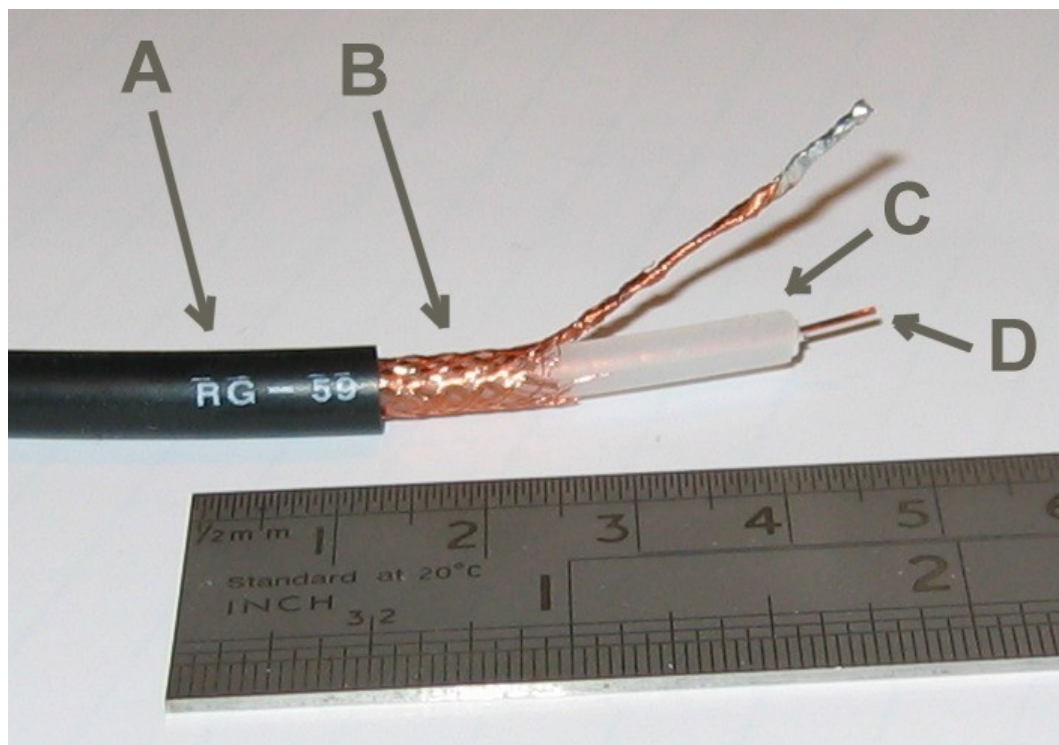
Preklopnici VOLTS/DIV

# Sonda osciloskopa



- Za priključenje ulaznog signala koriste se sonde sa BNC konektorima.
- BNC (od Bayonet Neill-Concelman, [https://en.wikipedia.org/wiki/BNC\\_connector](https://en.wikipedia.org/wiki/BNC_connector)) konektor se koristi sa koaksijalnim kablovima. Originalno je napravljen za potrebe vojske, ali se koristi i za TV i mnoge druge primene.
- Sonda (eng. *probe*) može biti direktna (prenosi odnos 1:1) i tada se VOLTS/DIV čita sa "1X".
- Ako sonda ima prenosni odnos 10:1 onda se VOLTS/DIV čita sa "10X PROBE".
- Takve sonde imaju dodatni preklopnik (u žargonu dugme) na kome se bira ovaj odnos.
- Pojačanje pojačavača se očitava sa diskretne skale i tačno je ako je potenciometar CAL u kalibrisanom položaju (krajnje desno, može i sa blagim otporom).

# BNC konektori i koaksijalni kablovi



- Koaksijalni kabl sa slike levo (CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=50762>) omogućava da rastojanje između provodnika bude konstanto što ovaj kabl čini efikasnim za prenos signala.
- BNC konektor je prikazan na slici desno gore i BNC adapter na duplu buksnu na slici desno dole (CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=96414> i By Swift.Hg - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=25681746>).
- Ovi konektori imaju obrtni mehanizam koji omogućava "siguran" kontakt.

# Još komandi?



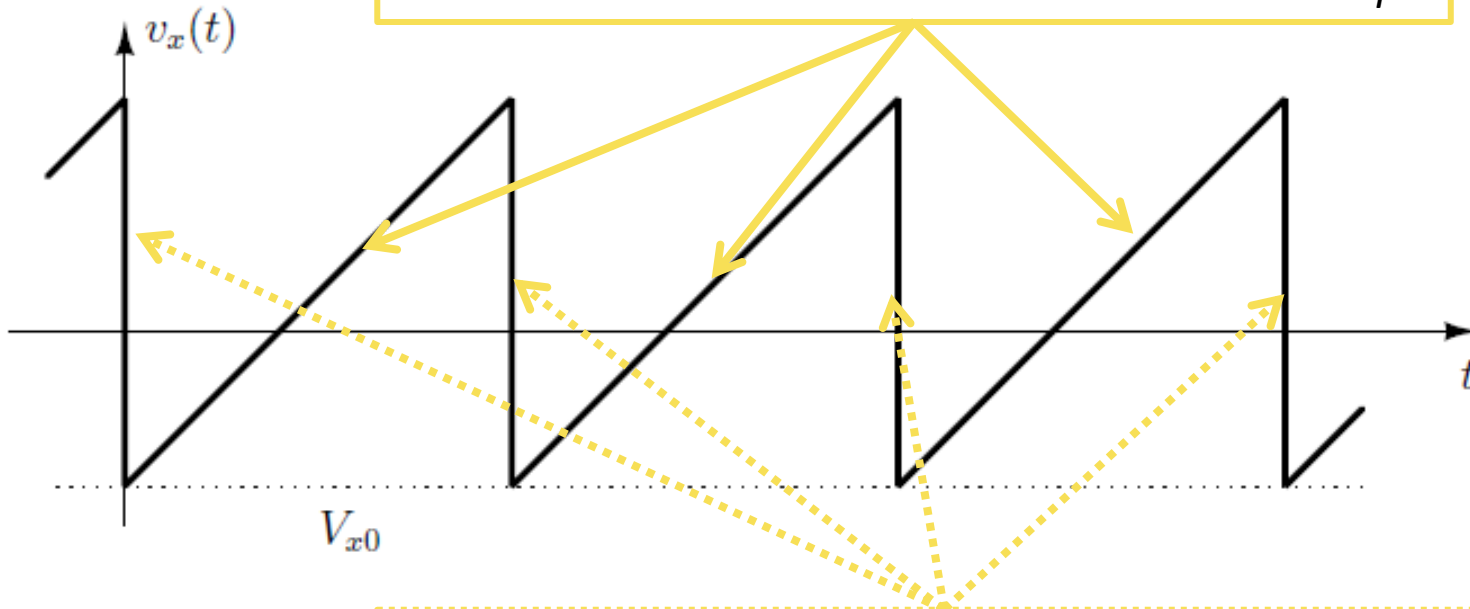
Preklopnik za izbor kanala: CH1, CH2 ili oba istovremeno. Ovde CH2.

Ako je prikaz za BOTH onda se biraju ADD, ALT i CHOP.  
ADD – prikazuje se zbir CH1 i CH2  
ALT – od eng. *alternate*, u jednom skretanju mlaza CH1, a u drugom CH2  
CHOP – za prikazivanje niskih frekvencija, jer dolazi do treperenja slike, ALT je “prijatniji” za visoke frekvencije.



# Horizontalno skretanje

elektronski mlaz se kreće s leva na desno tzv. *sweep*



elektronski mlaz se vraća u krajni levi položaj na ekranu

- Da bi se prikazali vremenski dijagrami posmatranih napona, potrebno je da horizontalna osa (apscisa tj. x-osa) bude graduisana po vremenu.
- Po horizontalnoj osi treba pomerati elektronski mlaz konstantnom brzinom.
- Pri prolasku celog ekrana s leva na desno (tzv. *sweep*) treba vratiti elektronski mlaz u krajni levi položaj za ponovno iscrtavanje. Zbog toga napon na pločama za horizontalno skretanje  $v_x(t)$  ima oblik kao na slici.

$$v_x(t)$$

- Kako se postiže da napon na pločama za horizontalno skretanje  $v_x(t)$  ima testerast oblik kao na prethodnom slajdu?
  - Ovo prevazilazi gradivo koje je obuhvaćeno MSR kursom.
  - Možete detalje pogledati u Priručniku za rad sa osciloskopom prof. P. Pejovića.
  - Ukratko, koristi se generator linearne vremenske baze (radi po principu punjenja i naglog pražnjenja kondenzatora)

# Horizontalno skretanje

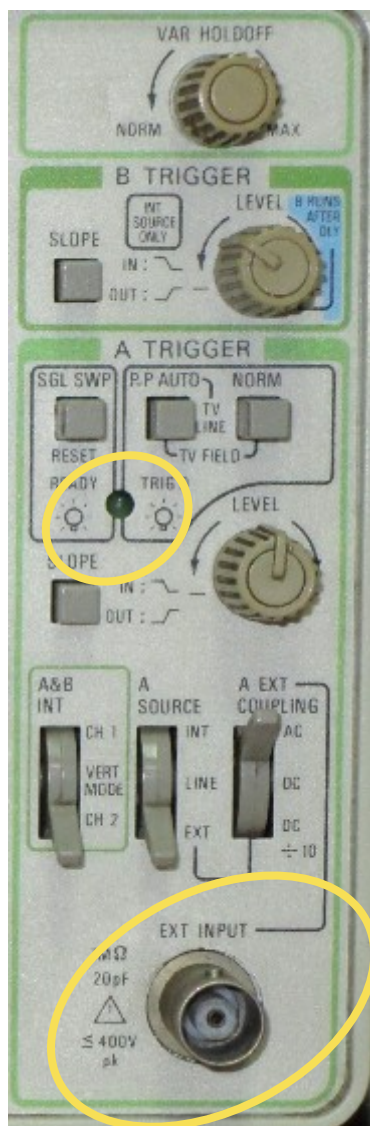


- Podela vremenske ose se, zahvaljujući testerastom naponu i sistemu za horizontalno skretanje, realizuje:
  - diskretno (SEC/DIV preklopnik) i
  - kontinulano (CAL potencijometar).
- Potencijometar POSITION se koristi za horizontalno pozicioniranje slike na ekranu.
- Preklopnik HORIZONTAL MODE označava da postoje dva sistema za horizontalno skretanje mlaza i ovde neće biti objašnjen.
- Kao i kod podele naponske ose, diskretna podela vremenske ose je validna samo ako je potencijometar CAL u kalibrisanom položaju.
- Kod nekih osciloskopa potencijometar CAL je moguće privući ka sebi, kako bi se napon iscrtavao 10 puta brže, pa **pre svakog merenja proverite da li se sve nalazi u kalibrisanom položaju.**

# Sinhronizacija osciloskopa

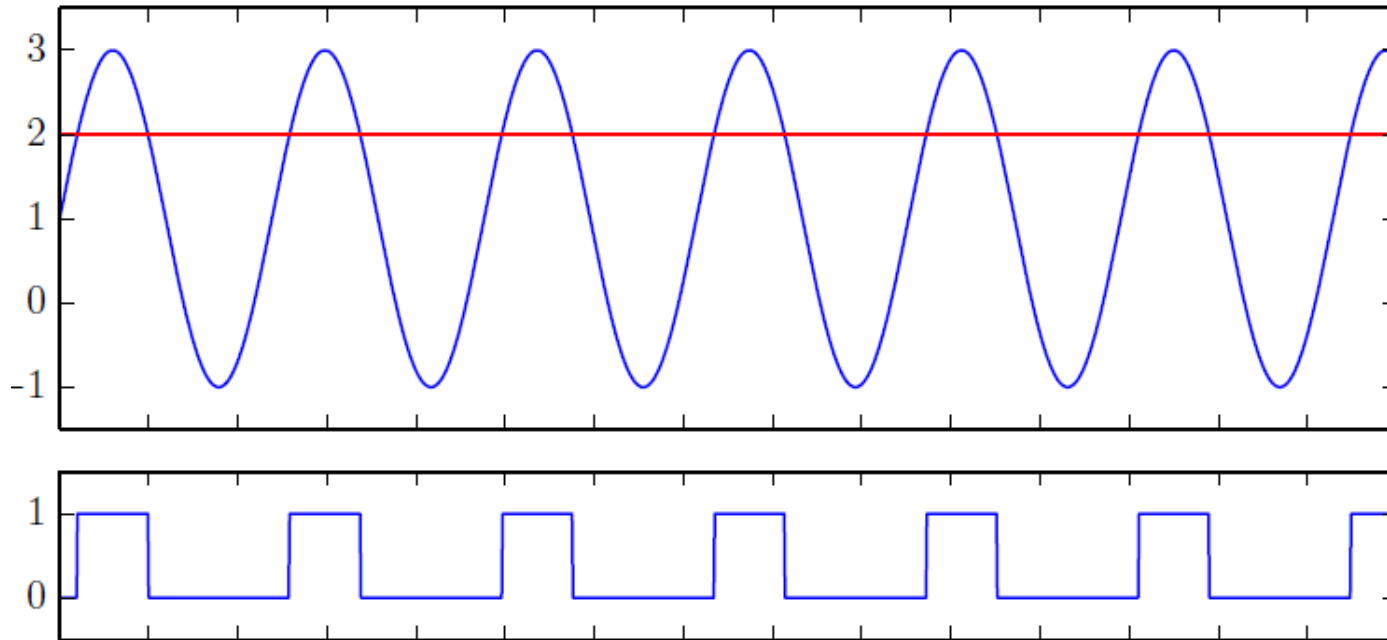
- Sistem za sinhronizaciju ima za cilj da obezbedi stabilnu sliku na ekranu osciloskopa.
- To se postiže kada je frekvencija signala jednaka celobrojnom umnošku frekvencije generatora linearne vremenske baze (testerast signal).
- Pa, kako sinhronizovati sliku?
  - Izbor signala za sinhronizaciju (CH1, CH2, VERT MODE), kada se posmatra CH1 onda se bira CH1, za CH2 važi isto, a kada se naizmenično posmatraju CH1 i CH2 bira se VERT MODE
  - Drugi izbor je između opcija LINE (za mrežni napon, 220 V, 50 Hz), INT (eng. *internal*) i EXT (eng. *external*): LINE se ređe koristi (i nema ga ako se osciloskop napaja baterijski), za EXT se dovodi eksterni signal
- Najčešće se koristi kombinacija CH1/CH2 i INT i mi ćemo je koristiti. Detalji podešavanja u bloku za sinhronizaciju nisu ovde od posebnog interesa.

# Zašto?



- Jer:
  - Sinhronizacioni blok se razlikuje od osciloscopa do osciloscopa.
  - Mnogi segmenti i ne postoje u digitalnim osciloskopima.
  - Nije planirano programom MSR kursa.
- Na slici su prikazani blokovi za sinhronizaciju GoldStar i Tektronix osciloscopa na levom i desnom panelu, respektivno. Ulazi za eksterni signal (EXT) su označeni.
- Međutim, detalji kako se tačno postiže sinhronizacija su nam od značaja.
- Ako postoji AUTO ili P-P AUTO, ta opcija je najčešće uključena.
- Na nekim osciloskopima postoji i indikator da je sinhronizacija uspešna (LED na slici).

# SLOPE i TRIG LEVEL

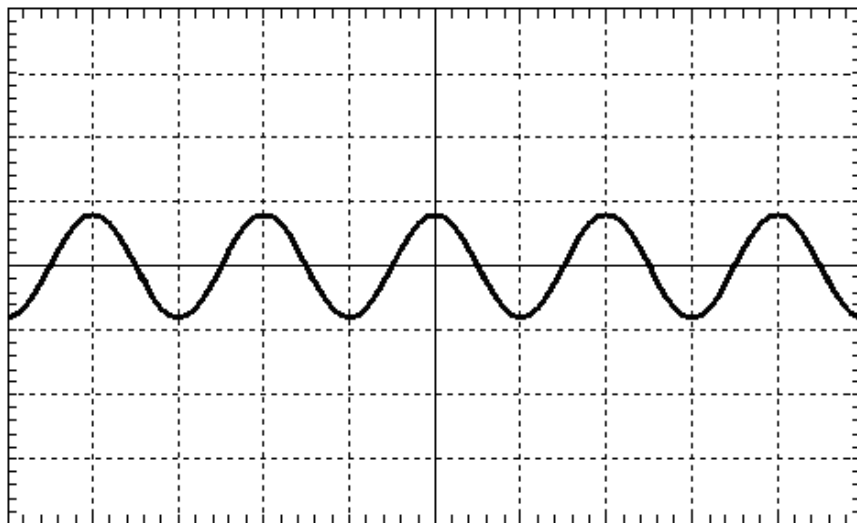


- Kada je odabran, od sinhronizacionog signala, se pravi povorka pravougaonih impulsa.
- Da bi se formirala povorka impulsa potrebno je imati na raspolaganju TRIG LEVEL (eng. *trigger level*) tj. nivo okidanja. Kada je signal veći od TRIG LEVEL dobija se logička 1, a kada je manji od TRIG LEVEL dobija se logička 0. Pogledati sliku.
- Potom se iz pravougaonog signala izdvajaju ivice i bira se uzlazna ili silazna (SLOPE).
- Mi ćemo najčešće koristiti TRIG LEVEL za odgovarajuću sinhronizaciju slike na ekranu.

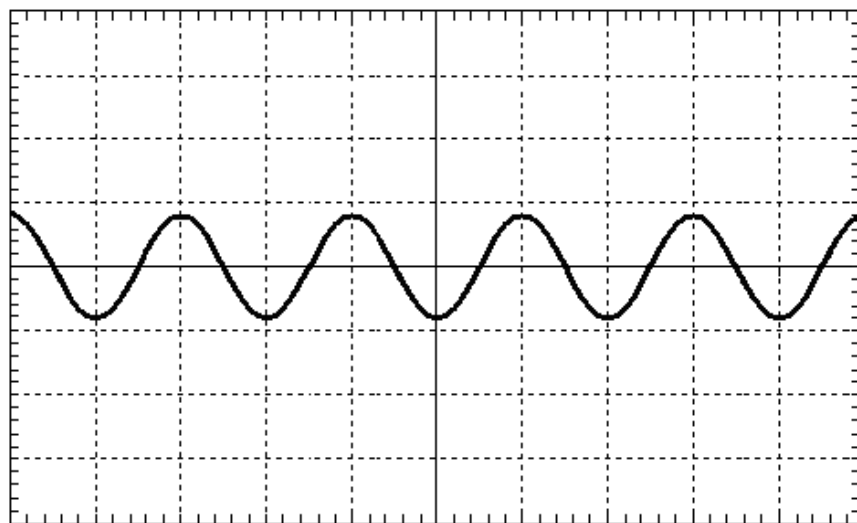
# Menja li SLOPE nešto u prikazu?

- Ispitni zadatak, studenti mogu pogledati i neke primene ispitnih zadataka na sajtu predmeta za Električna merenja: <http://telit.etf.rs/kurs/elektricna-merenja/>.
- Ako se posmatra talasni oblik napona  $u(t) = U\cos(2\pi ft)$  na CH1 za koji važi da je  $U = 4\text{ V}$  i  $f = 10\text{ Hz}$ , nacrtati sliku ako je podela naponske ose  $5\text{ V/DIV}$ , a vremenske  $50\text{ ms/DIV}$  i ako se sinhronizacija vrši u odnosu na:
  - a) uzlaznu ivicu signala na CH1
  - b) silaznu ivicu signala na CH1
- Dodatno pitanje: da li treba posebno voditi računa o prikazu ovog signala?

a)



b)







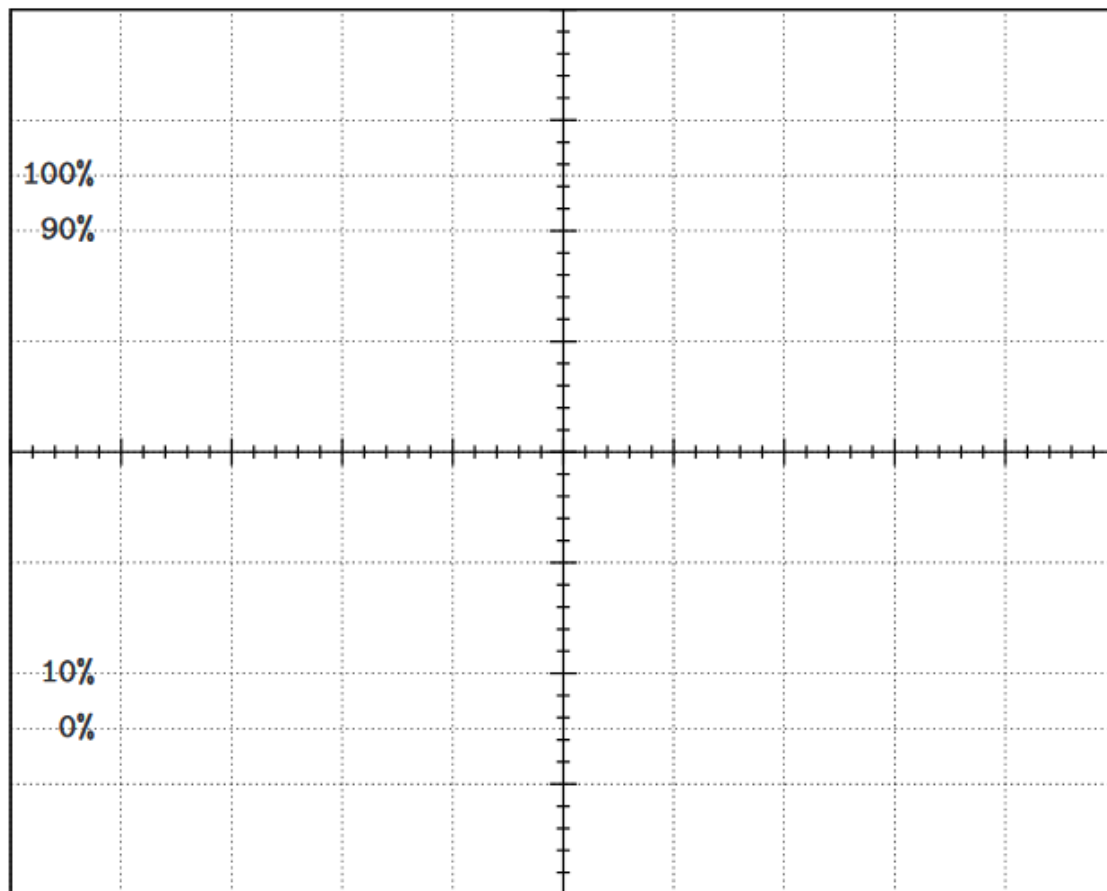
# Osciloskop i merenje

- Tipično, osciloskop se koristi za posmatranje signala tzv. vizuelizaciju. Obzirom da je greška 2% i više prilikom očitavanja, ređe se koristi za precizna merenja.
- Međutim, grublja procena kvanitativne merene veličine primenom osciloskopa je uobičajena.



- Prilikom merenja, svi CAL potencijometri bi trebalo da budu smešteni u kalibracioni (krajnje desni) položaj i slika mora biti sinhronizovana, osim ako se posebno ne naglasi drugačije.

# Proširena graduacija ekrana

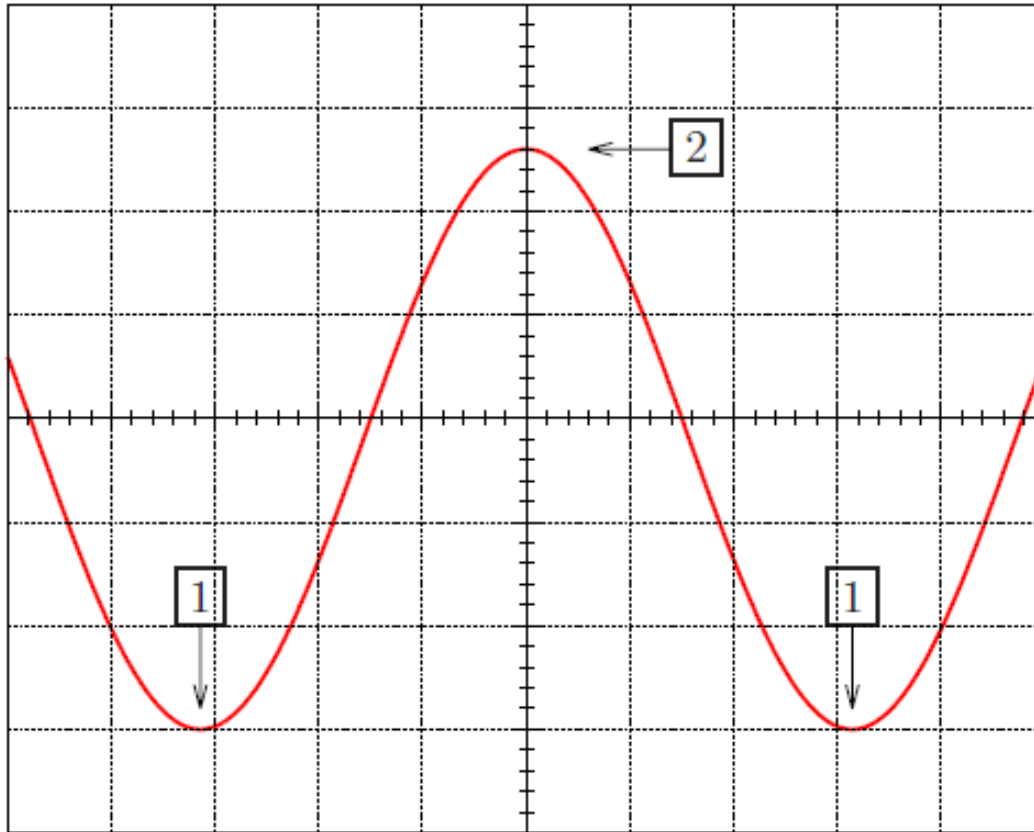


- Graduacija je ucrtana sa unutrašnje strane ekrana da bi se izbegla greška usled paralakse (eng. *parallax*, <https://en.wikipedia.org/wiki/Parallax>).
- Za merenje trajanja uzlazne i silazne ivice (od 10% do 90%) se koristi proširena graduacija kao na slici. Većina analognih osciloskopa je ima.

# Merenje napona

- Prilikom očitavanja napona, najvažnije je:
  - proveriti podešavanje 0-tog potencijala (preko GND) i podešavanjem potenciometra POSITION
  - očitati graduaciju ekrana u DIV/V preko preklopnika za ploče za vertikalno skretanje
- SAVETI: ako se meri npr. maksimalna vrednost, poželjno je da 0-ti nivo bude na krajnjoj donjoj liniji, a ako se meri negativna da bude na krajnjoj donjoj liniji. Da bi se bolje tj. preciznije očitale vrednosti napona (0.2 podeoka), poželjno je sa potenciometrom POSITION za horizontalnu osu pomeriti ka srednjoj liniji.

# Merenje amplitude

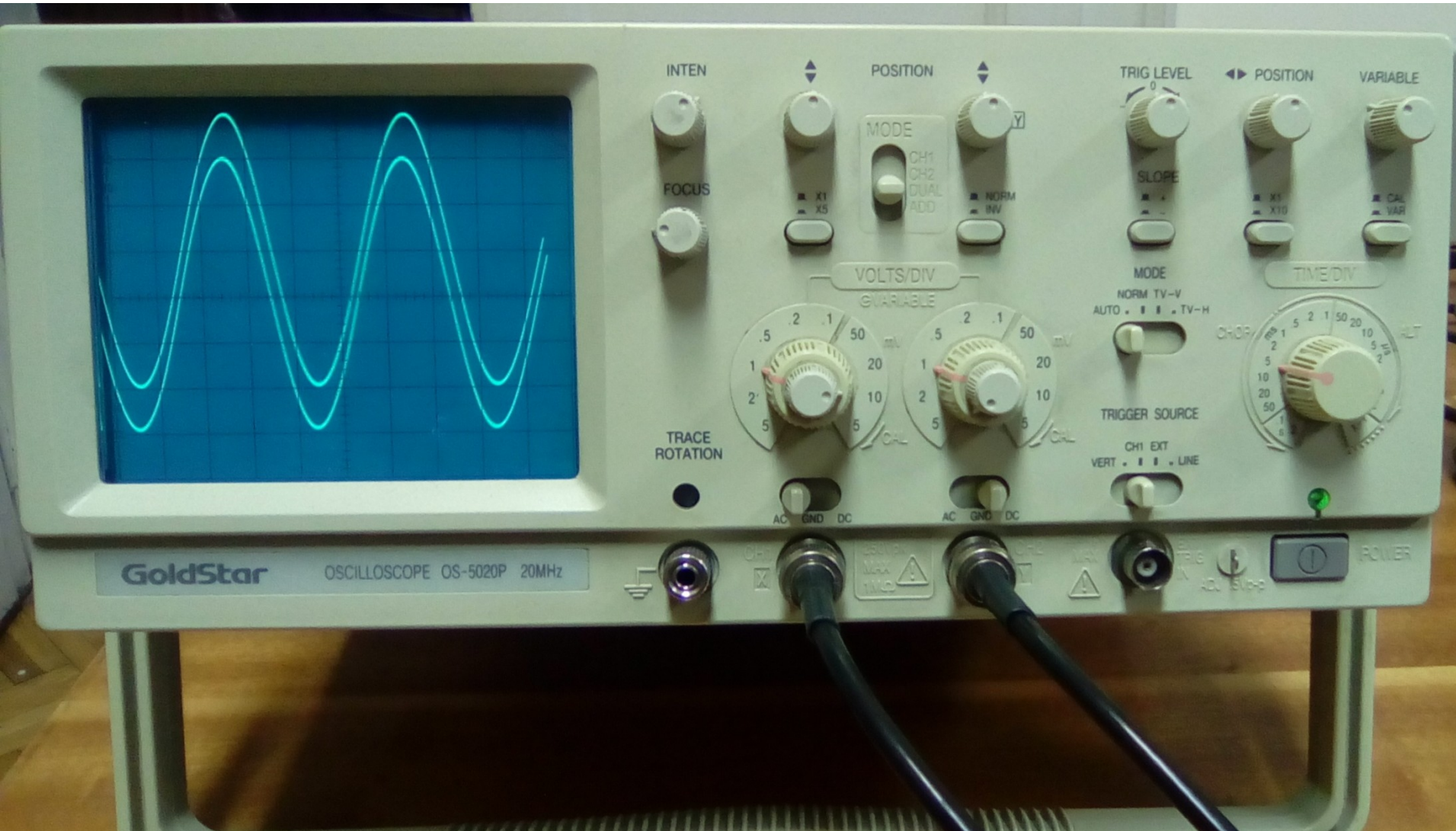


- Merenje amplitude naizmeničnog signala odgovara merenju naponskog nivoa.
- Ako je podela 2 V/DIV, kolika je amplituda signala sa slike?
- Obratiti pažnju na podešavanja na ekranu osciloskopa.

# Merenje jednosmerne komponente

- Jednosmernu komponentu je moguće očitati i sa ekrana. Međutim, da bi merenja bila što preciznija i greška što manja koristi se sledeći postupak:
  1. Isti signal se dovodi na CH1 i na CH2 (postavlja se ista podela naponskog potencijala i na isto mesto se postavlja 0-ti potencijal).
    - Tome služi BNC adapter na duplu buksnu.
  2. Na CH1 se prikaže trenutna vrednost (DC preklopnik), a na CH2 naizmenična komponenta (AC preklopnik).
  3. Signal sa CH2 se pomera po vertikalnoj osi (POSITION potencijometar) dok se slike sa CH1 i CH2 ne preklope.
  4. Potom se CH2 prebaci na GND i očitava se pomeraj od početnog 0-tog potencijala.

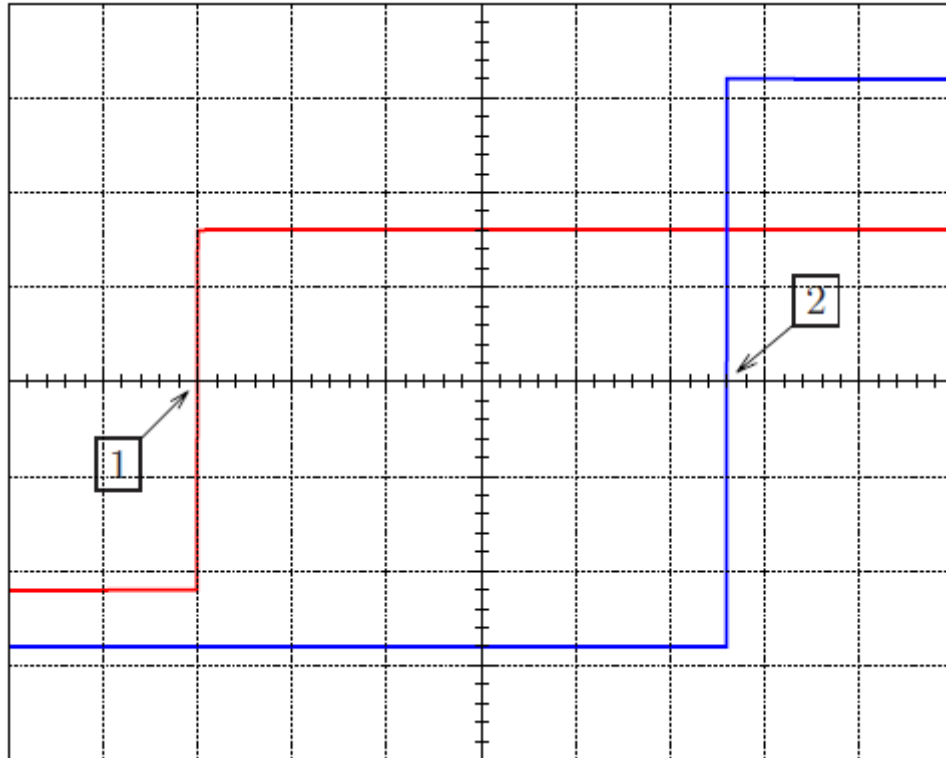
Kolika je jednosmerna komponenta?



# Merenje vremenskih intervala

- Potenciometar CAL mora uvek biti podešen u kalibracionom položaju, osim ako nije napomenuto drugačije.
- Dodatno, ako se posmatraju dva signala, važno je primeniti istu metodu sinhronizacije slike za oba kanala tj. jedinstven sinhronizacioni signal (ovde ne treba koristiti VERT MODE).
- Koristiti isti način prikaza kanala (AC ili DC).
- Podesiti podele tako da se očitavanje može izvršiti što tačnije i preciznije.
- Vertikalnim i horizontalnim pomeranjem dovesti sliku u takav položaj da se iskoristi dodatna graduacija centralnih linija (0.2 podeoka).

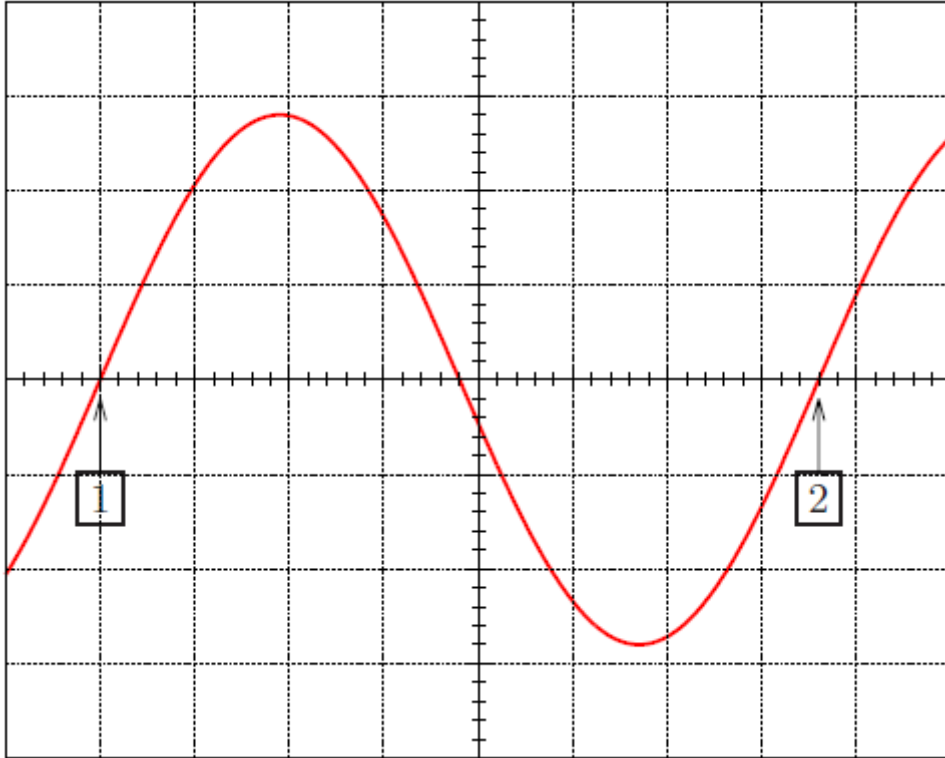
# Primer



- Koliko je rastojanje između dve uzlazne ivice signala prikazanih na slici?
- Uzeti u obzir da je podela horizontalne ose jednaka  $100 \mu\text{s}/\text{DIV}$ .

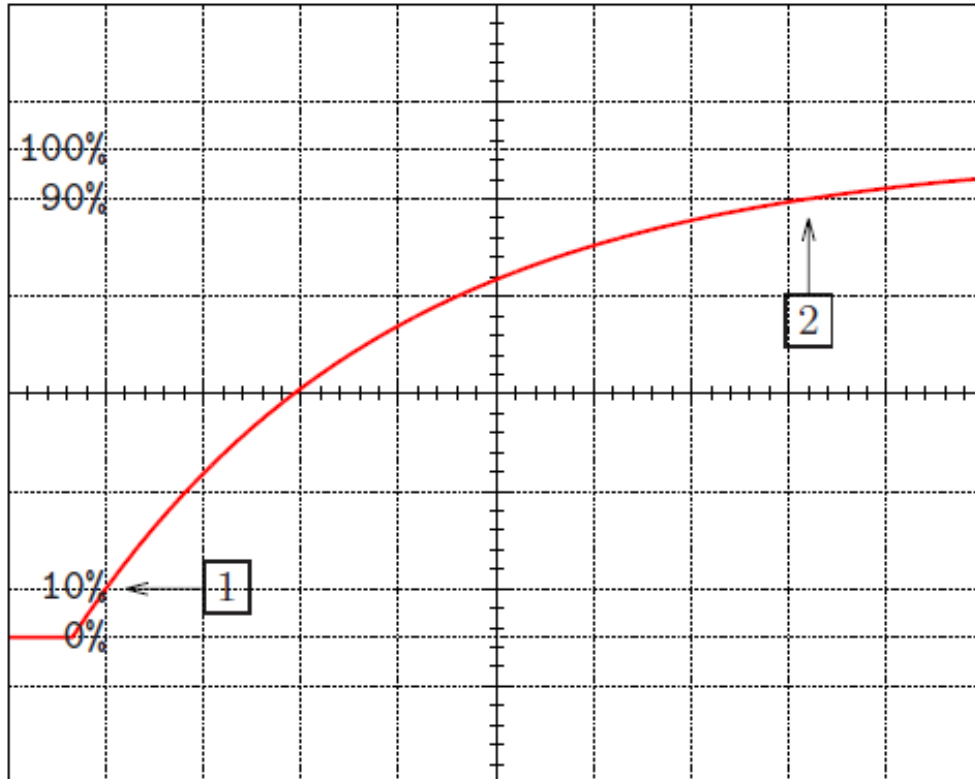


# Merenje periode i frekvencije



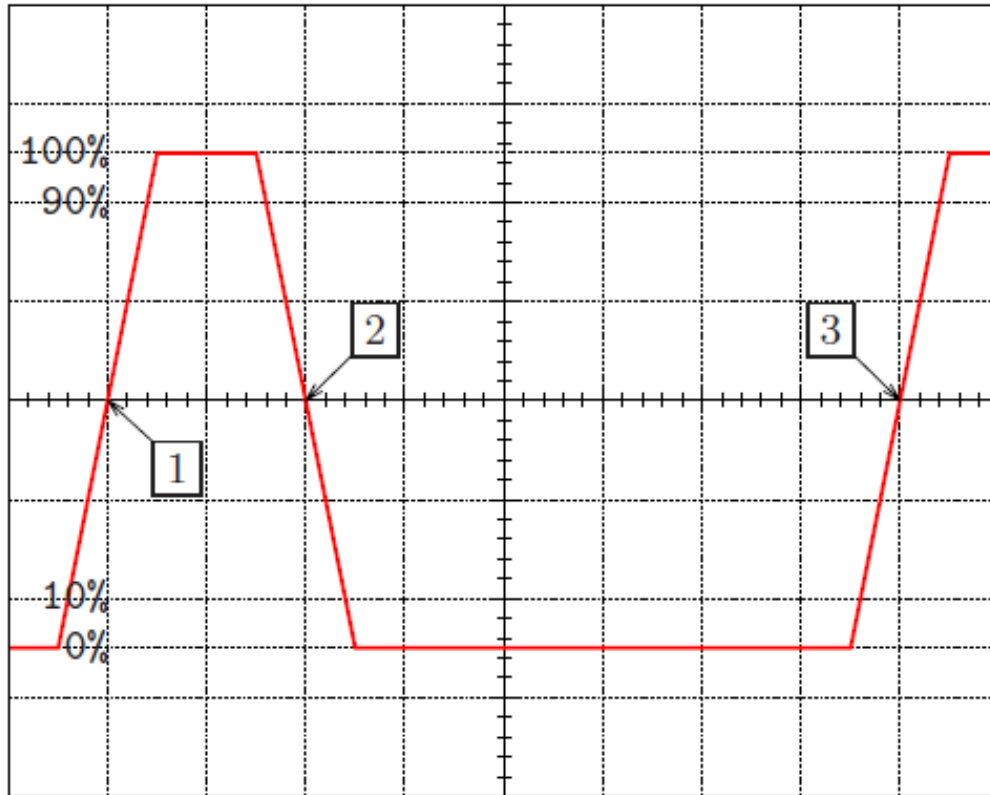
- Sve se podešava slično kao u prethodnim primerima.
- Jedino što ovde treba promeniti to je da se omogući prikaz jedne periode signala na ekranu. Zašto?
  - Ako ne može jedna, onda dve periode.
- Primer podešavanja prikaza signala na ekranu je prikazan na slici.

# Trajanje usponske i silazne ivice



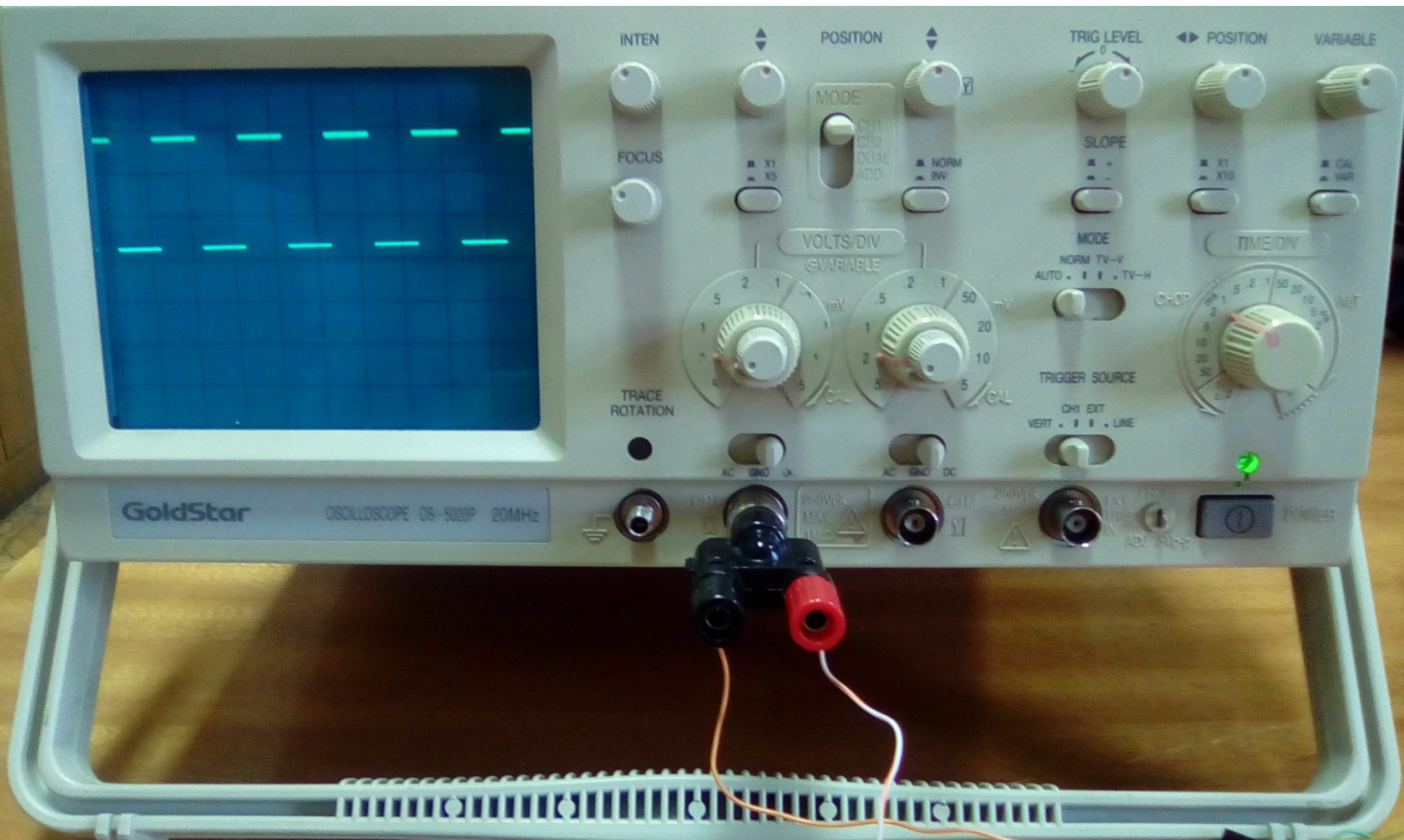
- Potrebno je promenom položaja CAL potencijometra za vertikalnu osu postaviti usponsku ili silaznu ivicu kao na slici.
- Očitavanja se vrše od 10% do 90% od maksimalne vrednosti.
- Da li bi merenje napona na ovoj slici bilo tačno? Zašto?

# Trajanje impulsa i pauze i faktor ispunjenosti impulsa

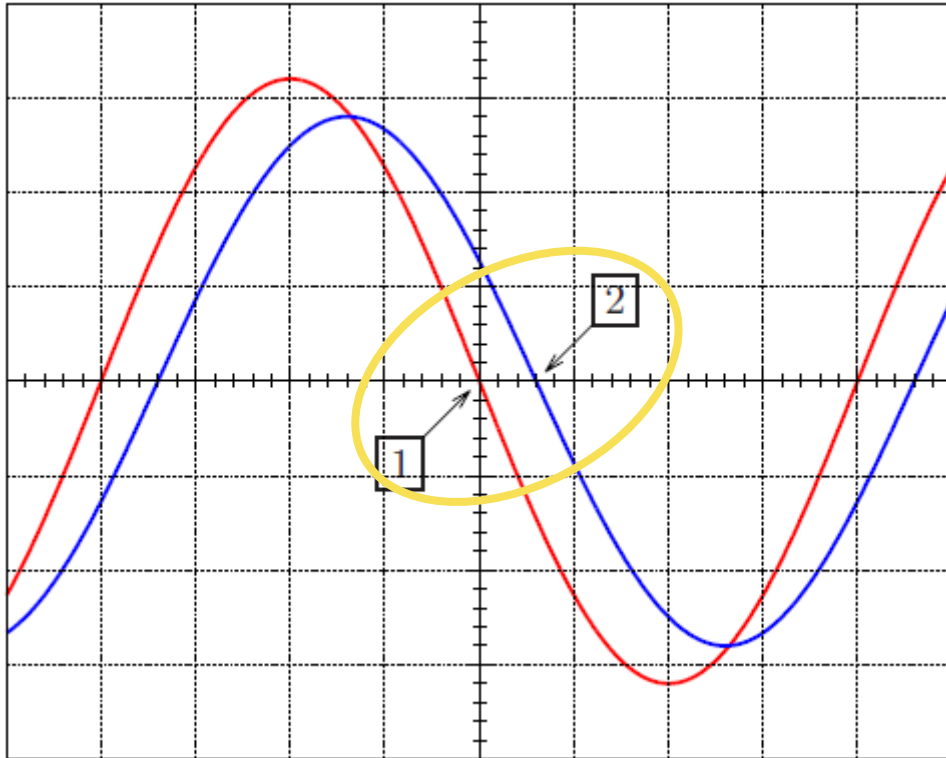


- Trajanje logičke jedinice (naziva se i trajanje impulsa) i trajanje logičke nule (trajanje pauze) je relativno jednostavno odrediti.
- Međutim, problem/izazov se javlja kada je potrebno odrediti granicu odlučivanja. Pogledati sliku (granica za odlučivanje je na 50%, a korišćena je pomoćna graduacija ekrana).
- Faktor ispunjenosti impulsa (eng. *duty cycle*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Duty\\_cycle](https://en.wikipedia.org/wiki/Duty_cycle)) se definiše kao odnos trajanja logičke jedinice i periode. Koliki je ovaj faktor za signal sa slike?

# Koliki je faktor ispunjenosti?



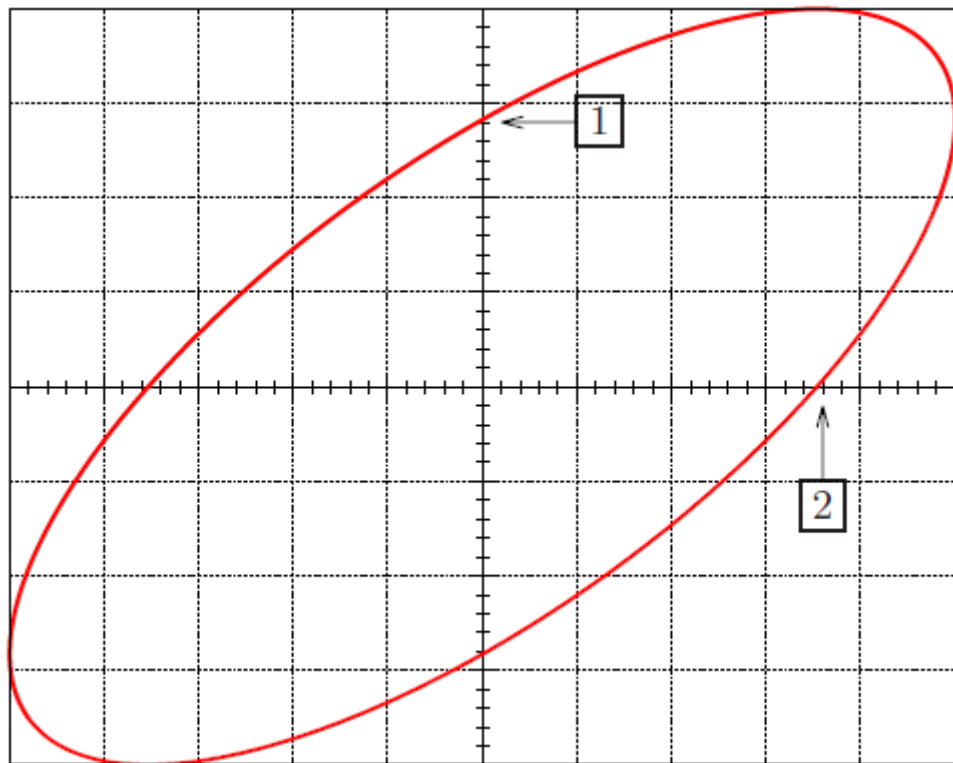
# Merenje fazne razlike u vremenskom domenu



$$\varphi = 2\pi \frac{\Delta t}{T} = 360^\circ \frac{\Delta t}{T}$$

- Merenje fazne razlike se svodi na merenje periode  $T$  i razlike između dva susedna prolaska kroz 0 (uzlazna ili silazna ivica, svejedno je)  $\Delta t$ .
- Ne sme biti podešen VERT MODE za sinhronizaciju.
- Može se koristiti i CAL za horizontalnu osu. Kako? Moguće je koristiti i povećanje rezolucije (povlačenjem CAL ka sebi). Uvećava se, tj. zumira deo prikazan na slici.

# Lisažuova figura i fazna razlika



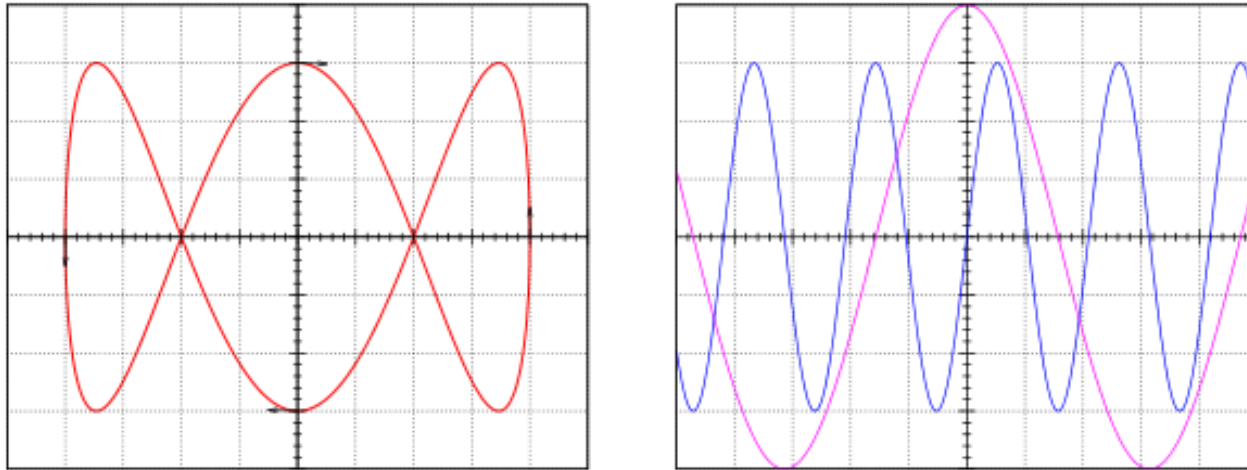
$$|\sin(\varphi)| = \frac{|y|_{x=0}}{Y_0} = \frac{|x|_{y=0}}{X_0}$$

- Na osciloskopu se prikazuje zavisnost napona od vremena, ali moguće je prikazati i zavisnost dva naponska signala.
- Trebalo bi da postoji ili dugme XY ili XY opcija na potenciometru za podešavanje horizontalne ose.
- Primiti da je Lisažuovu figuru potrebno podesiti tako da zauzima što veći deo ekrana osciloskopa.



- Jules Antoine Lissajous (1822-1880) je bio francuski fizičar, [https://en.wikipedia.org/wiki/Jules Antoine Lissajous](https://en.wikipedia.org/wiki/Jules_Antoine_Lissajous).
- Pre njega, Nathaniel Bowditch (1773-1838) matematičar i kapetan broda je istraživao familiju Lisažuovih kriva, [https://en.wikipedia.org/wiki/Nathaniel Bowditch](https://en.wikipedia.org/wiki/Nathaniel_Bowditch).
- Pored vrednosti fazne razlike moguće je odrediti i znak fazne razlike – pogledati knjigu prof. Pejovića za detalje.

# Odnos frekvencija primenom Lisažuovih figura



Slika 10:  $x = 4 \operatorname{div} \cos(\omega t)$ ,  $y = 3 \operatorname{div} \sin(3\omega t)$

- Postoje tri atlasa koja mogu biti korisna u razumevanju Lisažuovih figura:
  - Atlas Lisažuovih figura – određivanje faznog stava, <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/lissajous-phase.pdf>,
  - Atlas Lisažuovih figura – određivanje odnosa frekvencija, <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/lissajous-multitone.pdf> i
  - Atlas Lisažuovih figura – degenerisane krive, <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/lissajous-degenerate.pdf>.
- Odnos frekvencija utiče na izgled Lisažuovih figura. Pogledati sliku.





# Tip osciloskopa

- Bez umanjenja opštosti (jer postoji standardan skup komandi), osnovni principi su prikazani na Tektronix analognim osciloskopima.
  - Dodatno, na nekim slikama prikazani su prikazani GoldStar osciloskopi.
  - Virtuelni osciloskop (simulacija) je prikazan za HAMEG osciloskop.
- Za pojedinačne razlike studenti se upućuju na sajtove proizvođača koji nude svoje tutorijale i uputstva, kao na primer:  
<https://www.tek.com/learning/oscilloscope-tutorial>.
- Sledeće nedelje digitalni osciloskopi, sonde, prikazivanje napona između dva čvora, merenje odnosa frekvencija primenom Lisažuovih figura i “problem sa uzemljenjem” i počinjemo sa analognim mernim instrumentima.
- A na vežbama, ispitni zadaci iz oblasti merenja osciloskopom i paralelno Arduino programiranje.