

Измервания в електрониката

1

Съдържание

1. Увод
2. Основни характеристики на електронните измервателни уреди
3. Генератори на електрически сигнали
4. Електронни осцилоскопи
5. Измерване на електрическо напрежение, ток и съпротивление

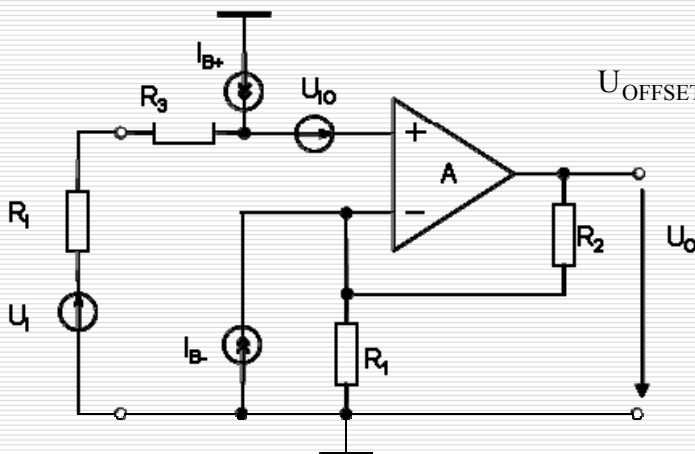
5. Измерване на напрежение, ток и съпротивление

1. Класификация и основни характеристики
2. Измерване на постоянно напрежение
3. Цифрови волтметри, прилагачи метода на двутактното интегриране
4. Измерване на постоянен ток
5. Измерване на променливи напрежения и токове
6. Цифрови мултиметри

5.2. Измерване на постоянно напрежение

- Функционални възли на електронните волтметри –
Модел с входни поляризиращи токове и входно напрежение на несиметрия

$$U_{\text{OFFSET}_{\text{RTO}}} = U_{\text{IO}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{\text{B}+} \cdot R_3 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - I_{\text{B}-} \cdot R_2$$



$$U_{\text{OFFSET}_{\text{RTI}}} = U_{\text{IO}} + I_{\text{B}+} \cdot R_3 - I_{\text{B}-} \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

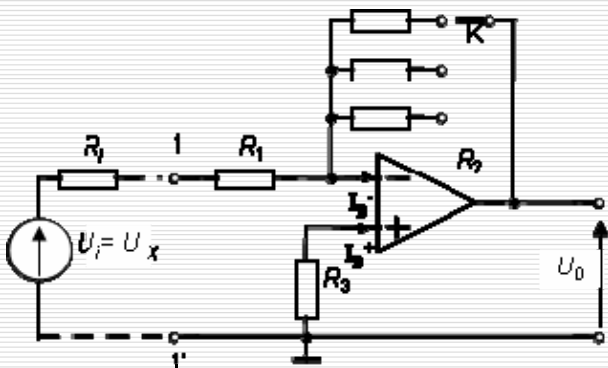
- За редуциране въздействието на I_{B} ,
- При условие, че $I_{\text{B}+} \approx I_{\text{B}-}$ се избира

$$R_3 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

5.2. Измерване на постоянно напрежение

Инвертираща схема

- Влияние на крайните коефициенти на усилване при отворена верига на обратната връзка - А



$$I_1 = I_2 + I_d$$

$$\frac{U_i - U_d}{R_1} = \frac{U_d - U_0}{R_2} + \frac{U_0}{R_d}$$

$$K_U = \frac{U_0}{U_i} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{\beta A}}$$

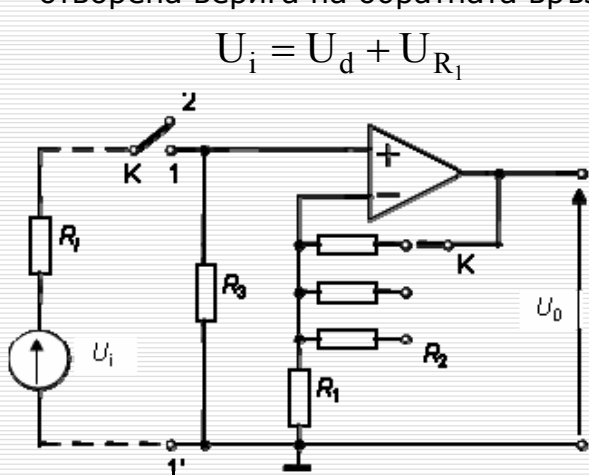
- където

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2}{R_d}} \approx \frac{1}{1 + \frac{R_2}{R_1}}$$

5.2. Измерване на постоянно напрежение

Неинвертираща схема

- Влияние на крайните коефициенти на усилване при отворена верига на обратната връзка - А



$$U_i = U_d + U_{R_1}$$

$$U_i = \frac{U_0}{A} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_0$$

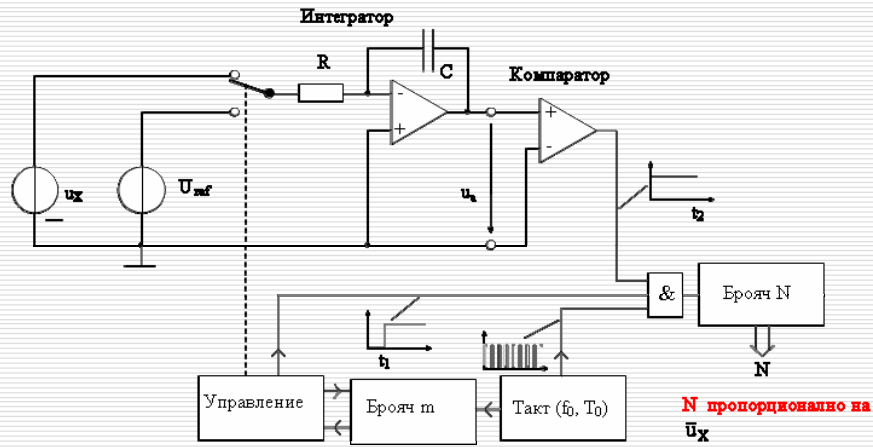
$$K_U = \frac{U_0}{U_i} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{\beta A}}$$

- където $\beta = \frac{1}{1 + \frac{R_2}{R_1}}$

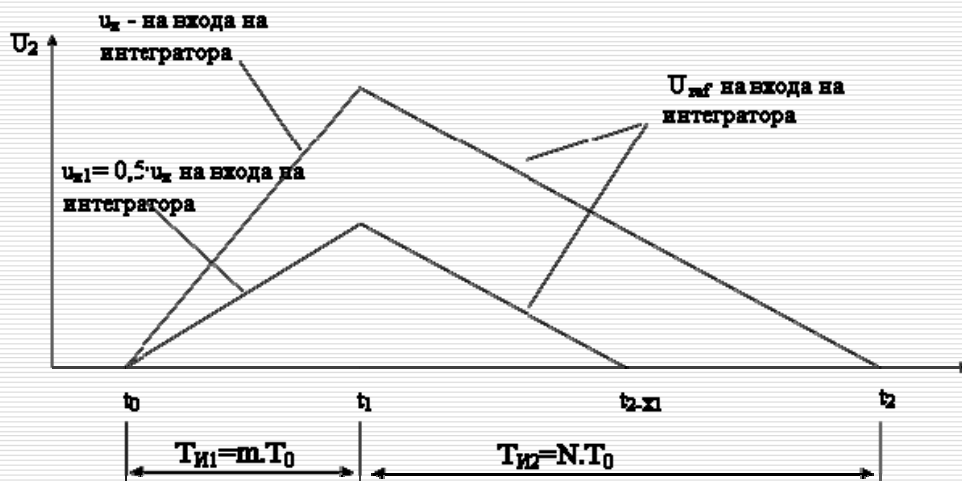
- за $NG = 1 + \frac{R_2}{R_1}$

$$K_U = \frac{U_0}{U_i} = \frac{NG}{1 + \frac{NG}{A}}$$

5.3. Цифрови волтметри, прилагащи метода на двутактното интегриране



5.3. Цифрови волтметри, прилагащи метода на двутактното интегриране



5.3. Цифрови волтметри, прилагащи метода на двутактното интегриране

- Начално установяване на интегратора - $U_2=0$
- **Първи такт**
 - В момента t_0 **стартира** преобразуването.
 - u_x се подава на входа на интегратора и се интегрира за **дефинирано** време (в интервала t_1-t_0)

Напрежението в момента t_1 се дава с връзката:

$$u_2(t_1) = -\frac{1}{RC} \int_{t_0}^{t_1} u_x dt$$
$$\bar{u}_x = -\frac{1}{t_1 - t_0} \int_{t_0}^{t_1} u_x dt$$

5.3. Цифрови волтметри, прилагащи метода на двутактното интегриране

- за изходното напрежение на интегратора в момента t_1 се получава :

$$u_{2\max}(t_1) = -\frac{1}{RC} \bar{u}_x (t_1 - t_0)$$

- ◆ **Константният интервал** на интегриране $T_{И1}$ се задава чрез брояча и честотата на тактовия генератор и фиксиран брой импулси m

$$f_0 = \frac{1}{T_0} \quad T_{И1} = m \cdot T_0 \quad u_{2\max}(t_1) = -\frac{m \cdot T_0}{RC} \bar{u}_x$$

5.3. Цифрови волтметри, прилагащи метода на двутактното интегриране

□ *Втори такт*

- След интервала $T_{И1}$ на входа на интегратора се подава **опорно напрежение**, което е с полярност, противоположна на измерваното напрежение (в случая U_{ref} – положително). Изходното напрежение на интегратора се изменя до 0 V.
- Изменението на напрежението на изхода на интегратора в момент t_2 – след интервала $T_{И2}$ ($t_2 - t_1$) се дава с връзката:

$$u_2(t) = u_{2\max}(t_1) + \left(-\frac{1}{RC} \int_{t_1}^{t_2} U_{ref} dt \right) = u_{2\max}(t_1) - \frac{1}{RC} U_{ref} (t_2 - t_1)$$

5.3. Цифрови волтметри, прилагащи метода на двутактното интегриране

$$T_{И2} = N \cdot T_0$$

- Така за $U_2(t) = 0$ се получава

$$u_2(t_2) = 0 = u_{2\max}(t_1) - \frac{1}{RC} U_{ref} T_{И2}$$

$$u_{2\max}(t_1) = \frac{1}{RC} U_{ref} T_{И2}$$

- като се замести уравнението за $U_{2\max}(t_1)$ се получава:

$$-\frac{m \cdot T_0}{RC} \bar{u}_X = U_{ref} \frac{1}{RC} N \cdot T_0 \quad \Rightarrow \quad \bar{u}_X = -U_{ref} \frac{N}{m}$$

5.3. Цифрови волтметри, прилагащи метода на двутактното интегриране

- В каква междинна величина се преобразува измерваното напрежение?
- Какви преимущества дава интегрирането в два последователни такта с един и същ интегратор?
- През кой такт се генерира средната стойност на измерваното напрежение?

Задачи

- **Задача 1.**
- За АЦП, работещ по метода на двутактното интегриране е известно: параметри на интегратора $R = 200 \text{ k}$, $C = 400 \text{ nF}$; честота на тактовия генератор $f = 2 \text{ MHz}$; $U_{\text{ET}} = 4 \text{ V}$; родължителност на първия такт $T_1 = 200 \text{ ms}$.
- Измерва се напрежение $U_x = 2 \text{ V}$
- $\Delta U_{\text{ET}}/U_{\text{ET}} = \pm 1 \cdot 10^{-4}$
Да се изчисли:
 - a) Колко импулса N ще преброи брояча през първия такт на интегриране T_1 ?
 - b) Относителната грешката при измерване на напрежението

Задачи

□ Решение Задача 1

a) $m = T_1/T = 200 \text{ ms} \cdot 2 \text{ MHz} = 4 \cdot 10^5$

b) $U_{\text{Иmax}} = -U \cdot T_1/R \cdot C = 2 \text{ V} \cdot 200 \text{ ms} / 200 \text{ k}\Omega \cdot 400 \text{ nF} = -5 \text{ V}$.

$$T_2 = T_1 \cdot U / U_{\text{ET}} = 200 \text{ ms} \cdot 2 \text{ V} / 4 \text{ V} = 100 \text{ ms}$$

оттук $N_2 = 100 \text{ ms} \cdot 2 \text{ MHz} = 2 \cdot 10^5$

оттук $\Delta U_X/U_X = 1/N_2 + \Delta U_{\text{ET}}/U_{\text{ET}} = \pm(1/2 \cdot 10^5 + 1 \cdot 10^{-4}) = \pm 0.0105 \%$

Задачи

□ Задача 2.

□ Цифров волтметър с АЦП работещ по метода на двутактното интегриране има показание от $3\frac{1}{2}$ цифри и работи с тактова честота f_T от 10 kHz.

□ В какви граници се движи измервателния цикъл (продължителност на едно измерване)?

□

Задачи

□ Решение Задача 2.

- Период на таковата честота $T_T = 1/f_T = 1/10 \text{ kHz} = 0,1 \text{ ms}$

- Най-малка продължителност на измервателния цикъл при $U_X = 0 \text{ V}$ (кондензаторът не се зарежда през първия такт T_1 и затова вторият такт $T_2 = 0$). Тогава $T_{\text{иц}} = T_1$ (капацитет на брояча).
- Тиц = $2000 \cdot T_T = 2000 \cdot 0,1 \text{ ms} = 200 \text{ ms}$.

Задачи

□ Решение Задача 2.

- Най-голяма продължителност на измервателния цикъл при $|U_X| = |U_{X\text{max}}| = |U_{\text{ET}}|$. В този случай броячът ще се запълни два пъти до пълния си капацитет.

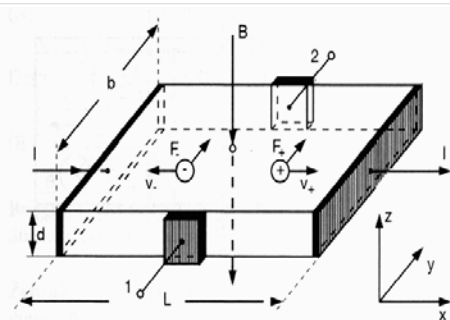
- Тиц = $2 \cdot 2000 \cdot T_T = 2 \cdot 2000 \cdot 0,1 \text{ ms} = 400 \text{ ms}$.

5.4. Измерване на постоянен ток

- Методи и схеми за измерване
 - Директно преобразуване на ток в напрежение

5.4. Измерване на постоянен ток

- Методи и схеми
 - Сензори на Хол



$$U_H = v \cdot B \cdot b$$

За плътността j на протичащия през пластината ток е в сила зависимостта

$$j = n \cdot e \cdot v = n \cdot e \cdot \mu \cdot E$$

където n е концентрацията на носителите, e – елементарен товар, v – скорост на дрейфа, $\mu = v/E$ подвижност.

$$I = b \cdot d \cdot n \cdot e \cdot v \quad (b \cdot d - \text{напречно сечение})$$

$$U_H = \frac{R_H \cdot I \cdot B}{d}, \quad \text{където} \quad R_H = \frac{1}{n \cdot e}$$

е коефициентът на Хол.

5.5. Измерване на променлив ток и напрежение

- Синусоидално напрежение $u(t)$

$$u(t) = \hat{u} \sin \omega t$$

- се задава чрез върховата си стойност

 \hat{u}

- и кръговата честота ω респ. периода

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

5.5. Измерване на променлив ток и напрежение

- Повечето измервателни уреди още при ниски честоти не могат да следят моментните стойности и показват **осреднени стойности**.
- Информацията за честотата се губи. При променлив ток или напрежение се измерват основно **върхови** или **средни** стойности.

5.5. Измерване на променлив ток и напрежение

Средната линейна стойност се дефинира:

$$u(t) = \hat{u} \sin \omega t$$

За синусоидални сигнали: $\bar{u} = \frac{1}{T} \int_0^T \hat{u} \sin \omega t dt = 0$

- Губи се информация за сигнала.
- По-добре е напрежението да се изправи и след това да се осреднява. Така се получава **средната изправена стойност**:

$$|\bar{u}| = \frac{1}{T} \int_0^T |\hat{u} \sin \omega t| dt$$

5.5. Измерване на променлив ток и напрежение

$$|\bar{u}| = \frac{1}{T} \int_0^T |\hat{u} \sin \omega t| dt$$

За синусоидални сигнали $|u| = \frac{2}{\pi} \hat{u} = 0,637 \hat{u}$

Въз основа на тази стойност може да се определи **върховата стойност** на напрежението.

5.5. Измерване на променлив ток и напрежение

- **Ефективна стойност или средноквадратична стойност**
 - Величината не се изправя, а се повдига на квадрат, осреднява се и накрая се вади квадратен корен.

$$U_{\text{эф}} = U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (\hat{u} \sin \omega t)^2 dt}$$

За синусоидални сигнали $U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}} = 0,707\hat{u}$

5.5. Измерване на променлив ток и напрежение

- Изчислените стойности са валидни само за **синусоидални сигнали**, а за други форми на напрежението (правоъгълно, трионообразно и др.) се получават други стойности. Ето защо се въвеждат **два коефициента**:

$$\text{Коефициент на амплитудата (КА)} = \frac{\text{Върхова стойност}}{\text{Ефективна стойност}}$$

5.5. Измерване на променлив ток и напрежение

$$\text{Коефициент на формата (КФ)} = \frac{\text{Ефективна стойност}}{\text{Средна изправена стойност}}$$

За синусоидални сигнали:

$$\text{КА} = \frac{\hat{u}}{0,707 \hat{u}} = 1,41$$

$$\text{КФ} = \frac{0,707 \hat{u}}{0,637 \hat{u}} = 1,11$$

5.5. Измерване на променлив ток и напрежение

□ КА (crest factor)

- Точността на уредите за измерване на истинска ефективна стойност се гарантира само когато коефициентът на амплитудата не надхвърля някаква максимална стойност.

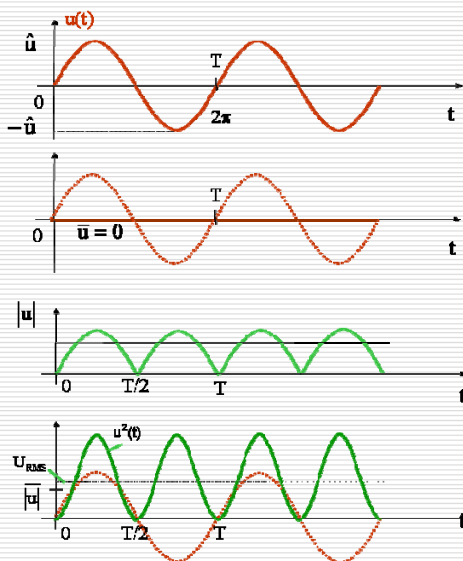
5.5. Измерване на променлив ток и напрежение

□ КФ

- Така при известен коефициент на формата $K_{ФХ}$ на едно променливо напрежение, което не е със синусоидална форма може да се определи неговата ефективна стойност при измерване с уред, който е калибриран за измерване на синусоидални величини.

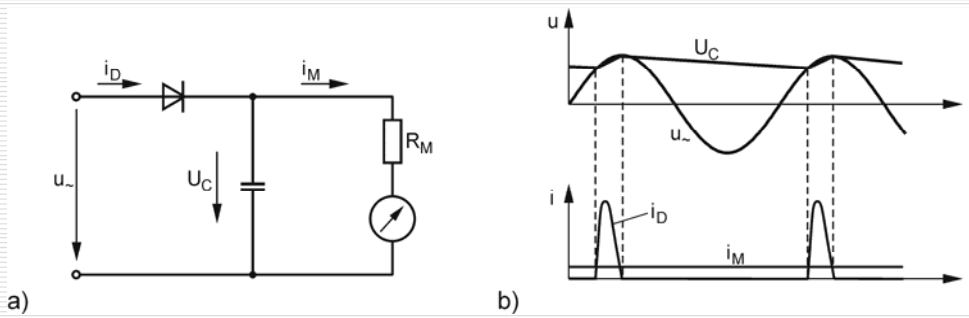
$$U_X = \frac{K_{ФХ}}{K_{Ф\text{Синус}}} \cdot U_{\text{Показание}}$$

5.5. Измерване на променлив ток и напрежение

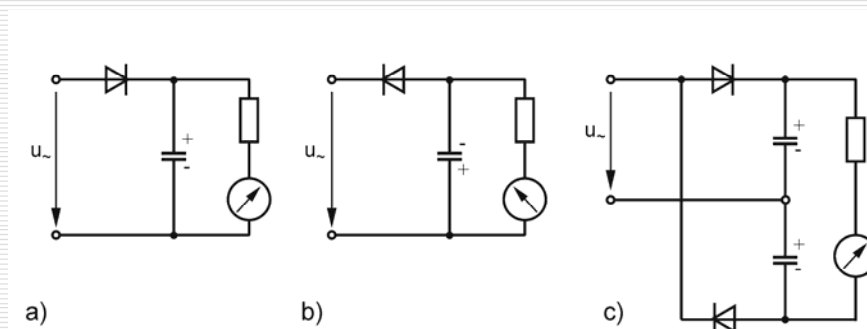


- *Средна линейна стойност*
- *Средна изправена стойност*
- *Ефективна стойност за синусоидално напрежение*

Върхови детектори



Върхови детектори



Аналогови уреди

