

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА
ШЕВЧЕНКА**

ФАКУЛЬТЕТ ВІЙСЬКОВОЇ ПІДГОТОВКИ

**КАФЕДРА ВІЙСЬКОВО-ТЕХНІЧНОЇ
ПІДГОТОВКИ**

Предмет
“ОСНОВИ ПОБУДОВИ ВІЙСЬКОВИХ
ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ”

ТЕМА № 5.
ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ
ТЕХНІКИ
ЧАСТОТИ І ЧАСУ

ЗАНЯТТЯ 1. ВИМІРЮВАННЯ
ЧАСТОТИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ
КОЛИВАНЬ

НАВЧАЛЬНА МЕТА:

**1. НАДАТИ КЛАСИФІКАЦІЮ МЕТОДІВ
ВИМІРЮВАНЬ ЧАСТОТИ.**

**ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ
ЧАСТОТИ.**

**2. РОЗГЛЯНУТИ ПРИНЦИП
РЕЗОНАНСНОГО МЕТОДУ
ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ.**

**3. ОЗНАЙОМИТИСЬ З МЕТОДОМ
ДИСКРЕТНОГО РАХУНКУ ЧАСТОТИ І
ІНТЕРВАЛІВ ЧАСУ.**

ВИХОВНА МЕТА:

- 1. ВИХОВУВАТИ У СТУДЕНТІВ ДИСЦИПЛІНОВАНІСТЬ І КУЛЬТУРУ ПОВЕДІНКИ.**
- 2. ВИХОВУВАТИ ВПЕВНЕНІСТЬ І ВИНАХІДЛИВІСТЬ ПРИ ВИВЧЕННІ МАТЕРІАЛУ**
- 3. ВИХОВУВАТИ І РОЗВИВАТИ ТВОРЧИЙ ПІДХІД ПРИ ВИВЧЕННІ МАТЕРІАЛУ НА ЗАНЯТТІ І САМОСТІЙНІЙ ПІДГОТОВЦІ.**

НАВЧАЛЬНІ ПИТАННЯ

- 1. Класифікація методів вимірювань частоти. Особливості вимірювання частоти.**
- 2. Резонансний метод вимірювання частоти.**
- 3. Вимірювання частоти методом порівняння з еталонною частотою.**
- 4. Вимірювання частоти і інтервалів часу методом дискретного рахунку.**

ПИТАННЯ 1

**ОСОБЛИВОСТІ
ВИМІРЮВАННЯ
ЧАСТОТИ.**

**КЛАСИФІКАЦІЯ
МЕТОДІВ ВИМІРЮВАНЬ
ЧАСТОТИ**

Розвиток багатьох напрямків науки і техніки визначається точністю вимірювання часу і частоти. Із семи основних фізичних величин (довжина, маса, час, сила електричного струму, термодинамічна температура, сила світла і кількість речовини) еталони часу і частоти є самими точними. Це говорить про ту увагу, яка приділяється суспільством в процесі наукової і виробничої діяльності до питань вимірювання часу і її похідної частоти.

На початку XIV століття англійське адміралтейство зрозуміло, що точність годинників має найважливіше стратегічне значення, оголосило премію в двадцять тисяч фунтів стерлінгів за найточніший хронометр. В той період володарем морів ставала та держава, моряки якої зуміли точніше визначати місцеположення корабля у відкритому морі. Широта визначалась по куту, на який піднімалось Сонце у полудень, коли воно вище усього стоїть над горизонтом. А довготу можна було підрахувати тільки як різницю в часі між моментами полудня на кораблі і на нульовому меридіані, для чого на кораблі були потрібні точні годинники хронометр. Премію одержав англійський часовий майстер Гаррісон, хронометри якого мали похибку не більше декількох сотих часток секунди за добу.

Зараз Державний первинний еталон часу і частоти, який базується на групі квантових мір частоти (водневих, цезієвих, рубідієвих генераторів), забезпечує відтворення одиниці часу секунди і одиниці частоти герца з СКВ результату вимірювань, яке не перевищує 10-13, при НСП не більше 10-12.

Вимірювання частоти одна із основних задач, які вирішуються в радіотехніці. Це пояснюється рядом обставин.

По-перше, наявність великої кількості радіоелектронної апаратури, яка застосовується у багатьох сферах народного господарства, а також на військовій техніці, і працюючої у широкому діапазоні частот, приводить до необхідності мати діло з частотними вимірюваннями під час розробки, виробництві і експлуатації цієї апаратури.

По-друге, сучасний розвиток науки і техніки неможливий без часових вимірювань, і тільки за допомогою частотовимірювальної апаратури можна відтворювати з потрібною точністю одиницю фізичної величини - **секунду**.

По-третє, висока точність частотовимірювальних приладів, недосягнена для інших ЗВ, дозволяє використовувати їх для визначення з достатньою достовірністю параметрів різних об'єктів, а також вимірювання інших фізичних величин (температури, швидкості, кутових приростів, тиску, витрати рідин і ін.)

І на закінчення, перевірка, атестація і калібрування інших радіовимірювальних приладів змінної напруги проводять в визначених точках частотного діапазону, що потребує в процесі проведення вказаних операцій мати діло з частотними вимірюваннями.

Джерела частоти сигналів електромагнітних коливань можна розділити на 2 групи. До першої відносяться різні компоненти РЕА (генератори, збуджувачі, гетеродини і т.д.), до другої засоби вимірювань, які призначені для відтворення частоти (стандарти частоти, генератори вимірювальні), і компоненти приладів (опорні генератори, гетеродини і ін.).

В практиці частотних вимірювань більше всього треба визначати дійсне значення частоти сигналів електромагнітних коливань, під яким будемо розуміти значення частоти, настільки наближене до істинного значення, що для даної мети може бути використане замість нього. Для першої групи джерел вказаний параметр у більшості випадків є достатнім для характеристики частоти.

де ω_n - номінальне значення частоти.

, (1)

Фаза сигналу в момент t буде визначатись, як $[\omega_n t + \phi(t)]$.

Цей запис показує, що навіть стабільний по частоті сигнал не характеризується одним значенням частоти ω_n .

В загальному вигляді миттєве значення частоти сигналів електромагнітних коливань є похідна від фази в часі і визначається відомим виразом

, (2)

де w_0 - початкове значення частоти сигналу, яке відповідне моменту встановлення частоти на підприємстві;

a - коефіцієнт, який залежить від стабільності частоти джерела в часі;

$\Delta w(t)$ - флуктуаційна зміна частоти, центрована відносно усередненого значення на інтервалі спостереження.

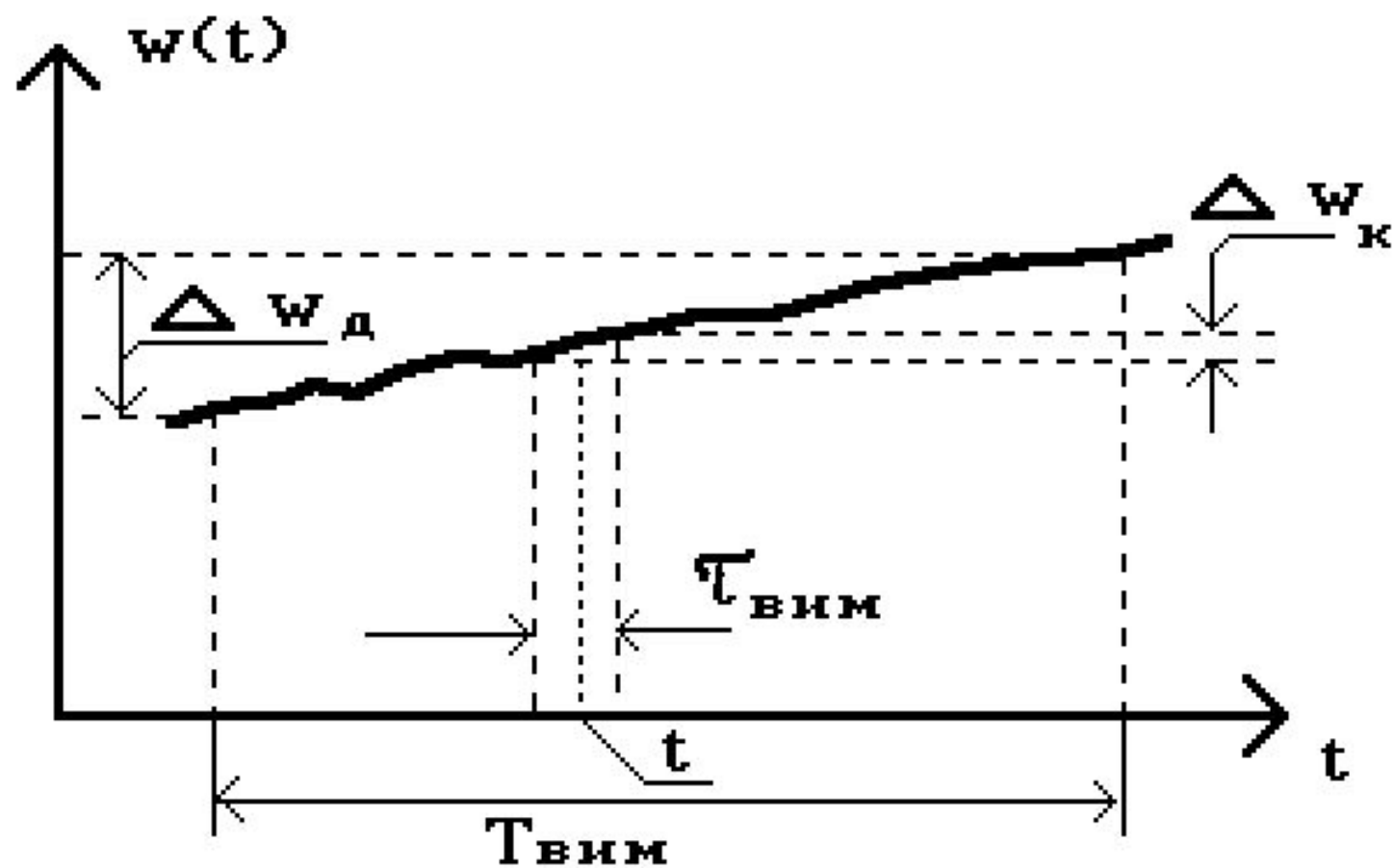
Із (1) випливає, що у джерел частоти сигналів електромагнітних коливань є два види нестабільності частоти (рис.1):

довготривала, яка пов'язана з систематичним зміщенням частоти за тривалий час ($\alpha \omega_0 t$) і

короткотривала, яка визначається флуктуаційними змінами частоти сигналу $[\Delta\omega(t)]$.

Межа розділу вказаних видів нестабільності є умовною і залежить від конкретного джерела частоти.

Так як процес вимірювання частоти займає визначений проміжок часу, в якому діють одночасно і систематична і флуктуаційна її зміна, дійсне значення частоти неможливо визначити.



Тому для оцінки дійсного значення частоти використовують її усереднене значення на інтервалі вимірювання t , яке визначається виразом

, [3]

Використовуючи [3] можна одержати вираз для довгочасної і короткочасної нестабільності частоти, задаючи інтервал часу T , на якому гарантується одна із вказаних нестабільностей, і час усереднення τ . Як правило величина T вказується в паспорті на джерело частоти, а величина τ залежить від швидкодії частотовимірювального приладу (наприклад, для електронно-лічильного частотоміра T рівне часу рахунку частотоміра).

У зв'язку з вищевказаним ДОВГОЧАСНА НЕСТАБІЛЬНІСТЬ ЧАСТОТИ $\Delta\omega_d(t)$ визначається як різниця двох усереднених значень частоти, взятих на початку і в кінці інтервалу часу T :

, [4]

В [4] співвідношення між T і τ встановлюється виходячи із наступних міркувань, які підтверджуються статистикою. Мінімально можливий час T_{\min} обмежується часом одного повного циклу електромагнітних коливань; максимально можливе T_{\max} необхідністю виконання умов $T \gg \tau$.

Співвідношення, які рекомендуються між T і τ наведені в табл.1

Для підвищення достовірності результату визначення $\Delta\omega_d(t)$ проводять N вимірювань довготривалої нестабільності частоти і знаходять її середнє арифметичне значення $\Delta\omega_d \text{ ср}(t)$ згідно з формулою

(5)

При визначенні короткочасової нестабільності частоти знаходять усереднене значення частоти на інтервалі часу τ вим $\omega_{\text{ср}}(t, \tau \text{ вим})$, а потім частоти за інтервал T вим $\omega_{\text{ср}}(t, T \text{ вим})$

Для підвищення достовірності результату визначення $\Delta w_d(t)$ проводять N вимірювань довготривалої нестабільності частоти і знаходять її середнє арифметичне значення $\Delta w_d \text{ ср}(t)$ згідно з формулою

(5)

При визначенні короткочасової нестабільності частоти знаходять усереднене значення частоти на інтервалі часу $\tau_{\text{вим}} w_{\text{ср}}(t, \tau_{\text{вим}})$, а потім частоти за інтервал $T_{\text{вим}} w_{\text{ср}}(t, T_{\text{вим}})$

При вимірюванні частоти потрібно оцінити можливі нестабільності і добре уявляти собі особливості частотомірів, уточнити, чи вимірюють вони миттєву частоту або середню, який інтервал усереднення і т.п.

Застосовують наступні

МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ:

- метод дискретного рахунку,**
- метод порівняння з зразковою частотою,**
- резонансний метод,**
- метод заряду і розряду конденсатора.**

Метод дискретного рахунку базується на підрахунку числа періодів вимірюємої частоти за калібрований інтервал часу. Частотоміри, які працюють по даному принципу, є цифровими вимірювальними приладами. Вони дозволяють вимірювати також інтервали часу. Метод є найбільш точним і перспективним. Застосовують в діапазоні частот від десятка герц до сотень мегагерц. Відносна похибка вимірювання частоти досягає $10^{-3} \dots 10^{-10}$.

Метод заряду і розряду конденсатора базується на вимірюванні середнього струму розряду або заряду зразкового конденсатора, який перемикається з заряду на розряд з частотою вимірювання. Метод застосовується на частотах від $10 \dots 20$ Гц до сотень кілогерц. Реалізовані на його основі прилади мають похибку частоти $1,5 \dots 2\%$ (наприклад ЧЗ-7).

Метод порівняння з зразковою частотою

застосовують в діапазоні частот

100 кГц...100 ГГц і забезпечує високу точність, яка залежить від похибки, з якою відома зразкова частота. Частотоміри, які побудовані по принципу порівняння частот (гетеродинні частотоміри), мають похибку 10^{-5} ... 10^{-6} . Гетеродинні частотоміри чудово доповнюють електронно-лічильні частотоміри на НВЧ і в міліметровому діапазоні. Гетеродинні перетворювачі частоти знижують частоту вимірювання в точно відоме число раз до значень, які зручно вимірювати ЕЛЧ.

Резонансний метод полягає в настроюванні резонансного коливального ланцюга, попередньо прокаліброваному по зразковому генератору і частотоміру, на частоту вимірювання і подальшому відліку її значення по шкалі, яка пов'язана з елементом настроювання. Метод застосовується на частотах від 100 кГц до 100 ГГц (використовуються різні коливальні системи від LC-контур до квазіоптичних резонансних ланцюгів). Резонансні частотоміри відрізняються простотою пристрою, похибка їх приблизно 10⁻³. В резонансних хвилемірах безпосередньо вимірюється довжина хвилі, а частота f одержується перерахуванням згідно $f = v / \lambda$, де v швидкість розповсюдження електромагнітних хвиль в системі.

ПИТАННЯ 2

РЕЗОНАНСНИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ

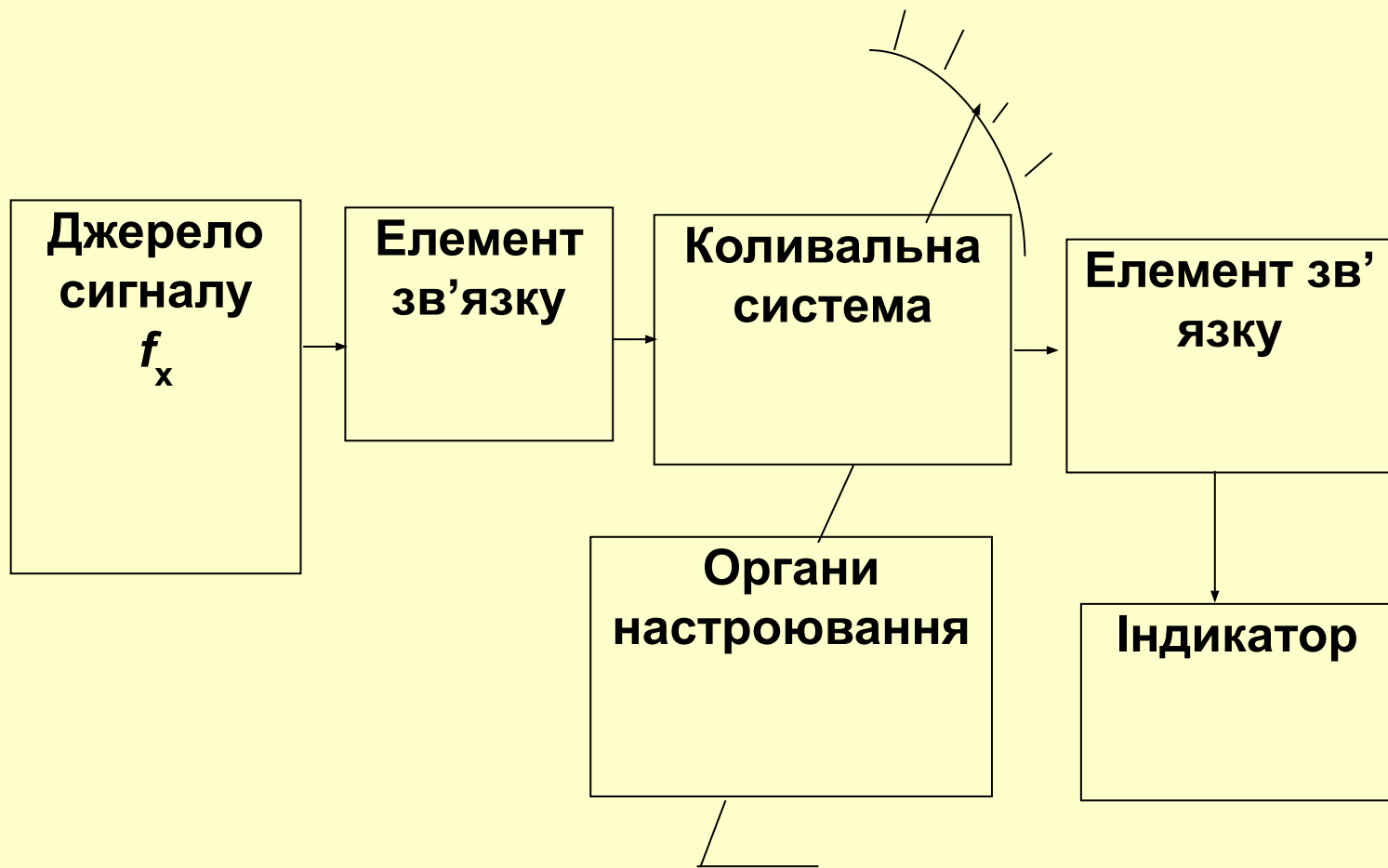


Рис.1. Узагальнена структурна схема вимірювача частоти резонансним методом

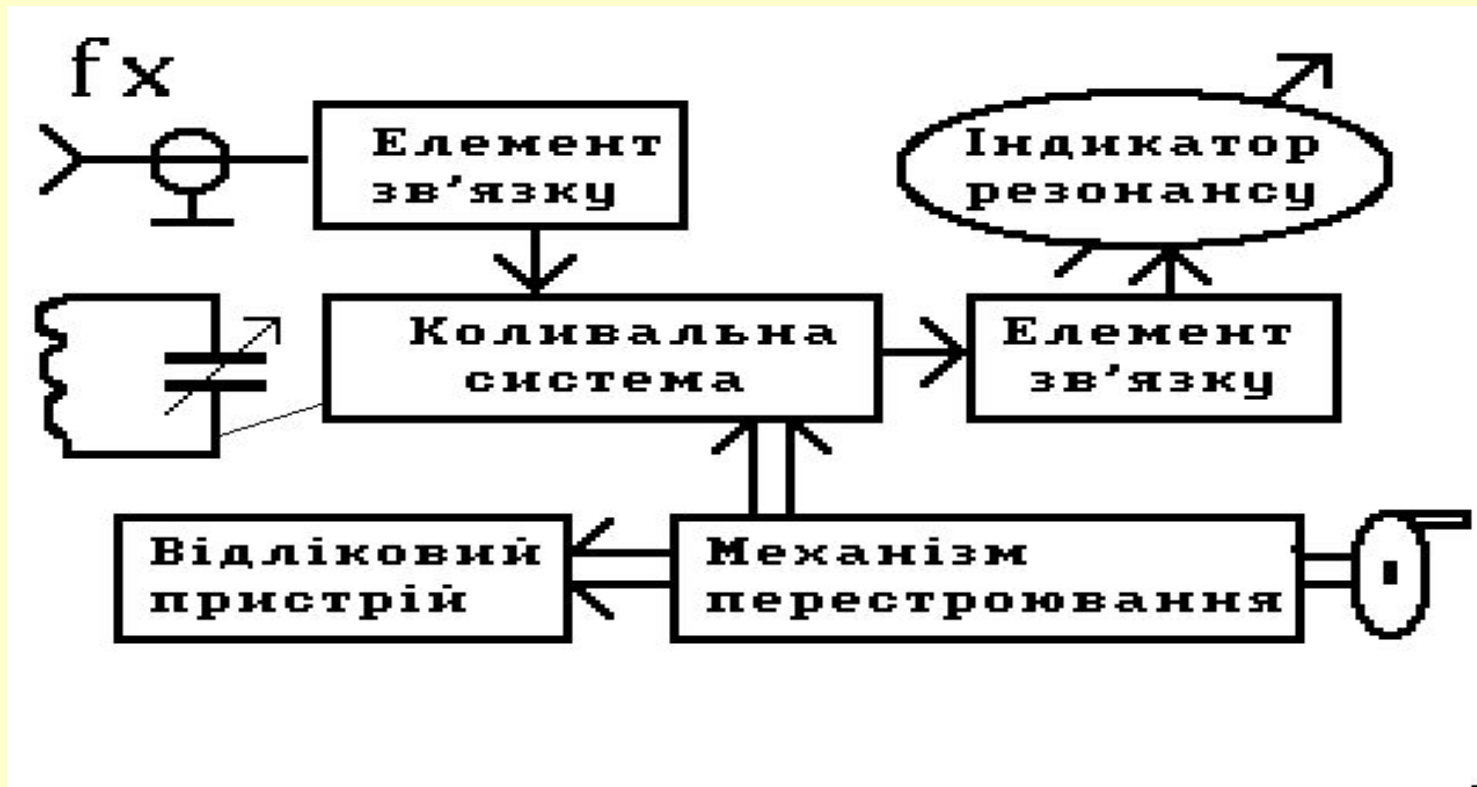
Резонансний метод будується на порівнянні частоти, яка вимірюється з частотою власних коливань коливального контуру або резонатора, які попередньо таруються.

Прилади, які вимірюють частоту резонансним методом, називаються резонансними частотомірами. Це нескладні прилади застосовують в частотному діапазоні від сотень кілогерц до сотень гігагерц. Розрізняють два способи виконання резонансного методу вимірювання частоти, які базуються:

- на явищі механічного резонансу;**
- на явищі електричного резонансу.**

Першим способом вимірюють низькі (промислові) частоти до 400 Гц. Прилади, які побудовані на явищі механічного резонансу, називають вібраційними частотомірами. У ньому є ряд сталевих пластинок з різною власною резонансною частотою. Під дією поля електромагніта, який розміщений поблизу з цими пластинками, і на який подається змінна напруга з вимірюваною частотою, пластинки починають механічні коливання. Амплітуда цих коливань буде залежати від співвідношення вимірюваної і власної частоти пластинки. Пластинка, у якої власні коливання співпадають з вимушеними, буде коливатись з найбільшим розмахом. Похибка вимірювань визначається точністю виготовлення пластинок і складає приблизно $\pm 1\%$.

Загальна структурна схема резонансного частотоміра, спосіб вимірювання якого базується на явищі електричного резонансу, зображена на рис. 2.



Сигнал вимірюваної частоти f через елемент зв'язку збуджує коливальну систему. За допомогою механізму перестроювання змінюється частота власних коливань коливальної системи. При рівності вимірюваної і власної частот виникає резонанс - збільшення інтенсивності коливань в коливальній системі. Момент резонансу фіксується за допомогою індикатора резонансу, який зв'язаний з коливальною системою через елемент зв'язку. За шкалою відлікового пристрою відраховується значення вимірюваної частоти.

Основним вузлом резонансного частотоміра є коливальна система, яка перестроюється по частоті. На частотах до сотень мегагерц в якості коливальної системи застосовують резонансні контури з зосередженими параметрами, на більш високих частотах до 1 ГГц контури з розподіленими параметрами у вигляді відрізків коаксіальних або смугових ліній, на ще більших частотах застосовують об'ємні резонатори, на частотах понад 30 ГГц відкриті резонатори.

ТРЕТЄ ПИТАННЯ

**ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ
МЕТОДОМ ПОРІВНЯННЯ З
ЗРАЗКОВОЮ ЧАСТОТОЮ**

Вимірювання частоти на основі порівняння її з точно визначеною і високостабільною частотою широко використовується в практиці вимірювань. Застосовують три типи пристроїв порівняння частот: на низьких частотах електронний осцилограф, на високих частотах і НВЧ гетеродинний перетворювач, на низьких і високих частотах фазометри з безперервним порівнянням фази. Метод порівняння частот на основі гетеродинного перетворення частоти одержав назву гетеродинного.

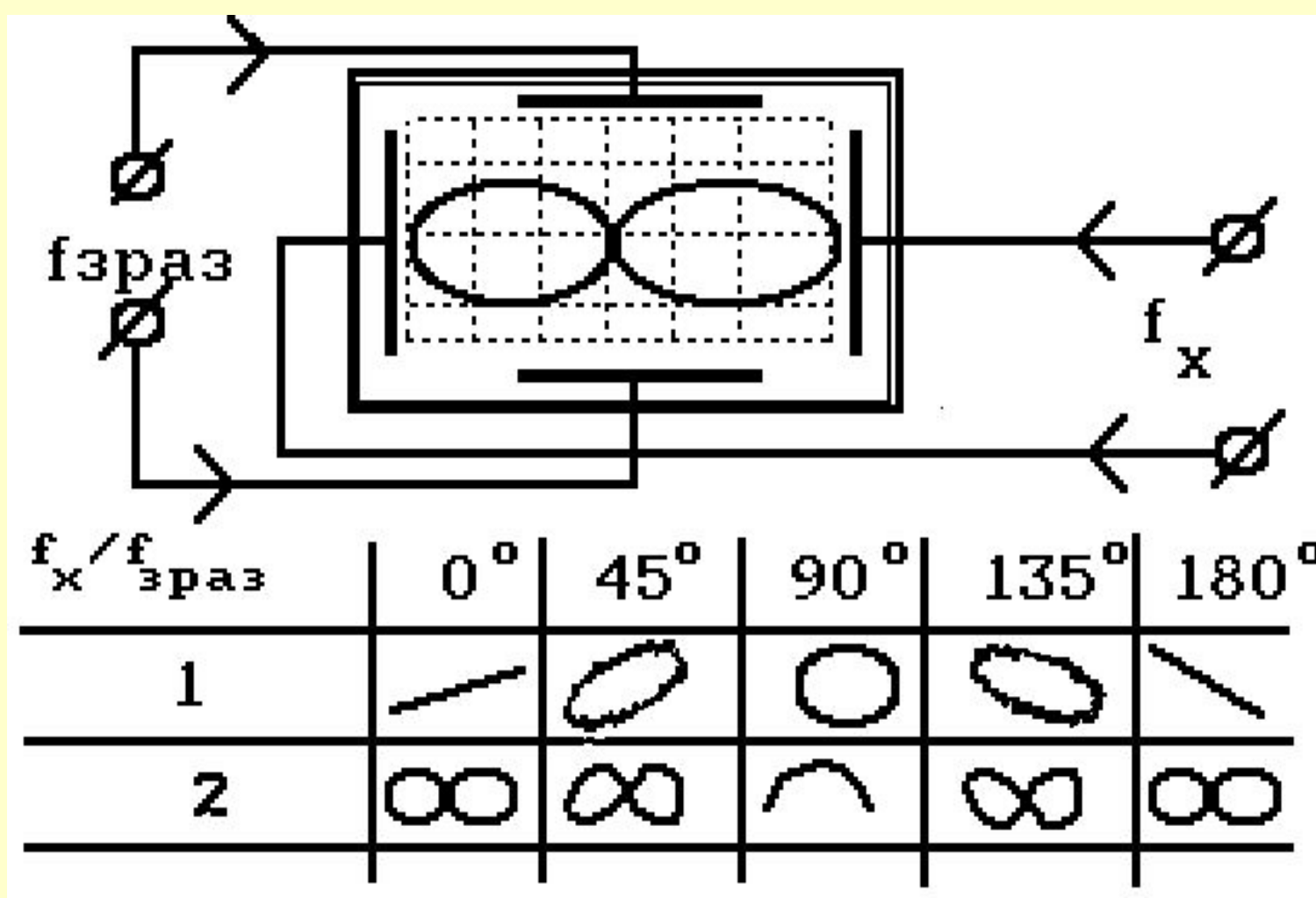
МЕТОД ПОРІВНЯННЯ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛОГРАФА

Цей варіант порівняння може бути застосований на частотах 10Гц...20МГц. Для вимірювань потрібне джерело зразкової частоти з можливістю перестроювання, похибка якого мала до знехтування в порівнянні з похибкою вимірюваного джерела.

Метод порівняння на основі осцилографа може бути реалізований двома способами:

Перший спосіб - це метод інтерференційних фігур (фігур Ліссажу):

У випадку застосування даного способу для вимірювання частоти генератор розгортки у осцилографу відмикають, напругу вимірюваної частоти подають на один вхід осцилографа, а напругу зразкової частоти на другий. Частоту зразкового генератора змінюють до одержання на екрані осцилографа повільно обертаючої або, якщо можливо, нерухомої фігури. Форма фігури залежить від кратності вимірюваної і зразкової частот, а частота обертання від різниці частот. На рис. 3 показані форми фігур при різних співвідношеннях зразкової і вимірюваної частот і їх фаз.

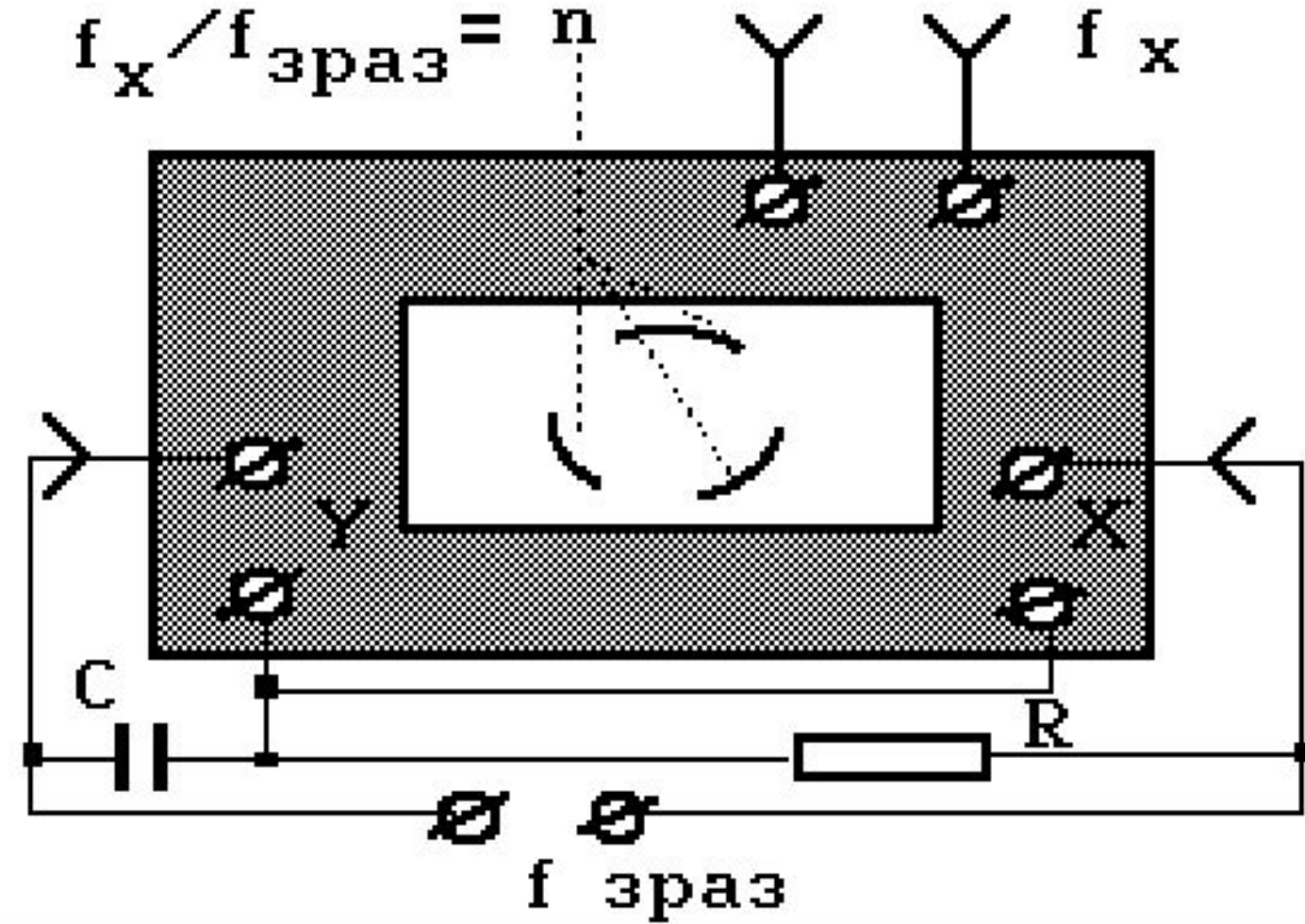


При одержанні фігур більш складних форм для визначення співвідношення частот потрібно провести дві прямі лінії: горизонтальну і вертикальну (минаючи вузли). Відношення числа «m» перетинів горизонтальної прямої з фігурою до числа «n» перетинів вертикальної прямої з цією фігурою дає відношення зразкової і вимірюваної частот. Якщо не вдається одержати нерухому фігуру, то потрібно підрахувати число повторень зображень фігури «q» за визначений час t і обчислити різницеву частоту згідно формули

, [7]

Цей спосіб застосовують при кратності вимірюваної і зразкової частот не більше 10, так як при більшому числі перетинів горизонтальної і вертикальної ліній їх важко підрахувати.
Схема вимірювання частоти наведена на рис.4

$$f_x / f_{\text{образ}} = n$$



Напруга однієї частоти подається на обидва входи осцилографа через фазозсуваючий ланцюг. Напруга другої частоти подається на модулятор електронно-променевої трубки. При кратності вимірюваної і зразкової частот на модулятор подається напруга більш високих частот. Якщо $f_x = f_{зраз}$, то на екрані осцилографа з'явиться половина світлого кола (або половина світлого еліпсу в залежності від кута фаз фазозсуваючого ланцюга). При кратності f_x і $f_{зраз}$ на екрані з'явиться пунктирне коло. Число темних і світлих штрихів n рівне кратності невідомої і зразкової частот. Якщо частоти f_x і $f_{зраз}$ не рівні, то фігура на екрані осцилографа буде обертатись. Швидкість обертання прямо пропорційна різниці частот $f_{зраз} - f_x$. Для визначення $\Delta f = f_{зраз} - f_x$.

досить помітити положення на екрані осцилографа одного штриха пунктирного кола в момент часу t_1 , потім помітити час t_2 , коли штрих займе попереднє положення і обчислити різницеву частоту згідно

[8]

Якщо частота обертання фігури на екрані осцилографа досить низька, то визначають час t_2 , через який штрих пройде частину кола « m ». Підрахунок різницевої частоти у цьому випадку проводять згідно

[9]

Різновидом розглянутого способу спосіб подвійної колової розгортки.

Спосіб колової розгортки застосовують для вимірювання частот при кратності їх з зразковою до 50.

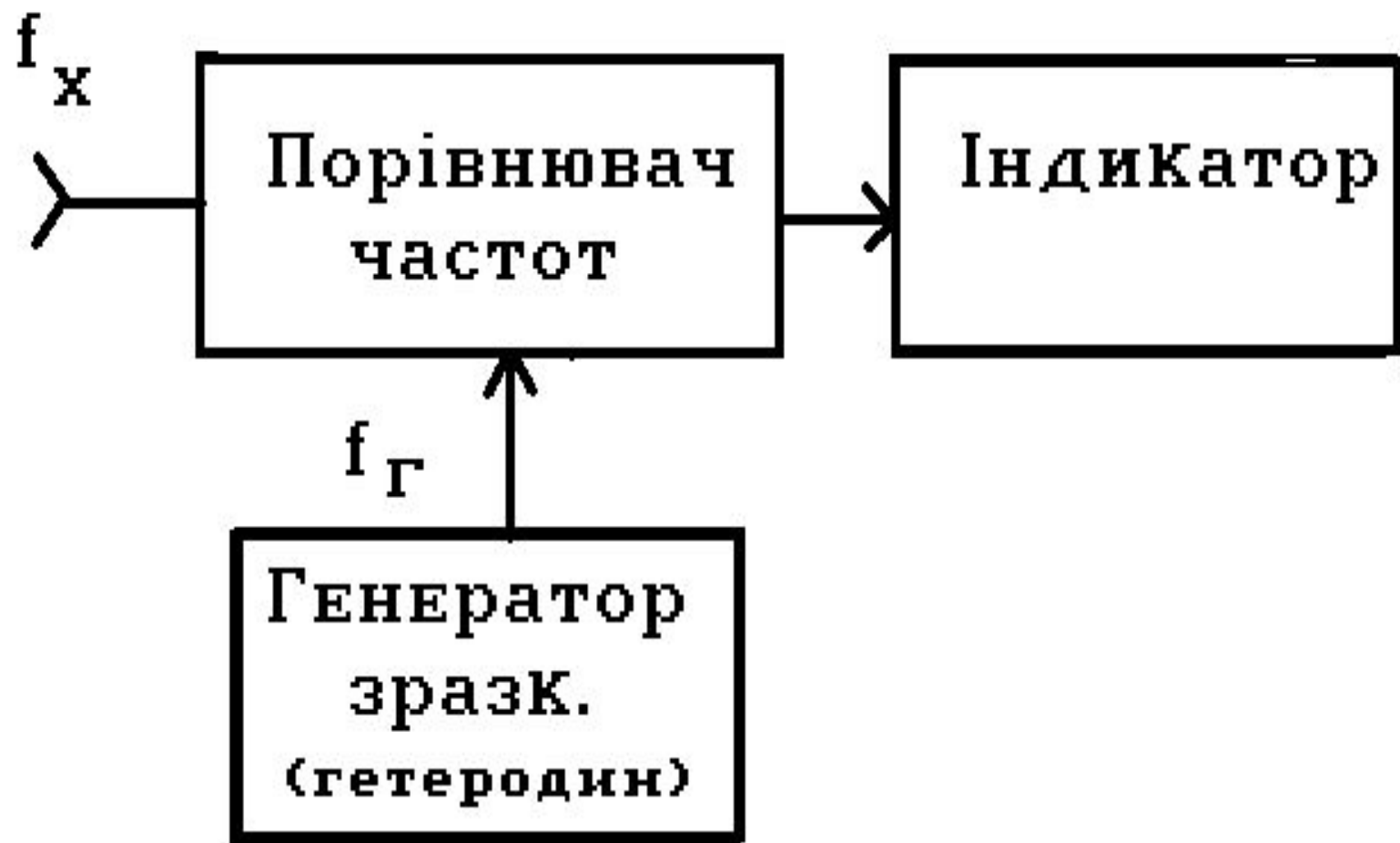
Похибка вимірювання визначається похибками вимірювання різниці фаз і інтервалів часу.

Похибка вимірювань різниці фаз, крім неточності відліку, залежить від фазової модуляції і флуктуації вимірюваного сигналу.

Недоліком осцилографічного способу є великий час вимірювань, обов'язкова присутність оператора і відносно низька роздільна здатність відліку різниці фаз.

ГЕТЕРОДИННИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ

Суть цього методу полягає в порівнянні на основі гетеродинного перетворювання частоти вимірюваного сигналу з частотою напруги гетеродина, який перестроюється, високостабільного генератора, частота якого відома. Вимірювальні прилади, які виконують гетеродинний метод, називають гетеродинними частотомірами. Спосіб застосовують для порівняння звукових, високих і надвисоких частот. Структурна схема гетеродинного частотоміра зображена на рис.5



Похибка вимірювання складається з похибок порівняння і похибки гетеродина (непостійність характеристики калібрування і нестабільності).

Гетеродинні частотоміри характеризуються діапазоном вимірюваних частот, похибкою, чутливістю. В якості приклада гетеродинних частотомірів можна привести прилади: Ч4-1 (діапазон вимірювання 125...20 000кГц, основна похибка $2 \cdot 10^{-4}$, чутливість 100 мВ);

Ч4-5 (діапазон вимірювань 2, 5...18 ГГц, основна похибка $5 \cdot 10^{-5}$, чутливість 100 мкВт);

Ч4-25 (діапазон вимірювань 37,5...78,3 ГГц, основна похибка 10^{-5} , чутливість 100 мкВт);

ЧЕТВЕРТЕ ПИТАННЯ

ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ І
ІНТЕРВАЛІВ ЧАСУ
МЕТОДОМ ДИСКРЕТНОГО
РАХУНКУ

При вивченні цифрових вольтметрів ми вивчали аналогово-цифрове перетворення часового інтервалу в число імпульсів. Суть його полягала в порівнянні перетворюваного інтервалу часу T з відомим періодом надходження відлікових імпульсів $T_{від}$. Порівняння виконувалось рахуванням « m » імпульсів, які заповнюють інтервал T .

При вимірюванні частоти роль $T_{від}$ і T змінюються: імпульси вимірюваної частоти заповнюють часовий інтервал, який сформований із коливань високостабільного по частоті кварцового генератора з відомою частотою $f_{кв}$. Мірою частоти f_x , очевидно, буде число імпульсів « n », які заповнили інтервал

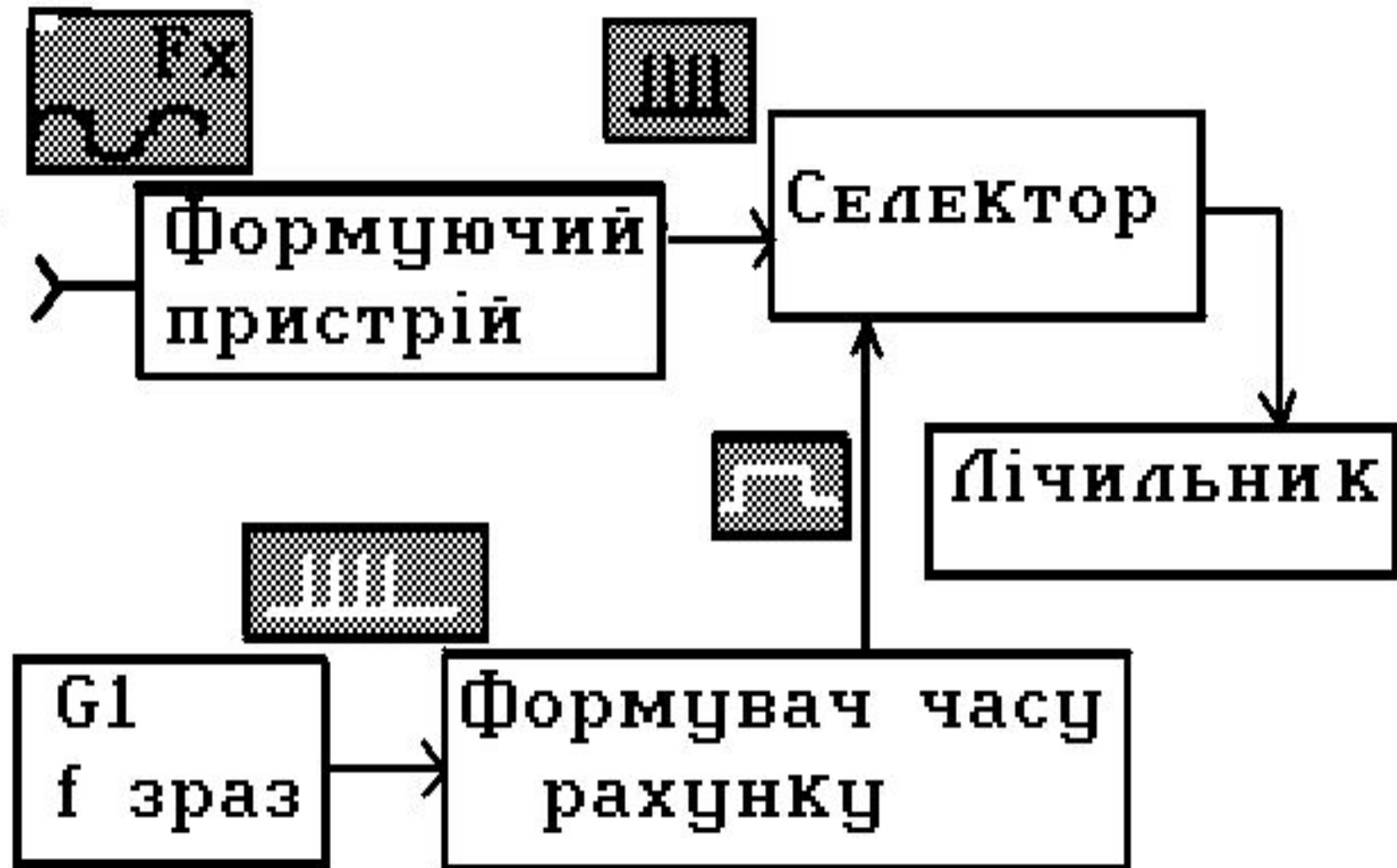
$$(10)$$

Таким чином, даний спосіб побудований на вимірюванні числа періодів вимірюваної частоти за інтервал часу, який формується зразковою частотою.

(11)

Результати підрахунку числа імпульсів, які попали в часовий інтервал ΔT , фіксують в цифровій формі за допомогою лічильника імпульсів.

Як правило ΔT вибирають рівним $10m$, де m - ціле число, яке приймає значення від 2 до 3. Тому покази ЕЛЧ чисельно співпадають зі значенням вимірюємої частоти. Структурна схема електронно-лічильного частотоміра зображена на рис.6.



Сигнал невідомої частоти f_x надходить на підсилювач формувач імпульсів, який перетворює синусоїдальну напругу вимірюваної частоти в послідовність однополярних імпульсів. Частота надходження цих імпульсів рівна вимірюваній частоті. Імпульси надходять на вхід 1 селектора. На вхід 2 надходить стробуючий імпульс визначеної тривалості T . Тривалість стробімпульсу задається генератором $G1$ з кварцовою стабілізацією.

Стробоімпульс тривалістю $T = n/f_{кв}$ формується в блоці формування і керування. Імпульси вимірюваної частоти надходять на лічильник імпульсів лише тоді, коли на вхід 2 селектора надходить стробоімпульс. З виходу лічильника сигнал про число імпульсів m , у вигляді двійкового коду подається через перетворювач кодів (дешифратор) на цифровий відліковий пристрій. Вимірювання проводиться циклами, які задаються пристроєм керування. Із розглянутого принципу дії ясно, що ЕЛЧ вимірює середнє значення частоти за час вимірювання $T = n/f_{кв}$.