

ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА РАДІОВИМІРЮВАНЬ

УДК 621.317.361: 621.396

ОПТИМАЛЬНА ФІЛЬТРАЦІЯ РАДІОСИГНАЛІВ МАЛОЇ ТРИВАЛОСТІ В ЧАСТОТНО-ЧАСОВОМУ МЕТОДІ ВИМІРУ НЕСУЧОЇ ЧАСТОТИ

Шупта О. О., здобувач

Богомолов М. Ф., к.т.н., доцент

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна

Оптимальна фільтрація (ОФ) радіосигналів в сучасності знаходить все більше використання в багатьох радіотехнічних приладах [1]. До їх числа відносяться, наприклад, прилади для виміру частоти заповнення і спектру радіосигналів. Так для виміру частоти заповнення радіосигналів використовуються цифрові електронно-рахункові частотоміри (ЕРЧ), а для виміру їх частотного спектру, наприклад, акустoeлектронні Фур'є процесор [2, 3].

При цьому в ЕРЧ, оптимальна фільтрація радіосигналів (видалення з шуму корисного сигналу) здійснюється достатньо просто за допомогою смугового фільтра його проміжних частот, смуга перепустки якого дорівнюється смузі частот виміру [2].

В акустoeлектронних Фур'є процесорах подібна ОФ радіосигналів здійснюється шляхом багаторазового використання операцій множення (М) і згортки (З), наприклад, (М) - (З) - (М) - (З) або (З) - (М) - (З) - (М). При цьому операція (М) призначена для заповнення радіосигналу лінійно частотно модульованим (ЛЧМ) сигналом для створення великої бази. Операція (З) призначена для стискання частотного спектра радіосигналу з великою базою і його переносу на вісь часу, здійснюваною за допомогою дисперсійної лінії затримки (ДЛЗ) [3].

Однак, здійснення такої кількості операцій (З) та (М) не дозволяє повністю призвести ОФ радіосигналів різнобічної тривалості. Це пов'язано із труднощами здійснення заповнення радіосигналів, наприклад, малої тривалості, менш 100 нс, ЛЧМ сигналом для створення їх однакової бази. При цьому, ОФ можлива тільки для радіосигналів визначеної постійної тривалості, назвемо її оптимальною, значення якої визначено крутизною ДЛЗ.

Підтвердженням цьому, що ОФ моно здійснювати тільки для радіосигналів визначеної тривалості, є, наведений нижче, розгляд можливості її здійснення в частотно-часовому методі (ЧЧМ) виміру частоти заповнень радіосигналів малої тривалості, запропонованого автором, в якому не здійснюється створення великої бази, значно більш одиниці, радіосигналу. Це

пов'язано з тим, що вона не збільшує точність виміру частоти заповнень радіосигналів, а за рахунок великої кількості операцій веде до виникнення додаткових похибок метода, які потребують їх обліку та компенсування. Тому, як і в ЕРЧ, ОФ радіосигналів в ЧЧМ виміру частоти заповнень радіосигналів малої тривалості несе частковий характер. Він полягає в тому, що радіосигнали обробляються смуговим фільтром проміжних частот і, в тому ж діапазоні, смуговим фільтром ЧЧП, яким є ДЛЗ.

Для впевненості глянемо його рободопомогою рис. 1, веденого нижче, і на якому приведені його основні епюри напружений і графіки лежностей: зміни тоти спектру радіоналу під час його дії стотно-часового певорення його спектна вісь часу

На рис. 1 надано епюри U_{pc1} і U_{pc2} пруг радіосигналів з наковою f_H несучастотою і різними тривалістю τ_{pc1} і τ_{pc2} . При цьому, на фіку залежності f тоти від t часу дені залежності змін

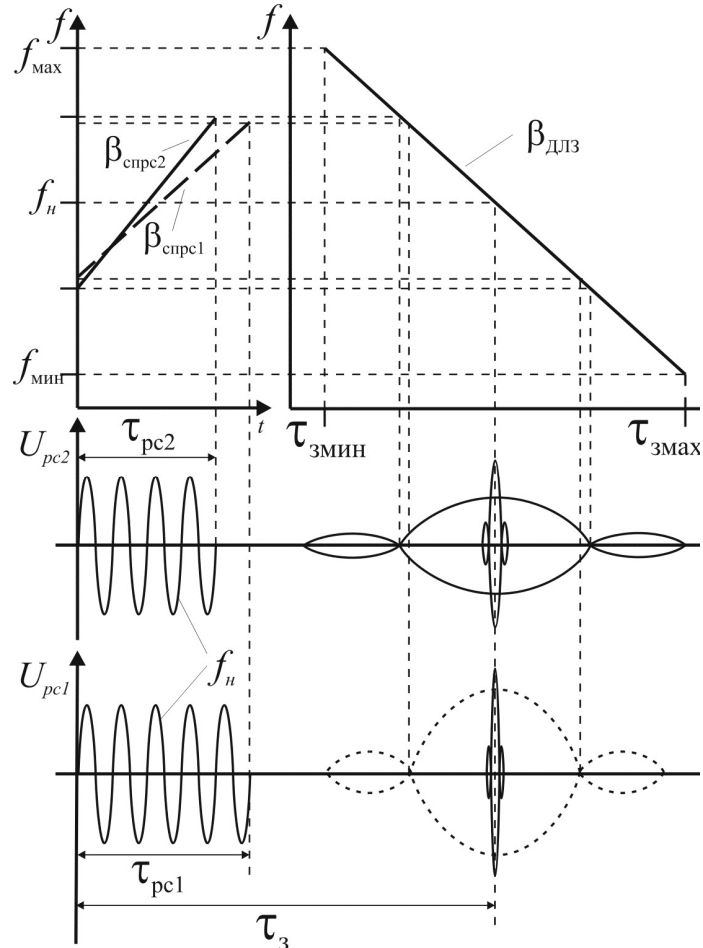


Рис. 1

тот їх спектрів в відповідних до їх тривалості смугах відносно f_H несучої частоти. На ньому також видно, що f_H несуча частота є в спектрах їх частот центральною і відповідає максимуму їх відгуків відповідному радіосигналу. Графік ЧЧП спектрів цих радіосигналів на вісь часу дозволяє спостерігати лінійні зміни частот їх спектрів і їх огинаючих, наприклад, на екрані осцилографу. При цьому максимуми огинаючих відгуків їх спектрів мають однаковий $\tau_3 = f_H / \beta_{dlz}$ час затримки пропорційний їх f_H несучим частотам поділеною на β_{dlz} крутизну ЧЧП, в подальшому крутизна ДЛЗ, а час їх дії дорівнюється тривалості радіосигналу. Згідно із нею, після здійс-

роз-
ту за
на-
го
за-
час-
сиг-
і ча-
рет-
ру
на-
од-
чою
за
гра-
час-
ве-
час-

нення виміру τ_3 затримки, значення їх f_H несучої частоти моно визначити за наступною формулою

$$f_H = \tau_3 \cdot \beta_{\text{длз}}. \quad (1)$$

Крім того, на рис. 1 видно огинаючи відгуків спектрів цих радіосигналів в часі після здійснення їх оптимальної обробки, необхідної, насамперед, для виділення сигналів з шумів, методом (М) і (З), в аналізаторах спектру. При цьому в них під час (М) здійснюється заповнення радіосигналів ЛЧМ сигналом, за знаком зворотнім знаку крутизни ЧЧП. Такі протилежні значення знаків змін частот сприяють стисненню частотних спектрів радіосигналів і виділенню їх із шумів (оптимальна фільтрація). В нашому випадку, рис.1, оптимальна фільтрація здійснюється тільки для U_{PC1} радіосигналу τ_{PC1} тривалості. При цьому, незначна зміна його $\tau_{D\tilde{N}}$ тривалості, в нашому випадку $\tau_{PC2} < \tau_{PC1}$, без зміни інших його характеристик приведе до збільшення тривалості і зменшення напругі огинаючої відгуку його спектра в часі, і демонструє, що ОФ здійснюється недостатньо повно [1].

Виходячи з цього, моно зробити висновок об тім, що ідеальна фільтрація радіосигналів можлива тільки для радіосигналів визначеної і постійної тривалості. Об цьому, достатньо повно, написано в [1], де розглядаються спектральна щільність, величини енергії і m бази радіосигналу. Однак, від неї не слід відмовлятися при необхідності виділення сигналів із шумів.

Для подальшого розгляду ОФ скористуємось викладками стосовно β девіації частоти спектра радіосигналу, визначуваної за формулою

$$\beta = \frac{2m}{\tau_{PC}^2} = m \cdot P_{СП}, \quad (2)$$

де: - m база сигналу, яка є одним з основних параметрів радіосигналу $\tau_{D\tilde{N}}$ тривалості з ЛЧМ заповненням. Зазначу, що ЧЧМ виміру несучої частоти радіосигналів малої тривалості призначено для радіосигналів, які мають базу $m = 1$.

Крім цього, відмітимо, що ЧЧМ виміру несучої частоти радіосигналів малої тривалості не має ніяких додаткових операцій, які сприяють виникненню додаткових складових похибки, котрі, в свою чергу, необхідно буде враховувати и по можливості нейтралізувати їх вплив на результати вимірів. Тому в ЧЧМ для досягнення найбільш точних результатів виміру несучої частоти радіосигналів використовується мінімальна можлива кількість операцій, без котрих неможливе його здійснення.

При цьому, операція ЧЧП здійснює перенесення частотного спектра радіосигналів з частотної області на вісь часу, на якій визначається часове положення максимуму відгуку, якій затримується під час його здійснення на деякий τ_3 час. Одночасно з перетворенням формується і вимірюється

інтервал затримки, значення якого, з урахуванням $\beta_{\text{ДЛЗ}}$ крутизни ЧЧП, дозволяє знайти f_n несучу частоту вхідного радіосигналу, (1).

Наведені міркування вказують на те, що, в випадку $m = 1$, β девіація частоти радіосигналу, згідно з (2), складе

$$\beta = \frac{P_{\text{СП}}}{\tau_{\text{РС}}}, \quad (3)$$

де: $P_{\text{СП}} = \frac{2}{\tau_{\text{РС}}}$ смуга частот спектра радіосигналу тривалістю $\tau_{\text{РС}}$.

Для зручності подальшого розгляду питання ОФ радіосигналів введемо термін $\beta_{\text{РС}}$ крутизна частотного спектра радіосигналу в часі (за час його дії), що стосується термінології вимірювальної техніки і визначуваною, як і β девіація частоти, (3).

Знаючи $\beta_{\text{РС}}$ крутизну частотного спектра вхідного радіосигналу і $\beta_{\text{ДЛЗ}}$ крутизну ЧЧП, врахувавши (3), досить легко визначити $\tau_{\text{СП}}$ тривалість огинаючої відгуку частотного спектра вихідного, після перетворення, сигналу, яка буде дорівнюватися

$$\tau_{\text{СП}} = \tau_{\text{РС}} \cdot \beta_{\text{РС}} / \beta_{\text{ДЛЗ}} = \frac{P_{\text{СП}}}{\beta_{\text{ДЛЗ}}}. \quad (4)$$

При цьому K_y коефіцієнт збільшення тривалості відгуку частотного спектра, з урахуванням $\beta_{\text{РС}}$ (3) складатиме таке значення

$$K_y = \frac{\tau_{\text{СП}}}{\tau_{\text{РС}}} = \frac{\beta_{\text{РС}}}{\beta_{\text{ДЛЗ}}}. \quad (5)$$

Після ЧЧП без втрат $U_{\text{ОГ}}$ напруга огинаючої відгуку частотного спектра моно визначити з пропорції рівності енергії $\mathcal{E}_{\text{РС}}$ вхідного радіосигналу $\tau_{\text{РС}}$ тривалістю з $U_{\text{РС}}$ напругою і енергії $\mathcal{E}_{\text{ОГ}}$ огинаючої відгуку частотного спектра $\tau_{\text{ОГ}}$ тривалістю, яка, з урахуванням (5), буде рівна

$$U_{\text{ОГ}} = \frac{U_{\text{РС}} \times \tau_{\text{РС}}}{\tau_{\text{СП}}}. \quad (6)$$

Для здійснення ОФ вхідного радіосигналу при ЧЧП, з урахуванням $\beta_{\text{РС}}$ крутизни частотного спектра, яка рівна $\beta_{\text{ДЛЗ}}$ крутизні ЧЧП (крутизна ДЛЗ), він повинен мати таку $\tau_{\text{ОПТ}}$ оптимальну тривалість

$$\tau_{\text{ОПТ}} = \frac{2}{\beta_{\text{ДЛЗ}}}. \quad (7)$$

Наприклад, при $\beta_{\text{ДЛЗ}} = 1 \frac{\text{МГц}}{\text{мкс}}$ $\tau_{\text{ОПТ}} = 2 \text{ мкс}$.

Згідно із (7) та (3), (5) і (6), зробив деякі маніпуляції з ними відносно їх оптимальних значень моно зробити висновки, що поточні значення крутизни частотного спектра вхідних радіосигналів від зміни їх тривалості мають зворотно квадратичну залежність, коефіцієнта збільшення тривалості вхідного радіосигналу від зміни той ж самій тривалості мають просту зворотно залежність. При цьому значення напруги огинаючої відгуку частотного спектра мають квадратичну залежність від значення тривалості вхідного радіосигналу. При цьому значення відносного K коефіцієнту лежить в межах від $0 \div 1$.

Демонстрацією, проведених міркувань і викладів, є, наведені на рис. 2, графіки поточних значень $U_{ог}$ напруги огинаючої відгуку частотного спектра, K_y коефіцієнта збільшення тривалості і β_{pc} крутизни частотного спектра вихідного, після ЧЧП, вхідного радіосигналу в залежності від зміни його тривалості в % відносно її оптимального значення $\tau_{опт}$.

На рис. 2 видно, що ОФ радіосигналу моно здійснити тільки для радіосигналів з $\tau_{опт}$ оптимальною тривалістю, перевищення якої призводить до того, що вихідний сигнал ЧЧП, стає так званим сигналом "Френеля" [4].

Практичні дослідження підтвердили, що ОФ радіосигналів можлива тільки в одному випадку, коли їх тривалість є $\tau_{опт}$. В інших випадках її неможливо здійснити. Тому застосування в методі додаткових операцій (М) і (З) для її здійснення не дає

бажаних результатів і збільшує похибку виміру несучої частоти радіосигналів. При дослідженні екстремального ЧЧМ виміру несучої частоти радіосигналів малої тривалості були використані ДЛЗ з крутизною 1,0 і 1,5 МГц/мкс, відповідно зі смугами частот 100 і 60 МГц, часом затримки 20 і 40 мкс і коефіцієнтом передачі рівного одиниці [5]. Крім того, були застосовані мікросхеми 500 серії

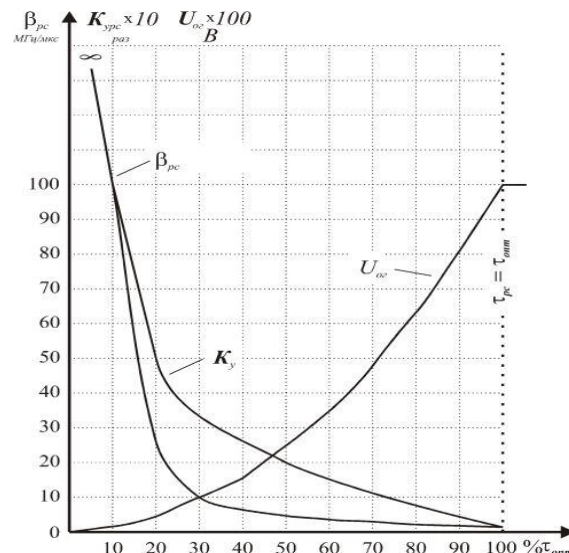


Рис. 2

Література

1. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. 3-е изд. // И.С. Гоноровский / - М.: Сов. Радио, 1977. - 608 с.
2. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы. // П.П. Орнатский / - К.: Вища школа, 1980. - 580 с.
3. Кочемасов В.Н. Акустоэлектронные Фурье – процессоры. // В.Н. Кочемасов, Е.В. Долбня, Н.В. Соболев, В.Н. Кочемасов (ред. Кочемасов В.Н.) / - М.: Радио и связь, 1987. - 168 с.
4. Мэтьюз Г. Фильтры на поверхностных акустических волнах. // Г. Мэтьюз. / - М.: Радио и связь, 1981. - 285 с.

5. Речицкий В.И. Акустоэлектронные радиокомпоненты : Схемы, топология, конструкции. // В.И. Речицкий. / - М. : Радио и связь, 1987. - 192 с.

Шупта О. О., Богомолов М. Ф. Оптимальна фільтрація радіосигналів малої тривалості в частотно-часовому методі вимірювань несучої частоти.

Розглянуто можливість здійснення оптимальної фільтрації радіосигналів малої тривалості в частотно-часовому методі вимірювання несучих частот. Показано і зроблений висновок про те, що оптимальна фільтрація можлива тільки для радіосигналів постійної оптимальної тривалості, які підтверджуються експериментальними дослідженнями методу. Показано, що при перевищенні тривалості радіосигналу відгук ДЛЗ перетворюється в сигнал Френеля оскільки частотний спектр вхідного сигналу стає менше оптимального і приводить в ДЛЗ до неодноразової вибірки частоти з сигналу спектру. При цьому число таких вибірок відповідає числу вибірок частот за тривалість радіосигналу.

Ключові слова: оптимальна фільтрація, частотний спектр сигналу, дисперсійна лінія затримки, метод частотно-часового перетворення

Шупта А. А., Богомолов Н. Ф. Оптимальная фильтрация радиосигналов малой длительности в частотно-временном методе измерений несущей частоты.

Рассмотрена возможность осуществления оптимальной фильтрации радиосигналов малой длительности в частотно-временном методе измерения несущих частот. Показано и сделан вывод о том, что оптимальная фильтрация возможна только для радиосигналов постоянной оптимальной длительности, которые подтверждаются экспериментальными исследованиями метода. Показано, что при превышении длительности радиосигнала отклик ДЛЗ превращается в сигнал Френеля поскольку частотный спектр входного радиосигнала становится меньше оптимального и приводит в ДЛЗ к неоднократной выборке частоты из сигнала спектра. При этом число таких выборок соответствует числу выборок частот за длительность радиосигнала.

Ключевые слова: оптимальная фильтрация, спектр сигнала, дисперсионная линия задержки, метод частотно-временного преобразования

Shupta AA, Bogomolov, NF Optimal filtering radio signals of short duration in time-frequency method for measuring the carrier frequency. The possibility of optimal filtering radio signals of short duration in time-frequency method for measuring the carrier frequency. Displaying and concluded that the optimal filtering is possible only for constant radio optimum duration of which are confirmed by experimental research method. It is shown that in excess of the duration of the response signal into a signal DLZ Fresnel since the frequency spectrum of the input signal becomes less than optimal and leads to repeated DLZ sample frequency of the signal spectrum. Moreover, the number of samples corresponds to the number of samples for the duration of the radio frequency.

Keywords: Optimal filtering, radio frequency spectrum, duration, dispersion delay line, the method of frequency-time transformation