



# 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

Merne sonde i merne metode bazirane na osciloskopu

(11)



# Sadržaj

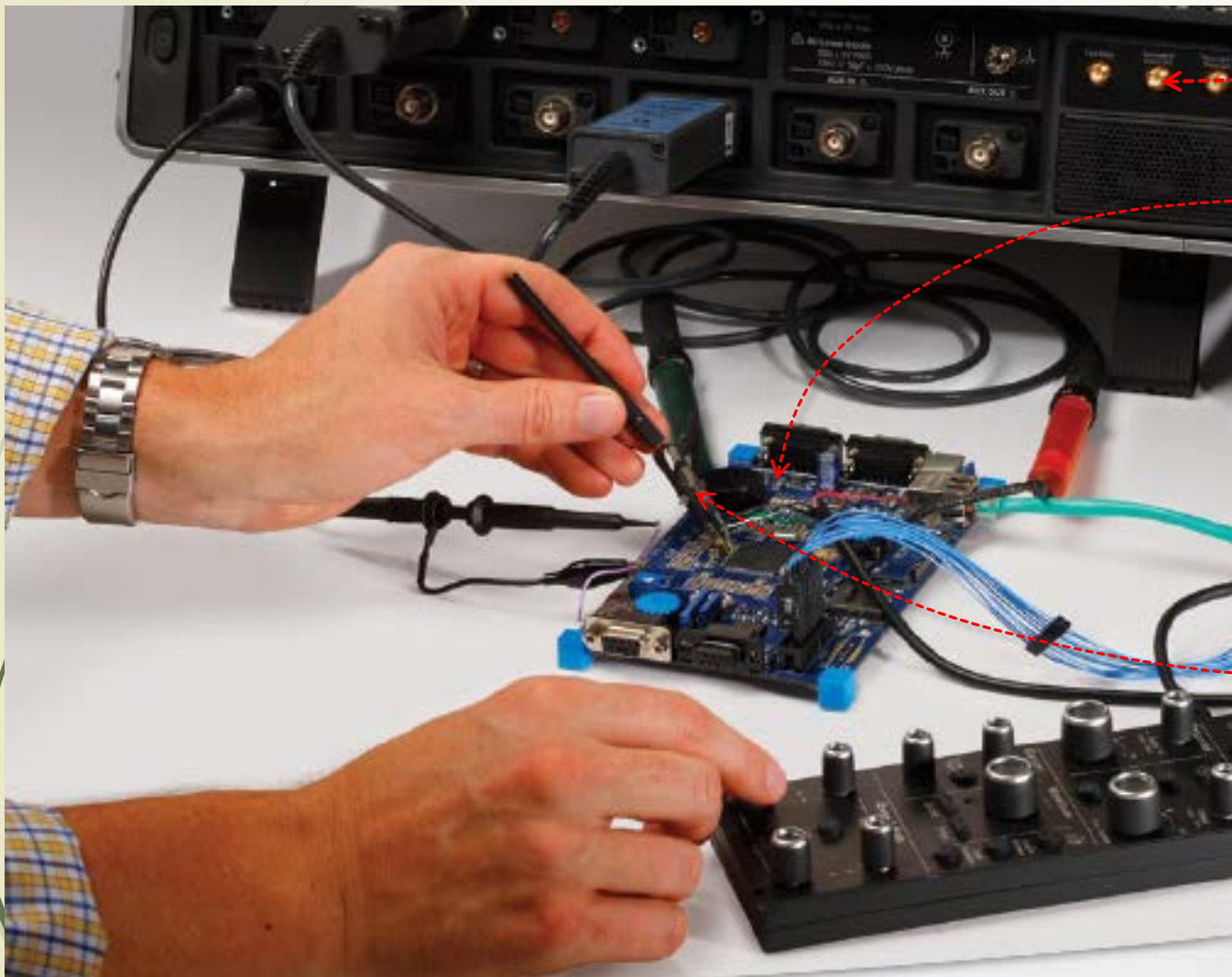
## ➤ MERNE SONDE I TRANSDJUSERI

- Podela mernih sondi
- Ekvivalentna šema merne sonde 10:1
- Propusni opseg sonde i pojačavača
- Uticaj propusnog opsega na prikaz
- Kompenzacija mernih sondi
  - Procedura kompenzacije
- Aktivna sonda sa FET-om
- Strujne sonde
  - CLAMP ON strujne sonde

## ➤ MERNE METODE BAZIRANE NA OSCILOSKOPU

- Merenje amplitude
- Merenje frekvencije
- Merenje periode
- Merenje fazne razlike
- Merenje faznog pomaka
- Merenje frekvencijskog odnosa – Lisažuove figure
- Merenje stepena amplitudske modulacije
- **LITERATURA:** Osnove merenja osciloskopom, YouTube
- **ZADATAK**

# Merne sonde i transdjuseri (1)



Ploča elektronike  
koja se testira

Sonda

123.45

MERNI UREĐAJ

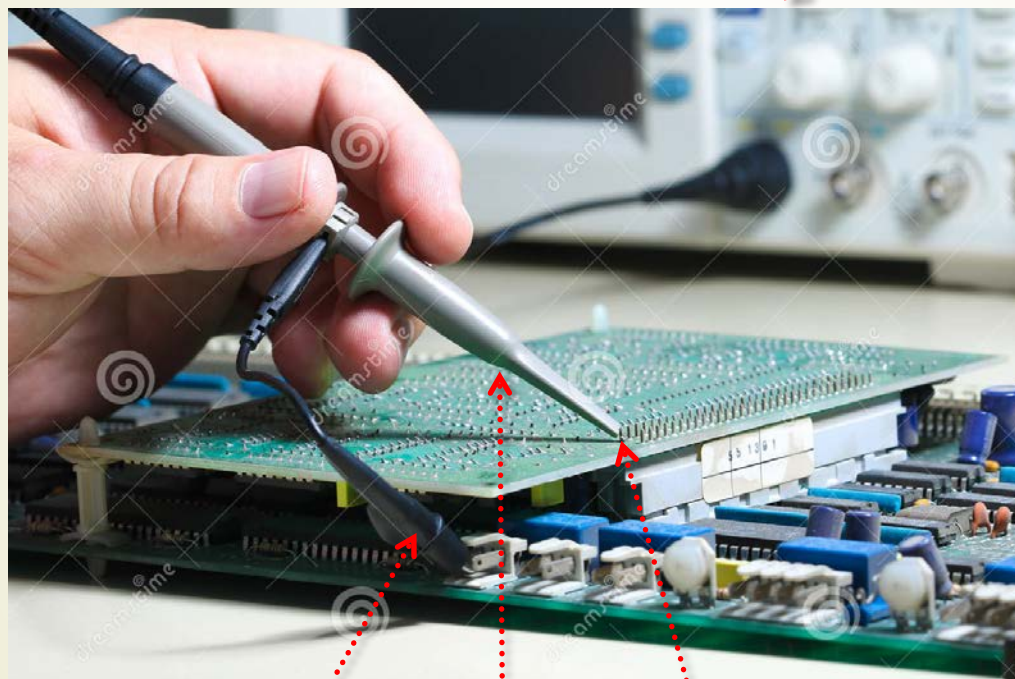


## Merne sonde i transdjuseri (2)

- ▶ Merne sonde predstavljaju **MEĐUSPOJ** između **OSCILOSKOPA** i **MERNOG KOLA**.
- ▶ U najopštijem slučaju, pod **SONDAMA** možemo podrazumevati **ELETRIČNE PROVODNIKE** kojima se **MERNI SIGNAL** dovodi do mernog instrumenta.
- ▶ Međutim, u slučaju **OSCILOSKOPA** pod sondama se podrazumeva **POSEBNI MERNI PRIBOR** prilagođen određenom uređaju.
- ▶ Osnovne zahteve koje treba merna sonda (pa i osciloskopa) da ispuni su sledeći:
  - ▶ **POUZDANO OSTVARIVANJE** električnog kontakta mernog kola i instrumenta;
  - ▶ **VERAN PRENOS** mernog signala;
  - ▶ **ZANEMARLJIVA** sopstvena potrošnja;
  - ▶ **IMUNOST** na smetnje.

# Merne sonde osciloscropa

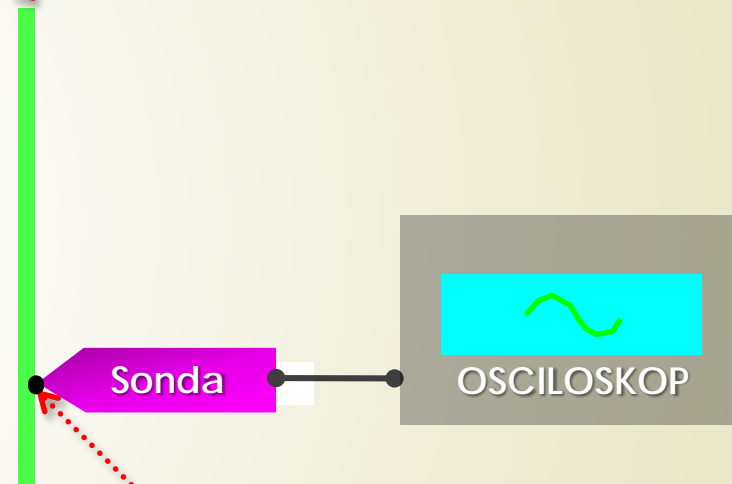
Ploča elektronike koja se testira



Masa  
(GND)

SONDA

Test point  
(merna tačka)



Sonda

OSCILOSKOP

Test point  
(merna tačka)

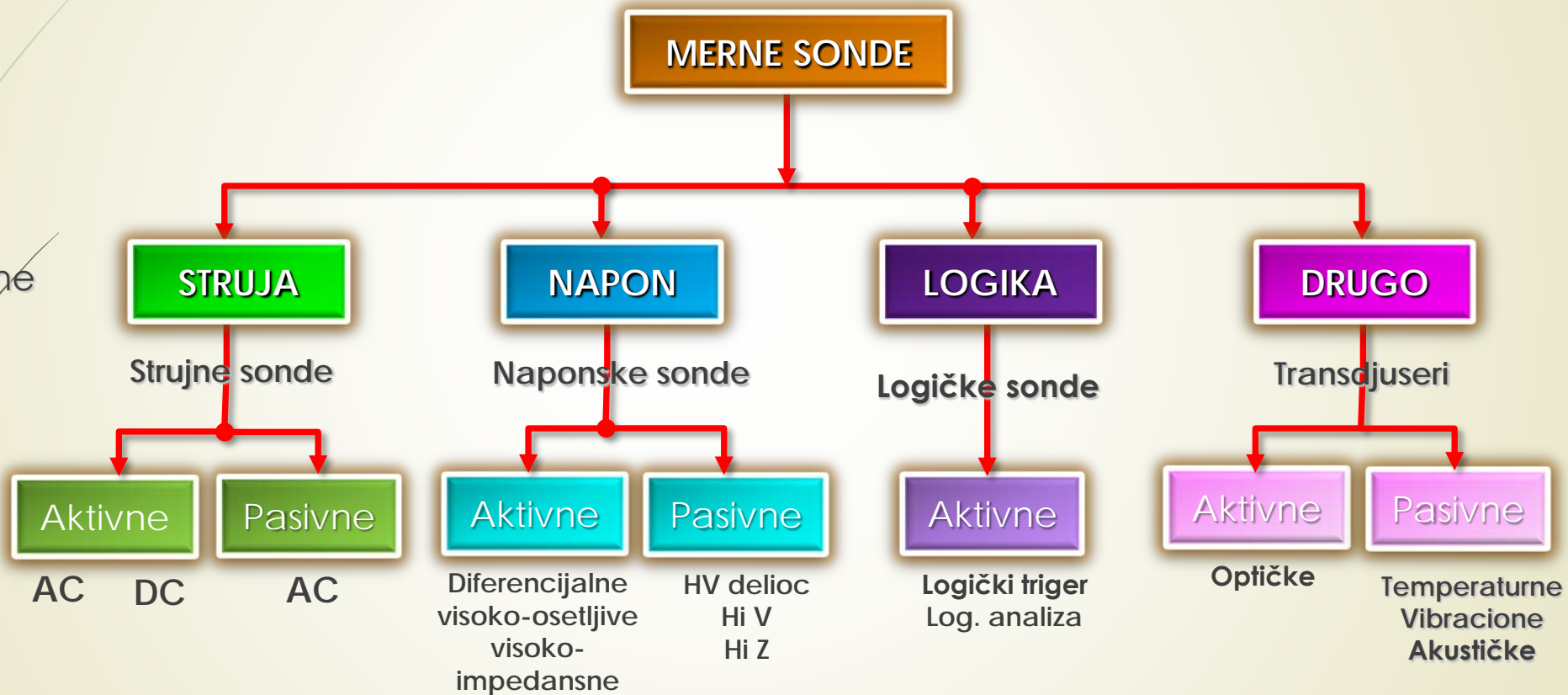
Merne sonde su uređaji koji formiraju **FIZIČKI** i **ELEKTRIČNI** međuspoj između **OSCILOSKOPA** i **MERNE TAČKE**.

# Podela mernih sondi

Fizičke veličine

Ime sonde

Tip sonde



# Tipovi mernih sondi

Štipaljka za masu

Primer zakačke

Ka mernoj tački

Ka ulaznom kolu osciloskopa

Podešavanje ulaznog kola (kompenzacija)

**VISOKONAPONS  
KA SONDA (Hi V)**

**STANDARDNA  
NAPONSKA SONDA**

Ka mernoj tački

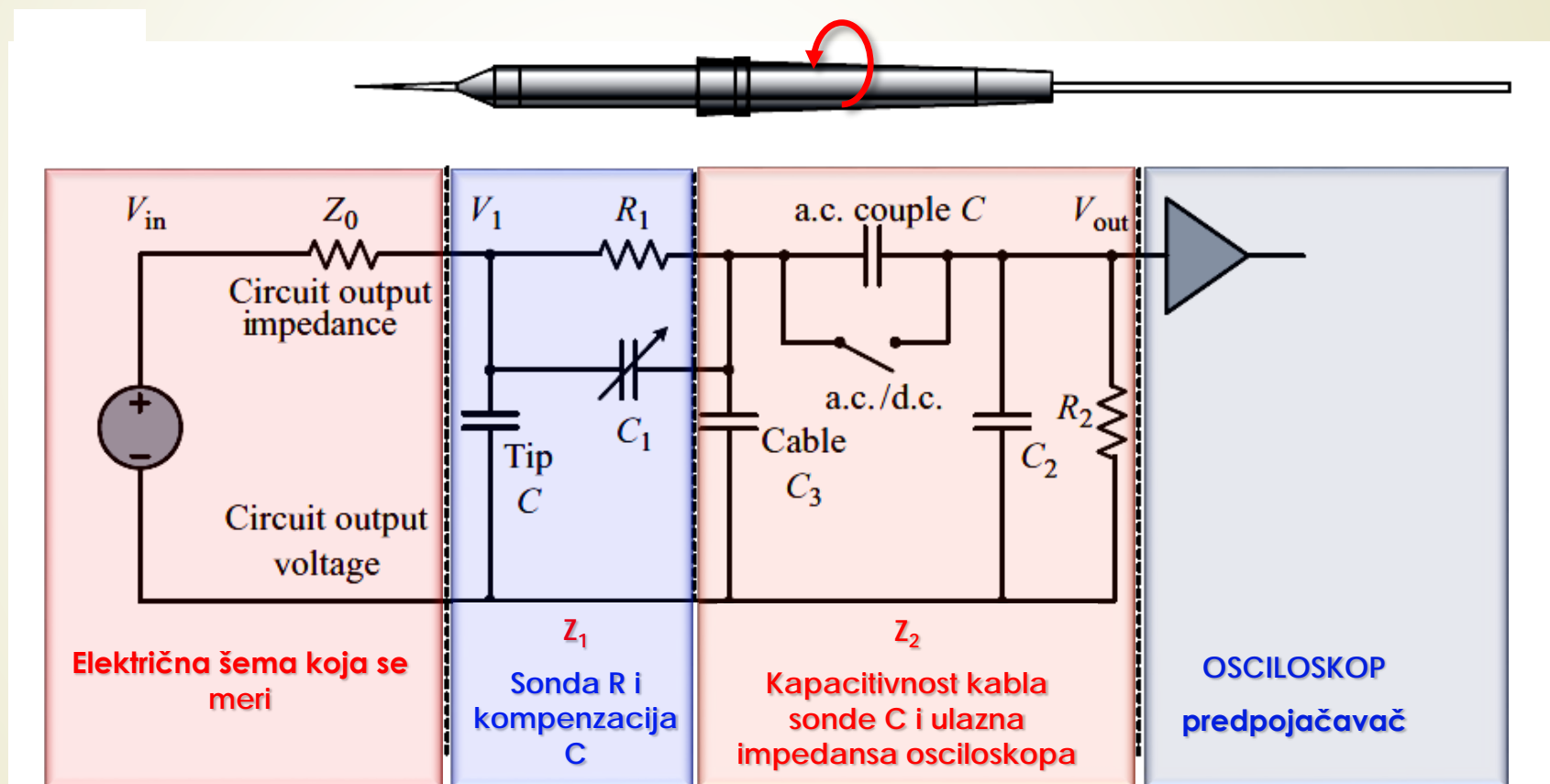
Štipaljka za masu





# Električna ekvivalentna šema merne sonde 10:1

- Podsetnik: koji je uslov kvalitetnog prenosa signala iz ulaznog kola?



Zavisnost od kompleksne impedanse

$$V_{out} = \frac{V_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

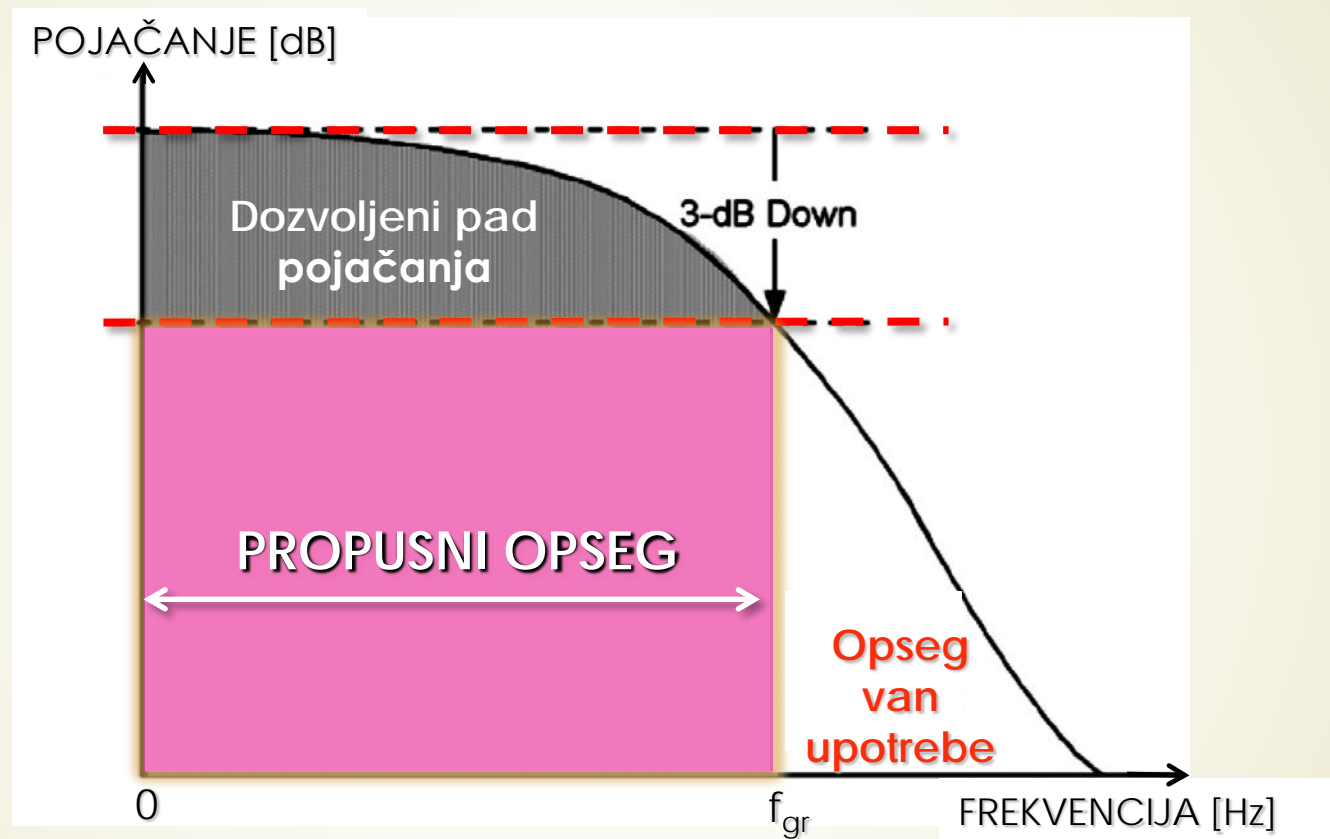
posle kompenzacije



$$V_{out} = \frac{V_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

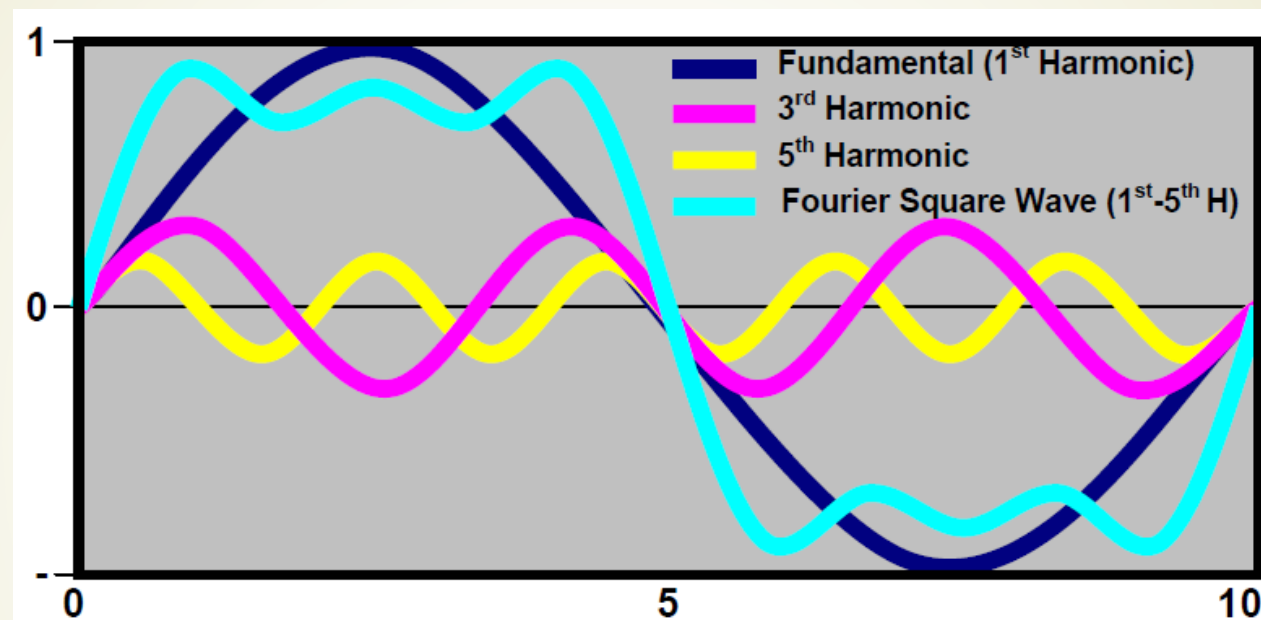
Zavisnost od termogene otpornosti

# Propusni opseg sonde i pojačavača (1)



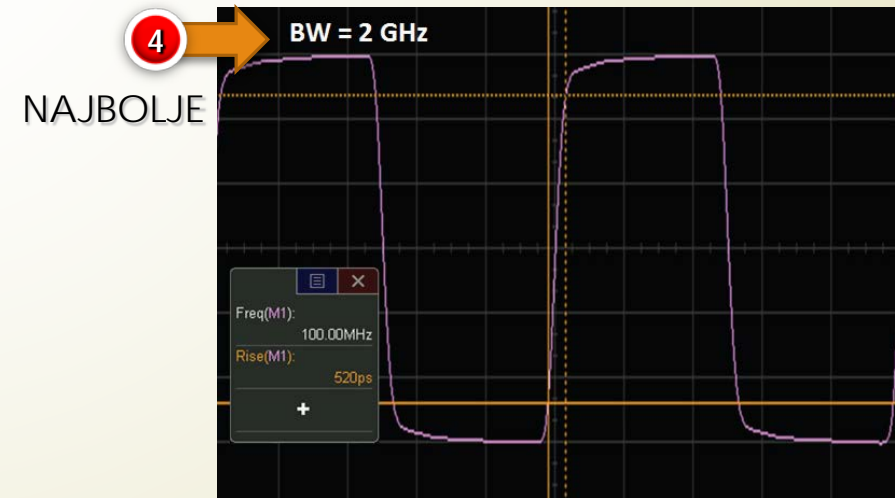
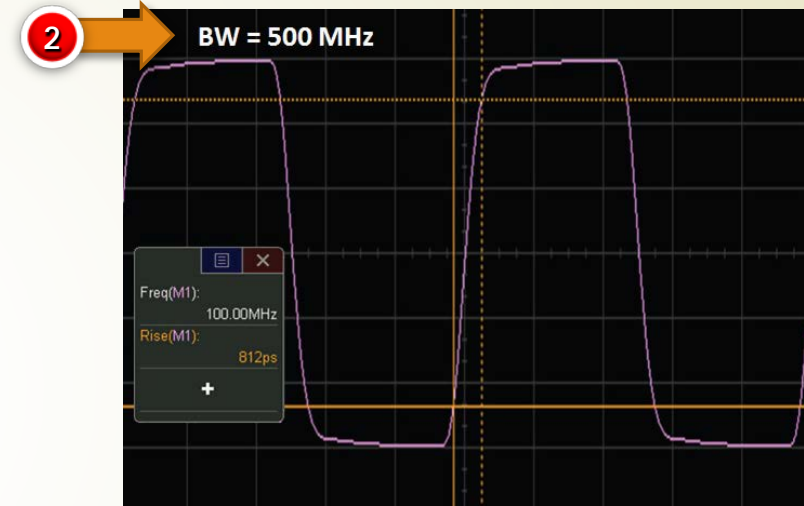
- Sonde i osciloskopi (zajedno) su dizajnirani da OBAVE MERENJA u **SPECIFICIRANOM** FREKVENCIJSKOM PODRUČJU.
- Na frekvencijama sa pojačanjem **ISPOD** 3dB može doći do neprevidenih rezultata merenja (isti uslov kao kod mernog pojačavača).

## Propusni opseg sonde i pojačavača (2)



- ▶ Propusni opseg osciloskopa **BW** (engl. *BandWith*) je definisan za signale **SINUSNOG TALASNOG OBLIKA**.
- ▶ Međuti, šta se dešava sa **KOMPLEKSNIH SIGNALIMA** (na slici je dat primer povorke pravougaonog signala)?
- ▶ **U VREMENSKOM DOMENU** zahtev propusnog opsega se prevodi na brzinu **POPRASTA/OPADANJA** ivica kod pravougaonih signala i izračunava se kao:  $T_r = BW / 0.35$

# Uticaj propusnog opsega na prikaz

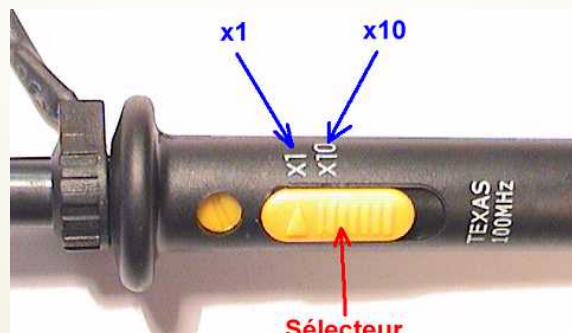
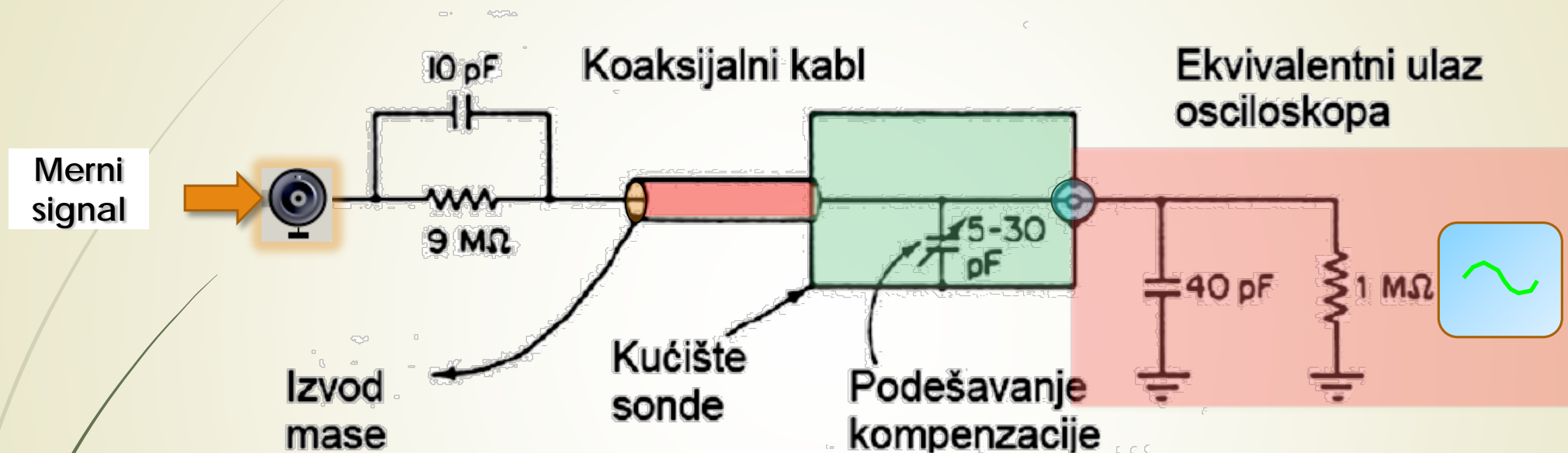




# Merne sonde (1)

- Već je napomenuto da se merne sonde mogu izrađivati kao
  - PASIVNE ili
  - AKTIVNE.
- Odnos ulaznog i izlaznog signala najčešće može biti :
  - 10:1,
  - 1:1,
  - ili neki drugi (zavisi od potreba merenja).
- Tehnološki se **ULAZNA OTPORNOST OSCILOSKOPA** tipično iznosi **1 MΩ** i šantirana je kondenzatorom od **10 - 30 pF**.
- Za posmatranje signala visokih frekvencija **ULAZNA KAPACITIVNOST NE SME** biti veća od **20 - 30 pF**, što se postiže specijalnim **SONDAMA SA ATENUATOROM**.

# Merna sonda 10:1



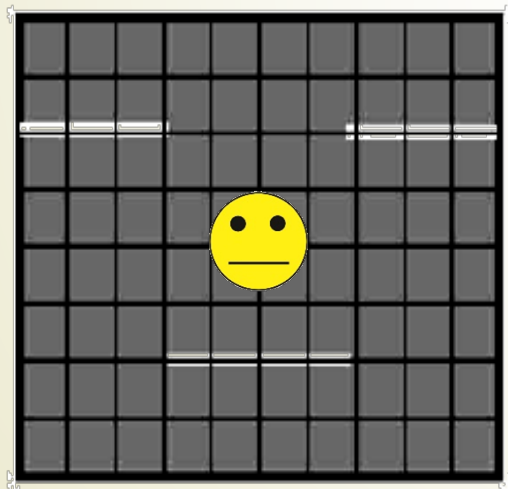
Selektor prenosnog odnosa

## Merne sonde i transdjiseri (2)

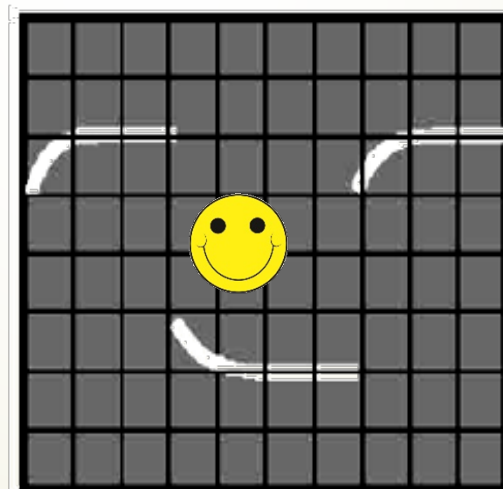
- ▶ **NAPONSKI RAZDELNIK** sačinjavaju otpornici od **1 MΩ** (ulazna otpornost osciloskopa) i **9 MΩ** i njihov uticaj je dominantan na nižim frekvencijama.
- ▶ **NAPONSKI ODNOS** će biti tačno 10:1 samo ako je odnos i kapacitivnosti takođe 10:1.
- ▶ Ukoliko ovaj uslov **NIJE ISPUNJEN** (tj. odnos kapacitivnosti je različit od 10:1) slabljenje na **VIŠIM FREKVENCIJAMA** će biti **NEKOREKTNO!**
- ▶ Paralelno sa ulaznim konektorom osciloskopa postavljen je promenljivi **KONDENZATOR** 5 - 30 pF za podešavanje **ODNOSA KAPACITIVNOSTI** na **TAČNU VREDNOST**.
- ▶ Ako odnos serijske i šantirane otpornosti **NIJE PRECIZNO POSTAVLJEN** na 10:1 frekvencijski odgovor osciloskopa **NEĆE** odgovarati ravnoj karakteristici.
- ▶ Takva merenja se smatraju neispravnim – netačnim (neprihvatljivim).

# Kompenzacija mernih sondi (1)

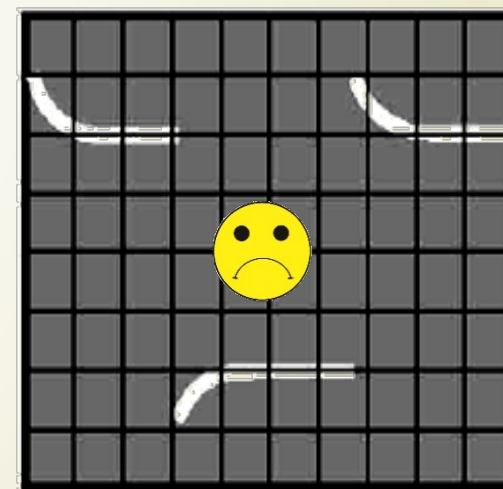
- ▶ Efekte **NEPRILAGOĐENE SONDE** možemo lako uočiti na impulsima sa vema **STRMOM RASTUĆOM IVICOM**.
- ▶ Posmatrajući **PREDNJU/ZADNJU** ivicu **TEST IMPULSA** i podešavanjem kompenzacionog kondenzatora možemo postići **RAVNU FREKVENCIJSKU KARAKTERISTIKU** (bez neophodne računice).



Talasni oblik na ulazu u sondu



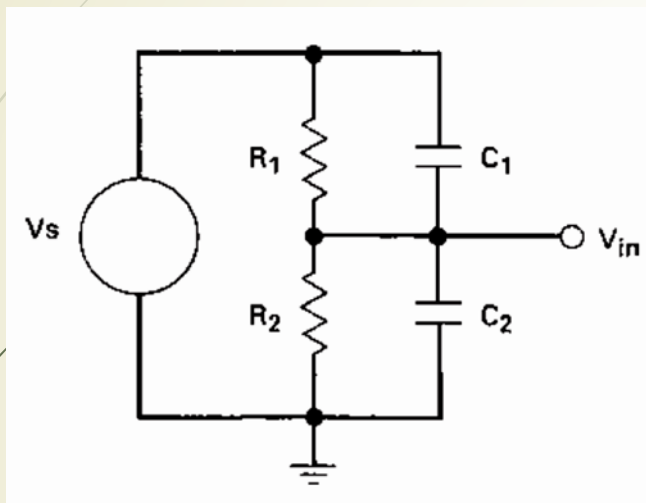
Nedovoljno kompenzovana sonda



Prekompenzovana sonda



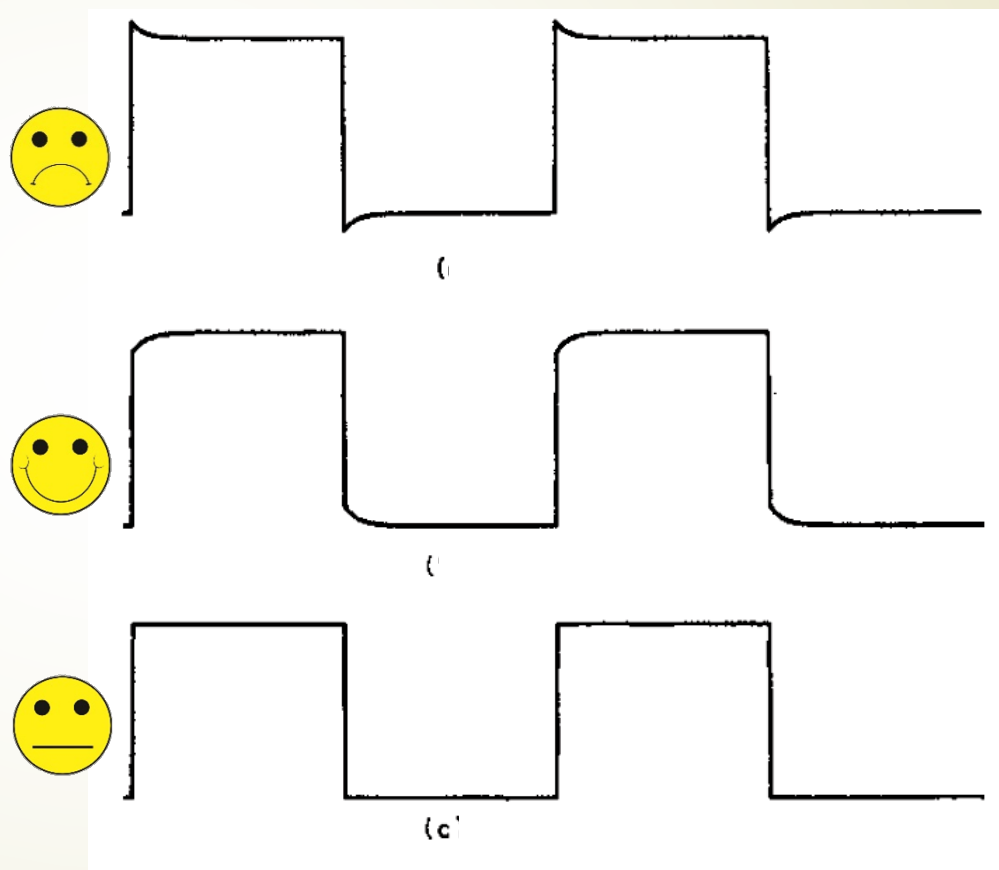
# Kompenzacija mernih sondi (2)



SETITE SE:  
TEORIJSKI USLOV  
NEZAVISNOSTI OD  
FREKVENCije

$$C_1 R_1 = C_2 R_2$$

$$\tau_1 = \tau_2$$



Prekompenzovana  
sonda

$$C_1 > \frac{C_2 R_2}{R_1}$$

Nekompenzovana  
sonda

$$C_1 < \frac{C_2 R_2}{R_1}$$

Kompenzovana  
sonda

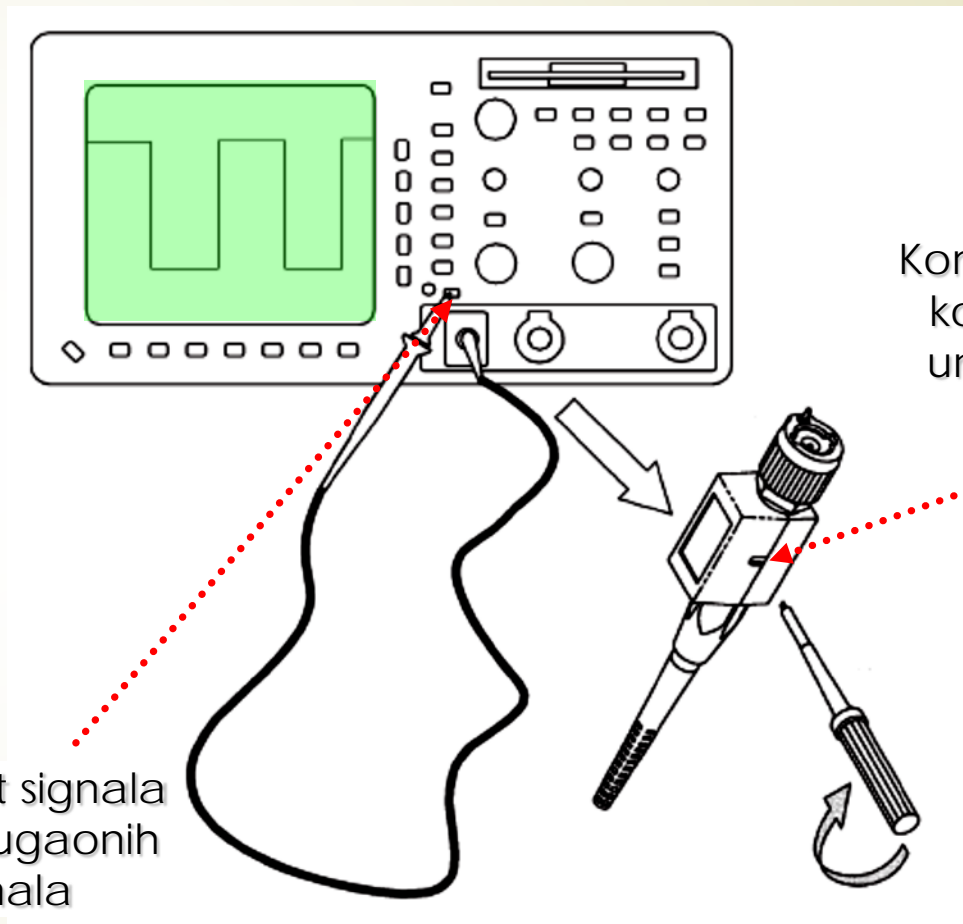
$$C_1 R_1 = C_2 R_2$$

# Procedura kompenzacije sonde

Kompenzacioni  
kondenzator  
unutar sonde



Izvor test signala  
- pravougaonih  
signala



Kompenzacioni  
kondenzator  
unutar glave  
sonde

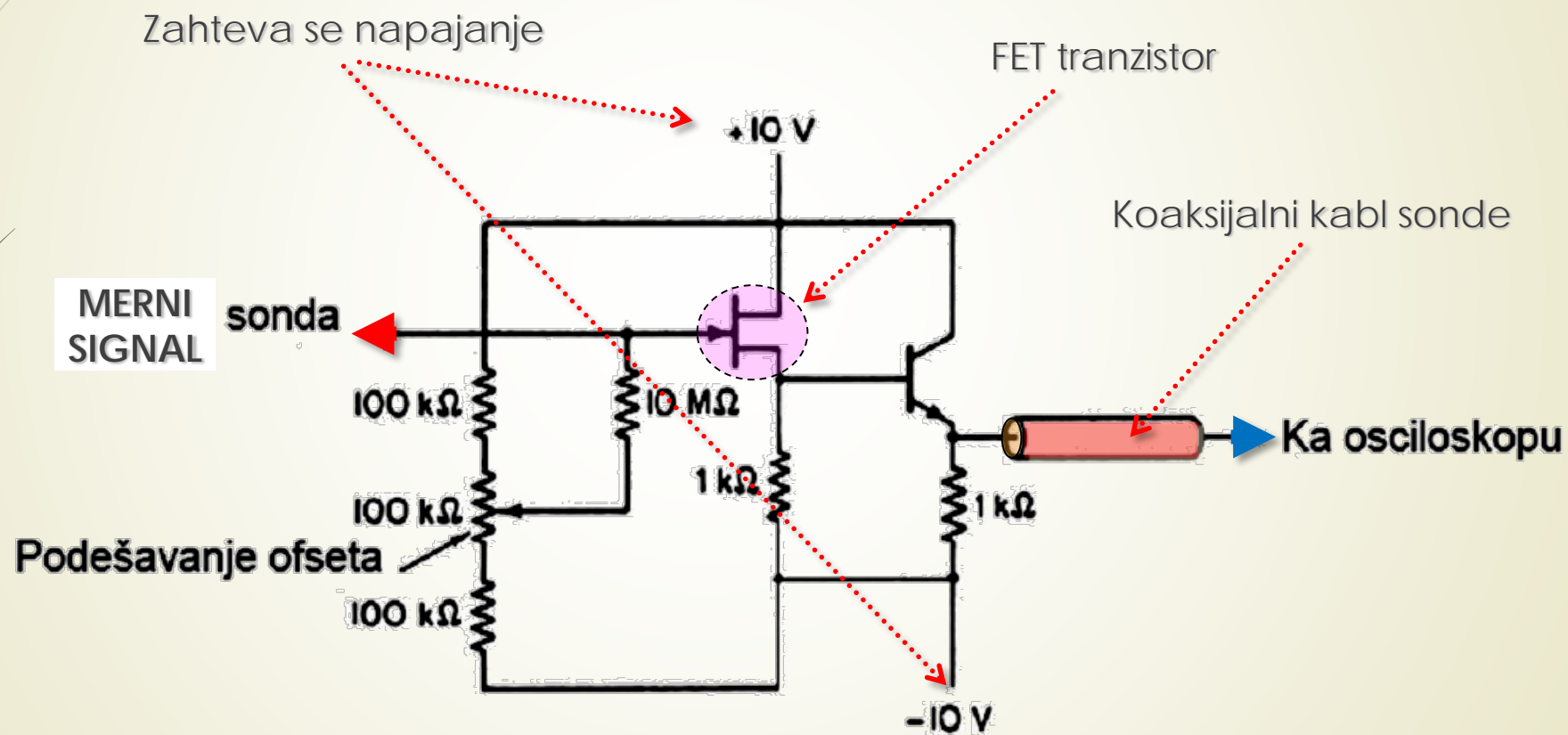
Podlašavanje kompenzacija merne sonde na glavi sonde ili u kompenzacionom bloku

<http://www.youtube.com/watch?v=uOAzRIhrnYE&feature=related>

# Aktivna sonda sa FET-om (1)

- ▶ Jedna od vrlo korisnih sonda je i **AKTIVNA SONDA** sa **FET TRANZISTOROM**.
- ▶ Naponsko pojačanje ovog **FET-a** je 1 ali on obezbeđuje **POJAČANJE SNAGE** i povećava **ULAZNU IMPEDANSU**.
- ▶ Da bi se dobio željeni efekt, FET se mora montirati **DIREKTNO** na naponsku sondu kako bi se eliminisao uticaj spojnog koaksijalnog kabla.
- ▶ **FET** drajvuje koaksijalni kabl tako da on nije povezan direktno na veliku ulaznu otpornost osciloskopa već je zatvoren svojom karakterističnom impedansom, tako da nema izobličenja signala nastalih usled kapacitivnosti kabla.
- ▶ Nedostatak ove sonde je što joj se mora obezbediti **NAPAJANJE** iz samog osciloskopa.

# Aktivna sonda sa FET-om (2)

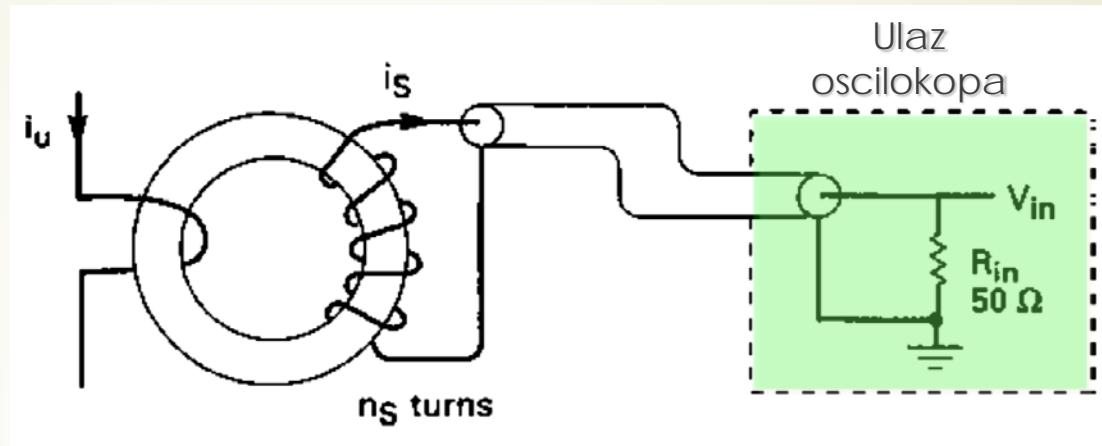




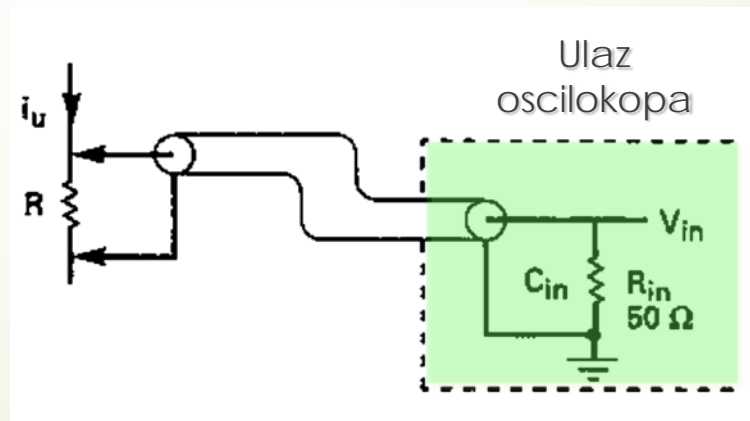
# Strujne sonde

- ▶ **STRUJNA SONDA** omogućava da se izmeri struja kroz provodnik **BEZ FIZIČKOG KONTAKTA** sonde i mernog kola.
- ▶ Neophodno je ovom sondom **OBUH VATITI STRUJNI PROVODNIK** kroz koji može proticati **JEDNOSM ERNA** ili **NAIZM ENIČNA** struja maksimalne frekvencije od 50 MHz.
- ▶ **STRUJNI SENZOR** se sastoji od dva dela:
  - ▶ **KONVENCIONALNOG TRANSFORMATORA** za transformaciju naizm enične struje u napon,
  - ▶ **SENZORA SA HALLOVIM EFEKTOM** za konverziju jednosmerne struje u napon.

# Strujne sonde, princip rada

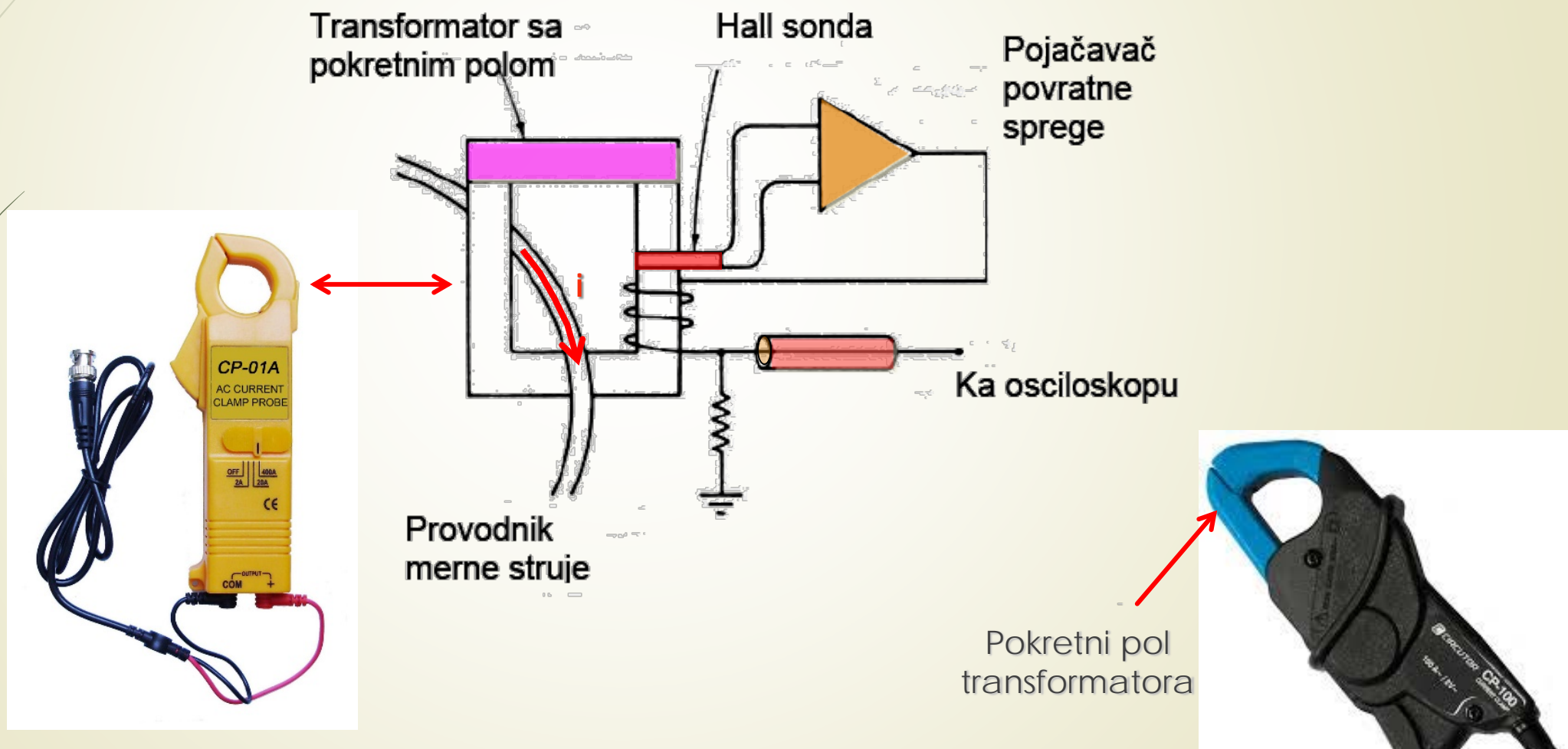


**STRUJNI SENZOR** na bazi konvencionalnog transformatora

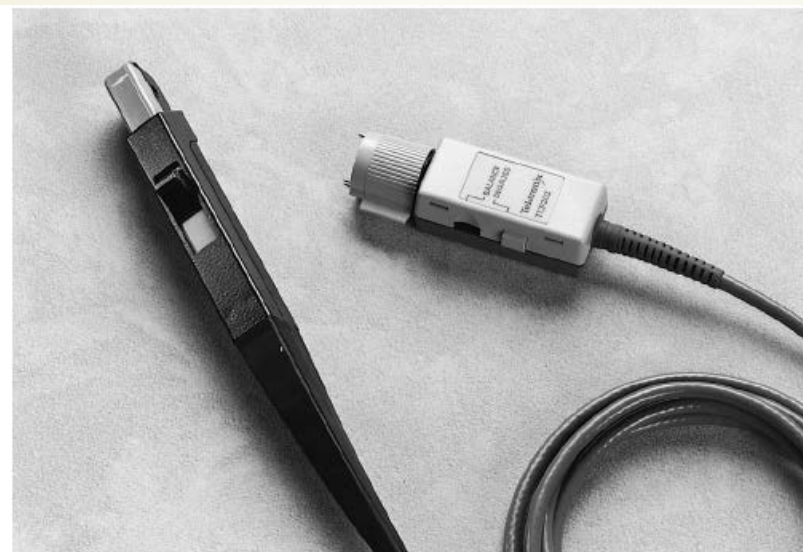


**STRUJNI SENZOR** na bazi merenja napona na poznatom otporniku (lab. vežba)

# Praktična realizacija strujne sonde



# Primena strujnih sondi

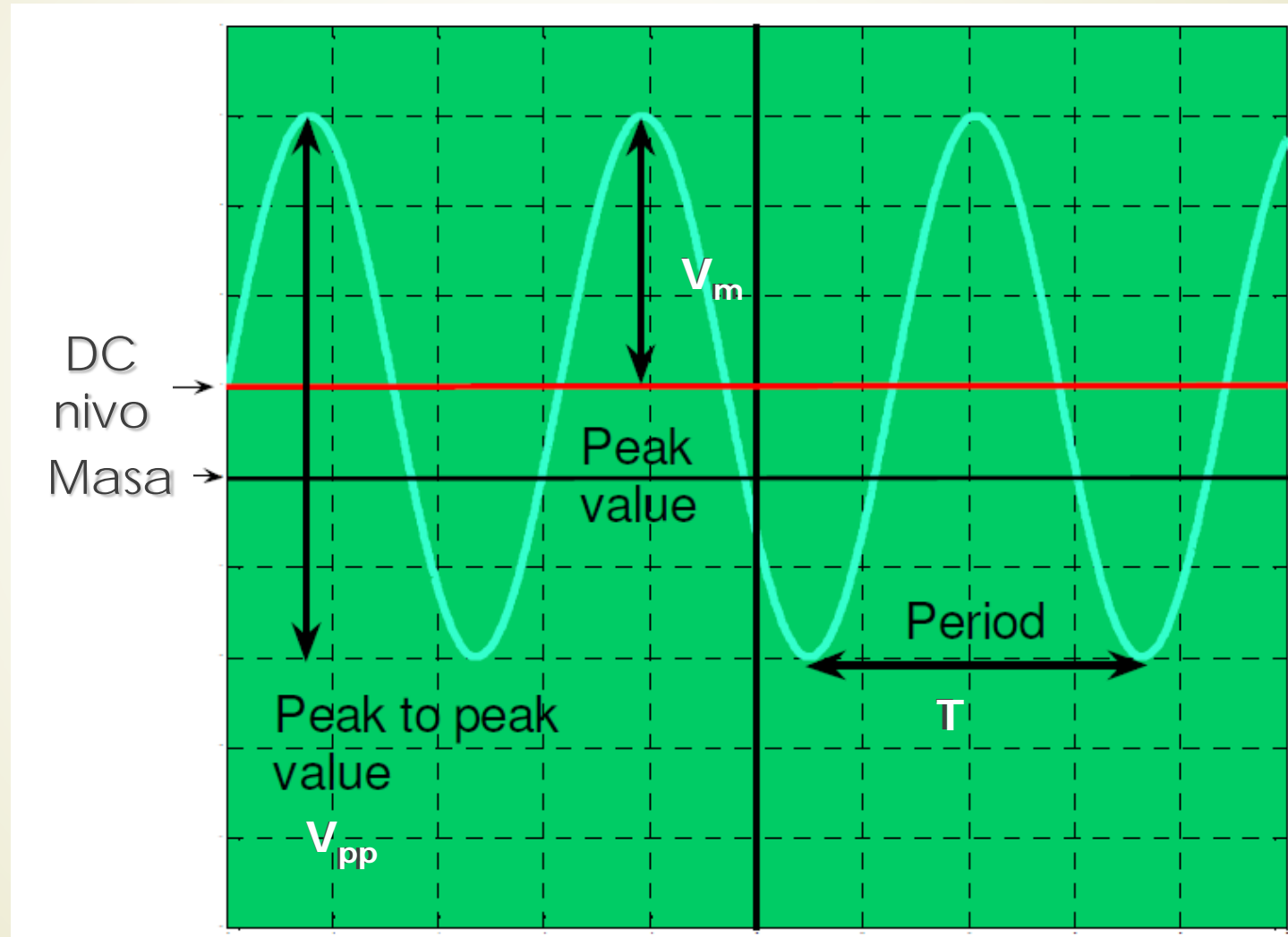


Merenje struje u  
energtici bez  
prekida strujnog kola





# Merenje frekvencije (periode) osciloskopom (1)



# Merenje frekvencije (periode) osciloskopom (2)

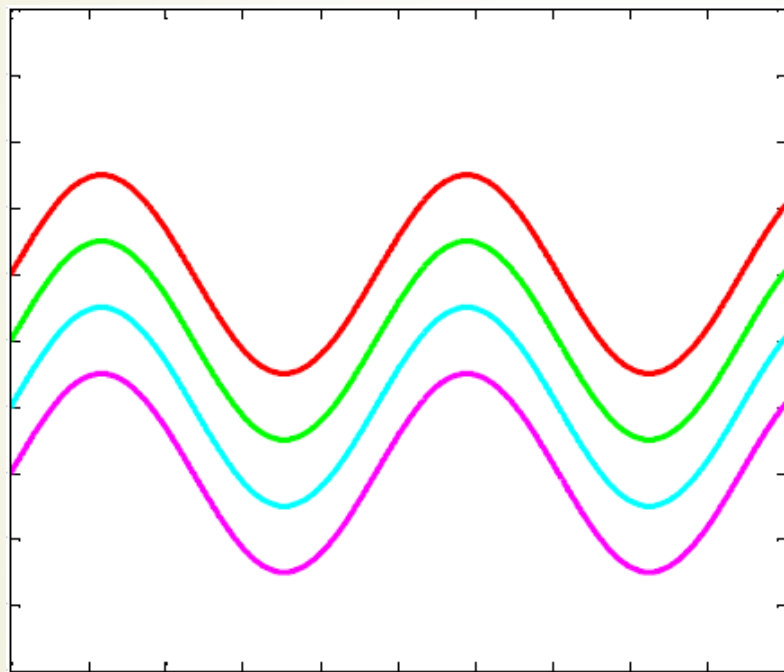
- **MERENJE FREKVENCIJE** osciloskopom sa relativno velikom greškom (nekoliko procenata) se može obaviti i korišćenjem **KALIBRISANE VREMENSKE BAZE OSCIOSKOPA**.
- Signal čija se frekvencija meri dovodi se na ulaz osciloskopa za vertikalno skretanje, a potom se **MERI DUŽINA U PODEOCIMA** jednog njegovog ciklusa.
- Ova dužina se potom **MNOŽI** sa postavljenom **VREMENSKOM BAZOM** na osciloskopu.
- Ako je rastojanje između prve i treće nule sinusoidnog signala
  - $l=6,4$  podeoka,
  - vremenska baza je postavljena na  $KVb = 10 \text{ ms /pod}$ ,
  - Perioda ovog signala  $T= KVb * l=6.4\text{pod}*10\text{ms/pod}=64 \text{ ms}$ ,
  - Frekvencija  $f=1/T=1/64 \text{ ms} = 15\,625 \text{ Hz}$ .

<http://www.youtube.com/watch?NR=1&v=dTPHSDoWKU0&feature=endscreen>

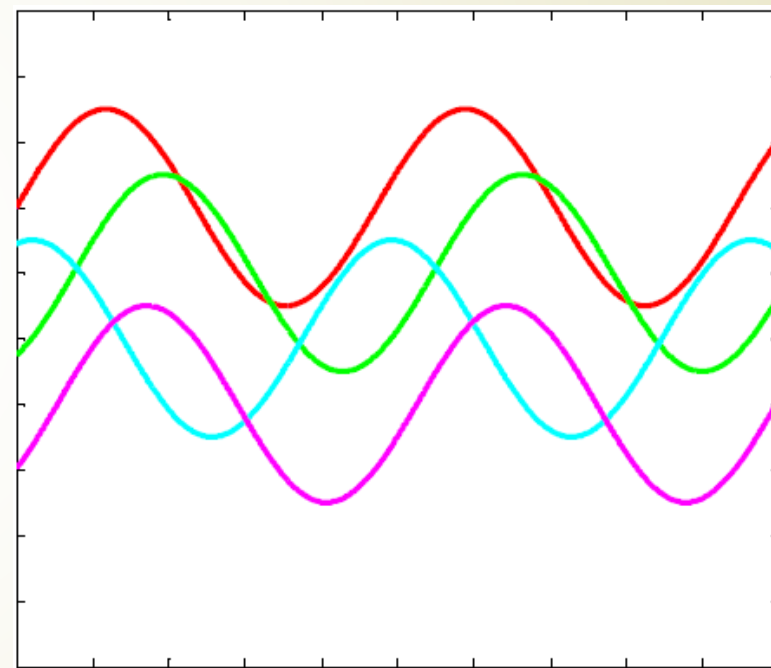
# Merenje fazne razlike osciloskopom (1)

- ▶ **FAZNA RAZLIKA** se može meriti pomoću osciloskopa na dva načina:
  - ▶ DIREKTNIM POSMATRANJEM dva signala na dvokanalnom osciloskopu i
  - ▶ MERENJEM FAZNE RAZLIKE pomoću LISAŽUOVIH FIGURA.
- ▶ **DIREKTNO MERENJE** fazne razlike pomoću osciloskopa obavlja se veoma jednostavno, priključenjem dva signala čija se fazna razlika želi izmeriti na ulaze 1 i 2 dvokanalnog osciloskopa i njihovim posmatranjem na ekranu.
- ▶ Najpre se meri **PERIODA SINUSOIDNIH SIGNALA**  $T$ , a zatim, **VREMENSKI INTERVAL KAŠNJENJA**  $t_k$  (prolazak signala kroz nulu). Metoda primenjena u vežbi 1.
- ▶ Pri tome se vremenska baza osciloskopa "RAZVUČE" što je više moguće. Zašto?

# Merenje faznog stava osciloskopom



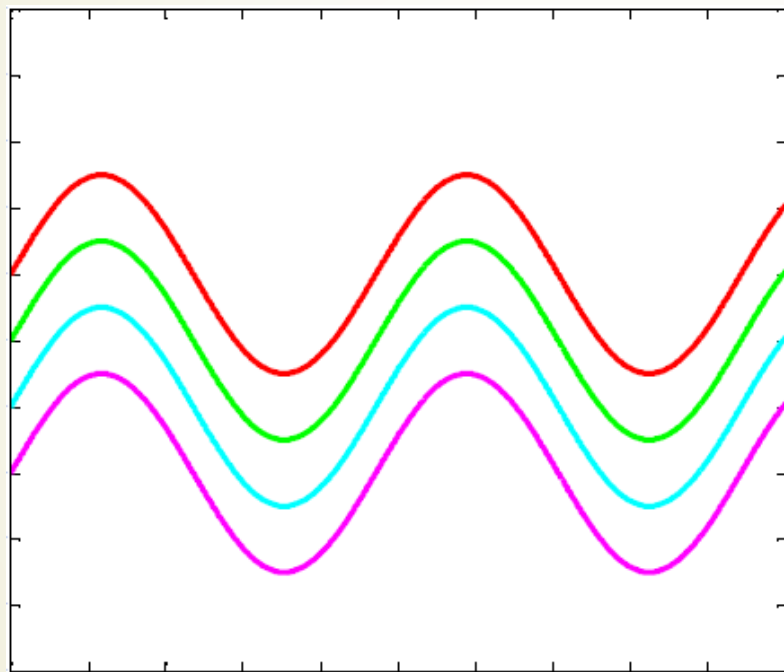
Četiri signali u fazi



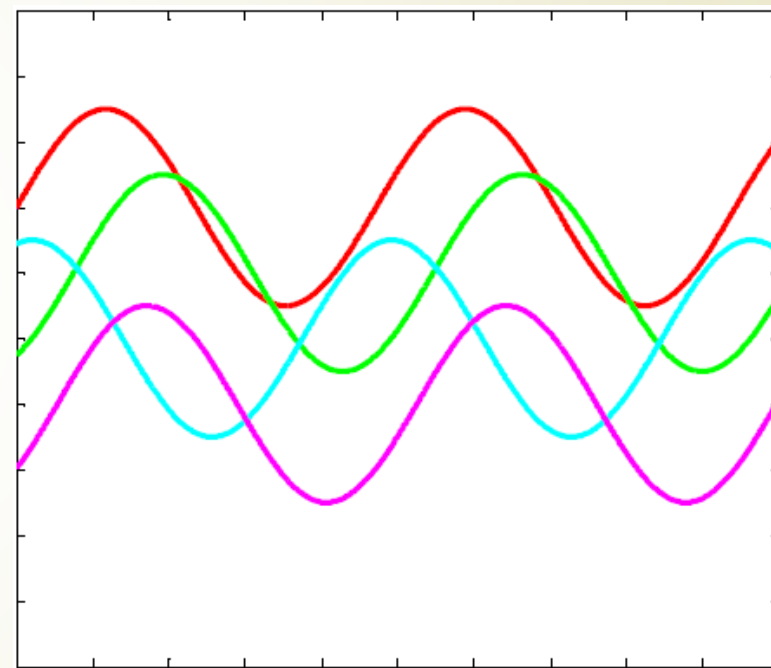
Signali sa tri različite faze



# Merenje faznog stava osciloskopom (1)

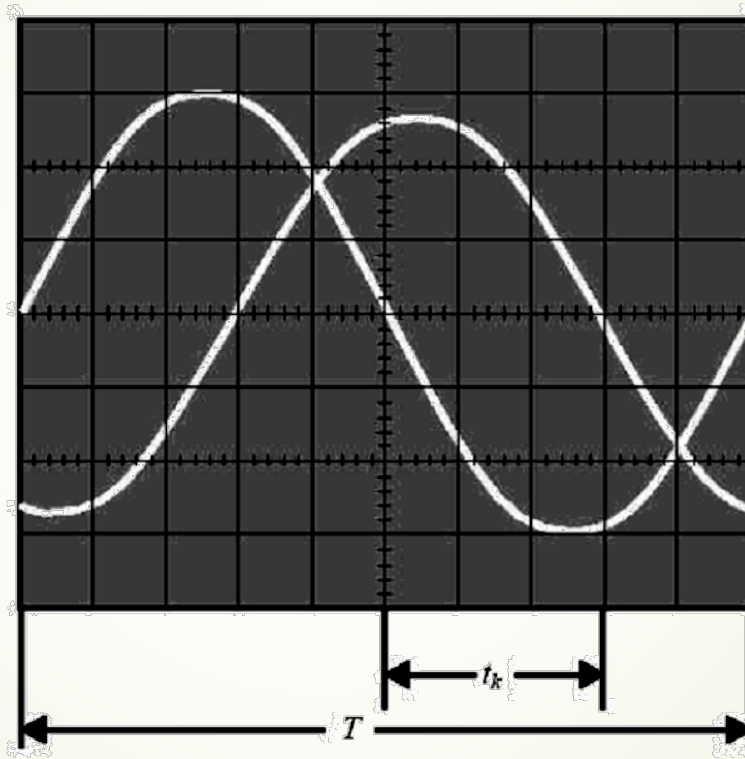


Četiri signali u fazi





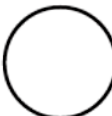

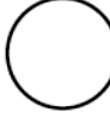









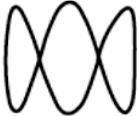



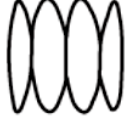


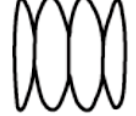

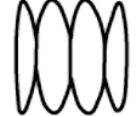
Signali sa tri različite faze

## Merenje faznog stava osciloskopom (2)

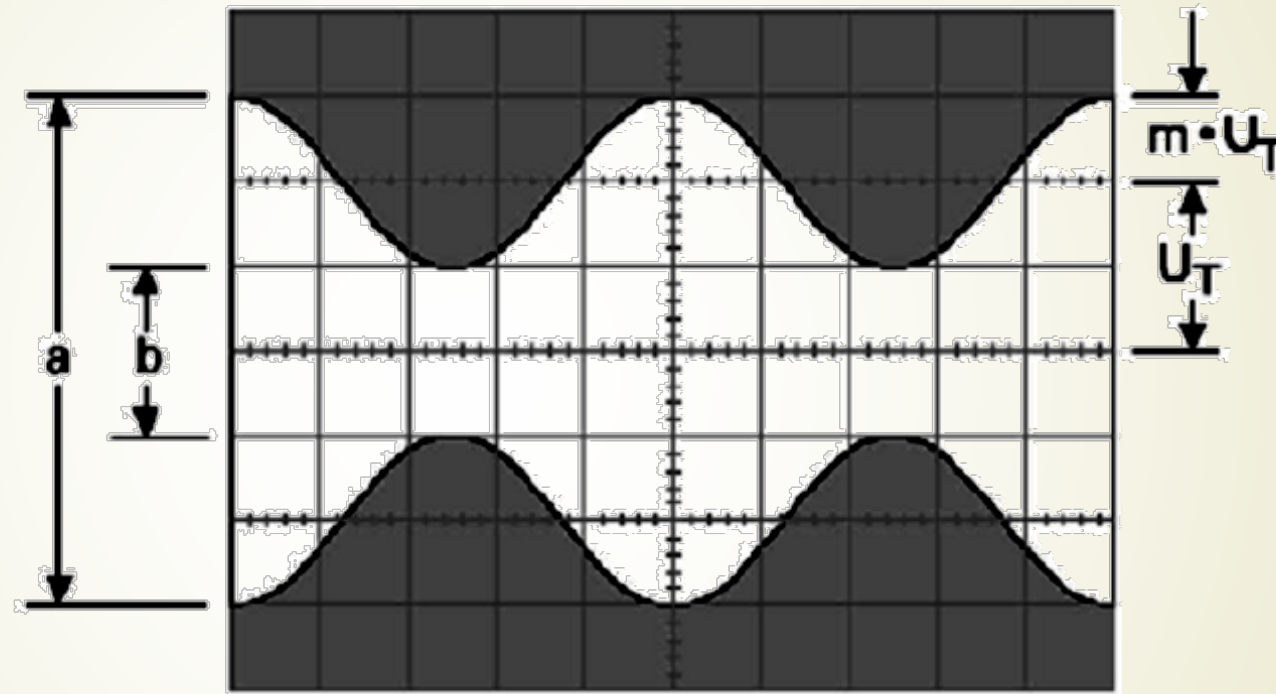


$$\varphi = \frac{t_k}{T} \cdot 360^\circ$$

# Lisažuoove figure

X:Y Frekvencijski odnos	Fazni pomeraj					
1:1	 0°	 45°	 90°	 180°	 270°	 360°
1:2	 0°	 22° 30°	 45°	 90°	 135°	 180°
1:3	 0°	 15°	 30°	 60°	 90°	 120°
1:4	 0°	 11° 15°	 22° 30°	 45°	 67° 30°	 90°

# Merenje stepena amplitudske modulacije



$$m = \frac{a - b}{a + b} \cdot 100 [\%]$$

$$a = U_t(1 + m)$$

$$b = U_t(1 - m)$$



# Osnove merjenja osciloskopom



<http://www.youtube.com/watch?v=zQDuZ3a6HAE&feature=related>

9.5 min

# Zadatak

- ▶ Dvokanalnim osciloskopom posmatrani su signali na ulazu i izlazu mernog pojačavača. Kada je na ulaz doveden signal frekvencije  $f=10\text{kHz}$  izmereno je kašnjenje izlaznog signala od  $t=1.5$  podeoka. Kolika je fazna razlika između ova dva signala se preklopnik vremenske baze nalazio u položaju  $0.25\text{ms/podeoku}$ ?