



# 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 MERNÁ INSTRUMENTACIJA

Digitalni voltmetri

(7)



# Sadržaj

## ▶ DIGITALNI VOLTMETRI - DV

- ▶ Princip rada digitalnih voltmetara
- ▶ Uzorkovanje i kvantizacija
- ▶ Značaj i podela digitalnih voltmetara

## ▶ DV RAMP TIPRA

- ▶ Blok šema
- ▶ Vremenski dijagram
- ▶ Osnovne karakteristike

## ▶ DV INTEGRATORSKOG TIPRA

- ▶ Blok šema
- ▶ Vremenski dijagram
- ▶ DV sa dvostrukim integraljenjem
- ▶ Osnovne karakteristike

## ▶ DV SA PRETVARANJEM NAPONA U FREKVENCIJU

- ▶ Blok šema
- ▶ Vremenski dijagram
- ▶ Uticajni faktori na tačnost merenja
- ▶ Osnovne karakteristike

## ▶ DV SA SUKCESIVNOM APROKSIMACIJOM NAPONA

- ▶ Blok šema
- ▶ Vremenski dijagram
- ▶ Upravljački registar
- ▶ Osnovne karakteristike

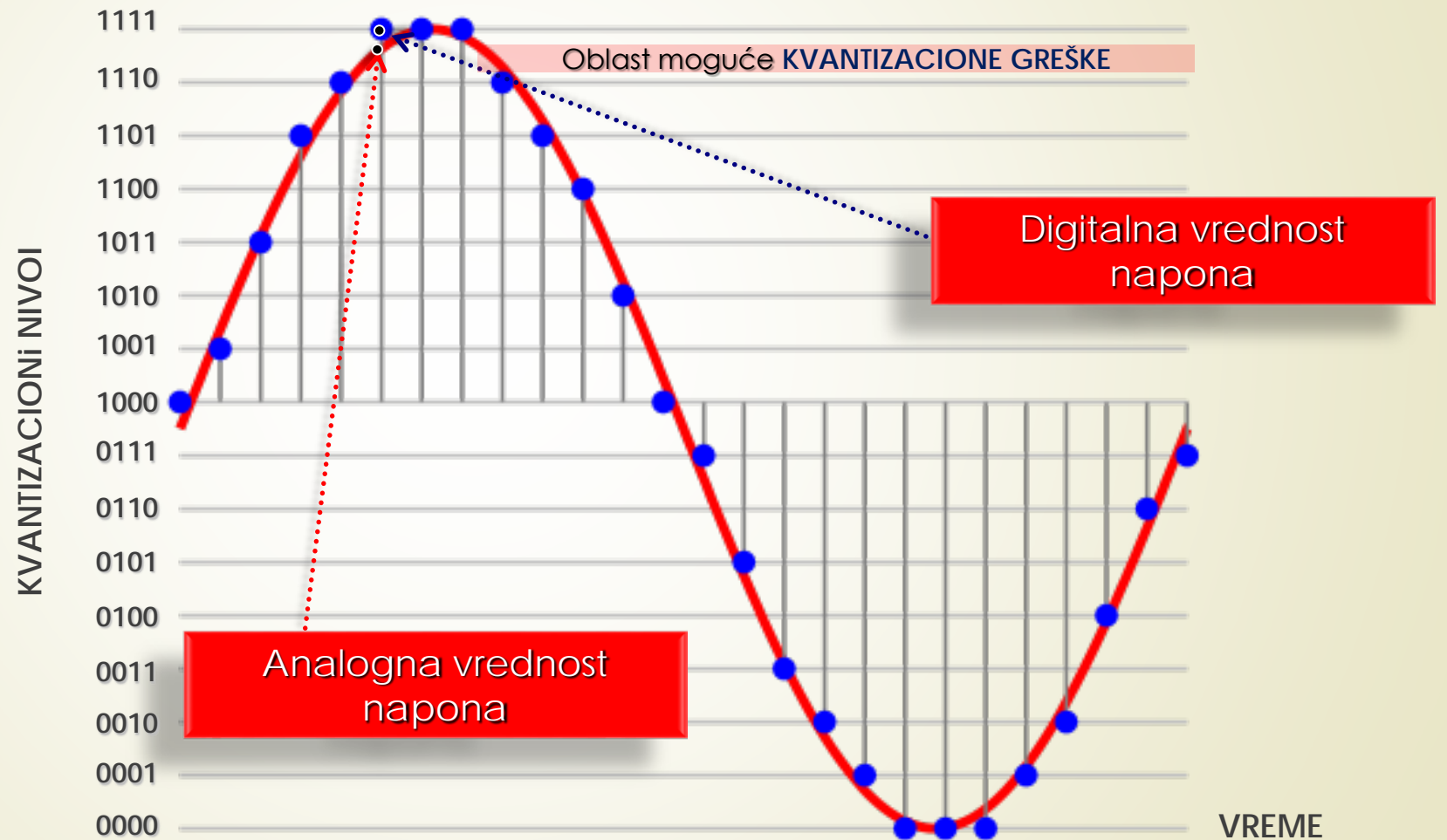
## ▶ ZADACI

- ▶ Logičko stanje upravljačkog registra (8/10-bitra)

# Princip rada digitalnih voltmetara

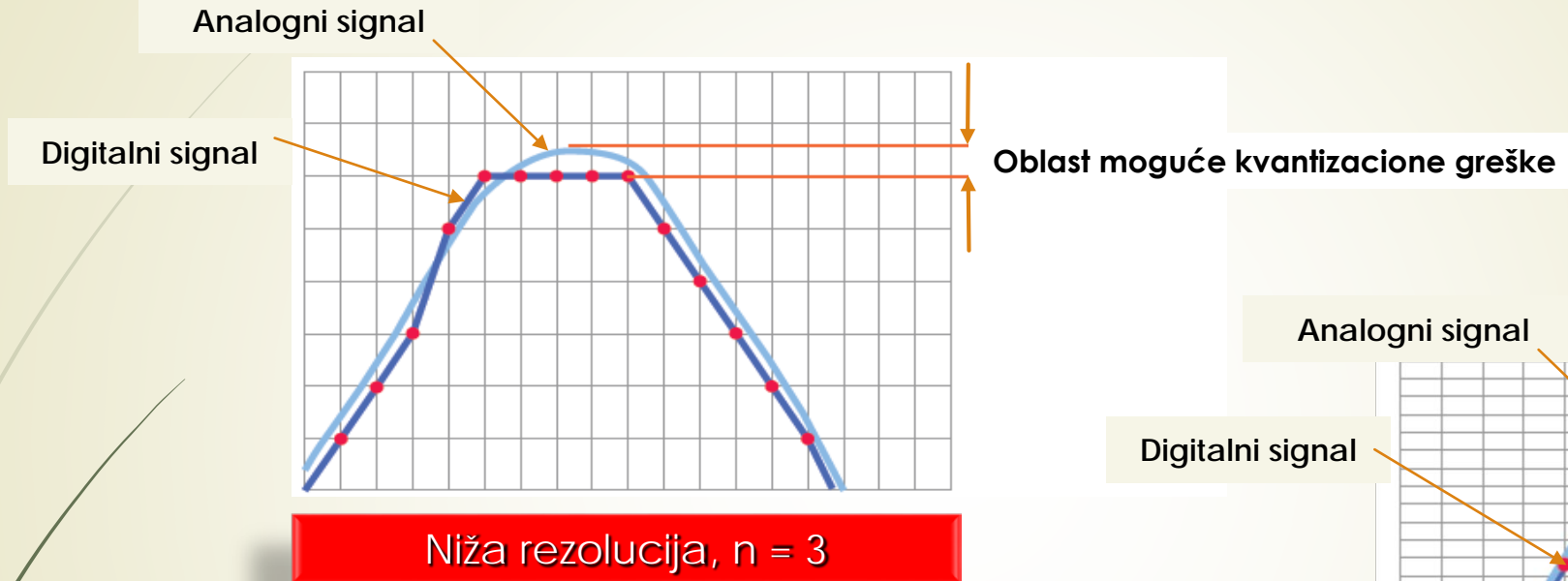
- ▶ Osnovni princip rada **DIGITALNIH VOLTMETARA (DV)** za jednosmerni (**DC**) napon zasnovan je na:
  - ▶ **PRETVARANJU MERENOG JEDNOSMERNOG NAPONA** kao ulazne **ANALOGNE VELIČINE** u **DIGITALNI OBLIK** i
  - ▶ **PRIKAZIVANJU REZULTATA** merenja na **CIFARSKOM INDIKATORU**.
- ▶ Za razliku od **ANALOGNOG NAPONA** koji može uzeti **BILO KOJU VREDNOST** iz skupa kontinualnih vrednosti, digitalna vrednost je određena **BROJEM DISKRETNIH VREDNOSTI** koji je utvrđen određenim **BROJEM BITA** koji se koriste u konverziji.
- ▶ **BROJ DISKRETNIH VREDNOSTI** je određen **BROJEM BITOVA**, a time je određena osnovna karakteristika konverzije - **RAZLAGANJE KONVERZIJE**.
- ▶ Tako, sa **BINARNIM KODOM** koji poseduje **n bitova**, može se razlučiti (prepoznati)  **$2^n$  DISKRETNIH VREDNOSTI NAPONA**.
- ▶ **NESIGURNOST KVANTIZACIJE** kod analogno-digitalnog (A/D) pretvaranja je jednaka  **$1/2$  NAJMANJE ZNAČAJNOG BITA (LSB)**.

# Uzorkovanje i kvantizacija (n=4)

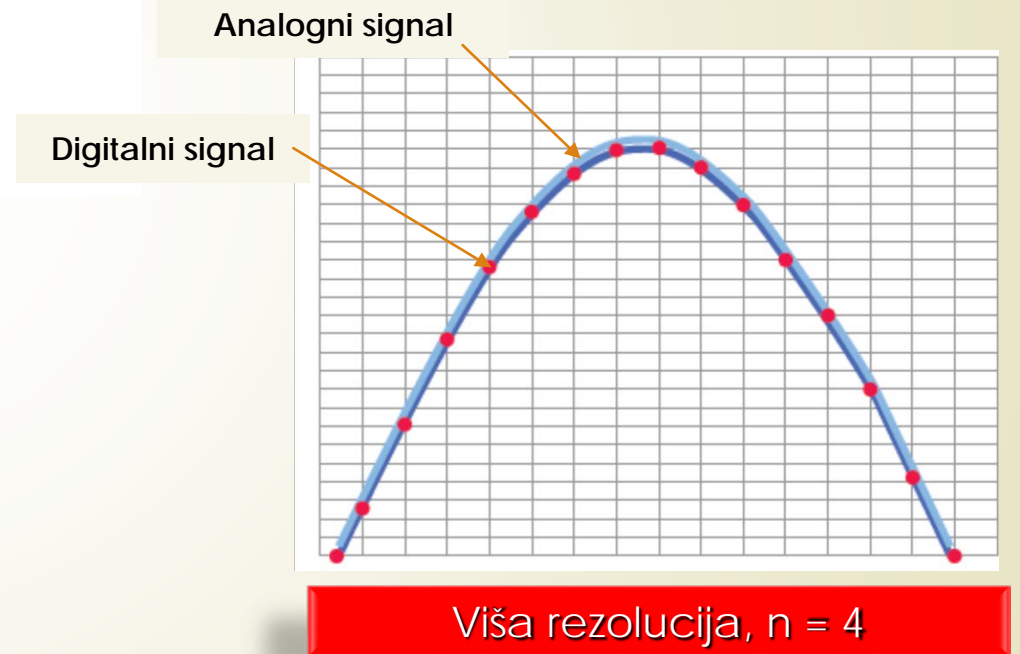




# Uzorkovanje i kvantizacija, $n=3, 4$



Na kvantizacionu grešku utiče **BROJ BITA** koji se koriste za kvantizaciju



# Podela digitalnih voltmetara

- ▶ U zavisnosti od **POSTUPKA** koji se koristi za pretvaranje **ANALOGNOG** ulaznog napona u **DIGITALNI OBLIK**, danas se najčešće upotrebljavaju sledeće vrste **DIGITALNIH VOLTMETARA** za jednosmerni napon:
  1. Digitalni voltmetar sa **PRETVARANJEM NAPONA U VREME** (RAMP tip digitalnog voltmetra),
  2. Digitalni voltmetar sa pretvaranjem napona u vreme pomoću **DVOSTRUKOG INTEGRALJENJA**,
  3. Digitalni voltmetar sa **PRETVARANJEM NAPONA U FREKVENCIJU** i
  4. Digitalni voltmetar sa **SUKCESIVNOM APROKSIMACIJOM** napona.
- ▶ Imajte u vidu, na usmenom delu ispita **ELIMINATORNO PITANJE** je vezano za digitalne voltmetre!
- ▶ Šta mislite, koji su razlozi za ovakav stav?

# Značaj DV

- ▶ Većina merenih fizičkih veličina po svojoj prirodi je približno **KONSTANTNA** ili **KONTINUALNO SPORO PROMENLJIVA** u vremenu.

- ▶ Mnoge **METODE MERENJA** fizičkih veličina:

- ▶ električne struje,
- ▶ snage,
- ▶ otpornosti,
- ▶ temperature,
- ▶ pomeraja, itd.,

su zasnovane na pretvaranju **PRIMARNIH** fizičkih veličina u **SEKUNDARNE** (po pravilu je to jednosmerni električni napon), tako da se njihovo određivanje svodi na upotrebu **DIGITALNIH VOLTMETRA**.

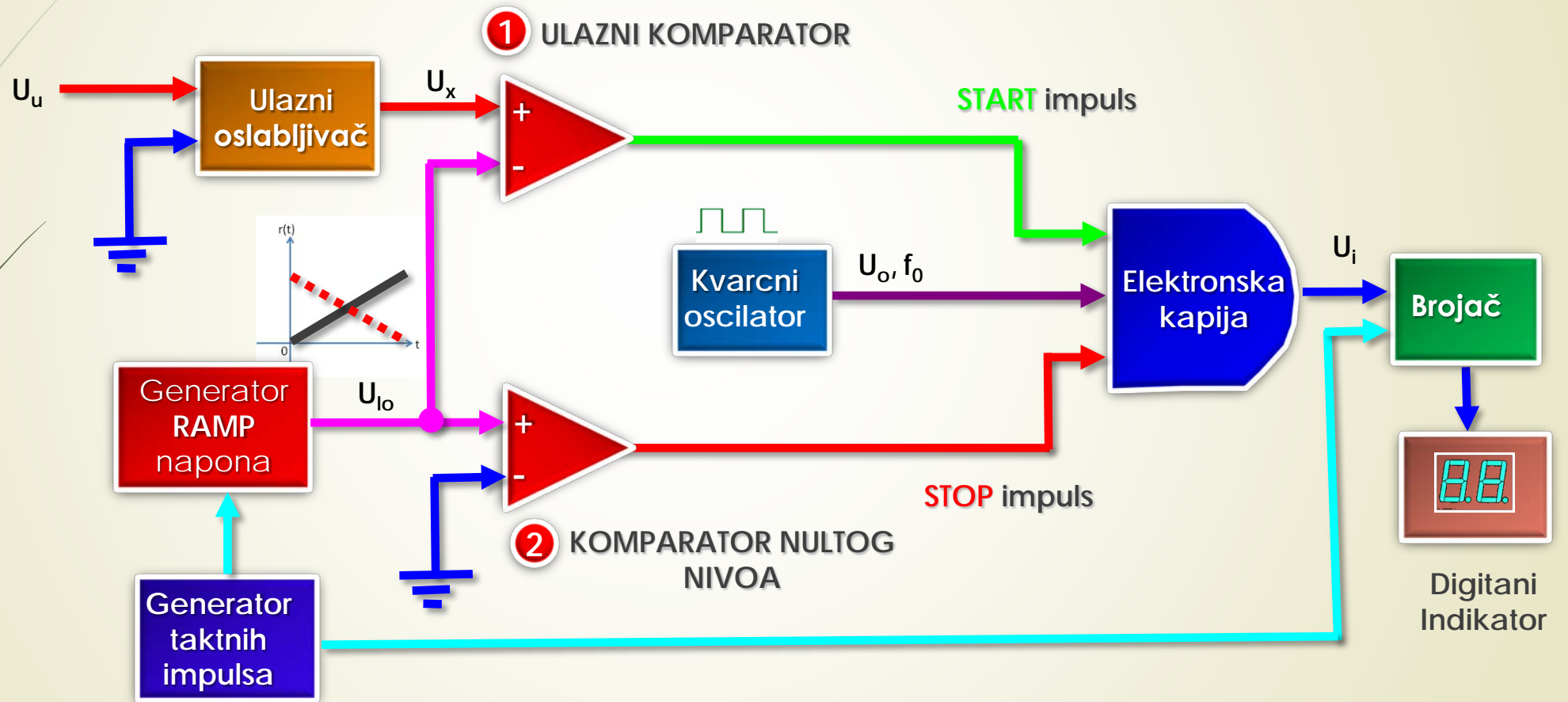
- ▶ Ova konstatacija pokazuje veliku važnost i **ŠIROKU PRIMENU DIGITALNIH VOLTMETARA** za jednosmerni napon, ne samo za merenje jednosmernog napona već i merenje niza **DRUGIH FIZIČKIH VELIČINA**.



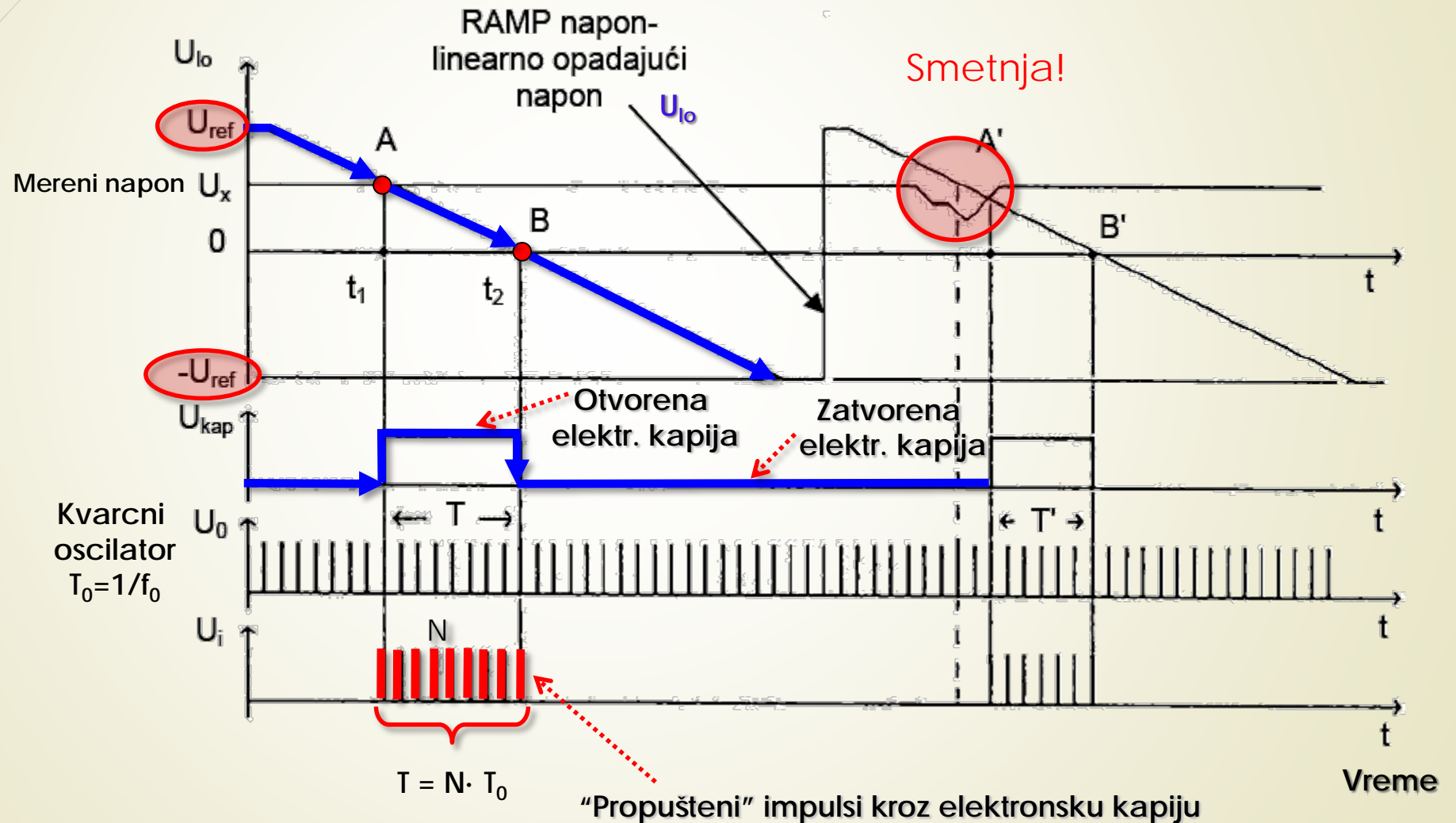
# Digitalni voltmetar **RAMP** tipa

- Digitalni voltmetar sa **PRETVARANJEM NAPONA U VREME (RAMP tip)** pretvara merenje jednosmernog napona u merenje **VREMENSKOG INTERVALA**.
- Ovo je omogućeno merenjem **VREMENSKOG INTERVALA** potrebnog da **LINEARNO OPADAJUĆI NAPON**  $U_{I_0}$  dostigne/opadne:
  - **OD** vrednosti merenog napona  $U_x$  **DO NULE** (za pozitivan mereni napon), ili
  - **OD NULE DO** vrednosti **JEDNAKE MERENOM NAPONU**  $U_x$  (za negativan mereni napon).
- Primetite da je za realizaciju ovog algoritma neophodno realizovati **DVA KOMPARATORA**:
  - 1** **KOMPARATOR ULAZNOG NAPONA** - ulazni komparator i
  - 2** **KOMPARATOR NULTOG NIVOVA**.
- Na sledećem slajdu je prikazana principijelna blok šema voltmetra **RAMP** tipa.

# RAMP DV: Blok šema



# RAMP DV: Vremenski dijagram



# Numerički primer: DV RAMP tipa

$$T = kU_x$$

Dimenziono konstanti  $k$   
odgovara: [s/V]

**Sa slike**

$$T = NT_0 = \frac{N}{f_0}$$

$$\frac{N}{f_0} = kU_x$$

$$N = kf_0U_x = C_{onst}U_x$$

**Primer**

$$k = 0.01 \text{ s/V}, \quad f_0 = 100 \text{ kHz}$$

$$C_{onst} = 10^4 \text{ V}^{-1}$$

$$N = 10^4 U_x$$

- Za ulazni napon  $U_x=1 \text{ V}$ , brojač izbroji **10 000** impulsa iz kvarcnog oscilatora.
- Na osnovu ovog numeričkog primera može se reći da svakom prebrojanom impulsu odgovara naponu od  $100 \mu\text{V}$ .

# Uticajni faktori tačnosti merenja

- ▶ **GREŠKA MERENJA** jednosmernog napona digitalnim voltmetrom sa pretvaranjem napona u vreme zavisi od:
  1. **LINEARNOSTI** opadajućeg napona  $U_0$ ,
  2. **STABILNOSTI** frekvencije kvarcnog oscilatora  $f_0$  i
  3. **BRZINE** rada flip-flopa (kapije) odnosno logičkog "1" kola.
- ▶ Problem: Obzirom na to da ovaj voltmetar meri trenutnu vrednost jednosmernog napona  $U$  **TRENUTKU KOINCIDENCIJE** A, na grešku merenja utiče i eventualno **PRISUSTVO ŠUMA** u jednosmernom naponu.
- ▶ Problem je veoma izražen ukoliko se smetnja javi u neposrednoj blizini **TRENUTAKA KOINCIDENCIJE** (tačka A' na prethodnom dijagramu)!
- ▶ Jasno je da će smetnja **IMATI UTICAJA** na pojavu trenutka koincidencije koji određuje trenutak, odnosno, vreme otvorenosti kapije čime se određuje vrednost merene veličine.



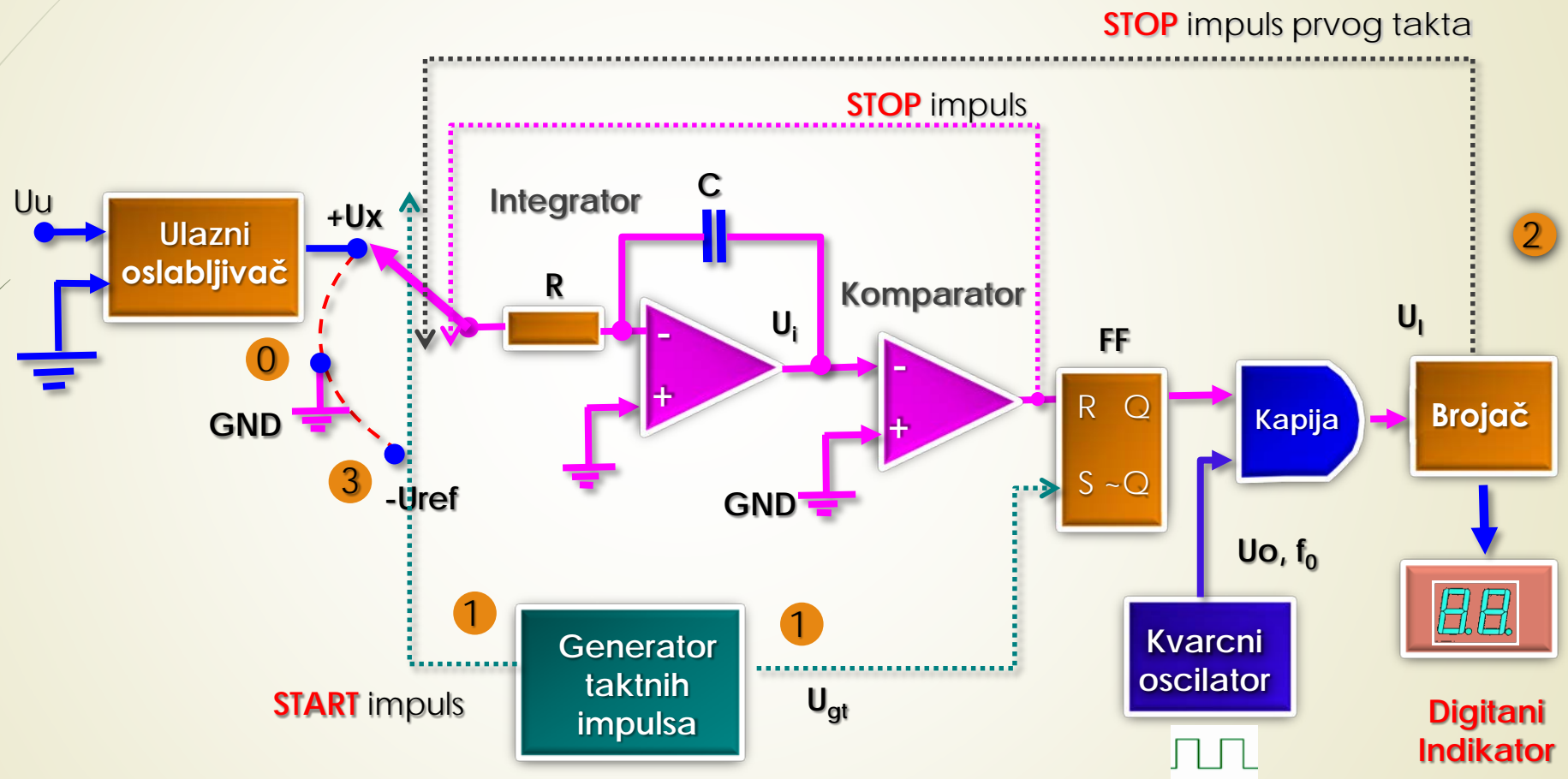
# Osnovne karakteristike DV **RAMP** tipa

- ▶ **OSNOVNE KARAKTERISTIKE** digitalnog voltmetra sa pretvaranjem napona u vreme su:
  - ▶ Merenje trenutne vrednosti jednosmernog napona **OBA POLARITETA**, puni merni opsezi 1 V do 1000 V sa odgovarajućim **RAZLAGANJIMA** od 10 mV do 1 mV,
  - ▶ Brzina rada do **5000** merenja u sekundi.
- ▶ Prednosti je **NISKA CENA** i **JEDNOSTAVNOST KONSTRUKCIJE**.
- ▶ Osnovni nedostaci su:
  - ▶ **OSETLJIVOST** na smetnje i
  - ▶ Relativno **VELIKA GREŠKA** od  $\pm 0,1$  % do  $\pm 0,01$  %.
- ▶ Zbog ovakvih karakteristika pripada **NIŽOJ KLASI** digitalnih voltmetara sa najviše 4 cifre.

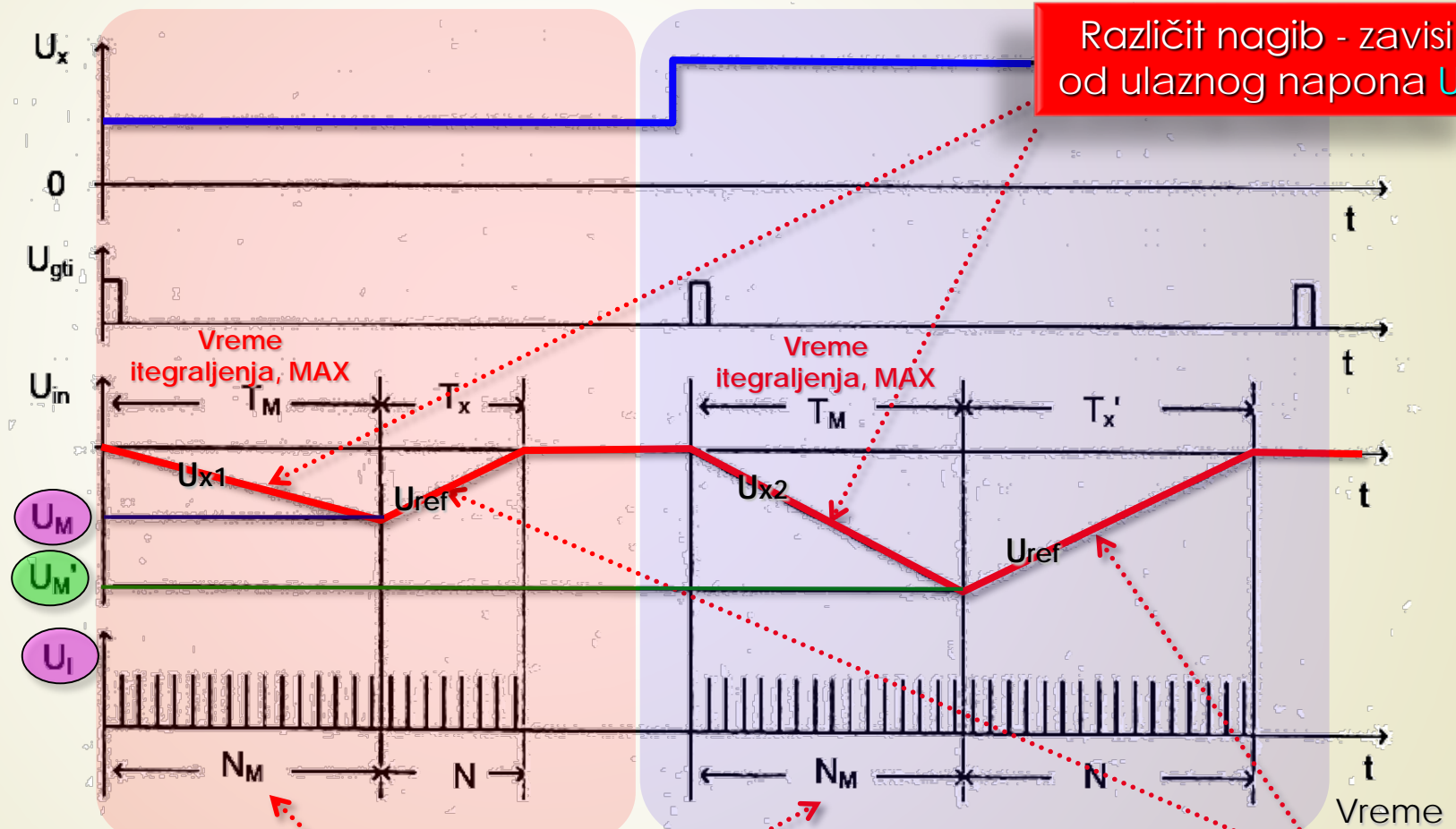
# DV Integratorskog tipa

- ▶ Kod digitalnog voltmetra sa pretvaranjem napona u vreme pomoću **DVOSTRUKOG INTEGRALJENJA** sačuvana je osnovna koncepcija A/D konvertora, ali je **pored LINEARNO OPADAJUĆEG NAPONA** uveden i **LINEARNO RASTUĆI NAPON**.
- ▶ Na ovaj način su prevaziđena neka ograničenja prethodnog tipa voltmetra, poboljšavajući posebno **DUGOTRAJNU STABILNOST**.
- ▶ Blok šema digitalnog voltmetra **INTEGRATORSKOG TIP** je prikazana na sledećem slajdu.
- ▶ Naziv ove klase digitalnih voltmetara potiče od **INTEGRATORA** na ulazu u digitalni voltmetar odmah iza ulaznog oslabljivača.
- ▶ Integrator sa operacionim pojačavačem se formira **KONDENZATOROM U POVRATNOJ GRANI** i **OTPORNIKOM U DIREKTHNOJ GRANI** operacionog pojačavača sa povratnom spregom (Predavanje 4).

# Blok šema DV Integatorskog tipa



# Vremenski dijagram DV Integratorodkog tipa



Različit nagib - zavisi od ulaznog napona  $U_x$

Jednaka vremena itegraljenja

Isti nagib, zavisi od  $U_{ref}$

# DV sa dvostrukim integraljenjem

Prvo integraljenje

$$U_M = \frac{1}{RC} U_x T_M$$

Prvo integraljenje

$$U_M = \frac{1}{RC} U_{REF} T_x$$



$$T_x = \frac{U_x}{U_{REF}} T_M$$



$$N = N_M \frac{U_x}{U_{REF}}$$

Konstanta proporcionalnosti



- ▶ Za ulazni napon  $U_x=1$  V, brojač izbroji **10 000** impulsa iz kvarcnog oscilatora.
- ▶ Na osnovu ovog numeričkog primera može se reći da svakom prebrojanom impulsu odgovara naponu od 100  $\mu$ V.
- ▶ Ovo je rezultat (posledica) **DVOSTRUKOG** integraljenja!



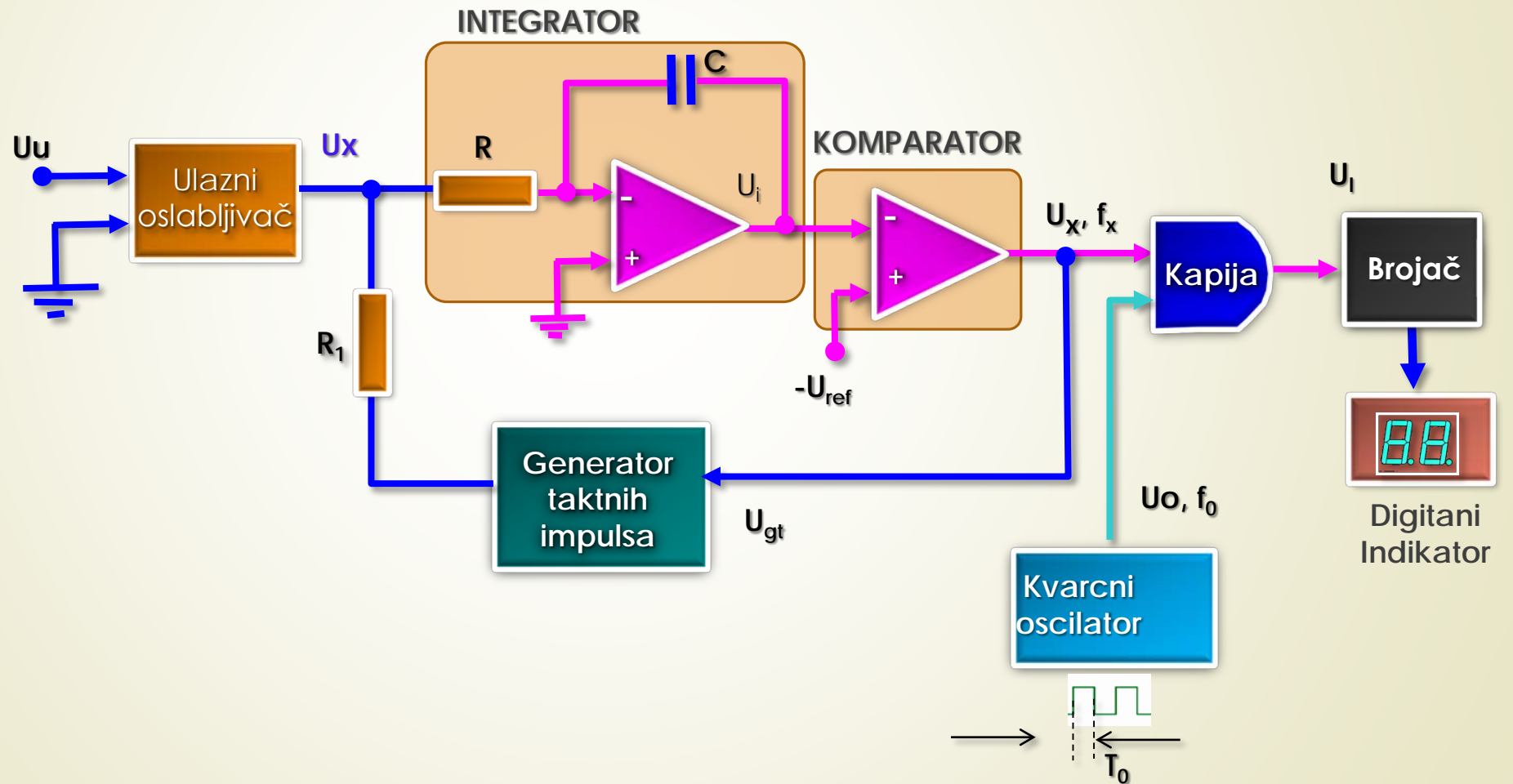
# Osnovne karakteristike

- ▶ **PUNI MERNI OPSEZI** 1 V do 1000 V sa maksimalnim razlaganjem od 1 mV.
- ▶ **GREŠKA MERENJA** jednosmernog napona od 0,005 %, dok je brzina rada samo 20 merenja/s.
- ▶ **PREDNOSTI:**
  - ▶ jednostavna konstrukcija,
  - ▶ otpornost na šum i
  - ▶ mala greška merenja.
- ▶ **OSNOVNI NEDOSTACI** su **SPOROST MERENJA**, i greška koja nastaje kao posledica nelinearnosti integratora.
- ▶ Primenjuje se za digitalne voltmetre sa **PET CIFARA**.
- ▶ Ovaj tip digitalnog voltmetra sa dodatnim usavršavanjima predstavlja osnovu **ZA VEĆINU VISOKOKVALITETNIH DIGITALNIH MULTIMETARA**, pri čemu se mora voditi računa o kompromisu između razlaganja i brzine rada.

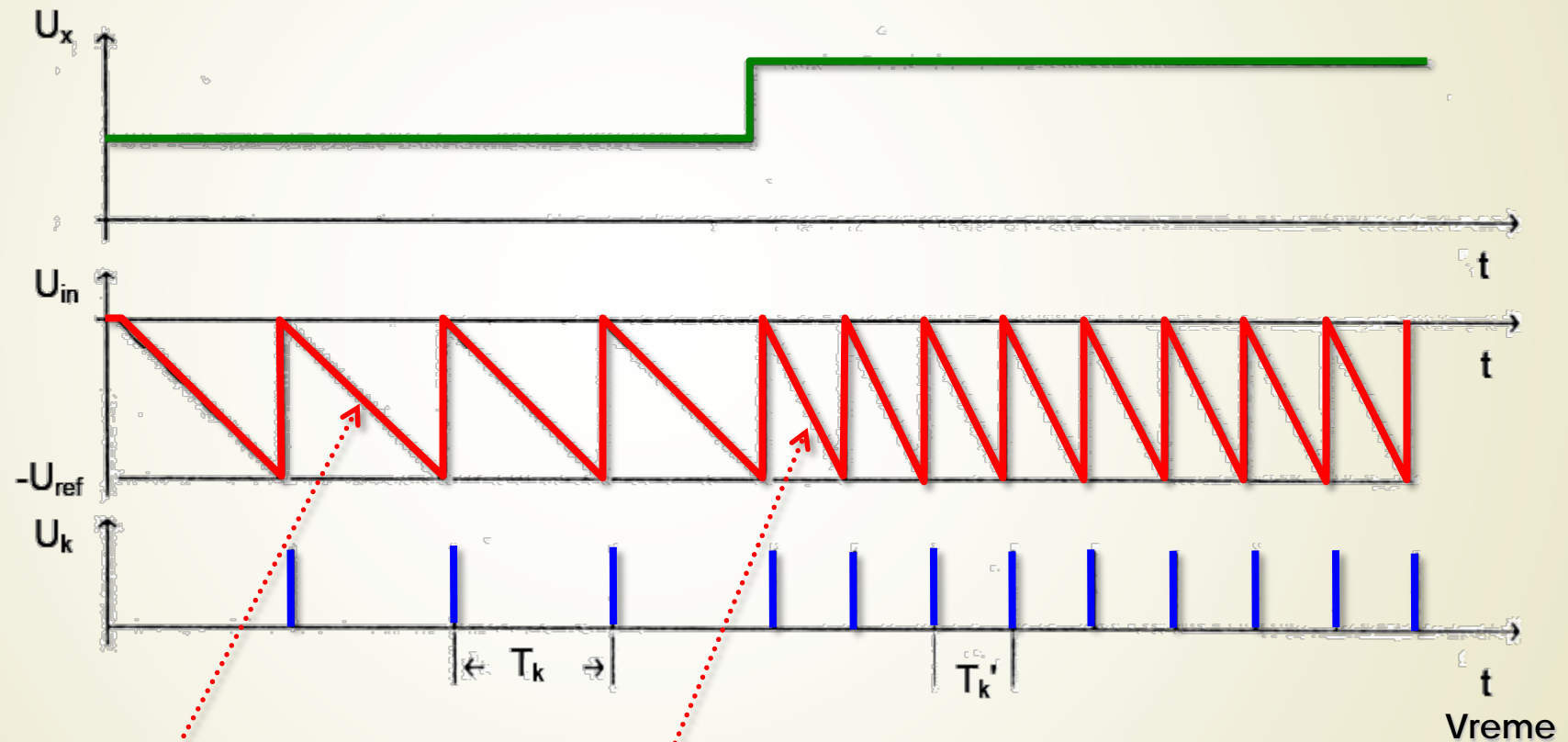
# DV sa pretvaranjem napona u frekvenciju

- ▶ Digitalni voltmetar sa pretvaranjem **NAPONA U FREKVENCIJU** ( $U/f$ ) pretvara merenje jednosmernog napona u **MERENJE FREKVENCIJE**.
- ▶ Ova ideja bazira na karakteristikama digitalnih elektronskih kola kojima se je merenje **PERIODE**, odnosno **FREKVENCIJE** može obaviti sa **VELIKOM TAČNOŠĆU**.
- ▶ Ovo se postiže pomoću **NAPONSKO-FREKVENCIJSKOG PRETVARAČA** koji se izvode kao linearni, **ŠIROKOPOJASNI NAPONSKI KONTROLISANI OSCILATORI**.
- ▶ Rezultat merenja se dobija određivanjem **BROJA IMPULSA** u tačno definisanom **VREMENSKOM INTERVALU** koji je **DIREKTNO PROPORCIONALAN** merenom jednosmernom naponu.

# DV: pretv. napona u frekvenciju: Blok šema



# DV: pretv. napona u frekvenciju: Vrem. Dijagr.



Nagib (ili brzina opadanja napona), zavisi od vrednosti napona  $U_x$

# DV sa dvostrukim integraljenjem

$$U_{REF} = \frac{1}{RC} U_x T_x$$

$$f_k = \frac{U_x}{U_{REF} RC}$$

$$\frac{1}{f_k} = T_k = \frac{U_{REF}}{U_x} RC$$

$$N = \frac{T_0}{T_k} = f_x$$

$$T_0 = \frac{U_x}{U_{REF} RC} T_0 = \frac{U_x}{U_{REF} RC f_0}$$

- ▶ Ulazni napon  $U_x$  direktno proporcionalan frekvenciji  $f_k$ .
- ▶ Broj izbrojanih impulsa  $N$  u vremenskom intervalu  $T_0$  je direktno proporcionalan mernom napounu  $U_x$ .
- ▶ **GREŠKA** digitalnog voltmetra sa pretvaranjem napona u frekvenciju uslovljena je:
  - ▶ stabilnošću vremenske konstante **INTEGRATORA**  $RC$ ,
  - ▶ greškom i stabilnošću **TAČKE PREKIDANJA** komparatora,
  - ▶ greškom i stabilnošću **FREKVENCIJE**  $f_0$  kvarcnog oscilatora i **REFERENTNOG NAPONA**  $U_{REF}$ .



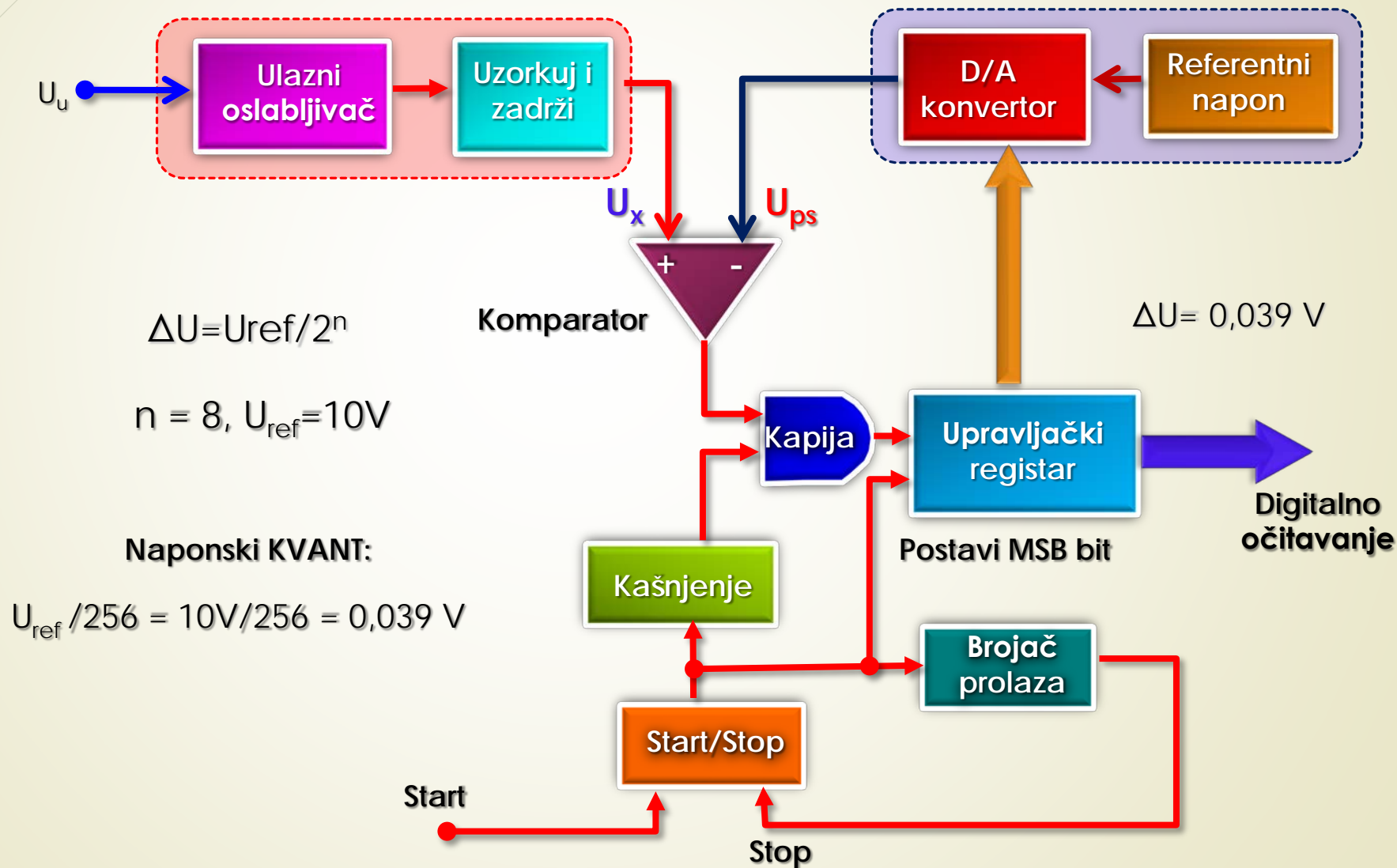
# DV sa pretvaranjem napona u frekvenciju

- ▶ **OSNOVNE KARAKTERISTIKE** ovog voltmetra su:
  - ▶ Merenje srednje vrednosti jednosmernog napona u toku vremenskog intervala  $T_0$  - puni merni opsezi 1 V do 1000 V sa maksimalnim razlaganjem od 1 mV.
  - ▶ Greška merenja jednosmernog napona 0,01 %, i brzina rada 50 merenja/s.
  - ▶ **NEDOSTACI** su **NEDOVOLJNA TAČNOST** i **BRZINA** merenja.

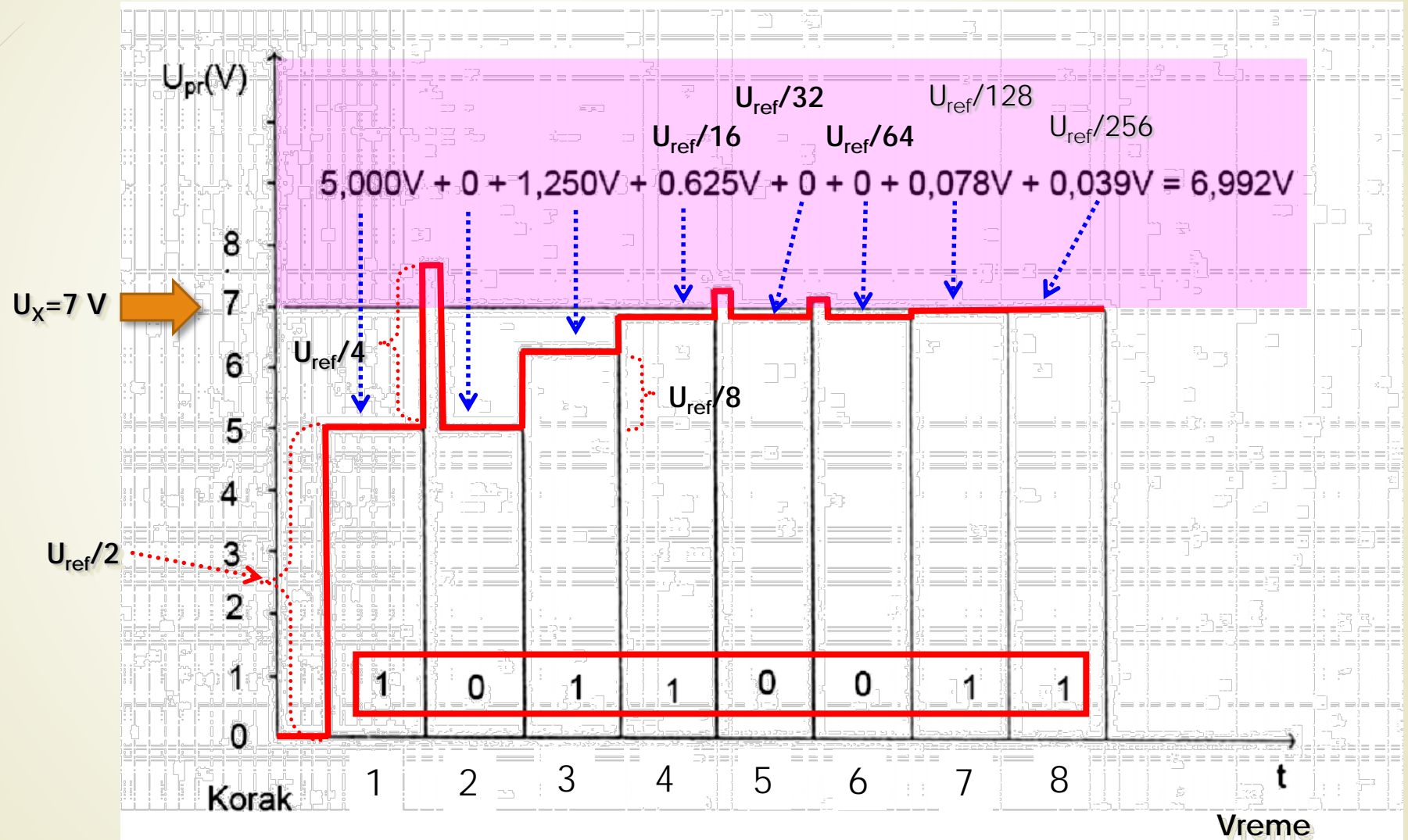
# DV sa sukcesivnom aproks. napona

- ▶ Princip rada digitalnog voltmetra sa **SUKCESIVNOM APROKSIMACIJOM NAPONA** (DV-SAN) se zasniva na permanentnom upoređivanju:
  - ▶ **NORMIRANOG** MERENOG JEDNOSMERNOG NAPONA  $U_x$  i
  - ▶ NAPONA **POVRATNE SPREGE**  $U_{ps}$ .
- ▶ **NAPON POVRATNE SPREGE** se dovodi iz D/A konvertora koji poseduje **REFERENTNI** naponski izvor.
- ▶ Nizom **APROKSIMACIJA** i **ODLUČIVANJA** u toku jednog ciklusa merenja, vrednost **NAPONA POVRATNE SPREGE** se menja u određenim **SKOKOVIMA**, približavajući se postepeno vrednosti merenog napona.
- ▶ Na kraju mernog ciklusa, kada se **RAZLIKA** vrednosti dva **napona SVEDE NA NAJMANJU MOGUĆNU MERU**.
- ▶ Vrednost NAPONA POVRATNE SPREGE se prikazuje na indikatoru.

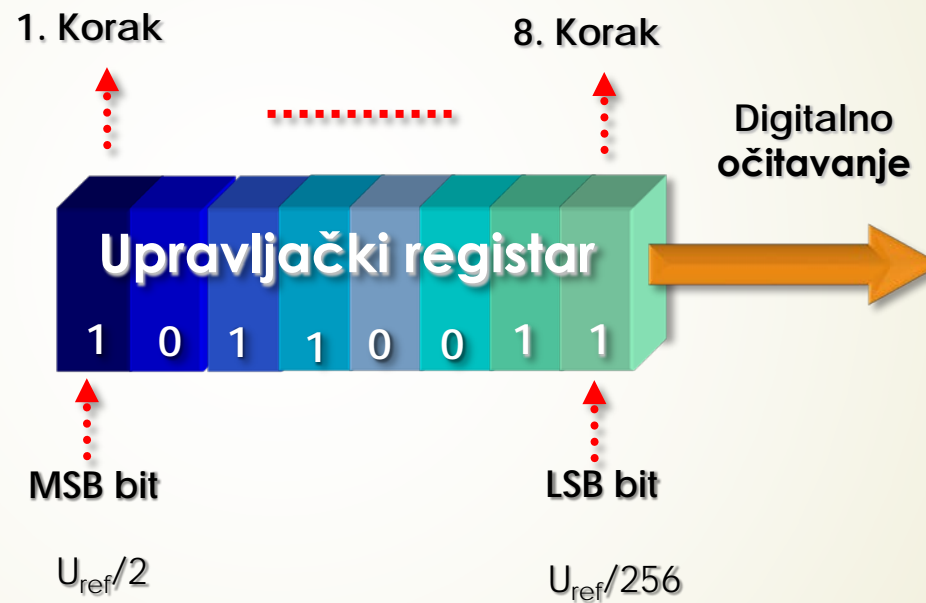
# DV - SAN: Blok šema



# DV-SAN: Vremenski dijagram



# DV-SAN: Upravljački registar





# DV-SAN: Karakteristike

- ▶ **GREŠKA MERENJA** napona ovim voltmetrom je  $\pm 0.01\%$  što se ostvaruje D/A konvertorom od 14 bita.
- ▶ **VELIKA BRZINA RADA** i do 100 000 merenja u sekundi.
- ▶ Sa D/A konvertorom sa manjim brojem bitova može se povećati brzina merenja i do **300000** merenja u sekundi.
- ▶ **VREME KONVERZIJE** zavisi samo od upotrebljenog D/A konvertora (ne od merenog napona).
- ▶ **NEDOSTATAK** je osetljivost **NAŠUM**.
- ▶ Kvalitet ovog voltmetra zavisi od:
  - ▶ Tačnosti upotrebljenih **OTPORNIKA** u D/A konvertoru,
  - ▶ mogućnosti **RAZLAGANJA KOMPARATORA** i
  - ▶ stabilnosti referentnog napona  $U_{REF}$

# Zadaci

- ▶ Odrediti logičko stanje upravljačkog registra i relativnu grešku digitalnog voltmetra sa skcesivnim aproksimacijom napona kada je ulazni napon  $U_{ul}=7V$ . Voltmetar je realizovan 8-bitnim D/A konvertorom sa referentnim naponom  $U_{ref}=12V$ .

## **ZA DOMAĆI:**

- ▶ Odrediti logičko stanje upravljačkog registra digitalnog voltmetra sa skcesivnim aproksimacijom napona kada je ulazni napon  $U_{ul}=6V$ . Voltmetar je realizovan 10-bitnim D/A konvertor sa referentnim naponom  $U_{ref}=15V$ .