

Пропонований винахід відноситься до області систем радіозв'язку, зокрема до систем, зв'язку з частотним розділенням каналів і може бути використаний в космічних системах зв'язку з рухомими об'єктами.

Відомий спосіб компенсації явищ, які виникають при організації систем зв'язку з рухомими об'єктами, викликаних впливом ефекту Допплера [1-2], полягає в використанні АПЧ та установці на вхід приймальних пристроїв широкосмугових фільтрів.

Недоліком цього способу є те, що, по-перше, це приводить до збільшення потужності шумів $P_{ш}$, Вт та вхіді приймача:

$$P_{ш} = k \cdot T_{ш} \cdot \Delta f_3$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Вт}}{\text{Гц} \cdot \text{град}} - \text{стала Больцмана};$$

$T_{ш}$ - еквівалентна шумова температура приймача;

$$\Delta f_3 = \eta \cdot \Delta f$$

де Δf - смуга перепустки ВЧ-тракту приймача;

$\eta = \left(\frac{P_c}{P_{ш}} \right)_{\min}$ - мінімальне співвідношення сигнал/шум на вході детектора, необхідне для нормальної роботи кінцевих пристроїв, а, по-друге, не компенсує деформацію спектру сигналу.

В основу винаходу поставлена задача створити спосіб компенсації явищ, викликаних ефектом Допплера, який шляхом керування переналагоджувальним синтезатором частот передаючого пристрою дозволив би забезпечити компенсацію явищ, що викликані ефектом Допплера.

Для рішення поставленої задачі в способі компенсації ефекту Допплера пропонується спосіб, який полягає в тому, що за поточними даними руху об'єкту, які формуються апаратурою супутникової навігації, та даними місцезнаходження, нерухомого пункту прийому обчислювальний пристрій обраховує радіальну швидкість та здійснює керування переналагоджувальним синтезатором частот передаючого пристрою в залежності від зміни радіальної швидкості.

На фіг.1 приведена блок-схема пристрою, що реалізує спосіб, який заявляється.

Сутність запропонованого способу полягає в наступному. При радіозв'язку між рухомими та нерухомими об'єктами спостерігаються явища, викликані ефектом Допплера [1-2]: при русі джерела сигналу в бік прийому зі швидкістю v частота прийому f пов'язана з частотою передачі f_0 співвідношенням:

$$f = \frac{f_0}{1 - \frac{v}{c_0}} \quad (1)$$

Тут $c_0 = 3 \cdot 10^{10} \text{ см/с}$ - швидкість світла.

Загалом завжди виконується умова $\frac{v}{c_0} \ll 1$, тому:

$$f = f_0 \left(1 + \frac{v}{c_0} \right) \quad (2)$$

Узагальнюючи формули (1) та (2), одержимо:

$$f = f_0 \left(1 \pm \frac{v}{c_0} \right) = f_0 \pm f_D \Rightarrow f_D = \pm \frac{v}{c_0} \cdot f_0 \quad (3)$$

Якщо випромінювальний сигнал має спектр частот, то крім Допплерівського зміщення всього, спектру частот на величину f_D виникає також деформація спектру. Якщо спектр сигналу крім несучої f_0 має дві бічні складові $(f_0 + F)$ та $(f_0 - F)$, то під дією ефекту Допплера ці складові одержать приріст:

$$\left. \begin{aligned} (f_0 + F) \cdot \left(1 + \frac{v}{c_0} \right) &= f_0 + F + f_0 \frac{v}{c_0} + F \frac{v}{c_0} = f_0' + F' \\ f_0 \left(1 + \frac{v}{c_0} \right) &= f_0 + f_0 \frac{v}{c_0} = f_0' \\ (f_0 - F) \cdot \left(1 + \frac{v}{c_0} \right) &= f_0 - F + f_0 \frac{v}{c_0} - F \frac{v}{c_0} = f_0' - F' \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$\text{де } F + F \frac{v}{c_0} = F + F_D$$

Розгляд всіх видів модуляції (АМ, ЧМ, ФМ) показує, що у всіх випадках вплив ефекту Допплера приводить до

деформації всього спектру випромінюваного сигналу і викликає зміни частот в $\left(1 + \frac{v}{c_0} \right)$ разів для всіх компонентів спектру (в тому числі для тактової частоти).

В системах зв'язку з використанням стаціонарних супутників-ретрансляторів ефект Допплера практично відсутній, тому вимоги до стабільності частот достатньо високі [2]. При цьому, в зв'язку з високими вимогами та

прийнятому частотному розділенні каналів розробка систем зв'язку між стаціонарним КА та КА на низьких орбітах потребує значних технічних затрат, пов'язаних з компенсацією впливу ефекту Допплера.

Широкі можливості для цього відкриваються в зв'язку з обладнанням низькоорбітальних КА апаратурою супутникової навігації [3], що зараз стає звичайною практикою.

Вихідною інформацією АСН є:

- поточні координати КА (в Гринвіцькій системі координат) x_i, y_i, z_i ,
- складові вектору швидкості $V_{x_i}, V_{y_i}, V_{z_i}$,
- поточні значення часу (UTC).

Нехай координати супутника-ретранслятору (або іншого нерухомого приймального пристрою) x_0, y_0, z_0 . Тоді відстань між ним та джерелом сигналу (КА) буде:

$$R_i = \sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2 + (z_0 - z_i)^2} \quad (5)$$

В виразах ($4 \div 10$) під v розумілось те, що швидкість направлена вздовж лінії зв'язку. В загальному випадку, коли вектор швидкості може бути направлений під будь-яким кутом до лінії радіозв'язку, явища, викликані ефектом Допплера, будуть залежати від тієї компоненти швидкості, яка паралельна лінії зв'язку. Позначимо її як радіальну швидкість $V_{\text{рад}}$:

$$V_{\text{рад}} = \frac{dR}{dt} = \frac{\Delta R}{\Delta t} = \frac{R_i - R_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} = \frac{\sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2 + (z_0 - z_i)^2} - \sqrt{(x_0 - x_{i-1})^2 + (y_0 - y_{i-1})^2 + (z_0 - z_{i-1})^2}}{t_i - t_{i-1}} \quad (8)$$

при $\Delta t \rightarrow 0$.

або, для методу численного диференціювання (для i -го значення параметрів об'єкту):

$$V_{\text{рад}} = \frac{dR}{dt} = \frac{d(\sqrt{x^2 + y^2 + z^2})}{dt} = \frac{x \cdot x + y \cdot y + z \cdot z}{R} = \frac{x \cdot V_x + y \cdot V_y + z \cdot V_z}{R} = \frac{(x_0 - x_i)(V_{x_0} - V_{x_i}) + (y_0 - y_i)(V_{y_0} - V_{y_i}) + (z_0 - z_i)(V_{z_0} - V_{z_i})}{R}$$

Тепер, знаючи залежність Допплерівського зсуву від часу, достатньо легко виконати відповідний зсув несучої та модуляційної частот задаючого генератору передаючого пристрою.

Пропонований спосіб може бути реалізований, наприклад, за допомогою пристрою, блок-схема якого приведена на фіг.1.

Пристрій, містить (фіг.1) апаратуру супутникової навігації 7, пристрій керування 3, який за поточними даними про рух об'єкту, що надходять з АСН, та заданими координатами пункту прийому здійснює обчислення радіальної швидкості, знаку та величини змін несучої та модуляційної частот, управляючі сигнали з якого подаються на переналагоджувальний синтезатор частот 2 передаючого пристрою в складі: аналого-цифрового перетворювача 4, підсилювача низької частоти (НЧ) 5, перемножувача 6, підсилювача проміжної частоти (ПЧ) 7, перемножувача 8, підсилювача високої частоти (ВЧ) 9, підсилювача потужності 10 та антенний пристрій.

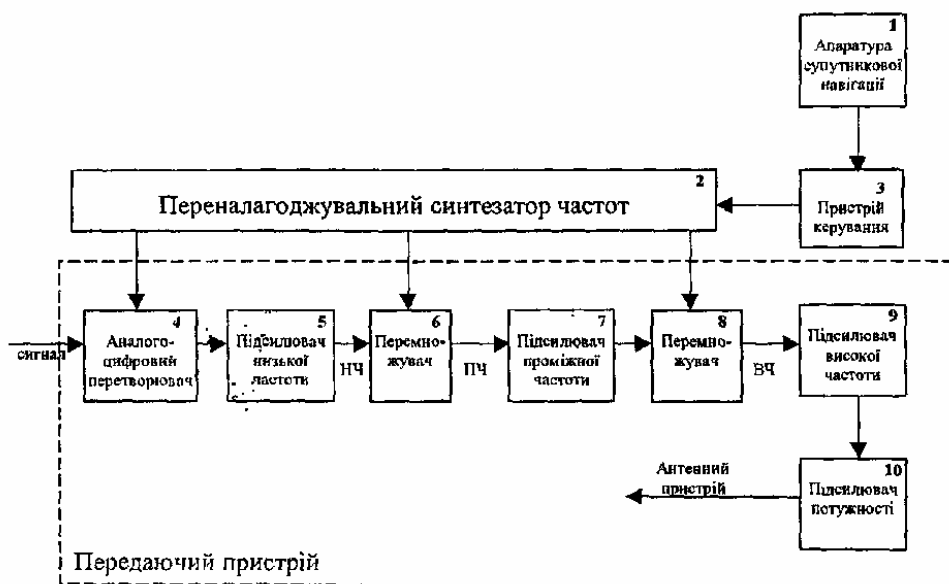
Робота пристрою полягає в наступному: апаратура супутникової навігації 7 здійснює прийом в реальному часі про поточні параметри руху в Гринвіцькій системі координат, за якими та координатами нерухомого пункту пристрій керування 3 проводить розрахунок радіальної швидкості, знаку та величини зміни несучої та модуляційної частот, управляючі сигнали з якого подаються на переналагоджувальний синтезатор частот 2 передаючого пристрою $4 \div 10$.

Пропонований спосіб у порівнянні з відомими має наступні технічні переваги:

- відсутні явища деформації спектру сигналу, викликані дією ефекту Допплера;
- зменшується смуга частот, що виділена для сигналу.

Перелік посилань:

1. Агаджанов П.А., Горшков Б.М., Смирнов Г.Д. "Основы радиотелеметрии". М., Воениздат, 1971 - 248 с.
2. Калашников Н.И. "Системы связи через ИСЗ" М. Связь, 1969 - 384 с.
3. Ефимов С.К., Нестерович А.Г., Яковченко А.И. "Аппаратура спутниковой навигации КА "Січ-1М" и "Микроспутник"". Космічна наука і технологія. 2001, Т7, №4, с. 114-116.



Фіг.1. Блок-схема передаючого пристрою.