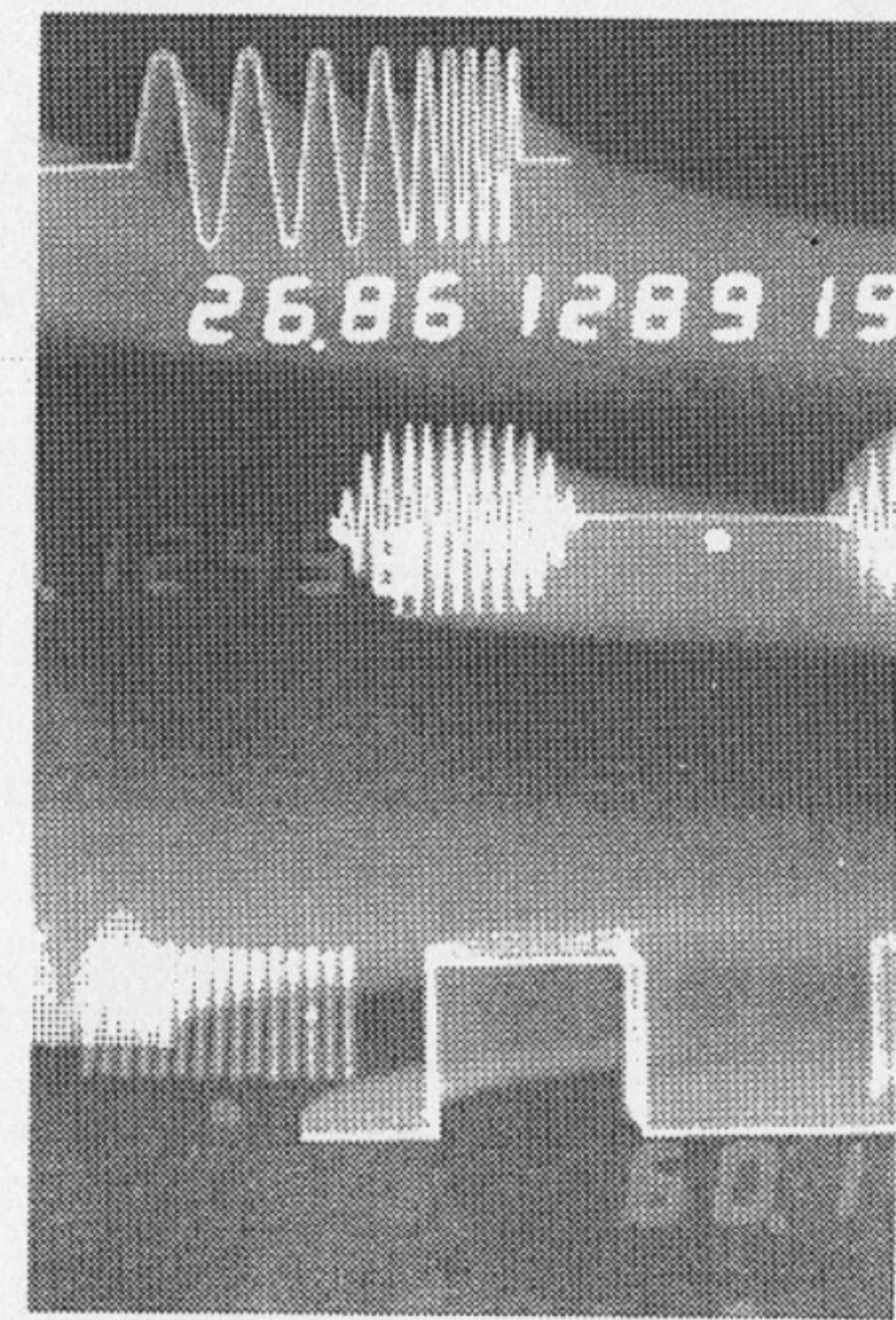
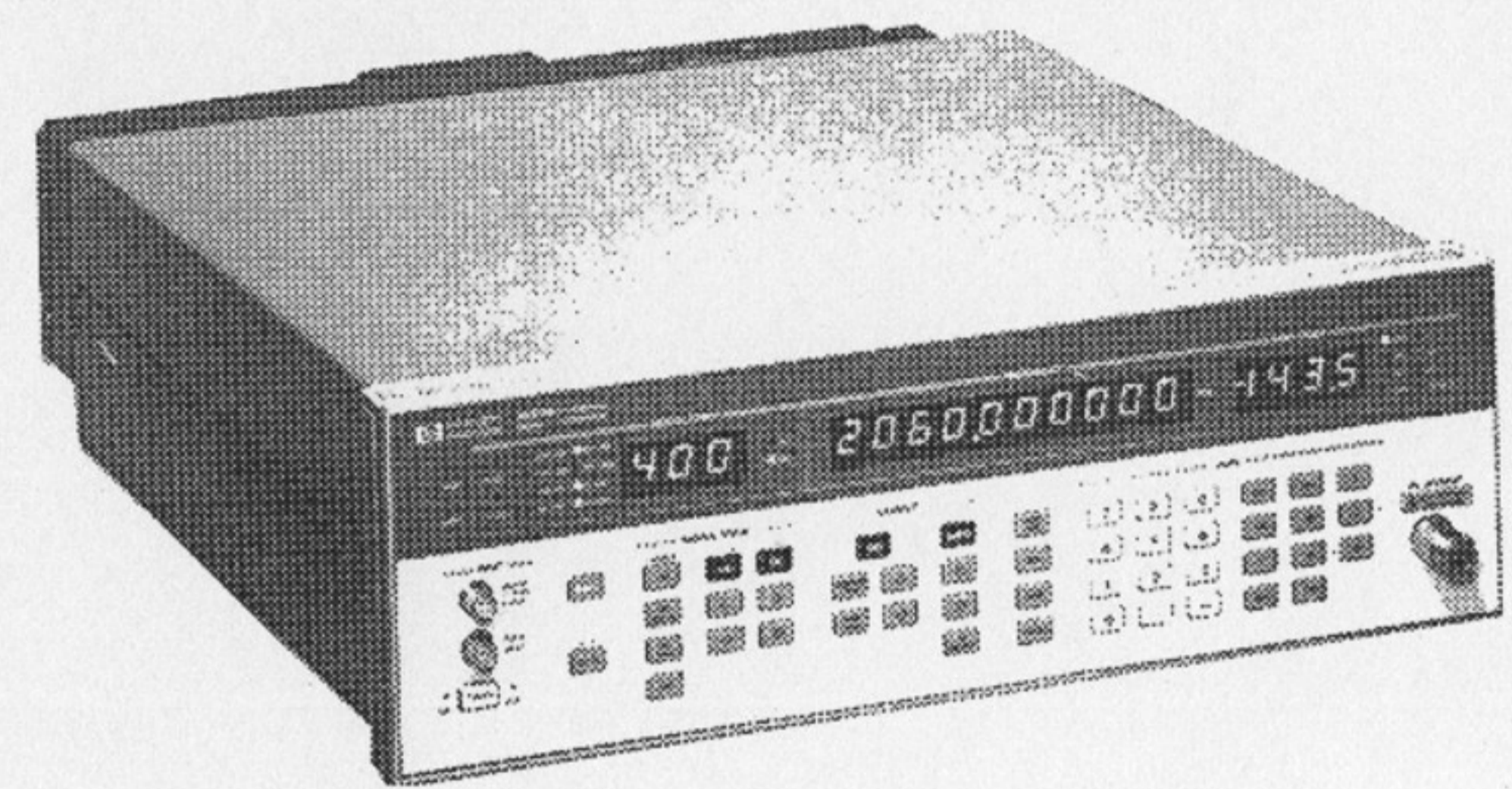


Генератори на електрически сигнали



**Р
а
з
д
е
л

В
т
о
р
и**

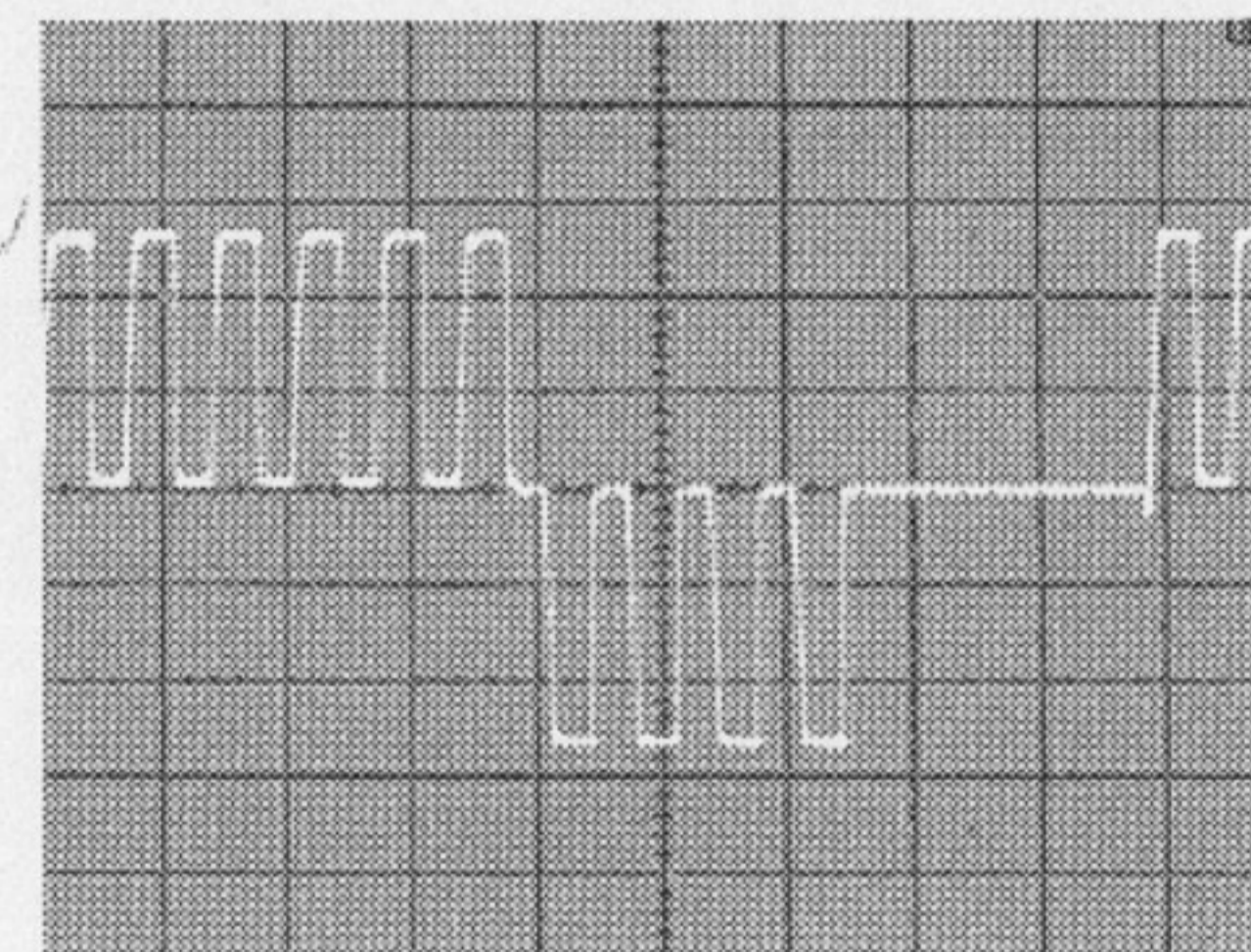
3

Електрически сигнали и тяхното генериране

Ключови думи:



- Сигнал
- Форма
- Честота
- Амплитуда
- Автогенератор
- Атенюатор



Какви знания и умения ще придобиете? Къде се прилагат?

Тази тема ще обогати вашите познания относно:

- параметрите на електрическите сигнали, използвани най-често в инженерната практика;
- основните методи и схеми за генериране на електрически сигнали.

Усвояването на темата ще изгради у вас умения:

- да преценявате правилно качествата на различни фирмени генератори и да избирате подходящи образци за вашия експеримент;
- да ползвате компетентно генераторите във вашата практика.

Получените знания и умения ще са полезни в много области:

- нискочестотна и аудиотехника;
- радиосъобщения и телекомуникации;
- автоматизация на производството;

- проектиране, производство и експлоатация на електронна и изчислителна техника и др.

Въведение

С помощта на електрическите сигнали – носители на определен тип информация, се осъществяват електронните комуникации в обществото.

Основната цел, която трябва да се постигне с тази тема, е утвърждаване на практически познания за основните характеристики на електрическите сигнали и методите за тяхното генериране.

В изпълнение на тази основна цел се дава отговор на следните въпроси:

- Какво представляват електрическите сигнали? Кои параметри характеризират тяхната същност?
- Кои ги генерира?
- В коя област на техниката се използват?

Основно място е отделено на генераторите на немодулирани и модулирани електрически трептения и на генераторите на импулсни сигнали.

3.1. Класификация и основни характеристики на генераторите на сигнали

Класификацията на генераторите може да се извърши по различни признаци: форма на сигналите, честота, приложна област и др.

В настоящата тема те са разпределени в четири групи: генератори на синусоидални трептения; функционални генератори; импулсни генератори и специални генератори.

Основни характеристики и параметри, които определят потребителските функции на генераторите, са:

- форма на генерираните сигнали;
- покривана честотна област;
- начин и точност на задаване на честотата;
- нестабилност на честотата във времето;
- температурна нестабилност на честотата;
- амплитудна (или ефективна) стойност на изходното напрежение, обхват на изменение, начин на задаване;
- точност на задаване на амплитудата;
- нестабилност на амплитудата при изменение на честотата;
- изходно съпротивление.



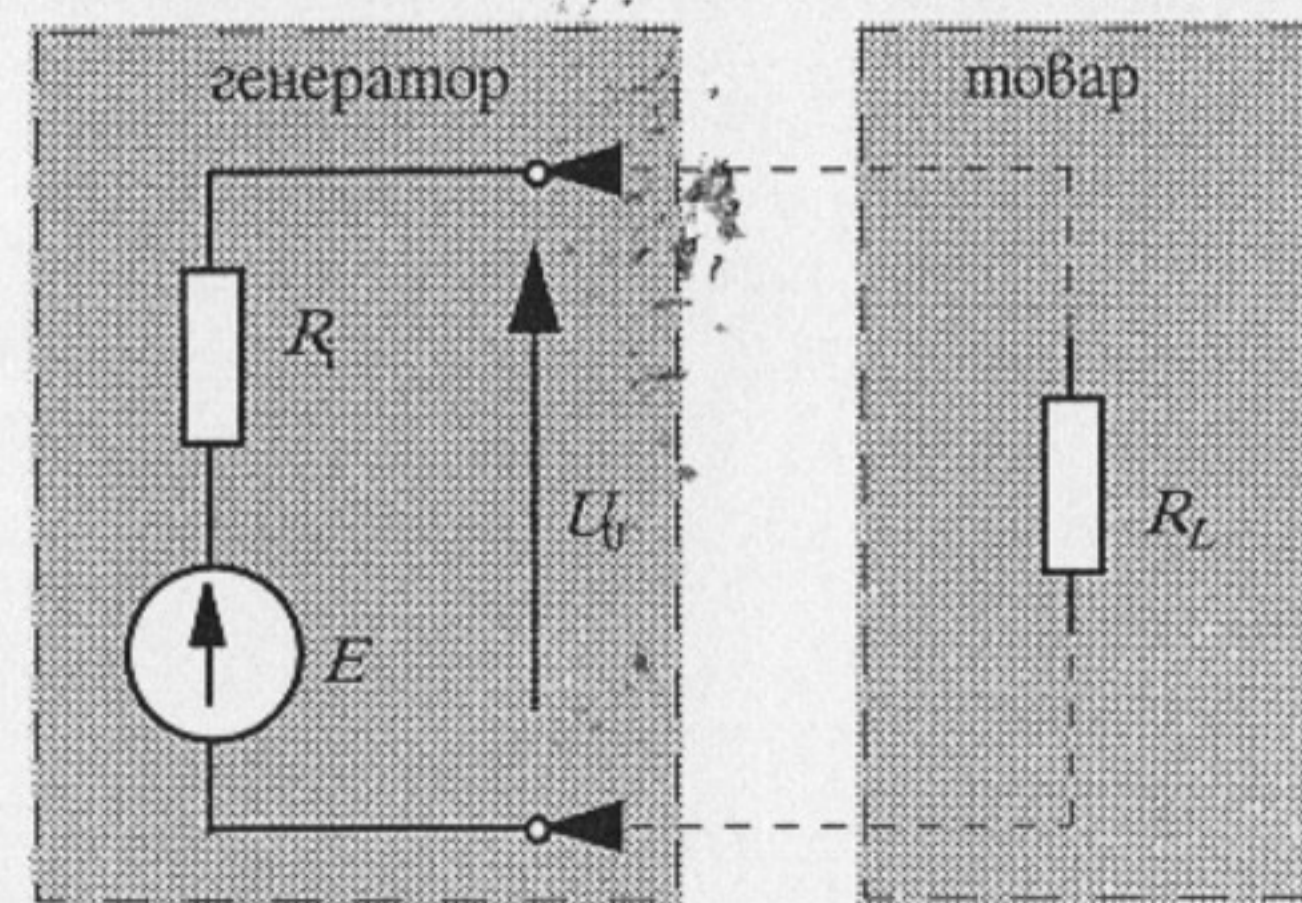
Важно! Еквивалентната схема на генератора на сигнали е генератор на напрежение с вътрешно съпротивление R_f , което е изходното съпротивление на генератора – фиг. 3.1. В някои генератори зададената стойност на изходното напрежение е валидна при работа на празен ход. Когато към изхода на генератора се включи изследваният обект, неговото собствено съпротивление представлява товар за генератора. Действителното напрежение в изхода на генератора намалява спрямо фиксираната чрез управляващите органи стойност.

В други генератори зададената стойност на изходното напрежение е валидна при условие, че товарното съпротивление на генератора R_L е равно на неговото вътрешно съпротивление R_f .



Задачи 3.1

1. За схемата от фиг. 3.1 изведете формулата за относителната грешка на напрежението в изхода на генератора като функция на отношението $\frac{R_f}{R_L}$. Какво напрежение ще се установи в изхода, ако сте програмирали стойност $U_0 = 1$ V при $R_f = \infty$? Колко процента е грешката?
2. Ако точността на задаване на честотата е определена чрез грешка $\delta_f = 1\%$, в какви граници е възможно да се получи



Фиг. 3.1. Еквивалентна схема на генератор

действителната честота на генерирания сигнал, ако сме програмирали честота $f = 1$ kHz? А ако $f = 1$ MHz?

3. Температурната нестабилност на генерираната честота се дава с температурен коефициент $TK_f = 1 \cdot 10^{-4} K^{-1}$. Каква температурна грешка ще се получи за $\pm 10^\circ C$ при зададена честота 1 kHz?



Контролни въпроси 3.1

1. Какви са същността на следните параметри на генераторите на сигнали и начинът на тяхното представяне:
 - а) точност на задаване на честотата;
 - б) нестабилност на честотата във времето;
 - в) температурна нестабилност на честотата.
2. Каква екипировка е необходима за проверка на горните параметри? Опишете кратко измервателните процедури и начина за определяне на тези параметри.

3.2. Генератори на нискофреkwотни синусоидални сигнали

3.2.1. Нискофреkwотни генератори

Нискофреkwотните генератори на синусоидални трептения са едни от най-евтините и с широко приложение уреди.

Структурна схема

Структурната схема на нискофреkwотен генератор е показана на фиг. 3.2.

Тя се състои от следните блокове: ЗБ – захранващ блок; ЗГ – задаващ генератор; БУ – буферен усилвател; ампероатор.

Основни параметри на нискофреkwотните генератори

Генераторите от този тип се характеризират със следните основни параметри:

Честотен обхват. Обикновено е в границите от 20 Hz до 20 kHz. Някои генератори работят в честотна

област до 100 kHz или до 1 MHz.

Точност на установяване на честотата. При генераторите, в които не се извършва цифрово отчитане на честотата, точността не е висока.

Обикновено $\frac{\Delta f}{f} = 1 + 5 \cdot 10^{-2}$.

Изходна амплитуда и възможност за регулиране. В най-разпространените модели изходната амплитуда се регулира в границите от 1 mV до няколко волта.

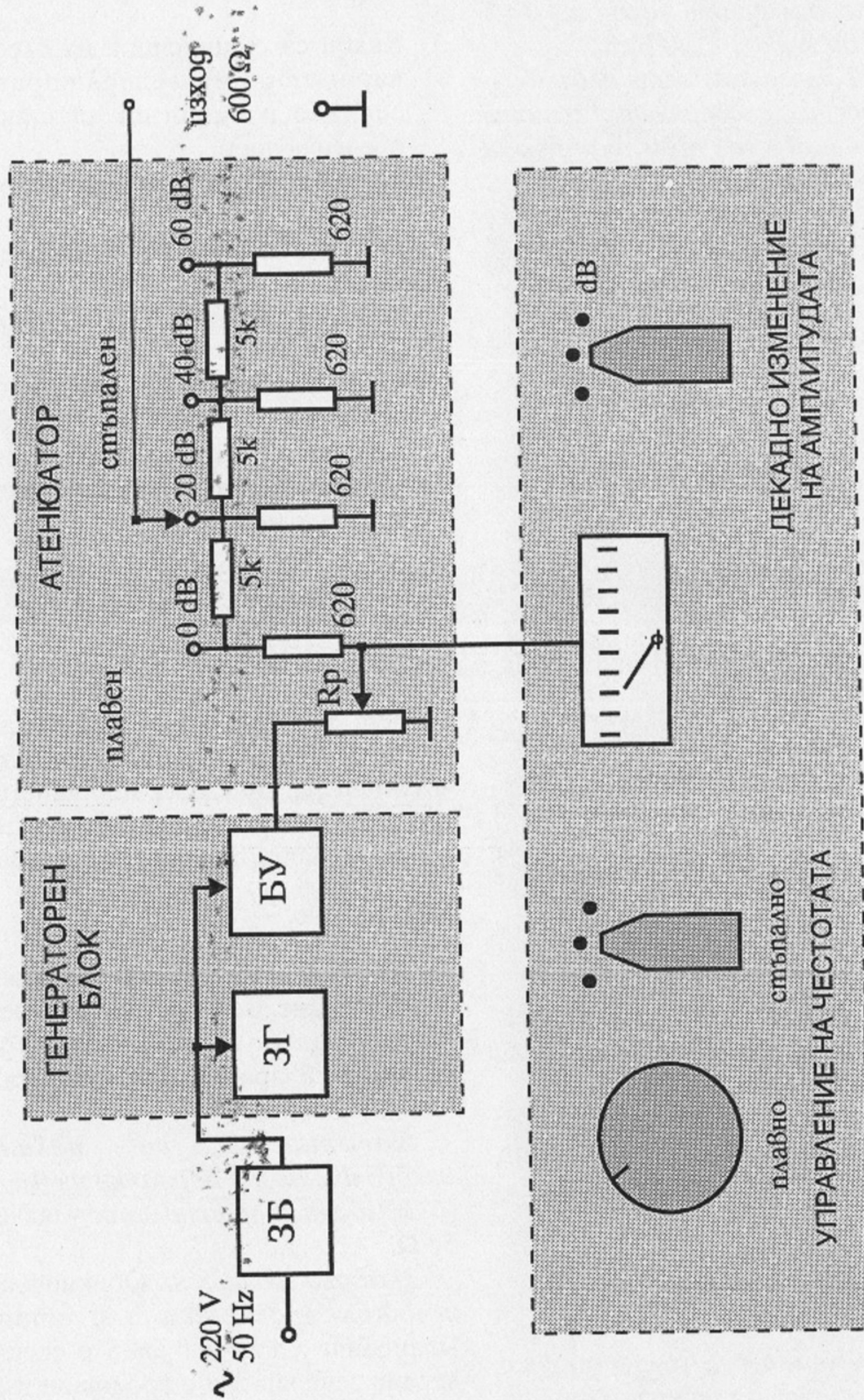
Коефициент на нелинейни изкривявания от порядъка на 0,1-1%.

Изходно съпротивление – 600 Ω или 50 Ω .

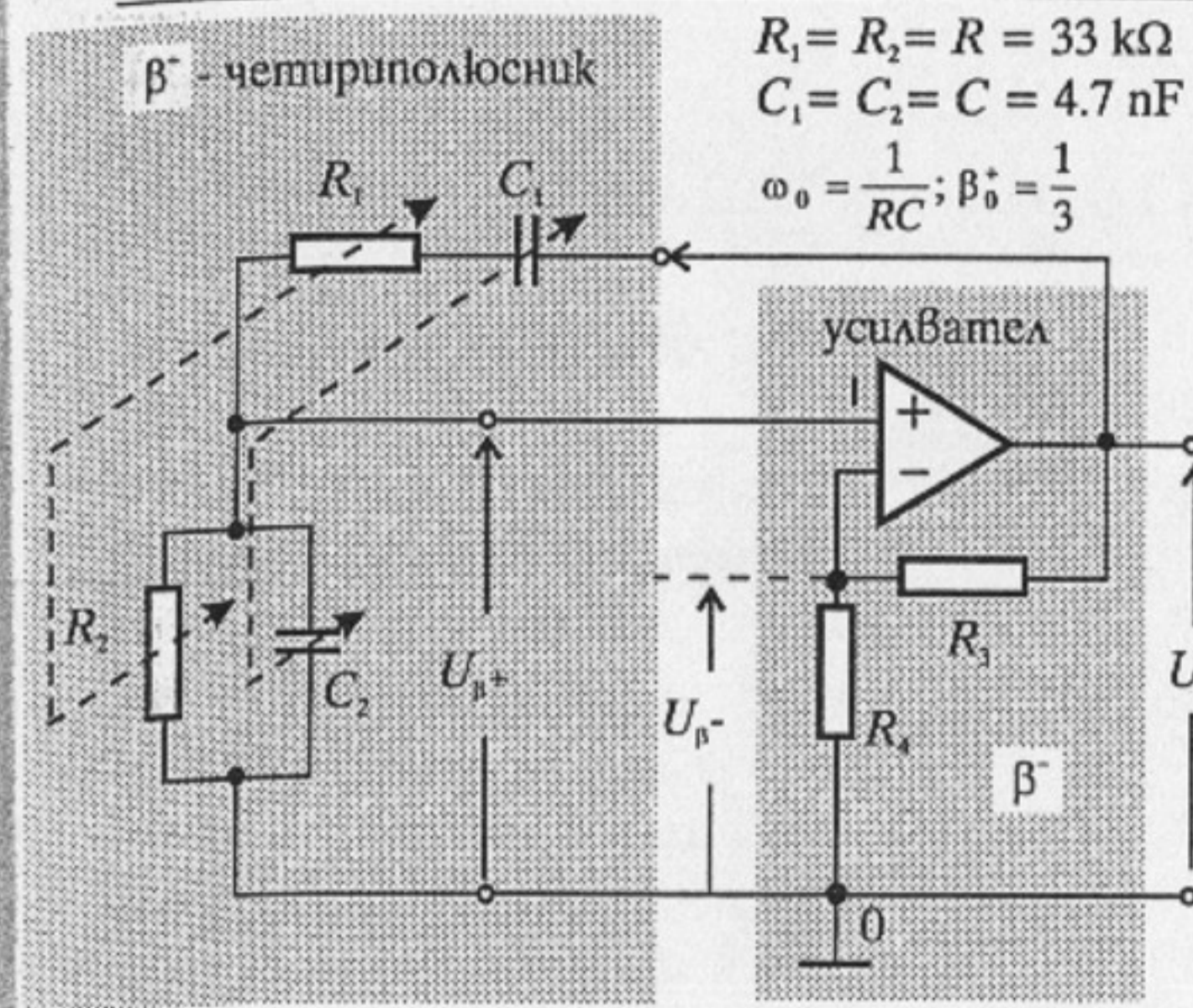
Изходна мощност. Обикновено тя е няколко десетки или стотици миливати. Съществуват и специализирани генератори с по-мощни изходи.

Задаващ генератор

Класическата схема на задаващ генератор е показана на фиг. 3.3. Тя се



Фиг. 3.2. Структурна схема на нискочестотен генератор



$$R_1 = R_2 = R = 33 \text{ k}\Omega$$

$$C_1 = C_2 = C = 4.7 \text{ nF} \quad (3.3a)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}; \beta_0 = \frac{1}{3} \quad (3.3b)$$

$$\varphi_{\beta^+} + \varphi_{A_F} = 0;$$

$$\beta^+ \cdot A_F = 1.$$

Не е трудно да се намерят следните изрази за β^+ и A_F :

$$\beta^+ = \frac{U_{\beta^+}}{U_2} = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1} + j \left(\omega R_1 C_2 - \frac{1}{\omega R_2 C_1} \right)} \quad (3.4)$$

$$A_F = A_F \cdot e^{j\varphi_{A_F}} \quad (3.5)$$

Фиг. 3.3. Автогенератор с мост на Вин

състои от усилвател с дълбока отрицателна обратна връзка (резистори R_3, R_4), обхванат с положителна обратна връзка чрез честотно зависимия четириполосник, съставен от елементите R_1, C_1, R_2, C_2 .

Знае се, че при положителна обратна връзка коефициента на усилване A_{F^+} се изразява с формулата:

$$A_{F^+} = \frac{A_F}{1 - \beta^+ \cdot A_F} \quad (3.1)$$

където A_F е коефициентът на усилване на усилвателната част; β^+ - коефициентът на предаване на честотно зависимия четириполосник.

Схемата се самовъзбужда при условие, че знаменателят в (3.1) стане равен на нула, при което се получава

$$\beta^+ \cdot e^{j\varphi_{\beta^+}} \cdot A_F \cdot e^{j\varphi_{A_F}} = 1, \quad (3.2)$$

където β^+ и A_F са модулите, а φ_{β^+} и φ_{A_F} - фазите на съответните величини.

От (3.2) се получават амплитудното и фазовото условие за самовъзбуждане:

Когато се приеме $\varphi_{A_F} = 0$, то от (3.3a) следва, че $\varphi_{\beta^+} = 0$, т. е. β^+ трябва да е реално число.

Това е възможно при $\omega R_1 C_2 = \frac{1}{\omega R_2 C_1}$, откъдето се получават честотата на възможната генерация и модулът на коефициента на предаване на β^+ четириполосника:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}; \quad (3.6)$$

$$\beta_0^+ = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}} \quad (3.6a)$$

Като се имат предвид (3.3b) и (3.5), се намира

$$\frac{R_4}{R_3 + R_4} = \beta_0. \quad (3.7)$$

Проблеми

1. Когато от конструктивно-технологични уюбства се избере

$R_1 = R_2 = R$ и $C_1 = C_2 = C$, допуските в параметрите на тези елементи причиняват изменение в коефициента на предаване β_0^+ . Когато неговата стойност се увеличи, нараства амплитудата на генерираното напрежение и съответно клирфакторът на сигнала. Когато допуските в елементите предизвикат намаление на β_0^+ , генерираната амплитуда намалява и е възможно изчезване на генерациите.

2. При поява на фазова разлика в усилвателния елемент честотата на генерирания сигнал е изместена спрямо квазирезонансната честота

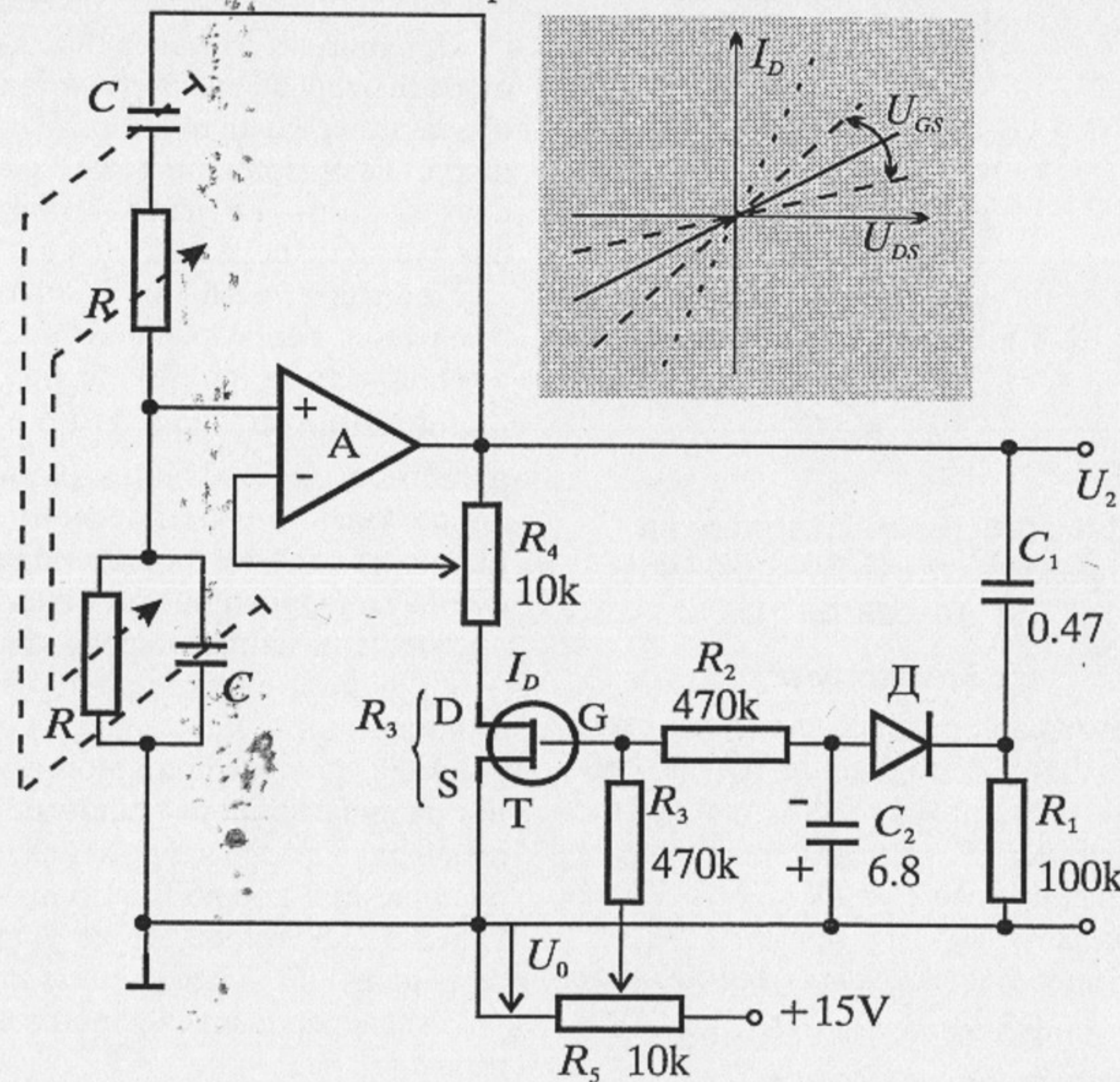
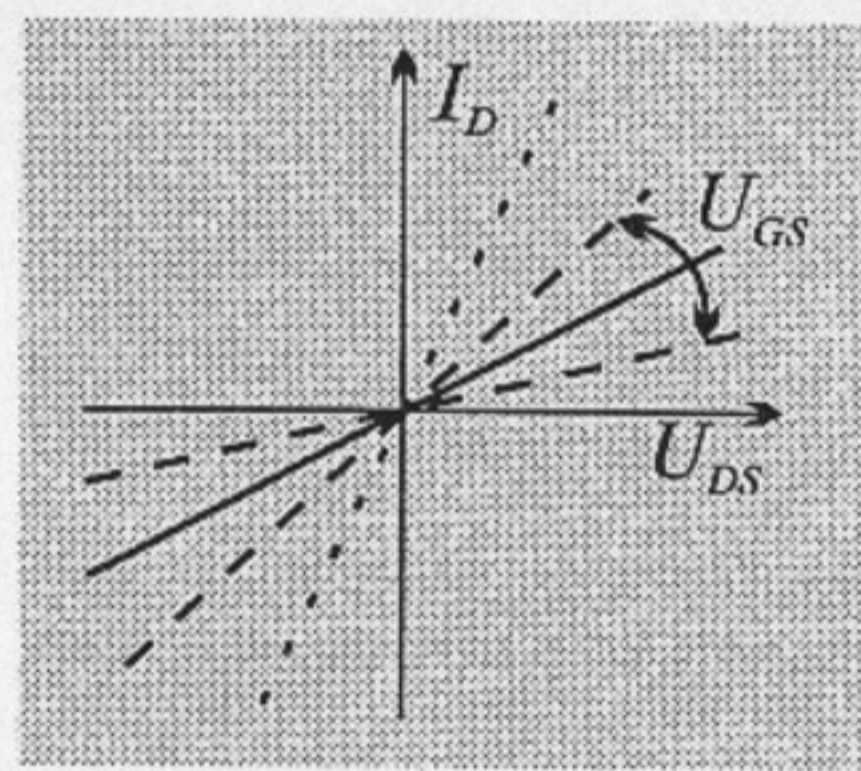
$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$ на четириполосника, включен в положителната обрат-

на връзка на схемата. Осцилациите са нестабилни.

Решение на проблемите

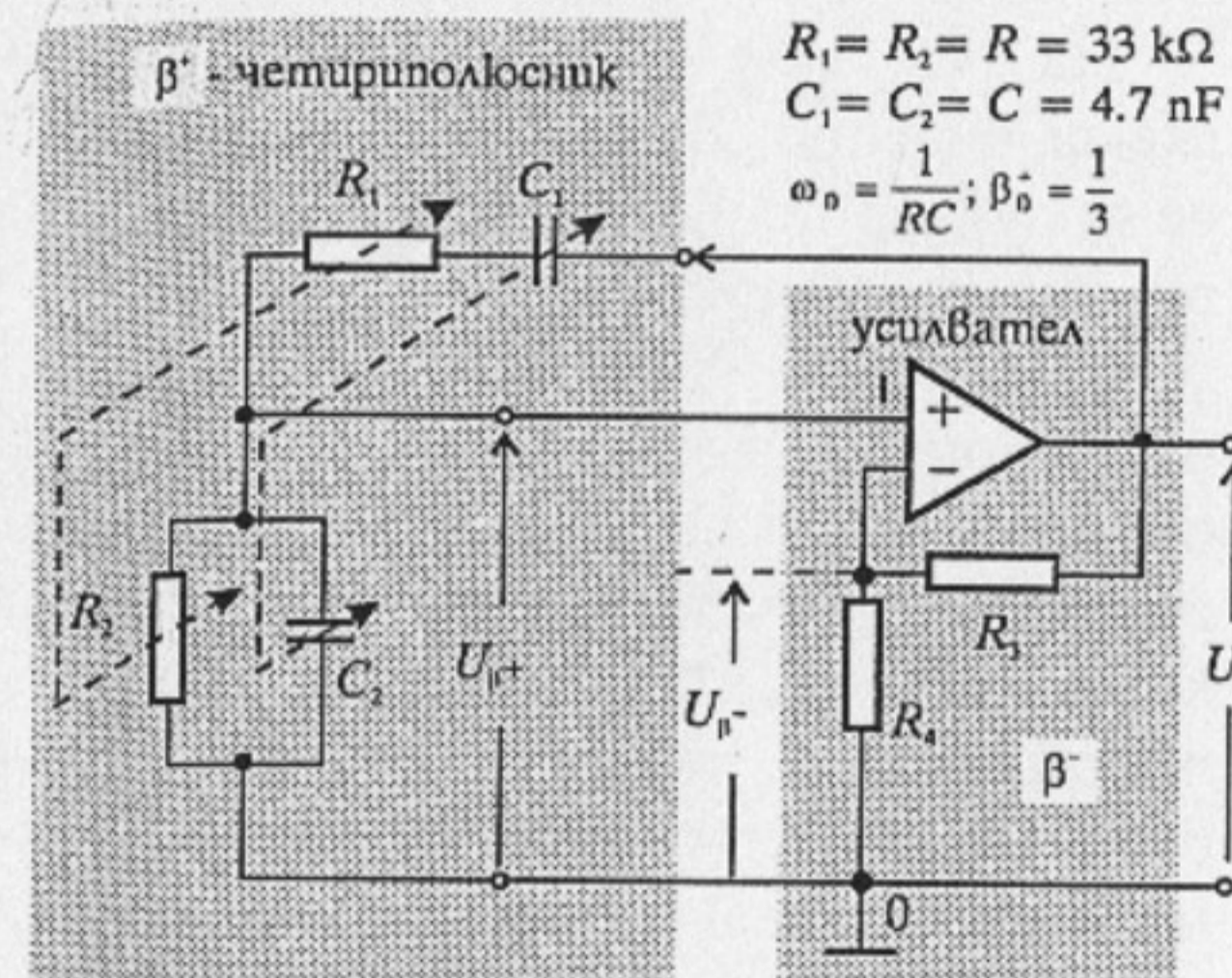
1. Използване на усилватели с гранична честота, превишаваща най-високата честота на генерации.
2. Използване на RC-елементи с малки допуски.
3. Прилагане на амплитудно зависима отрицателна обратна връзка, с която се постига автоматично регулиране на усилването (APU). Една от възможните реализации на такава обратна връзка е показана на фиг. 3.4.

Разглежданите генератори често се наричат генератори от RC-тип. В тях покриваният честотен обхват се



Фиг. 3.4. RC-генератор с АРУ

разделя на подобхвати: 20 Hz – 200 Hz, 2 kHz – 20 kHz и т. н. За целта се превключват едновременно кондензаторите C_1 и C_2 със съответните стойности за всеки подобхват. Плавното изменение на честотата се постига чрез използване на съвоен потенциометър. Възможна е и обратната комбинация – плавно изменение на капацитетите и декадно изменение на съпротивлението.



Контролни въпроси 3.2

1. Какви групи генератори на сигнали познавате?
2. В коя област на техниката се използват нискофреkwентните генератори на хармонични трептения?
3. Каква е структурата на генераторите на нискофреkwентни сигнали? Кои параметри на сигналите могат да се управляват?
4. Обяснете физичната същност на процеса на автогенерация на синусоидални сигнали в съответствие със схемата на фиг. 3.3.
5. Кои фактори влияят върху нестабилността на трептенията в честотната област? Какви мерки се предприемат за намаляване на това влияние?



Задачи 3.2

1. За схемата от фигурата намерете честотата на генерация f_0 и коефициента на усилване A_F при условие, че: $R_1 = R_2 = R = 1 \text{ k}\Omega$; $C_1 = C_2 = C = 160 \text{ nF}$; $\varphi_{AF} = 0$. Оразмерете резисторите R_3 и R_4 .

Реш № 2

3.3. Функционални генератори

Функционални генератори са устройства, които произвеждат сигнали със синусоидална, правоъгълна и триъгълна форма.

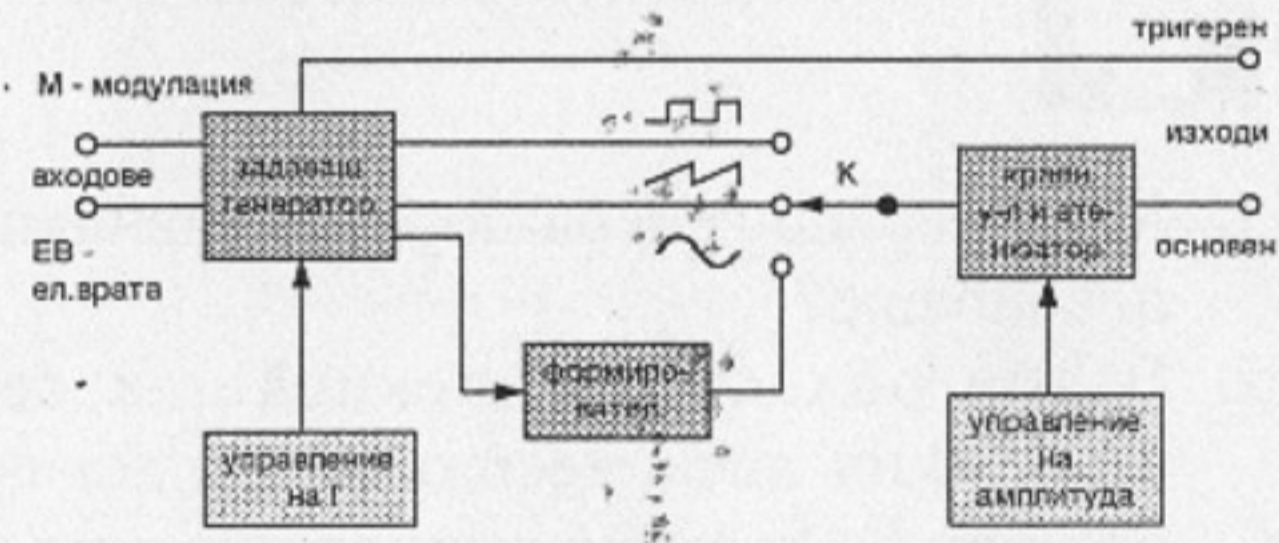
В първото поколение функционални генератори управлението на параметрите на сигналите се осъществява от лицевия панел с помощта на прог-

рамни превключватели.

Второто поколение функционални генератори е с микропроцесорно управление и гъвкава логика. Параметрите се задават програмно с помощта на управляващи бутони, разположени на лицевия панел.

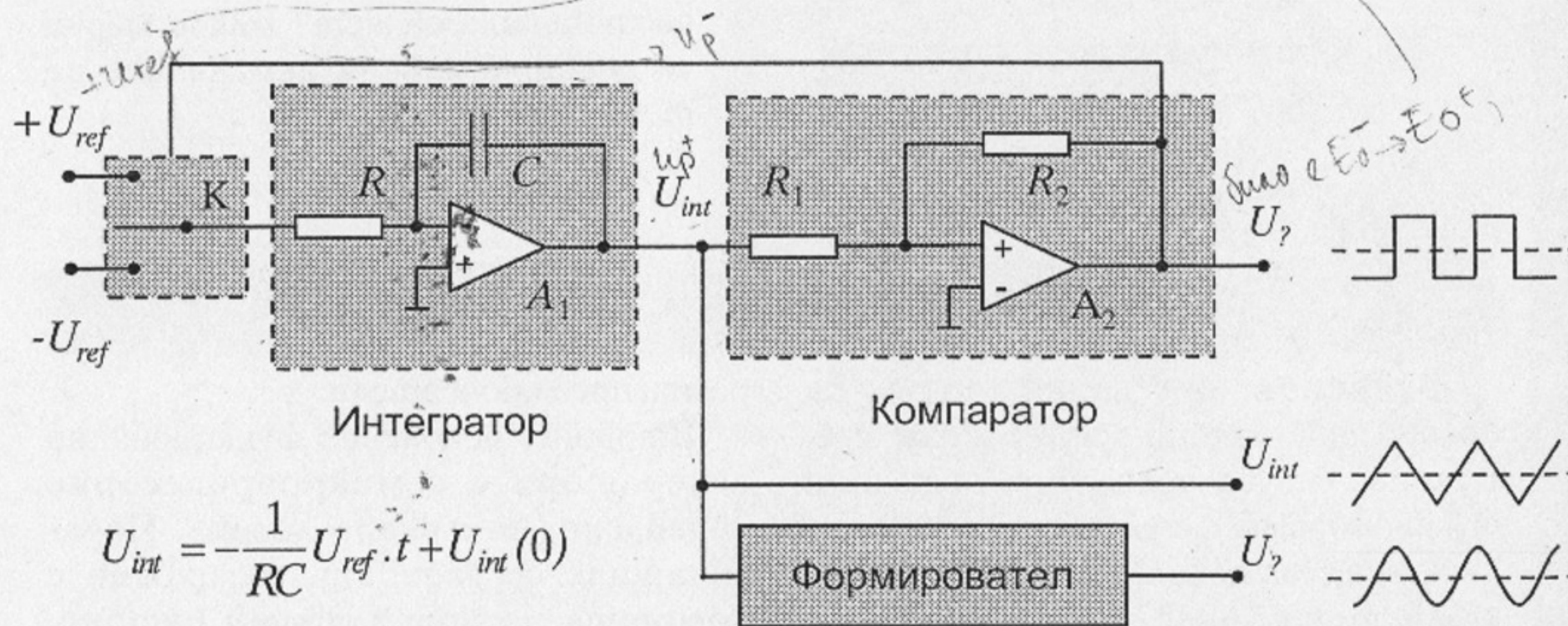
3.3.1. Структурна схема на функционален генератор

Съществуват различни структурни схеми на функционалните генератори. Един такъв опростен вариант е показан на фиг. 3.5. Схемата е съставена от: блок за генериране на периодичния сигнал; блок за програмно задаване на честотата; блок за формиране на синусоидална форма; краен усилвател и атенюатор за управление на нивото на изходния сигнал. С ключа К се избира формата на изходното напрежение.



Фиг. 3.5. Структурна схема на функционален генератор

В структурната схема са показани два изхода: основен и тригерен. Тригерният изход служи за пускане в действие на други схеми и устройства. Функционалният генератор има два входа. По вход М се осъществява



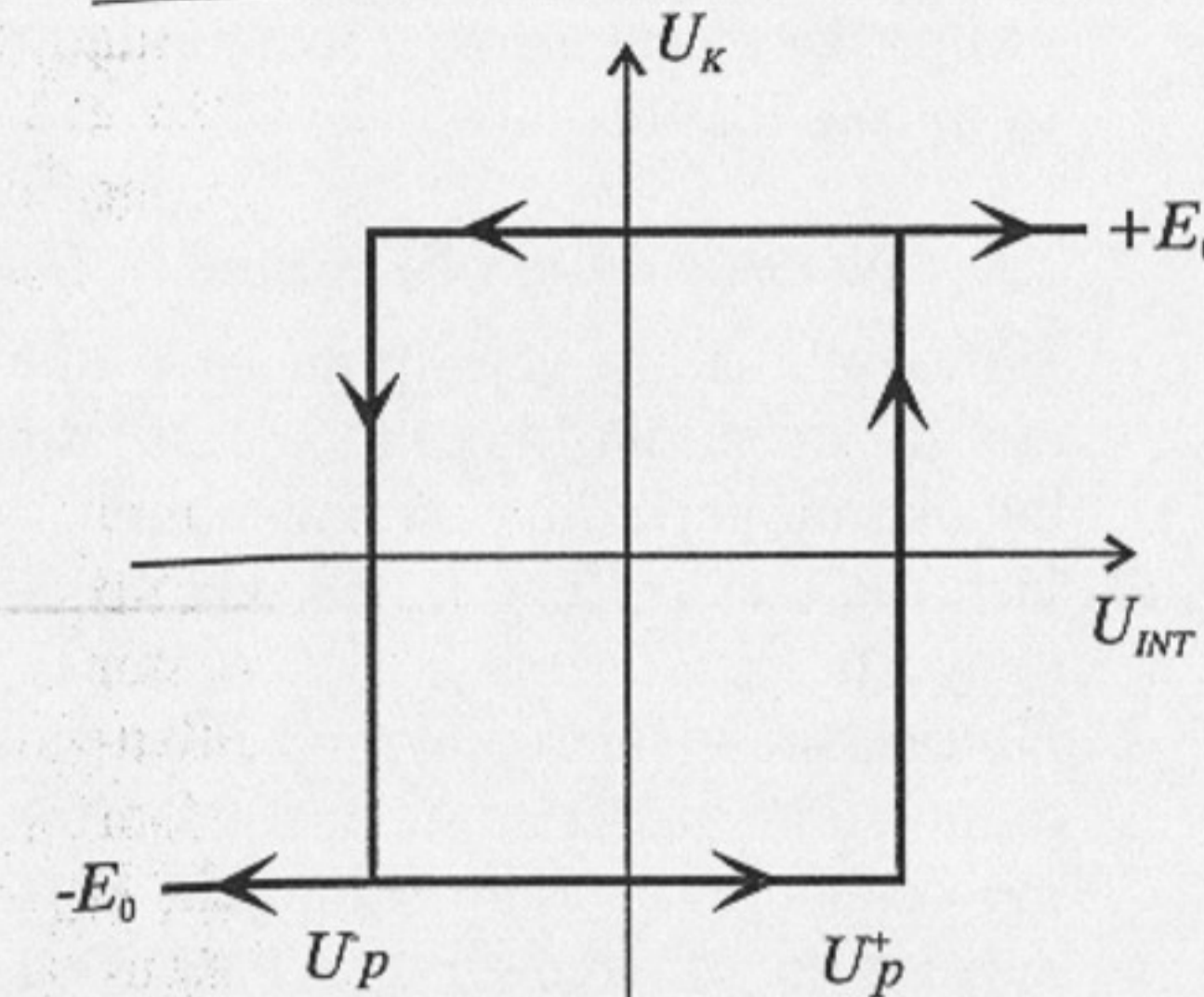
Фиг. 3.6. Генераторна схема на функционален генератор

честотна модулация на сигнала с помощта на външен източник. Вход ЕВ (електронна врата) се използва за управление на генерациите с външни импулси. Генерациите съществуват само тогава, когато на входа е подаден сигнал логическа единица.

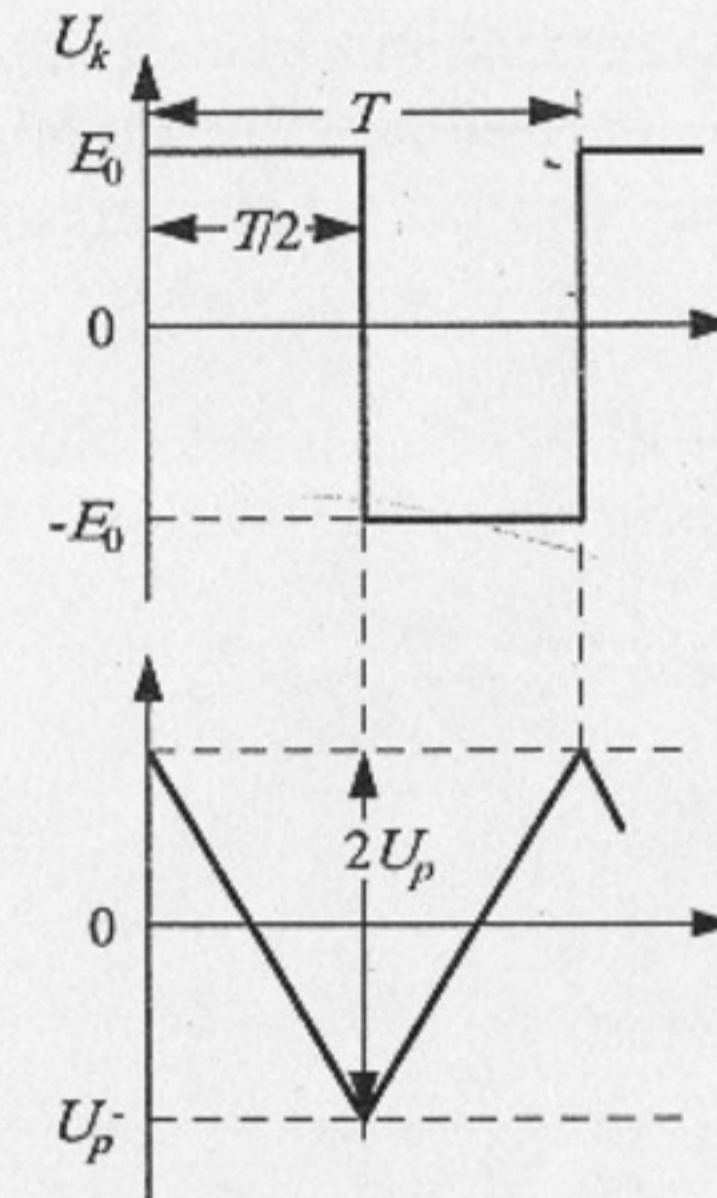
3.3.2. Принципна схема на генериращата част на функционален генератор

На фиг. 3.6 е показана генераторна схема, в чиито два изхода автоматично се получава правоъгълно, респективно триъгълно напрежение.

Схемата се състои от интегратор и компаратор, обхванати от обща обратна връзка чрез електронен ключ по следния начин. Когато в изхода на компаратора напрежението U_K има положителна стойност ($+E_0$), към входа на интегратора се подава прецизно напрежение $+U_{ref}$. Когато напрежението U_K сменя полярността си, към входа на интегратора се подава напрежение $-U_{ref}$. Схемата може да работи и при положение, че изходът на компаратора е свързан непосредствено към входа на интегратора.



Фиг. 3.7. Предавателна характеристика на компаратор с хистерезис



Фиг. 3.8. Времедиаграми на напреженията във функционален генератор

Компаратор

Компараторът представлява схема на усилвател, обхванат от положителна обратна връзка чрез резисторите R_1, R_2 . Предавателната му характеристика $U_K = f(U_{INT})$ е показана на фиг. 3.7.

Хистерезисът се определя от праговете напрежения U_p и U_p^+ , които се намират съгласно формулата

$$(3.8) \quad U_p = -\frac{R_1}{R_2} U_K; U_{K1,2} = \pm E_0. \quad (3.11)$$

Интегратор

Предавателната функция на интегратора е

$$(3.9) \quad U_{INT} = -\frac{1}{RC} \int_0^t U_{ref} dt.$$

Понеже $U_{ref} = \text{const}$, то от (3.9) се получава

$$(3.10) \quad U_{INT} = -\frac{1}{RC} U_{ref} \cdot t + U_{INT}(0);$$

$$\frac{dU_{INT}}{dt} = -\frac{1}{RC} U_{ref}.$$

Съгласно (3.10), когато $U_{ref} > 0$, U_{INT} намалява по линеен закон с времето. При $U_{ref} < 0$ напрежението в изхода на интегратора нараства линейно.

Принципът на действие на генератора се основава на обратната връзка, обхващаща компаратора и интегратора. Този принцип може да се проследи, като се използват времедиаграмите, показани на фиг. 3.8а, б.

Прието е, че в условната нула на времето t напрежението в изхода на интегратора достига праговото напрежение U_p^+ , при което компараторът превключва изходното си състояние от напрежение $-E_0$ в напрежение $+E_0$, обратната връзка сменя полярността на входното напрежение на интегратора от $-U_{ref}$ на $+U_{ref}$ и напрежението в изхода на интегратора намалява. Това продължава, докато изходното напрежение на интегратора достигне отрицателното прагово напрежение на компаратора, при което той отново превключва и в изхода му се установява отрицателно напрежение и т. н.

За генерираната честота е валиден изразът

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

Управление на честотата във функционалните генератори

Формула (3.11) показва, че честотата е линейна функция на напрежението U_{ref} . Следователно нейното изменение може да се управлява чрез U_{ref} .

Ако U_{ref} се изменя плавно (примерно с потенциометър), управлението е аналогово.

Ако напрежението U_{ref} се задава с помощта на цифрово-аналогов преобразувател – честотата се управлява програмно. В този случай изменението е с определена дискретна стъпка.

Ако напрежението U_{ref} се сумира с периодично изменящо се напрежение, в схемата се получава честотна модулация.

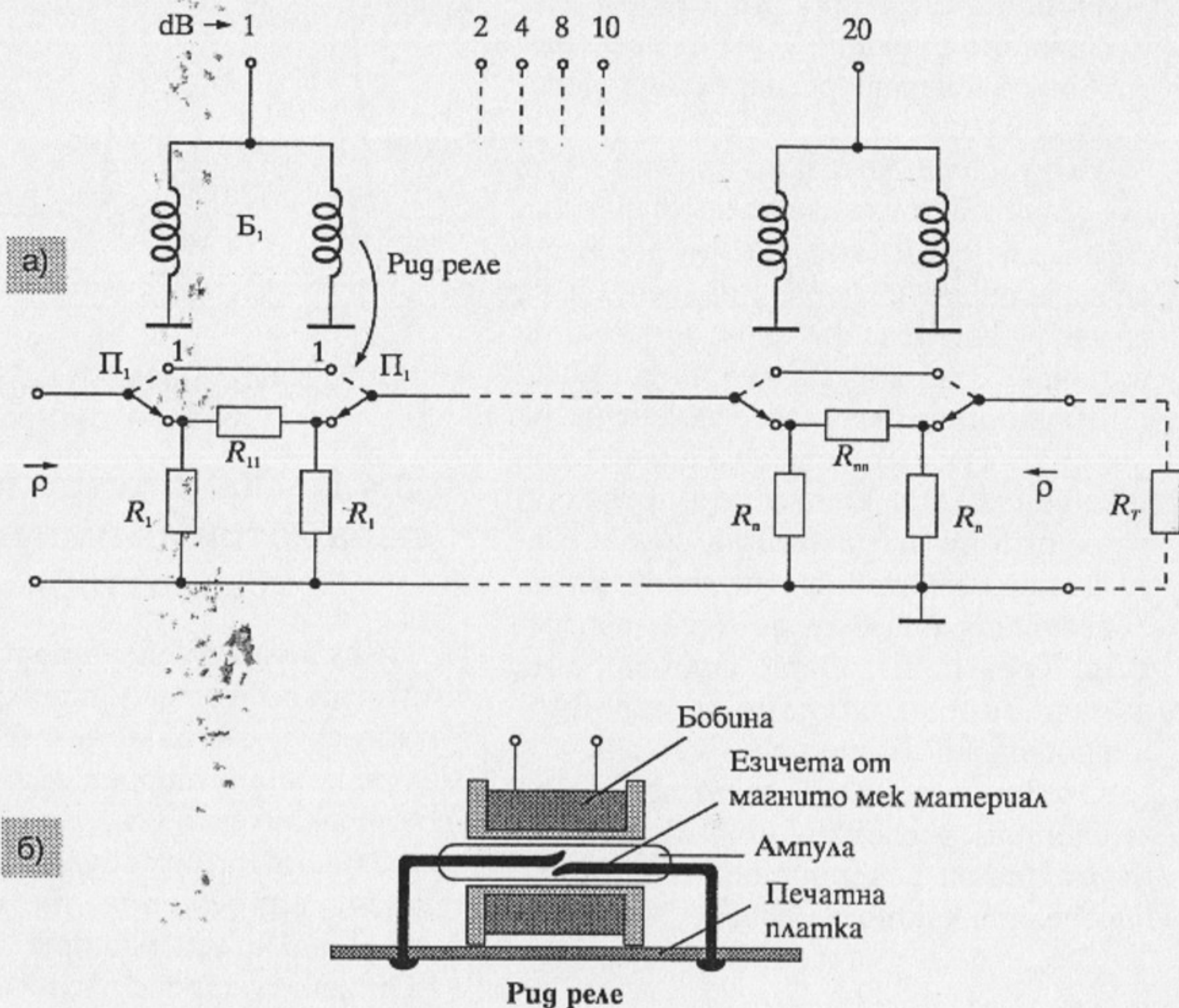
Поради възможността за изменение на честотата посредством напрежение описаната схема от фиг. 3.6

спада към широко известния клас схеми, наречени генератори, управлявани с напрежение (ГУН или VCO – Voltage Controlled Oscillator).

Управление на амплитудата

Възможни са различни способы за изменение на амплитудата във функционалните генератори. Един от често използваните е цифрово-управляем атенюатор, при който се включват затихвателни звена, управлявани в степени 1-2-4-8 dB (фиг. 3.9). Физическото включване на звеното се осъществява от магнитно-управляеми контакти (рид-релета). Те позволяват монтаж върху самата печатна платка, с което се реализира далечно управление без изнасяне на връзките с активни потенциали до органите за управление.

Елементите на всяко звено се



Фиг. 3.9 Програмно управление на затихвател и конструкция на рид-реле

Таблица 3.1

Означение	f_{max} MHz	Форма на сигналите	f_{max} / f_{min}	Вход АМ	Вход ЧМ	Нестабилност $10^{-6}/K$
2206	1		2000/1	да	да	50
2207	1		1000/1	не	да	50
8038	1		1000/1	не	не	50
VFC110	4		-	не	да	-
MAX038	20		$2 \cdot 10^8/1$	да	да	200

изчисляват с формулите:

$$(3.12) \quad R_n = \rho \frac{1 + K_n}{1 - K_n}; R_m = \rho \frac{1 + K_1^2}{2K_1},$$

където ρ е характеристично съпротивление (50Ω или 600Ω); $K_n = \frac{U_n}{U_{n-1}}$

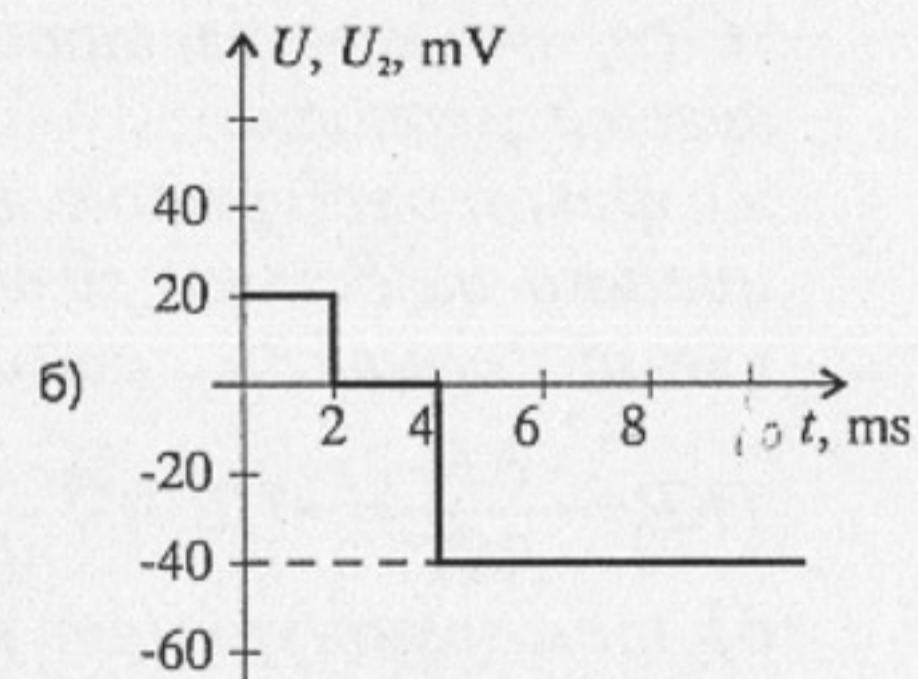
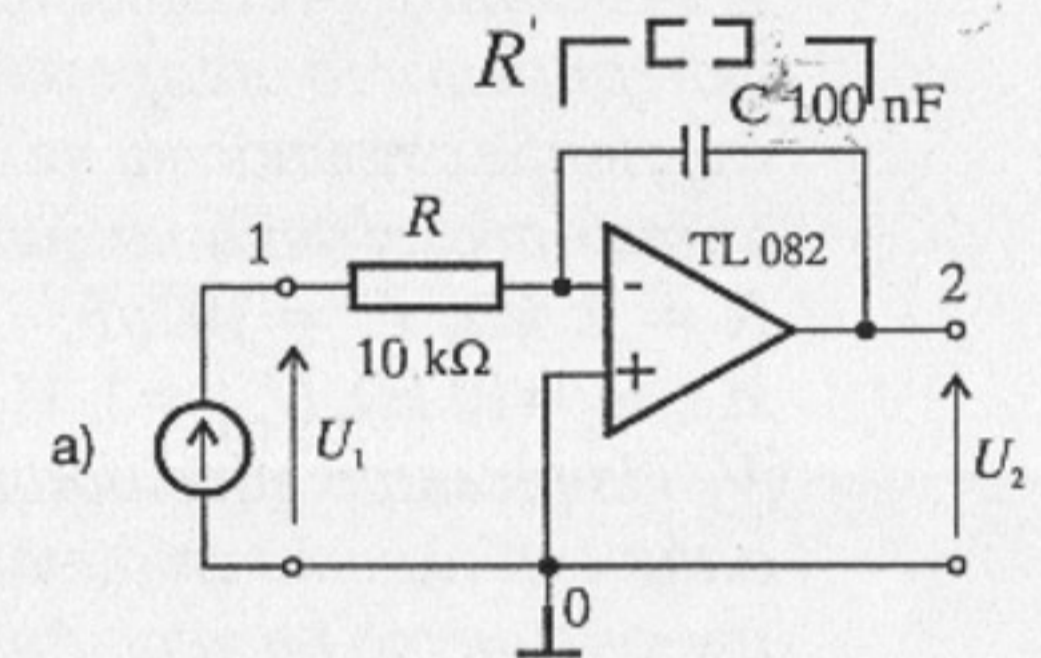
– затихването на звеното. В децибелите е равно на $20 \lg K_n$. Общото затихване в децибелите е сумата от затихванията на включените във веригата звена (превключвателите П са в положение 2). Затихванията на звената са подредени в степени 1-2-4-8, dB.

3.3.2. Интегрални схеми от типа преобразуватели напрежение – честота

Уникалните свойства на преобразувателите напрежение – честота са причина редица фирми да произвеждат интегрални схеми с такива свойства. При това се използват и други принципи на преобразуване, например автогенериращ мутивибратор (схема 74124), схеми със стабилизиращ ток и др.

В табл. 3.1 са дадени основни данни за някои интегрални схеми от типа преобразуватели напрежение–честота.

чиято времедиаграма е показана. Направете необходимите изчисления и начертайте времедиаграмата на изходното напрежение при нулево начално условие $U_2(0)=0$, като приемете, че операциония усилвател е идеален ($R' = \infty$).



$$R' = \infty; U_1 = 0; U_{20} = \pm U_{i0} \left(1 + \frac{t}{RC}\right) + I_B^- \frac{t}{C}$$

$$R' \neq \infty; U_1 = 0; U_{20} = \pm U_{i0} \left(\frac{R+R'}{R}\right) + I_B^- R'$$

Фиг. 3.10

2. При условията на предходната задача и $R' = \infty$ намерете



Задачи 3.3

1. Към входа на схемата от фиг. 3.10а се подава напрежение,

грешката в изходното напрежение U_{00} в края на втората милисекунда породена от:

а) входното напрежение на несиметрия $U_N = 5 \text{ mV}$.

б) входния поляризиращ ток на операционния усилвател

$$I_B^* = 100 \text{ nA}$$

в) сумарната грешка

г) изчислете изместването на нулата в изхода при $R' = 1 \text{ M}\Omega$.

3. Изведете израз (3. 8), изчислете праговите напрежения и начертайте предавателната характеристика на компаратора за $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$, $E_0 = 12 \text{ V}$ (операционният усилвател се приема за идеален).

4. Изведете формула (3. 11). Изчислете честотата на генерираното напрежение за следните стойности на величините от схемата на фиг. 3.6.

$R = 2 \text{ k}\Omega$, $C = 10 \text{ nF}$, $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, $U_{ref} = 1 \text{ V}$, $E_0 = 12 \text{ V}$.

Изчислете абсолютната и относителната стойности на изменението на честотата за температурни отклонения $\pm 10^\circ \text{C}$ спрямо номиналната, като знаете следното:

а) температурните коефициенти на всички резистори имат еднаква стойност

$$TKR = \frac{\Delta R}{R\Delta T} = -1,2 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{K}}$$

б) температурният коефициент на кондензатора е

$$TKC = \frac{\Delta C}{C\Delta T} = 1,5 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{K}}$$

в) температурните коефициенти на изменение на напреженията U_{ref} и E_0 са съответно:

$$TKU_{ref} = \frac{\Delta U_{ref}}{U_{ref}\Delta T} = 2 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{K}}$$

$$TKE_0 = 8 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{K}}$$



Контролни въпроси 3.3

- Обяснете действието на компаратора от фиг. 3.6. Изведете праговите напрежения и начертайте предавателната му характеристика.
- Обяснете действието на интегратора от фиг. 3.6. Изведете израза на предавателната му характеристика при условие на идеален операционен усилвател (коефициент на усилване А и входни токове, равни на нула).
- Опишете действието на функционалния генератор, като обясните ролята на общата обратна връзка. Очертайте диаграмите на генерираните напрежения и изведете израза за честотата на генерации.
- Какви начини за регулиране на честотата във функционалния генератор знаете?

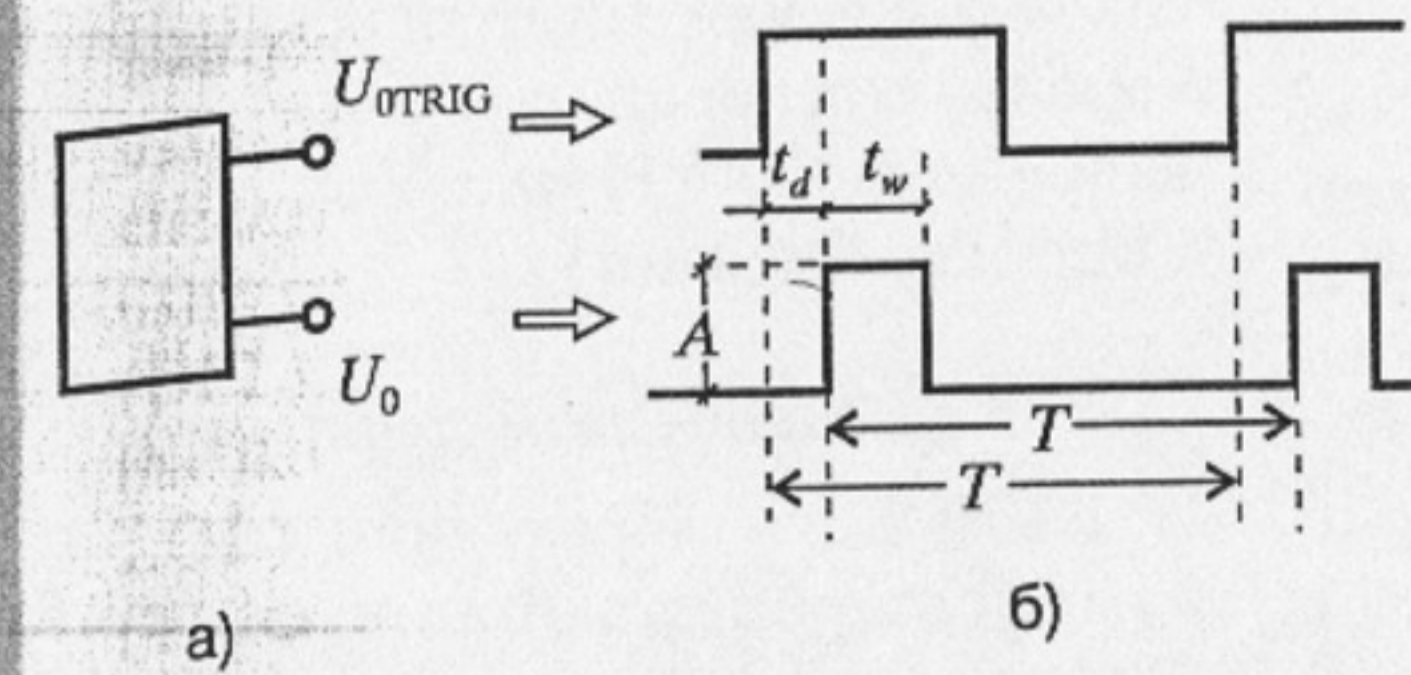
3.4. Импулсни генератори

3.4.1. Обща характеристика

Импулсните генератори създават импулсни по форма напрежения с възможности за изменение на параметрите им в широки граници. В най-общия случай те представляват

устройство с два изхода – основен изход и тригерен изход – фиг. 3.11а.

Тригерният изход е най-често със стандартни TTL нива. Честотата на импулсите в основния изход повтаря честотата на сигнала от тригерния изход. Могат да се управляват след-



Фиг. 3.11. Импулсен генератор и неговите изходни напрежения

ните параметри:

t_d – закъснение на импулсите спрямо тези от тригерния вход;

t_w – широчина на импулсите;

A – амплитуда на импулсите.

Съществуват генератори, в които се регулират и фронтовете на импулсите или са създадени възможности за подчиняване на тяхната форма на различните функции. Това са последно поколение генератори, наречени мултифункционални.

Импулсите, показани на фиг. 3.11б, са идеални. Те биха изглеждали така на екрана на осцилоскоп, ако фронтовете на нарастване и спадане на импулса са пренебрежимо малки спрямо тяхната широчина и период. Реалната форма на генерираните импулси е показана на фиг. 3.12. Тук също така са отразени и условията, при които се определят различните параметри, характеризиращи качеството на импулса, т. е. неговата близост до идеалния импулс. Това са неговите фронтове на нарастване и спадане и неравномерността в платото и паузата.

Очевидно минималният период на генерации, респективно максимално възможната генерирана честота се определят, както следва:

$$(3. 13) \quad T_{\min} = \frac{1}{f_{\max}} = t_r + t_{p1} + t_f + t_{p2}$$

Временните параметри, участващи в израз (3. 13), са:

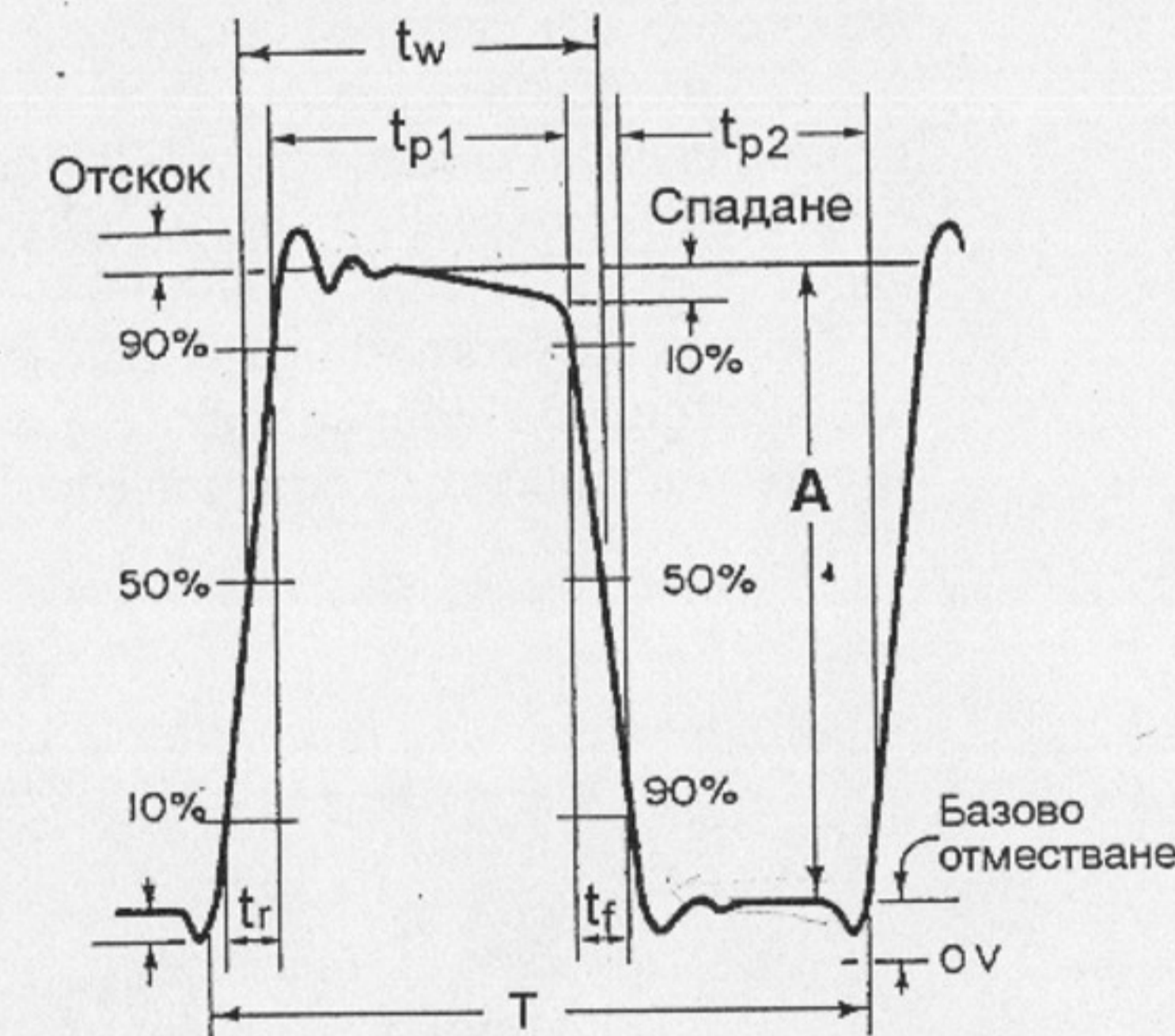
t_r – продължителност на фронта на нарастване на импулса;

t_{p1} – плато на импулса;

t_f – продължителност на фронта на спадане на импулса;

t_{p2} – паузата в рамките на периода.

Очевидно периодът може да се намали до стойност $T_{\min} = t_r + t_f$. Тогава амплитудата на импулса се запазва все още, но импулсите придобиват форма, близка до тригонообразната.

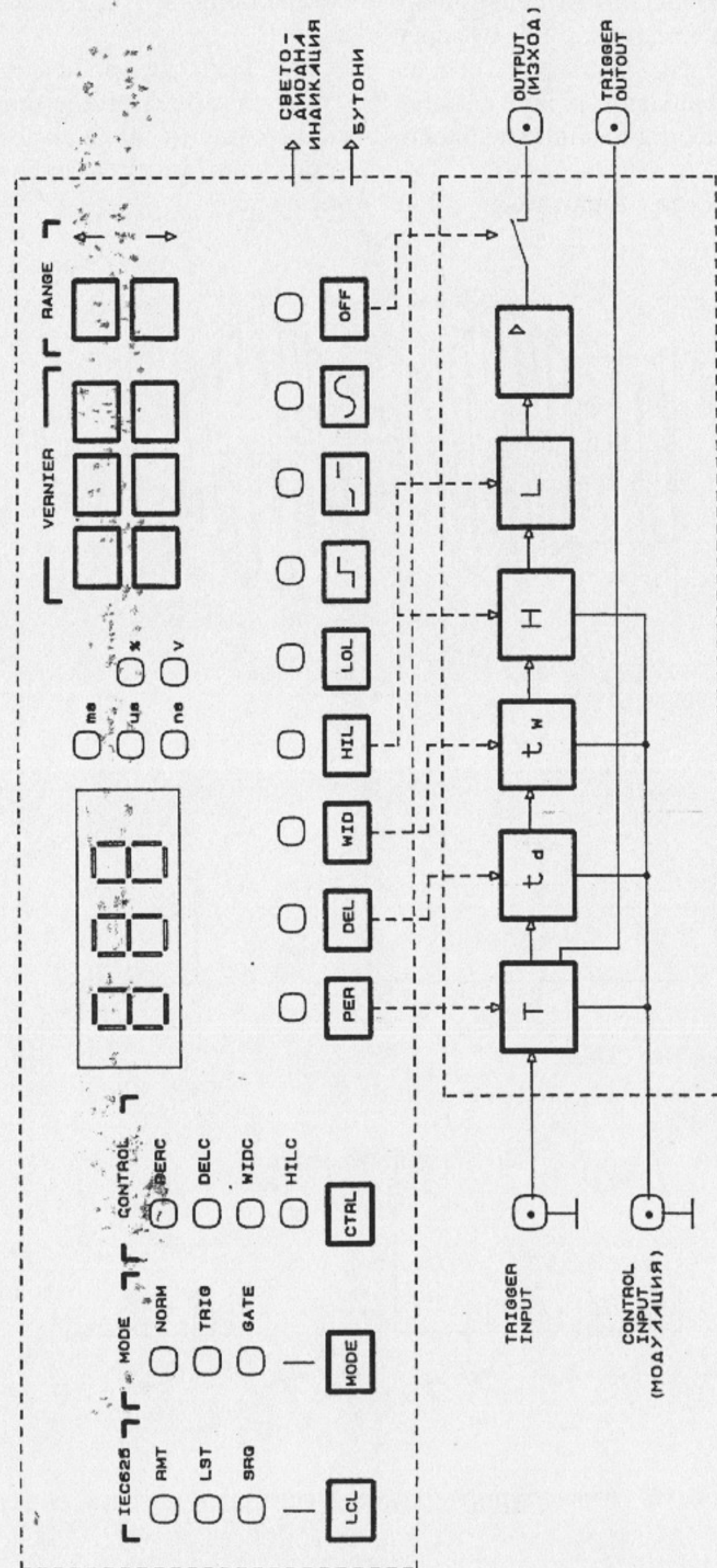


Фиг. 3.12 Форма и параметри на реален сигнал

3.4.2. Общо устройство и параметри на импулсните генератори

Импулсните генератори създават импулсни по форма напрежения с възможности за изменение на параметрите им в широки граници. Когато от импулсния генератор могат да се извличат и синусоидални, и тригонообразни напрежения, те са мултифункционални генератори.

Общото устройство на съвременен импулсен генератор е показано на фиг. 3.13. От нея се вижда, че генераторът



Фиг. 3.13 Лицев панел и структурни единици на импулсен генератор

има два изхода и два входа. Единият от изходите е основен. От него излизат сигнали с програмирани параметри на импулсите: период (PER); закъснение (DEL); широчина на импулсите (WID); високо и ниско ниво на сигнала (HIL, LOL). Вторият изход е тригерен (TRIGGER OUTPUT). Сигналите от този изход са със стандартни TTL ниво, коефициент на запълване на импулсите 0,5 и честота на повторение, равна на тази на сигналите от основния изход. Импулсите от тригерния изход обаче изпреварват с време t_d (DEL) импулсите на основния изход.

Параметрите на импулсите се програмират оперативно с натискане на съответен бутон за избор на параметъра. След това посредством бутони RANGE (Обхват) и VERNIER (Стойност) се установява желаната стойност на параметъра. Последната се индицира върху цифров дисплей с 3 десетични цифри.

Основният изход на импулсния генератор може да се изключва. Това се осъществява чрез натискане на бутон OFF.

В структурата на импулсния генератор, показана на фиг. 3.13, се забелязват два входа. Единият от тях е тригерен – TRIGGER INPUT. Когато към този вход се подават сигнали от външен източник, импулсния генератор синхронизира своята работа с честотата на сигналите от външния източник.

Изборът на режим на работа се установява чрез бутон MODE, разположен в левия ъгъл на лицевия панел. Чрез последователното му натискане се обхождат трите възможни режима: NORM (нормален), TRIG (тригерен) и GATE (врата). Избраният режим се индицира от съответен светодиоден елемент.

Вторият вход на импулсния генератор позволява да се рализират раз-

лични видове модуляции. За целта периодични сигнали постъпват от външен източник на вход CONTROL INPUT. Видът на модуляцията се избира чрез бутон CONTROL. Тогава външният сигнал въздейства върху един от структурните блокове T , t_d , t_w , H , L . По този начин могат да се осъществят следните видове модуляции: PERC (период) – честотна модуляция; DELC (закъснение) – фазово-импулсна модуляция; WIDC (широчина на импулсите) – широчинно-импулсна модуляция; HILC – амплитудно-импулсна модуляция.

Съвременното поколение импулсни генератори в схемотехническо отношение използват принципите за синтез на честоти. Когато основният източник на честота е с кварцово стабилизирани автогенератор, грешката в установяване на честотата и нейната нестабилност (във времето и от температурата) е от порядъка $10^{-6} \div 10^{-7}$. Синтезът на честоти се осъществява или с цифрови схеми (броячи, D-тригери и др.) по пряк път, или като заедно с тях се използва система за фазова автоматична донастройка на честотата (PLL – Phase Locked Loop). Във втория случай се предлагат по-широки възможности за реализиране на различни видове модуляции на сигнала.

3.4.3. Основни характеристики и параметри на импулсните и многофункционалните генератори

Съвременните импулсни генератори и особено мултифункционалните генератори са с изключително богати възможности за създаване на различни по вид стимулиращи въздействия. Това определя и тяхната приложимост в широки области на електрониката, използвана като средство за авто-

матизация.

В приложената таблица 3.2 са дадени измервателните обхвати и стъпката, с която се задават параметрите период T , време на закъснение t_d и широчина на импулсите t_w в генератор ASIK-IG-01, който е представител на съвременното поколение импулсни генератори.

Параметрите, отразени в таблицата,

Таблица 3.2

	Обхват	Разделителна способност	Грешка
1	100 ns - 999 ns	10 ns	
2	1,00 ms - 9,99 ms	10 ns	
3	10,0 ms - 99,9 ms	0,1 μ s	
4	100 ms - 999 ms	1 μ s	1.10 ⁵
5	1,00 ms - 9,99 ms	10 μ s	
6	10,0 ms - 99,9 ms	0,1 ms	
7	100 ms - 950 ms	1 ms	

са валидни и за съответните модуляции, които могат да се осъществят в импулсните генератори. Когато импулсният генератор от този вид генерира и синусоидално по форма напрежение, т. е. представлява мултифункционален генератор, неговото използване се разпростира във всички сфери на електронната и комуникационната техника.

3.5. Сигнал-генератори и вобел-генератори

Това наименование носят специален клас измервателни генератори, предназначени за изследване на радиотехнически устройства и радиопредавателни канали. В елементарния си вид тези генератори покриват радиочестотния обхват от 50 kHz до 1 GHz. Генераторната честота на специален клас микровълнови генератори достига до 60 GHz.

Характерна особеност на сигнал-генераторите е, че в тях е предвидена възможност за амплитудно и честотно модулиране на сигналите. Затова



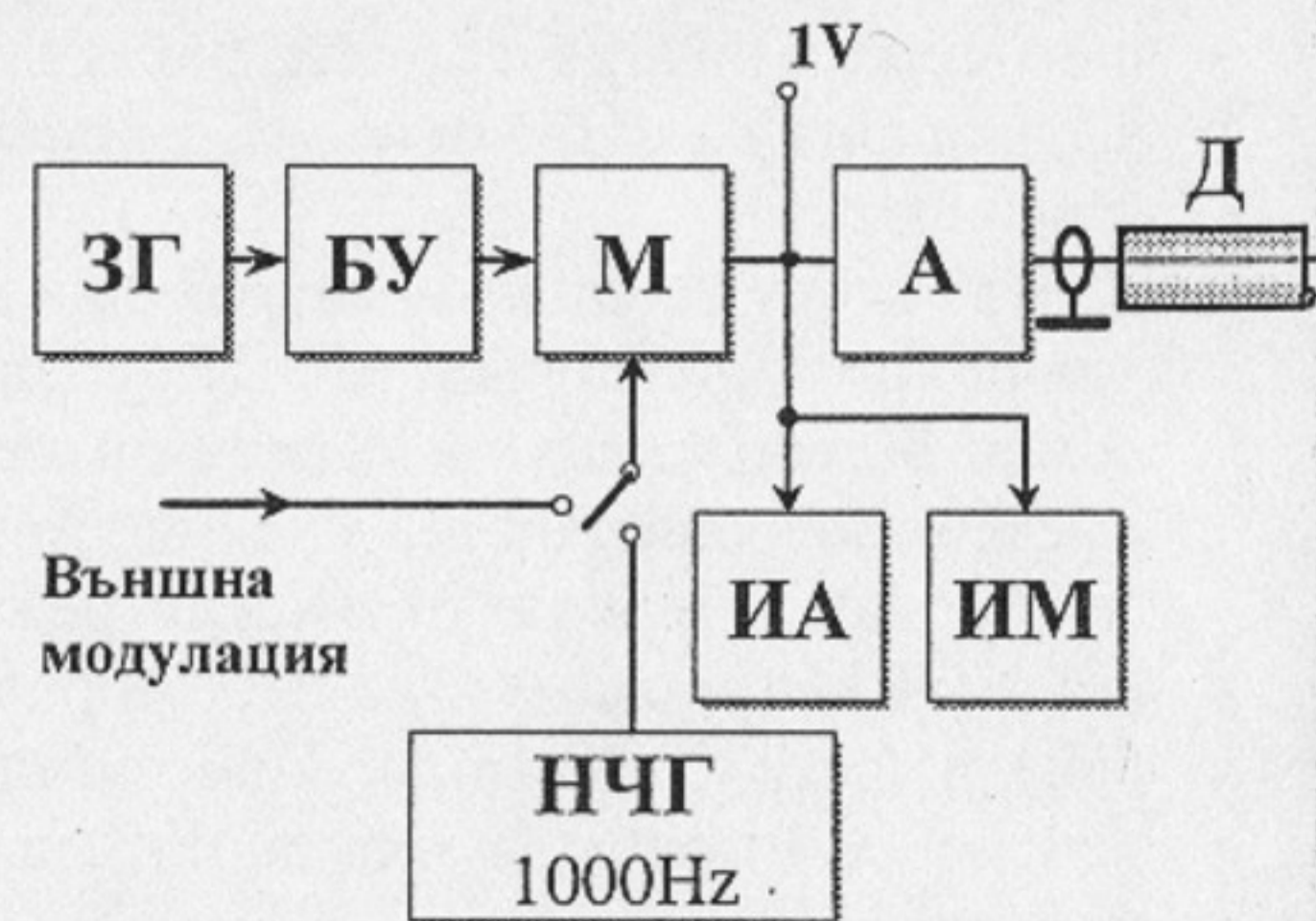
Задачи 3.4

1. Изчислете максималната честота на генератор, чиито импулси са с фронт на нарастване 3,5 ns и плато 1 ns. Начертайте времедиаграмата на един импулс.



Контролни въпроси 3.4

1. Какви изходи и входове имат последното поколение импулсни генератори?
2. Начертайте идеализираните импулси, получени от тригерния и основния изход на импулсен генератор и отговорете на въпроса кои основни параметри се регулират.
3. Начертайте осцилограмата на реален импулс и посочете основните му параметри.
4. Намерете периода, респективно честотата на генерации при следните параметри на импулсите: продължителност на фронта на нарастване $t_r=3$ ns; продължителността на фронта на спадане $t_f=3,5$ ns; плато на импулса $t_{p1}=3$ ns и време на покой $t_{p2}=3$ ns.



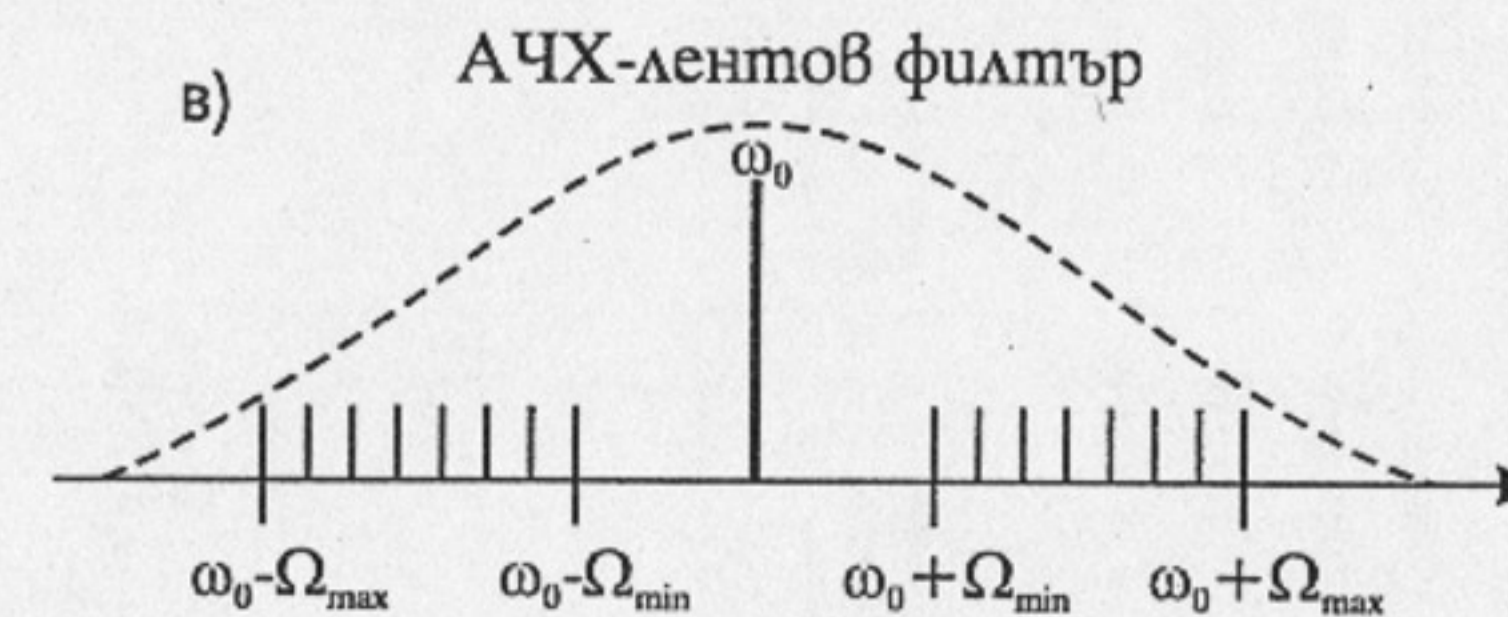
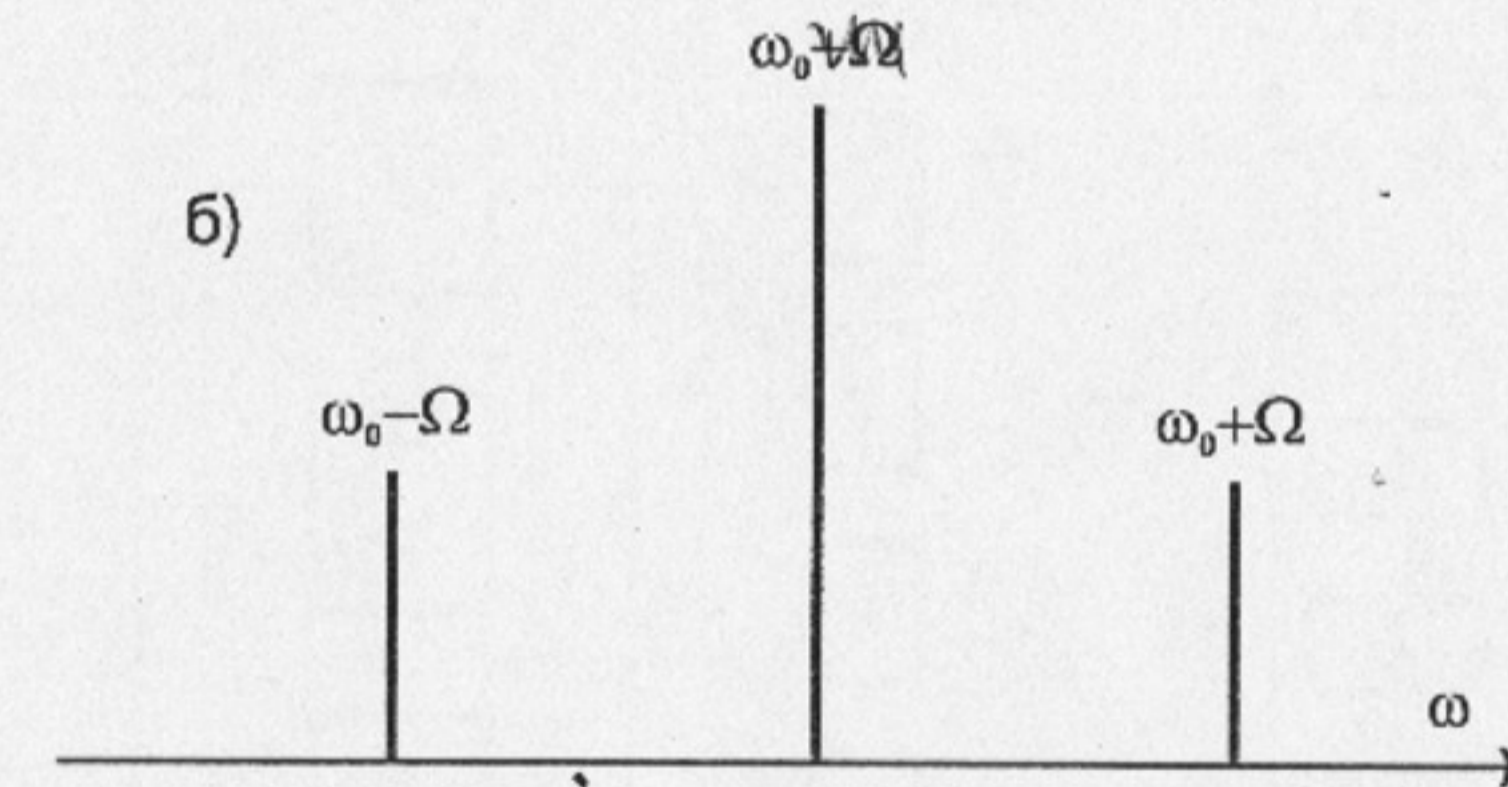
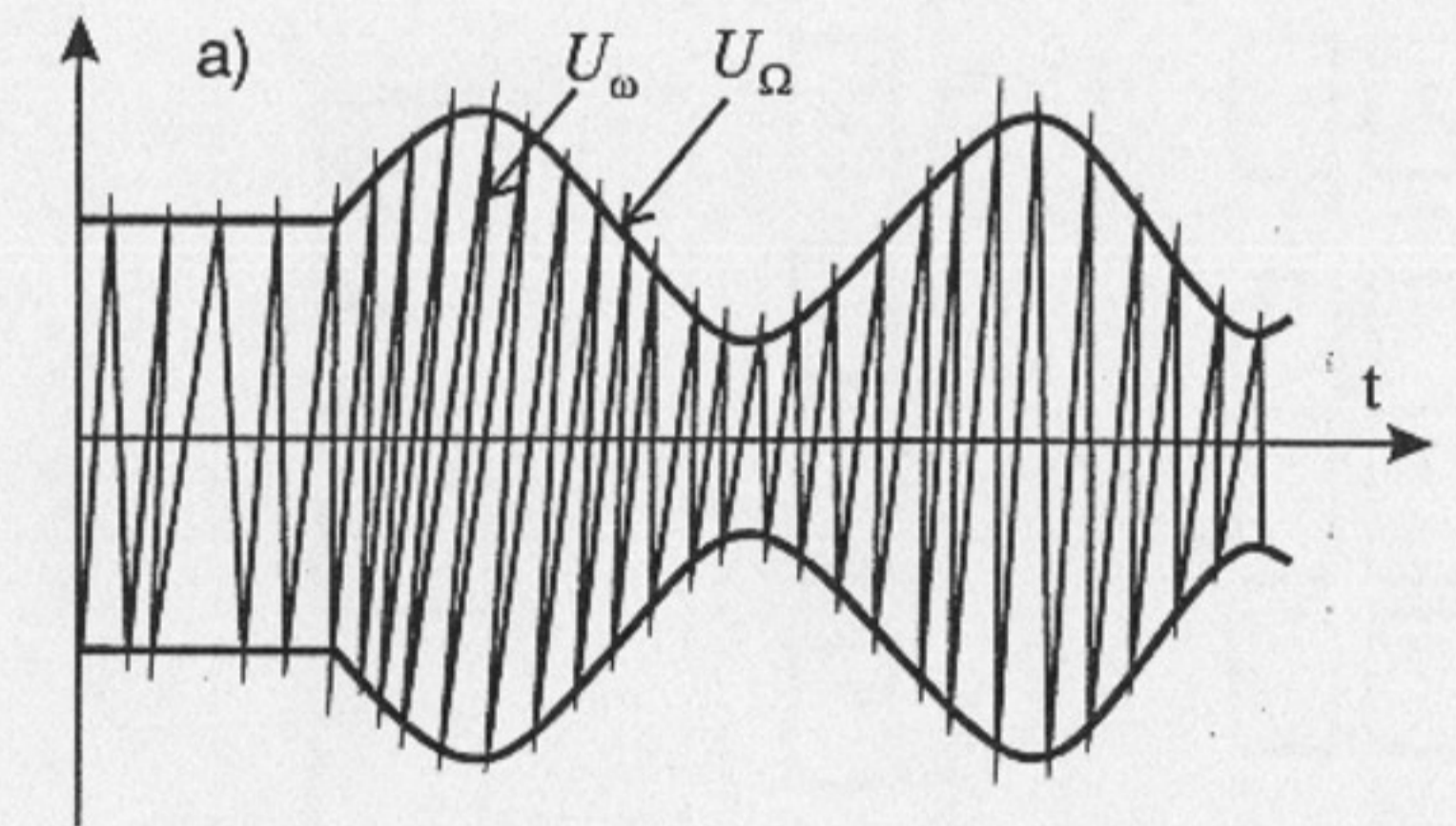
Фиг. 3.14 Структурна схема на сигнал-генератор

структурната схема, показана на фиг. 3.14, се отличава от структурната схема на нискочестотен генератор. Освен задаващ генератор ЗГ, буферен усилвател БУ, измервател на амплитуда ИА и атенюатор А тук се забелязват следните допълнителни блокове:

Д - външен делител 10:1.

Обикновено се прави във вид на пробник, изнесен в края на коаксиалния кабел, контактуващ с измервателните точки.

М - модулатор. За амплитудна модулация обикновено се използват умножители на напрежение. При честотна модулация се използват варикапи.



Фиг. 3.15 Амплитудно-модулиран сигнал и неговия спектър

НЧГ – нискофреkwотен генератор на синусоидални трептения. Той модулира носещата честота на задаващия генератор с ниска честота (модулираща). Предвидена е възможност и за модуляция от външен източник.

ИМ – измервател на модуляцията. За амплитудна модуляция се отчита коефициентът на модуляция (в проценти). За честотна модуляция се измерва честотното отклонение (девиация) спрямо носещата честота.

Задаващият генератор в сигнал-генераторите е автогенераторна схема, използваща резонансен кръг. Покриваният честотен обхват се разделя на подобхвати, превключвани чрез смяна на индуктивности. Плавното изменение на честотата се осъществява с помощта на променливи въздушни кондензатори или системи от варикапи.

На фиг. 3.15а е показана формата на амплитудно модулиран сигнал, когато модулиращият сигнал е със синусоидална форма. Този сигнал се описва със следния математичен израз:

$$(3.14) \quad U(t) = (U_0 + U_{\Omega} \sin \Omega t) \sin \omega_0 t = U_0 (1 + M \sin \Omega t) \sin \omega_0 t,$$

където U_0 е амплитудата на сигнала с висока честота ω_0 , наречена носеща;

Ω – честотата на модулиращия сигнал;

M – коефициентът на модуляция.

На фиг. 3.15б е показан спектърът на амплитудно модулиран сигнал при модулиращ сигнал с честота Ω .

Амплитудната модуляция намира най-характерно приложение в системите за радиопредаване на дълги, средни и къси вълни. Модулиращият сигнал тук е сложен спектър от хармонични съставки, в които се преобразуват звуковите вълни на говора и музиката.

Честотната модуляция е с най-

типично приложение в системите за радиоразпръскване на УКВ. При тази модуляция честотата на сигнала се изменя пропорционално на стойността на модулиращото напрежение:

$$\omega(t) = \omega_0 + K_f U_C(t).$$

За синусоидална форма на модулиращия сигнал може да се напише

$$(3.15) \quad \omega(t) = \omega_0 + K_f U_{\Omega} \sin \Omega t,$$

където K_f е коефициент на пропорционалност;

U_{Ω} – амплитудата на модулиращия сигнал.

Максималното изменение (девиацията) на честотата е

$$\Delta \omega_{\max} = \pm K_f U_{\Omega}.$$

Коефициентът на пропорционалност показва колко се изменя честотата за 1 V изменение на модулиращото напрежение. По същество този коефициент представлява коефициент на предаване (чувствителност) на модулаторната схема.

Вобел-генераторите са генератори с автоматично изменяща се честота. Намират приложение за снемане на амплитудно-честотни характеристики на аналогови схеми и устройства, спектрален анализ на сигнали и др.



Контролни въпроси 3.5

1. Какво представлява амплитудната модуляция? С какъв закон се описва и кои са основните параметри на амплитудно модулиран сигнал? Какъв е спектърът му?
2. Какво представлява честотната модуляция? С какъв закон се описва и кои са основните параметри?

3.6. Кварцови генератори и атомни стандарти за честота

3.6.1. Общи сведения

От шестте основни физични величини – дължина, маса, време, големина на тока, температура и интензитет на светлината, еталоните за време и неговата производна – честота, са най-точни. Камертонните генератори се характеризират с нестабилност на честотата от порядъка на 10^{-4} , в кварцовите генератори понастоящем нестабилността е от порядъка на 10^{-6} , а при специални мерки се свежда до 10^{-8} – 10^{-10} . При атомните генератори същата величина е от порядъка на 10^{-13} – 10^{-14} .

В зависимост от характера на влияещите фактори се отличават няколко вида отклонения (грешки) на честотата на кварцовите генератори от номиналната стойност (вж. фиг. 3.16б):

– Δf_{START} – начално отклонение на честотата, проявяващо се в момента на пускане на кварцовия резонатор от производство. Причината е неточност в настройката.

– $\Delta f(\Delta t)$ – дълговременна нестабилност (стареене). Дава се за 1 година, или месец.

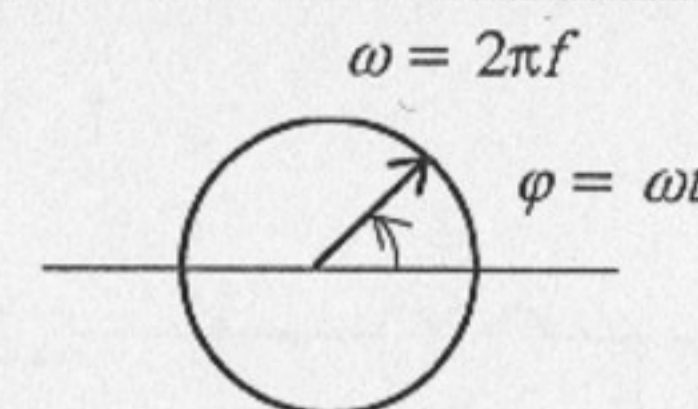
– $\Delta f(\Delta t_s)$ – кратковременна нестабилност (примерно за 24 часа или за 1 час).

– Δf_{FL} – флукуационни (моментни) отклонения на честота.

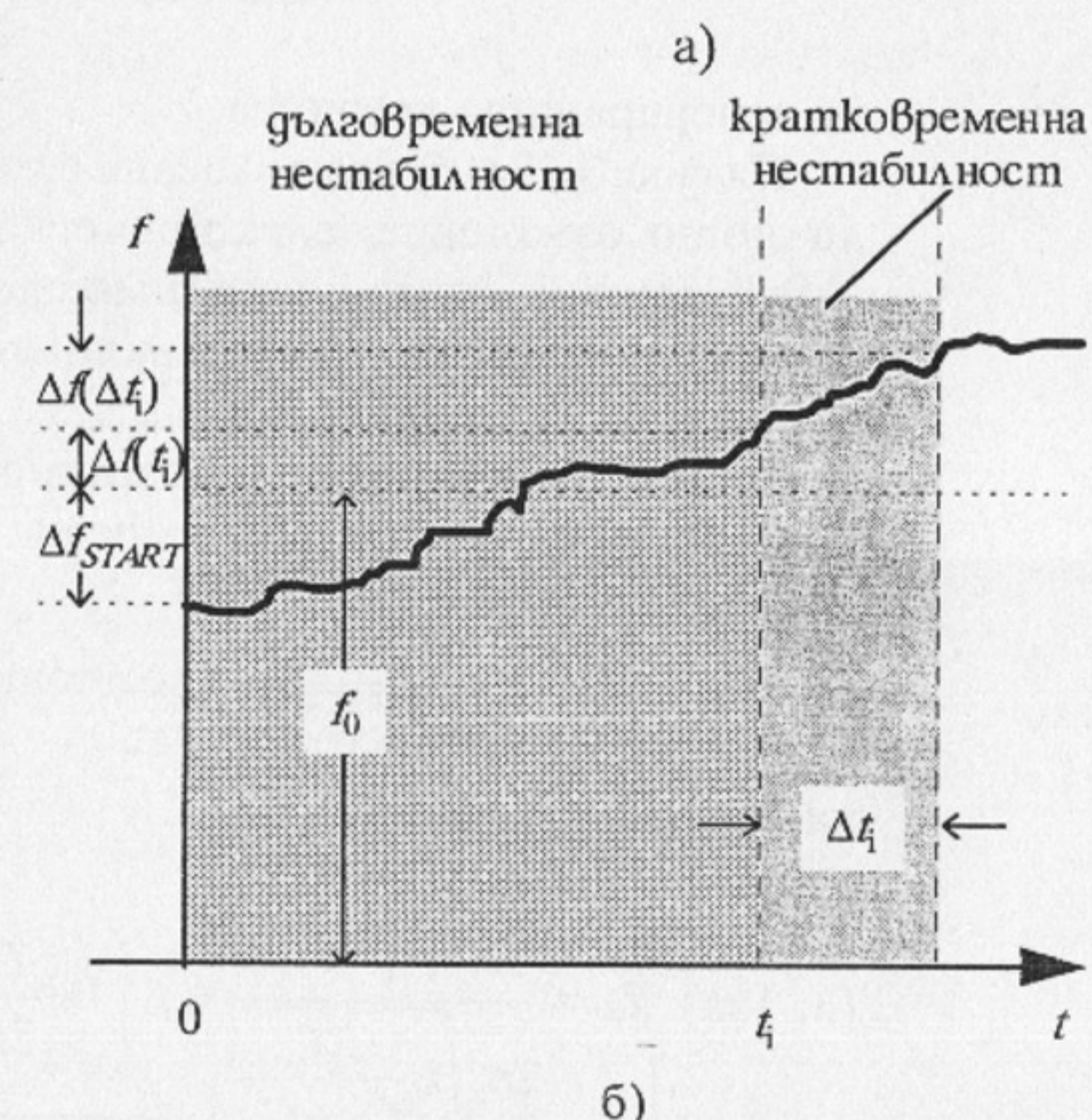
Тези нестабилности се дават в справочните материали като максимално-допустими стойности, изразени

чрез относителната величина $\frac{\Delta f}{f}$.

$$- TKf = \frac{\Delta f}{f} \cdot \frac{1}{\Delta T}, \quad K^{-1} \text{ – коефициент}$$



$$\begin{aligned} \varphi &= \omega t \\ \frac{d\varphi}{dt} &= \omega_0 + \frac{d\varphi(t)}{dt} \\ \omega_0 &= 2\pi f_0 \end{aligned}$$



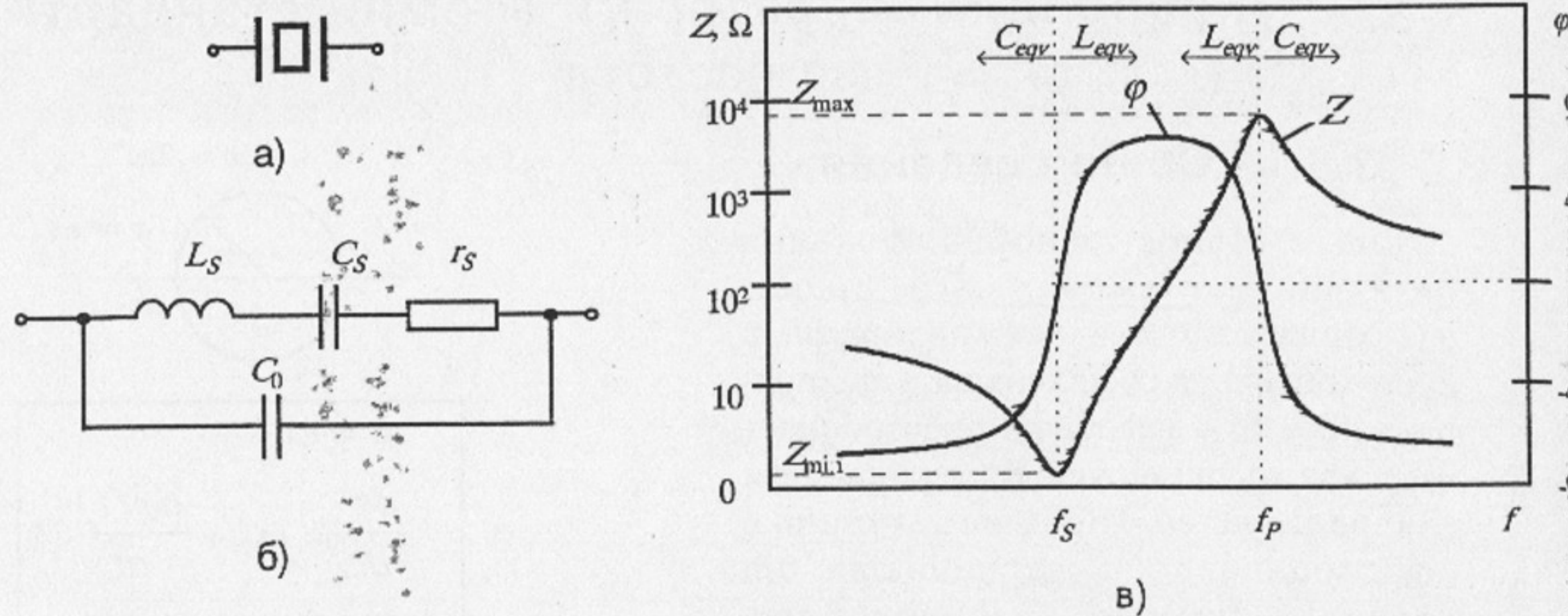
Фиг. 3.16. Връзка между фазата и честотата (а) и изменение на честотата във времето (б)

на температурна нестабилност.

3.6.2. Кварцови генератори

Кварцови резонатори

В електрическата схема на кварцовите генератори участват кварцови резонатори, чиито електрически параметри осигуряват висока стабилност



Фиг. 3.17. Символично означение (а), еквивалентна схема (б) и импедансни характеристики на кварцов резонатор (в)

на генерираната честота.

На фиг. 3.17а, б, в са показани символичното означение, електрическата еквивалентна схема и зависимостите на модула и фазата от честотата в областта на серийния и паралелния резонанс на кварцовия резонатор. Валидни са следните зависимости:

$$(3.16) \quad f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s C_s}} - \text{честота на серийния резонанс;}$$

$$(3.16a) \quad f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s \frac{C_s C_0}{C_s + C_0}}} \approx f_s \left(1 + \frac{C_s}{2C_0}\right)$$

– честота на паралелния резонанс;

$$Q = \frac{\omega_s L_s}{r_s} - \text{качествен фактор.}$$

Границите, в които варират параметрите на различните видове кварцови резонатори, са:

- $C_s = 10^{-14} \div 10^{-16} \text{ F};$
- $L_s = 1 \div 5 \text{ mH} \div 10^6 \text{ H};$
- $r_s = 5 \div 200 \text{ } \Omega;$
- $C_0 = 2 \div 20 \text{ pF};$
- $f_{1s} = 1 \text{ kHz} \div 500 \text{ MHz} (1^{\text{ва}} \text{ хармо-}$

ник);

f_{3s} и f_{5s} : 10 MHz ÷ 1,5 GHz (3^{та} и 5^{та} хармоник).

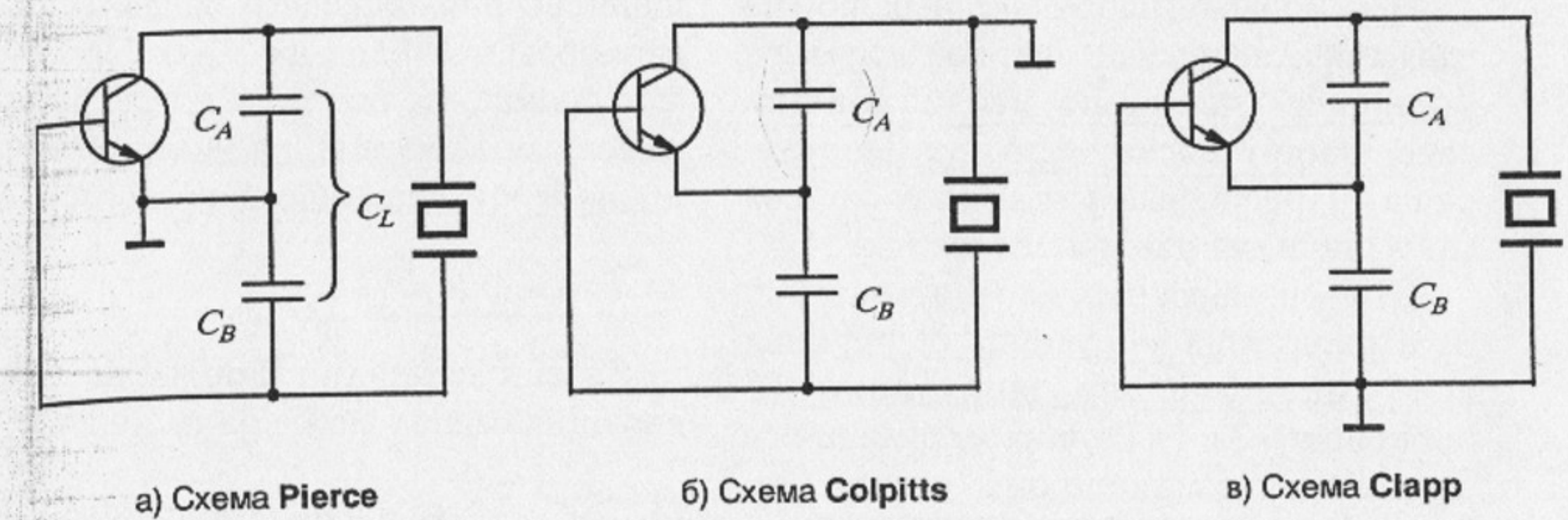
Кварцови генератори

Кварцовите генератори са генератори от LC-тип, при които в осцилаторния кръг е включен кварцов резонатор. В качеството на активни елементи се използват транзистори (биполарни или полеви), операционни усилватели или цифрови интегрални схеми (тип инвертори).

На фиг. 3.18 са показани основните видове схеми за променлив ток на кварцови генератори (вместо биполарен транзистор може да се постави полеви транзистор).

Честотата на генерации се определя от резонансната честота на образувания трептящ кръг и се намира по формулата

$$(3.17) \quad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s C_s (C_0 + C_L)}} = f_s \sqrt{1 + \frac{C_s}{C_0 + C_L}} \approx f_s \left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{C_s}{C_0 + C_L}\right)$$



Фиг. 3.18. Три основни схеми (за променлив ток) на кварцови генератори

където $C_L = \frac{C_A C_B}{C_A + C_B}$ е товарен капацитет за резонатора.

Честотата на генерации се отличава от честотата на серийния резонанс на кварцовия резонатор с Δf , като

$$(3.18) \quad \Delta f = f_0 - f_s \approx \frac{f_s}{2} \cdot \frac{C_s}{C_0 + C_L}$$

Резонансното съпротивление на кръга се определя с формулата

$$(3.19) \quad R_{OE} = \frac{1}{\omega_s^2 r_s (C_0 + C_L)^2}$$

Условието за самовъзбуждане на схемите от фиг. 3.18 е

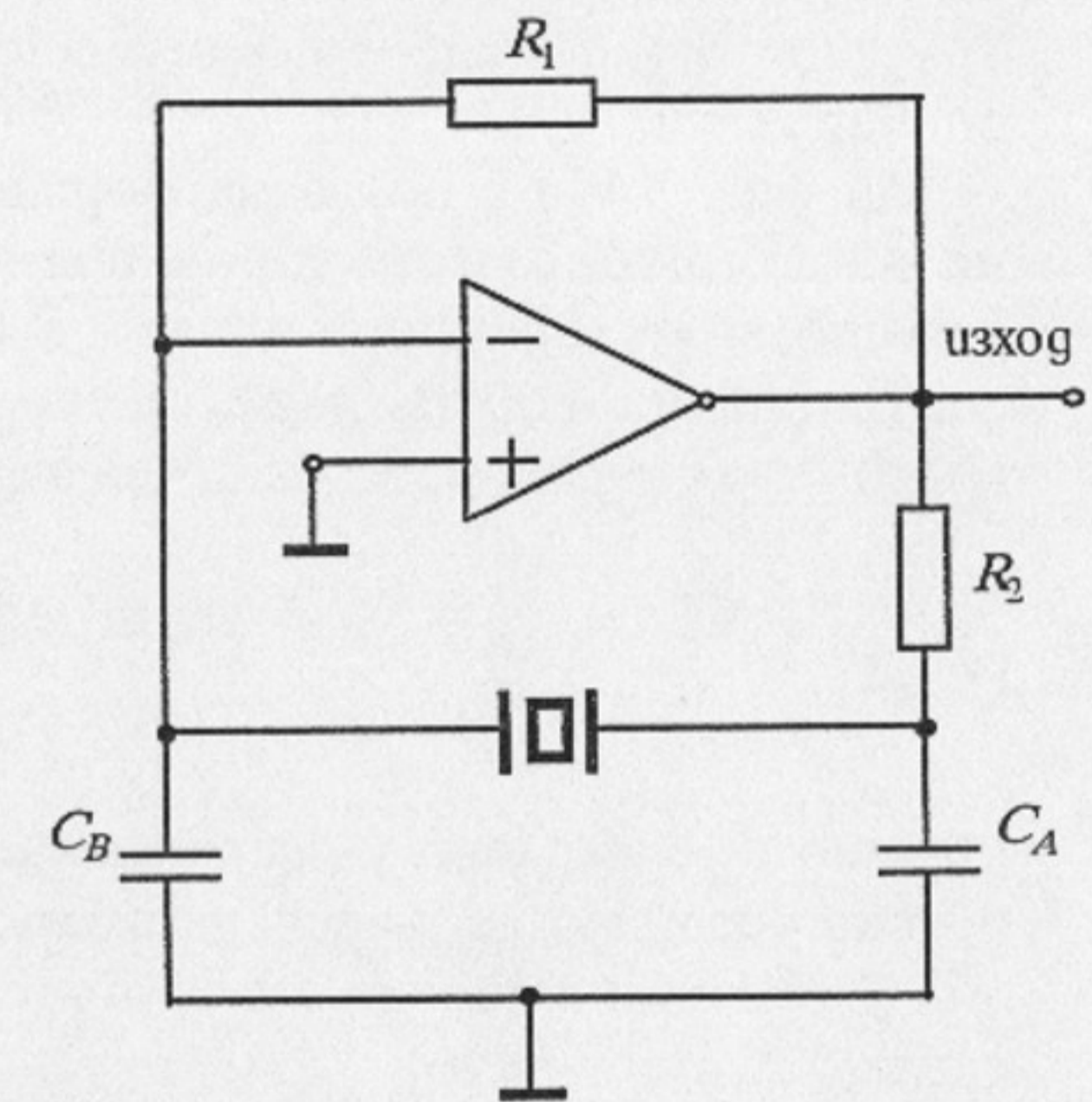
$$(3.20) \quad S_1 R_{OE} \beta = 1,$$

където S_1 е интегралната стръмност на транзистора за първия хармоник на изходния ток; $\beta = \frac{C_A}{C_B}$ – коефициент на обратна връзка.

Уравнение (3.20) е валидно при условие, че стръмността е реална величина за честотата на генерации.

В цифровата техника (микропроцесорни системи, компютри) в ролята на тактови генератори се използват

схеми с кварцови резонатори и цифрови схеми (тип инвертор) в ролята на активен елемент. Един вариант на такава схема е показан на фиг. 3.19.



Фиг. 3.19. Кварцов генератор с инвертор

Кварцови генератори, управлявани с напрежение (VCO – Voltage Controlled Cristal Oscillator)

На фиг. 3.20 е показана зависимостта на честотата от товарния капацитет за кварцов кристал с

параметри: $f_s = 9994,400 \text{ kHz}$; $C_0 = 5 \text{ pF}$; $C_S = 28 \text{ fF}$; $C_L = 20 \text{ pF}$.

Честотата в кварцовите генератори може да се изменя чрез изменение на товарния капацитет в малки граници: 0,1 – 0,5%. Това обстоятелство се използва за донстройка на честотата с пример-кондензатори.

Когато за същата цел се използва вариакп, управлението на честотата се извършва с помощта на постоянно напрежение, което изменя капацитета на вариакпа. На този принцип са конструирани специални кварцови генератори тип VCO.

Варикапи

Варикапите са диоди, чийто бариерен капацитет се изменя от приложеното обратно напрежение по определен закон.

Символичното означение и общите еквивалентни схеми на вариакпа са показани на фиг. 3.21.

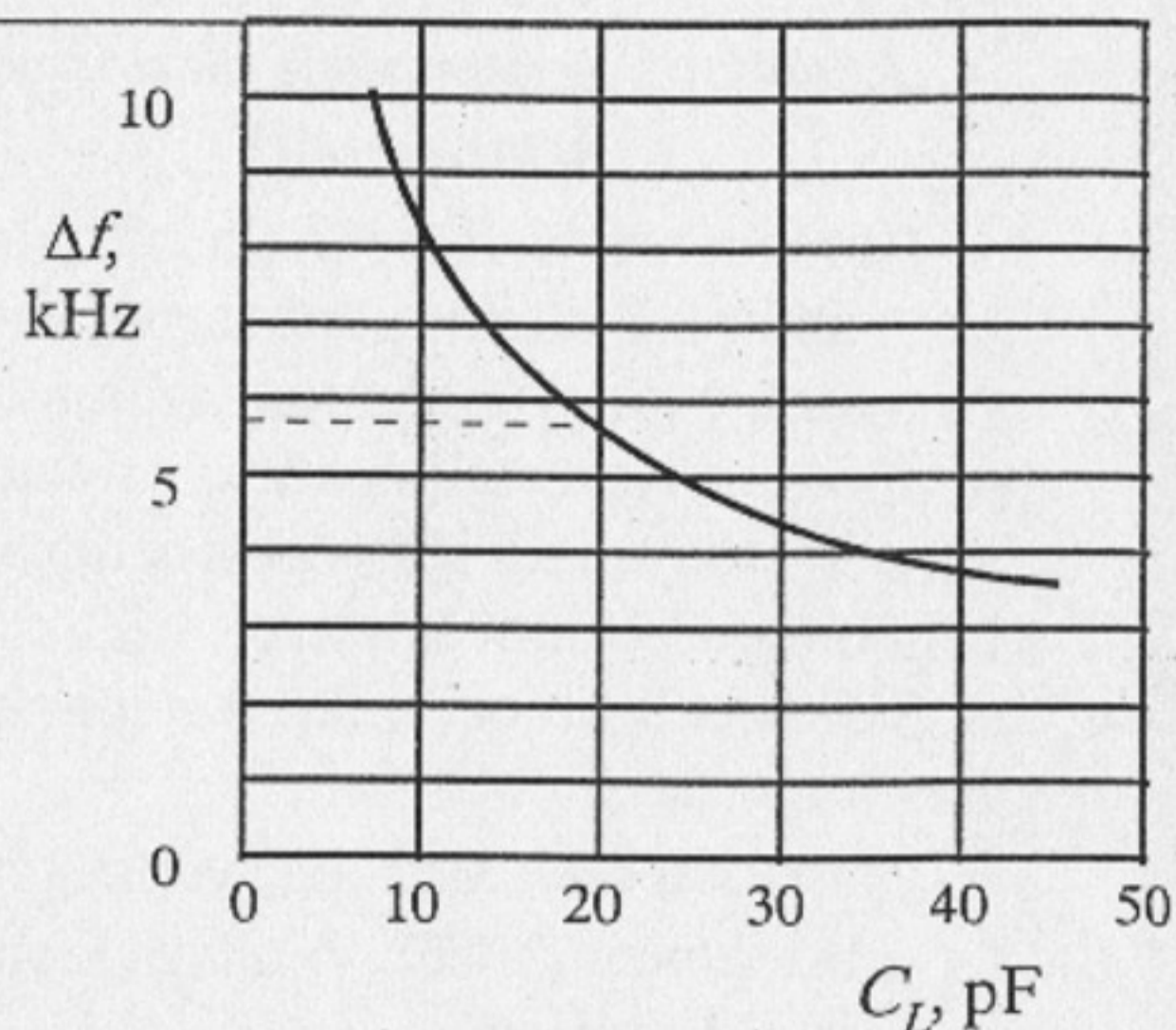
Общият капацитет се определя от капацитета на прехода C_j и капацитета на корпуса C_C : $C = C_j + C_C$. Валиден е изразът

$$(3.21) \quad C_j = \frac{C_D}{(U + \Phi)^\gamma}$$

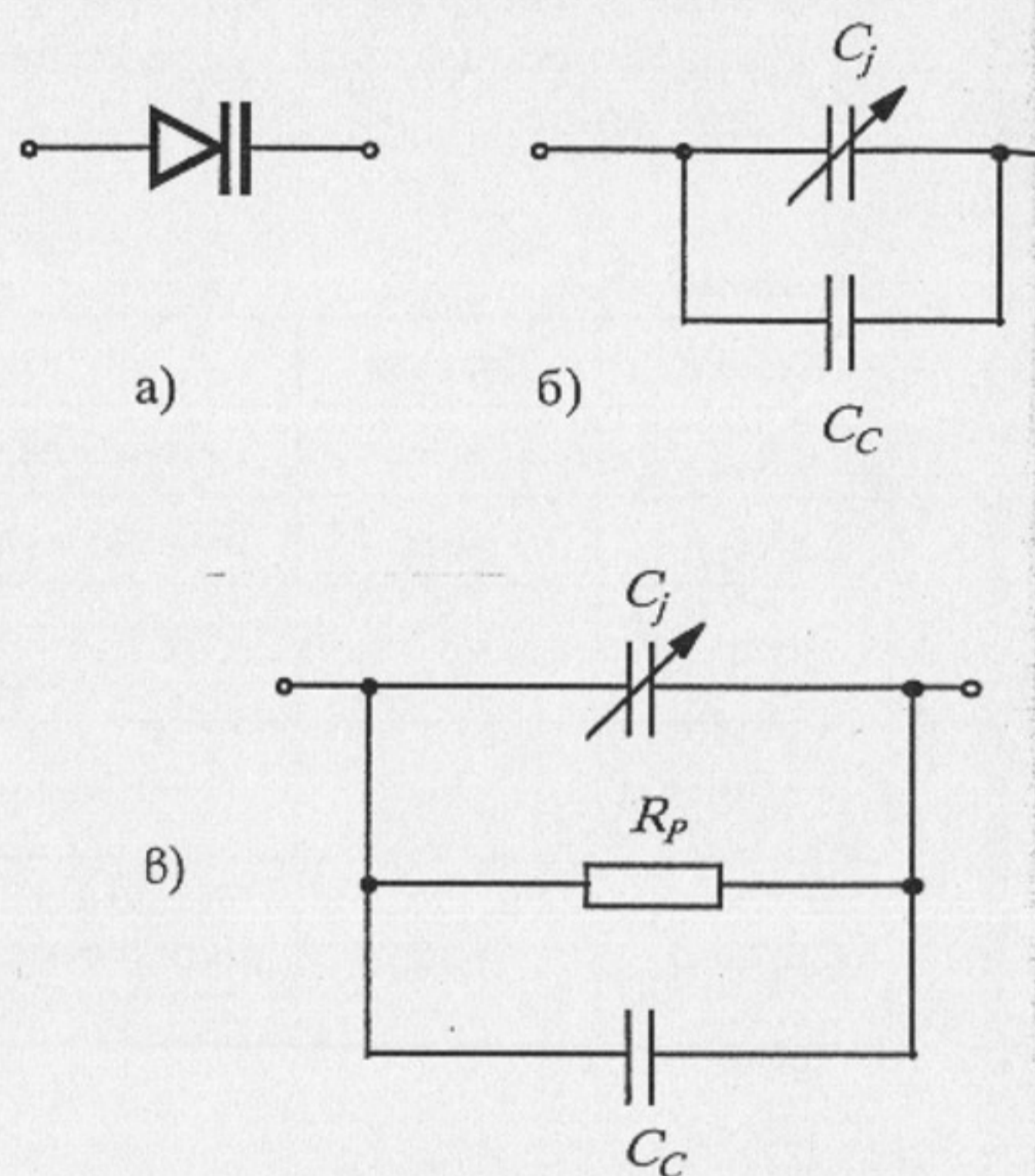
където C_D е константен капацитет; U – обратно приложено към диода напрежение; $\Phi \approx 0,7 \text{ V}$ – контактната потенциална разлика на прехода; γ – капацитивната експонента ($\gamma \approx 0,5$).

Капацитивното отношение (Tuning Ratios) за две определени стойности на напрежението е

$$(3.22) \quad TR = \frac{C_j(U_2)}{C_j(U_1)} = \left[\frac{U_1 + \Phi}{U_2 + \Phi} \right]^\gamma$$



Фиг. 3.20. Зависимост на честотата на кварцов кристал от товарния капацитет C_L



Фиг. 3.21. Символично означение и еквивалентни схеми на вариакп

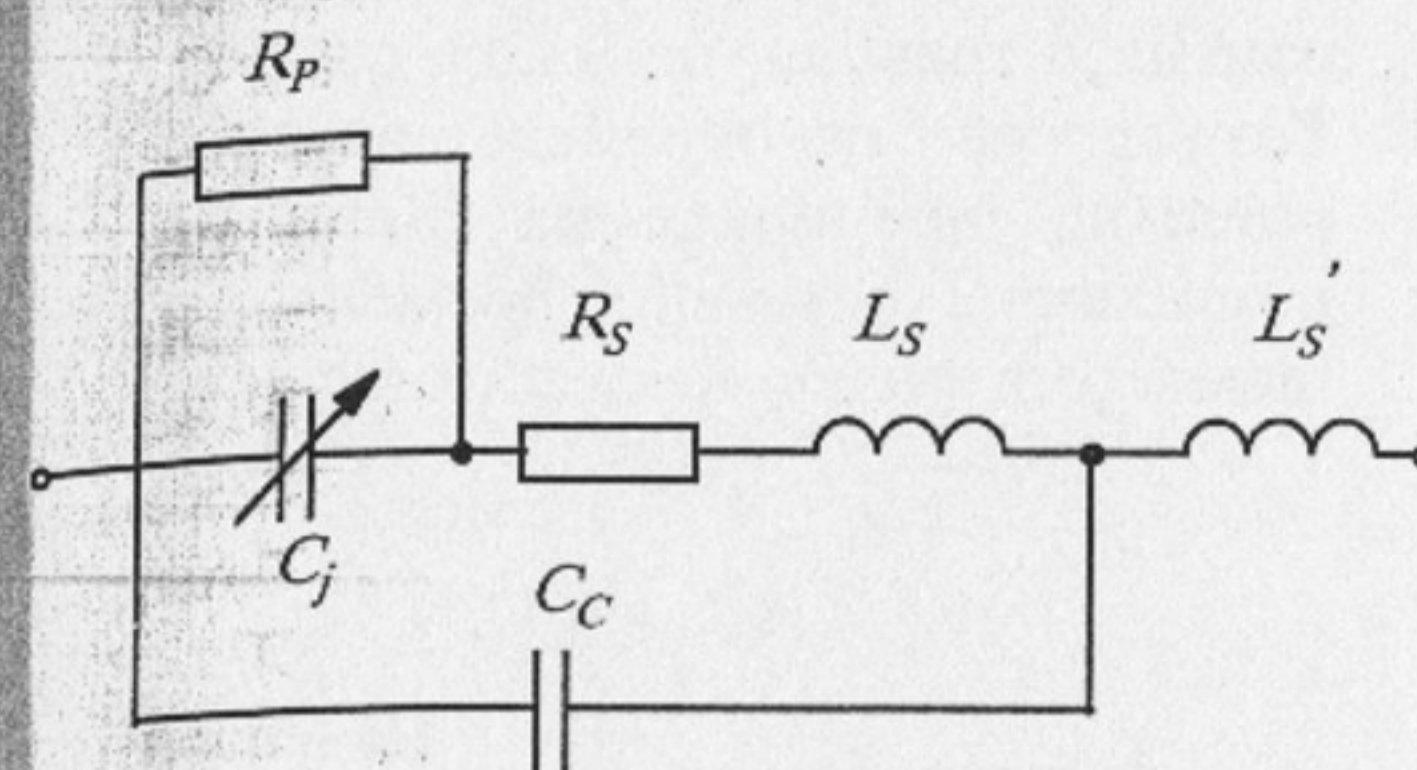


Пример

Варикапен диод MV2101 има следните типови стойности на параметрите: $C(-30 \text{ V}) = 2,5 \text{ pF}$; $C(-4 \text{ V}) = 6,8 \text{ pF}$; $TR = 2,7$; $\gamma = 0,47$. Еквивалентната схема, отразяваща поведението на вари-

Регулиране на честотата в кварцовите генератори

Възможни са различни способы за включване на капацитивни елементи, регулиращи честотата на кварцовите генератори. Един от тези способы е показан на фиг. 3.24. Осцилаторната схема е от типа Colpitts. Последователно на кристала са включени пример-кондензатор C_1 и вариакп C_V . С пример-кондензатора се регулира изходната стойност на честотата. Чрез вариакпа честотата се управлява с напрежение. Транзисторът T_2 работи като усилвател в схема обща база. Входното му съпротивление е малко и не влошава в недопустими граници резонансното съпротивление на еквивалентния трептящ кръг.

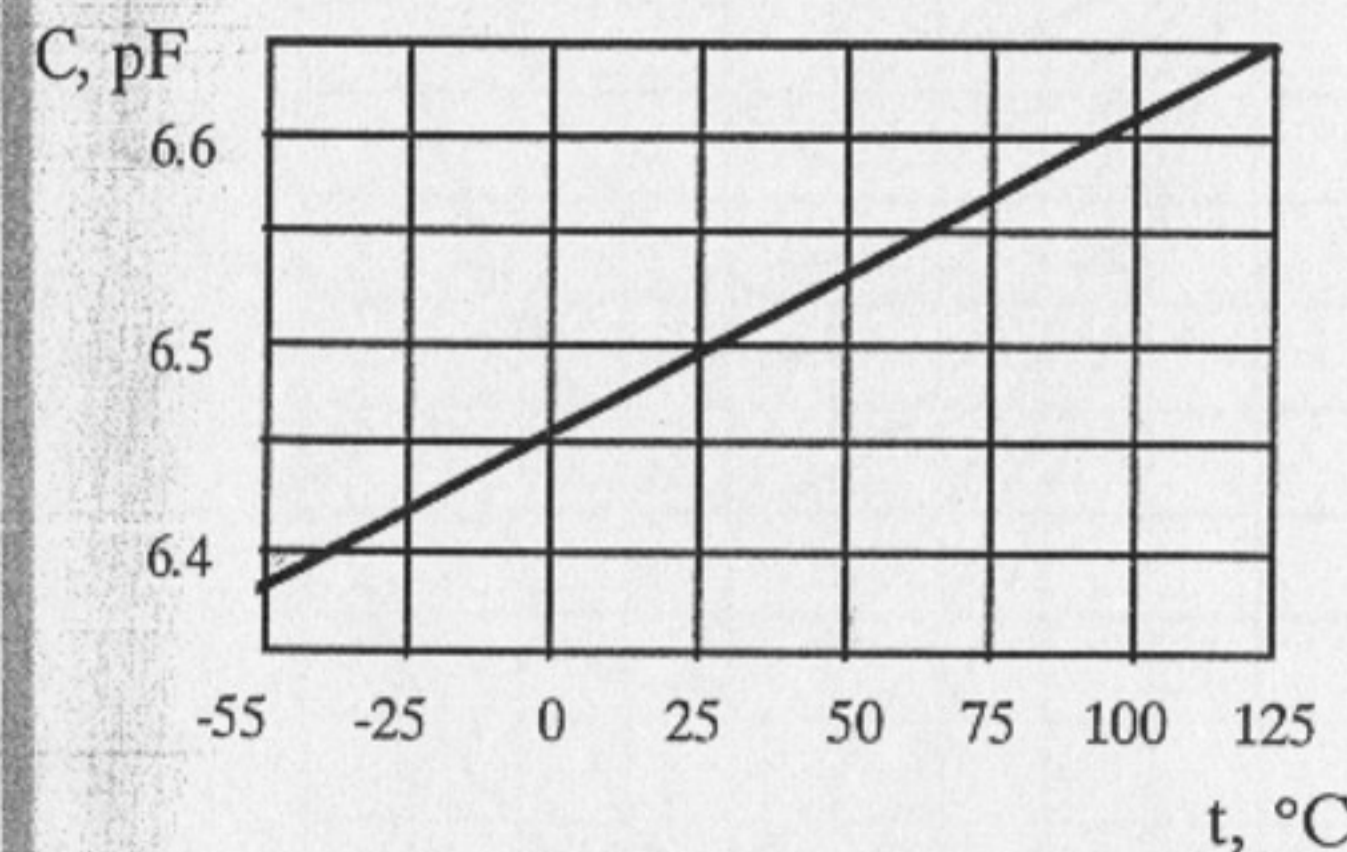


Фиг. 3.22. Пълна еквивалентна схема на вариакп

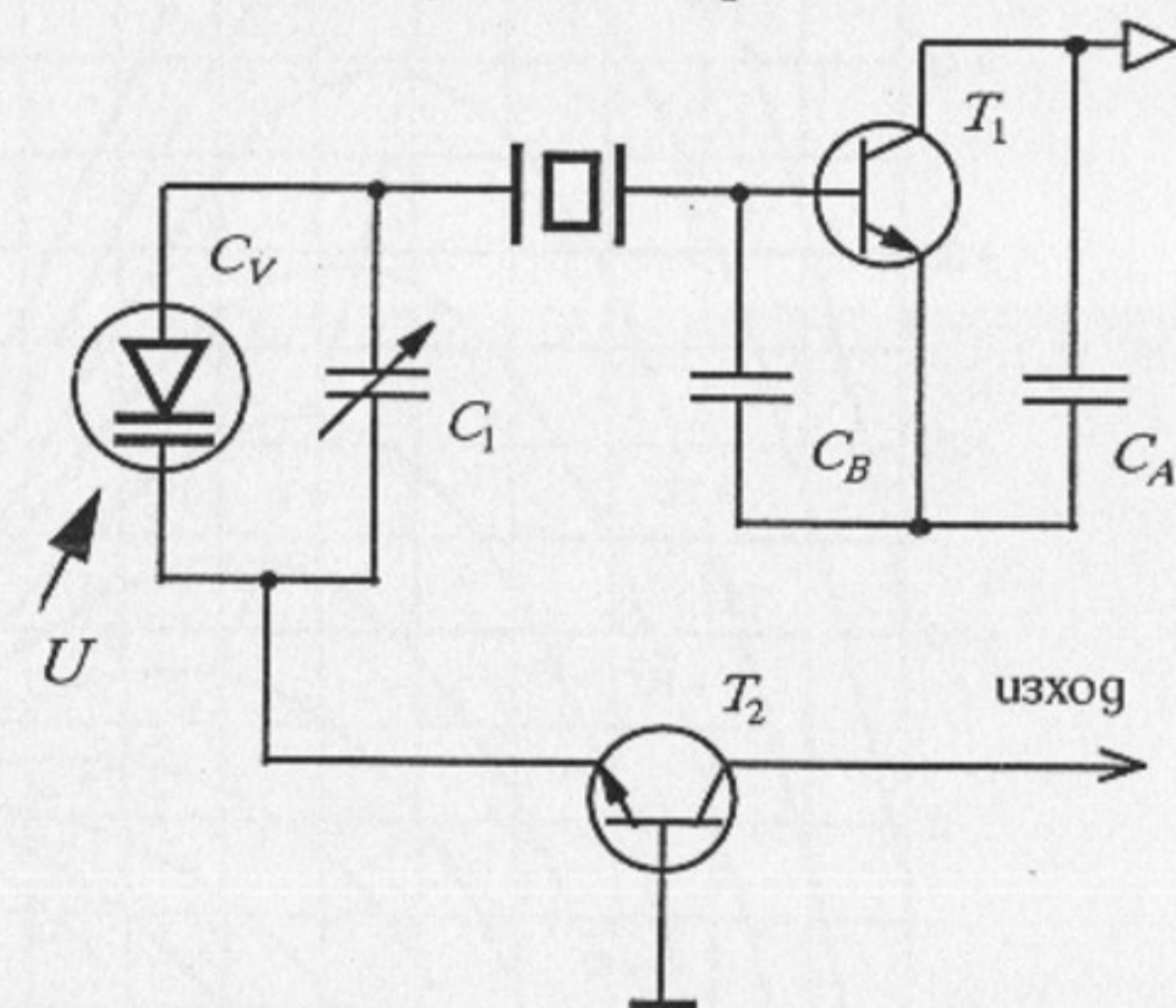
капа в широка честотна област е показана на фиг. 3.22. Качественият фактор на вариакпа за тази еквивалентна схема се изразява с формулата

$$(3.23) \quad Q = \frac{2\pi f C R_p^2}{R_S + R_p + (2\pi f C)^2 R_S R_p^2}$$

Температурната зависимост на капацитета на вариакп MV2101 е показана на фиг. 3.23. Тя се определя от температурното изменение на контактната потенциална разлика на вариакпния диод (около $-2 \text{ mV/}^\circ\text{C}$).



Фиг. 3.23. Зависимост на капацитета на вариакп от температурата



Фиг. 3.24. Схема за променлив ток на кварцов генератор с регулиране на честотата. Честотно-температурни зависимости в кварцовите кристали

Степената на температурните влияния върху нестабилността на честотата зависи от местоположението на работната честота върху фазовата характеристика на кварцовия кристал.

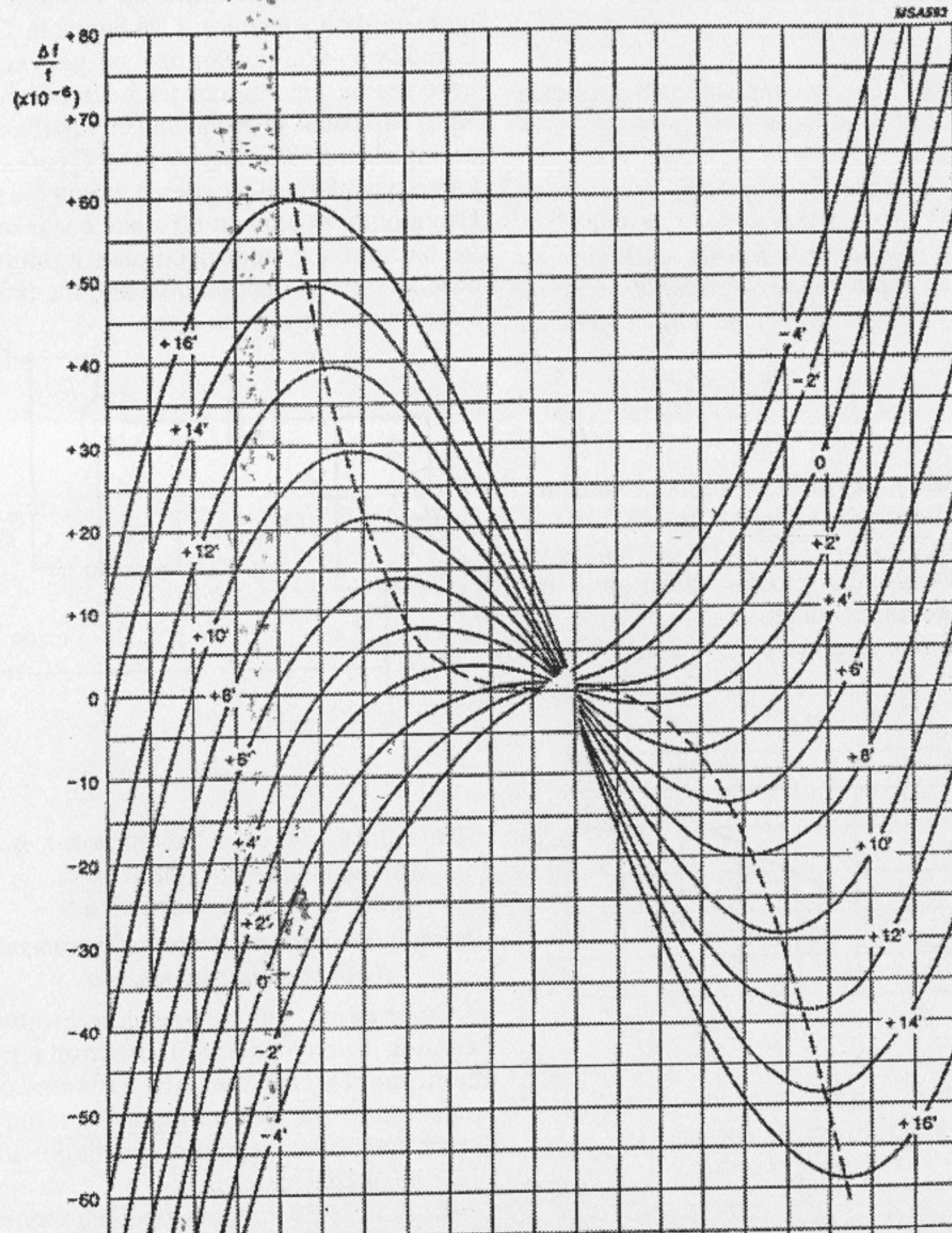
На фиг. 3.25 са показани типични стойности на температурната

нестабилност на честотата при различни стойности на фазовия ъгъл. От тях може да се отчетат най-благоприятните фазови разлики по отношение на минимизиране на температурните влияния.

Високопрецизни кварцови генератори се получават чрез поставянето им в миниатюрни термостати, при

което температурата за кварца се изменя в граници, по-малки от $\pm 2^\circ\text{C}$. Този способ с едновременното прегварително трениране на кварцовите резонатори намалява временната и температурната нестабилност до

$$Df/f = 10^{-7}, 10^{-8}.$$



Фиг. 3.25. Температурни нестабилности на честотата при различни стойности на фазовия ъгъл

Кварцови генератори в модулно изпълнение



Пример

Основни параметри на кварцов осцилатор VCO2 (Philips), управляван с напрежение, са дадени в табл. 3.3, а на температурно компенсирани кварцов осцилатор TC201 (Philips) – в табл. 3.4.

На фиг. 3.26 е показана управляващата характеристика на кварцов осцилатор VCO2, дадена като относително изменение на честотата в зависимост от управляващото напрежение U_{contr} .

Основни приложения

Различните видове кварцови осцилатори се използват широко в най-разнообразни електронни устройства:

Широка употреба на кварцовите генератори в електрониката, изчислителната и комуникационната техника са причина много фирми да предлагат готови модули на кварцови генератори, затворени в един корпус.

Забелязват се няколко разновидности, като:

- кварцови осцилатори, управлявани с напрежение (VCO – Voltage Controlled Cristal Oscilator);
- температурно-компенсирани кварцови осцилатори (TCO – Temperature Compensated Cristal Oscilator);
- температурно-компенсирани кварцови осцилатори, управлявани с напрежение.

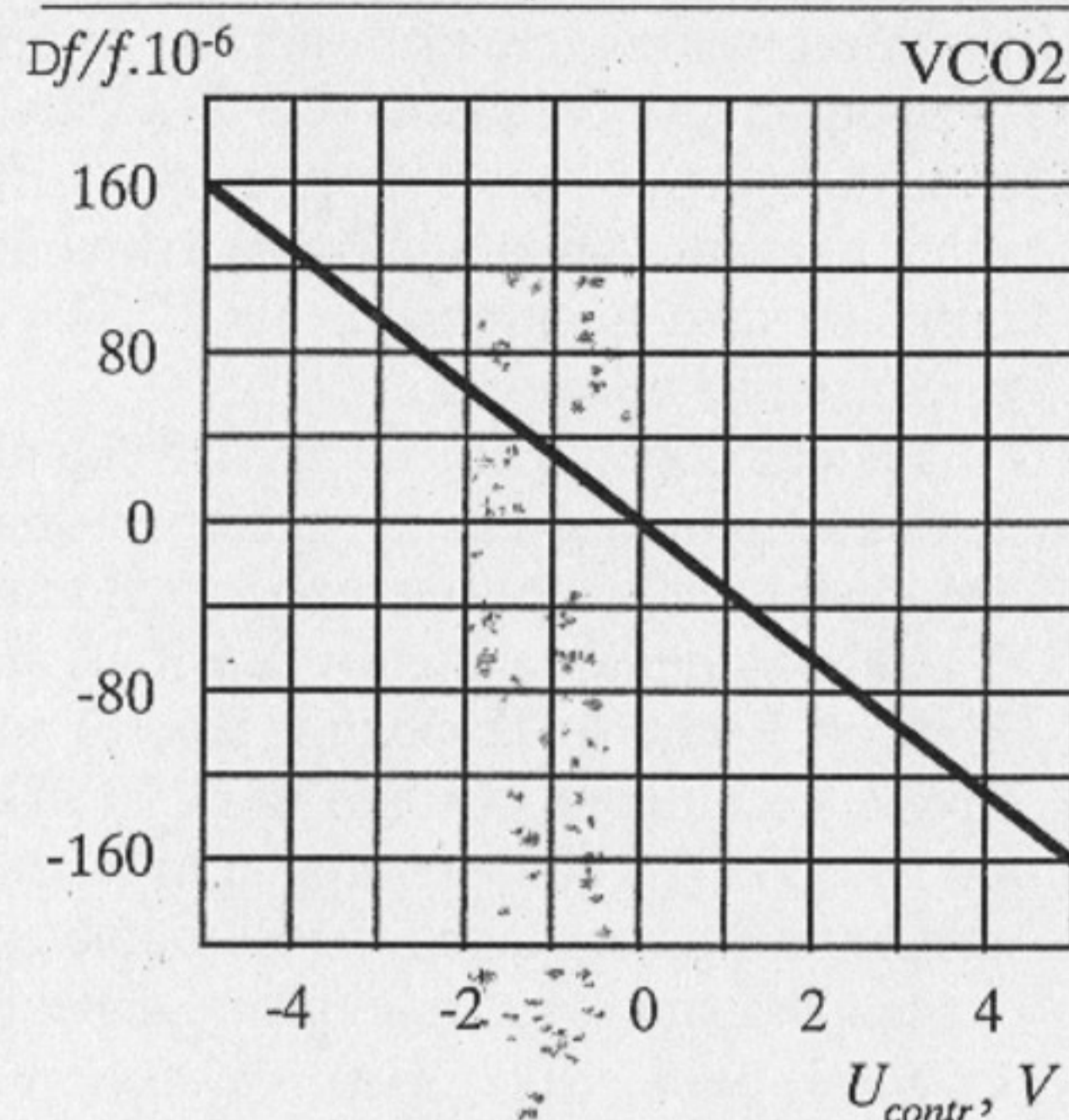
Таблица 3.3

Символ	Единица	Параметър	Условие	max
f_{nom}	kHz	номинален честотен обхват		23000
$\Delta f/f_{nom}$	ppm	начално честотно отклонение	$U_{contr} = 0\text{ V}$	± 30
$\Delta f/f(T)$	ppm	температурна нестабилност спрямо 25°C	$+60$ до -5°C	20
$\Delta f/f(t)$	ppm	временна нестабилност	за 10 години при 60°C	± 20
$\Delta f/f(tot)$	ppm	потална честотна нестабилност (време, температура, захранване, вариация на товара)	$U_{contr} = 0\text{ V}$	± 45

Таблица 3.4

Честотен обхват f_{nom} , MHz	Регулиране на честотата Df/f	Температурна нестабилност (-20 до $+70^\circ\text{C}$) Df/f	Временна нестабилност за 1 година	Изходна амплитуда (RMS)
4 - 20	5 ppm*	± 1 ppm	1 ppm	350 mV

* 1 ppm = $1 \cdot 10^{-6}$



Фиг. 3.26. Модулационна характеристика

- електронни броячи;
- електронна измервателна апаратура;
- синтезатори на честота;
- мобилни телефони.



Задачи 3.6

1. Кварцов резонатор има следните моделни параметри: $L_S = 9,7385 \text{ mH}$; $r_S = 4,75 \text{ W}$; $C_0 = 26,029 \text{ fF}$.
а) Начертайте еквивалентната схема на резонатора и нанесете стойностите на съответните елементи.
б) Изчислете честотите на серийния резонанс f_S , на паралелния резонанс f_P и определете тяхната разлика.
в) Намерете качествения фактор на еквивалентния трептящ кръг.
г) Намерете честотата на генерации f_G при товарен капацитет $C_L = 20 \text{ pF}$ и определете фазовия ъгъл, при който ще работи кварцовият резонатор. Какви са стойно-

стите на еквивалентната му индуктивност и на резонансното съпротивление?

2. Коефициентът на температурна нестабилност на честотата на кварцовия резонатор е $0,5 \text{ ppm/}^\circ\text{C}$. Намерете абсолютната и относителната стойност на честотното отклонение в температурна област $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, ако при 25°C честотата на генерации е $10,000 \text{ MHz}$.



Контролни въпроси 3.6

1. Начертайте еквивалентната схема на кварцов генератор и изведете изразите за честотите на серийния и паралелния резонанс.
2. Начертайте прите основни осцилаторни схеми с кварцови резонатори. Опишете принципа на действие. Какво е условието за самовъзбуждане?
3. Кои са основните параметри, характеризиращи стабилността на кварцовите резонатори?
4. Какво представлява вариацията? Каква функция описва изменението на капацитета от напрежението? А от температурата?
5. Назовете кварцови генератори в модулно изпълнение. Къде намират приложение?

3.7. Синтезатори на честота

3.7.1. Общи сведения

В м. 3.6 са изложени принципите на високостабилните източници на еталонни честоти. Практиката обаче налага използването на точни и стабилни честоти в широк честотен диапазон – от няколко херца до СВЧ. На тези изисквания отговарят съвременните синтезатори на честота, при които от една или няколко еталонни честоти се възпроизвеждат със същата точност гама от честоти през определена дискретна стъпка. За целта се използват операциите събиране, изваждане, деление и умножение на честоти.

Най-елементарен начин за получаване на серия от честоти е да се получат хармоници от сигнала с еталонна честота с помощта на нелинеен елемент. Този принцип се използва в диапазонни генератори на синусоидални трептения за създаване на серия от калибровъчни честоти.

Методите за синтез на честоти се делят на кохерентни и некохерентни. При първия метод синтезът се извършва на основата на няколко изходни еталонни честоти. При втория метод се използва една-единствена честота.

Преобразуването може да бъде пряко и косвено. Прякото преобразуване прилага непосредствено методите на деление, умножение и смесване на честоти. Косвените методи използват принципа на обратна връзка.

3.7.2. Синтез на честотата с PLL-схема

Широко приложение намират синтезаторите на честота, при които генератор, управляван с напрежение

(ГУН) е обхванат от верига на обратна връзка за фазова автоматична донастройка на честотата (PLL – Phase Locked Loop). Класическа структурна схема на такъв синтезатор е показана на фиг. 3.27.

Принцип на действие

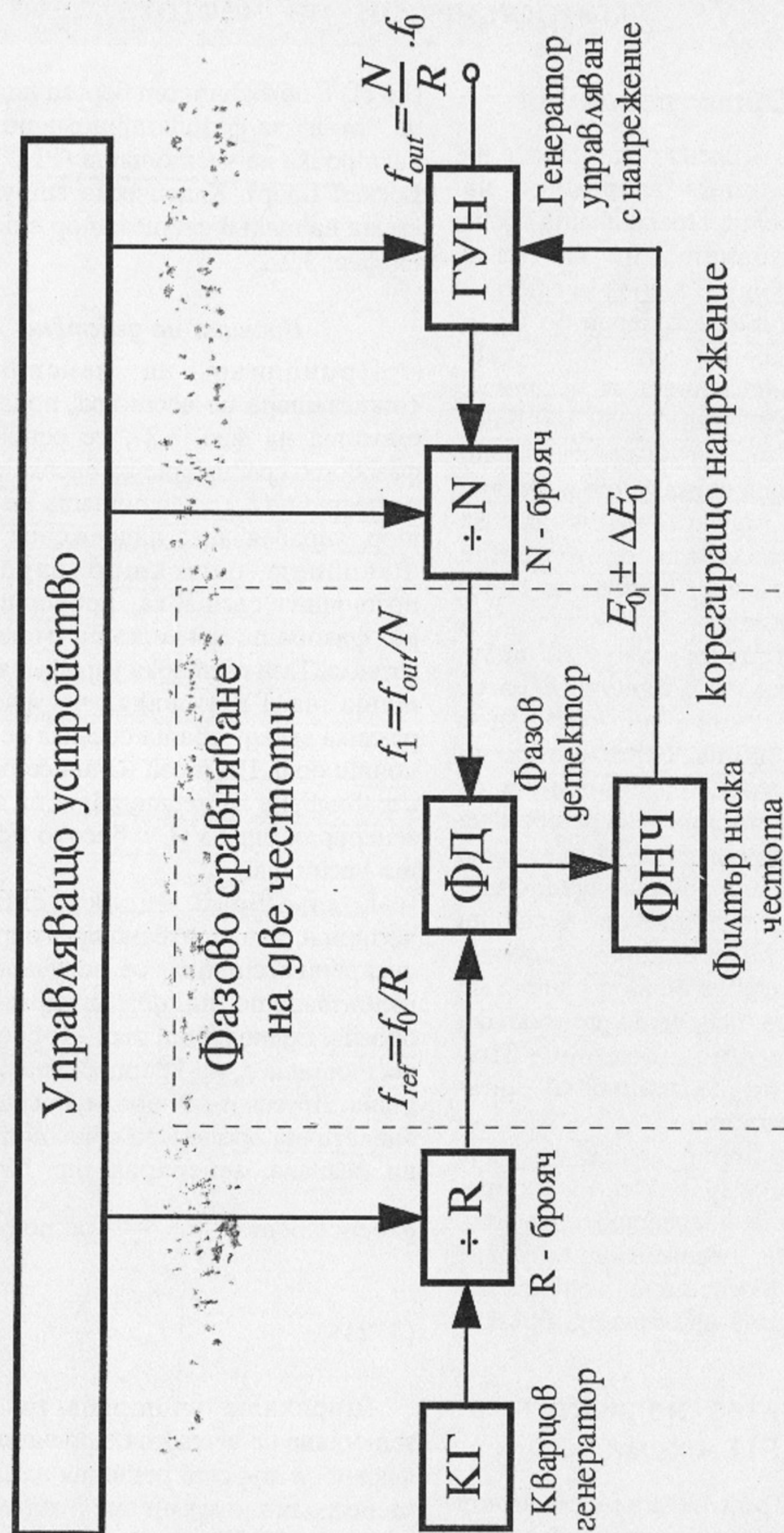
Принципът на действие на синтезатора на честота, показан със схемата на фиг. 3.27, се основава на фазовото сравняване на високо стабилна честота f_{ref} с честотата на генератор, управляван с напрежение – ГУН. Фазовият детектор изработва постоянна съставка, пропорционална на фазовата разликата между два сигнала. Тази съставка управлява честотата на ГУН така, че фазовата разлика между двата сигнала се свежда почти до 0. По този начин се получава изравняване на честотата на сигнала, генериран от ГУН, с високо прецизната честота f_{ref} .

Голям брой високо стабилни честоти, установявани през определена дискретна стъпка, се получават чрез използването на два програмируеми брояча. Единият от тях – R-брояч, дели честотата f_0 на кварцов генератор R пъти. Другият – N-брояч, осъществява аналогична процедура с честотата f_{out} на сигнала, генериран от ГУН. От

равенството $\frac{f_0}{R} = \frac{f_{out}}{N}$ се получава

$$(3.24) \quad f_{out} = \frac{N}{R} f_0$$

Широката употреба на синтезаторите на честота е причина редица фирми да търсят решения на модули в интегрално изпълнение, изпълняващи голяма част от функциите на синтезатора. Един такъв пример е схемата



Фиг. 3.27. Структурна схема на синтезатор на честота с обратна връзка

МС145159 (Motorola), която съдържа осцилатора на прецизната честота (с външно свързване на кварцовия резонатор), броячните схеми, фазовия детектор и логически схеми за управление.

Схемотехнически особености

Генераторите, управлявани с напрежение, за по-високи честоти нормално са от LC тип. Донастройка на честотата се осъществява с варикапи.

Съществува голямо разнообразие на схеми на фазови дискриминатори. На фиг. 3.28 е показана в структурен вид схема на фазов дискриминатор от типа следене-запомняне, а на фиг. 3.29 са дадени временните диаграми, поясняващи принципа на действие.

Електронният ключ EK_1 се управлява от тесни импулси, изработени от сигнала с прецизна честота. Той се затваря периодично за кратко време и разрежда кондензатора C_1 . През останалото време C_1 се зарежда с постоянен ток и напрежението му нараства линейно – фиг. 3.29б. Едновременно с това електронният ключ EK_2 на схемата следене-запомняне стробира сигнала върху C_1 синхронно с тесни импулси, изработени от сигнала

с честота $f_1 = \frac{f_{out}}{N}$. По този начин върху кондензатора C_2 се установява стойността на линейното напрежение в момента на стробирането. Това напрежение управлява ГУН (фиг. 3.27). Когато периодът на генерираното напрежение от ГУН се увеличи по някаква причина, то и напрежението, получено върху запомнящия кондензатор C_2 , нараства с ΔE , както е показано на фиг. 3.29б. Увеличаването на това напрежение поляризира допълнително варикапа в осцилатора в обратна посока и неговият капацитет се намалява. Честотата на

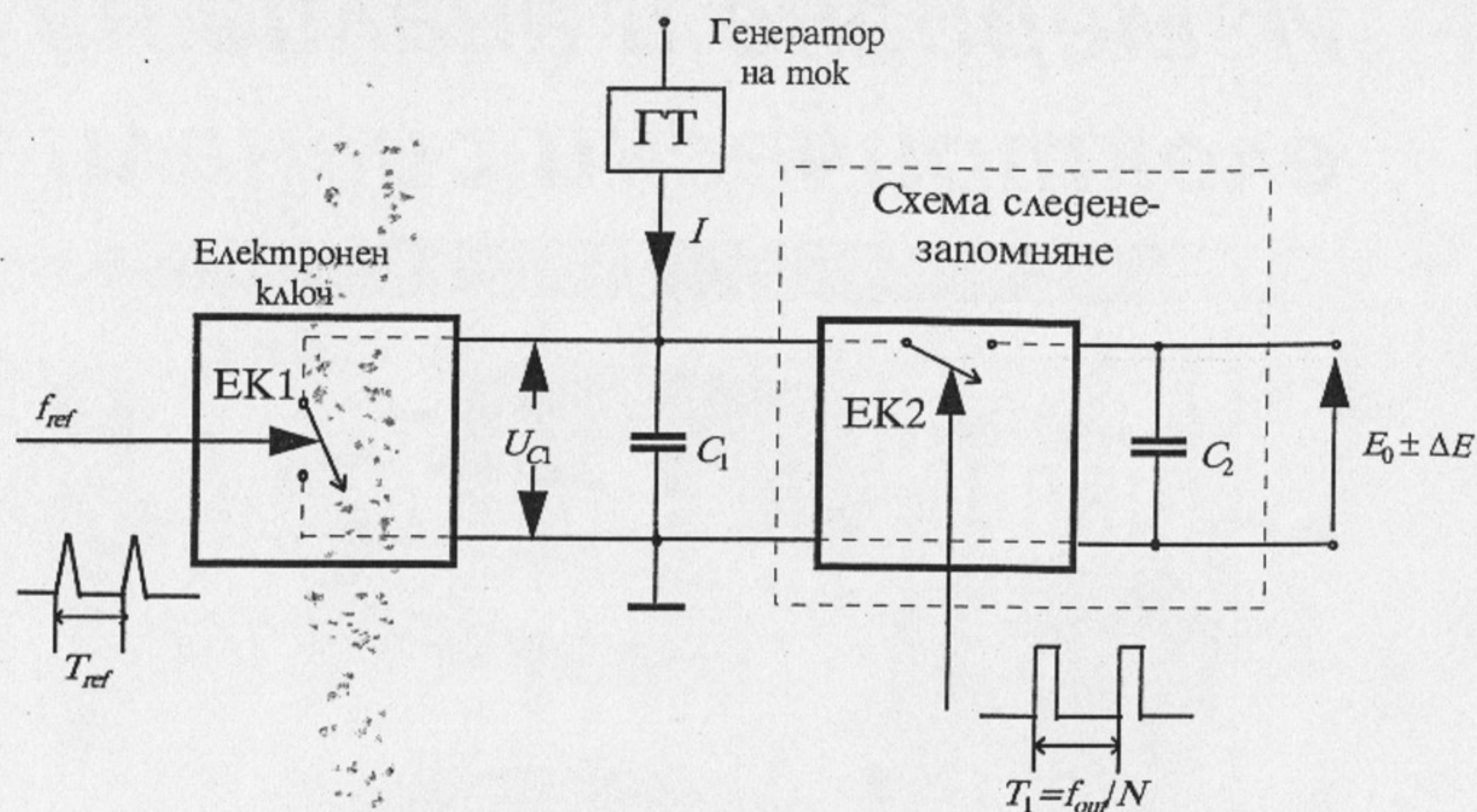
трептенията се повишава, т. е. периодът им се намалява. На този принцип работи веригата на отрицателна обратна връзка, която стабилизира честотата на ГУН до прецизната честота f_{ref} .

Редица водещи фирми произвеждат високостабилни сигнал-генератори, базирани се на синтез на честоти. Такива модели са 8656А и 8662А на Hewlett Packard. Първият модел покрива честотен обхват от 100 kHz до 90990 MHz. Цифров индикатор със седем цифри показва стойността на установената честота (разрешаваща способност 100 Hz). Отделен двуцифров индикатор показва процента на амплитудната модулация или на честотната девиация. Третият индикатор показва установената изходна амплитуда. Вторият модел 8662А работи в честотна област от 10 kHz до 1280 MHz. При него с единадесетцифров индикатор се показва установената честота. И при двата модела параметрите на изходния сигнал могат да се програмират ръчно чрез използване на бутонната система на лицевия панел или автоматично чрез управление от ЕИМ.

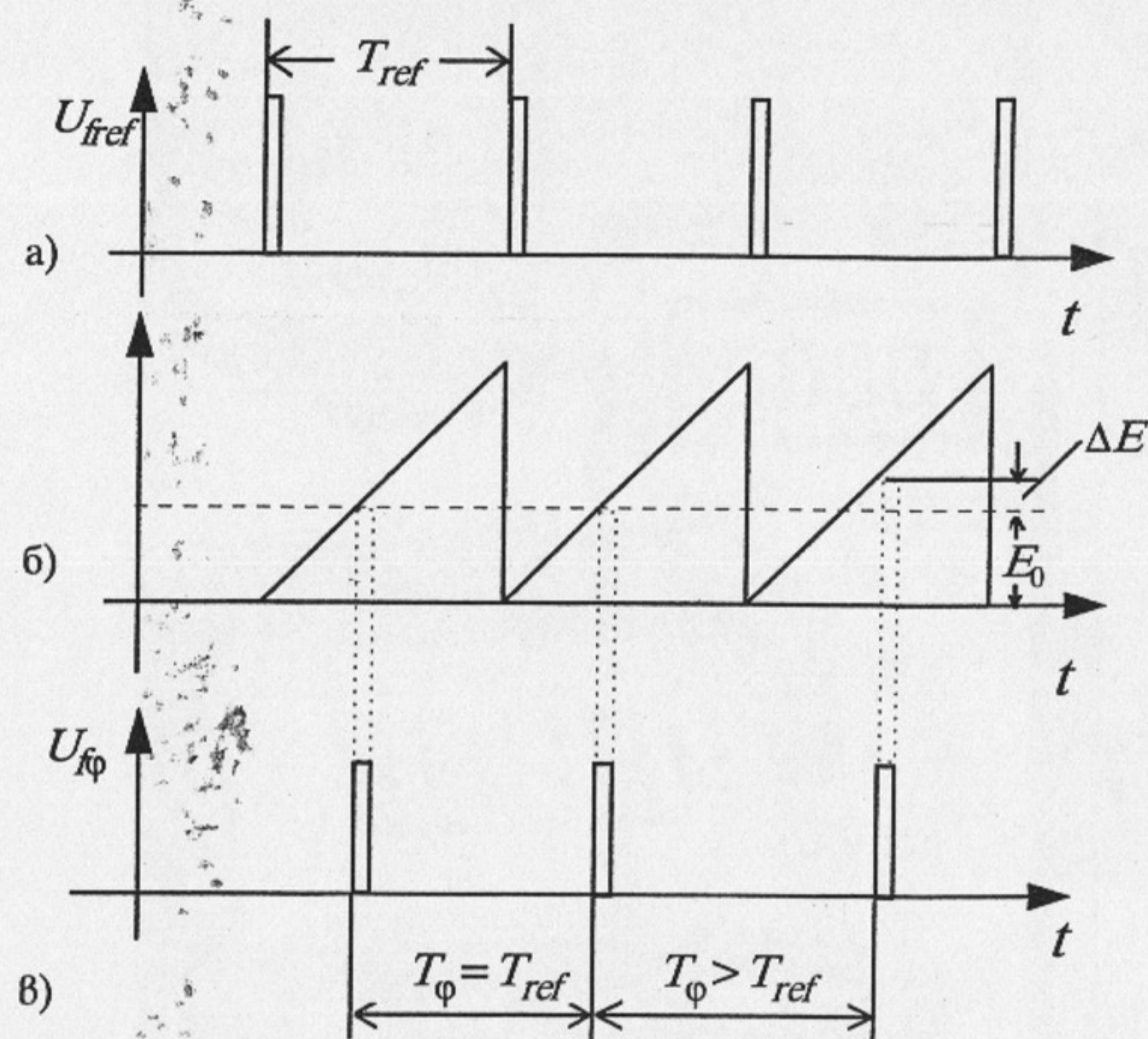


Контролни въпроси 3.7

1. Начертайте структурната схема и опишете принципа на действие на синтезатор на честота с PLL схема.
2. Начертайте структурната схема и опишете принципа на действие на фазов детектор, използващ схема следене-запомняне.



Фиг. 3.28. Фазов детектор



Фиг. 3.29. Принцип на действие на фазов дискриминатор

Обобщение

Разнообразието на видовете съществуващи генератори на сигнали е изключително богато. Това разнообразие произтича от потребностите на различните области на радиоелектронната и компютърната техника. Нискочестотните генератори на синусоидални по форма сигнали са с масово приложение в лабораторната и производствената практика. С тяхна помощ се тестват нискочестотни усилватели и филтри, електронни елементи и др. Обикновено покриват честотната област $20 \text{ Hz} \pm 20 \text{ kHz}$.

Функционалните генератори са с по-големи възможности по отношение на формата на генерираните напрежения, поради което се разширяват и приложните им области. Покриваната честотна област е обикновено от ня-

колко херца до няколко мегахерца.

Импулсните генератори генерират импулсни напрежения с определени параметри и възможности за тяхното изменение. С тях се изследват основно цифрови схеми и устройства. Генерираните честоти достигат до 100 MHz .

Специална класа са сигнал-генераторите, в които се генерират модулирани сигнали – чрез амплитудна и честотна модулация. Приложението им е в радио-съобщителната техника. Достигнати са честоти до няколко и десетки гигахерца.

Към всички тези категории генератори на сигнали могат да се добавят и специалните генератори, използвани в телевизията и цифровите комуникации, генераторите на данни за тестване на цифрови схеми и системи и др.