

Введенский Ю.В. и др.; Под ред. Г.В. Глебовича. – М.: Радио и связь, 1984. – 256 с., ил.

6. Горященко К.Л. Дослідження перевідбиттів гармонійних сигналів у провідникових лініях зв'язку для випадку двох пошкоджень / К.Л. Горященко, О.І. Полікарровських, В.С. Гавронський // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – №2. – С. 138-141.

7. Determining Routes for the Analysis of Partial Discharge Signals Derived from the Field, Hernández-Mejía, J.C.; Perkel, J.; Harley, R.; Begovic, M.; Hampton, N., and Hartlein, R., IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, December 2008, pp. 1517-1525.

8. Characterization of Ageing for MV Power Cables Using Low Frequency Tan-delta Diagnostic Measurements, J.C. Hernandez-Mejia, R.G. Harley, R.N Hampton, R.A Hartlein, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 16, Issue 3, pp. 862-870, June 2009.

9. Мазур І. Аналіз сумарного фазового сигналу відбиття на різних частотах методами спектрального аналізу / І. Мазур, К. Л. Горященко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2009. - №2. – С. 36-40.

Надійшла до редакції
21.5.2013 р.

УДК 621.317

І.В. ГУЛА

Хмельницький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТОДУ КОІНЦИДЕНЦІЇ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ФАЗОВИХ ЗСУВІВ СИГНАЛІВ

В результаті проведеного дослідження показано, що одним із перспективним багатощкальних методів, які можна використати для вимірювання фазових зсувів сигналів є метод коінциденції.

Ключові слова: метод коінциденції, ноніус, багатощкальний ноніус.

I.V. HULA

Khmelnytsky national university

DETERMINATION OF PROPERTIES METHOD FOR MEASURING COINCIDENTS PHASE SHIFT SIGNALS

As a result of the study shows that one of the promising bahatoshkalnyh methods that can be used to measure the phase shift signal is a method coincidents.

Keywords: *method coincidents, vernier.*

Мета роботи. Дослідити багатощкальні методи вимірювання фазових зсувів сигналів. Розглянути переваги та недоліки методу коінциденції в порівнянні з іншими багатощкальними методами, а саме методом ноніуса та методом багатощкального ноніуса.

Вступ. Всім відомий лінійно-імпульсний метод вимірювання фазових зсувів сигналів. Суть якого полягає в знаходженні миттєвих значень зсуву фаз по проміжку часу між моментами проходження передніх або задніх фронтів синусоїд через нульове значення в межах одного періоду[1]. Даний метод використовується приблизно в 70% вимірювачів різниці фаз, що виготовляються в світі. Основним недоліком даного класу вимірювачів є низька точність вимірювання, для отримання великої розрізняювальної здатності необхідно сформувати опорний сигнал дуже високої частоти.

В наш час рядом вчених була розроблена ціла гама нових методів вимірювання фазових зсувів сигналів на основі співпадіння міток, тобто співпадіння імпульсів вхідного і опорного сигналів, такі методи отримали назву ноніусні методи вимірювань[2].

Ноніусні методи дозволяють отримати вищу швидкодію та точність визначення фазових зсувів сигналів не підвищуючи вимоги до швидкодії елементів схем, оскільки частоти опорного і вхідного сигналів дуже близькі між собою. Одним із різновидів ноніусних методів вимірювання фазових зсувів сигналів є метод коінциденції. Давайте розглянемо його переваги та недоліки в порівнянні з іншими ноніусними методами вимірювання.

Основний розділ

Аналіз ноніусних методів вимірювання фазових зсувів сигналів

Термін "ноніусний метод" вперше отримав застосування, як метод вимірювання лінійних геометричних величин. Він оснований на порівнянні двох шкал, розміри поділок яких відрізняються на потрібну ступінь квантування (розмір оцінюваного розряду відліків).

З розвитком техніки ноніусний метод став широко використовуватись для визначення параметрів різних фізичних величин, він має два різновиди з однократною ноніусною інтерполяцією та з багатократною ноніусною інтерполяцією кожен з яких має свої переваги та недоліки.

В [2] показані різні варіанти пристроїв, які побудовані на основі методів однократного та багатократного ноніусу.

Основними перевагами методу однократного ноніусу є: простота апаратної реалізації; підвищення точності вимірювання без суттєвого підвищення вимог до швидкодії елементів схеми (зокрема, лічильників), оскільки періоди опорної і ноніусної послідовностей близькі між собою.

Основними недоліками є: підвищення точності на декілька порядків веде до збільшення часу вимірювання; високі вимоги до стабільності формування періоду опорної і ноніусної послідовностей, що обумовлено накопленням похибок в процесі вимірювання за рахунок сумування в часі тривалості окремих періодів.

Усунення недоліків однократної ноніусної інтерполяції здійснюють шляхом порозрядного визначення цифрового еквівалента вимірювальної величини. Даний метод отримав назву багатократної ноніуса.

Метод багатократної ноніуса передбачає використання в процесі перетворення декількох ноніусних шкал (по одній на кожний оцінюваний розряд або групу розрядів) і може бути реалізований двома шляхами. Перший шлях характеризується тим, що всі ноніусні шкали співставляються з одною опорною шкалою. Другий шлях реалізації методу багатократної ноніуса пов'язаний з використанням на кожному наступному етапі в якості опорної ноніусної шкали попереднього етапу перетворення.

Основними перевагами методу багатократної ноніуса є: підвищена швидкодія вимірювача, покращенні його динамічні характеристики в порівнянні з методом однократної ноніуса

Основними недоліками є: ускладнення схеми пристрою, збільшується число блоків інтерполяції у відповідності до того яку точність нам потрібно отримати, збільшується кількість генераторів і формувачів імпульсів на кожен оцінюємих розряд потрібно по одному генератору ноніусної послідовності і формувачу імпульсів.

Для багатократної ноніусної методу можлива помилка оцінювання вагових розрядів. Якщо тривалість τ_i імпульсів при оцінці одного з розрядів перевищує номінальне значення, в цьому розряді може відбутися помилкове співпадіння одного з розширених імпульсів не з N_i – м імпульсом відповідної ноніусної послідовності, а з $(N_i - 1)$ -м імпульсом [1]. Таке співпадіння імпульсів приведе до похибки в оцінці значення цього розряду і призведе до збою в роботі пристрою, оскільки ні один із імпульсів послідовності слідуєчого розряду в цьому випадку не співпадає з імпульсом опорної послідовності. Даний недолік усувають послідовним з'єднанням лічильників інтерполяційних блоків з метою переносу можливого імпульсу переповнення з молодшого розряду в більш старший. Введення такого зв'язку знижує швидкодію вимірювача і дозволяє формувати тривалість імпульсів з похибкою 10% і більше.

Метод подвійного збігу (метод коінциденції). Метод прямого вимірювання з одноразовим порівнянням двох квантованих фізичних величин: вимірюваної та відтворюваної багатозначною нерегульованою мірою. Метод коінциденції є одним з видів багатоскальних методів вимірювання до яких відносяться ноніусні методи. Ключовою особливістю методу коінциденції, яка його відрізняє від ноніусних

методів є те, що в ньому використовується не одне співпадіння, як в ноніусному та багатоніусному методах а два, чотири, шість, вісім, десять і т.д., що дозволяє підвищити точність вимірювання і зменшити похибку вимірювання, яка виникає за рахунок ширини імпульсів співпадіння і нестабільності генератора опорних частот.

У [3] показана можливість застосування методу коінциденції (рис. 1) для вимірювання фазових зсувів між сигналами, та приведена формула для обчислення фазового зсуву між сигналами. Але не було проведено дослідження властивостей даного методу. Також, не було розроблено схеми вимірювача фазових зсувів за методом коінциденції.

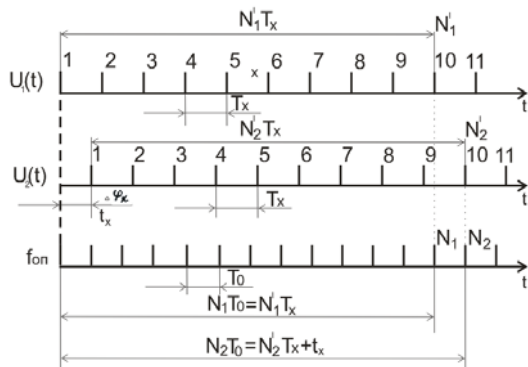


Рис.1 Вимірювання фази сигналів $\Delta\varphi_x$ методом коінциденції

Вираз для вимірювання фазового зсуву сигналу за Орнатським П.П. [3] при умові двох співпадінь і тому що опорний канал буде перший, буде мати вигляд:

$$\Delta\varphi = \left(\frac{N'_1 N_2 - N'_2 N_1}{N_1} \right) \cdot 360^\circ \quad (1)$$

де N_1 - перша періодична послідовність імпульсів з періодом T_0 ; N_2 - друга періодична послідовність імпульсів з періодом T_0 ; N'_1 - перша періодична послідовність імпульсів з періодом T_x ; N'_2 - друга періодична послідовність імпульсів з періодом T_x .

T_0 – період опорного сигналу; T_x – період вхідного сигналу.

Метод коінциденції, в певному розумінні, є метод, якому притаманні властивості як одношкального так і багатоскального ноніусу. Як і в методі ноніусу, в методі коінциденції мають місце процеси співпадіння між поділками двох шкал. Але, для однократної ноніуса – є тільки одне, перше, співпадіння.

Тому однократний ноніус є часний випадок методу коінциденції. Для багатозкального методу використовуються декілька шкал з різним кроком кожної шкали.

Аналіз виразу (1) показує що значення зсуву фази $\Delta\varphi_x$ не залежить від T_x . Проте, в результаті проведеного моделювання (таблиця 1) було встановлено, що як і в ноніусних методах, в методі коінциденції використовується певне співвідношення між шкалами та розмірами поділок, які відрізняються на потрібну ступінь квантування (розмір оцінюваного розряду відліків).

Таблиця 1

Вимірювання кута зсуву фази в залежності від співвідношення ширини імпульсу до різниці між періодами вхідного та опорного сигналу. $T_x = 36\text{мкс}$, $T_0 = 35,9\text{мкс}$

Ширина імпульсу співпадіння	Встановлений кут, φ , град	Розрахований кут, φ , град	N1	N1'	N2	N2'	Абсолютна похибка, $\Delta\varphi$, град	Відносна похибка, $\delta\varphi$, %						
1	2	3	4	5	6	7	8	9						
10нс	21,0	21,00	360	698	359	699	0,00	0,00%						
	21,1	0,00	<i>Не вимірюється</i>											
	21,2	0,00												
	21,3	0,00												
	21,4	0,00												
	21,5	0,00												
	21,6	0,00												
	21,7	0,00												
	21,8	0,00												
	21,9	0,00												
	22,0	22,00	360	697	359	698	0,00	0,00%						
20нс	21,0	21,00	360	698	359	699	0,00	0,00%						
	21,1	21,00	360	698	359	699	-0,10	-0,47%						
	21,2	0,00	<i>Не вимірюється</i>											
	21,3	0,00												
	21,4	0,00												
	21,5	0,00												
	21,6	0,00												
	21,7	0,00												
	21,8	0,00												
	21,9	0,00												
	22,0	22,00	360	697	359	698	0,00	0,00%						
30нс	21,0	21,00	360	698	359	699	0,00	0,00%						
	21,1	21,00	360	698	359	699	-0,10	-0,47%						
	21,2	21,00	360	698	359	699	-0,20	-0,94%						
	21,3	0,00	<i>Не вимірюється</i>											
	21,4	0,00												
	21,5	0,00												
	21,6	0,00												
	21,7	0,00												
	21,8	0,00												
	21,9	0,00												
	22,0	22,00								360	697	359	698	0,00
40нс	21,0	21,00	360	698	359	699	0,00	0,00%						
	21,1	21,00	360	698	359	699	-0,10	-0,47%						
	21,2	21,00	360	698	359	699	-0,20	-0,94%						
	21,3	21,00	360	698	359	699	-0,30	-1,41%						
	21,4	0,00	<i>Не вимірюється</i>											
	21,5	0,00												
	21,6	0,00												
	21,7	0,00												
	21,8	0,00												
	21,9	0,00												
	22,0	22,00								360	697	359	698	0,00
50-80нс														

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
90нс	21,0	21,00	360	698	359	699	0,00	0,00%	
	21,1	21,00	360	698	359	699	-0,10	-0,47%	
	21,2	21,00	360	698	359	699	-0,20	-0,94%	
	21,3	21,00	360	698	359	699	-0,30	-1,41%	
	21,4	21,00	360	698	359	699	-0,40	-1,87%	
	21,5	21,00	360	698	359	699	-0,50	-2,33%	
	21,6	21,00	360	698	359	699	-0,60	-2,78%	
	21,7	21,00	360	698	359	699	-0,70	-3,23%	
	21,8	21,00	360	698	359	699	-0,80	-3,67%	
	21,9	0,00	Не вимірюється						
22,0	22,00	360	697	359	698	0,00	0,00%		
100нс	21,0	21,00	360	698	359	699	0,00	0,00%	
	21,1	21,00	360	698	359	699	-0,10	-0,47%	
	21,2	21,00	360	698	359	699	-0,20	-0,94%	
	21,3	21,00	360	698	359	699	-0,30	-1,41%	
	21,4	21,00	360	698	359	699	-0,40	-1,87%	
	21,5	21,00	360	698	359	699	-0,50	-2,33%	
	21,6	21,00	360	698	359	699	-0,60	-2,78%	
	21,7	21,00	360	698	359	699	-0,70	-3,23%	
	21,8	21,00	360	698	359	699	-0,80	-3,67%	
	21,9	21,00	360	698	359	699	-0,90	-4,11%	
	22,0	22,00	360	697	359	698	0,00	0,00%	

Тобто підтверджується, що вирази, які приведені в роботі [4], що визначають співвідношення між періодами вхідного і опорного сигналу та шириною імпульсів співпадіння мають місце також і для методу коінциденції, що цілком обумовлюється спільністю природи методу коінциденції та одно- і багатозкального ноніусів. Графічно це відображено на рис. 2., з якого видно, що з наближенням співвідношення ширини імпульсу до різниці між періодами вхідного та опорного сигналу фазовий зсув визначається для всіх значень кутів з певною встановленою точністю.

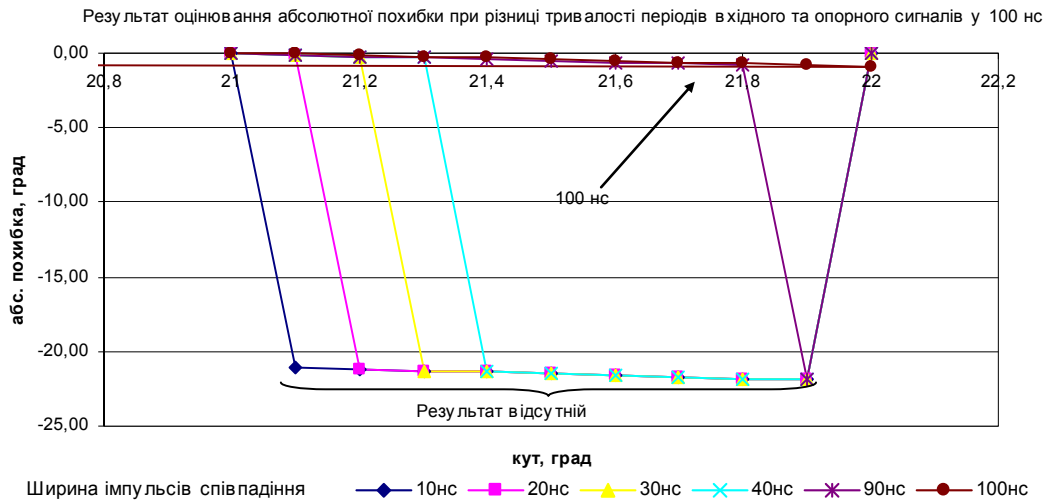


Рис. 2. Графік залежності абсолютною похибки від кута зсуву фази

Отже, оптимальна тривалість імпульсів опорної послідовності і період повторення визначається з наступних співвідношень [4]:

$$\tau = \frac{T_x}{2\pi \cdot 10^k}; \quad T_0 = \left(1 - \frac{1}{2\pi \cdot 10^k}\right) T_x. \quad (2)$$

Таким чином, врахування обмежень (2) для виразу (1) дозволяє встановити межі застосування методу коінциденції. Тобто, математична модель методу коінциденції має наступний вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta\phi = \left(\frac{N_1' N_2 - N_2' N_1}{\min(N_1, N_2)} \right) \cdot 360^\circ; \\ \tau = \frac{1}{36 \cdot 10^k} T_x; \\ \text{якщо } f_{on} > f_{ex}, \text{ то } T_0 = \left(1 - \frac{1}{36 \cdot 10^k} \right) T_x; \\ \text{якщо } f_{on} < f_{ex}, \text{ то } T_0 = \left(1 + \frac{1}{36 \cdot 10^k} \right) T_x \\ \text{якщо } f_{on} = f_{ex}, \text{ то необхідно змінити } f_{on} \end{array} \right. \quad (3)$$

де f_x – частота вхідного сигналу; f_{on} – частота опорного сигналу; τ – ширина імпульсів співпадіння; T_x – період вхідного сигналу; T_0 – період опорного сигналу; $\Delta\phi$ – кут зсуву фази

В виразі (3) в знаменнику замість N_1 за Орнатським, замінено на (N_1, N_2) , в залежності від того, який канал буде прийняти за опорний. Якщо опорний канал перший то потрібно ділити на N_1 , якщо опорний канал другий то необхідно ділити на N_2 .

Час вимірювання складатиме:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{вим} = T_{вим f} + T_{вим \Delta\phi} \\ T_{вим} = T_{вим \Delta\phi} \\ T_{вим \Delta\phi} = T_{вим \max(N_1, N_2)} \cdot T_{on} \end{array} \right. \quad (4)$$

де $T_{вим}$ – час вимірювання; $T_{вим f_{ex}}$ – час вимірювання частоти вхідного сигналу; $T_{вим \Delta\phi}$ – час вимірювання кута зсуву фази; $T_{вим \max(N_1, N_2)}$ – час вимірювання максимального значення N_1, N_2

Основними перевагами методу коінциденції є: підвищення точності вимірювання за рахунок багатократних співпадіннь вхідних сигналів з сигналом опорної частоти.

Основними недоліками є: залежність точності вимірювання від ширини імпульсів співпадіння опорного і вхідного сигналів, якщо ширина імпульсу співпадіння буде менша розміру поділки оцінюваного розряду, при певних фазових співвідношеннях співпадіння не відбудеться і пристрій не спрацює.

В статті [5] було запропоновано структурну схему відповідного вимірювача кута зсуву фази. Проте виконане моделювання показало, що розрізнявальна здатність фазометра залежить не тільки від ширини імпульсів співпадіння (рис.2), а й від співвідношення шкал вхідного та опорного сигналів, що вимагає введення в дану схему частотоміра, для визначення частоти вхідних сигналів.

Висновок

Метод коінциденції є перспективним методом, який можна використовувати для вимірювання фазових зсувів сигналів, як відомої так і невідомо частоти. В зв'язку з тим що, він вимагає певного співвідношення шкал при якому частота опорного сигналу близька до частоти вхідних сигналів це визначає сферу його застосування, оскільки потрібно знати частоту вхідного сигналу для того щоб сформулювати опорну послідовність. Метод коінциденції може бути застосований у двох напрямках: в РНС, у фазовій дальнометрії де ми самі формуємо опорну послідовність, другий напрямок використання разом з частотоміром для вимірювання фази сигналів невідомої частоти.

Література

1. Пятін С.І. Методи та засоби вимірювання фазових зсувів / Пятін С.І., Троцишин І.В. – Хмельницький: "Поділля", 1996 -159с.
2. Богородицкий А.А. Нониусные аналогово-цифровые преобразователи / Богородицкий А.А., Рижевский А.Г. – М. : "Энергия", 1975.
3. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые) 5-е изд., перераб. и доп. / Орнатский П.П. – К.; Вища шк. Головное изд-во, 1986.—604 с.
4. Цифровой фазометр. А.С. № 310191 (СССР). Опубл. в бюл. "Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки", 1971, №23. Авт.: А.А Богородицкий, А.Г. Рижевский, Т.Н.

Рыжевская и др.

5. Горященко К.Л. Вимірювач кута фазових зсувів за методом коінциденції / К.Л. Горященко, І.В. Гула // Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка, радіоапаратобудування. – К. : КПІ. – №54.

References

1. Piatin S.I., Trotsyshyn I.V. Metody ta zasoby vymiriuvannya fazovykh zsuviv : "Podillia", 1996 -159s.
2. A.A Bohorodyskyi, A.H. Ryzhevskiyi Nonyusnue analohovo-tsyfrovue preobrazovately. M., "Enerhyia", 1975.
3. P. P. Ornatskyi. Avtomatycheskye yzmereniya u pryboru (analohovue y tsyfrovue) 5-e yzd., pererab. y dop./— K.; Vyshchashk. Holovnoe yzd-vo, 1986.—604 s.
4. Tsyfrovoyi fazometr. A.S. № 310191 (SSSR). Opubl. v biul. "Otkrutyia. Yzobreteniya. Promushlennue obraztsu. Tovarnue znaky", 1971, №23. Avt.: A.A Bohorodyskyi, A.H. Ryzhevskiyi, T.N. Ryzhevskaya i dr.
5. Horiashchenko K.L., Hula I.V. Vymiriuvach kuta fazovykh zsuviv za metodom kointsedentsii/. - Kyiv - vyd-vo KPI. - №54.

Надійшла до редакції
9.6.2013 р.

УДК 621.396.96

В.Р. ЛЮБЧИК; О.К. ЯНОВИЦЬКИЙ; М.В. ГОЛОВАТИЙ

Хмельницький національний університет, Хмельницький, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ РАДІАЛЬНОЇ ШВИДКОСТІ ТА ДАЛЬНОСТЕЙ ОБ'ЄКТІВ БАГАТОЧАСТОТНИМ ФАЗОВИМ МЕТОДОМ

В роботі розглядаються питання визначення радіальної швидкості рухомих об'єктів, а також їх дальностей. Запропоновано використання багато частотного фазового методу вимірювання шляхом зондування об'єктів сигналами з прямокутною обвідною спектру в радіодіапазоні. Встановлено що для визначення дальностей об'єктів необхідно перетворювати зондуючий сигнал в область радіочастот методами амплітудної чи балансної модуляції, а для визначення радіальної швидкості за допомогою односмугової модуляції.

Ключові слова: доплерівський зсув частот, радіальна швидкість об'єктів, дальність, спектр, фаза, амплітуда.

V.R. LIUBCHUK; O.K. YANOVYTSKYI, M.HOLOVATYI

Khmelnitsky National University, Ukraine

DETERMINATION OF RADIAL VELOCITY AND DISTANCE OBJECTS BY MULTIFREQUENCY PHASE METHOD

Abstract - This paper deals with the determination of the radial velocity of moving objects and their distances. The use of many frequency phase measuring method by sensing objects with rectangular signals bypass the radio spectrum. Found that for determining distances of objects to convert the probe signal in frequency domain methods amplitude modulation, or balancing, and to determine the radial velocity by one-way modulation.

The analysis of different methods of reducing crest-factor signal by mathematical modeling and graphical output of results for the analysis clearly shows the particular use, their features and benefits. Based on this analysis, we can construct the following steps of achievement data, their adaptation and improvement, to be used for data transmission channels. Examining allow us, the number of harmonics of the signal is the first indicator of where we are starting the experiments, because the work is aimed at determining the overall solution algorithm for an arbitrary number of harmonics. After first examining the results for a set number of harmonics, you can find a common output behavior.

Keywords: Doppler shift, the radial velocity of objects, range, spectrum, phase, amplitude.

Вивчення стану питання. При радіолокаційному дослідженні об'єктів необхідно визначити чотири основних параметра, а саме: дальність об'єкта r_x , азимут α_x , кут місця β_x та радіальну швидкість v_x . [1, 2] Серед цих характеристик об'єкта два, як правило, визначаються прямими методами - дальність та радіальна швидкість. Інші два непрямим методами - азимут та кут місця. Так для визначення дальності вимірюють часову затримку, зміну фази або зміну частоти зондуючого сигналу. При визначенні радіальної швидкості визначають доплерівський зсув частоти. Вимірювання азимута та кута місця визначають по напрямку антени радіолокатора. При застосуванні різницевого, дальномірного або інших подібних методів, вимірюють дальності до об'єкта від різних радіолокаційних станцій, і напрями визначають по точках перетину ліній місця об'єкту. Отже найбільш важливими характеристиками об'єкту які вимірюють прямими методами і потребують забезпечення високоточного визначення є дальність та радіальна швидкість об'єкта.

Найбільш розповсюдженими методами визначення дальності об'єкта та його радіальної швидкості є імпульсний метод. Цей метод полягає у вимірюванні відстані за часою затримкою зондуючого імпульсу, а радіальну швидкість по доплерівському зсуву частоти радіочастотного заповнення зондуючого імпульсу. [1, 2] Даний підхід передбачає наявність протиріччя. Для підвищення точності вимірювання відстаней необхідно зменшувати тривалість зондуючого імпульсу, а для підвищення точності вимірювання радіальної швидкості необхідно збільшувати тривалість зондуючого імпульсу. Отже неможливо одночасно