

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

3. Електрически сигнали и тяхното генериране

- 3.1. Определение, класификация и основни характеристики
- 3.2. Генератори на нискочестотни синусоидални сигнали
- 3.3. Функционални генератори
- 3.4. Импулсни генератори
- 3.5. Сигнал- и вобел-генератори
- 3.6. Кварцови генератори

3.1. Определение, класификация и основни характеристики

Определение

- Генераторите са устройства, преобразуващи постояннотоковата енергия на захранващия източник в електрически трептения с определена форма, амплитуда и честота, за изследване на електронни елементи, схеми и устройства.

3.1. Определение, класификация и основни характеристики

Класификация според формата

- Генератори на синусоидални сигнали
- Генератори на модулирани (амплитудно, честотно) сигнали
- Импулсни генератори: едно-, двуполярни, правоъгълни, триъгълни и др.
- Генератори на произволни функции
- Генератори на шумови сигнали
- Калибратори на напрежение
- Прецизни (кварцови) стандарти
-

3.1. Определение, класификация и основни характеристики

Класификация според обхвата на генерираната честота

- Инфранискочестотни – 0,001 – 100 Hz
- Нискочестотни – 20 – 200 kHz
- Исокочестотни – 100 – 30 000 kHz
- Сврхвисокочестотни 30 MHz – 1-10 GHz
- Микровълнови – над 1 GHz

3.1. Определение, класификация и основни характеристики

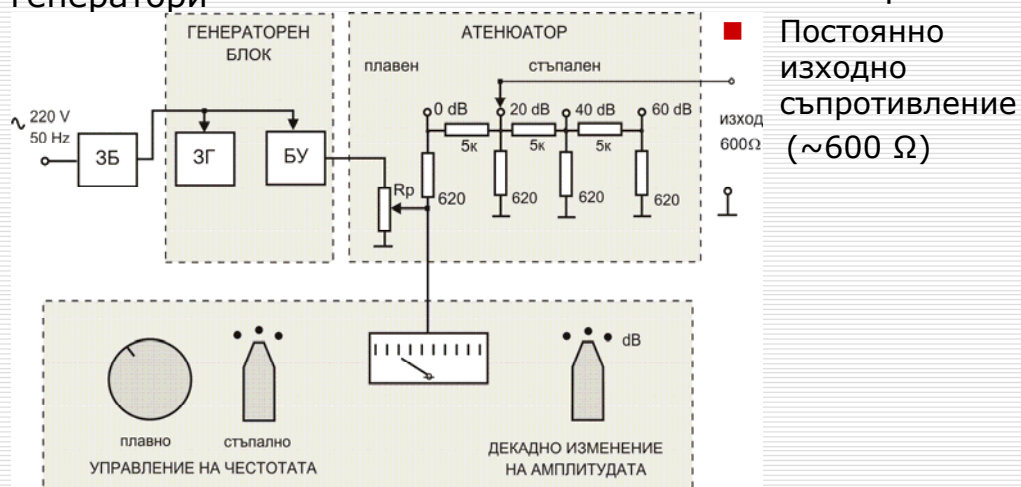
Основни характеристики

- ❑ Форма на генерираните сигнали
- ❑ Честотен обхват – честотите в границите между минималната и максималната честота, които генераторът може да , които генераторът може да възпроизведе при запазване на останалите параметри на сигнала
- ❑ Нестабилност на честотата (кратковременна (мин./часове), дълговременна ($10^{-3} - 10^{-7}$))
- ❑ Амплитуда (ефективна стойност на генерираните сигнали, най-често в границите от 1mV до 150V)
- ❑ Нестабилност на амплитудата
- ❑ Нелинейни изкривявания
- ❑ Изходна мощност
- ❑ Изходно съпротивление

3.2. Генератори на нискочестотни синусоидални сигнали

- ❑ Нискочестотни генератори –

- ❑ П-образен атенюатор



3.2. Генератори на нискочестотни синусоидални сигнали

□ За β^+ :

$$\begin{aligned}\beta^+ &= \frac{U_{\beta^+}}{U_2} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{1}{1 + \frac{Z_1}{Z_2}} = \\ &= \frac{1}{1 + \frac{(1 + j\omega R_1 C_1)}{j\omega C_1} \cdot \frac{(1 + j\omega R_2 C_2)}{R_2}} = \\ &= \frac{1}{1 + \frac{1}{j\omega C_1 R_2} + \frac{j\omega R_1 C_1}{j\omega R_2 C_1} + \frac{j\omega R_2 C_2}{j\omega R_2 C_1} + \frac{j\omega R_1 C_1 \cdot j\omega R_2 C_2}{j\omega C_1 R_2}} = \\ &= \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1} + \frac{1}{j\omega R_2 C_1} + j\omega R_1 C_2}\end{aligned}$$

3.2. Генератори на нискочестотни синусоидални сигнали

□ Ако ОУ работи под граничната честота \rightarrow
 A_F – реален, честотно независим коефициент \rightarrow
 $\varphi_F = 0$, а оттук и
 β^+ – реално число.

$$\omega_0^2 = \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}$$

3.2. Генератори на нискочестотни синусоидални сигнали

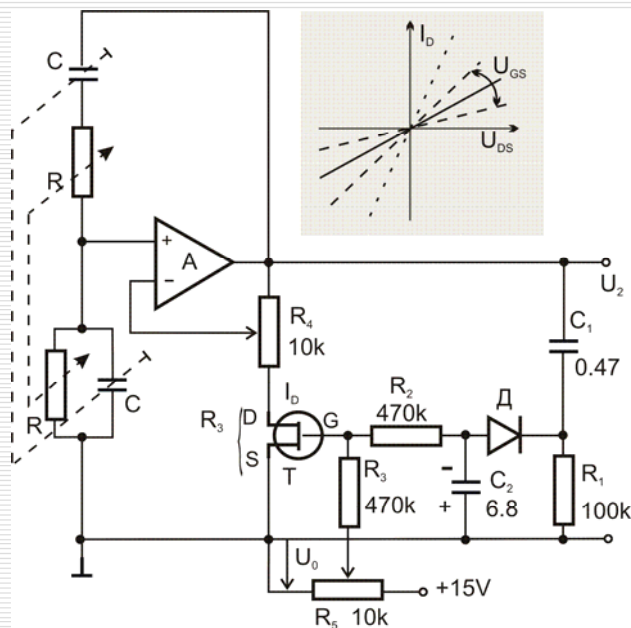
□ За $R_1=R_2=R$ и $C_1=C_2=C$

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}$$

$$\beta^+ = \frac{1}{3}$$

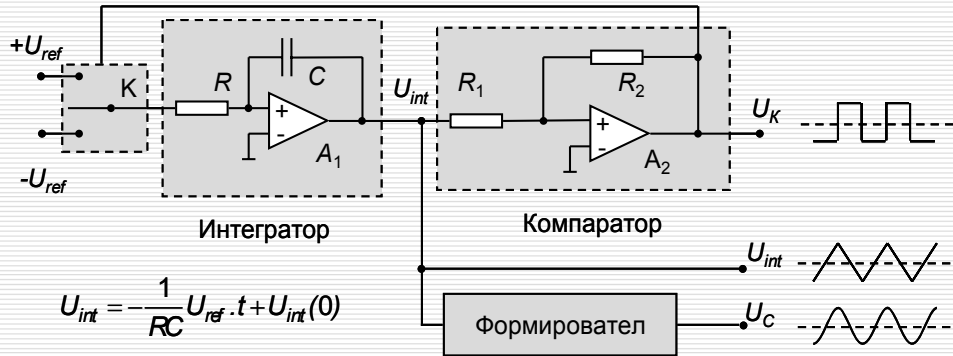
$$A_F = 1 + \frac{R_3}{R_4} = 3 \text{ за } R_3 = 2R_4$$

3.2. Генератори на нискочестотни синусоидални сигнали



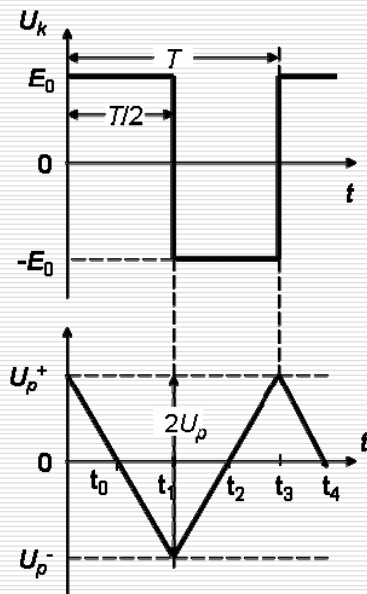
3.3. Функционални генератори

□ Структурна схема



3.3. Функционални генератори

□ Честота на генериране



$$U_{INT} = -\frac{1}{RC} \int_{t_0}^t U_{ref} dt = -\frac{1}{RC} (t - t_0)$$

$$U_{INT}(t_0) = 0$$

$$U_{INT}(t_1) = -\frac{1}{RC} U_{ref} (t_1 - t_0) = -E_0 \frac{R_1}{R_2}$$

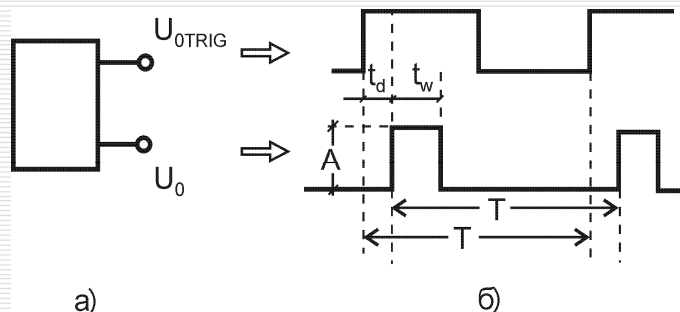
$$t_1 - t_0 = RC \frac{R_1}{R_2} \frac{E_0}{U_{ref}}$$

$$T = 4(t_1 - t_0) = 4RC \frac{R_1}{R_2} \frac{E_0}{U_{ref}} = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{1}{4RC} \cdot \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{U_{ref}}{E_0}$$

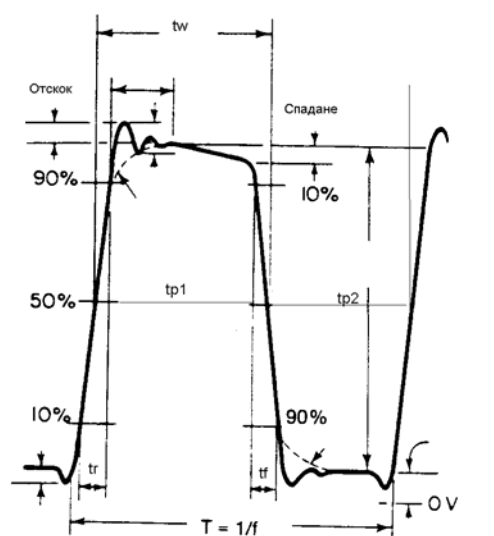
3.4. Импулсни генератори

- Обща характеристика

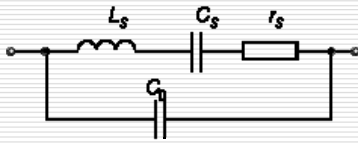


3.4. Импулсни генератори

- Форма и параметри на реален сигнал

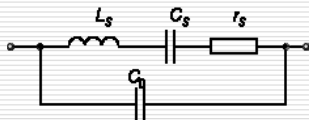


3.6. Кварцови генератори



$$\underline{Z} = \frac{\left(r_s + j\omega L_s + \frac{1}{j\omega C_s} \right) \cdot \frac{1}{j\omega C_0}}{r_s + j\omega L_s + \frac{1}{j\omega C_s} + \frac{1}{j\omega C_0}} = \frac{r_s + j\left(\omega L_s - \frac{1}{\omega C_s} \right)}{1 + \frac{C_0}{C_s} - \omega^2 L_s C_0 + j\omega r_s C_0}$$

3.6. Кварцови генератори

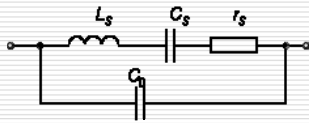


- С въвеждане на нормирана честота
 $\Omega = \omega/\omega_0$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_s C_s}}$$

$$\underline{Z} = r_s \frac{1 + j \frac{\omega_0 L_s}{r_s} \left(\Omega - \frac{1}{\Omega} \right)}{1 + \frac{C_0}{C_s} (1 - \Omega^2) + j \frac{C_0}{C_s} \frac{r_s}{\omega_0 L_s} \Omega}$$

3.6. Кварцови генератори



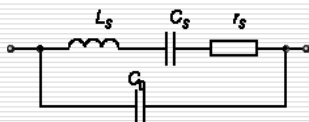
□ Търси се резонансната честота на кварца Ω_r

□ $\text{Im}(z)=0$

$$\text{Im}(z) = -jr_s \frac{C_0 \omega_0 L_s}{C_s r_s \Omega} \frac{\Omega^4 - \left(2 + \frac{C_s}{C_0} - \left(\frac{r_s}{\omega_0 L_s} \right)^2 \right) \Omega^2 + 1 + \frac{C_s}{C_0}}{\left(1 + \frac{C_0}{C_s} (1 - \Omega^2) \right)^2 + \left(\frac{C_0}{C_s} \frac{r_s}{\omega_0 L_s} \Omega \right)^2}$$

$$\Omega^4 - \left(2 + \frac{C_s}{C_0} - \left(\frac{r_s}{\omega_0 L_s} \right)^2 \right) \Omega^2 + 1 + \frac{C_s}{C_0} = 0$$

3.6. Кварцови генератори



□ Търси се резонансната честота на кварца Ω_r

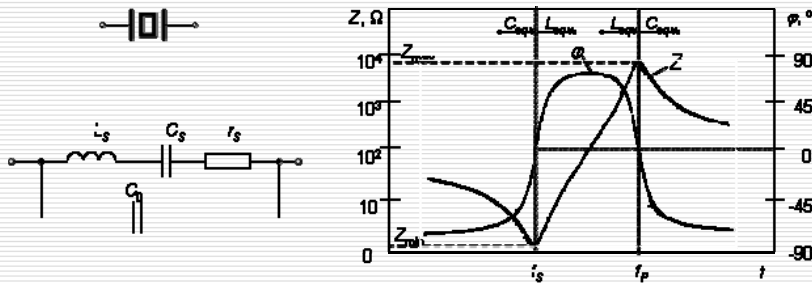
□ $\text{Im}(z)=0$

$$\Omega^4 - \left(2 + \frac{C_s}{C_0} - \left(\frac{r_s}{\omega_0 L_s} \right)^2 \right) \Omega^2 + 1 + \frac{C_s}{C_0} = 0$$

$$\Omega_S^2 = 1; \Omega_S = 1; \omega_S = \omega_0$$

$$\Omega_P^2 = 1 + \frac{C_s}{C_0}; \Omega_P \approx 1 + \frac{C_s}{2C_0}; \omega_P \approx \left(1 + \frac{C_s}{2C_0} \right) \omega_0$$

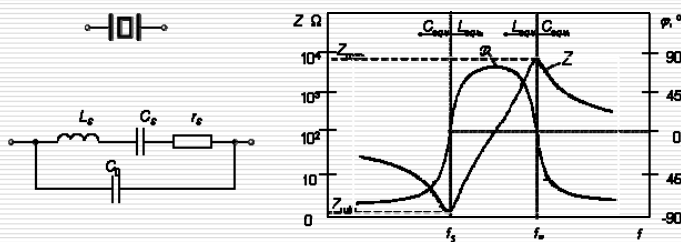
3.6. Кварцови генератори



Сериен резонанс $\omega_s = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_s C_s}}$,

където L_s и C_s – дефинирани величини

3.6. Кварцови генератори



Паралелен резонанс $\omega_p = \sqrt{\frac{1 + \frac{C_s}{C_0}}{L_s C_s}} = \frac{1}{\sqrt{L \frac{C_s C_0}{C_s + C_0}}}$,

където C_0 – недефиниран капацитет, зависещ от свързването

3.6. Кварцови генератори

- Сериен резонанс

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s C_s}}$$

- Паралелен резонанс

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \frac{C_s C_0}{C_s + C_0}}} \approx f_s \left(1 + \frac{C_s}{2C_0}\right)$$

- Качествен фактор (отношение на реактивно към активно съпротивление)

$$Q = \frac{\omega_s L_s}{r_s}$$

3.6. Кварцови генератори

- Стабилност на кварцовите резонатори

$$0,5 \cdot 10^{-5} - 2 \cdot 10^{-5}$$

- Температурна зависимост

$$f = f_0 \left[1 + \alpha(T - T_0) + \beta(T - T_0)^2 + \gamma(T - T_0)^3 \right]$$

- α – пренебрежимо малък при подходящо оформяне
- β – около 3 порядъка по-голям от γ

3.6. Кварцови генератори

- Кварцовите резонатори като температурни сензори

$$\alpha = 90 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

$$\beta = 60 \cdot 10^{-9} \text{ K}^{-1}$$

$$\gamma = 30 \cdot 10^{-12} \text{ K}^{-1}$$

$$f = f_0 \left[1 + \alpha(T - T_0) + \beta(T - T_0)^2 + \gamma(T - T_0)^3 \right]$$

- α – възможно най-голяма стойност

3.6. Кварцови генератори

- Например за кварцов резонатор с $f_0 = 16$ MHz за температура 0°C
- при 100°C
 - От линейния коефициент $\Delta f = 144$ kHz;
 - От квадратичния $\Delta f = 9,6$ kHz.

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{0,1536}{16} = 9,6 \cdot 10^{-3}$$

- α/β – линейността малко по-лоша от тази на Pt100

Задачи към гл. 3.

□ Зад. 1. RC – генератор

- Да се изчисли резонансната честота на автогенератор с мост на Вин за стойности на $R_1 = R_2 = R = 100 \text{ k}\Omega$ и $C_1 = C_2 = C = 0,1 \text{ }\mu\text{F}$ и
- Относителното изменение на резонансната честота при толеранс на елементите $\pm 5 \%$.

Задачи към гл. 3.

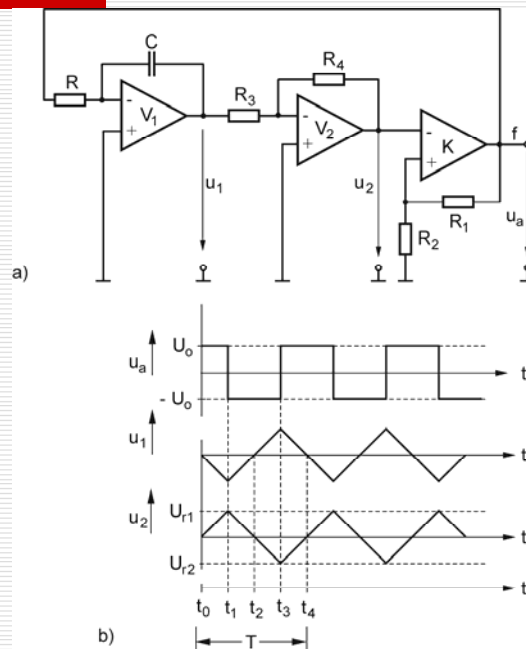
□ Зад. 1. - Решение

$$f_o = \frac{1}{2\pi RC} = 15,915 \text{ Hz}$$

$$\frac{\Delta f_o}{f_o} = \pm \left(\frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta C}{C} \right) = \pm 10 \%$$

Задачи към гл. 3.

- Зад. 2. Релаксационен осцилатор [Schr92:390/404].
 - Да се изведе формулата за генерираната честота на следната схема.



Задачи към гл. 3.

- Зад. 2. – Решение
 - За първата четвърт на периода (t_0, t_1) валидно:

$$u_1(t) = -\frac{1}{RC} \int_{t_0}^{t_1} U_0 d\tau = -\frac{1}{RC} U_0 (t_1 - t_0)$$

- В момента t_1 напрежението u_2 е равно на напрежението за превключване на компаратора U_{r1} :

$$u_2(t_1) = \frac{R_4}{R_3} \frac{1}{RC} U_0 (t_1 - t_0) = U_{r1} \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_0$$

Задачи към гл. 3.

□ Зад. 2. – Решение

- Оттук за първата четвърт на периода (t_0, t_1) е валидно:

$$t_1 - t_0 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{R_3}{R_4} RC$$

- За целия период:
- $$T = 4(t_1 - t_0) = 4 \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{R_3}{R_4} RC$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4} \frac{R_1 + R_2}{R_2} \frac{R_4}{R_3} \frac{1}{RC}$$

Задачи към гл. 3.

□ Зад. 3. Крарцов осцилатор [Schr92:407].

- За часовников кварц за известни следните параметри:

$$C_S = 3,24 \cdot 10^{-15} \text{ F}, L = 7281 \text{ H}, R_S = 30 \text{ k}\Omega \text{ и}$$

$$C_S = 3,24 \cdot 10^{-12} \text{ F}.$$

- Да се изчисли:
 - честотата на серийния резонанс;
 - качественият фактор на кварца.

Задачи към гл. 3.

□ Резонансна честота:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_S C_S}} = \frac{1}{\sqrt{7281 \cdot 3,24 \cdot 10^{-15}}} \text{ s}^{-1} = 205888 \text{ s}^{-1}$$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = 32768 \text{ s}^{-1}$$

□ Качествен фактор:

$$Q = \omega_0 \frac{L_S}{R_S} = 49969$$