



Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija odsek NIŠ

Katedra za Informatično-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

Analogni elektronski voltmetri jednosmernog napona

(5)



Sadržaj

- ▶ **VOLTMETRI ZA JEDNOSMERNI ELEKTRIČNI NAPON**
 - ▶ Podela elektronskih voltmetara
- ▶ **ANALOGNI ELEKTRONSKI VOLTMETRI - AEV**
 - ▶ Osnovne karakteristike
- ▶ **AEV SA DIREKTNOM SPREGOM**
 - ▶ Karakteristike
 - ▶ Komponente
 - ▶ Specifikacija
- ▶ **AEV SA DIFERENCIJALNIM POJAČAVAČEM**
 - ▶ Osnovne karakteristike
 - ▶ Problem identičnih FET tranzistora
 - ▶ AEV sa operacionim pojačavačem
- ▶ **ČOPEROM STABILISAN DC VOLTMETAR**
 - ▶ Prednosti i nedostaci
- ▶ **DIFERENCIJALNI VOLTMETAR**
 - ▶ Precizni DC izvor
 - ▶ Precizni DC izvor i diferencijalni voltmetar

Voltmetri za jednosmerni el. napon

- ▶ Merenje **JEDNOSMERNOG ELEKTRIČNOG NAPONA** analognim mernim instrumentom je **NAJSTARIJI PRIMER** metrologije električnih velična.
- ▶ Prvi analogni elektronski merni instrument je bio upravo tzv. **CEVNI VOLTMETAR** (kod njega je merni pojačavač bio realizovan elektronskim cevima) za jednosmerni napon.
- ▶ Danas se prave **DIGITALNI VOLTMETI** sa 8 ½ cifara (digita).
- ▶ Savremeni **ELEKTRONSKI VOLTMETRI** za jednosmerni električni napon se dele na:
 - ▶ Analogne;
 - ▶ Diferencijalne i
 - ▶ Digitalne voltmetre.
- ▶ Današnje predavanje se odnosi na elektronske **ANALOGNE** i **DIFERENCIJALNE** voltmetre **JEDNOSMERNOG NAPONA**, dok će digitalni biti obrađeni na **POSEBNOM PREDAVANJU**.

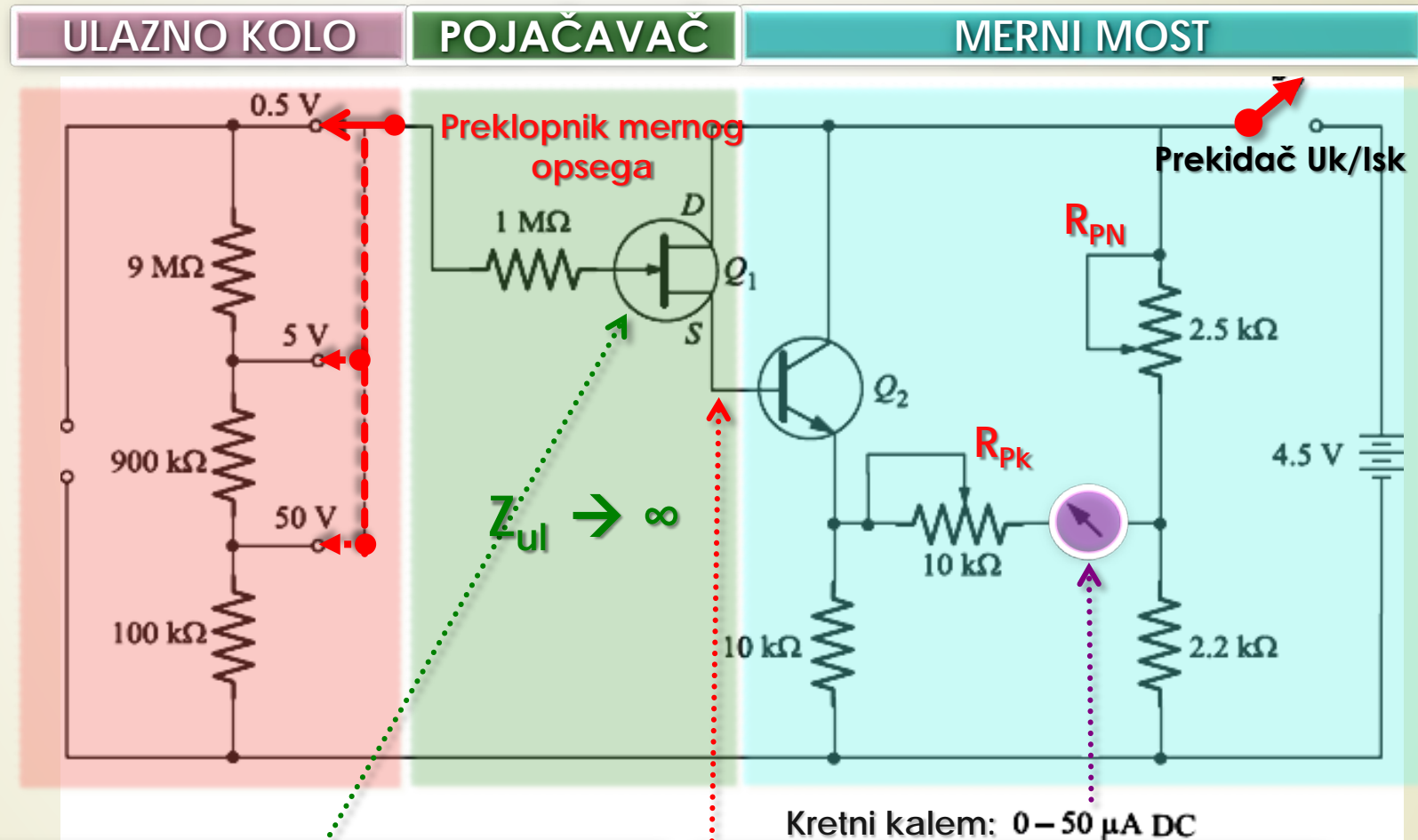
Analogni elektronski voltmetri

- ▶ Dalje se savremeni **ANALOGNI ELEKTRONSKI VOLTMETRI** jednosmernog napona dele na one sa:
 - ▶ **VELIKOM ULAZNOM OTPORNOŠĆU** i
 - ▶ **VELIKOM OSETLJIVOŠĆU**.
- ▶ Zbog **NAČINA VEZIVANJA** u merno kolo (paralelno sa potrošačem) **VELIKA ULAZNA OTPORNOST** je osnovna karakteristika elektronskog voltmetara.
- ▶ Ova osobina je posebno važna u **ELEKTRONSKIM KOLIMA** kod kojih se pri merenju **NE SMEJU** remetiti **RADNI USLOVI** samog električnog kola.
- ▶ **VELIKA OSETLJIVOST** se zahteva kod onih voltmetara koji se primenjuju kao:
 - ▶ **NULDETEKTORI** u mostnim – nultim i kompenzacionim mernim metodama;
 - ▶ Kao osetljivi **MIKROVOLTMETRI** za merenje izuzetno malih vrednosti jednosmernog napona.

Osnovne karakteristike el. voltmetara

- ▶ Na ovom predavanju ćemo razmotrićemo sledeće TIPOVE analognih elektronskih voltmetara:
 - ▶ Analogni elektronski voltmetar - **AEV** sa **DIREKTNOM SPREGOM**;
 - ▶ Analogni voltmetar na bazi **DIFERENCIJALNOG POJAČAVAČA** (šema sa zajedničkim drejnom);
 - ▶ **ČOPEROM STABILISANI** analogni DC voltmetar i
 - ▶ **DIFERENCIJALNI VOLTMETAR.**
- ▶ Glavni problem kod **ANALOGNIH ELEKTRONSKIH VOLTMETARA** za jednosmerni napon je pojava **KLIZANJA RADNE TAČKE** (ili klizanje nule), odnosno, **NULTOG POLOŽAJA** kazaljke indikatora.
- ▶ **KLIZANJE NULE** se manifestuje tako što, iako na ulaz nije priključen nikakav napon, kazaljka instrumenta **IMA OTKLON** kao da je na ulaz voltmetra priključen neki **PROMENLJIVI NAPON.**
- ▶ **EKVIVALENTNI NAPON** ovom otklonu se naziva **NAPON KLIZANJA** (ili na engleskom DRIFT).

AEV sa direktnom spregom



FET tranzistor obezbeđuje veliku ulaznu otpornost V-metra

DIREKTNA VEZA između tranzistora

AEV - osnovne karakteristike

- ▶ Pojava **DRIFT-a** je posledica **POREMEĆENE RAVNOTEŽE MOSTA** koji je realizovan unutar samog voltmetra.
- ▶ Pojava drifta je **GREŠKA APSOLUTNOG KARAKTERA**, tako da je izuzetno **NEPOŽELJNA** pri merenju nižih vrednosti napona.
- ▶ Kod merenja **MALIH NAPONA**, drift je često **REDA VELIČINE** mernog napona, tako da su ovi voltmetri u tom slučaju neprimenljivi.
- ▶ O driftu se posebno mora voditi računa kod voltmetara **SA VELIKOM OSETLJIVOŠĆU**.
- ▶ Na "KLIZANJE NULE" značajno utiču:
 - ▶ **PROMENA TEMPERATURE** (odgovarajući napon klizanja se izražava u $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$);
 - ▶ **STARENJE** sastavnih delova (izražava se $\mu\text{V}/\text{dan}$) i
 - ▶ **VARIJACIJA NAPONA NAPAJANJA** (izražava se $\mu\text{V}/\text{V}$ napajanja).

AEV – osnovne komponente (1)

- ▶ Analogni elektronski voltmetar sa **DIREKTNOM SPREGOM** se sastoji od:
 - ▶ **ULAZNOG KOLA** - oslabljivača;
 - ▶ **POJAČAVAČA** jednosmernog napona i
 - ▶ **MERNOG MOSTA** sa instrumentom sa pokretnim kalemom kao indikatorom.
- ▶ U cilju obezbeđenja **VISOKE ULAZNE IMPEDANSE** koristi se **FET TRANZISTOR** u ulaznom pojačavačkom stepenu.
- ▶ Izlaz iz **FET** tranzistora je **DIREKTNO SPREGNUT** sa ulazom sledećeg tranzistora, zbog čega se ovi pojačavači nazivaju pojačavači sa **DIREKTNOM SPREGOM**.
- ▶ Obično se ugrađuju u elektronske voltmetre **NIŽE KLASE**.
- ▶ **RAVNOTEŽA MOSTA** koji je sastavni deo voltmetra se uspostavlja **POTENCIOMETROM** označenim na slikama kao R_{PN} .

AEV – osnovne komponente (2)

- ▶ Vrednost ulaznog napona za koju se dobija **PUN OTKLON INDIKATORA BEZ OSLABLJIVAČA** se naziva **OSNOVNI MERNI OPSEG** voltmetra.
- ▶ **VEĆI OPSEZI** (u prikazanom slučaju 5 V i 50 V) se ostvaruju uključivanjem **ULAZNOG OSLABLJIVAČA**, a manji opsezi se mogu dobiti samo primenom dodatnog **PRETPOJAČAVAČA** (nije prikazan na slici).
- ▶ Ulazno kolo (ili oslabljivač) je **DELITELJ NAPONA** kod kojeg se koriste otpornici takvih vrednosti da su **IZLAZNI NAPONI UMANJENI** 10 odnosno, 100 puta (za prikazanu šemu).
- ▶ **URAVNOTEŽENOST MOSTA**, takozvano “**NULOVANJE VOLTRMETRA**”, se postiže dovodenjem struje indikatora na **NULU**, odnosno, podešavanjem – svodenjem **OTKLONA KAZALJKE** indikatora na nulu.
- ▶ **NULOVANJE VOLTRMETRA** se obavlja kada je **ULAZNI NAPON JEDNAK NULI** (ovo se postiže **KRATKOSPANJEM** ulaznih priključaka), pomoću potenciometra za **PODEŠAVANJE NULE** R_{PN} .

AEV – osnovne komponente (3)

- ▶ **NULOVANJE VOLTMETRA** se obavlja **OBAVEZNO PRE SVAKE UPOTREBE** instrumenta!
- ▶ U postupku **KALIBRACIJE VOLTMETRA**, podešavanje **STRUJE PUNOG OTKLONA** indikatora, obavlja se pomoću **POTENCIOMETRA ZA PODEŠAVANJE PUNOG OTKLONA** R_{PK} .
- ▶ Potenciometar R_{PK} je **REDNO VEZAN** sa **INDIKATOROM**, i baždarenje voltmetra se obavlja na **OSNOVNOM OPSEGU** (0,5 V u prikazanom slučaju).
- ▶ Ulazni napon je doveden iz **KALIBRATORA** jednosmernog napona.
- ▶ Osnovna **PREDNOST** ovog tipa voltmetra je:
- ▶ **VISOKA ULAZNA IMPEDANSA** koja za voltmetar iznosi 10 M Ω za svaki merni opseg.
- ▶ Osnovni **NEDOSTATAK** je **KLIZANJE NULE** koje je reda 1 $\mu\text{V}/\text{čas}$.

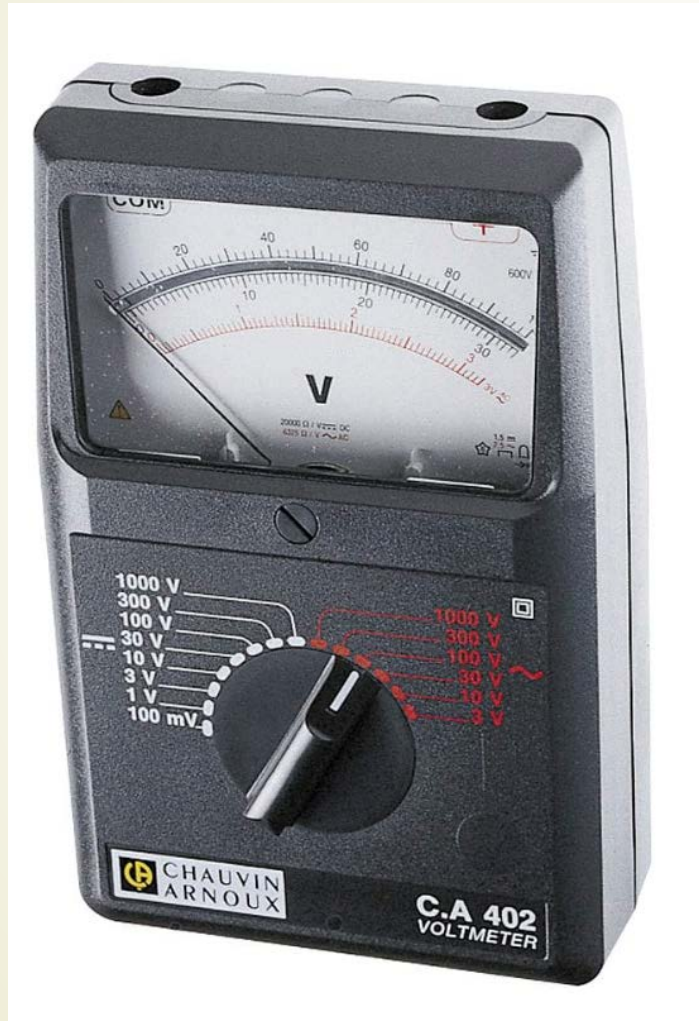
AEV – osnovna specifikacija

- ▶ Kod analognih voltmetara sa direktnom spregom, napon klizanja je posledica **PROMENE RADNE TAČKE ULAZNOG FET TRANZISTORA** do koje dolazi sa **PROMENOM TEMPERATURE**.
- ▶ Veličina ovog napona može da iznosi i do $1\mu\text{V}/\text{čas}$.
- ▶ Primera radi, kod voltmetara na bazi **DIFERENCIJALNOG POJAČAVAČA**, (biće prikazan u nastavku) napon klizanja iznosi $1\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ - $10\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ (kod posebnih rešenja napon drifta se može redukovati na $0,5\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$).
- ▶ Zbog **STARENJA** sastavnih delova napon klizanja iznosi najmanje $5\mu\text{V}/\text{mesec}$.
- ▶ Zbog **VARIJACIJE** (promene) NAPONA napajanja klizanje nule je u opsegu $100 - 200\mu\text{V}/\text{V}$.

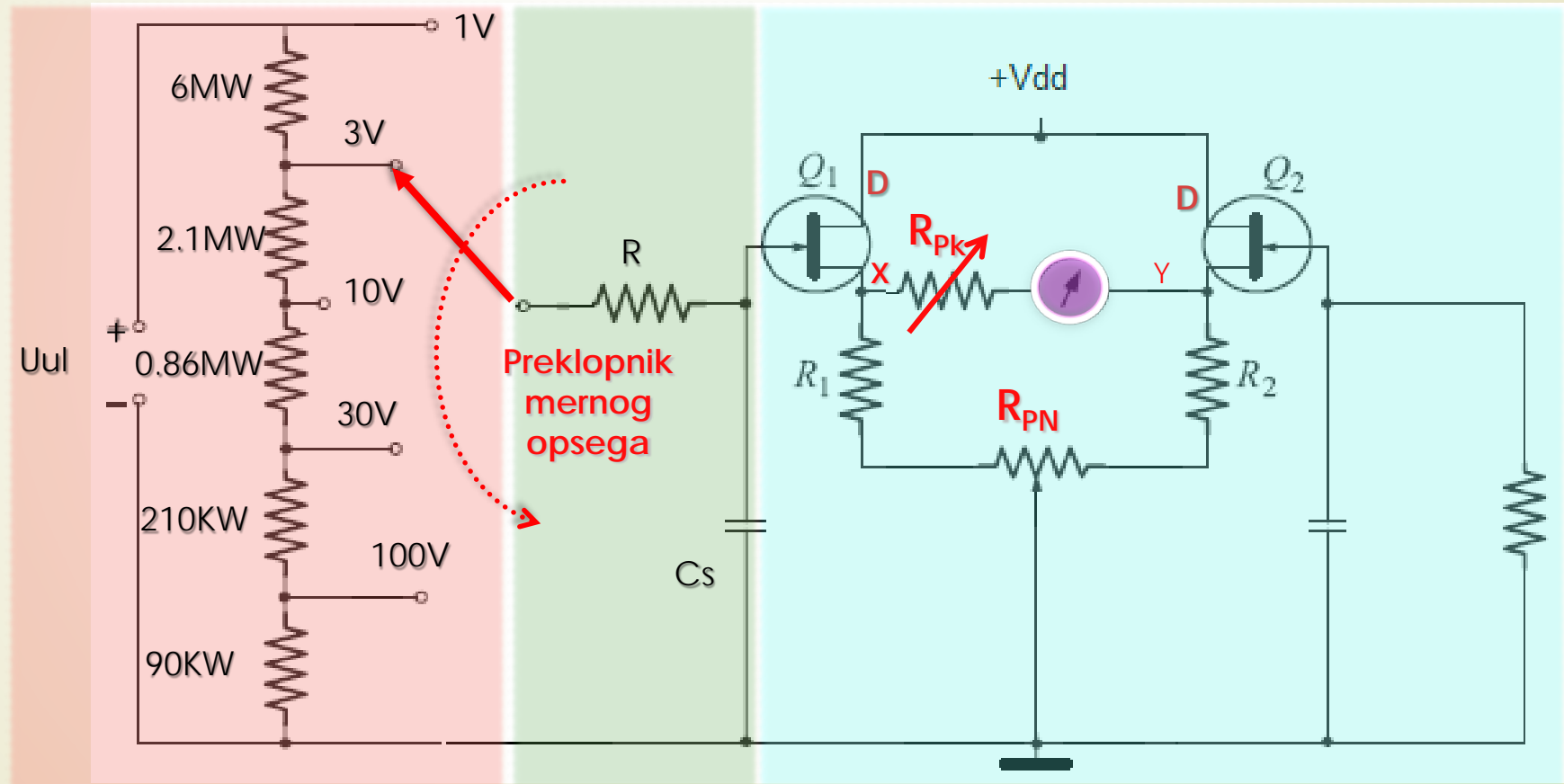
<http://www.youtube.com/watch?v=C2nhrNntBCE>

<https://www.youtube.com/watch?v=2WEV6UjXFng>

AEV – slike



AEV sa diferencijalnim pojačavačem (1)



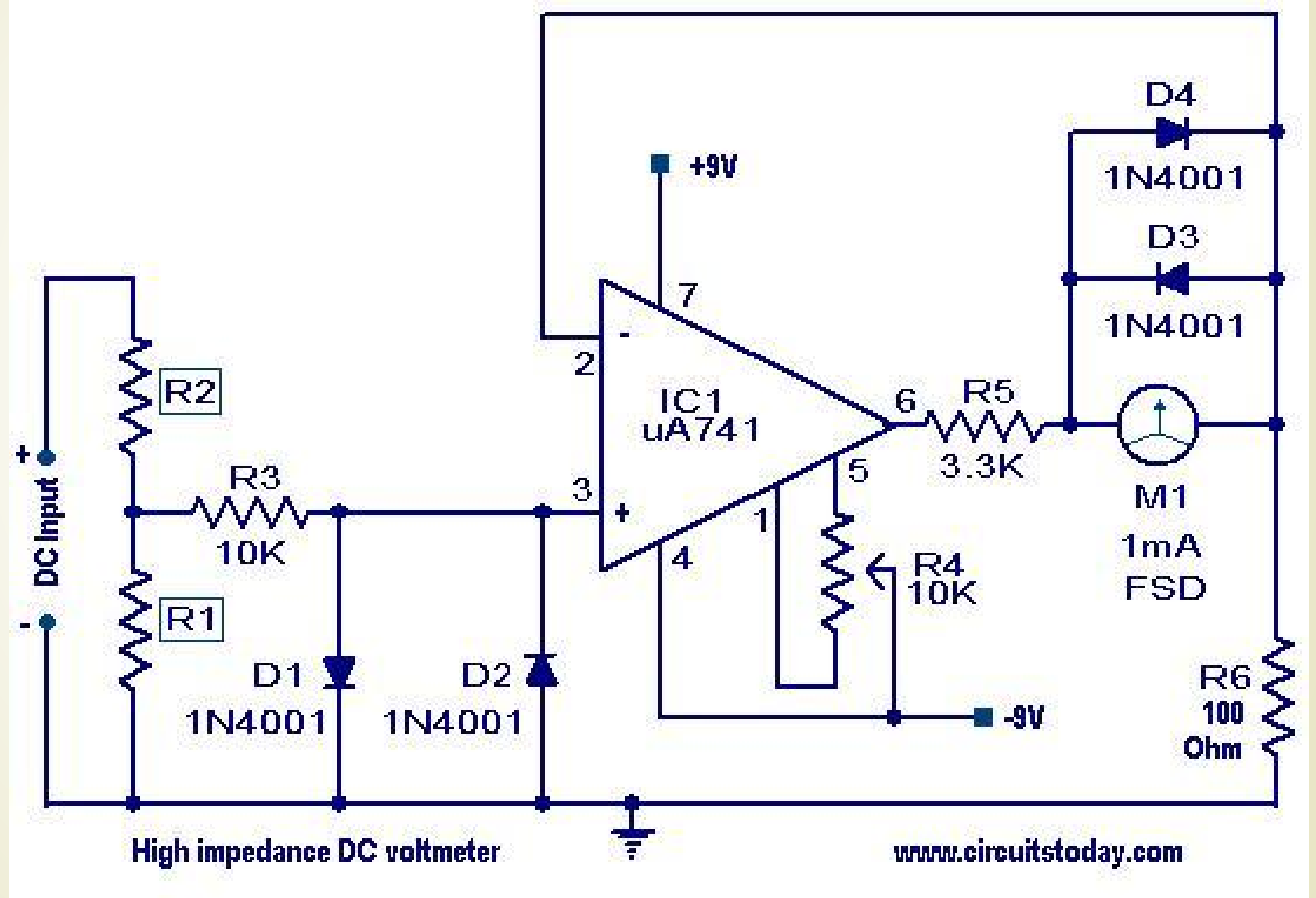
AEV sa diferencijalnim pojačavačem (2)

- ▶ Kod ovog voltmetra, dva **FET** tranzistora formiraju **GORNJU GRANU**, a dva sors otpornika **DONJU GRANU MERNOG MOSTA**.
- ▶ Ako se primene **IDENTIČNI FET TRANZISTORI**, onda je most **URAVNOTEŽEN** kada ulazni napon nije priključen, pa kroz indikator **NE PROTIČE** struja.
- ▶ Uslov identičnih **FET** tranzistora je **TEŠKO OSTVARIV U PRAKSI**, tako da se on mora rešavati **DODATNIM KOMPENZACIJAMA**.
- ▶ Potenciometar R_{PN} služi upravo u ove svrhe.
- ▶ Jedna laboratorijska vežba je realizovana na bazi prikazanog voltmetra.
- ▶ Međutim, umesto **FET** tranzistora primenjeni su **BIPOLARNI TRANZISTORI** koji ne poseduju tako veliku ulaznu otpornost kao **FET** tranzistori!
- ▶ Zbog toga se ulazna otpornost mernog sklopa **MORA** uzeti u obzir prilikom određivanja vrednosti otpornika u ulaznom kolu.

AEV sa diferencijalnim pojačavačem (3)

- ▶ Osnovna karakteristika **VOLTMETRA NA BAZI DIFERENCIJALNOG POJAČAVAČA** je **VELIKA ULAZNA OTPORNOST**,
 - ▶ koja se kreće od $10\text{ M}\Omega$ do $200\text{ M}\Omega$ u zavisnosti od naponskog mernog opsega.
- ▶ Najčešća realizacija diferencijalnog voltmetra je sa FET tranzistorima u električnoj šemu na bazi:
 - ▶ pojačavača sa **ZAJEDNIČKIM DREJNOM**,
 - ▶ pojačavača sa **ZAJEDNIČKIM SORSOM**.

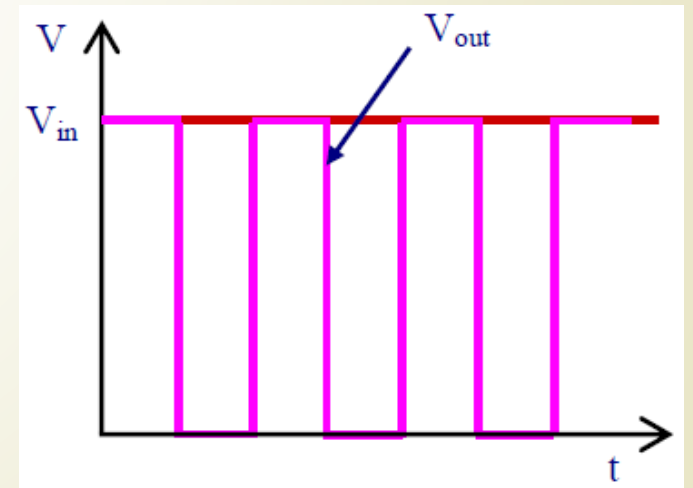
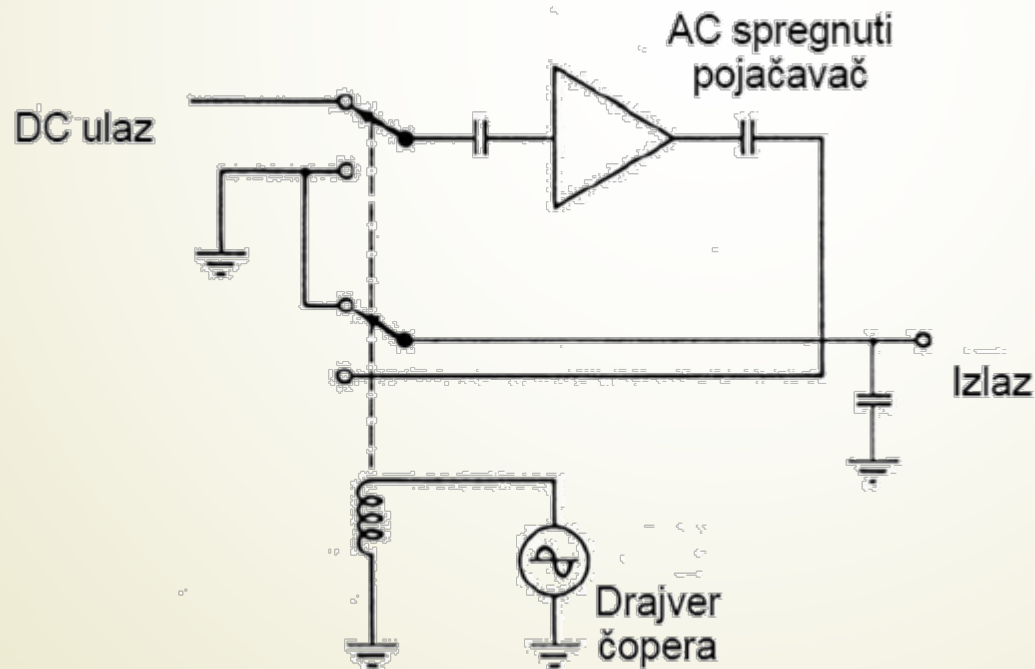
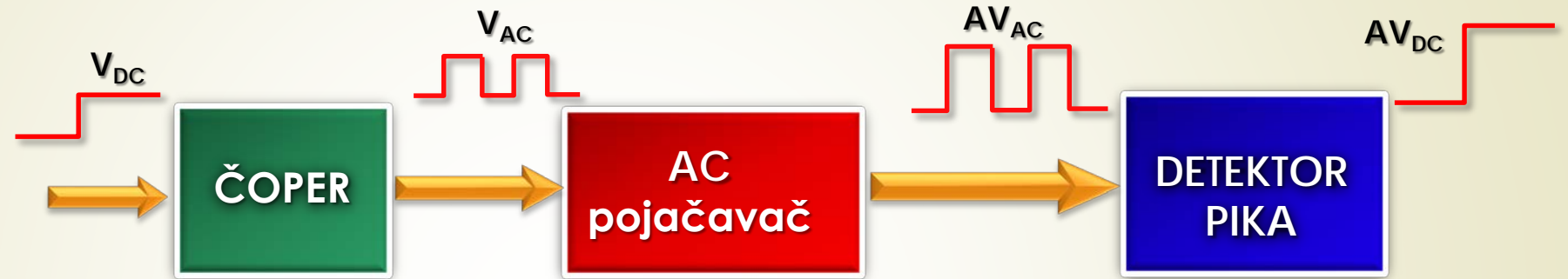
AEV – sa OP



AEV velike osetljivosti

- ▶ Da bi se realizovali **VOLTMETRI VELIKE OSETLJIVOSTI**, neophodno je obezbediti **VELIKO POJAČANJE** pojačavačkih stepena.
- ▶ Međutim, **POJAVA DRIFTA** kod jednosmernih pojačavača **OGRANIČAVA NIVO POJAČANJA** na mnogo manju vrednost od one potrebne za ovu vrstu voltmetara!
- ▶ Zbog toga se **VELIKO JEDNOSMERNO POJAČANJE** najčešće realizuje **VIŠESTEPENIM AC POJAČAVAČEM**, najčešće u verziji sa **PRETVARAČIMA NAPONA - ČOPERIMA** (engl. chopper).
- ▶ Jednosmerni napon se prvo **PRETVORI** u **NAIZMENIČNI**, a zatim se **POJAČA**, da bi se ponovo pretvorio u jednosmerni napon i prikazao na instrumentu!
- ▶ Prednost ovog rešenja je da se pojačanje napona obavlja u pojačavačima **NAIZMENIČNOG NAPONA** koji su **IMUNI NA POJAVU DRIFTA** (ovo se postiže razdvajanjem pojačavačkih stepeni **KONDENZATORIMA**).

Čoperom stabilisan AEV (1)



Čoperom stabilisan AEV (2)

- ▶ **PRETVARANJE JEDNOSMERNOG NAPONA** u naizmenični i obrnuto, može se realizovati postupkom “čopovanja” koje se može realizovati:
 - ▶ Mehaničkim,
 - ▶ Tranzistorskim i
 - ▶ Fotoosetljivim prekidačima.
- ▶ Na ovaj način se dobija tzv. “**ČOPOVAN AC SIGNAL**” čiji je **POZITIVAN PIK** jednak **DC** ulaznom naponu a **NEGATIVNI PIK** jednak nuli.
- ▶ Ovako formiran čopovan **AC** signal ima **JEDNOSMERNU KOMPONENTU** koja je jednaka **POLOVINI** merenog jednosmernog napona.
- ▶ Pojačan AC signal se “**secka**” sinhronizovano sa ulaznim i tako **RESTORIRA** pojačani jednosmerni ulazni napon.
- ▶ **ČOPERSKI POJAČAVAČ** realizovan sa elektromehaničkim komponentama ima relativno kratak životni vek (zbog čega se najčešće koriste poluprovodnički prekidači).

Čoperom stabilisan AEV (3)

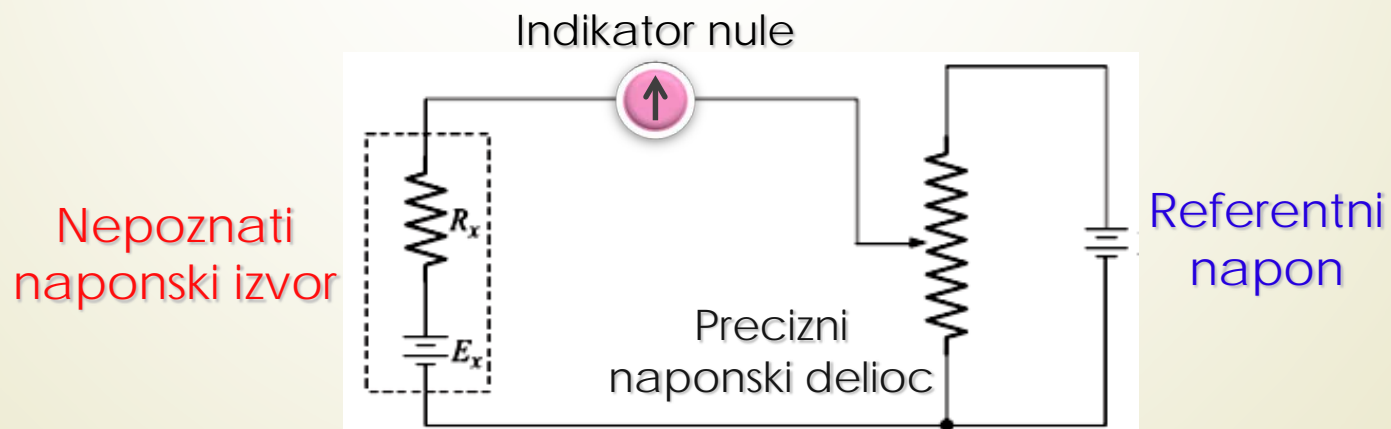
- ▶ Veoma bitan tehnički zahtev čoperskim pojačavačima je da **NE UNOSE DODATNE SMETNJE** ulaznom signalu.
- ▶ Kao **POLUPROVODNIČKI PREKIDAČI** najčešće se koriste bipolarni ili **FET** tranzistori.
- ▶ Kod realizacije čoperskog pojačavača sa poluprovodničkim prekidačima, **NAPON KLIZANJA** usled promena temperature se **POVEĆAVA** na $2 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$, a ukupan napon klizanja je oko $20 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$.
- ▶ Greška merenja napona je 1% - 3%.
- ▶ Analogni voltmetar sa **FOTOOSETLJIVIM PREKIDAČEM** se realizuje fototranzistorima i fotodiodama.
- ▶ "**FREKVENCIJA ČOPOVANJA**" koja se ostvaruje sa fotodiodom ili fototranzistorom je od $x100 \text{ Hz}$ do $x10 \text{ kHz}$.

Čoperom stabilisan AEV (4)

- ▶ **OSNOVNA PREDNOST** ovog tipa analognog voltmetra je **VELIKA OSETLJIVOST**, jer je ostvaren pun otklon indikatora za svega 1 mV.
- ▶ Sa druge strane **ULAZNA OTPORNOST** kod ovog voltmetra je relativno **NISKA** i iznosi od 40 k Ω do 400 k Ω .
- ▶ Koriste se za merenje jednosmernih napona **MALE UNUTRAŠNJE OTPORNOSTI** kod:
 - ▶ TERMOPAROVA,
 - ▶ TENZOMETARA i
 - ▶ INDUKTIVNIH PRETVARAČA.

Diferencijalni voltmetri (1)

- ▶ Jedna od najpoznatijih metoda za merenje nepoznatog napona je tehnika razvijena na bazi **DIFERENCIJALNOG VOLTMETRA**.
- ▶ Voltmetar se koristi kao **INDIKATOR RAZLIKE** između poznatog i nepoznatog napona.
- ▶ U prikazanoj šemi indikator nule (engl. Null indikator) je povezan između **NEPOZNATOG NAPONA** i **PRECIZNOG NAPONSKOG DELIOCA** i pokazuje **RAZLIKU** između njih.
- ▶ **NAPONSKI DELIOC** je povezan na strani naponskog izvora i može se podešavati da dâ pouzdani i poznati deo referentnog napona.



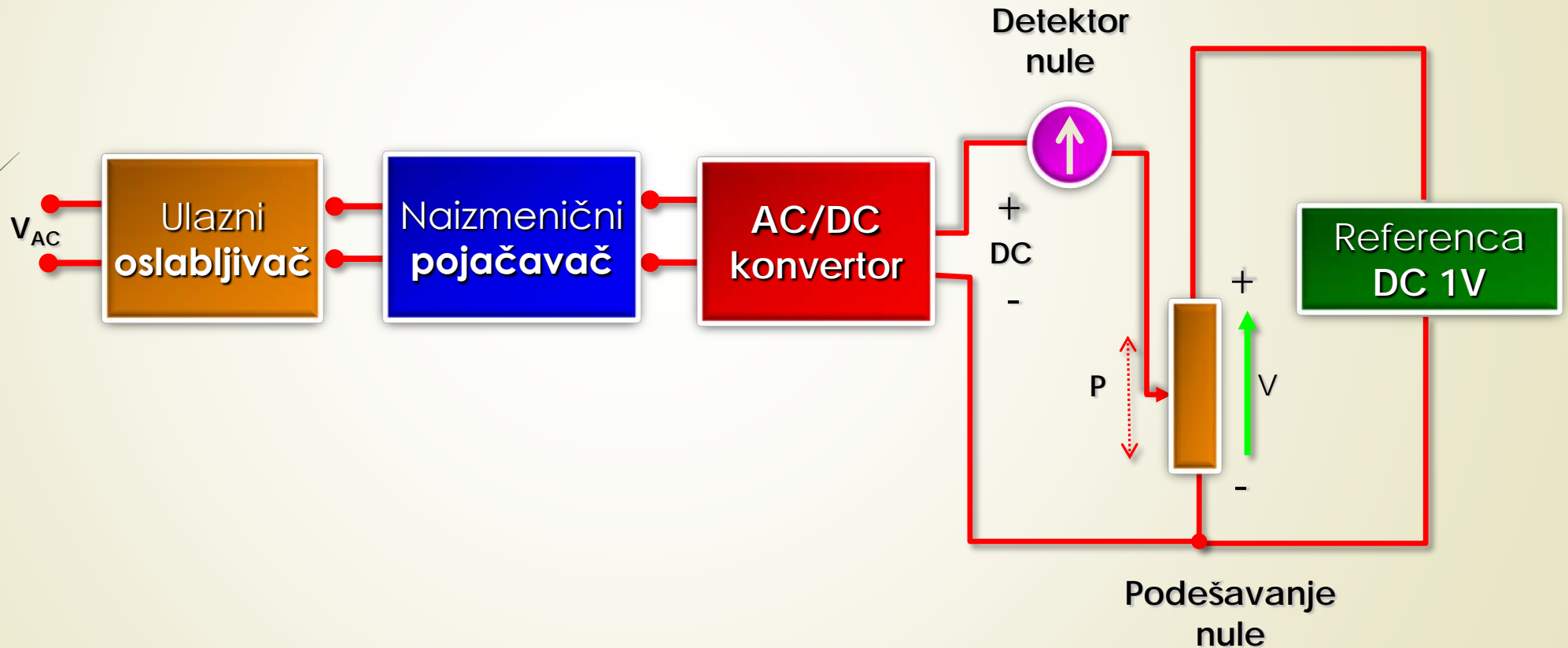
Nul – indikator (meter)



Diferencijalni voltmetri (2)

- ▶ **PODEŠAVANJEM DELIOCA** vrši se **IZJEDNAČAVANJE** poznatog i nepoznatog napona što se indicira na instrumentu.
- ▶ Pod ovim uslovom **NE PROTIČE NIKAKVA STRUJA** kroz indikator nule.
- ▶ Zato se kaže da diferencijalni voltmetar predstavlja **BESKONAČNU IMPEDANSU** i **NE OPTEREĆUJE** mereni signal.
- ▶ **Od INDIKATORA NULE** se zahteva da detektuje mali disbalans (razliku) između napona, tako da je njegova **TAČNOST** od **DRUGORAZREDNE VAŽNOSTI** (koji tip V-m bi upotrebili?).
- ▶ Česte su **AC** verzije diferencijalnog voltmetra koji je prikazan na sledećem slajdu.
- ▶ Primetite na desnoj strani **REFERENCU JEDNOSMERNOG NAPONA** od 1V koja je **SASTAVNI DEO** instrumenta.
- ▶ Sa **ISTIM** gradivnim blokovima se može realizovati i **PRECIZNI IZVOR JEDNOSMERNOG NAPONA**, što je najčešći slučaj u praksi.

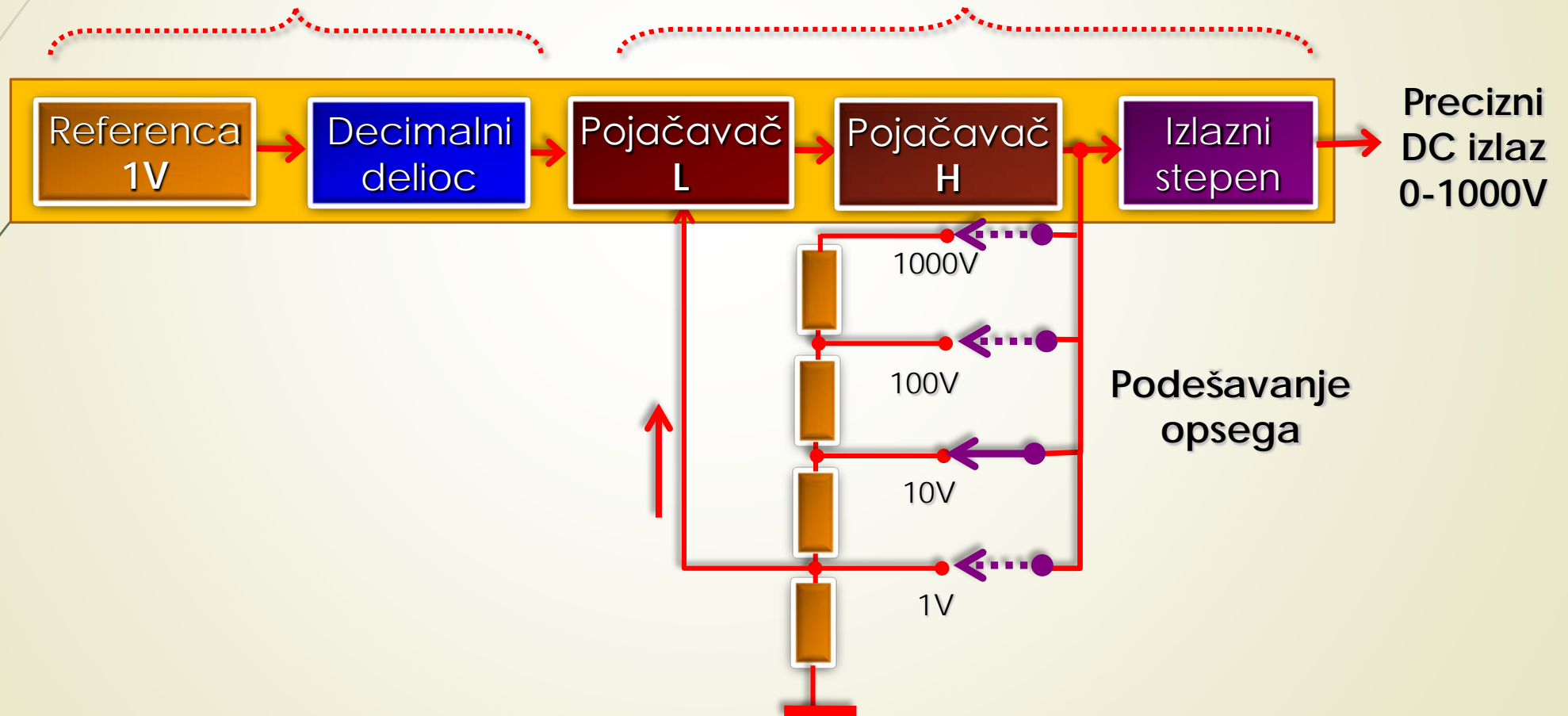
AC Diferencijalni voltmetar



Precizni DC izvor i diferencijalni voltmetar

Sekcija **REFERENTNOG** napona

POJAČAVAČKA sekcija



Precizni DC izvor i diferencijalni voltmetar

