

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Навчально-науковий інститут енергетики, автоматики і енергозбереження

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри автоматики та
робототехнічних
систем ім. акад. І. І. Мартиненка**

В. П. Лисенко
«__» 2021 р.

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

**на тему «Дослідження автоматизованої системи моніторингу сигналів
синхронізації навігаційних супутниковых систем»**

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології»

Керівник магістерської роботи

д.т.н., проф.

(науковий ступінь та вчене звання)

Коваль В.В.

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Самойленко В.В.

(ПІБ студента)

КИЇВ – 2021

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ТА МОНІТОРИНГУ СИГНАЛІВ СИНХРОНІЗАЦІЇ ЧАСУ НАВІГАЦІЙНИХ СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ НА ЦИФРОВИХ ПІДСТАНЦІЯХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖ	8
1.1 Основні теоретичні відомості предметної області дослідження	8
1.2. Методи та процеси вирішення функціональних завдань управління.....	21
1.3 Основна характеристика точності синхронізованих вимірювань	24
1.4 Основні способи зменшення втрат сигналу синхронізації супутниковых систем, що використовуються з метою навігації.....	29
Чому вісутній сигнал GPS?	30
Налаштування та зменшення втрат сигналу годин GPS	30
Утримання годин та зменшення втрат сигналу годин GPS	32
Надмірність та зменшення втрат сигналу годин GPS	32
ЗМЕНШЕННЯ ВІРОГІДНОСТІ ВРАЗЛИВОСТЕЙ GPS	32
Синхрофазори мають власні вимоги до точності часу.....	33
1.5 Конструкція навігаційного приймача	37
1.6 Переваги використання програмного приймача.....	38
1.7 Структура GPS сигналу	39
1.8 Коди Голда	41
1.9 Повідомлення даних	45
1.10 Обробка сигналів GPS-приймачем та визначення доступності супутникового сигналу	46
РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ У СЕРЕДОВИЩІ MATLAB ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ПІДСИСТЕМИ ФАПЧ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТУ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СИГНАЛІВ СИНХРОНІЗАЦІЇ ЧАСУ	48
2.1 Характеристика системи дослідження.....	48
2.2 Датчик системи моніторингу сигналів синхронізації	50
2.3 Математична модель пристроя синхронізації фази датчика системи моніторингу сигналів синхронізації	52

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРИСТРОЮ СИНХРОНІЗАЦІЇ ФАЗИ.....	55
3.1 Дослідження пристрою фазової синхронізації	55
3.2 Розрахунок системи ФАПЧ (петлі фазової синхронізації - PLL).....	55
3.3 Побудова та дослідження математичної моделі ФАПЧ	56
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ ЗАСОБІВ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СИГНАЛІВ СИНХРОНІЗАЦІЇ ЧАСУ НАВІГАЦІЙНИХ СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМ	62
4.1 Середовище програмування	62
4.2 Розробка алгоритмів програми.....	65
4.3 Робота з програмою візуалізації.....	66
4.4 Робоче місце для реєстрації, експериментальних досліджень та моніторингу	70
ВИСНОВКИ.....	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	73

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР ...	Арк.
						4

ВСТУП

Синхронізація часу в промислових мережах необхідна для узгодження роботи пристрой та програм, що здійснюють обробку даних у режимі реального часу. Крім цього, синхронізація потрібна в системах моніторингу та управління з метою протоколювання подій, що виникають, і своєчасного реагування на них.

Залежно від завдань можуть знадобитися різні рівні точності синхронізації часу. Так, однією з найбільш чутливих до точності часу систем є система автоматизації на енергетичних підстанціях.

Радіонавігаційні супутникові системи відносять до точних систем космічного базування і дозволяють у глобальних масштабах визначати поточні розташування об'єктів та їх швидкість, а також здійснювати точну координацію часу.

Принцип дії систем полягає у тому, що навігаційні супутники випромінюють спеціальні електромагнітні сигнали. Обладнання споживачів, розташоване на об'єктах, що знаходяться на поверхні Землі або навколоземному просторі, приймає ці сигнали та після обробки надає дані про місцезнаходження та швидкість руху об'єкту. Супутникову радіонавігаційну систему всі розглядають як високотехнологічну інформаційну систему, яка складається з п'яти основних сегментів Рис. 1.1.

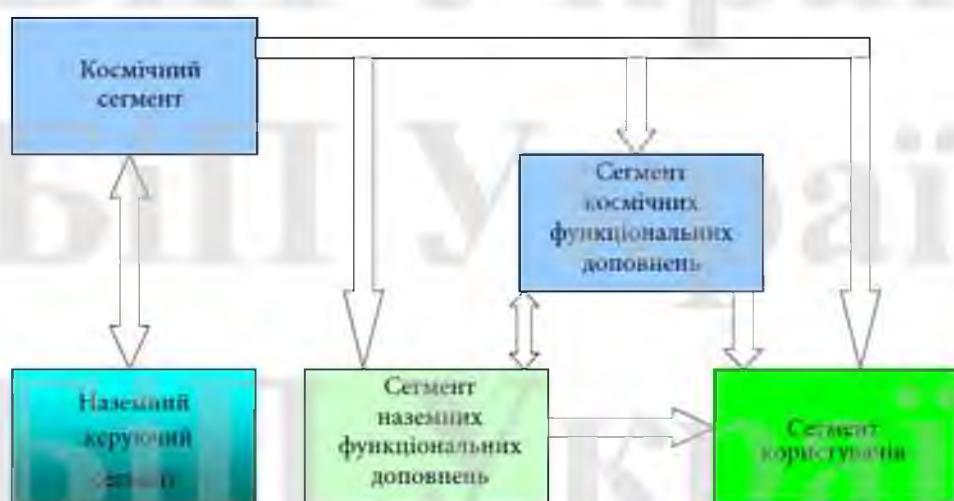


Рис. 1.1. Організація супутникової радіонавігаційної системи

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						5

Наземний сегмент керування включає в себе управління центром космічного сегмента, обладнання контролю стану навігаційних супутників, станції стеження за навігаційними супутниками (радіолокаційні та оптичні).

Керуючий наземний сегмент вирішує завдання уточнення, визначення та прогнозування параметрів руху навігаційних супутників, формування та передачі цифрової інформації в бортову апаратуру супутників, а також низку профілактичних та контрольних функцій.

Космічний сегмент є навігаційною системою супутників, що обертаються по еліптических орбітах навколо Землі. На кожній орбіті є кілька супутників. Супутник навігаційний має радіоелектронну апаратуру на борту, що випромінює широкосмугові безперервні радіосигнали в напрямку Землі, які містять інформацію для проведення навігаційних визначень за допомогою обладнання споживача.

Сегмент користувачів може потенційно складатися з необмеженої кількості супутниковых навігаційних приймачів, які в свою чергу приймають інформацію навігаційних супутників і здійснюють розрахунки поточного часу, розташування, та швидкості з похибками, що визначаються апаратурою споживача та супутниковою навігаційною системою.

За забезпечення точності навігаційних визначень, безперервності, доступності, цілісності та експлуатаційної готовності системи відповідає апаратурно-програмним комплексам сегментів наземних та космічних функціональних доповнень.

Глобальним значенням супутникової навігаційної системи є те, що вона з кожним разом допомагає вдосконалювати можливості відслідковування будь якого об'єкту на землі, отже розташування певних видів транспорту контролювати можна більш ефективно. Новітні супутникові системи ще більше затребувані, ніж будь коли, та їх розвиток дозволив підвищити достовірність та точність моніторингу геоданих.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						6

Синхронізація подій та точний відліку часу: завдяки використанню GPS-приймачів можливо синхронізувати час годинників з точністю до десятків наносекунд.

Супутникова навігація— актуальне ключове та перспективне рішення моніторингу сигналів синхронізації в реальному часі.

Системи GPS-таймінгу та тимчасової синхронізації все частіше поширюються у системах управління та контролю віддаленими об'єктами. Так як годинник GPS-приймача з високою точністю синхронізовано з годинником супутників GPS після першого місця визначення, при цьому шкала часу системи GPS співпадає зі шкалою універсального координованого часу (UTC – Universal Time Coordinated), GPS-приймач можна використовувати як джерело високоточної синхронізаційної інформації в будь-якій точці Землі. Це просте та недороге рішення дозволяє синхронізувати процеси вимірювань та підтримувати єдиний час у просторово рознесених системах, наприклад, у системах позиціонування

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						7

РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ТА МОНТОРИНГУ СИГНАЛІВ СИНХРОНІЗАЦІЇ ЧАСУ НАВІГАЦІЙНИХ СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ НА ЦИФРОВИХ ПІДСТАНЦІЯХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖ

1.1 Основні теоретичні відомості предметної області дослідження

GPS — це абревіатура від Global Positioning System, всесвітньої системи навігації та позиціонування, розробленої Міністерством оборони США як для військового, так і для цивільного використання. GPS може визначити місцезнаходження об'єкта на землі з точністю від десятків метрів до міліметрів, залежно від приймача та технології обробки сигналу. Ця технологія дозволяє військовим, цивільним і науковим користувачам отримувати тривимірні локації поблизу поверхні Землі з високою точністю. [5, 6].

Розглянемо наприклад один супутник, який знаходитьться на відстані 25 000 кілометрів від людини, яка тримає GPS-приймач. Тоді відомо, що положення людини знаходитьться десь на сфері радіусом 25 000 км з центром на супутнику. Однак точне місцезнаходження людини на цій сфері поки невідоме. Якщо одночас можна виявити відстань від людини до другого супутника на рівні 20 000 км, то можна визначити другу сферу радіусом 20 000 км, на якій знаходиться людина. Таким чином, людина повинна бути на колі, утвореному перетином двох сфер положення. Третій супутник дає ще третю сферу, яка звужує розташування людини рівно до двох точок. Три супутники можуть визначити точне положення людини, вони надають достатньо інформації, щоб знайти координати x, у та z. Однак на практиці для визначення позиції потрібні чотири супутники.

У наведеній вище моделі дальності відстань між одним супутником і людиною на Землі 20 000 км. Однак не згадується, як була визначена відстань. Глобальна система позиціонування працює завдяки тому, що кожен з 21 активного супутника постійно випромінює мікрохвилі. Ці мікрохвилі сприймаються

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						8

приймачем GPS, який може використовувати метод визначення дальності, щоб визначити своє місце розташування. Відстань від приймача до одного супутника вимірюється наступним чином: супутником і приймачем керують окремі годинники. Супутники налаштовані якомога точніше за допомогою атомного годинника, передбачається, що вони синхронізовані один з одним. У якийсь відомий час супутник випромінює сигнал у вигляді мікрохвиль. Цей сигнал надходить до приймача через певний інтервал. Оскільки мікрохвилі рухаються зі швидкістю світла, відома швидкість і відомий час дозволяють приймачу визначити відстань до супутника. Тому важливо час вимірювати точно, щоб точно виміряти відстань, оскільки помилка синхронізації двох годинників в одну мілісекунду створює похибку в 300 метрів. Для цього потрібен четвертий супутник, оскільки до невідомих було додано четверту змінну, час, яка раніше включала лише відстані x, y та z.

Незважаючи на загальну першочергову військову мету, з часом навігаційна система набула повсякденного використання, GPS-приймачі з'явилися в мобільних пристроях, літаках, кораблях та інших пристроях. Okрім реалізації апаратної складової, були представлені різноманітні програмні застосунки, завдяки яким можна швидко визначити місцерозташування об'єкта в реальному часі.

Останнім часом все більше країн світу мають свій власний інтерес до створення навігаційних систем глобального позиціонування власного виробництва. Наприклад ГЛОНАСС (РФ), Gallileo (Європа), BeiDou (Китай), IRNSS (Індія). Причиною є бажання отримати повну незалежність від Американської і Російської систем навігації (GPS та NAVSTAR). Власник має можливість дистанційно відключати всю систему, що може привести до серйозних проблем працездатності важливих об'єктів кожної держави. На важливих стратегічних системах для надійності і точності, прийнято використовувати об'єднані системи, які складаються з 2-х або більше супутникових навігаційних систем.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						9

Таблиця 1.1 – Порівняння існуючих навігаційних систем космічного базування в світі

Система	GPS	GLONASS	BeiDou	Galileo	IRNSS (NAVIC)
Власник	США	РФ	КНР	ЄС	ІНДІЯ
Спосіб доступу до каналу	CDMA	FDMA	CDMA	CDMA	CDMA
Висота орбіти	20,180 km (12,540 mi)	19,130 km (11,890 mi)	21,150 km (13,140 mi)	23,222 km (14,429 mi)	36,000 km (22,000 mi)
Період обертання	11:58:00	11:16:00	12:38:05	14:05:00	23:42:04
Обертань за 24 год	2	2.125	1.88	1.7	1.01
Кількість супутників	32	28	35	22 + (8)	7
Частота	1,57542 ГГц (L1 signal) 1,2276 ГГц (L2 signal)	Around 1.602 ГГц (SP) Around 1,246 ГГц (SP)	1.561098 ГГц (B1) 1.589742 ГГц (B1-2) 1.26852 ГГц (B3)	1.164–1.215 ГГц (E5a and E5b) 1.260–1,300 ГГц (E6) 1,559–1,592 ГГц (E2-L1-E11)	S-band (2–4 ГГц)
Статус	Працює	Працює	22 супутники працюють, 40 готуються до запуску	22 супутників працюють, 8 готуються до запуску в 2022	Працює, планується збільшення кількості супутників до 11

Принцип роботи навігаційної системи GPS

GPS використовує космічне угруповання від 24 до 32 супутників, яке крім діючих складається на випадок виходу з ладу одного, з основних, та із 3 запасних. За одну добу кожен апарат робить два повних оберти навколо Землі. Приймачі GPS на Землі діють як датчики і можуть обчислювати своє власне положення, визначаючи час сигналів, надісланих 4 супутниками, що обертаються навколо Землі. Ви можете подумати, що 3 супутників буде достатньо, але дані з 4 супутників потрібні, щоб врахувати помилки та дати точнішу інформацію про час. Чим більша кількість доступних в даний момент у небі супутників і чим сильніше буде рівень сигналу, що надходить від них – тим точніші будуть результати визначення координат клієнта. [4-6].

Кожен супутник постійно посилає сигнали, що дають інформацію про час відправлення повідомлення та орбіту, яку він займає. Приймач на Землі використовує час прибуття повідомлень (затримка передачі сигналу) від цих кількох супутників для вимірювання відстані до кожного з них. Приймачі використовують електронні системи для обчислення координат, які потім перетворюються в широту і довготу, і вони відображаються в цифровому вигляді на екрані.

Далі, отримавши просторові координати 3 точок і 3 відстаней до шуканої точки, знаходить місце знаходження приймача на площині. Оскільки система навігації працює у просторі, а не на площині, то необхідна наявність четвертого супутника, котрий дозволяє однозначно визначити координати точки в тривимірному просторі. У порівнянні з рішенням теоретичного геометричного завдання, практичне визначення відрізняється ще й тим, що існують похиби визначення відстані до супутників, котрі призводять до того, що результатом визначення виявиться не певна точка, а область деякого радіуса, в якій знаходиться пристрій. Проте, збільшення кількості видимих супутників призведе до зменшення цього радіусу, а точність визначення місцерозташування зростає. На практиці, глобальна супутникова система навігації в цивільному виконанні забезпечує

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						11

точність з радіусом близько 30 метрів.

Супутник передає дві хвилі: L1 на частоті 1575,42 МГц і L2 на частоті 1227,60 МГц. Ці подвійні частоти вибрані для усунення іоносферної дисперсії, одного з основних джерел систематичної похибки діапазону. Псевдо-діапазони, отримані від часу проходження сигналу до приймача, використовують два коди псевдовипадкового шуму (PRN). Першим кодом, доступним для цивільних осіб, є C/A-код (Course/Acquisition-code), який має довжину хвилі приблизно 300 метрів. C/A-код модулюється тільки на L1. Його виключення з L2 дозволяє уряду контролювати рівень точності, доступний для цивільних користувачів. Другий код, P-код (Precision-code), доступний лише для військових і кількох призначених користувачів. P-код з довжиною хвилі приблизно 30 метрів, модулюється як на L1, так і на L2. Доступ до P-коду був заборонений громадськості з моменту, коли система була оголошена повністю працездатною в 1992 році. Техніка, яка використовується для передачі сигналів із супутників, передбачає передачу ретельно сформульованого коду, відомого як псевдовипадкові послідовності. Прийняті сигнали і передані послідовності порівнюються один з одним, а час проходження сигналу визначається шляхом вимірювання, коли два сигнали найбільш тісно корелюють.

Щоб зберегти контроль над навігаційною системою, військові хотіли обмежити доступ до найточніших вимірювань GPS. Метод, який вони обрали для цієї операції, полягав у передачі неточної інформації цивільним про те, коли сигнали були відправлені із супутників. Трохи змінюючи годинники супутника відповідно до певного коду, ті, хто має доступ до коду, можуть отримати точну інформацію, тоді як цивільні особи змушені боротися з неточністю вимірювань відстані, що виникає через помилку часу. Модифіковані сигнали дозволяють невійськовим користувачам GPS отримувати навігаційні показання з точністю приблизно до 100 метрів. Однак користувачі знайшли способи обійти це гальмування годинників. Порівнюючи виміряне GPS положення відомого місцезнаходження з його реальними координатами, можна виявити кількість

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						12

дитерингу. Після того, як величина дитерингу відома, виправлення можуть бути передані на приймач GPS, і можна досягти точного розрахунку положення приймача. Таким чином, навіть не маючи доступу до кодів дитерингу, які зберігаються у військових, цивільна особа може визначити своє положення з точністю до сантиметрів.

Існує багато різноманітних застосувань глобальної системи позиціонування. GPS здатний дуже точно вимірювати положення, а сигнали позиціонування доступні користувачам у всьому світі в будь-який час. Ці особливості пояснюють популярність GPS серед багатьох різноманітних груп.

Глобальна система позиціонування була розроблена для точного військового позиціонування в реальному часі. Військові використовують GPS у наземній, морській та повітряній навігації. Крім того, супутники GPS оснащені датчиками для моніторингу та виявлення вибухів ядерної зброї. Однак навігація є основною функцією GPS, яка використовується в усіх видах військ. Деякі приклади: фоторозвідка, навігація на низьких рівнях, виявлення цілей, командування та керування, навігація на маршруті та наведення ракети.

Угрупування із 30 супутників постійно обертається на нашій орбіті, завдячуючи якому забезпечується стовідсоткова працездатність всієї системи, незалежно від місцерозташування об'єкта-приймача на земній кулі. Слід відзначити, що при взаємодії усіх компонентів системи, вони не завжди здатні забезпечувати прийнятний розрахунок місцерозташування і впевнений прийом сигналу, щоб уникнути перебоїв у навігаційній системі, необхідно виводити на ремонт діючих сателітів. Слід відмітити, що для збільшення точності позиціонування в цілому, на орбіті обертаються кілька запасних супутників.

Запуск супутників блоку IIF, дозволила введення частоти L5 (1176.45 МГц). Частота L5 отримала розповсюдженну назву Safety Of Life («Безпека Життя Людини»). Частота L5 на 3 дБ потужніший за цивільний, а смуга його пропускання у 10 разів ширша. Використання даного типу сигналу дозволяється лише під час критичних ситуацій, в яких є безпосередній зв'язок із загрозою для життя людини.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						13

Більше десяти видів глобальних і локальних супутниковых радіонавігаційних систем (СРНС) використовується у світі, проте найбільшого поширення набули СРНС другого покоління: ГЛОНАСС і NAVSTAR (GPS).

ГЛОНАСС (Глобальна Навігаційна Супутникова Система) розроблена в СРСР в кінці 80-х років ХХ століття. Розгортання орбітального угрупування навігаційних штучних супутників Землі (ШСЗ) було завершено до 1996 року і розпочато її експлуатація.

Глобальна навігаційна система GPS (Global Positioning System) або NAVSTAR (Navigational Satellite Time and Ranging) перекладається як навігаційний супутник часу і координат. Перша штатна угруповання NAVSTAR розгорталася з 1989 по 1994 рік. Остаточний введення в експлуатацію відбувся в 1995 році..

Супутникова радіонавігаційна система – це система в якій роль опорних радіонавігаційних станцій (маяків) виконують штучні супутники землі (ШСЗ), забезпечені спеціальною передавальною навігаційною апаратурою.

Основне призначення супутникової радіонавігаційної системи - високоточне визначення координат споживачів, складових векторів швидкості і прив'язка до системної шкали часу. Крім основного призначення СРНС дозволяють виробляти високоточну взаємну синхронізацію стандартів частоти і часу на віддалених наземних об'єктах, взаємну геодезичну прив'язку та ін.

Принципом основного використання системи є визначення місцерозташування шляхом точного вимірювання часу прийому синхронізованого сигналу від навігаційних супутників антену споживача. Для визначення тривимірних координат GPS-приймача потрібно мати чотири рівняння: «відстань дорівнює добутку швидкості світла на різницю моментів прийому сигналу споживачем і моменту його синхронного випромінювання від супутників»:

$$|x - a_j| = c(t_j - \tau)$$

де a_j – місцерозташування j -го супутника, t_j – момент часу прийому сигналу від j -го супутника по годиннику споживача, τ – невідомий момент часу синхронного випромінювання сигналу усіма супутниками по годинах

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						14

споживача, c – швидкість світла, x – невідоме тривимірне положення споживача. Щоб визначити точне місцерозташування, необхідно отримати дані з чотирьох супутників. Отже припустимо, що нам відома величина відстані від одного супутника до приймача. Візуалізуючи коло навколо супутника, видно положення приймача на поверхні сфери (рис. 1.3 А) [5-6].

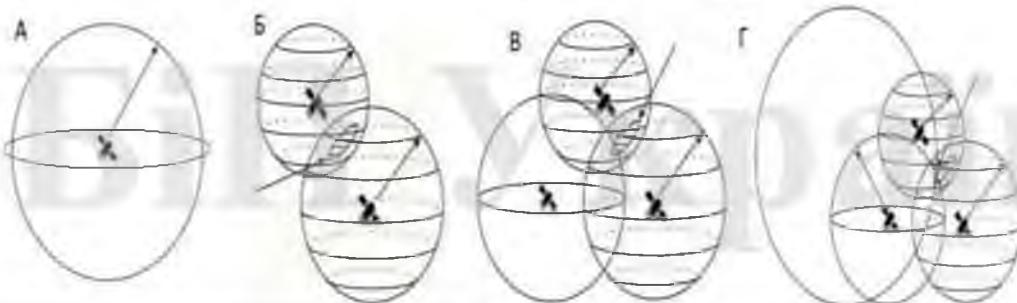


Рис. 1.2. Візуалізація накладання даних з сателітів

Якщо накласти дані, які отримуються з іншого супутника, утворюється геозона на перетині двох сфер, в якій знаходиться приймач (рис. 1.3 Б).

Отже в нас зважується сектор пошуку до перетину двох кіл. Наступною ітерацією накладається інформація з третього космічного апарату. Третій вимір дає дві точки, в одній з яких знаходиться приймач (рис. 1.3 В).

Завершальним етапом є накладення четвертого виміру поверх інших. На (рис. 1.3 Г) відображена точка координат, отримана при перетині чотирьох сфер.

Слід відмітити, що недоліком використання будь-якої інерційної системи навігації є те, що до приймача може не доходити сигнал, який він отримує від супутника або ж отримується в спотвореному вигляді. Це відбувається за певних

умов: у будівлі, що знаходиться в залізобетонному каркасі; тунелі; підвалах, безпосередня можливість визначення точного місцезнаходження сягає до нуля [12].

Також сигнал зі супутників може погіршувати велика хмарність в небі і щільне листя дерев. Магнітних бурі, або перешкоди від наземних джерел радіосигналу можуть також спотворити сигнали GPS. У полярних районах Землі точність погіршує невисокий нахил орбіт, по яких рухаються супутники. Вагомою

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						15

особливістю GPS в тому, що ця система знаходиться в повній залежності від умов надання сигналу Міністерством оборони Сполучених Штатів. Навіть у той момент коли навмисне погіршення сигналу в даний момент часу відсутнє.



Рис. 1.3. GPS приймач

На даний час проведено повне оновлення GPS-системи, хоча в планах цей проект був досить давно [7]. Супутники які були застарілі в процесі оновлення планується замінити на нові, які були розроблені компаніями Boeing і Lockheed Martin. Можливості сучасних навігаційних апаратів значно перевершують старші моделі. Отже з наданих технічних даних ми можемо побачити, що супутники дають можливість точного визначення місцерозташування з похибкою лише 0,5 метра.

Тільки через 10 років міністерство оборони США зможе провести повне завершення поновлення даної системи. При цьому кількість супутників залишиться сталою – 30, з яких 3 резервних і 27 працюючих.

Не варто забувати про аспекти, які виникають при обчисленні координат: супутникова система може отримувати розташування з похибками і природа цих помилок різна. Основними джерелами помилок, що вносять похибки в обчислення точності навігаційних повідомлень у системі GPS, є [24]:

- іоносферні затримки сигналу – затримки розповсюдження сигналів котрі призводять до помилок порядку 10-20 м вдень і 2-5 м вночі;
- похибка відходу шкали часу супутника – викликана розбіжністю шкал часу різних супутників (усувається за допомогою наземних станцій стеження);

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР ...	Арк.
						16

- тропосферні затримки сигналу – величина похибки безпосередньо залежить від метеорологічних параметрів (тиск, вологість, температура), а також від висоти супутника над горизонтом. Компенсація тропосферних затримок проводиться шляхом розрахунку математичної моделі цього шару атмосфери. Значення похибок не перевищують 30 м;

- похибка визначення відстані до супутника – помилка не корельована з іншими видами похибок. Її величина не перевищує 10 м;

- ефемеридна похибка – помилки обумовлені розбіжністю між фактичним положенням супутника і його розрахунковим положенням. Значення похибки зазвичай не більше 3 м;

- помилки обчислення орбіт – з'являються внаслідок неточностей прогнозу і розрахунку ефемерид супутників, виконуваних в апаратурі приймача. Похибка призводить до помилки вимірювання координат близько 1-2 м;

- похибка неточного визначення часу – призводить до виникнення систематичної помилки визначення координат близько 0.6 м. Усувається за допомогою встановлення сервера точного часу на приймачі;

- інструментальна помилка приймача – зумовлена наявністю шумів в електронному тракті приймача. Відношення сигнал/шум приймача визначає точність процедури порівняння, прийнятого від супутника і опорного сигналу, тобто похибка обчислення псевдодальності. Призводить до виникнення координатної помилки порядку 1.2 м;

- багатопроменевий прийом – з'являється в результаті вторинних відображеній сигналу супутника від великих перешкод, розташованих в безпосередній близькості від приймача. Виникає явище інтерференції і вимірювана відстань виявляється більше дійсної. Найкращим способом боротьби вважається раціональне розміщення антени приймача щодо перешкод;

- геометричне розташування супутників – при обчисленні сумарної помилки необхідно врахувати взаємне положення приймача і супутників. Для цього вводиться спеціальний коефіцієнт геометричного зниження точності GDOP

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						17

(Geometric Dilution Of Precision) [14], на який необхідно помножити всі перераховані вище помилки, щоб отримати результатуючу помилку. Вона обернено пропорційна обсягу фігури, яка буде утворена, якщо провести поодинокі вектори від приймача до супутників. Велике значення GDOP свідчить про невдале розташування сателіта і велике значення помилки.

Наземні станції контролю. З метою постійної підтримки цілого космічного сегмента, а також для інформаційного оновлення, що передається споживачам, котре потребує періодичних коригування, в сучасних глобальних супутникових системах позиціонування передбачається спеціальний, постійно діючий сектор, який отримав назву наземного комплексу управління (рис. 1.4). [17]



Рис. 1.3. Місцезнаходження компонентів навігаційної системи GPS на поверхні Землі

На станції контролю покладені наступні функції:

- отримання і оновлення супутниковых навігаційних повідомлень,
- генерування системного часу GPS time,
- проведення маневрів супутників для підтримки орбіт.

Слід зауважити що даним сектором контролюються і постійно коригуються поправки, які залежать від атмосферних впливів. Здійснення вищенаведеного

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР ...	Арк.
						18

функціоналу даного сектора базується на чіткій взаємодії компонентів, що входять в цей сектор станцій спостереження, завантажуючої станції і провідної станції. Робочий сектор управління і контролю GPS-системи складається: п'ятьох станцій спостереження, трьох станцій завантаження, однієї головної станції управління.

П'ять станцій спостереження (станції моніторингу) здійснюють цілодобові відстеження супутників. Данні станції розміщені по всій земній кулі досить рівномірно. Відстеження сигналів супутника здійснюється за допомогою дводіапазонних спеціалізованих приймачів, котрі обладнані атомними годинниками. Станцій спостереження – повністю автоматичні, а керування ними можливе лише з головної станції.

A-GPS (Assisted GPS) система яка прискорює «холодний старт» системи GPS приймача в пристрої або безпосередньо визначення координат мобільного пристрою без отримання даних від супутників. В даному випадку інформація про поточний стан навігаційних супутників надходить від мережі оператора стільникового зв'язку (рис. 1.5). Для викристання данної системи у мобільному терміналі, смартфоні або комунікаторі має бути наявним постійне інтернет з'єднання [5-6].

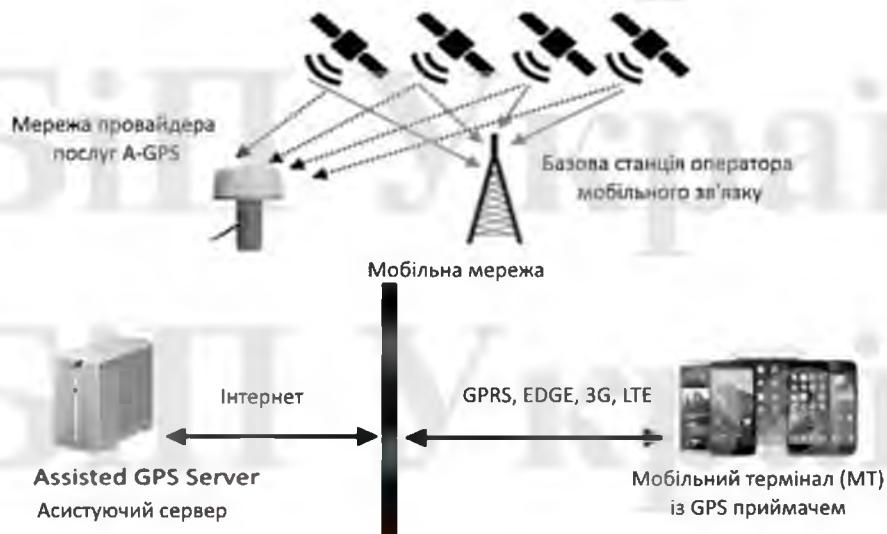


Рис.1.4. Схема A-GPS

Труднощами в розробці і впровадження технології A-GPS став великий час затримки, котрий виникає при першому пошуку власного місцерозташування

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						19

навігаційним пристроєм супутникового сигналу і даних з координатами від супутників. Данна система може давати затримка які складаються від десятка секунд і до кількох хвилин в місцевості з великою кількістю висотних споруд. Система A-GPS в мобільних пристроях не вимагає значних витрат часу на проектування пристройів, у порівнянні з часом, витраченим на розробку GPS антен та чіпів.

Слід зауважити, що для роботи приймача A-GPS в мережі мобільного оператора, необхідна навігаційна інфраструктура, яка розгорнута на його базових станціях, вона дозволяє ретранслювати сигнали GPS від віддаленого сервера до приймача клієнта. Данна послуга операторами мобільного зв'язку можуть надавати за додаткову плату в зв'язку з власними витратами на розгортання навігаційного обладнання в своїй інфраструктурі.

Варто відзначити переваги A-GPS:

- незначний час визначення місцерозташування після включення приймача;
- збільшена чутливість прийому слабких сигналів в слабких зонах (западинах, низинах, у будівлях та приміщеннях, на вузьких міських вулицях, тунелях, у густому листяному лісі).

Система A-GPS не може працювати без мережі стільникового оператора. На ринку існують приймачі GPS з модулем A-GPS, об'єднаним спільно з радіомодулем GSM, у яких немає можливості стартувати при відключенному радіомодулі. Слід відзначити, що наявність мережі GSM для старта самого модуля A-GPS не є обов'язковим критерієм. Система A-GPS в пристроях при запуску споживає невеликий трафік < 10 kB, але при втраті сигналу необхідно провести повторну синхронізацію, що може збільшити витрати користувача на мобільний зв'язок.

Основні галузі застосування GPS

Основними галузями застосування GPS є [22]:

- **навігація:** супутникова системи навігації здійснюються як в морі, так і на

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						20

дорогах.

- *картографія*: використовується в цивільних і військових картографічних сервісах.
- *супутниковий моніторинг транспорту*: ведеться моніторинг за швидкістю автомобілів, їх рухом і місцем розташування.
- *геодезія*: визначаються точні координати точок і межі земельних ділянок.
- *тектоніка, тектоніка плит*: ведуться спостереження рухів і коливань плит.
- *стільниковий зв'язок*: використовується для оперативного визначення місцезнаходження людини, котра звернулася за допомогою до екстреної служби.
- *геотегінг*: лінкування інформації координати «прив'язуються» до фотографії завдяки будованим або зовнішнім GPS-приймачам.
- *Ігрова сфера*: використання в геолокаційних іграх.

1.2. Методи та процеси вирішення функціональних завдань управління

Система розподілу і передачі електроенергії розглядається як топологічна мережа, що в свою чергу складається з ліній електропередачі і підстанцій (ПС), які забезпечують зв'язок вузлів генерації з вузлами споживання. Підстанції є вузлами мережі, в яких зосереджено обладнання перетворення рівнів напруги, комутаційне обладнання, засоби компенсації реактивної потужності, регулювання рівня напруги та інші засоби, що забезпечують управління передачею електроенергії

відповідно до заданого режиму роботи електроенергетичної системи (ЕЕС). Узгоджена робота підстанцій забезпечується наявністю ієрархічної системи центрів управління, які здійснюють управління процесами функціонування та експлуатації електричних мереж регіону, ОЕС та ЄСЕС в цілому.

Координоване виконання багатозв'язних процесів роботи ЕЕС забезпечується доцільним розподілом функціональних завдань за відповідними рівнями ієрархії. Слід зауважити, що частина завдань вирішується безпосередньо на відповідному рівні ієрархії з використанням вихідної інформації, що надходить

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						21

з нижнього рівня, виконання іншої частини завдань делегується на нижчий рівень. Певні завдання можуть вирішуватися за допомогою їх розгалуження за кількома послідовним ієрархічних рівнях.

На даний час ПС мають дуже обмежені можливості участі в процесі вирішення завдань управління, в основному це надавати свої засоби в якості джерел вихідної інформації і в якості виконавчих органів управління.

При цьому сукупність даних, які в даний час надходять з підстанцій, орієнтовані на підтримку рішення технологічних завдань центрів управління мережами, а також завдань взаємного обміну інформацією з ДЦ СО (РДУ, ОДУ), електростанціями, великими споживачами. Зрозуміло, при створенні ЦПС зазначена сукупність технологічної інформації буде доповнюватися іншими корисними даними, відсутніми в даний час.

При збереженні існуючих в даний час підходів до побудови структур ієрархічних систем технологічного управління мережами будуть зберігатися і посилюватися проблеми, пов'язані з необхідністю піднімати практично всю інформацію з підстанцій на верхній рівень - рівень виконання відповідного процесу, оскільки для виконання кожного процесу необхідно або зберігати всю інформацію, що надійшла раніше інформацію, або кожен раз виконувати запит на передачу повного пакета актуальною на даний момент інформації відожної підстанції (рис. 1.6) [2].

Обмін такої інформації досить великий, а ступінь корисного використання цього потоку інформації може виявитися мінімальною. Розглянемо більш ефективний підхід до використання можливостей цифрової підстанції по участі в ієрархії технологічного управління. При великому обсязі локальної технологічної інформації (оперативної і неоперативної) і можливістю використання власних обчислювальних потужностей для виконання попередньої обробки і збереження цієї інформації створюють передумови для організації розподіленого вирішення різних функціональних завдань. Слід зауважити, що при цьому відпадає

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						22

необхідність передачі значної кількості інформації, замість якої повинні надаватися переважно результати відповідних завдань.

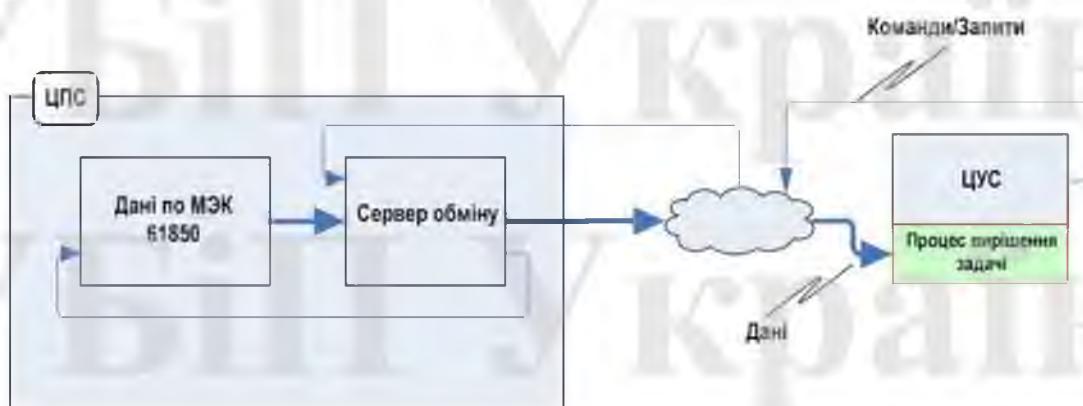


Рис. 1.6. Схема обміну інформацією з цифровою підстанцією

При створенні цифрової підстанції формуються загальні визначаючі цілі: економічні та експлуатаційні, модернізації та безпеки, а також вирішуються завдання з уніфікації інформаційних протоколів для забезпечення здатності обладнання різних виробників до взаємодії. [2]

Основні принципи побудови архітектури цифрової підстанції засновані на ієрархії з виділенням нижнього, середнього і верхнього рівнів і визначаються п'ятьма базовими групами: єдністю вимірювань і уніфікацією, надійністю і безпекою, а також збереженням інвестицій.

Функціональна структура цифрової підстанції з розподілом локальних задач «внизу» і глобальних «вгорі» забезпечує підтримку основних технологічних функцій підрозділів, які виконуються в процесі управління функціонуванням і експлуатацією електричних мереж і, в першу чергу, управління оперативно-диспетчерського та технологічного.

Декомпозиція вирішення системних автоматизованих завдань і делегування їх виконання на рівень ЦПС дозволяють засобам ПАК ЦПС доцільно вирішувати в розподіленому режимі приватні результати обробки, розрахунків та аналізу і передачу їх в ЦУС (МЕМ, ПМЕС).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						23

1.3 Основна характеристика точності синхронізованих вимірювань

Основні характеристики цифрових способів введення поправок до результатів вимірювання параметрів режиму, а саме векторів струму та напруги, представлена на рис. 1.7.

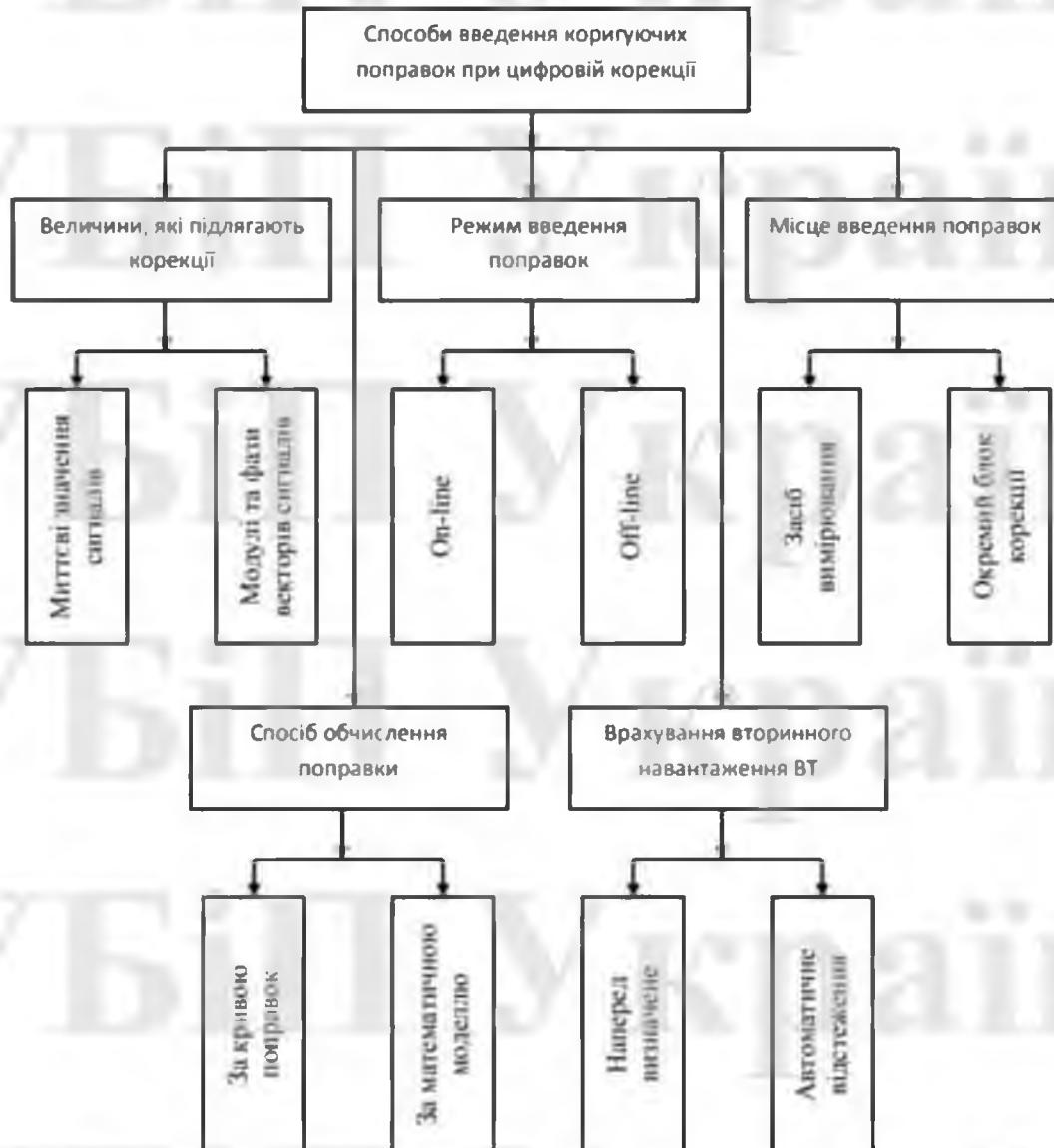


Рис. 1.7 Способів введення коригуючих правок при цифровій корекції

Загальновідомо, що повністю виключити систематичні похибки не вдається і завжди мають місце невиключені їх залишки. Систематичні похибки складаються з інструментальних або меж допустимих похибок еталонних засобів перевірки складових ВК, виділених випадкових похибок, неврахованих похибок від впливаючих величин тощо. У такому разі обов'язково виконується оцінка меж

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

ШИФР...

Арк.

24

можливих значень цих залишків систематичних похибок. При встановленні індивідуальних метрологічних характеристик ТС і ТН згідно з [1] ці межі визначені як такі, що не перевищують 0,25 від встановлених стандартами допустимих меж похибок трансформатора, що атестується.

Векторні вимірювання та їх критерії точності

Вимоги до роботи засобів, що забезпечують векторні вимірювання, регламентує міжнародний стандарт C37.118.1-2011 IEEE Standard for Synchrophasor Measurements for Power Systems [1, 2]. Зокрема, точність вимірювань в усталених режимах визначається за допомогою критерію точності TVE (total vector error), який обчислюється як відносне значення сумарного вектора похибки. Це інтегральний критерій, який враховує як похибки вимірювання величини та фази вектора, так і точність синхронізації вимірювань. Його значення 1% відповідає похибці вимірювання амплітуди вектора, що дорівнює 1 %, або похибці вимірювання кута величиною 34 мін, або розсинхронізації – 32 мкс.

В нормативних документах України для характеристики точності вимірювальних трансформаторів використовують амплітудні та кутові похибки. Застосовуючи такий підхід до ВК вектора сигналу, можна визначити похибки вимірювання модуля та кута сигналу. Розглянемо застосування цих критеріїв точності на прикладі вимірювання векторів напруги (рис. 1.8).

Вектор напруги U – це напруга подана на вход ВК і приведена до вторинної сторони ТН. U_1 – результат вимірювання вектора напруги U . ΔU_1 – вектор похибки, який визначає значення TVE [1, 2]:

$$TVE = \sqrt{\frac{(U_{1r} - U_r)^2 + (U_{1i} - U_i)^2}{U_r^2 + U_i^2}},$$
$$TVE = \frac{|\Delta U_1|}{|U|}, \quad TVE = \frac{|CE|}{|OC|}.$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ШИФР...

Арк.

25

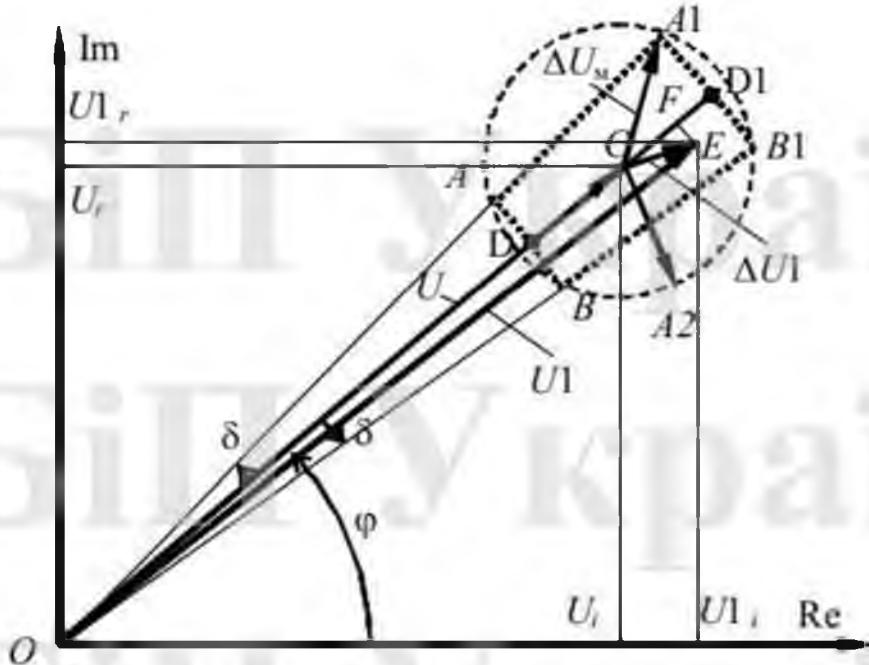


Рис. 1.8. Графік вимірювання векторів напруги

Ортогональні проекції вектора похибки ΔU_1 на напрямок первинної напруги визначають похибки за напругою та кутом. За умови малого кута похибки, як це зазвичай є, і враховуючи, що величина такого кута в радіанах дорівнює його синусу, ортогональні проекції вектора похибки ΔU_1 на напрямок первинної напруги досить точно визначають похибки за напругою та кутом, тобто [1, 2]:

$$f_u \approx \frac{|CF|}{|OC|}, \quad \delta_u = \frac{|FE|}{|OC|}.$$

Виходячи з векторної діаграми, одержимо співвідношення між критеріями точності:

Якщо точність вимірювання вектора нормується значенням TVE, якому відповідає вектор похибки ΔU_m , то коло з центром в кінці вимірюваного вектора і радіусом, який становить ΔU_m , визначить зону, в якій можуть знаходитись виміри вектора з нормованою точністю. Заданому значенню TVE відповідають похибка вимірювання модуля сигналу, яка на рис. 1 визначається одинаковими за величиною відрізками CD і CD_1 , і кутова похибка, що дорівнює куту δ . Тому у випадку, коли нормуються значення саме цих похибок, зона, в якій знаходяться виміри вектора, з

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

ШИФР...

Арк.

26

заданою точністю окреслена відрізками AA1 і BB1 та дугами ADB і A1D1B1. [2-4]

Система синхронізації функціонування засобів вимірювання

Виходячи з вище наведеної інформації, ми розуміємо, що однією з суттєвих величин, які впливають на точність векторних вимірювань, крім фазових зсувів у первинних і вторинних вимірювальних перетворювачах, є точність прив'язки окремих вимірювань до астрономічного часу та її метрологічне підтвердження.

З нижче наведених джерел ми бачимо, що в результаті проведених досліджень було розроблено систему синхронізації функціонування засобів вимірювання та автоматизації в енергетиці [11].

Завдяки введенню нових елементів та зв'язків між ними запропонована система синхронізації функціонування засобів вимірювання в енергетиці вигідно відрізняється від існуючих, в яких обмежені функціональні можливості у зв'язку з тим, що в них не можна виконувати з єдиних інформаційних позицій синхронне вимірювання первинних аналогових і дискретних сигналів моніторингу технічного стану в різних точках єдиної електричної енергосистеми з метою формування в реальному часі управлінських сигналів для збільшення рівня динамічної стійкості роботи енергосистеми та покращення якості і коефіцієнта корисної дії передачі електроенергії споживачам. У запропонованій системі синхронізації функціонування засобів вимірювання значно розширені функціональні можливості завдяки спроможності проведення з єдиних інформаційних позицій у реальному часі синхронне вимірювання сигналів, що відображають штатні й нештатні режими функціонування електричної мережі в різних точках топології єдиної енергосистеми.

Отже, даний підхід уможливлює збільшення рівня стійкості роботи енергосистеми і відповідно якості передачі електроенергії, покращення коефіцієнта корисної дії передачі електроенергії споживачам, реалізація синхронного моніторингу технічного стану електричних об'єктів, що дало змогу покращити глибину і рівень їх діагностування в процесі роботи, а також ідентифікувати передаварійні і аварійні події.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						27

Вимоги до метрологічного забезпечення систем синхронізованих вимірювань з використанням еталонних засобів вимірювання часу

Впровадження систем моніторингу переходних режимів (СМПР) на електроенергетичних об'єктах (ЕЕО) енергосистем вимагає її належного метрологічного забезпечення (МЗ). Багатофункціональність цієї системи і її складових частин вимагає застосування комплексного підходу для вирішення цього завдання. Суть цього підходу полягає в попередньому розрахунку нормованих метрологічних характеристик (МХ) складових частин СМПР, розробці методик метрологічних випробувань, їх практичній реалізації та статистичній обробці результатів вимірювань.

Основні положення цього підходу наведені на прикладі реєстратора параметрів електричних мереж в [4], але вони потребують коригування у зв'язку з розширенням можливостей застосованих в СМПР пристрій, необхідністю комплексного випробування СМПР на моделі електроенергетичної системи (ЕЕС), а також організації метрологічного обслуговування.

Основними параметрами, що підлягають вимірюванню в процесі моніторингу, є:

- діючі значення струмів і напруг перших гармонік кожної фази;
- діючі значення активної і реактивної потужностей;
- значення кутів між фазами векторів напруг;
- значення частоти напруги кожної фази;
- значення точного часу переходу фазних напруг через нуль ;
- кут між синусоїдою напруги мережі і синусоїдою 50 Гц, прив'язаною до сигналів точного часу від GPS.

Високий рівень технічних і метрологічних характеристик пристрій «Регіна Ч», який є основною складовою частиною СМПР, потребує відповідної взаємодії і сукупності методів розрахунку МХ, методів та засобів випробувань, застосування відповідних методик вимірювань і проведення державної метрологічної атестації.

Враховуючи вищеперечислене, основні вимоги до МЗ систем синхронізованих

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						28

вимірювань полягають у наступному:

1. Визначенні переліку нормованих МХ, необхідних для оцінки метрологічних якостей системи синхронізованих вимірювань.
2. Визначенні методів попереднього розрахунку МХ приладу «Регіна-Ч» на етапі його розробки і проектування.
3. Розробці методів і методик випробувань, досліджень та калібрування приладу під час його тестування та проведення приймально-здавальних випробувань. [4, 5]
4. Розробці методик і програм метрологічної атестації та періодичної перевірки й проведення державної метрологічної атестації в органах Держспоживстандарту України.
5. Розробці методів визначення для контроля метрологічних характеристик технічних засобів СМПР енергосистем в умовах експлуатації.

Для вирішення задач МЗ необхідне застосування високоякісних сучасних еталонних засобів вимірювань. В якості цих засобів на етапі метрологічних досліджень та калібрування приладів СМПР «Регіна-Ч» було запроваджено прецизійні калібратори фірми FLUKE, а саме універсального калібратора FLUKE 9100 та трифазного еталон-калібратора електричної потужності FLUKE 6130A. На етапі державної метрологічної атестації в Укрметртестстандарті були застосовані еталонна установка ED 8421 з еталонним лічильником EPZ 303-5 класу точності 0,02 виробництва фірми ZERA (Швейцарія) і державний еталон часу і частоти ВЕТУ 07-01-03-98 з частотоміром FLUKE PM 6690. [3-5]

1.4 Основні способи зменшення втрат сигналу синхронізації супутниковых систем, що використовуються з метою навігації

При використанні синхрофазорів, які призначені для перевірки, вимірювання чи керування енергетичними системами, необхідно заздалегідь бути впевненими у доступності отримання інформації. Вимірювання завдяки синхрофазору має більш чітке значення, але для забезпечення правильності даних

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						29

слід забезпечити точний тактовий сигнал. Для максимально чіткого виміру фазових кутів потрібно в обов'язковому порядку забезпечити прив'язку до часу. Якщо цей аспект буде втрачений, то в результаті значення після вимірювання за допомогою синхрофазора можуть бути неточними та вважатимуться недійсними. [9]

Чому вісутній сигнал GPS?

Для того, щоб максимально точно і недорого розподілення часу на певну підстанцію чи будь який управляючий центр можна використовувати супутникові годинники на базі GPS, але при цьому слід зазначити, що для максимально точного розподілення необхідно забезпечити безперервний зв'язок GPS сигналів.

Чинники при яким може бути втрачений сигнал годин GPS:

- Приймаюча антена розташована в віддаленому місці.
- Не правильне з'єднання кабелів, або якщо кабелі підключенні з порушеннями встановлених вимог.
- Фізичні чинники. Наприклад, антена засмічена листям (пташиними гніздами, гіляками, тощо), тому сигнал буде відсутній.
- Вади, пов'язані з приймальною системою. Постійний вплив ультрафіолету може порушити роботу GPS. Також сусідні радіочастоти можуть забезпечити втрату сигналу.
- Перешкоди були створені фізично та заздалегідь продумано (навмисно).

Вищенаведені чинники та будь-які інші фактори можуть стати причиною відсутності сигналу та втрати точного часу. Данні вади роботи необхідно виправляти що найшвидше.

Налаштування та зменшення втрат сигналу годин GPS.

Встановлення та налаштування антени з явними порушеннями є найбільш поширеною причиною відсутності сигналу. Необхідно брати до уваги, що при встановлені приймача необхідно забезпечити безперешкодний огляд неба, оскільки в іншому випадку результат буде негативним. Щоб годинник не втрачав зв'язок зі

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР ...	Арк.
						30

супутниковими системами, слід встановити його таким чином, щоб не було перешкод: навіси будівель, дерева, рослини тощо.

Приймач GPS повинен мати можливість приймати як найменше чотири супутники. Це дасть змогу отримувати синхронізацію високої якості та гарантувати ідеальний сигнал. Для сталого приймання супутниковых сигналів необхідно обов'язково забезпечити вільний та безперешкодний огляд до відкритого неба. [9]

Розповсюджена проблема втрати або повної відсутності сигналу полягає у неправильному підключені кабелів чи несправності з'єднань. Реалізувати пошук несправності є досить важким, оскільки не так просто виявити місце з'єднання, яке уповільнює процеси. Справа у тому, що GPS може працювати непомітно добре протягом більшості часу, однак при цьому можуть відбуватись короткочасні проблеми зі зв'язком. Основним завдання - помітити та виправити недоліки вчасно. Першочерговим є рішенням використання виключно якісних кабелів та з'єднань від перевірених виробників. Отже наступним кроком слід мінімізувати довжину кабелю та переконатись у його надійності, а також потрібно гарантувати абсолютну безпеку з'єднань для всіх кабелів, в тому числі й типу IRIG-B.

Також слід забезпечити правильну інтеграцію PMU до сигналів IRIG-B від генератора тактового типу. Під час підключення імпульсів SEL (наприклад SEL-2401, SEL-2404 чи SEL-2407), що також забезпечують синхронізацію зі супутниковою системою, не рекомендується підключати більш, ніж 10 PMU або реле. Ключовим моментом являється грамотне підключення IRIG-B з використанням навантаження у межах 50 Ом, що є гарантією точного сигналу.

Для повноцінної перевірки стану тактового сигналу можна використовувати реле SEL, яке приймається PMU. Певні види бітів забезпечують ретрансляцію, що вказує на години та інші відомості часу OK (TSOK), а також показує оновлення з максимальною точністю та джерело підключення IRIG (TIRIG).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						31

Утримання годин та зменшення втрат сигналу годин GPS.

Існує можливість Утримання, яка необхідна для усунення короткочасних періодів втрат GPS сигналів. Даний спосіб гарантує щогодинне збереження точного часу протягом певного часового проміжку. Наявні можливості утримання також у сигналах типу GPS. SEL-2401, SEL-2404 та SEL-2407. Завдяки власним еталонним годинникам є можливість значно зменшити періоди втрат GPS сигналу. Окрім того, синхронізація відбувається з точністю до 18 сек. Таким чином, проблеми з тактovoю чистотою в PMU мінімізуються, а виміри за допомогою синхрофазора стають більш чіткими та доступними. [9]

Надмірність та зменшення втрат сигналу годин GPS.

Щоб отримати більшої доступності GPS годин є ще один спосіб, який має на меті створення резервів в системі. Резервовані години - це класична система, до якої входять дві різних години GPS. Завдяки одному генератору тактового типу GPS забезпечується сигнал IRIG-B для PMU, а лише за допомогою вторинного генератору тактового типу забезпечується сигнал для PMU-резервного. Після всіх вищевказаних процесів виходи резервного та основного PMU переходят в концентратор інформації PDC. Це може бути як SynchroWAVe Phasor SEL-5073, так і SEL-3373. Phasor або PDC має можливість автоматичного перемикання між обома входами з метою гарантування безперервного отримання та передачі даних за допомогою синхрофазора. Окрім того, важливо слідкувати за точністю векторних вимірювань для отримання більш чітких результатів. [9]

ЗМЕНШЕННЯ ВІРОГІДНОСТІ ВРАЗЛИВОСТЕЙ GPS

З метою синхронізації часу в енергосистемах була створена дана технологія. Отже вона стала частиною додатків, однак з'явилася величезна кількість викликів та вразливостей (зокрема, ультрафіолет, сонячні впливи, заклинювання, перебої), тому важливо правильно виправляти недоліки.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						32

Синхрофазори мають власні вимоги до точності часу

Ключовою вимогою є чітка синхронізація приладів, що вибирають цифрові та аналогові величини в енергетичних системах. За встановленим стандартом IEEE C37.118.1 необхідно встановити максимальну точність цієї вимоги (менш ніж 1 мкс). Будь-яка мінімальна помилка, навіть одна мікросекунда, може значно негативно вплинути на діяльність систем. Завдяки інформації про встановлені стандарти, синхрофазор витримує лише невеликої помилки у векторах (значення повинно складати не менше одного відсотка). Для системи, що має чистоту 60 Гц та 31 мкс має відповідати часова помилка не більше та не менше 26 мкс.

Сума помилок називається TVE, а ці помилки пов'язані безпосередньо з часовою синхронізацією та обробкою результатів того чи іншого векторного вимірювання. Задля того, щоб досягти точності в значенні менше 1 мкс, необхідно використовувати часові джерела, наприклад, GPS. Також слід користуватись способами розподілу по типу IRIG-B чи PTP протоколу. [9]

Типи вразливостей GPS

Основною особливістю GPS є використання супутників на великій відстані від земної поверхні. Слід зауважити, що сигналі є досить потужними - 127,5 дБм чи $178 \cdot 10^{-18}$ Вт. Отже якщо аналізувати ці та інші переваги, системи GPS є досить надійним рішенням, але існують недоліки у вигляді певних вразливостей. Слід розглянути найбільш поширені:

1. Атмосферні перепади і ультрафіолетові спалахи мають дуже негативний вплив.
2. У діапазоні частот 1,57542 ГГц дуже часто штучно створюються шумові перешкоди та глушіння GPS сигналів.
3. При роботі часової системи GPS, існують випадки збою роботи в антенах. Ці компоненти можуть працювати не раціонально за будь-яких причин.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						33

4. Недоліки сигналів пов'язані завдяки тому, що заважають рослини, дерева, будівлі, гірська місцевість тощо.

5. Маніпуляція сигналами за допомогою навмисних дій зловмисників. Іноді бувають випадки підроблення сигналу або змішування годин.

На даний час у сучасних системах фактично не існує записів, що підтверджують наявність атак на супутники, однак негативний вплив на годинники GPS способом підміни сигналів є справді серйозною проблемою для усіх типів обладнання. Це одна з найбільш вірогідних вразливостей GPS, оскільки помітити її доволі важко. Заблокувати сигнал швидко та надійно не завжди вдається, тому втрутитись в систему за допомогою нелегальних технологічних пристрій все ще можливо.

Одночасно цьому існує декілька способів для надійного збереження систем та мінімізації вразливостей GPS.

Слід почати з того, що велика кількість супутниковых систем мають технологію захисту від певних променевих помилок. Якщо виявлено сонячний спалах чи ультрафіолет, система зможе самостійно перемикатись на власний генератор, який вбудований заздалегідь. Одночасно, допоможе синхронізація SEL-2488 з ОСХО. Завдяки вище наведеним маніпуляціям гарантується максимальна точність утримання у значенні 5 мкс в день, при цьому похибка даних знаходиться на допустимому рівні. Отже таким чином, втрата GPS сигналів значно уповільнюється навіть в таких складних умовах, як вплив природних чинників.

Необхідно зауважити, що SEL-2488 може гарантувати надійний захист від атак на супутникові системи. Адже саме він з двома аксесуарами має можливість приймати сигнали від супутниковых груп - ГЛОНАСС чи GPS. Це також необхідно для максимально точної перевірки часових сигналів (див.рисунок 1). При невідповідності SEL-2488 між ГЛОНАСС та GPS, з'являється сигнал тривоги, в результаті чого система переходить в режим утримування. Користувач системи в цей час отримує певну кількість системних повідомлень, що реєструються у

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						34

відповідному журналі. Саме годинник SEL-2488 є першим у своєму роді пристроям, який має величезний потенціал та вже виконує безліч функцій. [9]



Рис. 1.9. SEL-2488 -перевірка супутникового сигналу

Щоб забезпечити більш якісний захист втрат сигналу існує підтримка резервних часових джерел. Це зображенено на рисунку 1.1. При значному погіршенні якості часу від первинних чинників SEL-2488 перелаштовується на вторинний - резервне джерело. Система SEL вміє розпізнавати та вирішувати помилки, які виникають бід час втрати сигналів чи їх погіршення. Будь-які несправності опорних імпульсів у порівнянні часових сигналів можуть бути вирішенні завдяки досконалій системі SEL-2488. Okрім того, завдяки аутентифікації IRIG-B з'явилася можливість значно краще захистити GPS від втрат сигналів, атак та інших негативних чинників. [9]

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						35



Рис. 1.10. Джерела, підключені до SEL-3400 для резервування

Для забезпечення надійного захисту системи можна також користуватись інтегрованою мережею оптичного типу SEL ICON. Данна мережа може налаштовуватись таким чином, щоб всі вузли мали індивідуальні приймачі GPS або внутрішні годинники. Мережею оптичного типу ICON може самостійно обрати найточніше часове джерело за допомогою точних даних з призначених годинних джерел. Адже цей процес дозволяє зменшити вірогідність появи вразливостей GPS, тому будь-які збої, пов'язані з роботою антен чи інших проблем з забезпеченням. Завдяки розподілу вузлів досягаються показники найкращого часу, тому негативні впливи майже повністю зникнуть. [9]

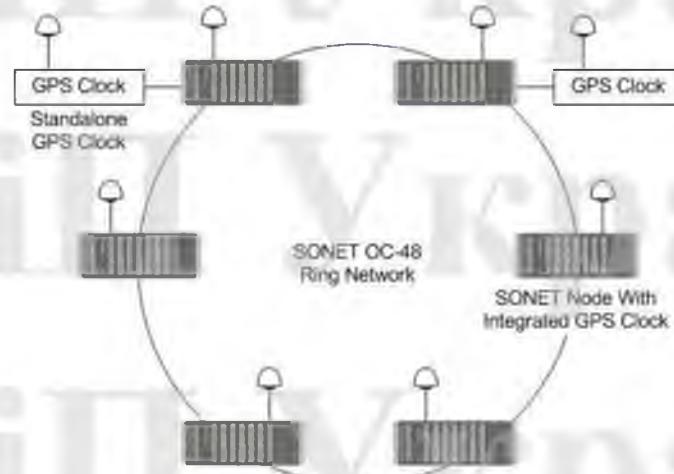


Рис. 1.11. Класична мережа SEL ICON SONET

Розподіл максимально точної інформації про час не буде порушений, якщо в системі буде втрачений один еталон часу. Ви можете без проблем розподіляти час з високою точністю на великих територіях, тому управлюючі системи можуть

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						36

отримувати дані з найбільшою точністю. Окрім того, це досягається навіть після короткочасних втрат GPS сигналів.

Система GPS вважається одним з найбільш раціональних та ефективних рішень для точної синхронізації, однак використовуючи його в додатках типу синхрофазорів, потрібно враховувати навіть мінімальну вразливість. Завдяки мережі SEL є можливість використати декілька дієвих способів виправлення ситуації, при цьому необхідно постійно оцінювати ситуацію точно та якісно. [9]

1.5 Конструкція навігаційного приймача

Сигнал, що передається від супутника отримується антеною приймача, посилюючись через радіочастотний ланцюг, а частота перетворюється в бажану вихідну. Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) використовується для оцифрування вихідного сигналу із аналогового в цифровий. Антена, ланцюг РЧ і АЦП – це апаратне забезпечення, яке використовується в приймачі. Після оцифровки сигналу він обробляється програмним забезпеченням. Отримання – означає пошук сигналу певного супутника. Кожен супутник має свій код С/A (clear access), варіацію доплеровської частоти та відповідно зміну несучої частоти у відповідності з її рухом відносно користувача. Таким чином, отримання схоже на двомірне сканування в розмірах фази коду і несучої частоти для оцінки прийнятого коду і несучої частоти з певною точністю. Порівняти це можливо з пошуком загубленої людини в океані, з використанням двомірного сканування до моменту визначення.

Програма відстеження використовується для пошуку і постійного прямування фазовому переходу сигналу, виявленого при отриманні. У звичайному приймачі прийом і відстеження виконуються на апаратному рівні. З фазового переходу навігаційних даних можна отримати навігаційні дані, які можуть також допомогти знайти місцерозташування рухомого об'єкта. [47]

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						37



Рис 1.х. Структура програмного приймача

1.6 Переваги використання програмного приймача

Важливим аспектом використання програмного підходу для побудови GPS-приймача є те, що даний підхід може різко відхилятися від звичайного апаратного підходу. Наприклад, користувач може зробити знімок даних і обробити їх на свій розсуд, з метою визначення свого місцерозташування, а не просто безперервно відстежувати сигнал. Теоретично, потоку даних тривалістю 30 секунд достатньо, щоб знайти місцерозташування рухомого об'єкта. Такий підхід особливо корисний, коли дані не можуть збиратися безперервним чином, а також відсутня необхідність постійного визначення місцерозташування рухомого об'єкта.

Програмний підхід дуже гнучкий: він може обробляти дані, зібрани з різних типів обладнання. Наприклад, одна система може збирати комплексні дані, так звані фазові і квадратурні (I і Q). Інша система може збирати реальні дані лише з одного каналу. Дані можуть бути перетворені з однієї форми в іншу.

Програмний додаток може використовуватися для обробки сигналів, оцифрованих з використанням різних частот дискретизації. Тому програмний підхід можна розглядати як незалежний від підходу до розробки апаратного забезпечення.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
38						

Розробка нових алгоритмів можлива без зміни технічного дизайну апаратного забезпечення. Такий підхід особливо корисний з метою вирішення існуючих та нових проблем. Наприклад, для вивчення проблеми захисту від перешкод є можливість зібрати набір оцифрованих сигналів з присутніми перешкодами і використовувати різні алгоритми для його аналізу. Крім того, як і в поточному випадку, можливо розробити нові та вдосконалити існуючі алгоритми відстеження для подолання існуючих обмежень. Такий підхід до реалізації є простішим за апаратний, коли необхідно розробляти цільові платформи спочатку.

1.7 Структура GPS сигналу

Система GPS – це цифрова лінія зв'язку з кодовим розділенням, множинним доступом (CDMA). Супутникові сигнали складаються з синусоїdalної несучої, цифрового навігаційного повідомлення і послідовності псевдовипадкового шуму (PRN) з широкою смugoю частот. Навігаційне повідомлення і послідовність PRN (код) кодуються в фазі несучого сигналу з використанням методу модуляції з двійковою фазовою маніпуляцією (BPSK) [48].

Сигнал GPS містить дві частотні компоненти: канал 1 (L1) і канал 2 (L2). Центральна частота L1 становить 1575,42 МГц, а L2 – 1227,6 МГц. Ці частоти когерентні з частотою 10,23 МГц. Ці дві частоти можуть бути пов'язані з тактовою частотою

$$L1 \ 1575.42 \text{ MHz} = 154 \times 10.23 \text{ MHz}$$

$$L2 \ 1227.60 \text{ MHz} = 120 \times 10.23 \text{ MHz} \quad (1)$$

У структурі сигналу супутника GPS в даний час частота L1 містить сигнали C/A і P(Y), тоді як частота L2 містить тільки сигнал P(Y). Сигнали C/A і P (Y) на частоті L1 знаходяться в квадратурі по фазі один від одного, і вони можуть бути записані як:

$$SL1 = Ap * P(t) * D(t) * \cos(2 * \pi * f1 * t + \varphi) +$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						39

$$+ A_c * C(t) * D(t) * \sin(2 * \pi * f_1 * t + \varphi) \quad (X)$$

де $SL1$ – сигнал на частоті $L1$, A_p – амплітуда Р-коду, $P(t)$ являє собою фазу Р-коду, $D(t)$ – код даних, f_1 – частота $L1$, φ – початкова фаза, A_c – амплітуда коду С/A, $C(t)$ являє собою фазу коду С/A.

Синфазний компонент модулюється кодом Coarse/Acquisition (C/A) Голда $C(t)$ і даними $D(t)$ супутника. Квадратурна складова сигналу $L1$ модулюється кодом точності Р (P) Голда $P(t)$ і тим же повідомленням даних, що і синфазних компонент. Код С/A, Р-код і повідомлення даних є специфічними для кожного супутника. Сигнал $L2$ модулюється тим же повідомленням даних, що і сигнал $L1$, як показано в рівнянні.

$$SL2 = A_p * P(t) * D(t) * \cos(2 * \pi * f_2 * t + \varphi) \quad (X)$$

Сигнал $L2$ модулюється або Р, або С/A кодом. В даний час канал $L2$ модулюється Р-кодом. Доступ до Р-коду є пропрітарним, і він недоступний у даний момент.

$P(Y)$, С/A і несучі частоти повністю заблоковані фазою. Навіть коли сигнал посилюється до розумного рівня потужності, спектр коду С/A не може бути розташований, тому що шум сильніше сигналу.



Рис. 1.x. Процес генерації сигналу

Коли приймач GPS отримує сигнали, вони знаходяться на бажаних частотах. Однак рух супутника і приймача може викликати ефект Доплера. Доплерівське зрушення частоти, створюване супутниковим рухом на частоті $L1$, становить приблизно 5 кГц. Іонізаційні сцинтиляції також є основним джерелом змін

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						40

зміщення фази і зміщення частоти, а також загасання амплітуди в сигналі, отриманому на приймачі. На рисунку 1.х показано процес генерації сигналу

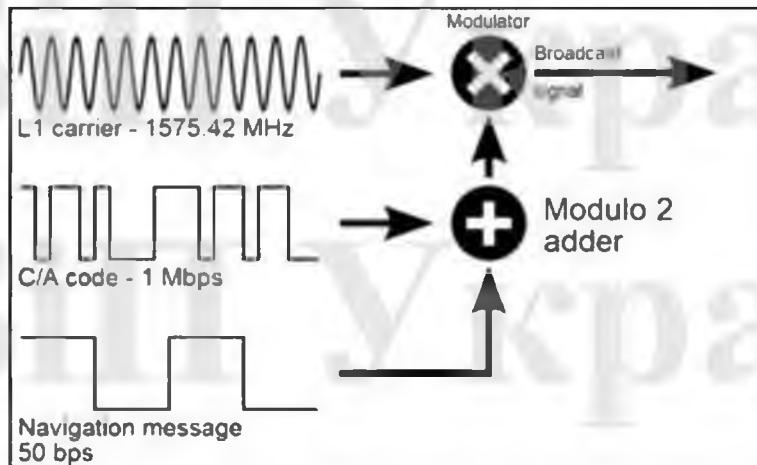


Рис.1.х. Процес генерації сигналу

1.8 Коди Голда

Послідовності PRN, $C(t)$ і $P(t)$, що використовуються супутниками, називаються кодами Голда. Коди Голда мають високу пропускну здатність і використовуються для поширення спектра повідомлення даних на ширшій смузі частот. У приймачі ефект розширення послідовностей PRN видаляється за допомогою локально генеруючихся кодів Голда. Кожен супутник передає свій власний унікальний код, і користувач отримує всі супутникові сигнали з майже тією ж частотою. Користувач може відстежувати отримані індивідуальні коди, оскільки коди Голда для різних супутників майже ортогональні один одному. Це означає, що для приймача, що використовує один код Голда для відстеження конкретного супутника в одному каналі приймача, сигнали, отримані від інших супутників, фактично обнуляються в цьому каналі.

Коди Голда формуються шляхом додавання по модулю 2 двох послідовностей максимальної довжини. Послідовності максимальної довжини формуються генераторами зсувних регістрів (SRG) і повторюються після кожних $2^N - 1$ біт, де N – кількість етапів SRG (для GPS $N = 10$). Коди С/А Голда, використовувані супутниками, формуються шляхом додавання тих же двох

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
41						

послідовностей максимальної довжини, позначених як G1 і G2. Однак коди Голда, що транслюються кожним супутником, різні. Різниця полягає в тому, що коди Голда формуються шляхом зміщення послідовностей G1 і G2 відносно один одного у часі перед їх додаванням. Кожен код має певний часовий зсув, пов'язаний з ним. Все, що необхідно для створення послідовності PRN конкретного супутника, являє собою час затримки, визначений для цього супутника і послідовностей G1 і G2 [49].

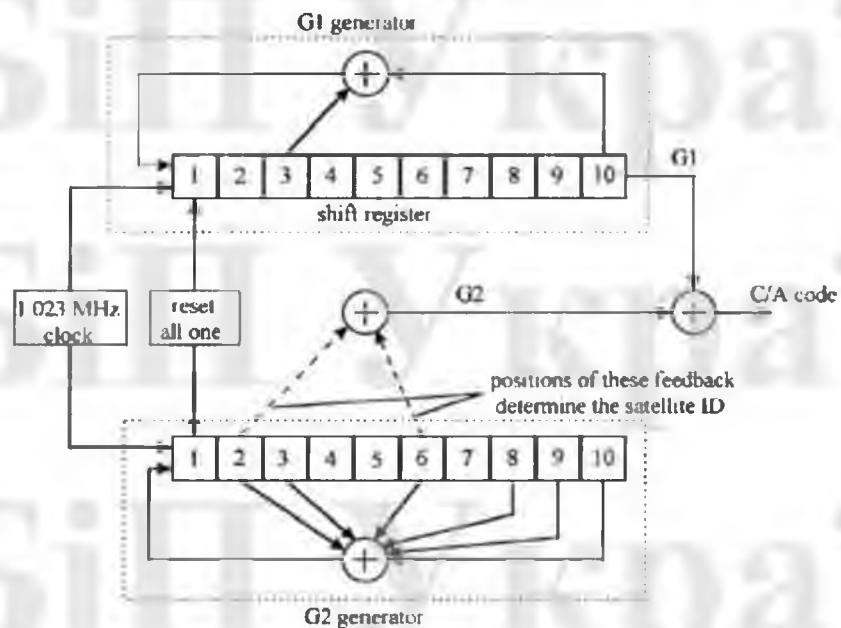


Рис.1.х. Блок генератора С/А

Коди С/А Голда передаються зі швидкістю відсікання 1.023 Мбіт/с. Код $g(t)$ спочатку генерується як двійкова послідовність і використовується для модуляції фази несучого сигналу, як показано нижче в рівнянні.

$$S(t) = \cos(\omega_1 t + \pi g(t))$$

Оскільки фаза сигналу зсувається на 180° , код Голда може бути еквівалентно виражений, як показано у наступному рівнянні.

$$S(t) = G(t) \cos(\omega_1 t)$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						42

У наведеному вище рівнянні вихідна двійкова послідовність $g(t)$ була відображеня в послідовності ± 1 , $G(t)$. Форма, показана в наведеному вище рівнянні, є типовим методом уявлення модуляції кодів Голда.

Автокореляційні властивості коду Голда використовуються для відстеження супутникового сигналу і проведення вимірювань псевдодальності.

Крос-кореляційні властивості коду Голда дозволяють супутникам передавати все на одній і тій же частоті. Різні коди Голда майже ортогональні один одному, як можна бачити на малюнку 2.6 (що є взаємною кореляцією між кодами C/A супутника 19 і супутником 31). Коли приймач збирає радіочастотні дані, кілька супутникових сигналів записуються в одному і тому ж діапазоні частот. Приймач «вибирає» конкретний супутник шляхом множення даних на синфазну копію коду Голда для супутника. Це множення ефективно скасовує всі інші супутникові сигнали при видаленні модуляції PRN з сигналу, отриманого від обраного супутника.

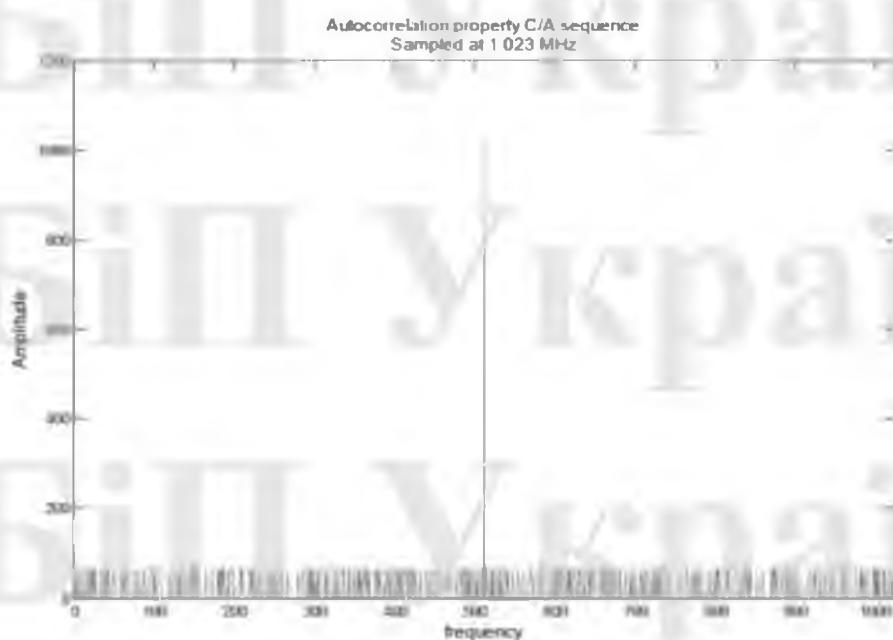


Рис.1.х. Автокореляційна властивість С/А кодів

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						43

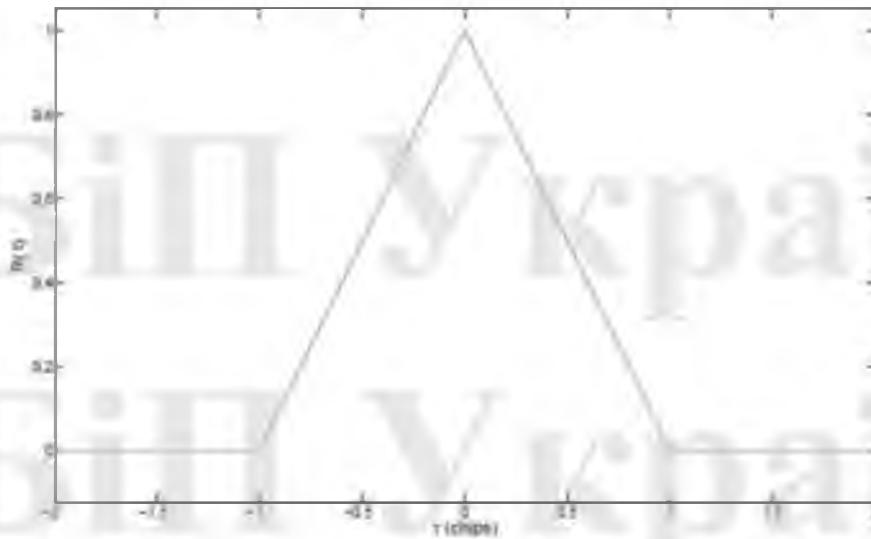


Рис.1.х. Ідеальна автокореляційна функція кодів Голда

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						44

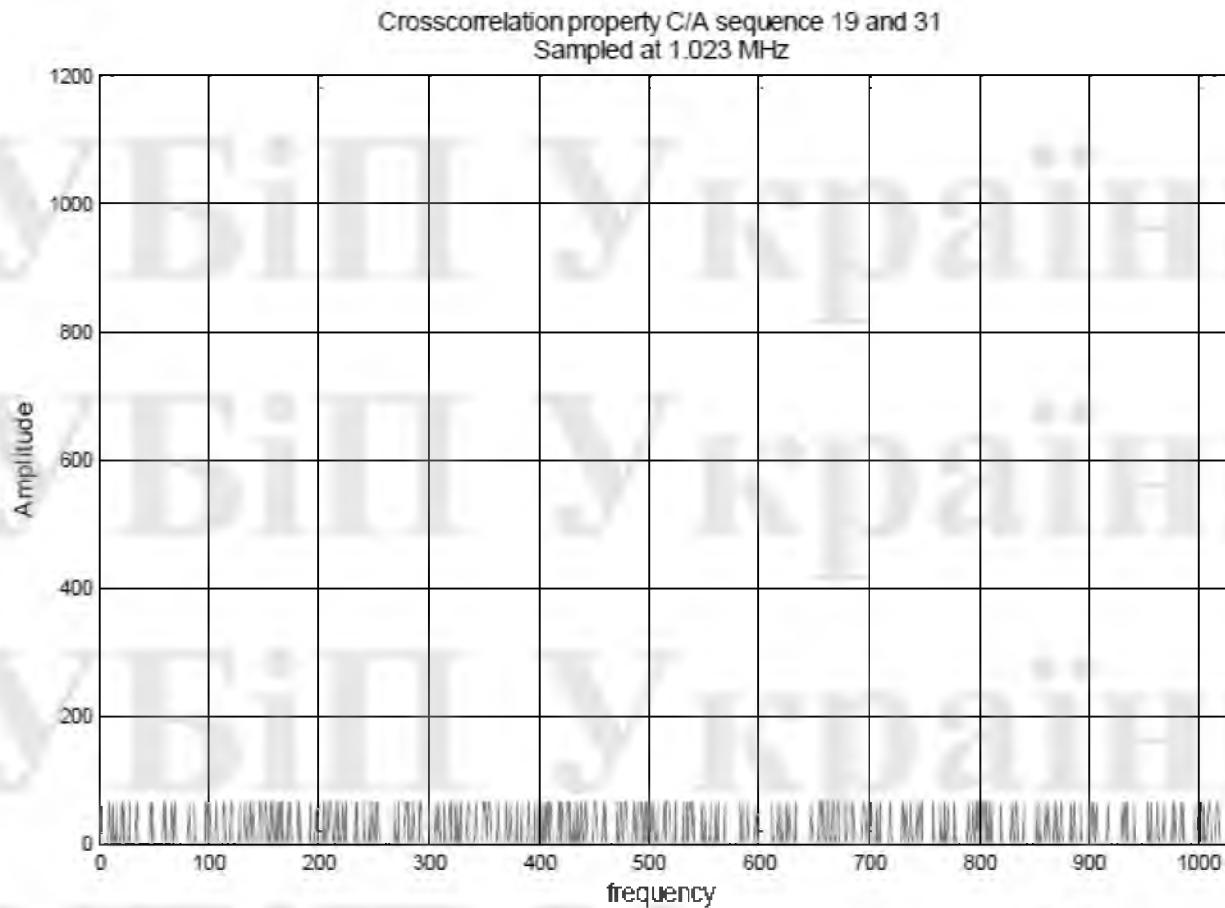


Рис.1.x. Крос-кореляційні властивості різних кодів Голда

1.9 Повідомлення даних

Повідомлення даних, передане кожним супутником, містить інформацію про орбіти супутника, його стан, час системи GPS і дані альманаху для інших супутників в сузір'ї. Повідомлення даних містить необхідну інформацію для користувачів, щоб синхронізувати їх годинник з системним часом і визначати їх положення. Повідомлення даних транслюється зі швидкістю 50 біт в секунду (біт/с). Повідомлення упорядковано в тридцять бітових слів.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						45

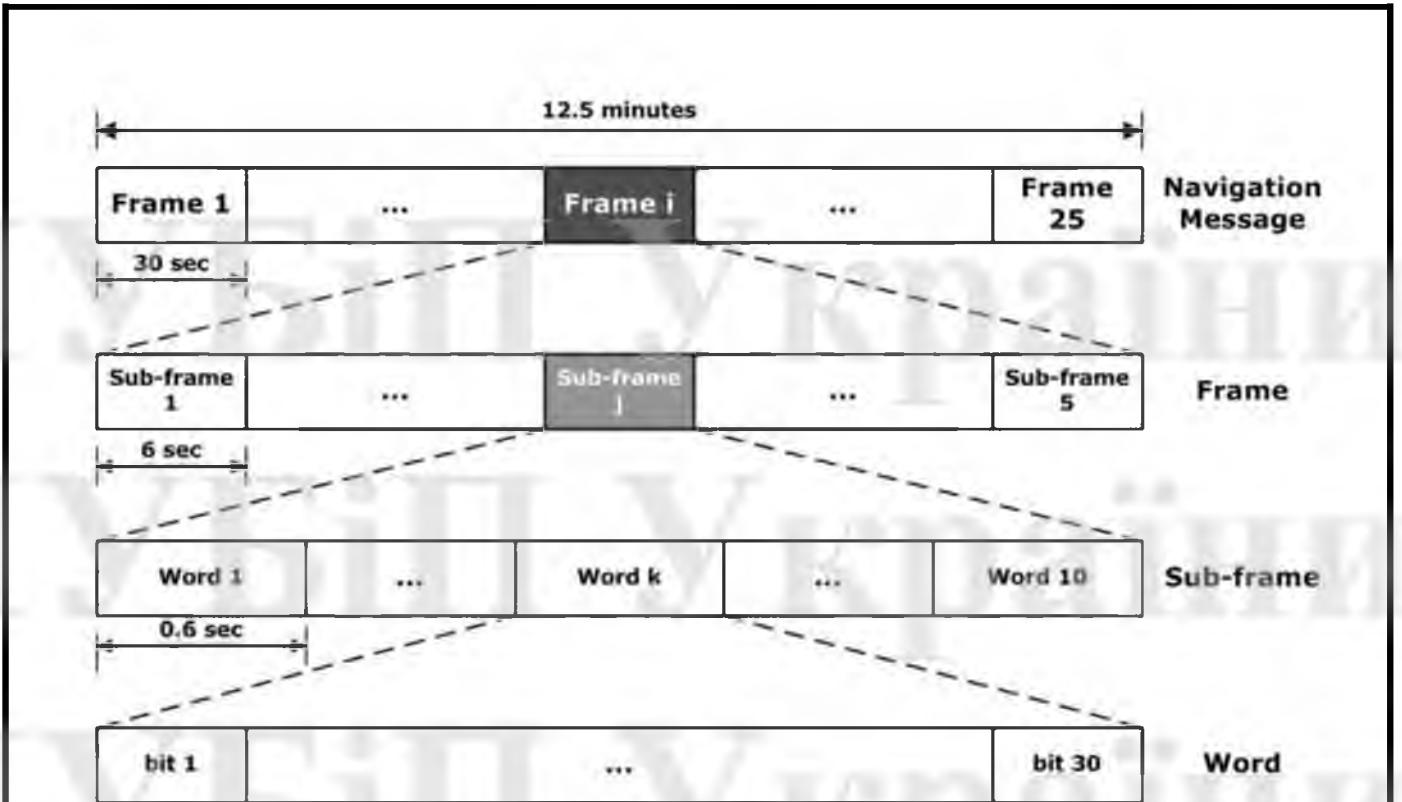


Рис.1.х Структура навігаційного повідомлення

1.10 Обробка сигналів GPS-приймачем та визначення доступності супутникового сигналу

Першим завданням частини програмного забезпечення в приймачу є визначення того, які супутники знаходяться в полі зору (під час отримання). Після визначення того, що даний супутниковий сигнал доступний, приймач намагається відстежувати компоненти несучої і PRN сигналу. GPS-приймач використовує слідкування для відстеження несучої і циклу затримки для відстеження послідовності PRN. Навігаційне повідомлення надає користувачеві достатню інформацію для визначення розташування супутників. Нарешті, користувач може обчислити свою позицію, використовуючи вимірювання псевдо від контурів відстеження.

Перш ніж приймач зможе почати відстежувати супутники, він повинен визначити, які супутники знаходяться в полі зору. Крім того, приймач повинен визначити допплерівські зрушенні, викликані відносним рухом супутника і користувача. Процес визначення цієї змінної називається придбанням. Оцінка

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
46						

доплерівського зсуву повинна бути точною з точністю до декількох десятків герц для петель відстеження для втягування і фіксації на носії. Фаза послідовності PRN повинна бути точною з точністю до половини фішок через автокореляційної функції кодів Голда.

Кількість супутників, що підлягають пошуку, може бути значно зменшено за рахунок приблизної оцінки місцерозташування одержувача. Існує безліч різних алгоритмів для пошуку можливих допплерівських зрушень і фаз коду. Однак принцип функціонування алгоритмів все в основному має подібні особливості. Спочатку збираються дані і вибирається конкретний супутник для пошуку. Між 1 і 20 мілісекундами довжини даних зазвичай використовується для отримання, тому що код C/A має період 1 мілісекунду, а ймовірність виникнення біта даних зростає після 20 мілісекунд ($50 \text{ біт/с} \Rightarrow 20 \text{ мс кордонів біт даних}$).

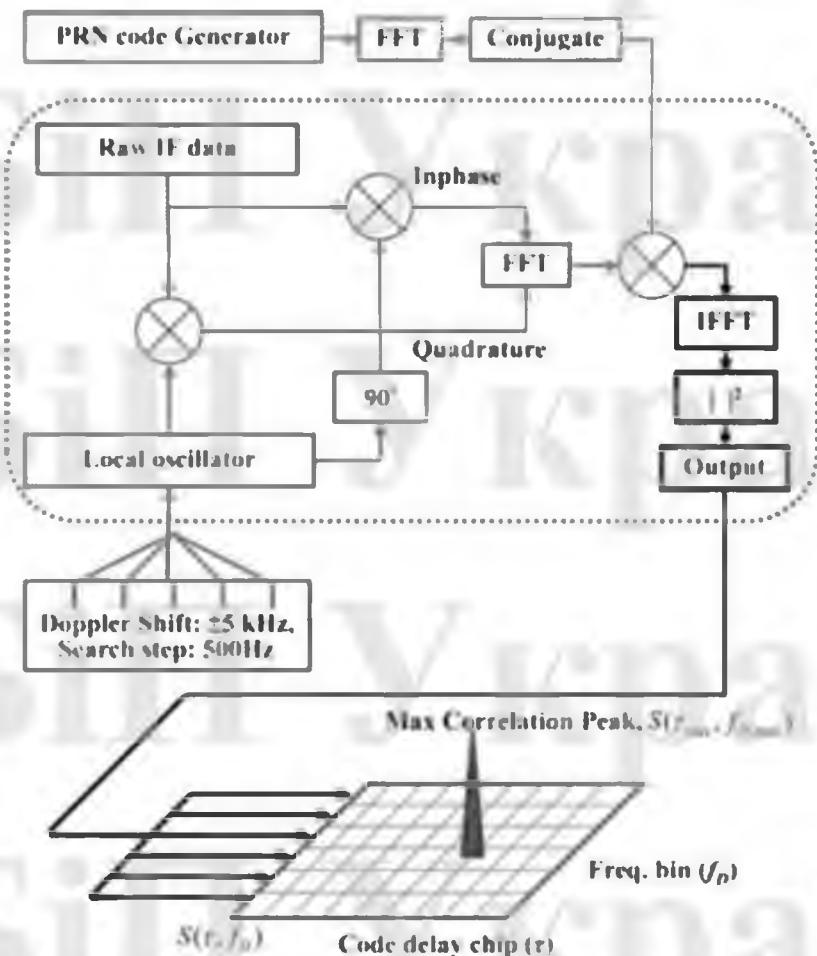


Рис.1.х. Процес отримання

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

ШИФР...

Арк.

47

РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ У СЕРЕДОВИЩІ MATLAB ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ПІДСИСТЕМИ ФАПЧ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТУ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СИГНАЛІВ СИНХРОНІЗАЦІЇ ЧАСУ

2.1 Характеристика системи дослідження

Системи управління мережею синхронізації часу на сьогоднішній день не можуть забезпечити повноцінний моніторинг, виникає необхідність у виокремленій системі моніторингу сигналів синхронізації. Пропонується схема вимірювань трьох джерел на основі мажоритарного правила, - тобто взаємний моніторинг та визначення помилкового чи аварійного сигналу пристрою. Ця схема була актуальна для мереж SDH, але не знайшла застосування у свій час. Однак, зараз актуальність подібного моніторингу в IP-мережах значно зростає. Тому у роботах [16-18] була представлена схема моніторингу сигналів по протоколу PTP. Дещо змінена аналогічна схема для протоколу NTP пропонувалася в роботах [28, 29]. Суть цієї схеми зводиться до звірення вимірів сигналів від трьох джерел з метою визначення аварійного і ефективного перемикання на резерв. Також цей варіант моніторингу можна застосувати для ефективного звірення шкал часу (в даний час не дозволяє жодна система управління NTP серверами). Схема обладнання моніторингу якості опорних сигналів PTP представлена на рис. 2.1, де маємо два місцеві джерела, один на основі приймача GPS, а другий - на основі локального сервера PTP1, підключені до схеми калібрування, вихідний сигнал якої приєднаний до схеми усереднювання. Умовно можна замінити PTP-сервера на NTP і вважати схему універсальною для обох протоколів. Схема служить для попередньої обробки опорних сигналів, що поступили від віддалених джерел PTP2 та PTP3, перш ніж ці сигнали будуть подані на мережу. Сигнал калібрування використовується в схемі усереднювання для того, щоб сформувати сигнал управління місцевим підлаштовуваним генератором (ПГ). Стабільність сигналу після такої обробки не гірше за короткочасну стабільність місцевого кварцового

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						48

генератора OCXO, середньочасової стабільності локального PTP1 і довготривалої стабільності приймача GPS (чи приймача будь-якої іншої системи GNSS).

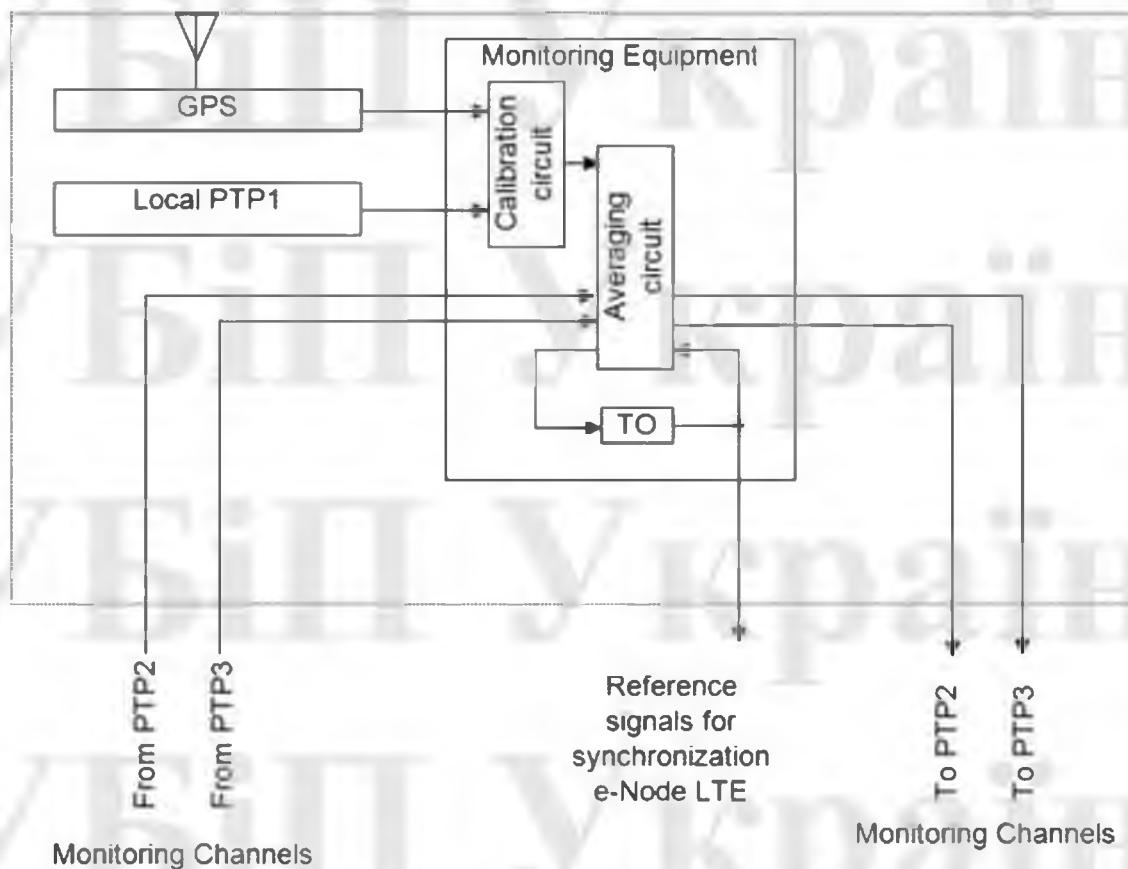


Рис. 2.х. Схема приладів моніторингу якості опорних сигналів PTP

Для сигналів як NTP, так і PTP можливі вимірювання значень PDV.

За наявності кількох NTP або PTP серверів на мережі, вибір найкращого за якістю досягають за допомогою системи з багатьма входами фазового автопідстроювання частоти ФАПЧ, з цифровим керуванням генератором. У такій системі один з входних сигналів від кварцового генератора OCXO забезпечує стабільність на короткочасних інтервалах виміру. GPS приймач дає стабільність результуючого вихідного сигналу на середньочасових інтервалах, а у разі його аварії - один чи два NTP або PTP сервера. У такій системі фазового автопідстроювання частоти стабільність результуючого сигналу на виході виявляється не гірше за стабільність діючих джерел і усі вони служать для підстроювання вихідного сигналу.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ШИФР...

Арк.

49

Місцевий кварцовий ПГ з кращою стабільністю частоти підключено безпосередньо до виходу петлі регулювання. Сигнали GPS і NTP або PTP сервера використовуються для підстроювання сигналу через схему калібрування, який формує перший опорний сигнал для схеми усереднювання замкнутої петлі. Постійні часу схеми калібрування і петель регулювання вибрані так, щоб переважаючий вплив кожного з опорних сигналів був виборчим і в цілому максимізував загальну стабільність і точну мітку часу вихідного сигналу [16- 19].

2.2 Датчик системи моніторингу сигналів синхронізації

Варто звернути увагу, що процес вимірювання параметрів синхронізації потребує спеціальних приладів, в деяких випадках прецизійних і навіть ультрапрецизійних складних методик, тому безпосередні вимірювання параметрів синхронізації в усіх точках мережі синхронізації цифрових телекомунікацій дуже обмежені.

Виробники телекомунікаційного обладнання, як правило, розробляють вбудовані в них пристрої синхронізації, які не дають можливість контролю стану синхронізації на рівні керування мережею синхронізації. Під час експлуатації це робить складним своєчасне виявлення проблем із якістю синхросигналів. Пристрой синхронізації поза контролем, якщо не враховувати результати контролю за іншими параметрами (проковзування, помилки цифрового сигналу та ін.).

З техніко–економічної точки зору для виконання контролю якості сигналів мережі синхронізації першого рівня необхідні високоточні, недешеві вимірювальні пристрої, але потрібна не велика їх кількість. Датчики контролю які більш низьких рівнів можуть бути менш точні, тому їх вартість нижча, ніж вимірювальних пристройв першого рівня. Комбінуючи різні типи вимірювальних пристройв, датчиків в залежності від задачі та фінансових ресурсів, можна будувати контрольно–вимірювальні системи різних масштабів, складності, та вартості.

Впровадження пристройв, систем і мереж синхронізації, що не мають можливості контролю параметрів синхросигналів, не гарантує якість та надійність

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						50

їх роботи. Процес автоматизованого моніторингу характеристик синхросигналів відіграє важливу роль на всіх стадіях життєвого циклу пристрій синхронізації, починаючи з проектування, виробництва і закінчуючи технічною експлуатацією.

Можна записати низку особливостей процесу автоматизованого моніторингу синхросигналів в цифрових телекомунікаціях, що обумовлюють його призначення, способи застосування і реалізацію. Виділені наступні особливості, які обумовлюють його функціональне призначення і технічну реалізацію:

1. Формування з підвищеною надійністю високоякісних тактових синхросигналів (синхроінформації) у сучасних та перспективних цифрових телекомунікаціях неможливе без забезпечення його адекватним процесом контролю. Отримати якісні синхросигнали неможливо без якісного контролю.
2. Сучасні формувачі синхроінформації мають у своєму складі широкий спектр технічних засобів контролю. Крім цього, передбачаються ще й організаційні заходи контролю з участю персоналу, який залучається до цього процесу на різних етапах з певними повноваженнями. [15]
3. Контроль параметрів синхроінформації потребує спеціальних приладів, а також складних методик, тому безпосередні вимірювання параметрів синхронізації в усіх точках мережі тактової синхронізації дуже обмежені. Особливою проблемою є наявність опорного сигналу, який необхідно формувати використовуючи атомні стандарти частоти або GPS пристрой.
4. Потрібний досить тривалий час вимірювання блукання фази синхроінформації, що особливо важливо, необхідно проведення одночасних вимірювань декількох синхросигналів, накопичення і зберігання, архівування результатів вимірювань та їх сумісна статистична обробка з застосуванням спеціалізованого серверу централізованої системи керування. Це дозволить не тільки своєчасно знаходити і локалізувати проблеми формування синхроінформації, а також прогнозувати якість і стабільність роботи цифрових телекомунікаційних систем та мереж. [15].

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						51

Визначені особливості процесу автоматизованого моніторингу характеристик синхросигналів є основою для розробки схем автоматизованої системи моніторингу якості характеристик синхросигналів.

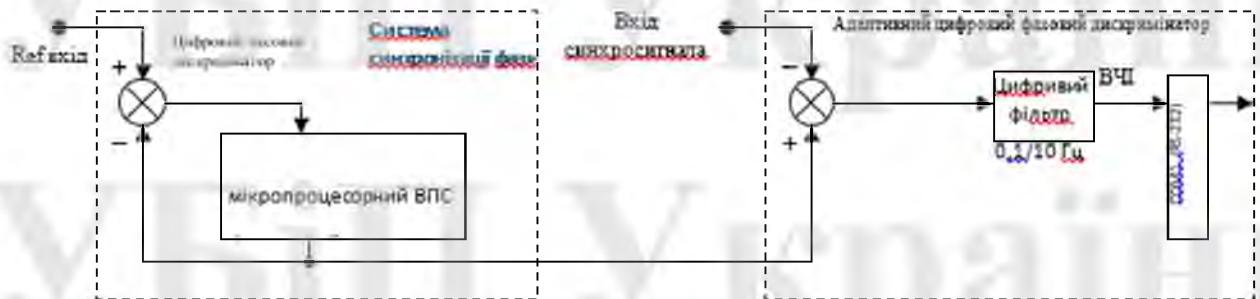


Рис. 2.х. Структурна схема блока первинного перетворювача «TIMETER»

2.3 Математична модель пристрою синхронізації фази датчика системи моніторингу сигналів синхронізації

Базовим елементом мікропроцесорного веденого пристрою синхронізації (ВПС) є система ФАПЧ з інтегратором в кільці регулювання. По виду регулювання така система відноситься до астатичних систем, у яких величина усталеної фазової неузгодженості не залежить від початкової розладу частот провідного і веденого генераторів.

Іншою перевагою такої системи ФАПЧ є те, що в процесі роботи проводиться автопідстроювання частоти генераторів, при якому різниця частот генераторів стає близькою до нуля і може, зберігатися при виключенні ланцюгів синхронізації, тобто може забезпечуватися «зберігання» значення частоти у разі зникнення синхронізуючого сигналу. При цьому розбіжність фаз (частот) провідного і веденого генераторів буде обумовлена, в основному, випадковою компонентою нестабільності генераторів. [16-18]

У зв'язку з цим принциповими складовими системи ФАПЧ є цифровий генератор з термостатованим високостабільним кварцовим генератором КГ, керований напругою.

Дванадцятирозрядний цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) здійснює перетворення коду у напругу, яка керує частотою генератора. Крім цифрового

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						52

інтегратора в кільці регулювання системи ФАПЧ необхідно використовувати ланку, що забезпечує пропорційне керування ПГ. [16-18]

З достатньою точністю дискретну систему синхронізації фази можна уявити структурною схемою, зображену на рис.2.3.

Якщо розімкнути систему (рис.2.3) в точках аб, то для вихідної фази КГ справедливо нерівність:

$$\varphi_{КГ} = \varphi \left(1 + \frac{k}{s}\right) \frac{\alpha}{s}, \quad (2.1)$$

Звідки

$$\frac{\varphi_{КГ}}{\varphi} = \left(1 + \frac{k}{s}\right) \frac{\alpha}{s},$$

де $\varphi_{КГ}$ і $\varphi_{ПГ}$ – фаза сигналу відповідного КГ і провідного генератора ПГ;

k – величина, зворотна постійній часу інтегратора;

α – величина, зворотна постійної часу КГ.

Для розімкнutoї системи (рис.2.3)

$$\varphi = \varphi_{ПГ} - \varphi_{КГ}. \quad (2.2)$$

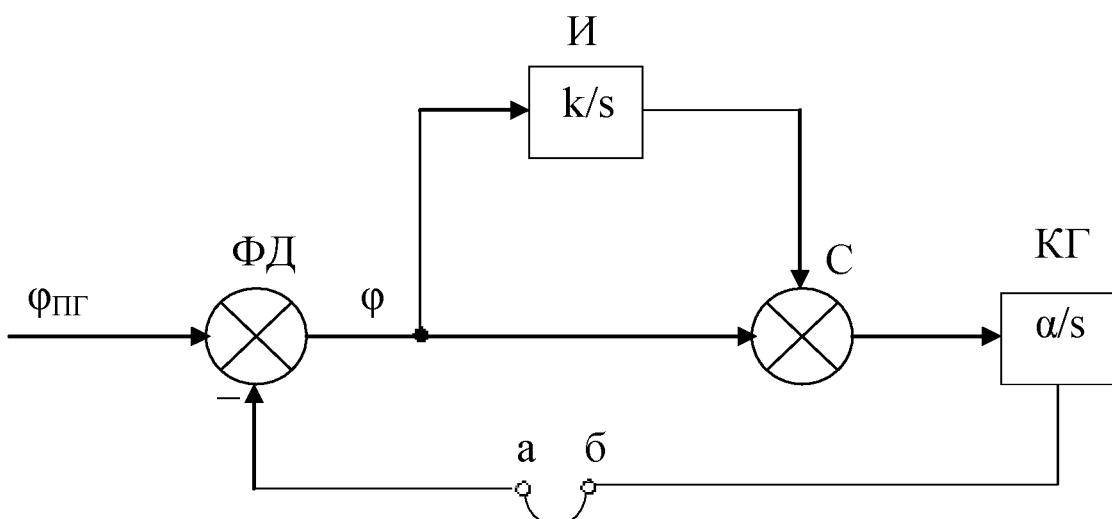


Рис.2.х. Структурна схема мікропроцесорного ВПС

Підставивши (5.8) $\varphi = \varphi_{\text{ПГ}} - \varphi_{\text{КГ}}$ в (2.1) $\frac{\varphi_{\text{КГ}}}{\varphi} = \left(1 + \frac{k}{s}\right) \frac{\alpha}{s}$, отримаємо:

$$\frac{\varphi_{\text{КГ}}}{\varphi_{\text{ПГ}} - \varphi_{\text{КГ}}} = \left(1 + \frac{k}{s}\right) \frac{\alpha}{s} \text{ звідки:}$$

$$\varphi_{\text{КГ}} = (\varphi_{\text{ПГ}} - \varphi_{\text{КГ}}) \left(1 + \frac{k}{s}\right) \frac{\alpha}{s}, \quad (2.3)$$

де $W(s) = \frac{\varphi}{\varphi_{\text{ПГ}}} = \frac{s+k}{s}$ - передатна функція фільтра.

Передатна функція замкнутої системи ФАПЧ $\Phi(s)$ з урахуванням (2.3) після перетворень запишеться у вигляді

$$\Phi(s) = \frac{\varphi_{\text{КГ}}}{\varphi_{\text{ПГ}}} = \frac{\alpha(s+k)}{s^2 + s\alpha + k\alpha}. \quad (2.4)$$

Визначимо α з таких міркувань. Для замкнутої системи ФАПЧ фазова неузгодженість на вході ЦФД рівна 1/256 періоду вимірювання (125 мкс) призводить до зміни молодшого знакового розряду ЦАП, а, отже, до зміни відносної частоти КГ на $6 \cdot 10^{-11}$, що еквівалентно зміни частоти на 0,48 мГц. При цьому $\alpha = 0,48 \cdot 256 = 1,229 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$. [16-18]

Величина k визначає характеристики інтегратора. Так як на вхід інтегратора надходить цифровий сигнал з ЦФД і множиться на 2^{-15} протягом кожного періоду 8,192 с, то k дорівнює:

$$k = \frac{2^{15}}{8,192} = 3,73 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}.$$

З метою зменшення часу входження в синхронізм проводиться попередня установка ЦФД. Крім того, здійснюється зміна параметрів фільтра в кільці регулювання системи ФАПЧ. При цьому величина α збільшується в 25 разів ($\alpha' = 3,933 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$), а величина k – в 29 разів ($k' = 1,91 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						54

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРИСТРОЮ СИНХРОНІЗАЦІЇ ФАЗИ

3.1 Дослідження пристрою фазової синхронізації

Пристрої синхронізації фаз проектуються з метою підтримки нульової різниці фаз між вхідним несучим сигналом і сигналом місцевого генератора, керованого напругою.

Функціональна схема (рис. 3.1) - схема, що роз'яснює певні процеси, що відбуваються у певних функціональних ланцюгах виробу (устаткування) чи у виробі (устаткуванні) в цілому.

Подібні пристрой застосовуються в кольоровому телебаченні, в системах стеження за ракетами і в космічній телеметрії. Лінійна модель фазового детектора (контуру синхронізації фази) показана на рис. 3.1. В окремому випадку фільтр має передавальну функцію. [21]

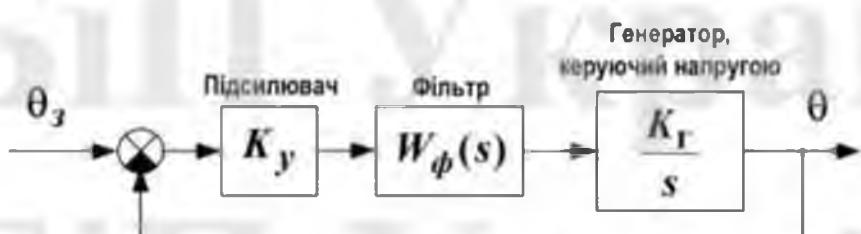


Рис. 3.х. Система синхронізації фази

3.2 Розрахунок системи ФАПЧ (петлі фазової синхронізації - PLL)

Перетворення Лапласа справедливе тільки для додатних коренів в реальному часі. Таким чином, його застосування повинно бути обґрунтовано в системах фазового автопідстроювання, що мають лінійні і нелінійні характеристики.

Передатна функція фільтра $W_\phi(s)$:

$$WW_{\Phi}(ss) = \frac{kk}{ss} + \frac{ss+kk}{ss} = \frac{ss + 3,73 \cdot 10^{-6}}{ss} \quad (3.2.1)$$

					Арк.
					55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...

де $k = 3,73 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$;

$K_r = 1,229 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$.

$XX(ss)$ - вхідна фаза дорівнює «0» в сталому режимі, ступінчастий вхідний сигнал;

$EE(ss)$ - фазова помилка, дорівнює «0» в сталому режимі

$YY(ss)$ - вихідна фаза – повинна дорівнювати вхідній фазі $XX(ss)$ в сталому режимі;

$GG(ss)$ - передатна функція каналу прямого зв'язку, визначається виразом

$$GG(ss) = K_y \cdot W_{\Phi}(ss) \frac{K_r}{ss} \quad (3.2.3)$$

$HH(ss)$ - передатна функція каналу зворотного зв'язку, Для розглянутої системи дорівнює «1»

$$HH(ss) = 1 \Rightarrow GG(ss) \cdot HH(ss) = K_y \cdot W_{\Phi}(ss) \cdot \frac{K_r}{ss} \quad (3.2.4)$$

3.3 Побудова та дослідження математичної моделі ФАПЧ

Побудова математичної моделі може мати різні характеристики. Як правило, вони включають величину кроку, швидкість і прискорення.

При розробці системи необхідно розглядати фазову різницю $EE(ss)$, щоб визначити чи є оптимальними і/або прийнятними перехідні характеристики і характеристики статичного режиму.

Перехідний відгук є функцією стійкості петлі ФАПЧ і розглядається далі. Оцінка статичного режиму може бути спрощена за допомогою математичного перетворення Лапласа. Теорема дозволяє знайти помилки системи в сталому режимі, пов'язані з вхідними значеннями $XX(ss)$, без задіяння часової області.

Нехай

$$\lim[XX(tt)] = \lim[EE(ss)] \quad (3.2.5)$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						56

де

$$tt \rightarrow ss \rightarrow 0$$

$$EE(ss) = \frac{1}{GG(ss) \cdot HH(ss)} \quad (3.2.6) \quad 1 + \frac{XX(ss)}{ss}$$

Вхідний сигнал $X(ss)$ характеризується наступним:

величина кроку

$$XX(tt) = CC_{pp} \cdot tt \geq 0 \quad (3.2.7)$$

або з використанням відображення

$$XX(ss) = \frac{CC_{pp}}{ss} \quad (3.2.8)$$

де CC_{pp} - величина скачка фаз в радіанах. Це відповідає зсуву фази вхідного опорного сигналу CC_{pp} на один радіан.

Швидкість кроку:

$$XX(tt) = CC_{aa} \cdot tt^2 \cdot tt \geq 0 \quad (3.2.9)$$

або з використанням відображення

$$XX(ss) = \frac{2 \cdot CC_{aa}}{ss^3} \quad (3.2.10)$$

CC_{aa} - величина частоти змін визначена в радіанах за секунду. Вона визначається як результат керування генератором в результаті чого його частота змінюється у часі.

Передатна функція, що розглядається, є типовою передатною функцією другого типу. Нуль доданий, щоб забезпечити стабільність.

$$GG(SS) \cdot HH(ss) = KK \cdot \frac{ss + kk}{ss} \cdot \frac{1}{ss} = \frac{KK \cdot (ss + kk)}{ss^2} \quad (3.2.11)$$

Очікувані фазові помилки для системи такого типу

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						57

Величина кроку: «0».

Швидкість кроку: «0»

Прискорення кроку: *const.*

Постійний фазовий зсув визначається як різниця фаз між двома сигналами, що поступають на входи фазового детектора. Величина цієї помилки диференціального фазового зсуву пропорційна до коефіцієнта посилення петлі і величини вхідного кроку.

Фазовий зсув, що безперервно збільшується, визначає неможливість синхронізму для петлі ФАПЧ.

Часто використовується методика кореневого годографа для визначення полюсів і нулів системи ФАПЧ на s-площині для графічного відображення стабільності системи. Діаграма або графік пояснює, як полюси петлі (корені характеристичного рівняння) змінюються зі зміною коефіцієнта підсилення по петлі. Для стабільності, всі полюса повинні лежати в лівій половині s-площини. Залежність полюсів і нулів системи ФАПЧ визначає ступінь стабільності. Контур кореневого годографа може бути визначений, використовуючи наступні рекомендації.

Правило 1. Кореневий годограф починається в полюсах $G(s) H(s)$ ($K=0$) та закінчується в нулях $G(s) H(s)$ ($K=\infty$), де K – коефіцієнт підсилення петлі ФАПЧ.

Правило 2. Кількість кореневих гілок дорівнює числу полюсів або кількістю нулів. Число нулів у нескінченості - різниця між числом кінцевих полюсів і кінцевих нулів $G(s) H(s)$.

Правило 3. Контур кореневого годографа обмежений асимптотами, кут нахилу, яких

$$\frac{(2nn + 1)}{PP - ZZ} \pi\pi, \quad nn = 0, 1, 2, \dots \quad (3.2.12)$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						58

де P и Z – число полюсів (нулів).

Правило 4. Перетин асимптот встановлено в центрі тяжіння

$$CGG = \frac{\sum PP - \sum ZZ}{PP - ZZ} \quad (3.2.13)$$

в чисельнику – різниця суми полюсів та суми нулів відповідно.

Правило 5. На дійсній осі сегмента кола розташовані корені які можуть бути знайдені тільки якщо $P + Z$ праворуч непарні.

Правило 6. Точки відриву від від'ємної частини осі знаходяться:

$$\frac{ddkk}{ddss} = 0 \quad (3.2.14)$$

де K - змінна коефіцієнта посилення петлі, розкладена на множники характеристичного рівняння.

З використанням наведених правил, проведемо побудову кореневого годографу для розглянутої системи.

Кореневий годограф має дві гілки (Правило 2), обидві з яких починаються в точці $ss = 0$. Асимптоти можуть бути знайдені відповідно до Правила 3. Так як є два полюси і один нуль, правило набуває виду:

$$\frac{(2nn + 1)}{PP - ZZ} \pi\pi = \pi\pi, \quad nn = 0 \quad (3.2.15)$$

Відповідно маємо лише одну асимптоту.

Місце розташування перетину – відповідно до правила 4 – визначається наступним чином

$$ss = \frac{\sum PP - \sum ZZ}{PP - ZZ} = kk \quad (3.2.16)$$

Точка відриву, яка визначена у відповідності з правилом 6, може бути знайдена з характеристичного рівняння.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						59

$$CCEE = 1 + GG(ss) \cdot HH(ss) \quad (3.2.17)$$

$$CCEE = 1 + \frac{KK \cdot (ss + kk)}{ss^2} \quad (3.2.18)$$

Відповідно відносно K маємо

$$KK = -\frac{ss^2}{ss + kk} \quad (3.2.19)$$

Визначаючи похідну щодо s і прирівнюючи її до нуля, визначаємо точку зриву.

$$\frac{ddkk}{dss} = -\frac{ss(2kk + ss)}{(ss + kk)^2} \quad (3.2.20)$$

Отримуємо точку зриву

$$ss = -2kk \quad (3.2.21)$$

В результаті проведених розрахунків отримали наступне. Кореневий годограф, показаний на рисунку 2 має дві гілки, починаючого в початку координат з однієї асимптою, кут повороту якої π рад. Центр сили тяжіння $ss = kk$. Однак, оскільки є тілька одна асимптота, перетину в цій точці немає. Кореневий годограф знаходиться на колі, центр якого в $ss = -kk$ і продовжується на всіх частинах від'ємної осі по лівій стороні від нуля. Точка зриву $ss = -2kk$.

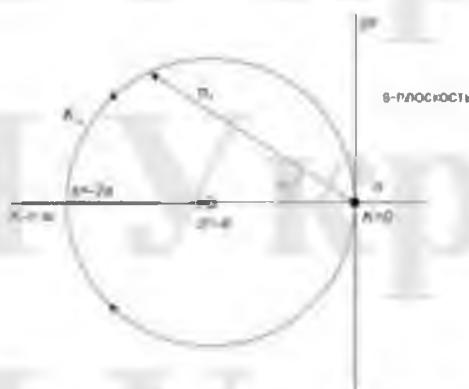


Рис. 3.x. Кореневий годограф

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

ШИФР...

Арк.

60

Побудова моделі в середовищі Matlab

Розглянуту математичну модель створено в середовищі Matlab/Simulink за допомогою наступної схеми

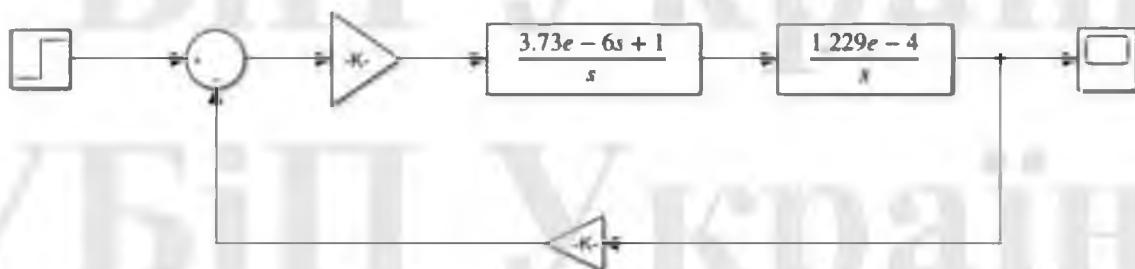


Рис. 3.x. Модель Simulink в середовищі Matlab

В результаті моделювання отримано форму вихідного сигналу, що показано на рис. 3.4.

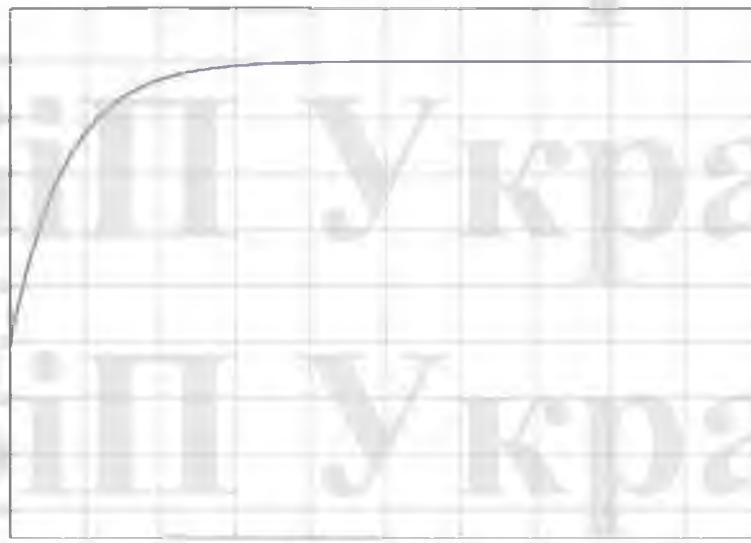


Рис. 3.x. Форма вихідного сигналу при зміні вхідного

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ШИФР...

Арк.

61

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ ЗАСОБІВ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СИГНАЛІВ СИНХРОНІЗАЦІЇ ЧАСУ НАВІГАЦІЙНИХ СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМ

Програмне забезпечення розроблено з використанням Embarcadero Delphi RAD Studio 10.4 - це інтегроване середовище розробки програмного забезпечення. Середовище RAD Studio працює на Microsoft Windows і підтримує розробку програмного забезпечення для операційних систем Microsoft Windows (x86-x64), Mac OS, Apple iOS та Android.

Ядро середовища розробки складають бібліотеки, які містять багатий базовий функціонал. Завдяки бібліотекам значно спрощується і уніфікується розробка програм.

4.1 Середовище програмування

Код програми, написано на мові програмування Delphi (Object Pascal), можна розглядати як файл проекту, що має розширення .dproj, файл обробляється компілятором, будучи головною програмною одиницею, до якої підключаються одна або кілька інших програмних одиниць, які називаються модулями та зберігаються у файлах з розширенням .pas.

Програма містить три основні частини: заголовок програми; розділ описів; тіло програми.

Заголовок програми розпочинається зі слова program, після заголовку вказується ім'я програми та ставиться крапка з комою.

Після імені програми оголошуються так звані ідентифікатори, які позначають різні елементи програми (типи, змінні, модулі, процедурі, функції та ін.).

Тіло програми починається зі слова begin та закінчується словом end з крапкою. Тіло складається з операторів, кожний оператор реалізує певну дію,

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР ...	Арк.
						62

наприклад, змінювання початкового значення змінної, виконування обчислень, звертання до функцій і тд.

При виконанні програми завжди автоматично створюється спеціальний об'єкт, який має ім'я Application і є об'єктом програми. Автоматично створюваний об'єкт Application має в собі дані та методи їх обробки, необхідні для нормального функціонування Windows-програми.

Об'єктом називається оформленій за певними правилами фрагмент коду програми, що об'єднує дані (вони називаються полями об'єкта) і підпрограми (методи) для їх обробки. У програмах об'єкти розглядають як єдине ціле і будують таким чином, щоб повністю виконати розв'язання конкретної задачі. Одні й ті ж самі об'єкти можуть використовуватися при розв'язанні багатьох задач повторно. Процес написання програми багато в чому зводиться до комбінування об'єктів, наприклад використання розроблених іншими програмістами які входять до різних бібліотек, так і що створених розробником програми. Сучасна технологія програмування базується на такому підході, і називається ООП (об'єкто-орієнтованим програмуванням).

Звичайне тіло програми, написаної мовою Delphi, містить три оператори, що реалізують звертання до трьох методів об'єкта Application.

Перший метод: «Application.Initialize;» - здійснює виклик спеціальної підпрограми, ім'я якої записане в системній змінній InitProc. Ця підпрограма в явному вигляді не виконує ніяких дій.

Оператор «Application.CreateForm(TForm1, Form1)» слугує для створення та показу на екрані вікна головної форми. Закриття цього вікна завершує виконання програми.

Метод «Application.Run» дає змогу одержати та опрацювати повідомлення, які в ході виконання програми надходять від операційної системи, що є сигналами про дії користувача або про роботу різних пристройів.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						63

Файл проекту має розширення .DPR і показується у вікні коду на вимогу програміста або з появою деяких помилок у ході виконання програми. Зазвичай у вікні коду файл проекту не відображається і змінюється дуже рідко.

Модулі – програмні одиниці, які служать для розміщення окремих частин програм. Будь-який модуль (модуль форми та ін.) має таку структуру:

- заголовок, який відкривається зарезервованим словом unit;
- секція інтерфейсних оголошень, що відкривається словом interface;
- секція реалізацій, що відкривається словом implementation;
- термінатор end з крапкою.

Після секції реалізації (перед end) можуть бути розміщені ініціююча та (або) завершальна секції, які починаються відповідно зі службових слів *initialization* та *finalization*. Заголовок модуля і заголовок проекту, завершуються крапкою з комою.

В секції інтерфейсних оголошень вміщується опис програмних елементів (процедур, констант, типів і т. д.), які будуть видимі іншим програмним модулям, що містять посилання на даний модуль. В секції реалізацій розкривається механізм роботи цих елементів.

Розбивши модуль на дві секції забезпечується зручний механізм доступу до його ресурсів. Для отримання доступу до ресурсів модуля достатньо знати тільки особливості його інтерфейсної частини, які містить оголошення елементів.

Модулем форми є модуль, до якого входять елементи програмного коду, які забезпечують створення та функціонування форми та тих компонентів, що розміщаються на ній.

Компонент TChart – компонент за допомогою якого можна створювати діаграми і графіки різних типів.

Властивості TChart зручно встановлювати спеціальним Редактором Діаграм який викликається з Інспектора Об'єктів натисканням кнопки з трьома крапками або подвійним клапанням на компоненті TChart.

Компонент складається з об'єктів Series типу TChartSeries - серій даних, що характеризуються різними стилями відображення. Кожен компонент може

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						64

включати кілька серій. Властивості серій встановлюються за допомогою Редактора Діаграм або коді програми.

Для відображення значень використовуються методи серій (Series):

- Clear – видаляє раніше занесені дані з серії
- Add - додає в діаграму нову точку
- AddXY - додає нову точку в графік функції

Компонент TButton є звичайною кнопкою Windows, що виконує якусь дію під час натискання. Основною властивістю кнопки з точки зору зовнішнього вигляду є - Caption (напис який розміщений на кнопці).

Основна подія кнопки - OnClick, Вона виникає при натисканні на неї, в обробнику цієї події записуються оператори, які повинні виконуватися при натисканні користувача на кнопці.

Властивість Cancel, якщо її встановити в «true», визначає, що натискання користувачем клавіші Esc буде еквівалентно натисканню на дану кнопку. Властивість доцільно ставити рівним «true» для кнопок Скасувати в різних діалогових вікнах, щоб можна було вийти з діалогу, натиснувши на цю кнопку або натиснувши клавішу Esc.

Компонент TMainMenu слугує для відображення на формі головного меню. Створення меню реалізується за допомогою конструктора меню, який викликається подвійним натисканням лівою кнопкою миші по цьому компоненту. Команди контекстного меню конструктора Create Submenu дозволяють ввести підменю у виділений розділ.

Компоненти TIdUDPClient, TIdUDPServer використовуються для зв'язку з пристроями по протоколу UDP в локальній або глобальній мережі до якої підключений ПК та пристрій.

4.2 Розробка алгоритмів програми

Відкриття файлу з даними дослідження виконується за допомогою компоненту OpenDialog (OpenDialog1). Після вибору файла, весь вміст файла поміщається в компонент TRichEdit (logs).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						65

Після отримання даних дослідження звільняємо компонент графіків від попередніх досліджень (якщо програма була вже запущена та виконувались дослідження).

Створюємо цикл for для обробки отриманої інформації з файлу.

В тілі цикла обробляємо кожен рядок файла, та отримуємо параметри C0, C1, C2, C3 а також часову мітку за допомогою функції Pars.

Після отримання параметрів ми змінюємо їх з текстового типу string в формат float (для створення точок на графіках) використовуючи допоміжні функції (StrToFloat), обов'язково виконуємо заміну символів для правильної роботи програми.

Після того як дані оброблені починаємо візуалізацію дослідження, додаємо точки на графіках компоненту TChart.

Оновлюємо візуалізацію компонента графіків.

Для зв'язку з приладом використовую протокол UDP (компоненти TIdUDPClient, TIdUDPServer), код програми наведений в додатку 1.

4.3 Робота з програмою візуалізації

Системні вимоги

- Операційна система Microsoft Windows 7, 8, 10, 11
- Процесор – від 1 ГГц, 2 ядра
- Оперативна пам'ять – від 4096 Мб RAM
- Вільне місце на диску – 512 Мб (при умові збереження даних)

Огляд інтерфейсу програми візуалізації дослідження

Інтерфейс програми (Рис. 4.x): 1 – Головне меню; 2 – Графіки каналів; 3 – Інструменти керування графіками.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						66

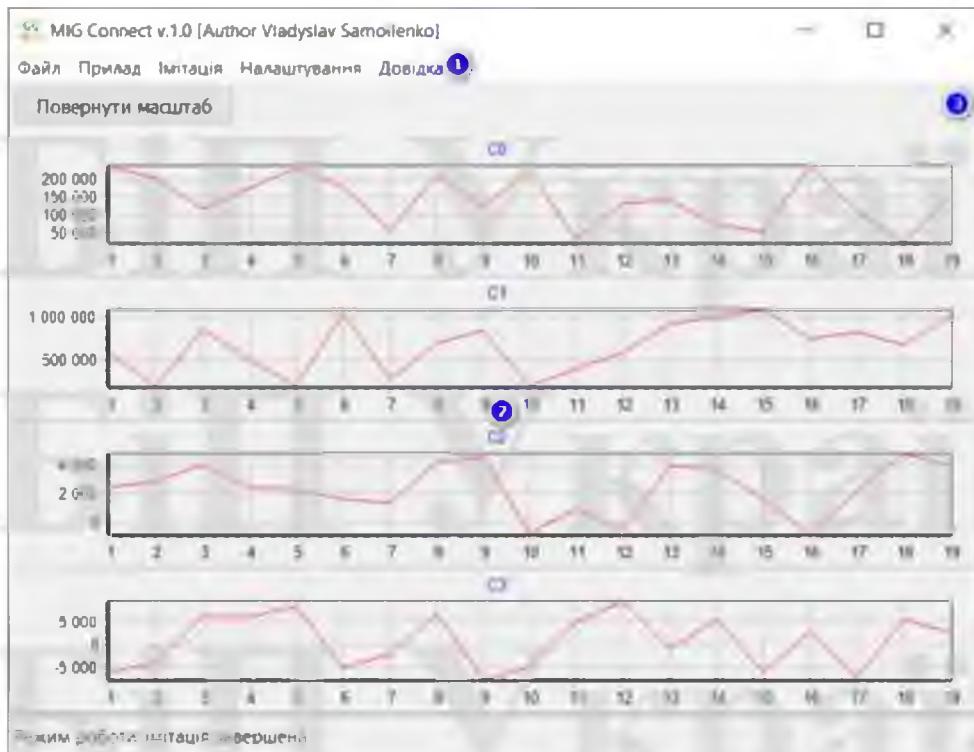


Рис. 4.x. Інтерфейс головного екрану програми (тестовий)

Опис роботи з програмою візуалізації дослідження

Відкриття файлу виконується через головне меню програми, вибравши пункт меню Файл → Відкрити, що виводить діалог вибору файлу, він дозволяє обрати файл збережений на ПК або зовнішніх носіях (рис. 4.2).

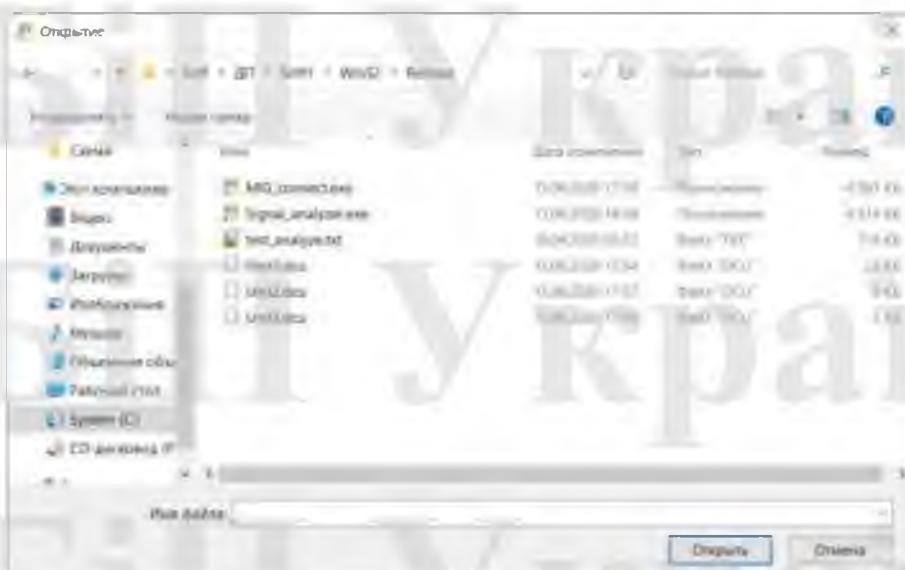


Рис. 4.2. Вікно відкриття файлу

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						67

Для встановлення з'єднання з приладом необхідно обрати пункт меню Прилад → Створити з'єднання. Буде показано вікно для введення адреси та порту підключення до приладу. Після введення та підтвердження програма спробує з'єднатись по вказаній IP адресі, та почне отримувати дані, або виведе помилку з її описом.

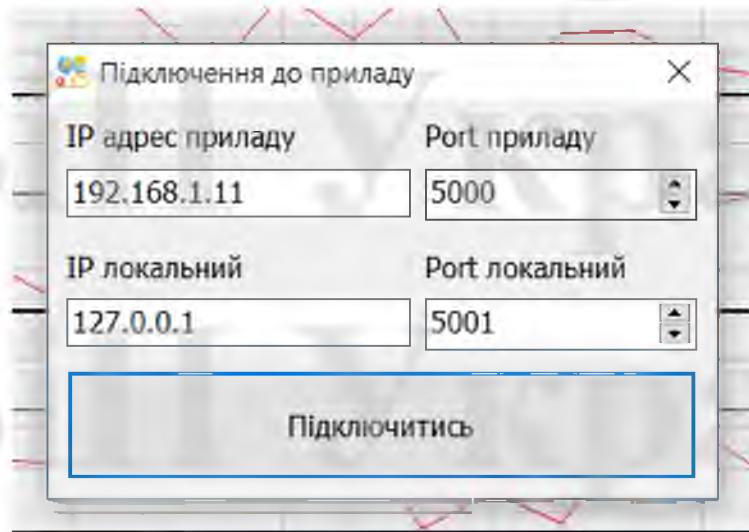


Рис. 4.x. Вікно з'єднання з приладом в локальній або глобальній мережі

На графіках будуть автоматично виводитись останні значення отримані з приладу, кількість значень можна налаштовувати в меню Налаштування. Припинити роботу з приладом можливо натисненням на кнопку «Зупинити отримання даних».

Для детального перегляду певної області на графіках, можна використовувати маніпулятор «мишу» - виділення з натиснутою лівою кнопкою миші. Натиснення правою кнопкою миші на основному полі графіку показує знову весь графік.

При необхідності збереження даних отриманих з приладу використовується пункт головного меню Файл → Зберегти, який виводить вікно збереження файлу, з можливістю вказати місцезнаходження та ім'я файлу.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						68

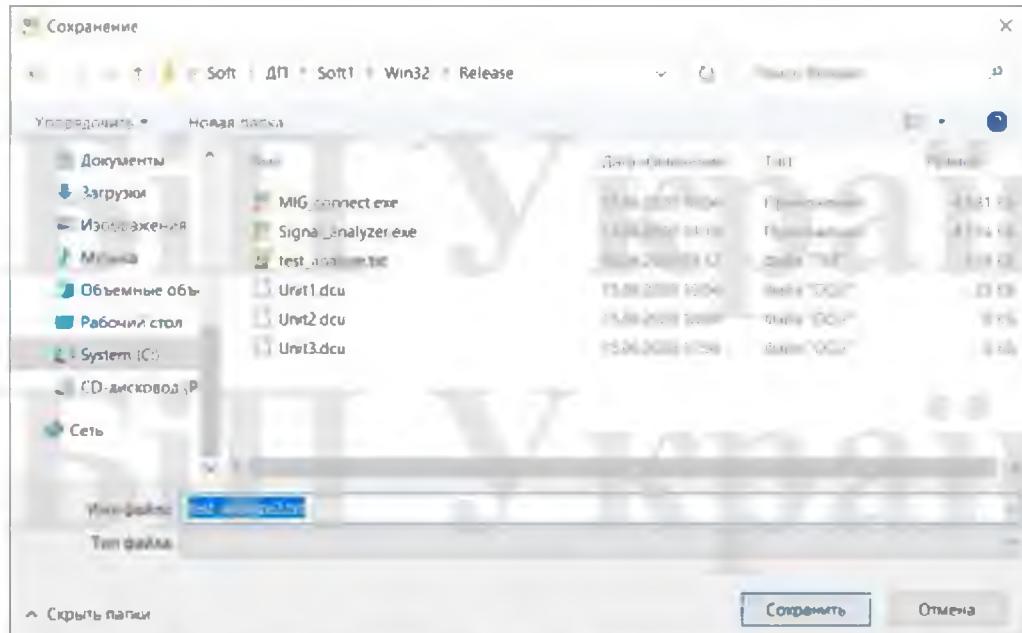


Рис. 4.x. Вікно збереження файлу

В ПЗ є можливість перегляду результатів досліджень на обладнанні без встановленого програмного забезпечення, для цього вбудована можливість експорту. Функція експорту доступна через пункт меню **Файл → Експорт**.

В даному розділі детально розглянуто інтерфейс користувача, функціонал та роботу з інтерфейсом ПЗ з точки зору непідготовленого користувача. Програма надає користувачу зручний інтерфейс для аналізу та дослідження графіків, які можуть бути отримані зі збереженого файлу. Основна можливість ПЗ це порівняння одночасно чотирьох графіків каналів, визначення характеристик отриманих даних, експорт, та редагування даних досліджень.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						69

4.4 Робоче місце для реєстрації, експериментальних досліджень та моніторингу



Рис. 4.х. Робоче місце для моніторингу та досліджень (НУБіП, кор. 11, ауд. 201, 2021 рік)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						70



Рис. 4.х. Процес експериментальних досліджень та моніторингу

Дослідження та моніторинг сигналів синхронізації навігаційних супутниковых систем проводилось за допомогою автоматизованого пристрою, додаткового обладнання та персонального комп'ютера, зі встановленим програмним забезпеченням.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						71

ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі досліджено та вдосконалено автоматизовану систему моніторингу сигналів синхронізації навігаційних супутниковых систем, створено нову версію програмного забезпечення з використанням середовища програмування Embarcadero Delphi RAD Studio 10.4.

Проведено загальний опис процесів автоматизації та моніторингу сигналів синхронізації на цифрових підстанціях енергетичних об'єктів.

Наведено переваги і недоліки використання супутникової системи навігації GPS.

Програмне забезпечення має функціонал з'єднання з системою моніторингу синхросигналів, дає змогу візуального аналізу графіків з отриманих даних, дозволяє порівнювати графіки різних каналів між собою. Для аналізу користувачу надається зручний інтерфейс. З'єднання з пристроями можливе за допомогою мережі Інтернет, що дозволяє оператору знаходитись локально або на будь-якій відстані від об'єкту над яким проводиться дослідження.

Розроблене програмне забезпечення MIG Connect може використовуватись для оцінки якості мереж синхронізації, пристрой в них, разом з системою моніторингу синхросигналів. Аналіз даних дає швидку характеристику досліджуваному об'єкту.

Результати дослідження мають діюче комерційне застосування та є актуальними і перспективними в області моніторингу сигналів синхронізації навігаційних супутниковых систем.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						72

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кількість електричної енергії та електрична потужність. Типова методика виконання вимірювань МВУ 031/08-2007. – К.: ГРІФРЕ, 2007. – 97 с.
2. Варський Г.М. Структурні схеми електромагнітних трансформаторів струму і напруги вимірювальних каналів систем керування електроенергетичними об'єктами // Вісн. Вінницького політехн. ін-ту. – 2012. – № 3.– С. 119 –123.
3. Дехтерев А.И. Идентификация модели и контроль устойчивости ЭЭС по данным синхронизированных измерений: Автореф. дис канд. техн. наук: 05.14.02. Новосибирск, 2011. – 19 с.
4. Сопель М.Ф., Слынько В.М., Тарасевич П.Й., Фещенко Л.П., Трофименко С.А. Выбор и реализация метода определения метрологических характеристик регистраторов параметров электрических сетей // Техн. електродинаміка. – 2005. – № 6. – С. 62–64.
5. Стогний Б.С., Ущаповский К.В., Мольков А.Н., Сопель М.Ф., Павловский В.В., Пилипенко Ю.В. Система глобального мониторинга, синхронизации и регистрации системных параметров ОЭС України – основа нового качества автоматизированного и оперативного управления // Енергетика та електрифікація. – 2006. – № 4. – С. 8–11.
6. Стогний Б.С., Сопель М.Ф., Варський Г.М., Яковлєва І.В. Підвищення точності вимірювання струмів електроенергетичних об'єктів у реєструючому пристрої «Регіна-Ч» // Техн. електродинаміка. Темат. вип. "Силова електроніка та енергоефективність". – 2012. – Ч. 1. – С. 114–119.
7. Танкевич Є.М., Варський Г.М., Яковлєва І.В. Експериментальна перевірка математичної моделі трансформатора струму // Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах: IV Міжнар. наук.-техн. конф., 14–16 червня 2012 р., Луцьк, 2012. – С. 61–63.
8. Танкевич Є.М., Варський Г.М., Яковлєва І.В. Математичне моделювання вимірювання векторів струму високовольтних електроенергетичних об'єктів //

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						73

Техн. електродинаміка. Темат. вип. "Силова електро- ніка та енергоефективність". – 2012. – Ч. 3. – С. 126–131.

9. ICON Интегрированная система связи на базе оптической сети [Электронный ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://selinc.com/ru/products/ICON/>.

10. Танкевич Є.М., Яковлєва І.В., Варський Г.М. Підвищення точності вимірювальних каналів струму та напруги // Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах: IV Міжнар. наук.-техн. конф., 14–16 червня 2012 р., Луцьк, 2012. – С. 78–81.

11. Яковлєва І. В., Танкевич Є. М., Варський Г. М. Математичне моделювання каналів вимірювання векторів напруги в системах керування електроенергетичних об'єктів // Вісн. Вінницького політехн. ін-ту. – 2012. – № 1. – С. 58–61.

12. Пат. України 73434. Система синхронізації функціонування засобів вимірювання та автоматизації в енергетиці, G 06 F 17/18 // Промислова власність. Офіційний бюллетень № 18, 2012 р.

13. Пат. України 73398. Мікропроцесорна система моніторингу і прогнозу залишкового ресурсу елегазових високовольтних вимикачів, G07C 3/10 // Промислова власність, Офіційний бюллетень № 18, 2012 р.

14. Пат. України 73365. Підсистема моніторингу і вводу дискретної інформації інформаційно- діагностичного комплексу РЕГІНА, G06F 11/00 // Промислова власність. Офіційний бюллетень № 18, 2012 р.

15. Автоматизований контроль якості формування синхросигналів на основі використання IP технологій: монографія / В. В. Коваль, О. В. Самков, Н. В. Федорова, В. І. Вакась. – К.: НУБіП України, 2019. - 424 с.

16. V.I. Vakas, D.A. Domin, O.O. Manko, O.O. Kulinskyi. Evolution of Stability of Synchronization Parameters in Packet Networks. / 2017 IEEE First Ukraine Conference on electrical and computer engineering (UKRCON) May 29 – June 2, 2017, Proceedings. – Kyiv, Ukraine, 2017. – P.886-889

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						74

17. V.I. Vakas, D.A. Domin, O.O. Kulinskyi. Monitoring of stability of synchronization parameters in LTE network. / 2th international conference on Advanced information and communication technologies – 2017 (AICT - 2017) 4-7 July, 2017, Proceedings. – L'viv, Ukraine, 2017. – P.201-204
18. V. Vakas, O. Manko, D. Domin, N. Fedorova. NTP Monitoring in Modern Telecommunications. / Інтелектуальні системи на інформаційні технології – 2019 (ISIT - 2019) Праці міжнародної науково-практичної конференції. 19-24 Серпня, 2019, Одеса, Україна, 2019. – с. 250-252
19. Автоматичні пристрой та системи тактової синхронізації інфокомуникаційних мереж / В.В. Коваль, Д.О. Кальян, Є.В. Кільчицький та ін. – К.: НУБіП України, 2015. – 412 с.
20. Математические и компьютерные методы моделирования электронных средств / Ю. Н. Соколов, Я. В. Илюшко. – Учеб. пособие. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2006. – 103 с.
21. Дарахвелидзе, П. Г. Программирование в Delphi 7 / П. Г. Дарахвелидзе, Е. П. Марков. – СПб. : БХВ-Петербург, 2003. – 784 с.
22. Пестриков, В. М. Delphi на примерах / В. М. Пестриков, А. Н. Маслобоев. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 496 с.
23. Ремкеев, А. А. Курс Delphi для начинающих. Полигон нестандартных задач / А. А. Ремкеев, С. В. Федотова. – М. : СОЛООН-Пресс, 2006. – 360 с.
24. Митчелл, К. Керман. Программирование и отладка в DelphiTM : учебный курс / Митчелл К. Керман. – М. : Вильямс, 2004. – 720 с.
25. Сухарев, М. В. Основы Delphi : Профессиональный подход / М. В. Сухарев. – СПб. : Наука и Техника, 2004. – 600 с.
26. G.810; Considerations on timing and synchronization issues, G.811; Timing Requirements at the Outputs of Primary Reference Clocks Suitable for Plesiochronous Operation of International Digital Links, G.812; Timing Requirements at the Outputs of Slave Clocks Suitable for Plesiochronous Operation of International Digital Links. - [Чинний від 1988-11]. - Geneva, Switzerland: Blue Book, 1988. (Рекомендація ITU-T)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						75

27. Synchronization Interface Standard - [Чинний від 1996-5]. - ANSI T1.101-1994.
28. G.810, Definitions and terminology for synchronization networks. - [Чинний від 1988-11]. - Geneva, Switzerland, Aug. 1996. (Рекомендація ITU-T)
29. G.811, Timing characteristics of primary reference clocks. - [Чинний від 1997-9]. - Geneva, Switzerland, Sept. 1997. (Рекомендація ITU-T)
30. G.812, Timing requirements of slave clocks suitable for use as node clocks in synchronization networks. - [Чинний від 1998-6]. - Geneva, Switzerland, June 1998. (Рекомендація ITU-T)
31. G.813, Timing characteristics of SDH equipment slave clocks. - [Чинний від 1996-9]. - Geneva, Switzerland, Aug. 1996. (Рекомендація ITU-T)
32. Herring, Thomas A. "The Global Positioning System". Scientific American, February 1996: p. 44-50.
33. Hofmann-Wellenhof, B. and others. GPS Theory and Practice. 2nd Edition. Wien: Springer-Verlag, 1993.
34. Leick, Alfred. GPS Satellite Surveying. New York: John Wiley & Sons, 1995.
35. Wells, David. Guide to GPS Positioning. New Brunswick: New Brunswick Graphic Services, 1987.
36. Transmission and multiplexing (TM); Generic requirements for synchronization networks. - [Чинний від 1996-5]. - ETS 300 462-2 1997. (Стандарт ETSI)
37. Коваль В. Ведені пристрой синхронізації з періодичним автопідстроюванням телекомуникаційних мереж: монографія / В. В. Коваль 2017. – 368 с.и
38. Коваль В.В., Самков О.В., Худинцев М.М., Осінський О.Л., Самойленко В.В. Інтелектуальна система формування міток точного часу інтегрованих електроенергетичних мереж SMART-технологій / Тези доповідей V Міжнар. наук.-техн. конф. “Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК”, м. Київ. 17-19 грудня 2019 р., Київ, Україна. – К.: НУБіП України, 2019

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						76

39. Коваль В.В., Зінько П.М., Лавінський Д.С., Кальян Д.О., Осінський О.Л., Самойленко В.В. Оптимізація за швидкодією пристрой контролю інтелектуальної комп'ютерно-інтегрованої системи діагностики засобів синхронізації мережі електропостачання SMART-технологій / Матеріали IX Міжнар. наук.-практ. конф. "Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системах природокористування", м.Київ 19-22 травня 2020 р., Київ, Україна. – К.: НУБіП України, 2020. – С.80-82.
40. Mills D.L. Computer network time synchronization: the network time protocol. Boca Raton, FL: CRC/Taylor&Francis, 2006. — 286 p. (Д. Миллс. Сличение времени в компьютерных сетях: протокол сетевого времени на Земле и в космосе. / Миллс, Д. [пер. с англ. под ред. А.В. Савчука], – К.: WIRCOM. 2011. – 464 с)
41. Ferrant J.-L., Ruffini S. Evolution of the standards for Packet Network Synchronization. – IEEE Communication Magazine, February 2011, pp. 132-138.
42. Hann K., Jobert S., Rodrigues S. Synchronous Ethernet to Transport Frequency and Phase/Time. – IEEE Communication Magazine, August 2012, pp. 152-160.
43. Одуан К., Гино Б. Измерение времени. Основы GPS. – М.: Техносфера, 2012, 400 с.
44. ITU-T Recommendation G.8275.2/Y.1365.2 (2019). Precision time protocol telecom profile for phase/time synchronization with partial timing support from the network.
45. Бурдинский И. Н. Принципы функционирования и источники ошибок гидроакустических систем позиционирования // И. Н. Бурдинский. – Вестник ТОГУ, 2009. № 3.
46. Lassen iQ GPS Module. System Designer Reference Manual [Electronic resource]. // Trimble Navigation Limited, 2007.
47. Real Time Positioning; Construction and implementation of a GPS-Communicator. Master's thesis in Control and Communication By Christian Darnell Christian Wilczoch – [Електронний ресурс] – Режим доступу <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:18805/FULLTEXT01.pdf> – Назва з екрану

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						77

48. BPSK – Режим доступу: <http://www.dsplib.ru/content/bpsk/bpsk.html>
[Електронний ресурс] – Назва з екрану

49. Agarwal N., Basch J., Beckmann P., Bharti P., Bloebaum S., Casadei S., Chou A., Enge P., Fong W., Hathi N., Mann W., Sahai A., Stone J., Tsitsiklis J., Van Roy B. Algorithms for GPS operation indoors and downtown // GPS Solutions. 2002. Vol. 6, no. 3. P. 149-160. DOI: 10.1007/s10291-002-0028-0

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ШИФР...	Арк.
						78