Кафедра БІ та Т
Біомедична інженерія
Телекомунікації та радіотехніка

Метрологія, стандартизація та підтвердження відповідності електронної апаратури

Вимірювання частоти

Загальні положення

Частота коливань – кількість повних коливань n за час їхнього існування t:

$$f = \frac{n}{t}.$$

Частота f та період коливань T дуальні:

$$f = \frac{1}{T}.$$

Загальні положення

Використовувані на практиці методи вимірювання частоти відрізняються точністю.

Найпоширенішими з них є:

- **Метод порівняння** ***(резонансний, гетеродинний, осцилографічний різновиди)***.
- **Метод дискретного підрахунку** (***цифровий*** – його синонімічна назва сьогодні).

Ще є метод перезаряджання конденсатора, проте на сьогоднішній день день він практично не використовується – мала точність (зведена похибка може доходити до 5 %), попри пристойну смугу частот 0,02 ... 1 МГц.

Частотоміри, побудовані на цих методах, так і називатимуться:

метод порівняння – резонансний частотомір, гетеродинний частотомір;

метод дискретного підрахунку – цифровий (електронно-лічильний) частотомір; метод перезаряджання конденсатора – конденсаторний частотомір.

Загальні положення

Орієнтовні значення відносних похибок вимірювання частоти цими методами:

конденсаторний – до 5 %;

резонансний – $10^{-3} \ldots 5 \cdot 10^{-4}$

метод порівняння – $10^{-4} \ldots 10^{-6}$

метод дискретного підрахунку – $10^{-6} \ldots 10^{-9}$ а то і менше.

Резонансний метод вимірювання частоти

Суть методу: порівняння вимірюваної частоти з власною резонансною частотою градуйованого вимірювального коливального контуру чи резонатора.

Частоти, на яких використовують метод: високі частоти (ВЧ), надвисокі частоти (НВЧ), хоча можна використовувати і на нижчих частотах.

Узагальнена структурна схема резонансного частотоміра

Вимірювальний коливальний контур збуджується сигналом вимірюваної частоти через вхідний пристрій. Інтенсивність коливань у системі різко збільшується у момент резонансу. Цей момент фіксують за допомогою індикатора резонансу, пов’язаного з коливальним контуром. Значення вимірюваної частоти зчитують з градуйованої шкали механізму настроювання вимірювального коливального контура.

Резонансний метод вимірювання частоти

В якості коливальних систем у таких частотомірах використовують:

на частотах до сотень МГц – **коливальні контури;**

на частотах до 1...10 ГГц – **контури з розподіленими параметрами** на зразок коаксіальної лінії;

на частотах понад 1...10 ГГц – **об'ємні резонатори.**

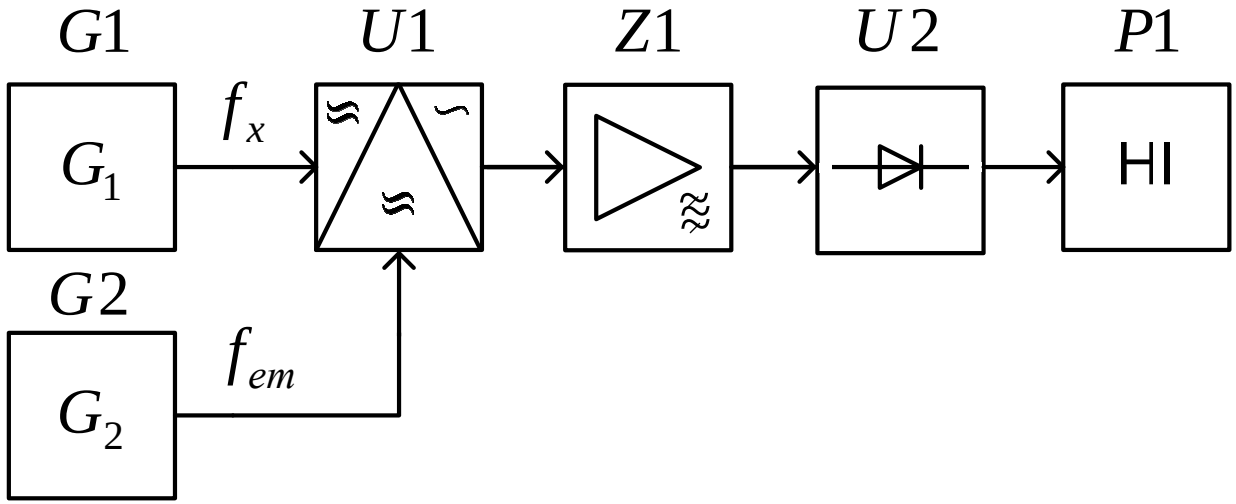
Основні джерела похибок методу:

- похибка настройки в резонанс;
- похибка шкали;
- похибка зчитування даних.

Гетеродинний метод вимірювання частоти

Суть методу: порівняння вимірюваної частоти з частотою еталонного генератора – гетеродина. Метод використовує принцип побудови схем з нульовим биттям.

Частоти, на яких використовують метод: НЧ, ВЧ, на НВЧ разом з цифровими чатотомірами. На НЧ їх фактично витіснили цифрові частотоміри, які забезпечують не гіршу точність, але значно простіші в експлуатації.



Структурна схема гетеродинного частотоміра:

G1 – генератор вимірюваної частоти; G2 – генератор зразкової частоти; U1 – змішувач; Z1 – підсилювач проміжної частоти (ППЧ); U2 – детектор; P1 – нуль індикатор.

Гетеродинний метод вимірювання частоти

Напруги частот, які порівнюють, подають на змішувач. На виході змішувача смуговим фільтром ППЧ Z1 виділяють напругу нижньої бічної частоти $f_{нч} = mf_{ет} = nf_x$. Змінюючи частоту еталонного генератора, добиваються нульових показів нуль-індикатора, які встановляться у випадку

$$f_{ет} - f_x = 0 \Leftrightarrow f_{ет} = f_x.$$

У діапазоні НВЧ та надзвичайно високих частот (НЗВЧ), зазвичай використовують взаємодію гармонік вимірюваної та зразкової частоти:

$$f_x = \pm \frac{nf_{ет}}{m}.$$

Основні джерела похибок методу:

- нестабільність частоти гетеродина;
- недбаліть калібрування

Осцилографічний метод вимірювання частоти

Суть методу: порівняння вимірюваної частоти з частотою еталонного генератора. В якості індикатора використовують екран осцилографа.

Частоти, на яких використовують метод: для будь-яких частот у межах смуги пропускання осцилографа.

Вимірювання можна здійснювати з використанням *лінійної, синусоїдальної чи колової розгорток.*

При використанні синусоїдальної розгортки метод називають методом фігур Ліссажу: внутрішній генератор розгортки осцилографа відключають та подають напругу етелонної частоти (з зовнішнього еталонного генератора) у канал X, а невідомої – у канал Y. Змінюючи зразкову частоту, добиваються отримання осцилограми у вигляді нерухомої чи повільно змінюваної фігури Ліссажу. За рівності чи кратності частот фігура буде нерухомою, а якщо вона обертається, то швидкість її обертання (період повторення форми) характеризує нерівність частот:

$$\Delta f = f_{em} - f_x = n/T_c .$$

n - кількість обертань за інтервал часу спостереження T_c.

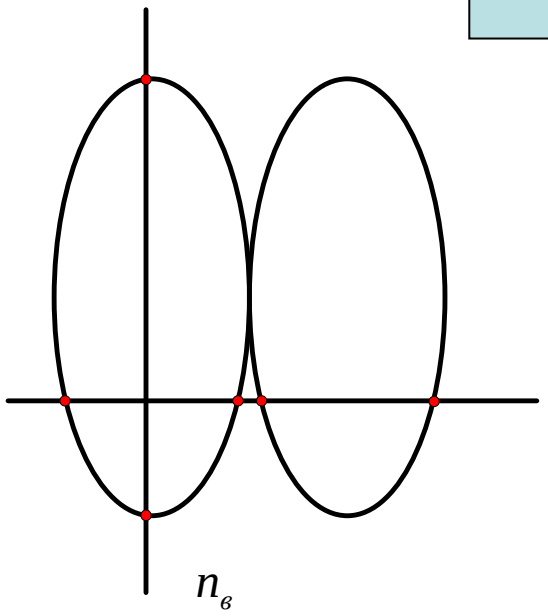
Осцилографічний метод вимірювання частоти

Форма фігур Ліссажу залежить від амплітудних та фазових співвідношень між напругами еталонної та невідомої частот. Кратність цих частот легко визначити за кількість перетинів осцилограми горизонтальною $n_г$ та вертикальною лініями $n_в$.

Вимірювана частота при цьому

$$f_x = \frac{n_г}{n_в} f_{ет}.$$

Приклад:



$$\frac{n_г}{n_в} = \frac{4}{2} = 2$$

Проводити горизонтальну та вертикальну лінії через точки самоперетину фігури не можна!

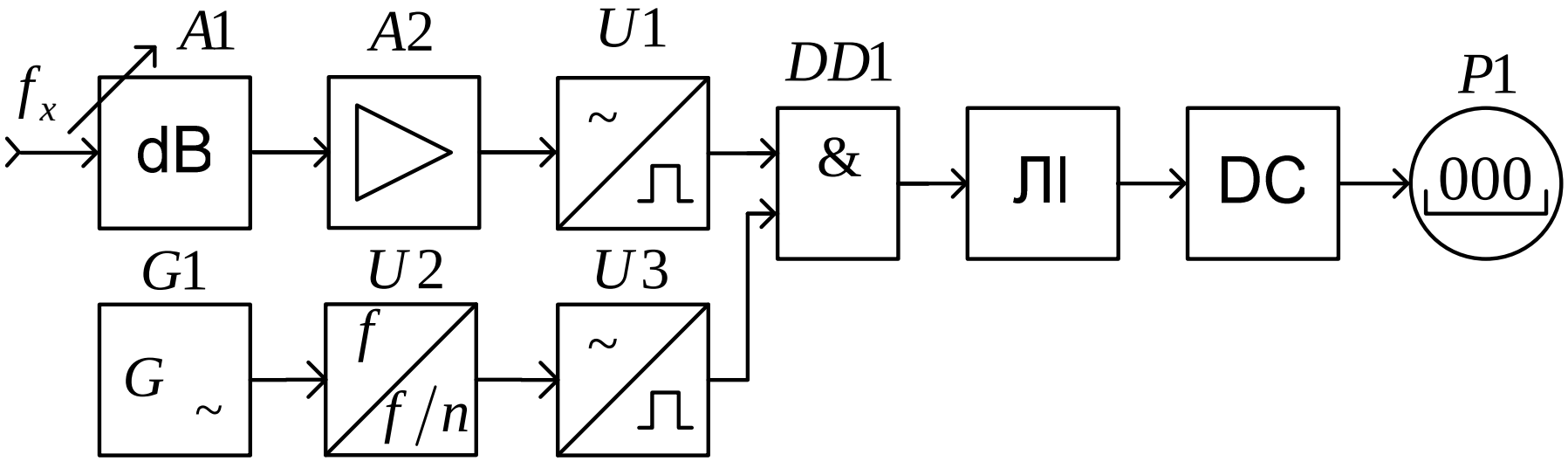
Якщо напруги частот поміняти між каналами (невідомої – на вхід X, а еталонної – на вхід Y), то

$$f_x = \frac{n_в}{n_г} f_{ет}.$$

Цифровий метод вимірювання частоти (метод дискретного підрахунку)

Суть методу: перетворення напруги невідомої частоти у послідовність однополярних імпульсів такої ж самої частоти з подальшим підрахунком кількості цих імпульсів за відомий відрізок часу (час вимірювання).

Частоти, на яких використовують метод: НЧ, ВЧ, на НВЧ та НЗВЧ разом з перетворювачами частоти .



Структурна схема цифрового частотоміра: А1 – атенюатор; А2 – підсилювач; U1 – формувач імпульсів; U2 – подільник частоти; U3 – формувач інтервалів часу; G1 – опорний генератор; DD1 – часовий селектор; ЛІ – лічильник імпульсів; DC – дешифратор; Р1 – цифровий індикатор

Цифровий метод вимірювання частоти (метод дискретного підрахунку)

У режимі вимірювання частоти сигнал через атенюатор А1 та підсилювач А2 подається на формувач імпульсів U1, з виходу якого надходить на селектор DD1 . На другий вхід селектора подаються імпульси інтервалів часу відліку, які формуються з напруги кварцового генератора G1 подільником частоти U2 та формувачем інтервалів часу U3. Імпульси інтервалів часу відкривають селектор DD1 на час T і через селектор на лічильник проходять N імпульсів, кількість яких він і підраховує.

Цифрові частотоміри також дають можливість вимірювати період коливань, відношення частоти двох сигналів, інтервали часу та тривалості імпульсів.

Основні джерела похибок методу:

- нестабільність частоти етелонного генератора;
- похибка підрахунку кількості лічильних імпульсів.