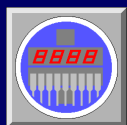


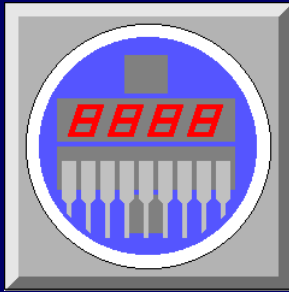
# Elektronické meracie prístroje

doc. Ing. Peter Kukuča, CSc. MIET  
KMer FEI STU



# Elektronické MP

- Elektronický V-meter
- Univerzálne počítadlo impulzov
- Zdroje signálu



# Elektronický V-meter



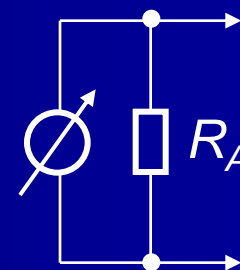
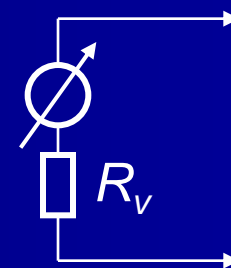
# Elektromechanické MP

- jednoduché
- lacné
- rôzne systémy
  - magnetoelektrický
  - elektromagnetický
  - elektrodynamický
  - indukčný, ...
- merajúce  $U, I, R$



# Zapojenie MP

- Paralelne „ako voltmeter“
  - veľký vstupný odpor
- Sériovo „ako ampérmeter“
  - malý vstupný odpor
- Prispôsobenie impedancii systému
  - $50 \Omega$ ,  $75 \Omega$ ,  $600 \Omega$





# Elektronický V-meter

- Výhody (dôvody):
  - vyšší vstupný odpor, resp. impedancia
  - vyššia citlivosť
  - širší frekvenčný rozsah
  - „správnejšie“ meranie



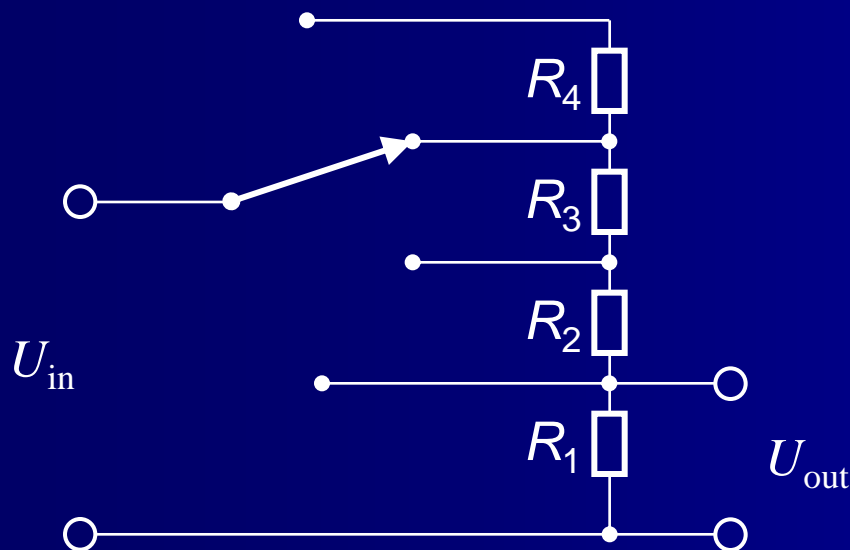
# Elektronický V-meter



- Delič – zmena rozsahu
- Zosilňovač
  - zväčšenie citlivosti
  - zabezpečenie veľkého vstupného odporu
- Prevodník – striedavé napätie na jednosmerné



# Vstupný delič

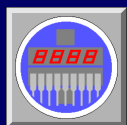


$$U_{out} = U_{in} \cdot \frac{R_1}{\sum_{i=1}^k R_i}$$

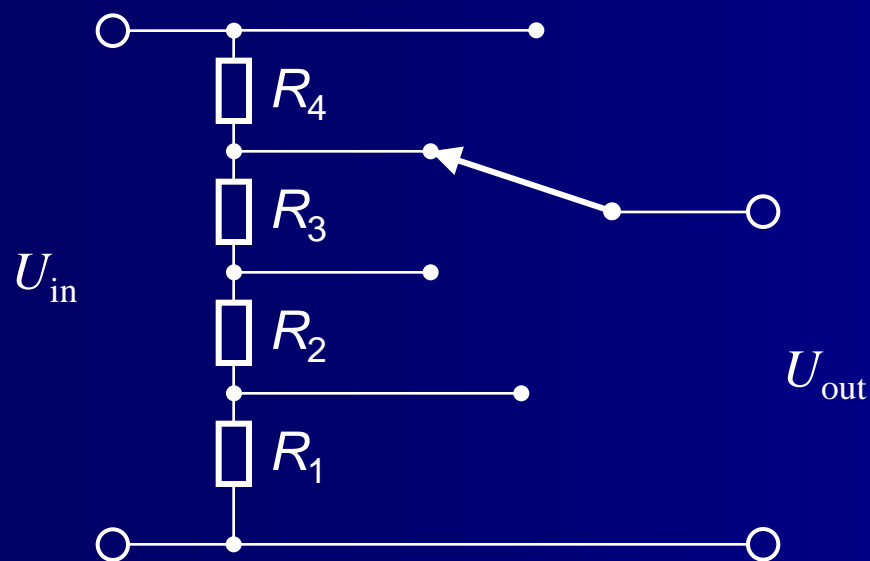
$$k = 1, \dots, 4 \quad (3)$$

- Vstupný odpor priamo úmerný zvolenému napäťovému rozsahu





# Vstupný delič



$$U_{out} = U_{in} \cdot \frac{\sum_{i=1}^k R_i}{\sum_{i=1}^n R_i}$$

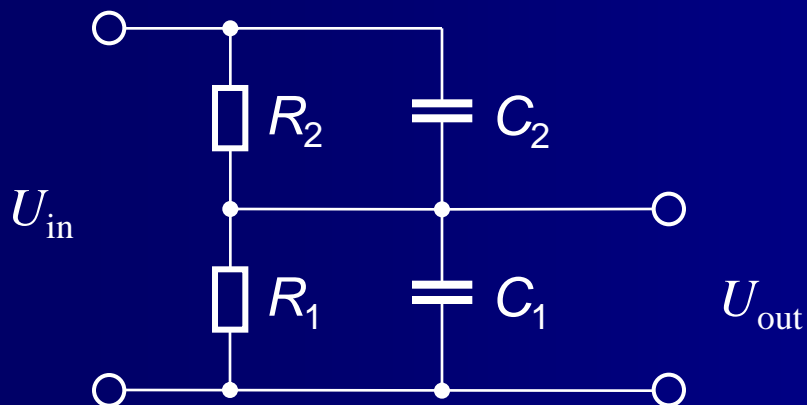
$$n = 4, k = 1, .. n \quad (3)$$

- Vstupný odpor konštantný



# Vstupný delič

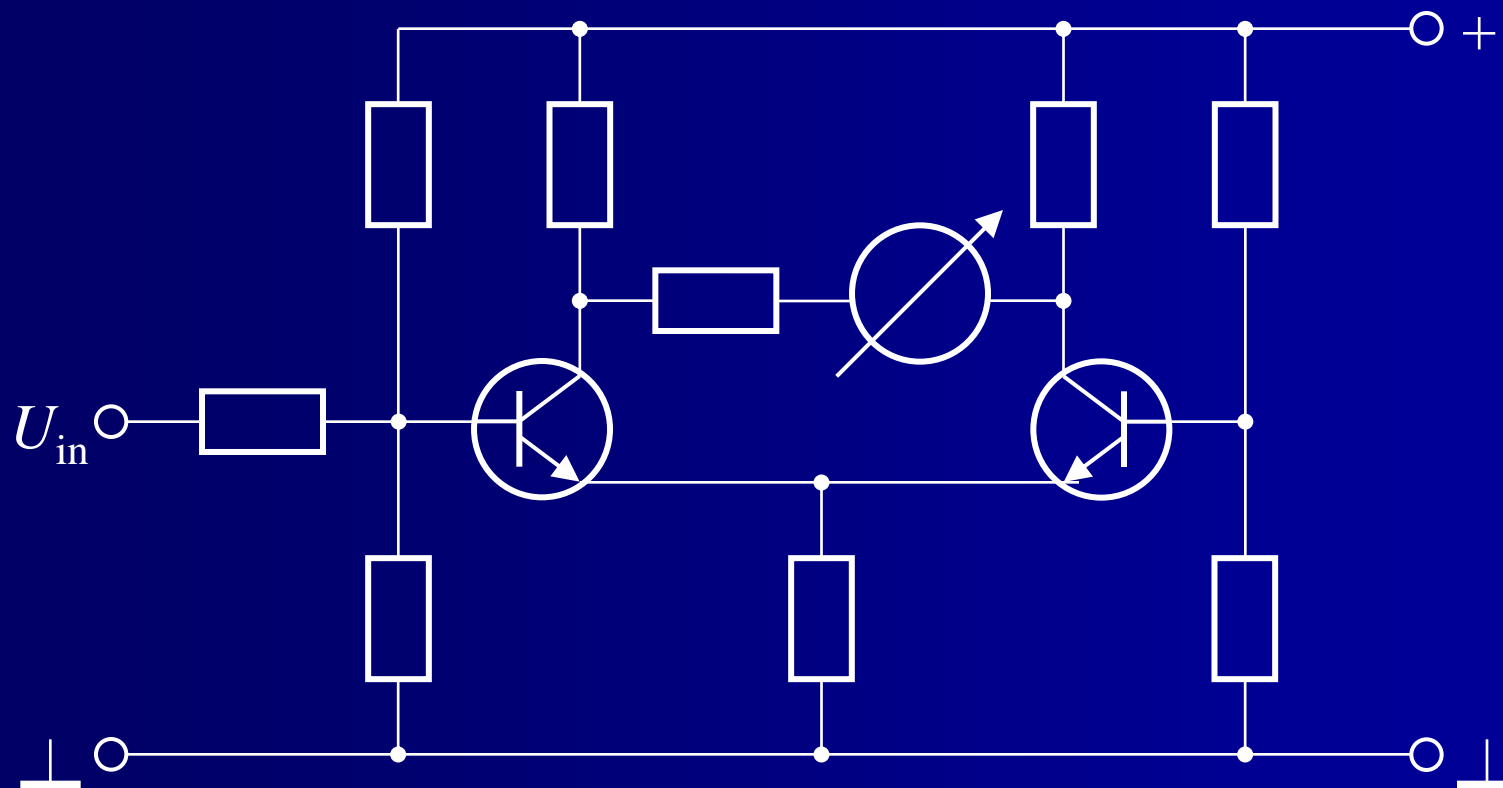
- Frekvenčná kompenzácia



$$R_1 C_1 = R_2 C_2$$



# Zosilňovač





# Prevodník

- Nie AČP !!!
- Jednosmerný voltmeter ho nemá!
- Prevodník striedavého napätia na jednosmerné napätie, resp. prúd
- Princíp prevodu ovplyvňuje chybu merania
  - MP s usmerňovačom – meria strednú hodnotu, ukazuje „efektívnu“ hodnotu
  - True RMS – meria efektívnu hodnotu



# Charakteristické hodnoty

- Efektivná hodnota  
(RMS value)

$$U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$$

- Středná hodnota  
(Average value)

$$U_{str} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt$$



# Charakteristické hodnoty

- Koeficient tvaru  
(Form factor)

$$k_t = \frac{U_{ef}}{U_{str}}$$

- Koeficient výkyvu  
(Crest factor)

$$k_v = \frac{U_m}{U_{ef}}$$



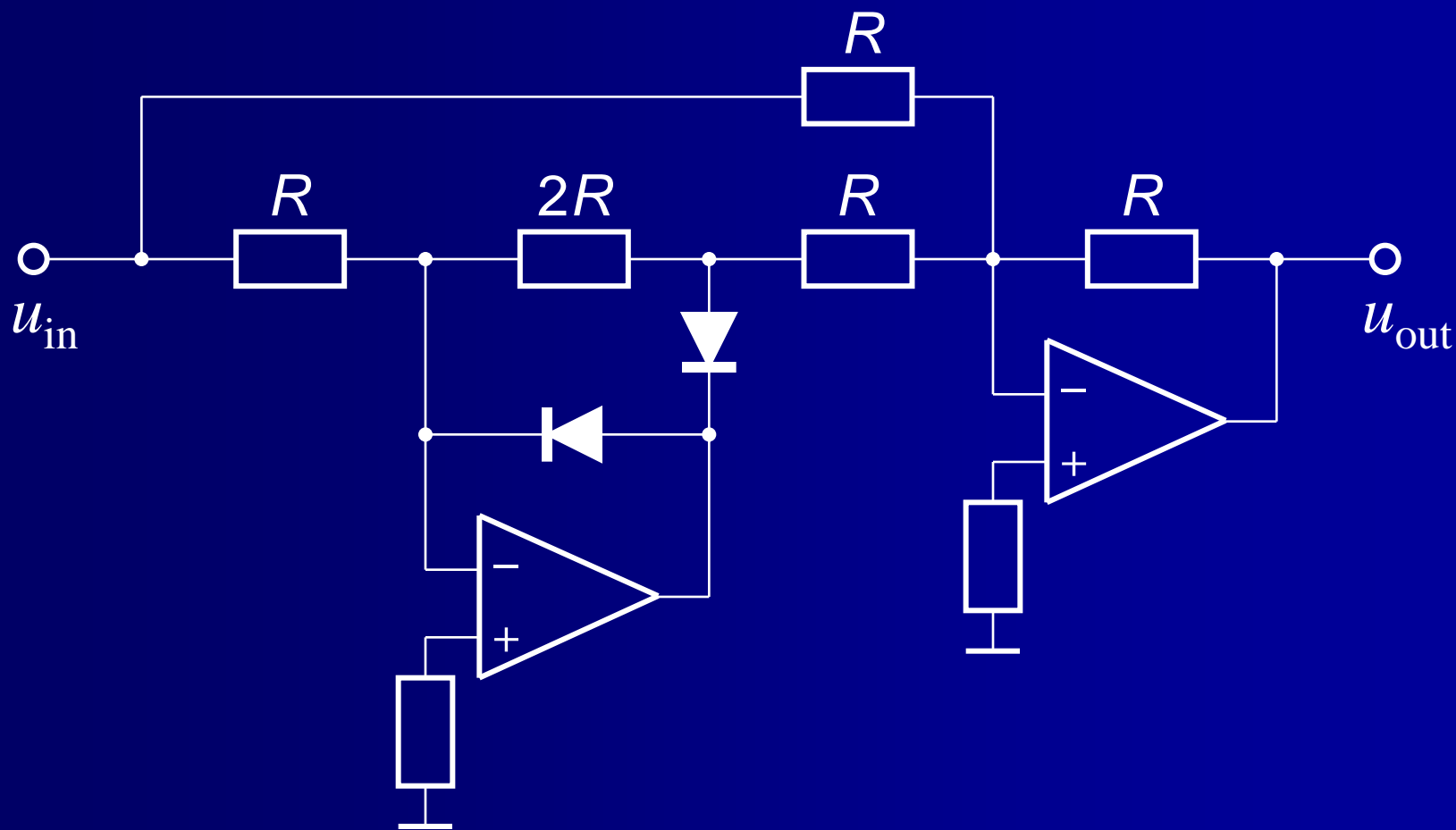
# Parametre bežných priebehov

Krivka	$U_{\check{s}-\check{s}}$	$U_{ef}$	$U_{str}$	$k_t$	$k_v$
sínus	$2 \cdot U_m$	$0,707^* \cdot U_m$	$0,637^* \cdot U_m$	$1,11^*$	$1,414^*$
symetrický obdĺžnik	$2 \cdot U_m$	$U_m$	$U_m$	1	1
trojuholník	$2 \cdot U_m$	$0,577^* \cdot U_m$	$0,5 \cdot U_m$	$1,155^*$	$1,732^*$
jednocestne usmernený sínus	$U_m$	$0,5 \cdot U_m$	$0,318^* \cdot U_m$	$1,571^*$	2

\*:  $1/\sqrt{2}$ ,  $2/\pi$ ,  $\pi/\sqrt{8}$ ,  $\sqrt{2}$ ,  $1/\sqrt{3}$ ,  $2/\sqrt{3}$ ,  $\sqrt{3}$ ,  $1/\pi$ ,  $\pi/2$



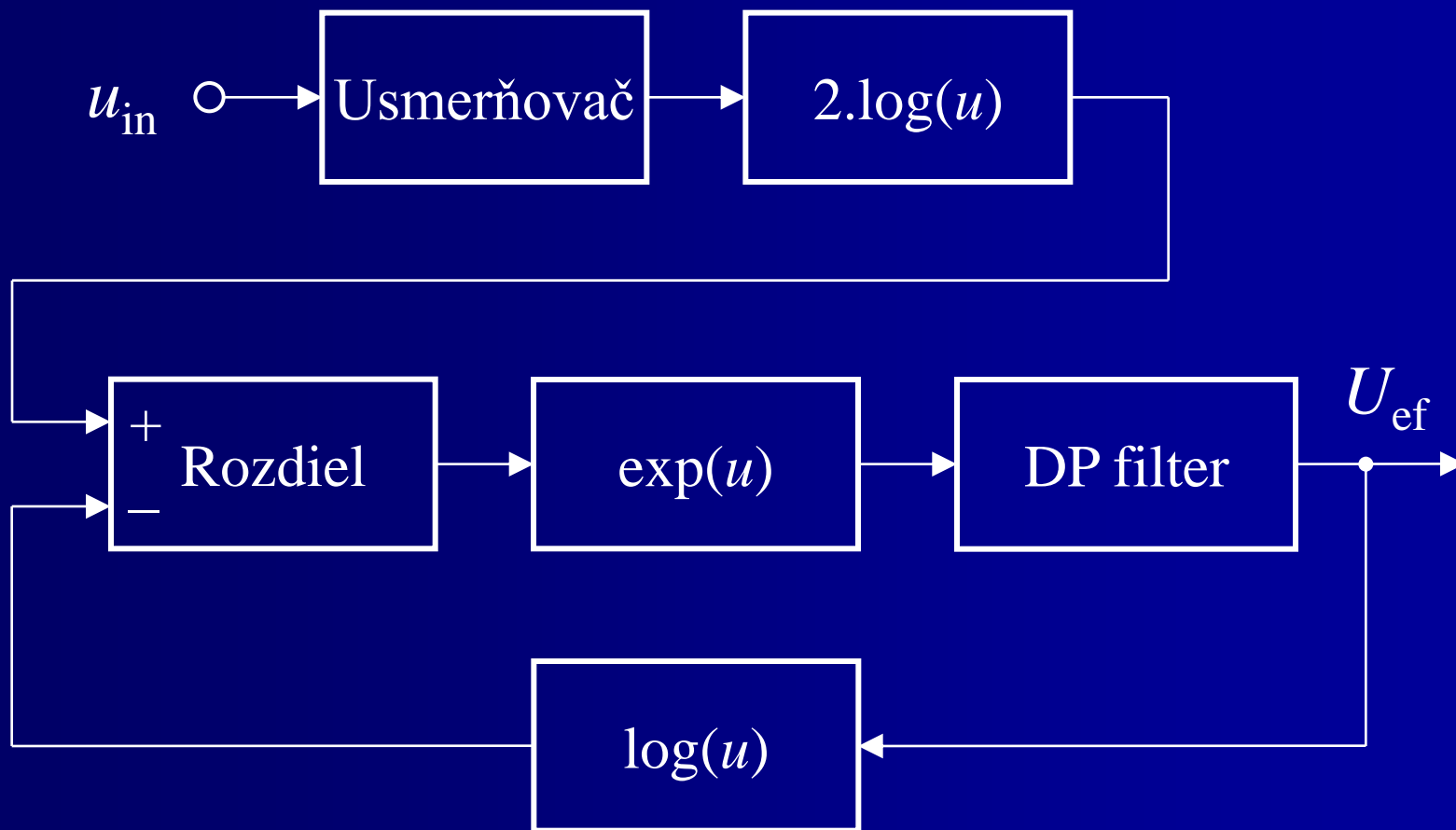
# Dvojcestný usměrňovač

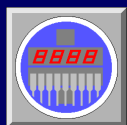






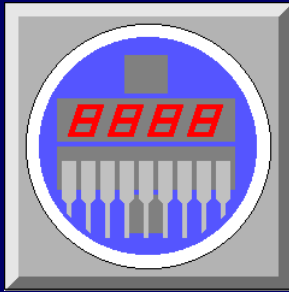
# Prevodník efektívnej hodnoty



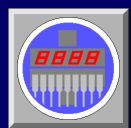


# Elektronický V-meter

- Trieda presnosti vo frekvenčnom rozsahu (rozsahoch)
- Väzba vstupu
  - jednosmerná
  - striedavá
- Voltmeter so špičkovým detektorom
  - vysokofrekvenčné merania  $U_{\max}$



# Univerzálne počítadlo impulzov



# Univerzálne počítadlo impulzov

- Počítanie impulzov
- Frekvencia
- Perióda
- Pomer frekvencií
- Čas
- Fázový posuv



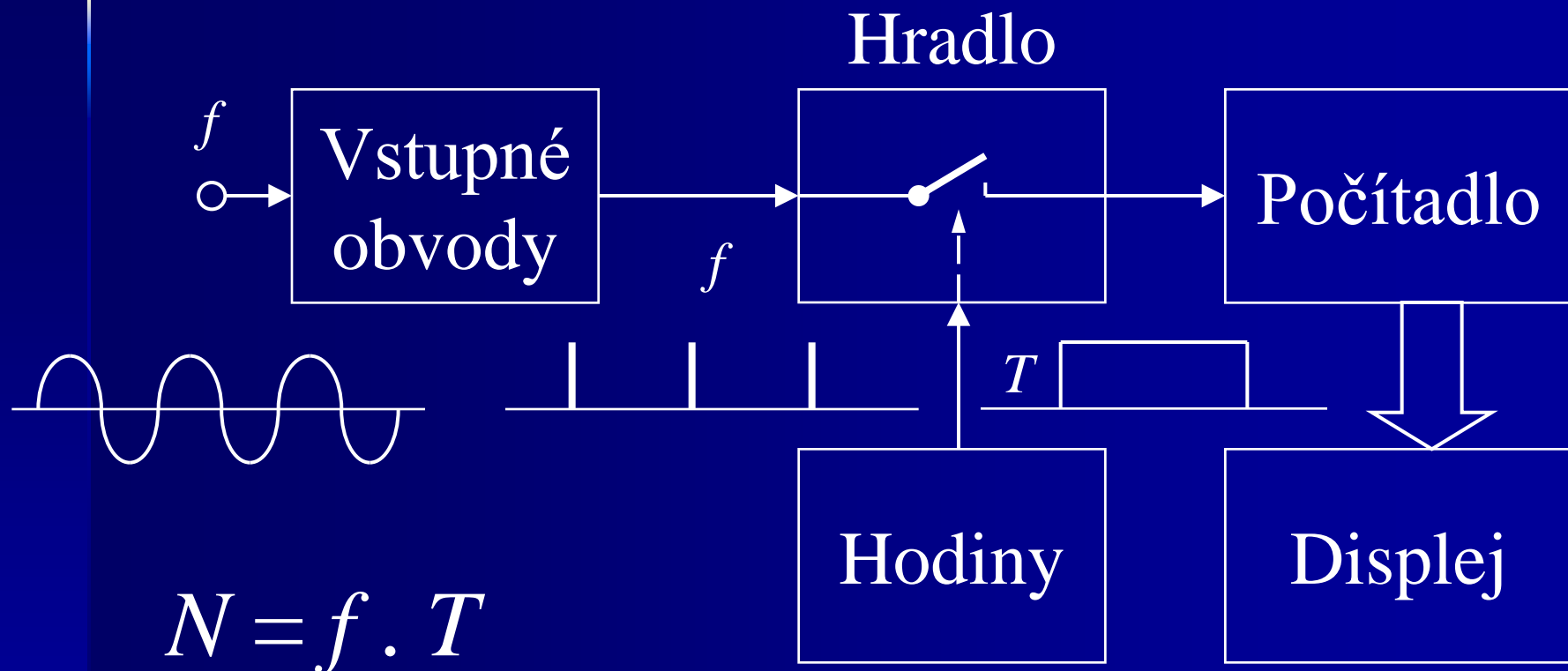
# Univerzálne počítadlo impulzov

- Číslicový merací prístroj založený na počítaní impulzov
  - privedených zvonka
  - generovaných interne
- za určitý čas
  - generovaný interne
  - privedený zvonka

$$N = f \cdot T$$



# Univerzálne počítadlo impulzov

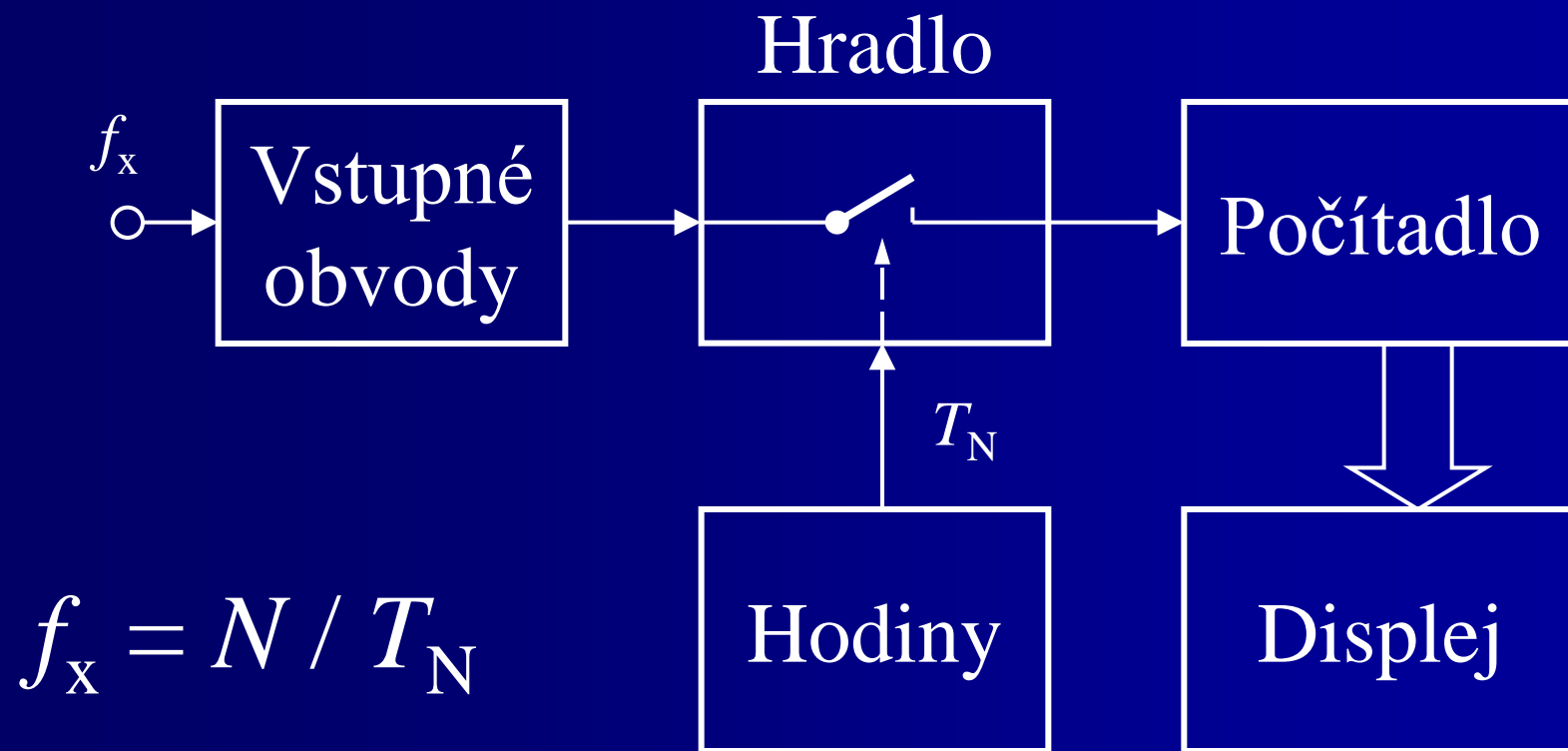


$$N = f \cdot T$$

$$f_x = N / T_N \quad - \text{meranie frekvencie}$$

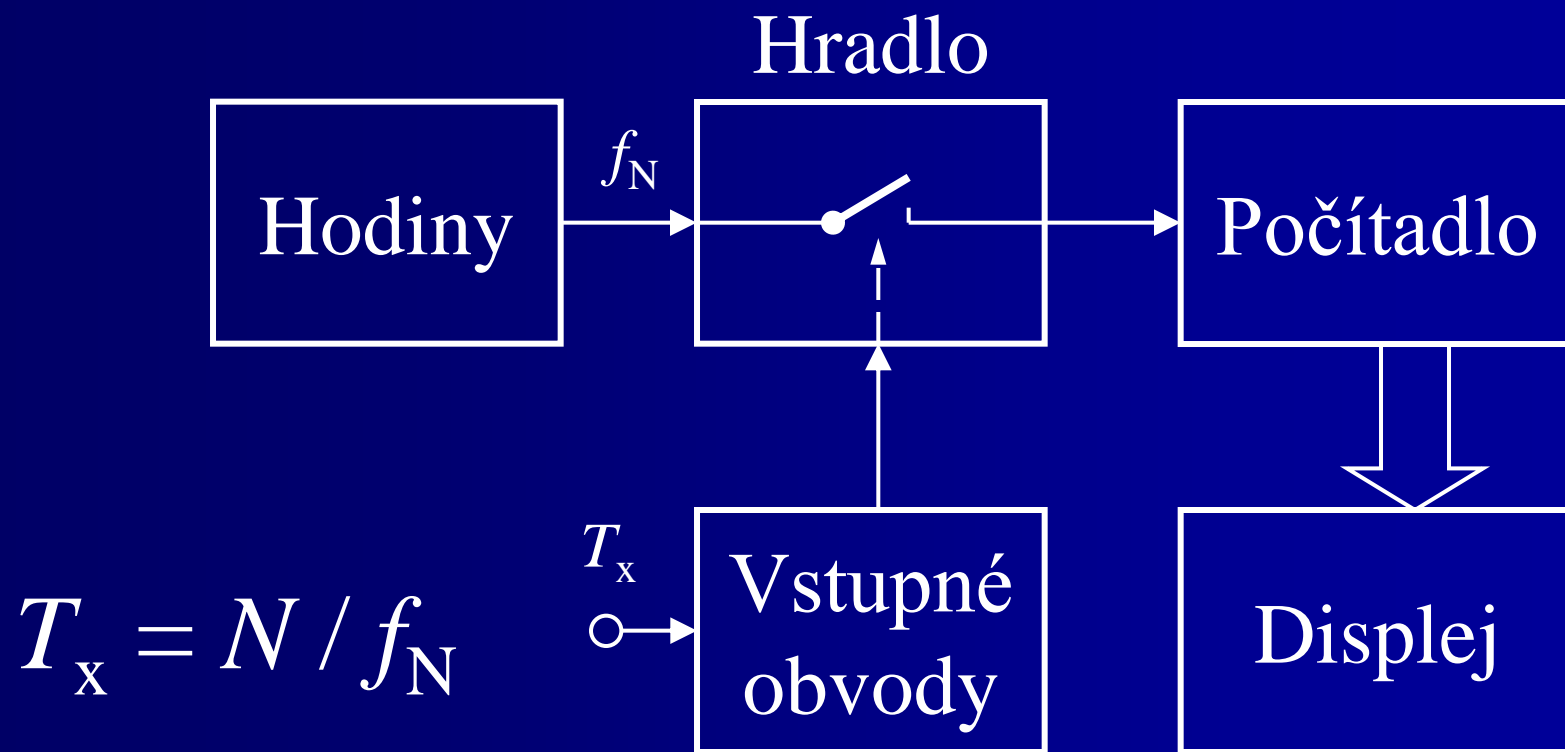


# Meranie frekvencie





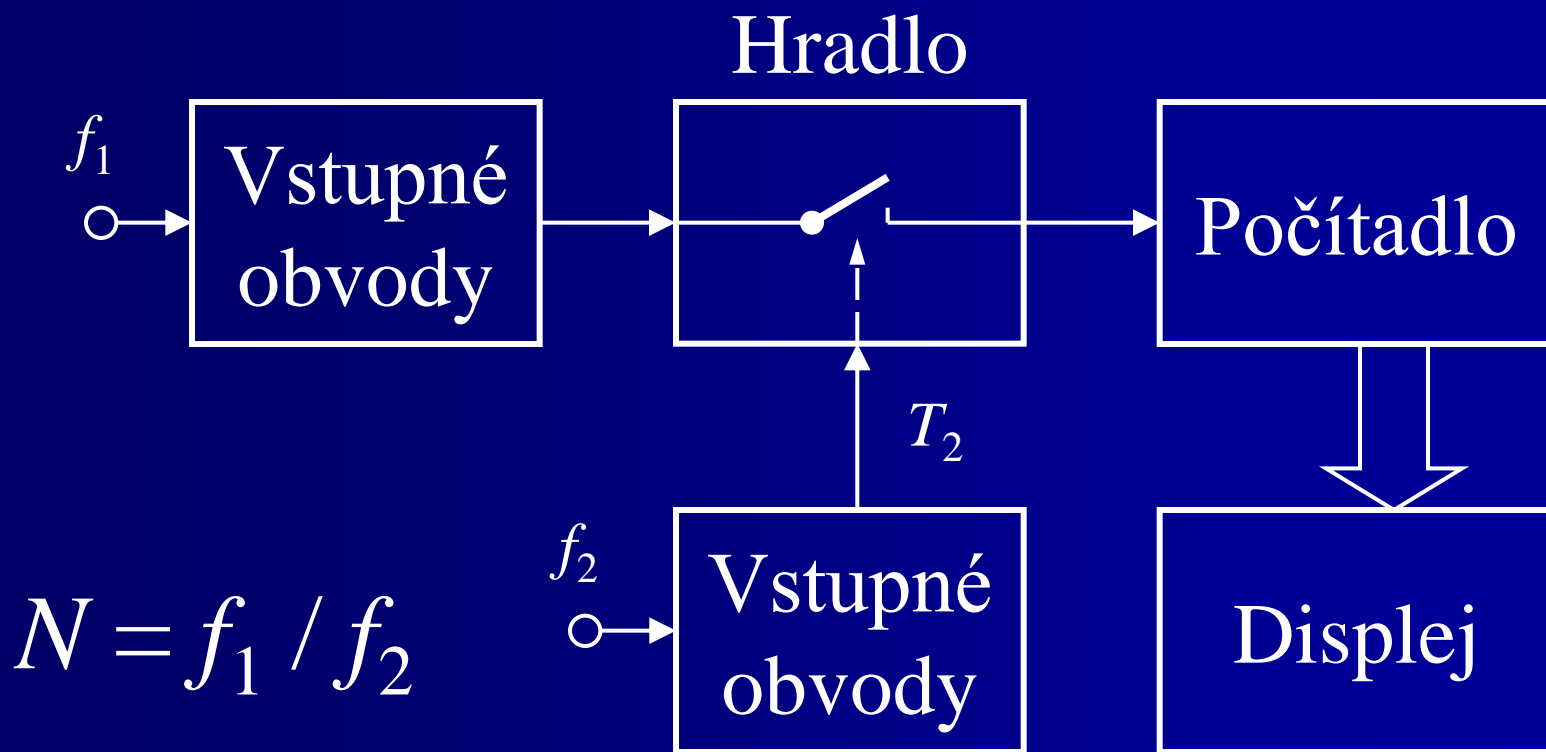
# Meranie periódy





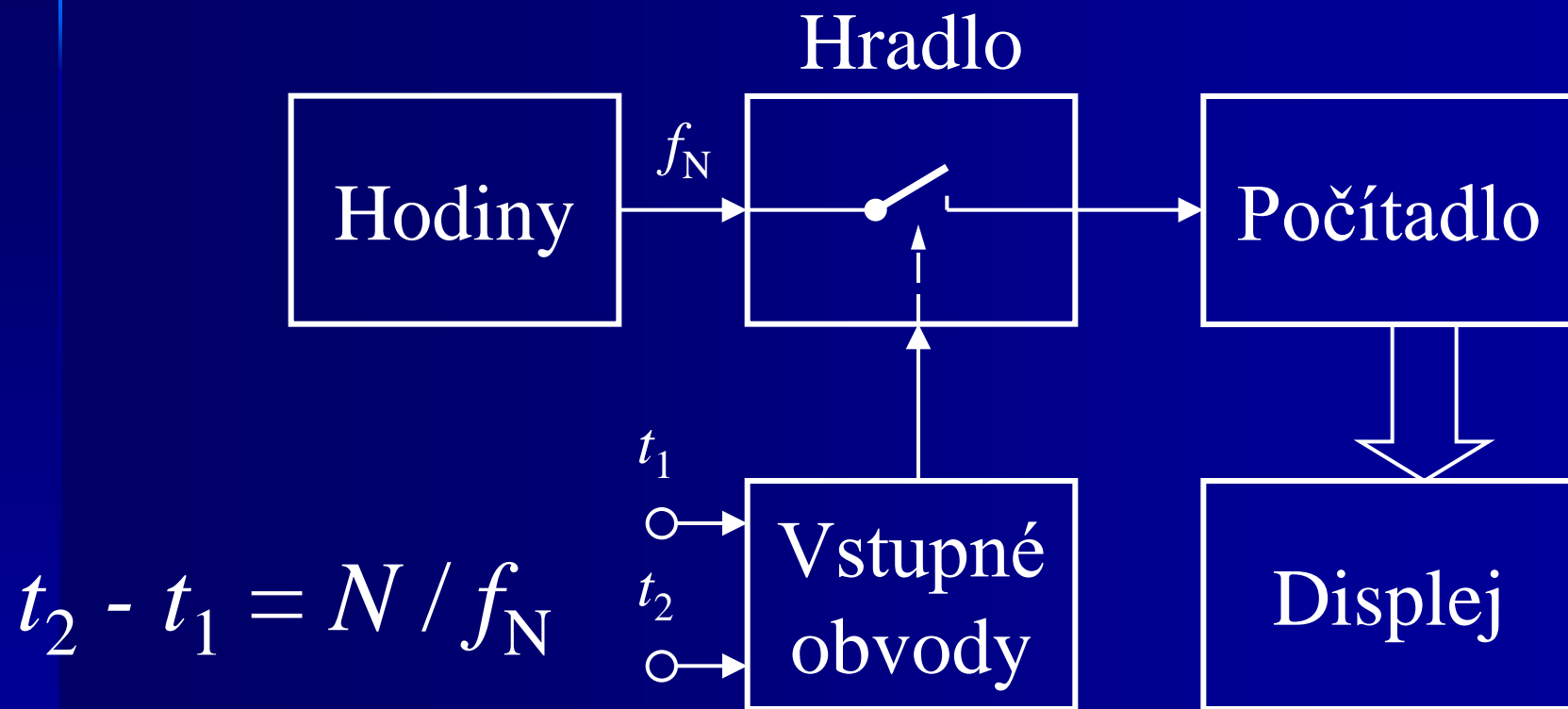


# Meranie pomeru frekvencií





# Meranie času (fázového posuvu)





# Univerzálne počítadlo impulzov

## ■ Hodiny

– najčastejšie 1 MHz (10 MHz)

■ => rozlišovacia schopnosť pri meraní času  
max. 1  $\mu$ s (100 ns)

– zmena rozsahu deličom frekvencie

– doba merania frekvencie max 1 s (10 s)

■ => rozlišovacia schopnosť pri meraní  
frekvencie max. 1 Hz (0,1Hz)



# Chyby UPI

- Presnosť a stabilita generátora hodinových impulzov
  - kryštálové oscilátory ( $\sim 10^{-5}$ )
  - stabilizácia teploty ( $\sim 10^{-7} - 10^{-9}$ )
  - céziový etalón ( $\sim 10^{-13}$ )
  - GPS ( $\sim 1 \mu\text{s} / 1 \text{s}$ )



# Chyby UPI

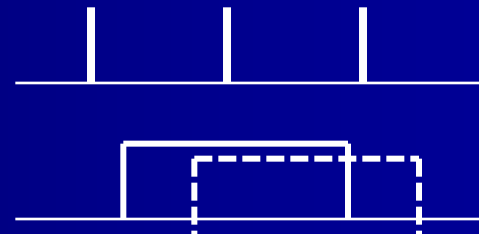
- Vstupné obvody a hradlo
  - meranie frekvencie
  - meranie periódy
  - meranie času (fázového posuvu)
  - POZOR! Meria, aj keď sú pokazené !!!



# Chyby UPI

## ■ Chyba diskrétnosti

$$N = f_x \cdot T_N \pm 1$$



$$f_x = (N \pm 1) \frac{1}{T_N} = \frac{N}{T_N} \pm \frac{1}{T_N} = f_m \pm \Delta f$$

$$\Delta f = \frac{1}{T_N} \quad \delta f = \frac{\Delta f}{f_m} = \frac{1}{T_N \cdot f_m} = \frac{1}{N}$$



# Chyby UPI

- Chyba diskrétnosti pri meraní periódy

$$N = f_N \cdot T_x \pm 1$$

$$T_x = (N \pm 1) \frac{1}{f_N} = \frac{N}{f_N} \pm \frac{1}{f_N} = T_m \pm \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{1}{f_N} \quad \delta T = \frac{\Delta T}{T_m} = \frac{1}{f_N \cdot T_m} = \frac{1}{N}$$



# Chyby UPI

- Chyba diskrétnosti

$$\delta f = \delta T = 1/N = 100/N [\%]$$

- Výpočet frekvencie z periódy  
a naopak

$$f = 1/T$$

$$\delta f = \delta T$$





# Zvyšovanie presnosti merania

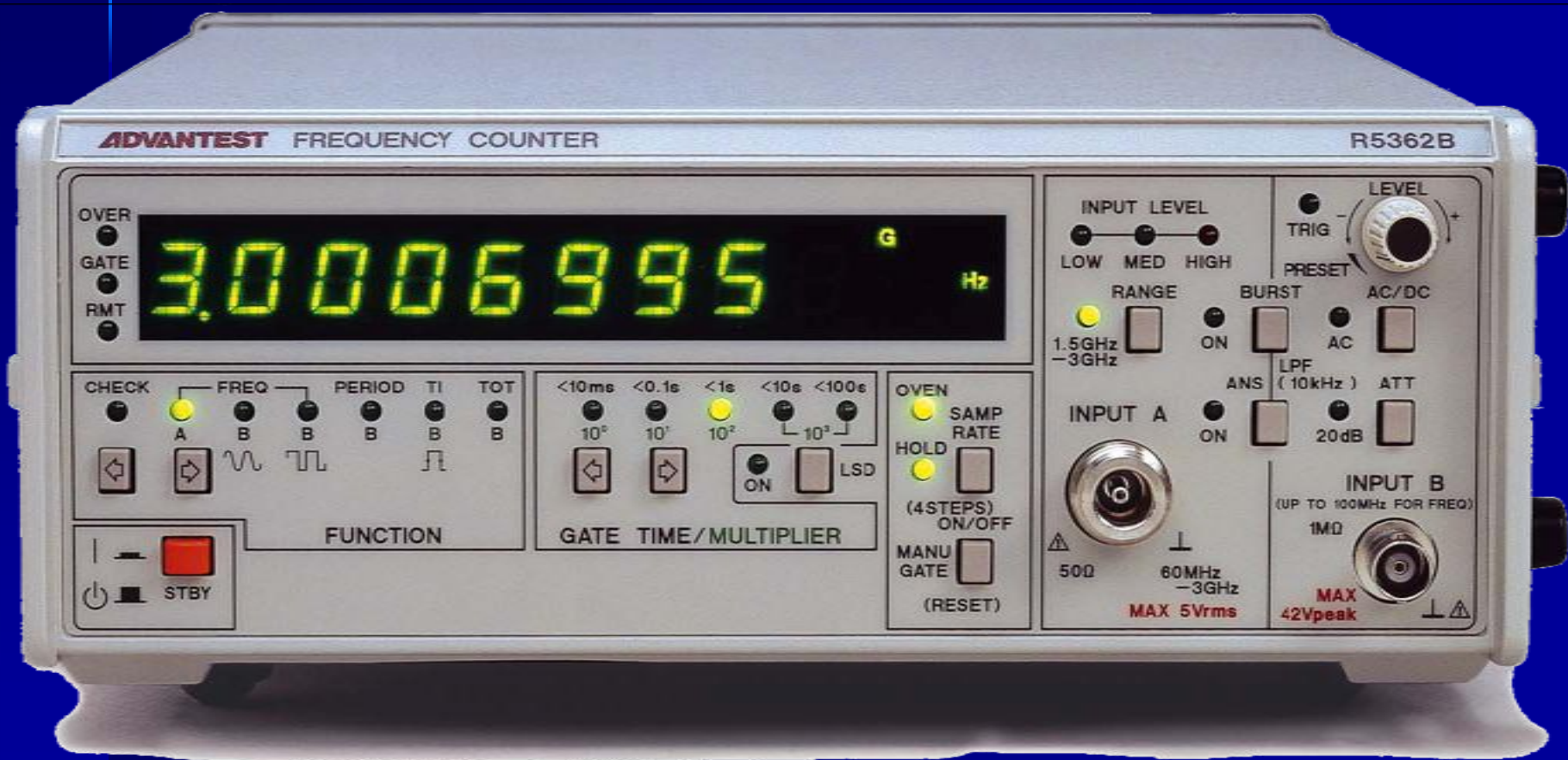
- frekvencia
  - predlžovanie  $T_N$
  - násobič frekvencie s PLL (Phase Locked Loop)
- perióda
  - zvyšovanie  $f_N$
  - meranie viac periód

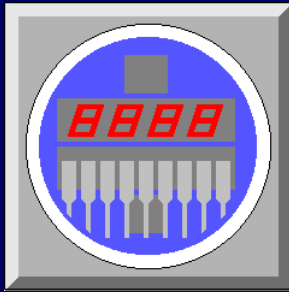


# Zvyšovanie presnosti merania

- všeobecne
  - voľba meranej veličiny
- špeciálne metódy
  - nóniová metóda
  - interpolačná metóda
- zvyšovanie frekvenčného rozsahu
  - heterodynový zmiešavač

# Univerzálne počítadlo impulzov





# Zdroje signálu



# Zdroje signálu

- RC-generátor (harmonický oscilátor)
- Funkčný generátor
- Signálny generátor
- Impulzný generátor
- Generátor ľubovoľných priebehov
  
- Frekvenčná syntéza



# RC-generátor

- zdroj harmonického (sínusového) napätia
- malé skreslenie časového priebehu
- potreba stabilizácie amplitúdy
- vyžaduje pomalú zmenu frekvencie
- nastavenie frekvencie a amplitúdy
- presnosť a stabilita frekvencie a amplitúdy
- použitie pri meraní frekv. charakteristík



# RC-generátor

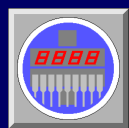




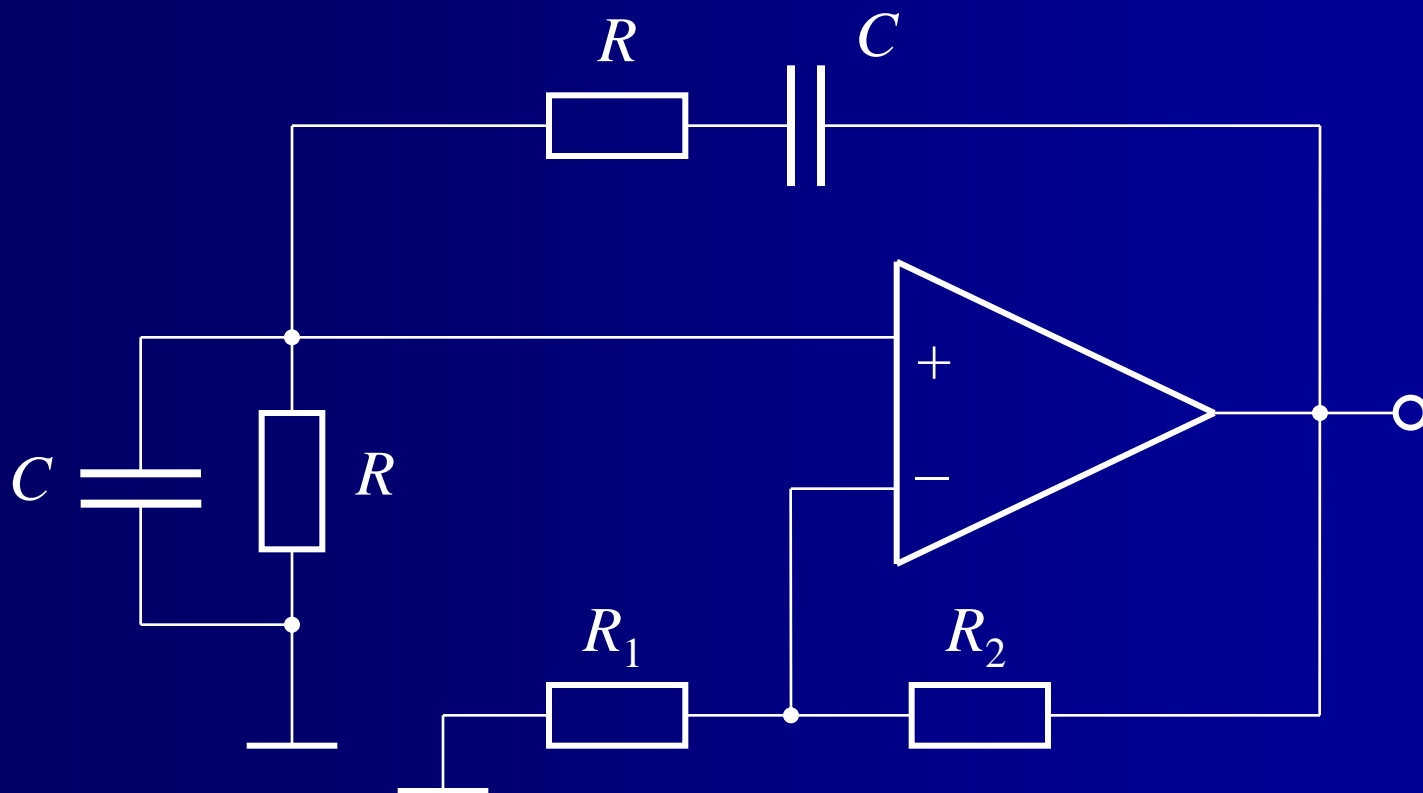
# RC-generátor







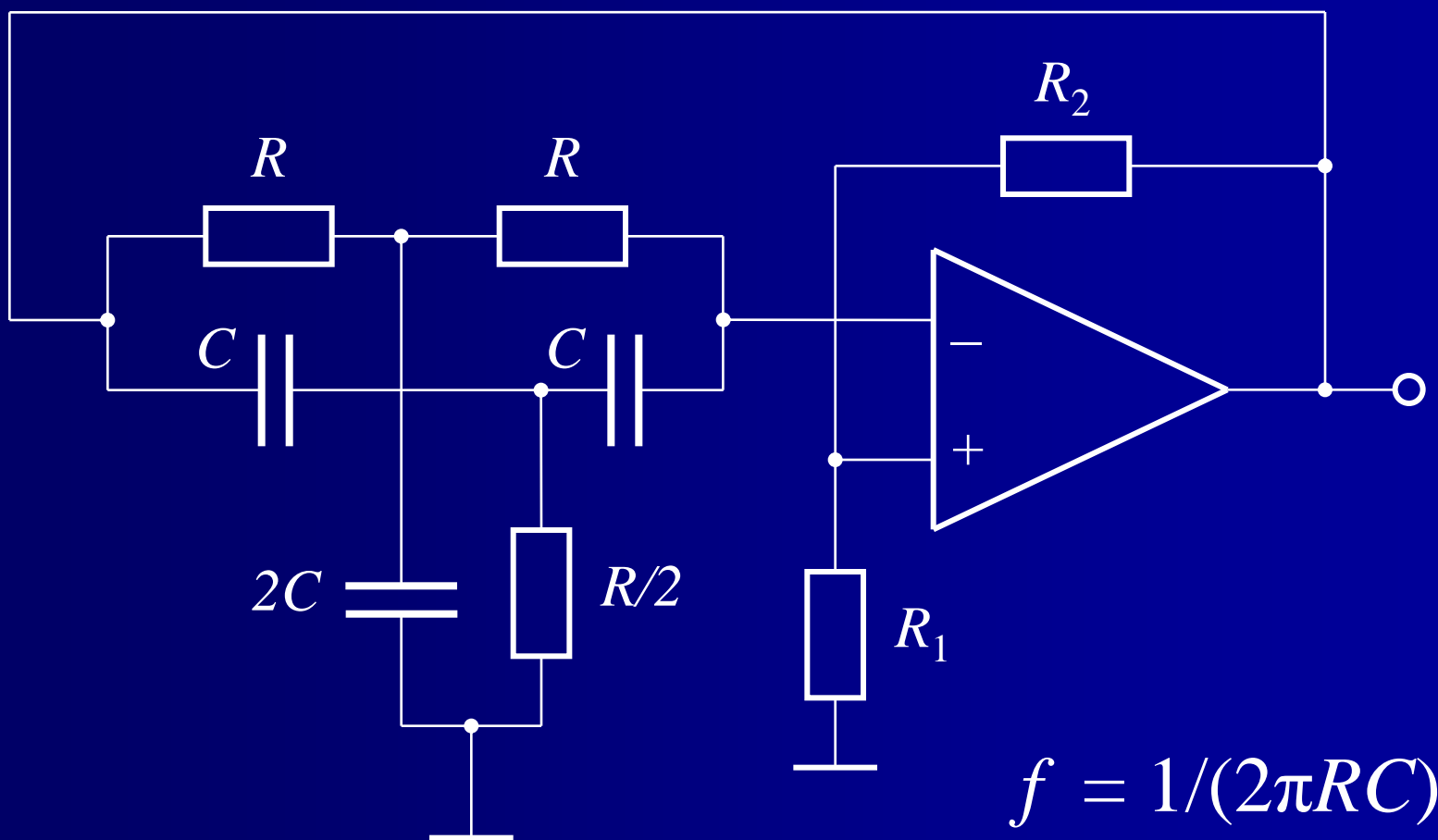
# RC-generátor s Wienovým mostíkom

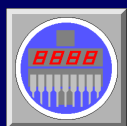


$$f = 1/(2\pi RC)$$



# RC-generátor s dvojitým T



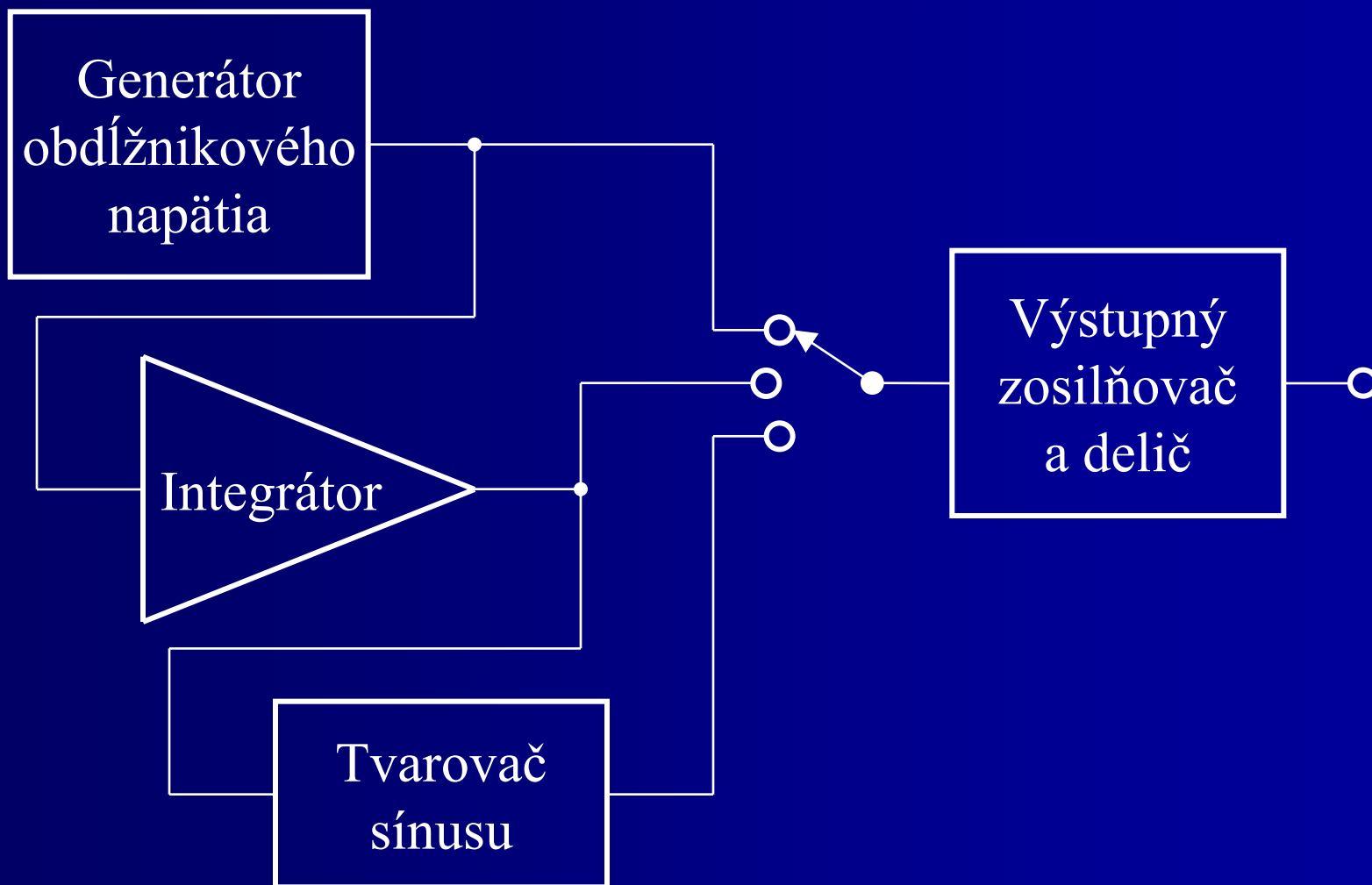


# Funkčný generátor

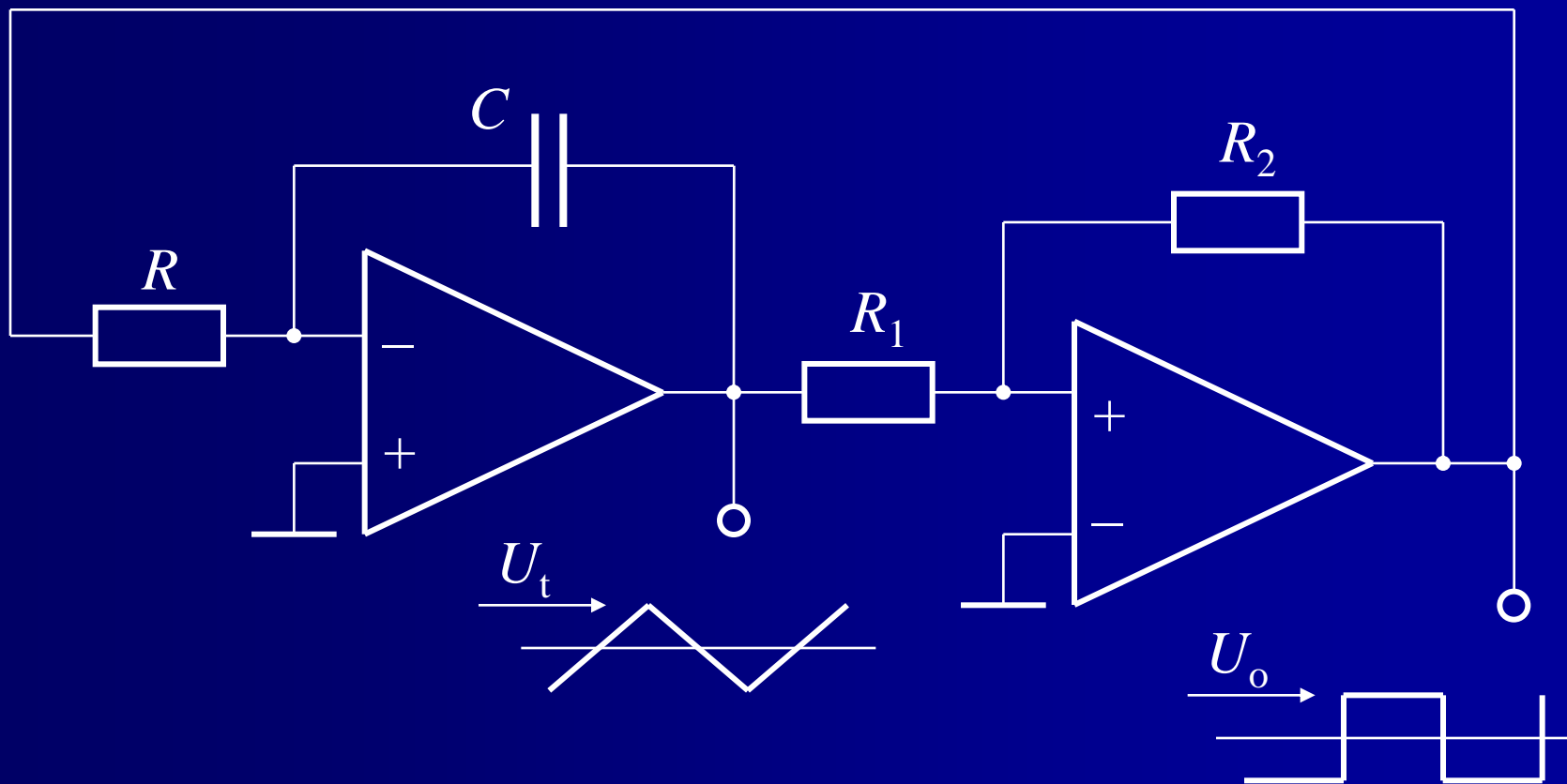
- univerzálny a často používaný zdroj signálu
- sínus, obdĺžnik a trojuholník
- nastavenie tvaru, frekvencie, amplitúdy a jednosmernej zložky
- modifikácie tvaru
- modulácie (AM, FM)
- nízka kvalita časového priebehu !!!



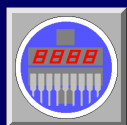
# Funkčný generátor



# Generátor trojúhelníka a obdélníka



$$f = U_o / (4RCU_t)$$



# Funkčný generátor





# Funkčný generátor





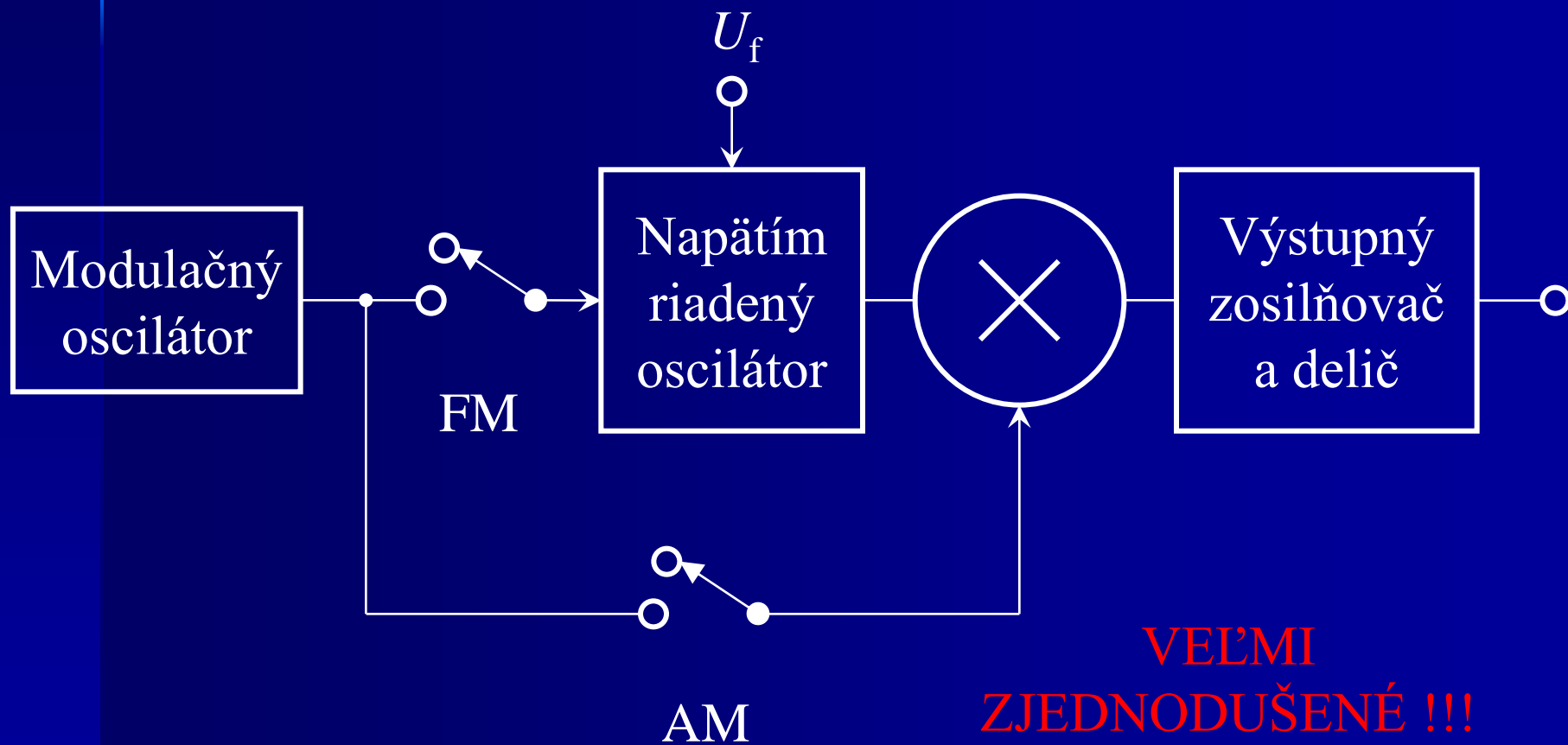
# Signálny generátor

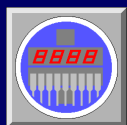
- zdroj testovacieho (meracieho) signálu
- harmonické napätie + modulácie
- malé skreslenie časového priebehu, hoci ...
- definované parametre, presnosť a stabilita
- použitie pri meraní frekvenčných charakteristík zariadení a prenosových ciest
- široký frekvenčný rozsah
- zložité a drahé zariadenia





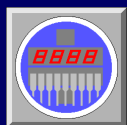
# Signálny generátor





# Signálny generátor





# Signálny generátor





# Impulzný generátor

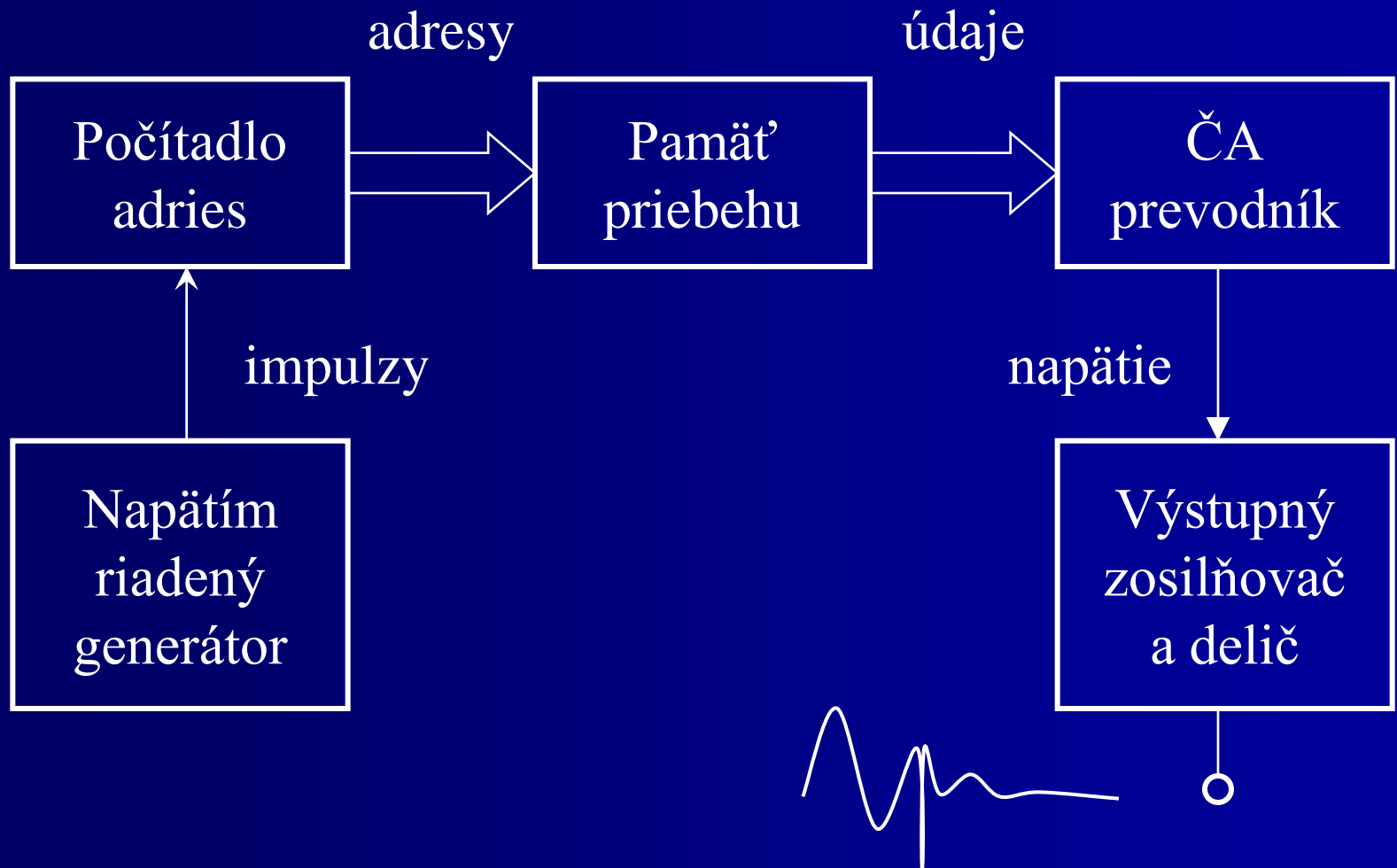
- zdroj obdĺžnikových impulzov
- definované (nastaviteľné) parametre – frekvencia (perióda), šírka, nábežná a dobežná hrana, oneskorenie, logické úrovne
- zaručované parametre – prekmit, doba ustálenia
- široký frekvenčný rozsah
- generovanie súboru alebo postupnosti impulzov



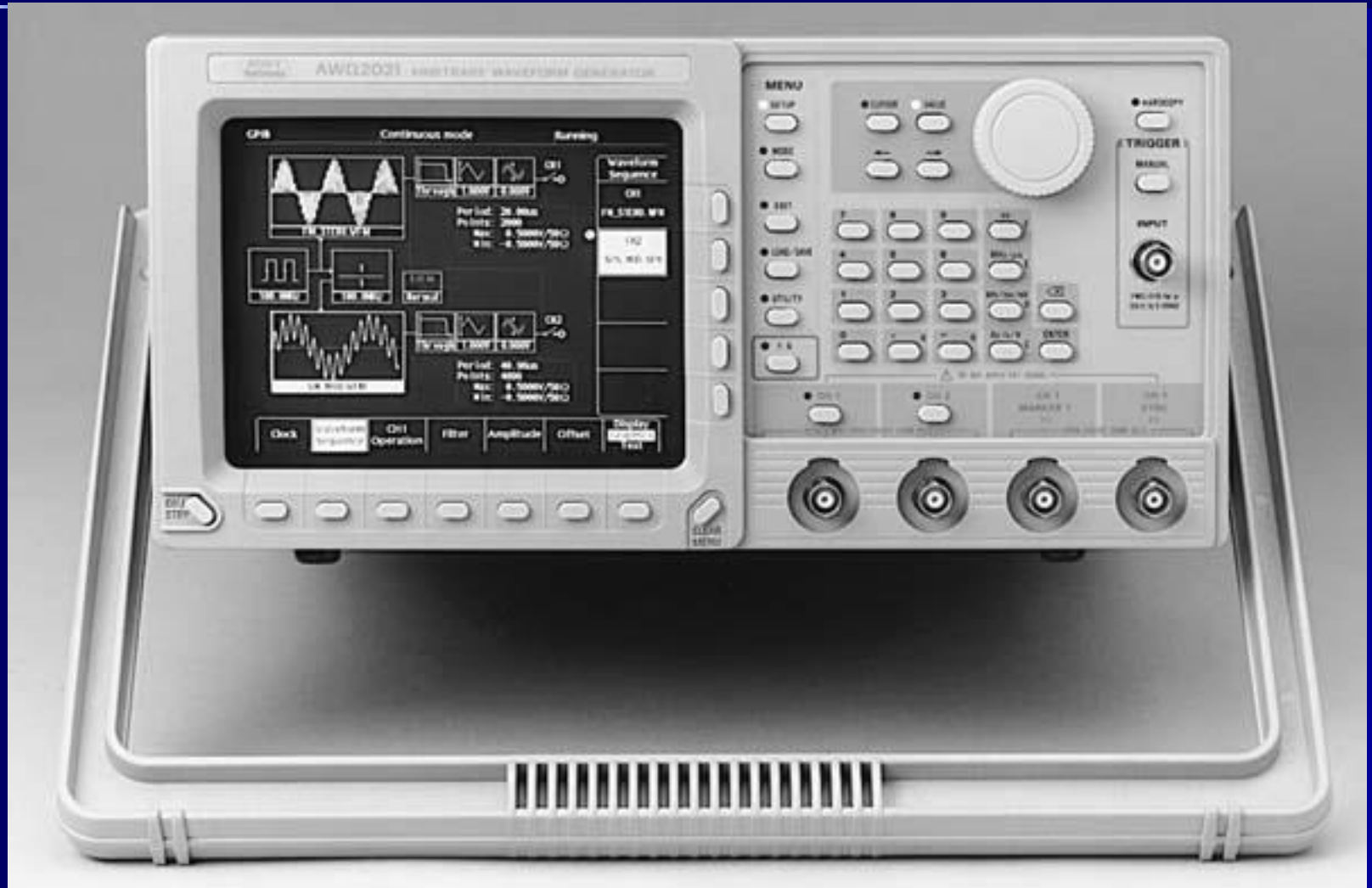
# Generátor ľubovoľných priebehov

- Arbitrary Waveform Generator (AWG)
- priebeh generovaný ĆA prevodníkom
- generovanie definovaných prechodných javov, porúch, komplexných signálov
- okamžitá zmena frekvencie (frequency hop)
- rýchlosť ĆA prevodníka a dĺžka pamäte
- výpočet priebehov

# Generátor ľubovoľných pribehov



# Generátor ľubovoľných priebehov





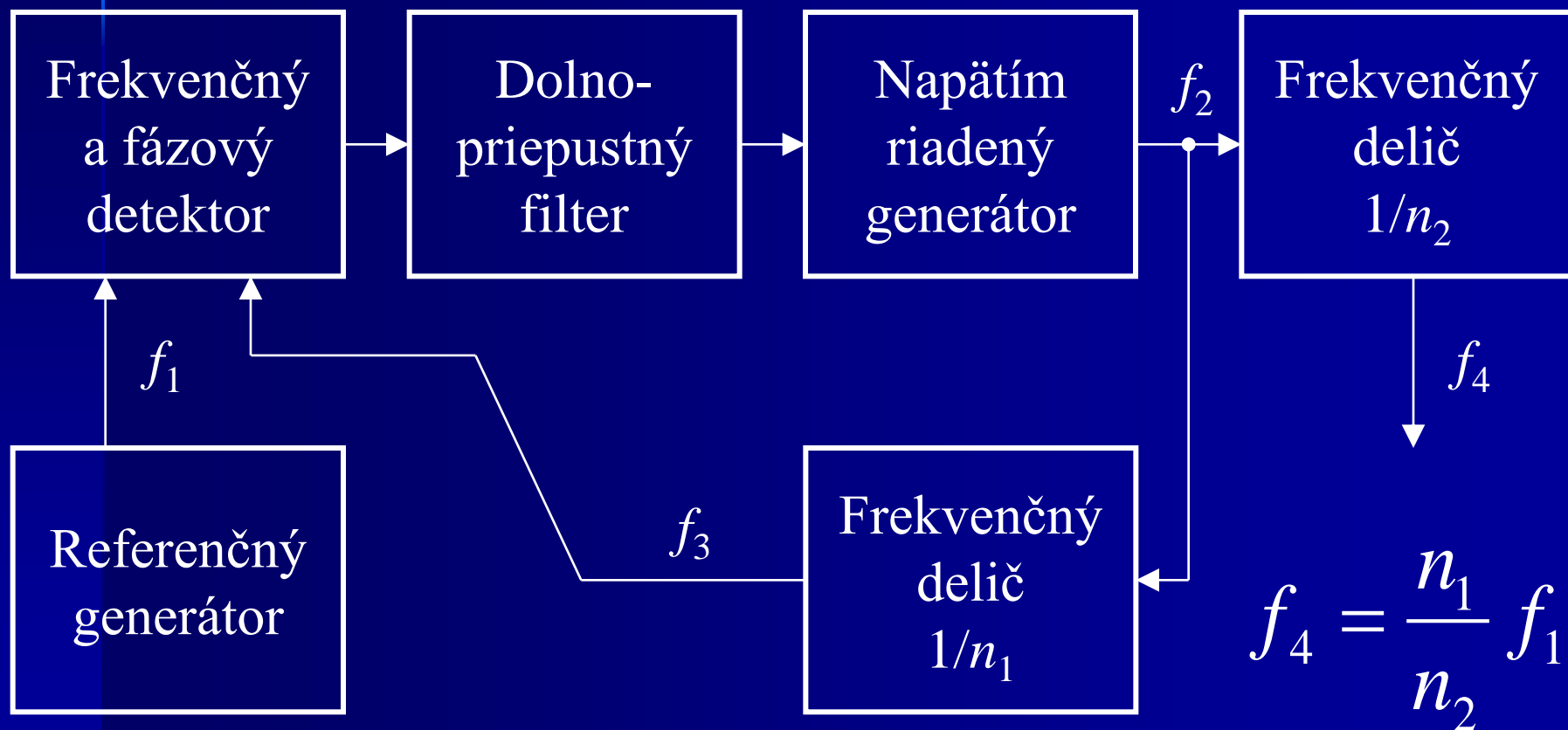
# Frekvenčná syntéza

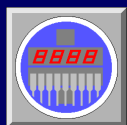
- (AWG)
- generovanie frekvenčnej stupnice z konečného počtu pevných frekvencií
  - priama frekvenčná syntéza
  - nepriama frekvenčná syntéza
- vysoká presnosť a stabilita frekvencie
- číslicové nastavenie frekvencie



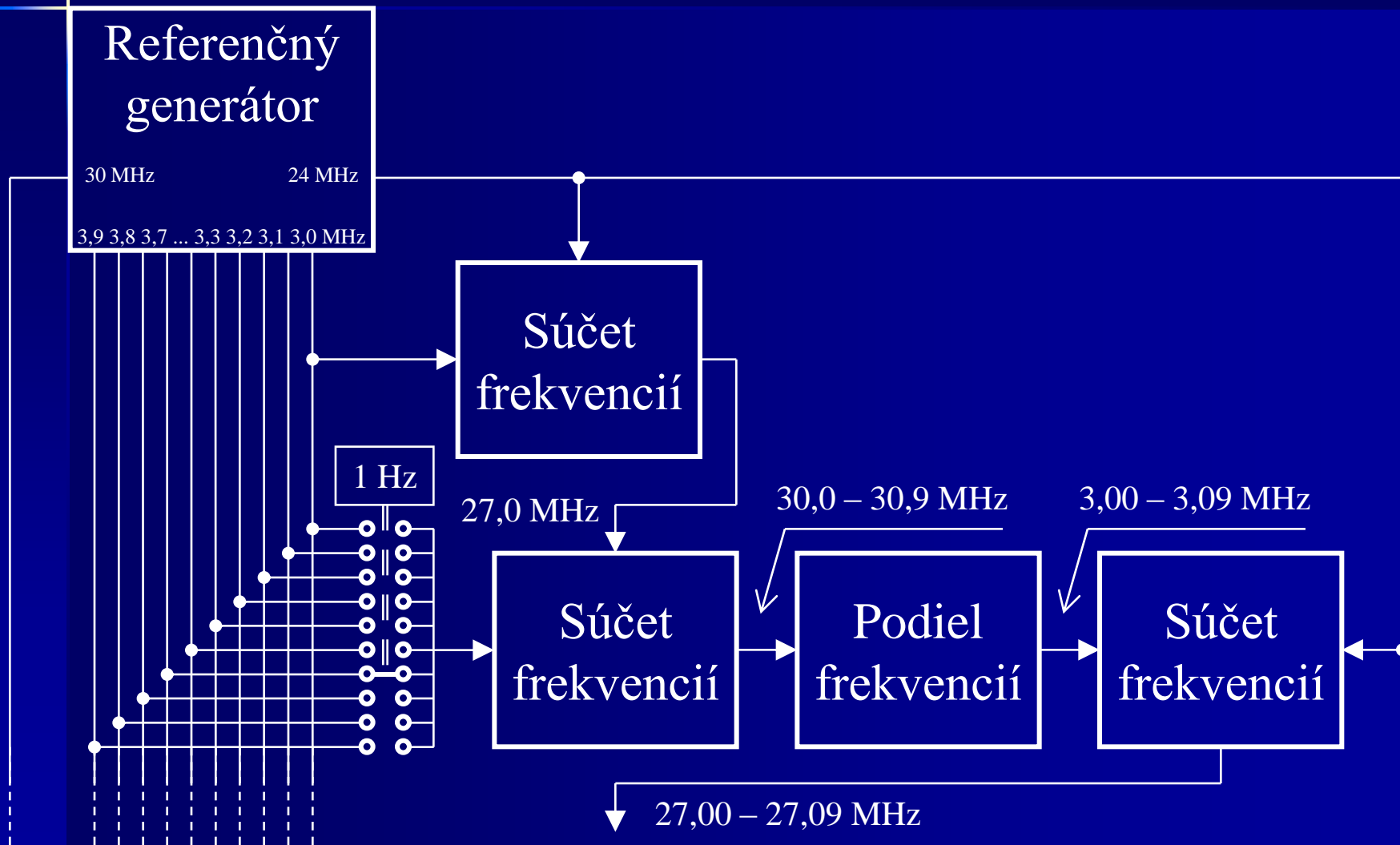


# Nepriama frekvenčná syntéza





# Priama frekvenčná syntéza





# Priama frekvenčná syntéza

