

Ільницький Л.Я., д.т.н.  
Щербина О.А., к.т.н.  
Федієнко Ю.М.  
Загребельний А.О.

## ІМІТАТОР СИГНАЛІВ СУПУТНИКІВ СИСТЕМИ GPS

Інститут електроніки та систем управління  
Національного авіаційного університету

*Синтезовано схему імітатора комплексу сигналів, які використовуються для визначення часу і місцеположення пристроями GPS-навігації. Імітатор дає можливість діагностувати якість пристроїв GPS-навігації та вимірювати їх технічні характеристики щодо точності визначення місцеположення та чутливості приймача. З'являється можливість змінювати напруженості електричних полів, які створюються окремими джерелами сигналів, що моделює реальну обстановку з визначенням місцеположення при низьких кутах розташування штучних супутників.*

### Вступ

У восьмидесятих роках минулого сторіччя важко собі було уявити, що супутникові системи радіонавігації проникнуть у всі сфери життя цивілізованої людини. В ті роки вважалось, що мережеві системи супутникової радіонавігації, не зважаючи на їх стрімкий розвиток, залишатимуться ще довго як системи обслуговування професіональних користувачів радіонавігаційної інформації. Але стрімкий розвиток радіоелектронних технологій призвів до того, що пристрої GPS-навігації стали надійними, компактними, з прекрасними технічними характеристиками і, що є досить суттєвим, відносно дешевими, тобто з доступними ціною широкому колу користувачів, таких як автомобілісти, туристи, альпіністи, мисливці, рибалки і т. ін. Отже пристрої GPS-навігації перетворюються на звичну побутову радіоелектронну техніку.

Виробництво пристроїв GPS-навігації невпинно зростає, як і зростає їх кількість в розпорядженні непрофесійних користувачів. При цьому виникають проблеми з виконанням діагностування і ремонту пристроїв GPS-навігації.

На жаль, сучасні вимірювальні комплекси для діагностування пристроїв GPS-навігації є унікальними і викорис-

товуються фірмами виробниками такої продукції. Їх вартість надзвичайно висока, що не сприяє їх поширенню і впровадженню в центрах обслуговування пристроїв GPS-навігації. В зв'язку з цим, виникла проблема створення таких діагностуючих комплексів, вартість яких була б відносно невисокою, а точність діагностування відповідала міжнародним стандартам.

### Теоретичні положення

Використання імітаторів сигналів для діагностування радіотехнічних систем є дієвим способом випробовувань або дослідження складних комплексів або комплексів підвищеної відповідальності. Особливістю імітаторів є можливість створення складних стандартизованих або еталонних сигналів, які, як правило, створюються частиною досліджуваної радіоелектронної системи, і за допомогою цих сигналів визначати працездатність іншої частини радіоелектронної системи в якій вихідна інформація слугує для прийняття рішень оператором системи. З цієї точки зору, імітатори сигналів супутників GPS також повинні виробляти еталонні сигнали не менше, чим чотирьох супутників і давати можливість закладати в них інформацію про супутників і час проведення сеансів зв'язку. Саме в процесі форму-

вання сигналів і полягає основна проблема створення імітатора.

В системі GPS використовуються дві когерентні частоти  $f_1 = 1575,42$  МГц і  $f_2 = 1227,6$  МГц. Сигнали різних супутників відрізняються кодом. Сигнали містять в собі значний масив службової інформації, яка визначається ефемерідами супутників, альманахом, частотно-часовими поправками, мітками часу, а також відомостями про працездатність бортової апаратури. Створення такої інформації вимагає не тільки побудови відповідної апаратури, але і розробка необхідного програмного забезпечення, яке в сукупності представляє собою ма-

тематично-електронну модель мережі навігаційних супутників. Очевидно, що такий шлях створення імітатора сигналів є затратним і вимагає значного часу на його розробку, побудову і випробування. Тому авторами цієї роботи запропоновано обрати інший шлях, який полягає у тому, що в імітаторі використовуватимуться сигнали реальних супутників.

Структурна схема такого імітатора зображена на рис. 1. Слабонапрявлена антена з діаграмою спрямованості, ненапрявленою у верхній півсфері, приймає сигнал реальних супутників, що знаходяться у зоні видимості.

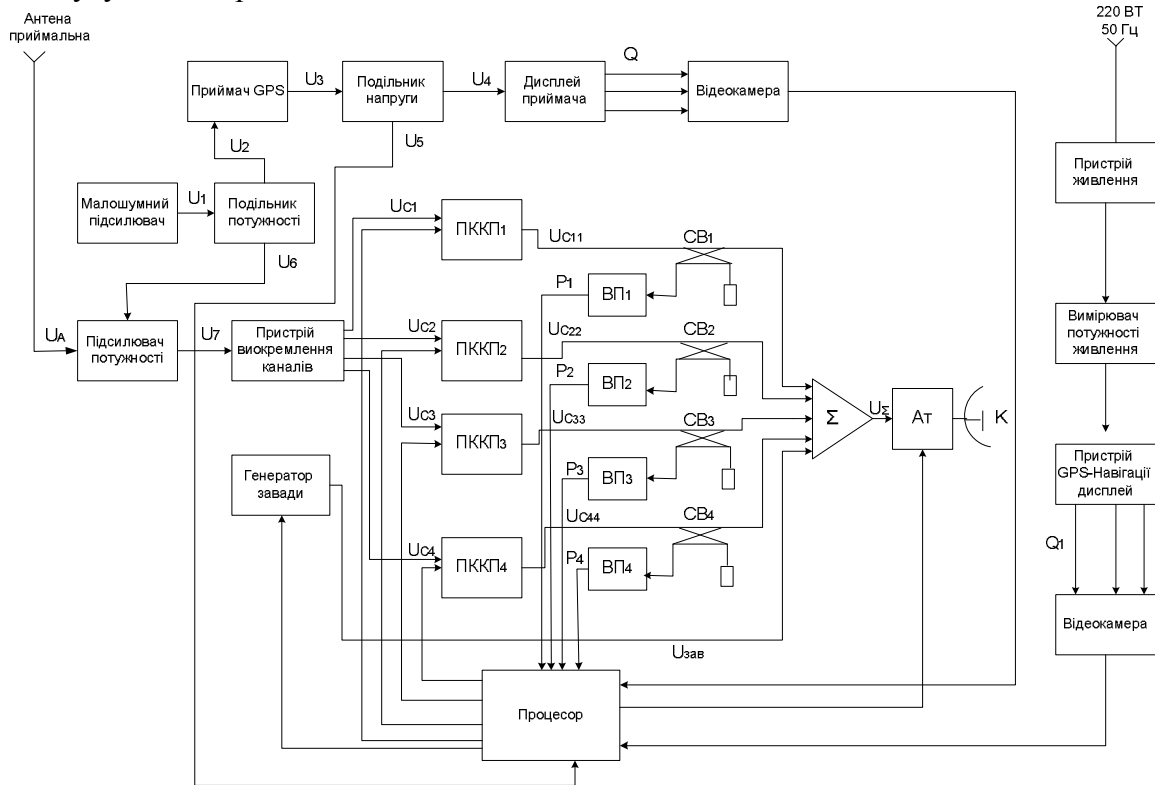


Рис. 1. Структурна схема імітатора сигналів супутників системи GPS

Напруженість електричних полів, створених супутниками позначимо як  $E_{\Sigma c}$

$$E_{\Sigma c} = \sum_{s=1}^n E_{cs}, \quad (1)$$

де  $E_{cs}$  – напруженість електричного поля  $s$ -го супутника,  $n$  – кількість супутників, що знаходяться у зоні видимості.

Очевидно, що для правильного функціонування пристрою GPS-навігації, необхідно задовольняти вимогу

$$n \geq 4. \quad (2)$$

Анени мобільних терміналів супутникової навігації найчастіше представляють собою лінійні антени лінійної або колової поляризації [1]. Тому їх можна характеризувати таким параметром як діюча довжина. Оскільки, будь-яку поля-

ризацію можна розкласти в лінійному поляризаційному базисі, то в подальшому розглядатимемо лише одну лінійно поляризовану складову поля супутників.

На виході приймальної антени створюється напруга  $U_A$ , яка визначається через діючу довжину і узгоджене навантаження антени

$$U_A = \frac{1}{2} E_{\Sigma c} l_2. \quad (3)$$

Для того щоб в подальшому можна було знехтувати внутрішніми шумами вузлів імітатора, напруга з виходу антени (3) підсилюється малошумним підсилувачем і визначатиметься як

$$U_1 = a_1 U_A, \quad (4)$$

де  $a_1$  – коефіцієнт передачі малошумного підсилувача за напругою.

Вихідний сигнал з підсилувача надходить у подільник потужності, який представляє собою мостову схему. На частотах, що використовуються в системі GPS, в мікросмужковому виконанні квадратний міст матиме лінійні розміри біля 15x15мм. З виходу подільника потужності сигналу  $U_2$ , який дорівнює

$$U_2 = \frac{1}{2} a_1 U_A,$$

спрямовується у еталонний канал обробки сигналів. Він представляє собою пристрій GPS-навігації з поліпшеними технічними характеристиками. Це може бути серійний пристрій, але ретельно підібраний за якісними реальними показниками.

В еталонному каналі в результаті обробки сигналу  $U_2$ , який несе згідно з формулами (1)-(4) навігаційну інформацію, створюється напруга  $U_3$ , в якій закодовані пошукуванні координати місцеположення пристроєм GPS-навігації та час сеансу визначення координат, тобто

$$U_3(q_{p_i, t_i}) = \hbar(E_{cs, t_i}^i), \quad (5)$$

де  $q_p = q_1, q_2, q_3$  – визначені за радіонавігаційними параметрами координати розташування імітатора;  $t$  – поточний час;  $i$  – порядковий номер сеансу прийому

сигналів супутників;  $\hbar$  – оператор, який реалізується в пристроях GPS-навігації.

Вихідна напруга  $U_3$  з виходу приймача подільником напруги ділиться на дві частини, одна з яких, що становить  $a_1 : 1$  ( $a_1 < 1$ ) частину вхідної напруги, тобто

$$U_4 = a_1 U_3, \quad (6)$$

надходить на дисплей і формує оптичне зображення на екрані  $Q$  координат місцеположення

$$Q = \hbar_q(U_3), \quad (7)$$

де  $\hbar_q$  – оператор перетворення електричного сигналу в оптичне зображення координат.

Друга частина вихідного сигналу з подільника напруги  $U_5 = a_2 U_3$ , де  $a_2$  – коефіцієнт поділу напруги ( $a_1 + a_2 = 1$ ), використовується як еталонне значення інформації у процесорі.

З другого виходу подільника потужності сигнал  $U_6$  підсилюється і набуває значення

$$U_7 = a_3 U_6 = \frac{1}{2} a_1 a_3 U_A, \quad (8)$$

де  $a_3$  – коефіцієнт підсилення підсилувачем потужності.

В пристрої виокремлення каналів за кодами супутників відновлюються без зміни несучої частоти сигнали навігаційних супутників  $U_{c1}, \dots, U_{c4}$ . Функціонування пристрою виокремлення каналів можна описати певним оператором  $\hbar_{BK}$ , який використовується в приймачах пристроїв GPS-навігація. Отже

$$U_{cs} = \hbar_{BK}(U_7), \quad s = 1 \dots 4. \quad (9)$$

Для того щоб створити модель поля навігаційних супутників, сигнали  $U_{cs}$  підсилюються за допомогою підсилувачів з керованим коефіцієнтом передачі, тобто підсилувачі ПККП змінюють лише амплітуду сигналів. При цьому в кожному каналі коефіцієнт передачі підсилувача  $a_s^c$  встановлюється процесором за певною програмою. Отже,

$$U_{css} = a_s^c U_{cs}. \quad (10)$$

Перед об'єднанням сигналів для створення моделі поля навігаційних супутників потужності електромагнітних коливань в кожному каналі вимірюються. З цією метою кожен канал включається спрямований відгалужувач СВ<sub>s</sub>, один із виходів вторинної лінії якого навантажений на вимірник потужності ВП<sub>s</sub>. Інформація про потужність сигналу в каналі  $P_s$  надходить в процесор. Таким чином, в імітаторі є можливість змінювати потужність випромінювань в окремих каналах і, тим самим, моделювати різні умови приймання сигналів супутників. Це може бути модуль затемнення променів одного із супутників спорудами, деревами, або рельєфом місцевості.

З первинних ліній спрямованих відгалужувачів сигнали надходять у об'єднувач сигналів (суматор). Крім того, якщо є необхідність визначити завадостійкість пристрою GPS-навігація, в об'єднувач сигналів надходить також і сигнал завади  $U_{зав}$  від генератора завад, який за певними програмами вмикається процесором. Генератор завади повинен імітувати такі ефекти, які спостерігаються в смузі частот, що використовуються навігаційними супутниками. На виході об'єднувача сигналів отримуємо напругу

$$U_{\Sigma} = \sum_{s=1}^4 U_{css} + U_{зав}. \quad (11)$$

Оскільки потужність отриманого сигналу досить велика, то для забезпечення необхідного рівня потужності випромінювання використовується атенюатор, коефіцієнт атенюації якого встановлюється процесором. Потужність з виходу атенюатора  $P(U_{\Sigma})$  живить антену, яка створює модель поля випромінювання навігаційних супутників.

$$E_{\Sigma c}^M = \sum_{s=1}^4 E_{cs}^M + E_{зав}.$$

Антену для частот, на яких створюють навігаційні електромагнітні поля, може бути дзеркальною або вібраторного типу. Оскільки направлені властивості

антени не мають суттєвого значення, то розміри антени можуть бути близькими до довжини хвилі. Це сприятиме побудові компактної камери для опромінювання досліджуваних пристроїв GPS-навігація. Очевидно, що для створення еталонного поля необхідно подбати про те, щоб не було багатопроменевого поширення променів і щоб випромінювання антен супутників не могли безпосередньо прийматися антеною досліджуваного пристрою.

В досліджуваному пристрої обчислюються координати місцеположення, поточний час і результати визначення з'являються на дисплеї.

З допомогою відеокамери оптичне зображення  $Q_1$  переводиться в електричний сигнал, який надходить в процесор. Очевидно, що в режимі відповідності параметрів і технічних характеристик пристрою нормативним значенням задовольнятиметься рівнянням

$$Q_1 = Q. \quad (13)$$

В імітаторі передбачена можливість дослідження впливу напруги живлення на працездатність пристрою. Для цього за певною програмою необхідно зменшувати потужність живлення за допомогою керованого джерела живлення (пристрою живлення) і при порушенні рівняння (13) зафіксувати граничне значення напруги живлення.

### Висновок

Синтезована структурна схема моделює поле навігаційних супутників, забезпечує можливість зміни інтенсивності поля кожного супутника окремо, дає можливість визначити чутливість приймача і вплив зміни потужності живлення на точність визначення координат.

### Список літератури

1. *Ільницький Л.Я.* Антени та пристрої надвисоких частот / *Ільницький Л.Я., Савченко О.Я., Сібрुक Л.В.* – К. Укртелеком, 2003. – 496 с.

