

Лекція 11

ФОРМУВАННЯ СІТКИ ДИСКРЕТНИХ ЧАСТОТ МЕТОДОМ ПРЯМОГО СИНТЕЗУ

1. Генератори гармонік

Це спосіб отримання великої кількості стабільних фіксованих частот із імпульсної послідовності, яка формується із коливань високо-стабільного кварцового генератора (рис. 1).

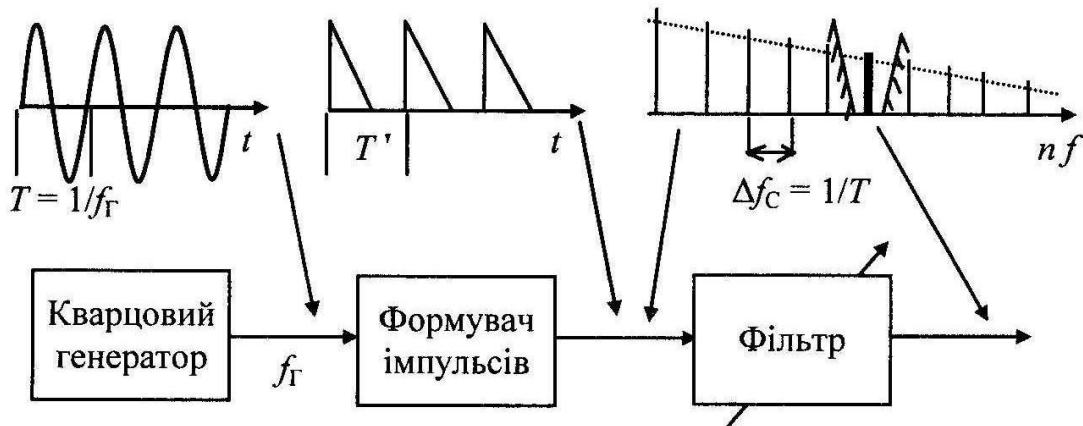


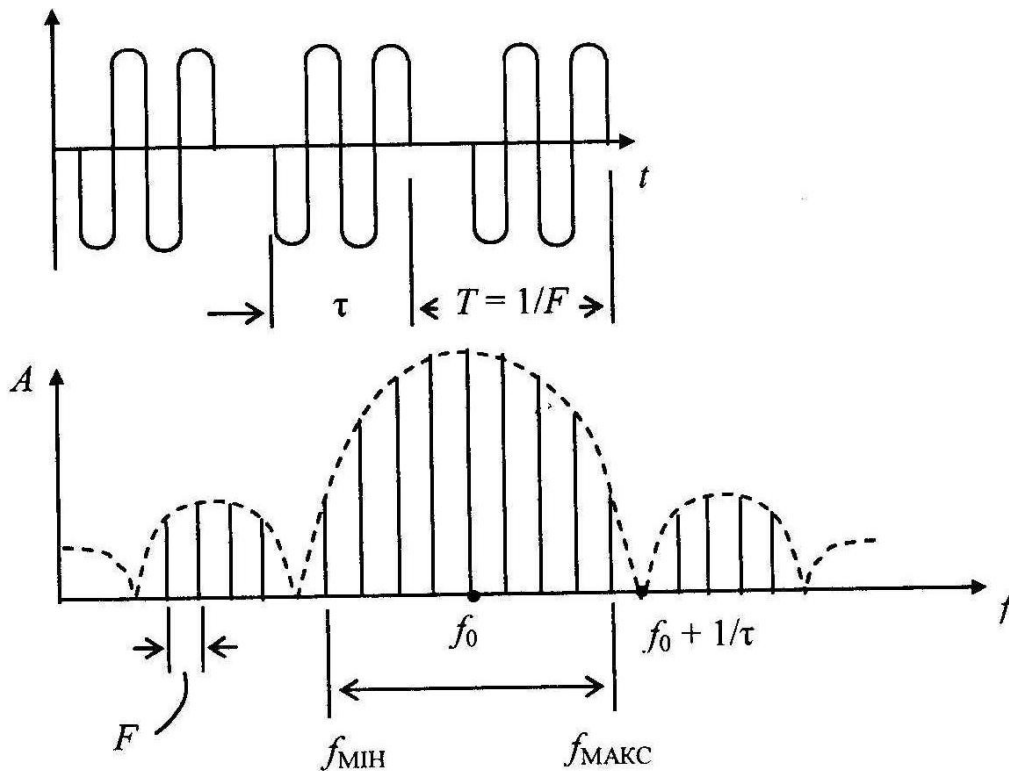
Рис.1

Дана схема є різновидністю помножувача частоти, але зі збільшенням номера гармонік їх інтенсивність спадає. Тому для розширення діапазону сітки частот імпульси на виході формувача повинні бути короткими.

Крок сітки Δf_c залежить від частоти коливань генератора. При малому кроці частота генератора низька і спектр гармонік знаходиться в області низьких частот. Перенос спектра в область високих частот здійснюється шляхом модуляції імпульсною послідовністю високочастотного коливання f_0 .

При цьому вирішуються дві задачі:

- сітка частот переноситься в більш високочастотну область;
- розширюється діапазон сітки за рахунок його симетричного розміщення відносно f_0 (рис. 2).



Мінімально можливий крок сітки генератора гармонік визначається вибірковими властивостями фільтра, який виділяє одну із гармонік і придушує інші. Наприклад, одноконтурний фільтр, який має добротність $Q = 100$ на частоті $f = 10$ МГц має смугу пропускання

$$\Delta F_{\Phi} = \frac{f}{Q} = \frac{10^7}{10^2} = 100 \text{ кГц.}$$

При ослабленні сусідніх гармонік на 20 дБ (в 10 разів) коефіцієнт прямокутності його характеристики вибіркості $K_{\Pi(10)} \approx 10$, тобто смуга затримки дорівнює

$$\Delta F_{\text{ЗАТР}} = \Delta F_{\Phi} \cdot K_{\Pi(10)} = 1000 \text{ кГц.}$$

Таким чином, крок сітки не може бути менше 1 МГц. При більших вимогах до ослаблення сусідніх гармонік або при меншому кроці сітки використовуються складні фільтри (частіше фіксовані фільтри гармонік).

Генератори гармонік, які побудовані за розглянутим принципом називають селекторами гармонік.

2. Інтерполяційний метод формування сітки частот

Розглянемо схему яка приведена на рис. 3.

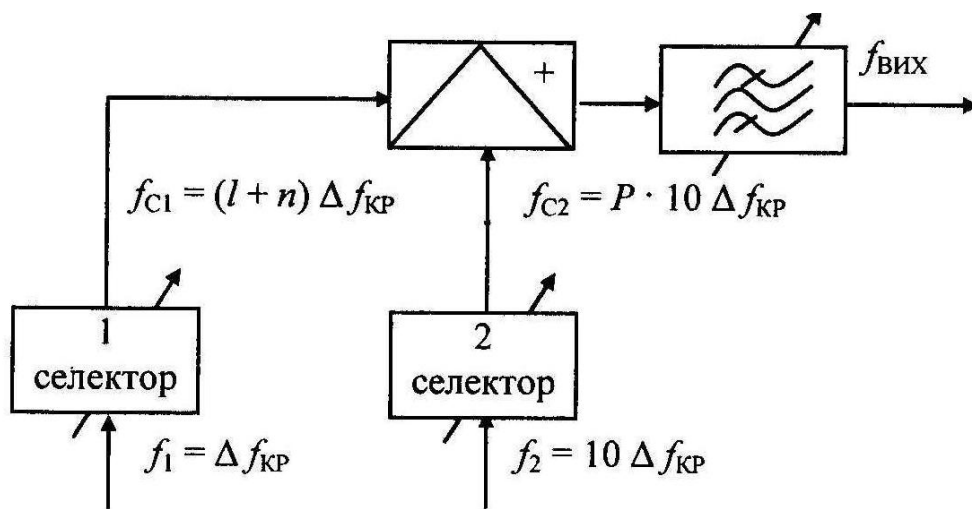


Рис. 3

Частоти f_1 та f_2 отримані від високостабільного опорного генератора.

Частота f_1 визначає крок сітки, що синтезується. Частота вихідних коливань може бути записана

$$f_{\text{вих}} = (l + n) \Delta f_{\text{кр}} + P \cdot 10 \Delta f_{\text{кр}} = \Delta f_{\text{кр}} (l + n + P \cdot 10). \quad (1)$$

Коефіцієнти l та p – цілі числа; $n = 0 \dots 9$.

У виразі (1) коефіцієнт $l + P \cdot 10$ визначає першу частоту сітки (початок діапазону) і останню частоту рідкої сітки.

В розглянутому способі синтезу сітки частота рідка сітка, яка утворена частотами другого селектора інтерполюється частою сіткою, яка утворена частотами першого селектора. Тому такий спосіб синтезу називається інтерполяційним (рис. 4).

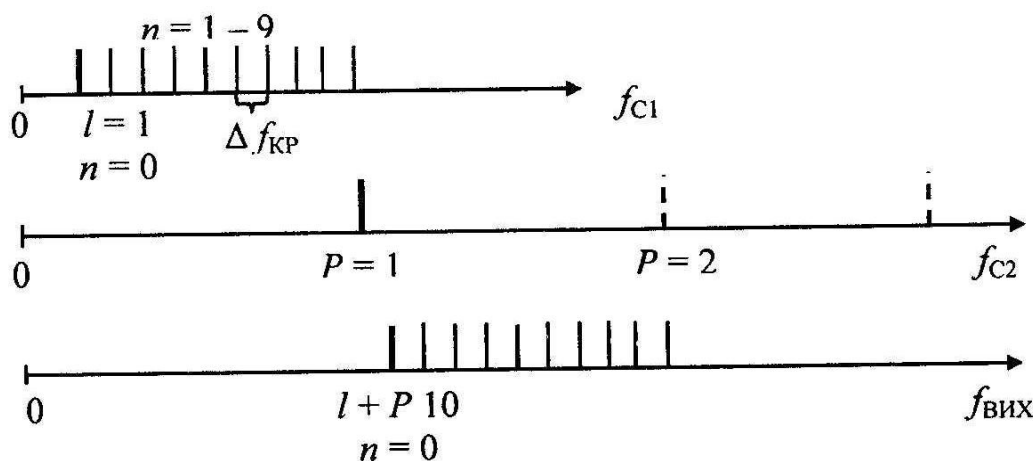


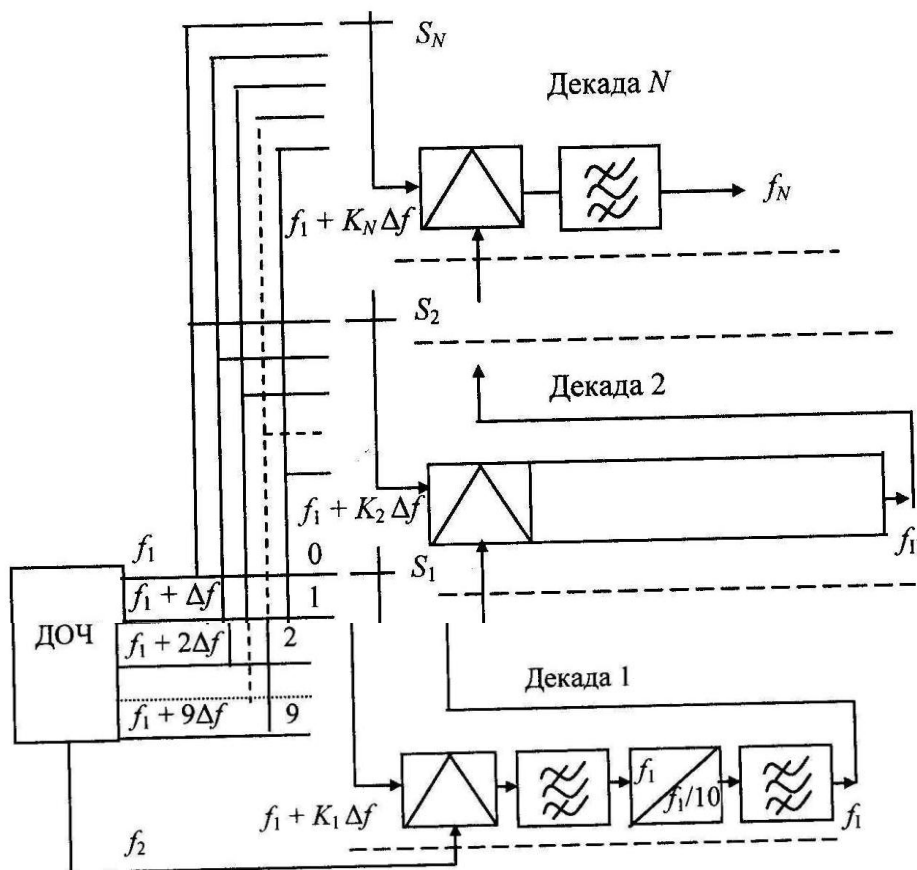
Рис. 4

Для розширення діапазону частот сітки схема рис. 3 може бути подовжена шляхом послідовного включення в неї ще ряду декадних селекторів і змішувачів з фільтрами. Для цього необхідно, щоб крок сітки кожного з наступних селекторів був в 10 разів більше попереднього. Кратність шагу частот селекторів числу "10" дозволяє шкали перемикачів селекторів визначити в розрядах десятичного коду, які відповідають безпосередньо значенню частоти вихідних коливань збуджувача.

Основним недоліком розглянутого методу формування сітки частот є те, що для усунення побічних коливань, які обов'язково мають місце, неможливо варіювати частотами селекторів, тому що вони жорстко зв'язані формулою (1). Крім цього фільтри, які перестроюються за частотою, важко виконати з постійними характеристиками у діапазоні частот. Тому практичне використання знайшли схеми синтезу сітки частот з ідентичними декадами (рис. 5).

Синтезатор містить: датчик опорних частот (ДОЧ), на виході якого утворюються коливання десяти частот з кроком Δf і коливання частотою f_2 ; N декад, причому всі декади, за виключенням останньої, мають однаковий склад, (змішувач; поділювач частоти на 10 і смугові фільтри). Частоти на входах змішувачів декад встановлюються перемикачами S_1, \dots, S_N , які мають 10 позицій – 0, 1, 2 ...9.

На змішувач першої декади подаються коливання з частотами $f_1 + K_1 \Delta f$ та f_2 . За допомогою смугового фільтра із смугою пропускання біля $10 \Delta f$ виділяється сумарне коливання, яке після ділення на 10 та додаткової фільтрації подається на змішувач другої декади.



Частота коливань на виході першої декади буде

$$f_1 = (f_1 + f_2 + K_1 \Delta f) \cdot \frac{1}{10}.$$

Для ефективного придушення побічних коливань фільтрами декади необхідно виконати умову $f_1 \gg f_2 \gg \Delta f$. Якщо прийняти $f_1 = 9 f_2$ то

$$f_1 = f_2 + K_1 \frac{\Delta f}{10}.$$

Аналогічні перетворення відбуваються і в інших декадах, в результаті чого частота коливань на виході синтезатора буде

$$f_N = 10 f_2 + K_N \Delta f + K_{N-1} \frac{\Delta f}{10} + K_{N-2} \frac{\Delta f}{10^2} + \dots + K_2 \frac{\Delta f}{10^{N-2}} + K_1 \frac{\Delta f}{10^{N-1}}, \quad (1)$$

де $K_1, K_2 \dots K_N$ дорівнюють 0, 1, 2...9.

З аналізу виразу (1) виходить, що крок сітки вихідного коливання синтезатора залежить від Δf і числа декад.

Фільтри на виході змішувачів усіх декад мають однакові середні частоти і смуги пропускання (приблизно рівні $10 \Delta f$).

Вихідні фільтри декад також однакові і мають смугу пропускання, що дорівнює приблизно Δf . При виконанні умови $f_1 \gg f_2 \gg \Delta f$ фільтри можна вважати вузькосмуговими.

Перевагами розглянутої схеми є:

– можливість отримання будь якого малого кроку сітки дискретних частот шляхом збільшення числа декад;

– задовільне придушення побічних коливань і малий час перестройки з частоти на частоту (одиниці мікросекунд), який визначається лише швидкістю перемикавання перемикачів $S_1 \dots S_N$ (звичайно використовуються електронні перемикачі).

Недолік схеми – відносно вузький діапазон вихідних частот;

$f_{N \text{ МИН}} = 10 f_2; f_{N \text{ МАКС}} = 10 f_2 + 9,99 \dots 99 \Delta f$. Для розширення діапазону частот застосовують багатократний перенос частот.

3. Інтерполяційний метод з використанням додаткового автогенератора

Як вже відмічалось, основною проблемою при формуванні сітки частот методом прямого синтезу є придушення побічних коливань і

виділення необхідної складової сітки. Це пов'язано з труднощами реалізації вузькосмугових фільтрів, які до того ж перестроюються за частотою. Одним із способів розв'язання цієї проблеми є використання активних фільтрів, в яких застосовується додатковий автогенератор (рис. 6).

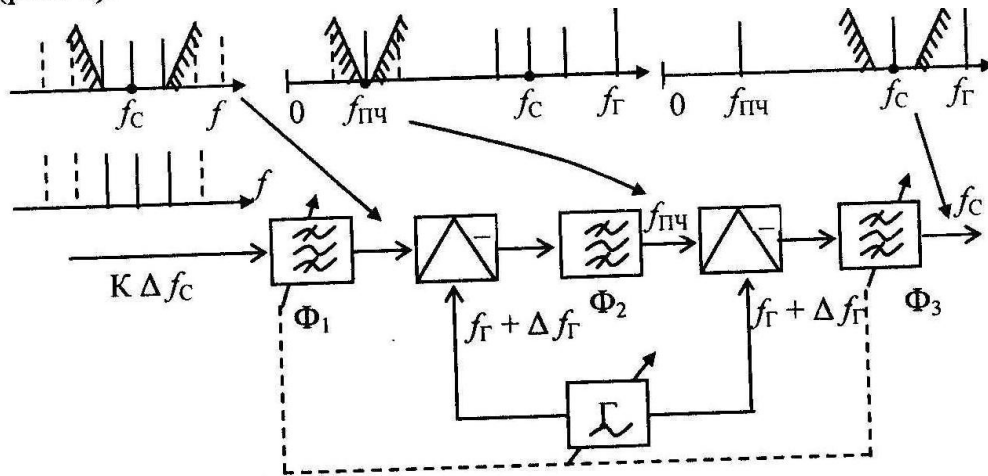


Рис. 6

Суттєвість способу полягає в тому, що складова сітки f_c , яка вибирається, не може бути виділеною фільтром Φ_1 , внаслідок широкій смуги пропускання.

Група складових сітки, яка проходить фільтр Φ_1 , перетворюється за частотою до більш низької частоти $f_{пч}$, на якій фільтр Φ_2 виділяє лише необхідну складову сітки. В другому змішувачі виділена складова $f_{пч}$ знов піднімається до частоти f_c . При цьому стабільність частоти f_c не погіршується тому, що нестабільність частоти генератора $\Gamma - \Delta f_{\Gamma}$ компенсується при другому перетворенні.

При першому перетворенні $(f_{\Gamma} + \Delta f_{\Gamma}) - f_c = f_{пч} + \Delta f_{\Gamma}$.

При другому перетворенні $(f_{\Gamma} + \Delta f_{\Gamma}) - (f_{пч} + \Delta f_{\Gamma}) = f_c$.

Така схема називається також компенсаційною схемою фільтрації. Однак, слід мати на увазі, що Δf_{Γ} не повинна бути більше половини смуги пропускання вузькосмугового фільтра Φ_2 , тобто

$$\Delta f_{\Gamma} < \frac{1}{2} \Delta F_{\Phi_2}.$$

Фільтри Φ_1 та Φ_3 виконують також важливу роль. Вони придушують побічні коливання, які мають місце при першому та другому перетворенні. Так Φ_1 усуває можливість дзеркального перетворення складових сітки, а Φ_3 придушує сумарну складову другого перетворення і коливання $f_{пч}$.

Звернемо увагу ще на одну особливість методу.

Перестройка генератора Γ здійснюється спряжено з перестройкою фільтрів $\Phi_1 \Phi_2$. Тому при перестройці синтезатора з частоти сітки $K \Delta f_c$ до частоти $(K + 1) \Delta f_c$ генератор перестроюється на такий же крок. Таким чином, він відтворює сітку синтезатора з точністю $\pm \Delta f_{\Gamma}$. Але, що

важливо, коливання автогенератора вільні від побічних коливань, які необхідно придушувати. А якщо усунути нестабільність частоти генератора, наприклад, за допомогою системи автоматичної підстройки частоти, то сітку частот, яку утворює генератор, можливо використовувати як сітку вихідних коливань синтезатора. Ці міркування покладені в основу способу формування сітки стабільних частот методом непрямого синтезу.

Висновки:

1. Прямий синтез забезпечує отримання високостабільних дискретних частот з достатньо малим кроком і в широкому діапазоні частот. Але при цьому необхідна велика кількість перетворень частоти опорного генератора.
2. Основною проблемою прямого синтезу є придушення побічних і комбінаційних коливань, яка вирішується раціональним вибором опорних частот, застосуванням балансних перетворювачів частоти і ефективних методів фільтрації.
3. Прямий синтез частот частіше використовується вкупі з непрямыми методами синтезу.

Питання для власного контролю та повторення

1. Які проблеми мають місце при формуванні сітки частот методом генератора гармонік?
2. В чому є сутність інтерполяційного методу формування сітки частот?
3. Накресліть діаграми формування сітки частот в синтезаторі з двома ідентичними декадами.
4. Визначте діапазон сітки частот в синтезаторі з ідентичними декадами при дискретності кроку $\Delta f=10$ Гц.
5. В чому є сутність фільтрації складових сітки частот методом активного фільтра?