

**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 супутникових систем»

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

Керівник магістерської роботи

д.т.н., проф.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Коваль В.В.

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Самойленко В.В.

(ПІБ студента)

КИЇВ – 2021

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ТА МОНИТОРИНГУ 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 вимірів	24
1.4 Основні способи зменшення втрат сигналу синхронізації супутникових 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 МАТЛАВ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ПІДСИСТЕМИ ФАПЧ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТУ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНИТОРИНГУ СИГНАЛІВ СИНХРОНІЗАЦІЇ ЧАСУ	48
2.1 Характеристика системи дослідження.....	48
2.2 Датчик системи моніторингу сигналів синхронізації	50
2.3 Математична модель пристрою 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

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 еліптичних 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 супутникових 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-програмні комплекси 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.

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

Синхронізація подій та точний відлік 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

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

РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ТА МОНІТОРИНГУ СИГНАЛІВ СИНХРОНІЗАЦІЇ ЧАСУ НАВІГАЦІЙНИХ СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ НА ЦИФРОВИХ ПІДСТАНЦЯХ 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 знаходиться на відстані 25 000 кілометрів від людини, яка тримає GPS-приймач. Тоді відомо, що положення людини знаходиться десь на сфері радіусом 25 000 км з центром на супутнику. Однак точне місцезнаходження людини на цій сфері поки невідоме. Якщо водночас 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 , y 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

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

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 місцезнаходження 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 похибки 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 радіуса, а точність визначення місцезнаходження зростає. На практиці, глобальна супутникова система навігації в цивільному виконанні забезпечує

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

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

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

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 розповсюджену назва 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.

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

Більше десяти видів глобальних і локальних супутникових 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 угруповання 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 місцезрештування шляхом точного вимірювання часу прийому синхронізованого сигналу від навігаційних супутників антеною 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 – місцезрештування 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

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

- 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 відображень 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

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

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

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 пристроїв, 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 відключеному радіомодулі. Слід відзначити, що наявність мережі GSM для старту самого модуля A-GPS не є обов'язковим критерієм. Система A-GPS в пристроях при запуску споживає невеликий трафік < 10 кБ, 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 здійснюється як в морі, так і на

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

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 від кожної 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

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

1.3 Основна характеристика точності синхронізованих вимірів

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

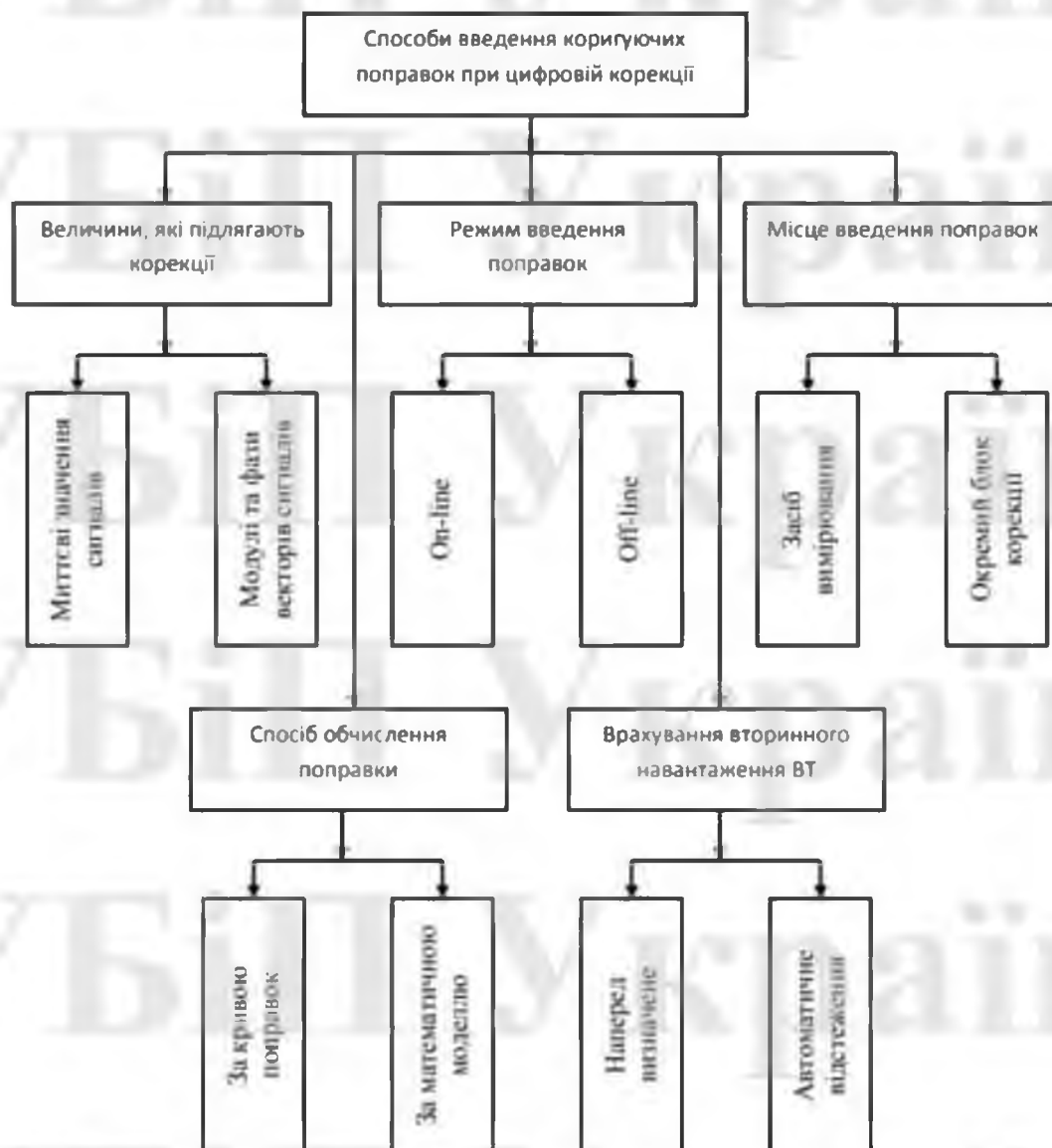


Рис. 1.7 Схема способів введення коригуючих правок при цифровій корекції

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 ustalених 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 вхід ВК і приведена до вторинної сторони ТН. U_1 – результат вимірювання вектора напруги U . ΔU_1 – вектор похибки, який визначає значення TVE [1, 2]:

$$TVE = \sqrt{\frac{(U_{1r} - U_r)^2 + (U_{1i} - U_i)^2}{U_r^2 + U_i^2}},$$

$$TVE = \frac{|\Delta \dot{U}|}{|\dot{U}|}, \quad TVE = \frac{|CE|}{|OC|}.$$

						ШИФР...	Арк.
							25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

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 вимірів 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 уможлиблює 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.

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

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

Впровадження систем моніторингу перехідних 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 приладів, 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 приладу «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 вищенаведене, основні вимоги до МЗ систем синхронізованих

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

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 відсутній 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 підключені 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 встановленні приймача необхідно забезпечити безперешкодний огляд неба, оскільки в іншому випадку результат буде негативним. Щоб годинник не втрачав зв'язок зі

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

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 супутникових сигналів необхідно обов'язково забезпечити вільний та безперешкодний огляд до відкритого неба. [9]

Розповсюджена проблема втрати або повної відсутності сигналу полягає у неправильному підключенні 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 завданням - 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).

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

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 тактовою 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 переходять 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'явилась величезна кількість викликів та вразливостей (зокрема, ультрафіолет, сонячні впливи, заклинювання, перебої), тому важливо правильно виправляти недоліки.

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

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 сигнали 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 систему GPS, існують випадки збою роботи в антенах. Ці компоненти можуть працювати не раціонально за будь-яких причин.

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

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 приладів все ще можливо.

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

Слід почати з того, що велика кількість супутникових 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 супутникових 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

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

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 C/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]

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

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].

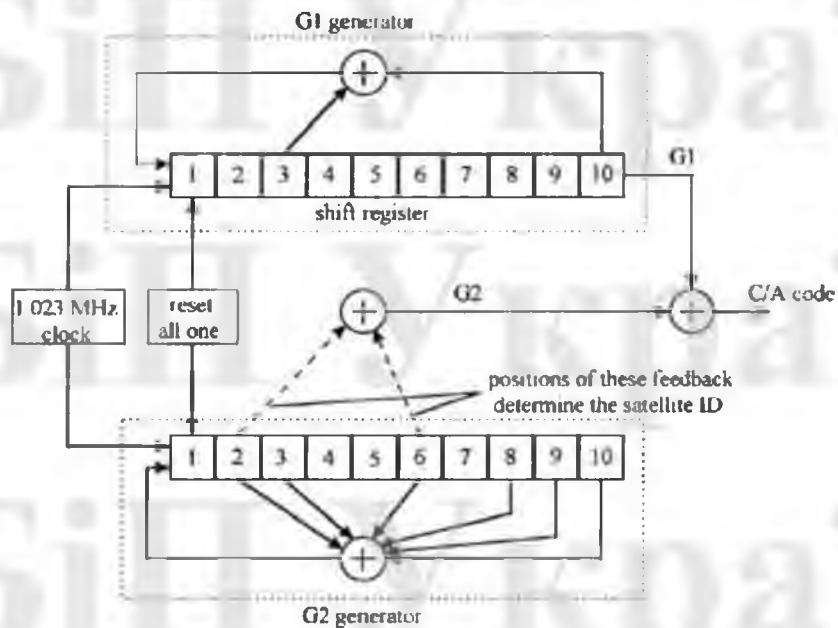


Рис.1.х. Блок генератора C/A

Коди C/A 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.

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

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

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

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ШИФР...

Арк.

42

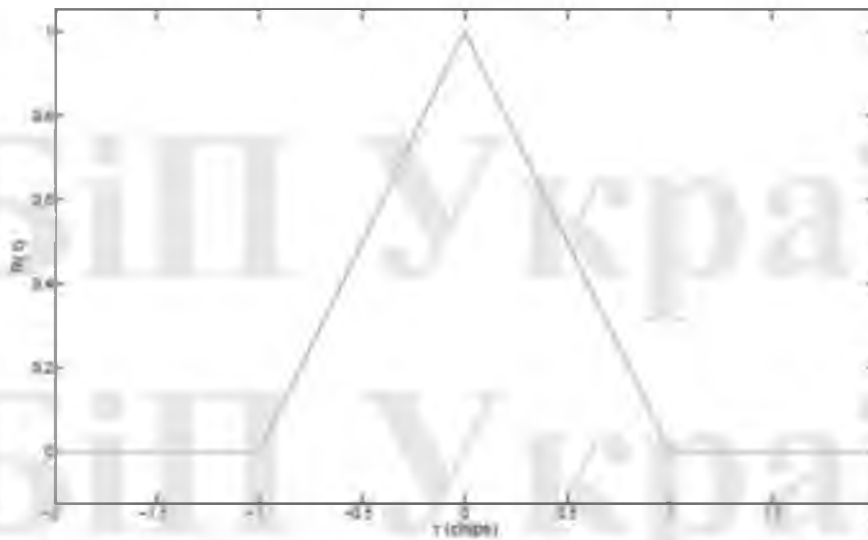


Рис. 1.х. Ідеальна автокореляційна функція кодів Голда

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ШИФР...

Арк.

44

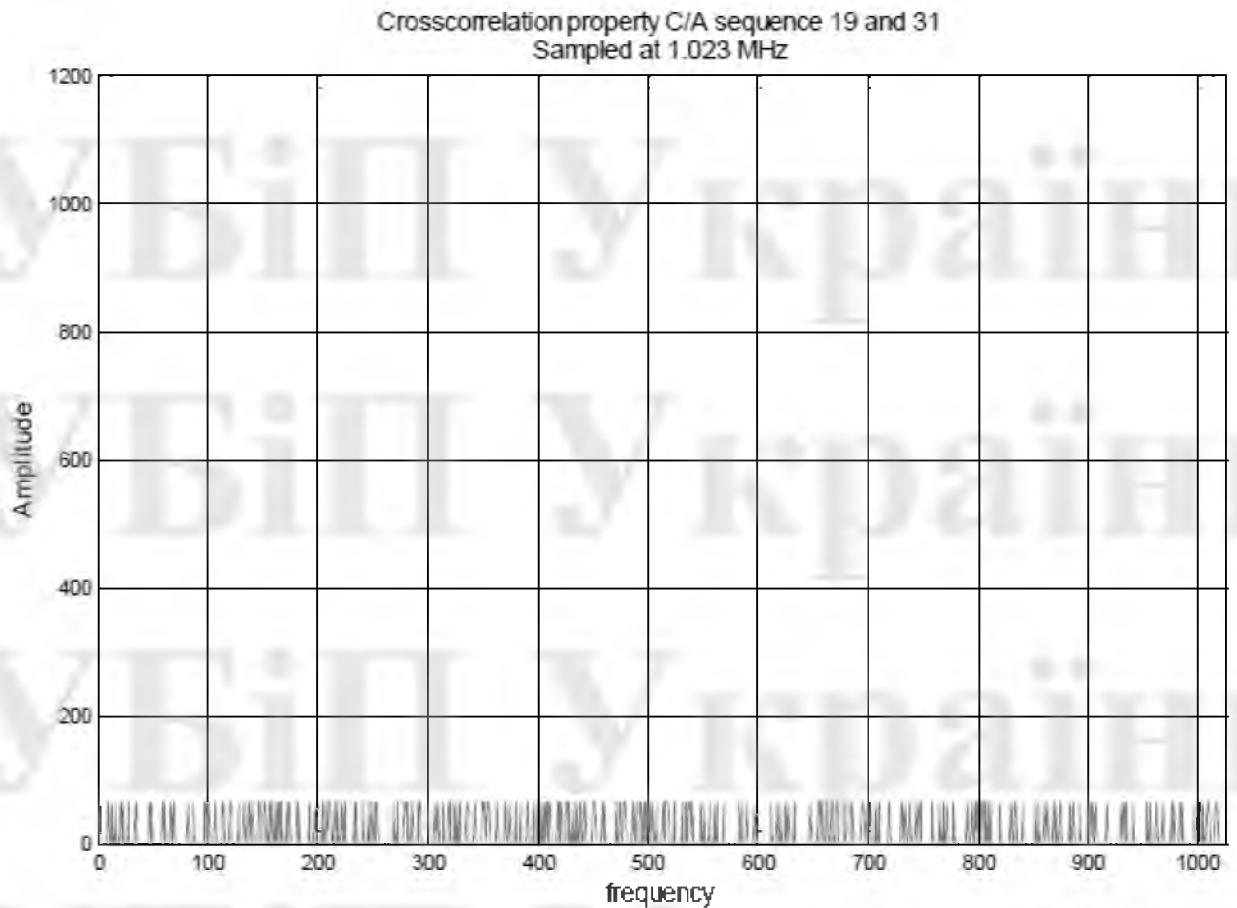


Рис.1.х. Крос-кореляційні властивості різних кодів Голда

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.

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 місцезосташування одержувача. Існує безліч різних алгоритмів для пошуку можливих доплерівських 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 біт/с => 20 мс кордонів біт даних).

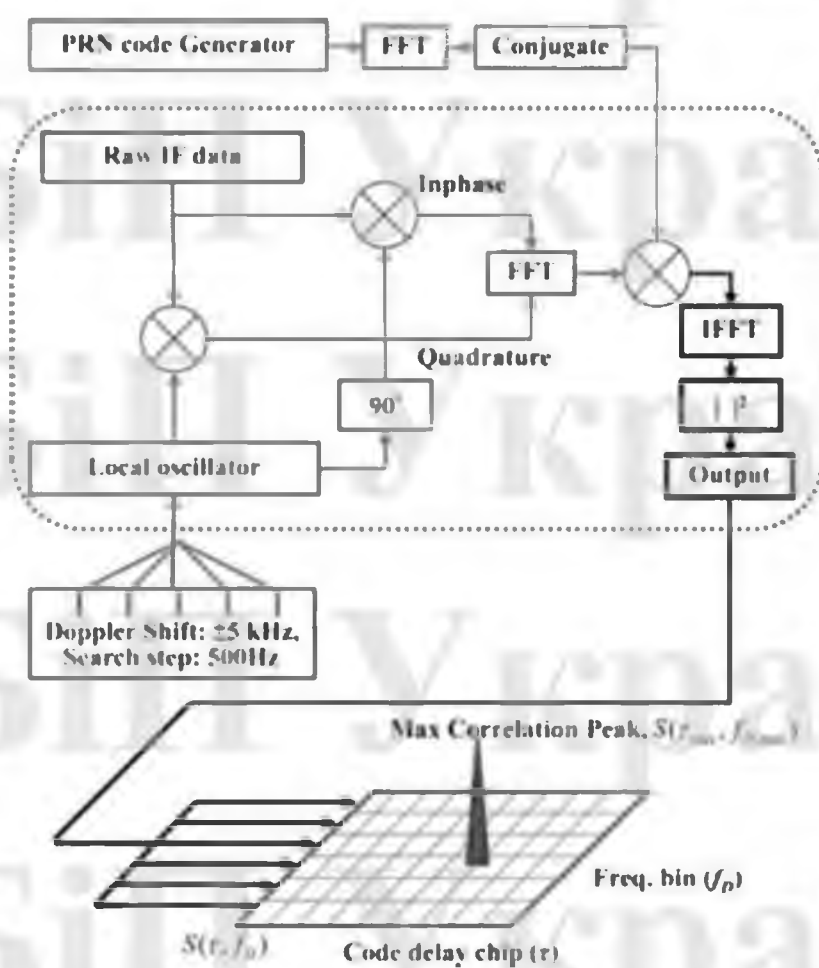


Рис.1.х. Процес отримання

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

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 RTP. 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 перемикавання 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 RTP представлена на рис. 2.1, де маємо два місцеві джерела, один на основі приймача GPS, а другий - на основі локального сервера RTP1, підключені до схеми калібрування, вихідний сигнал якої приєднаний до схеми усереднювання. Умовно можна замінити RTP-сервера на NTP і вважати схему універсальною для обох протоколів. Схема служить для попередньої обробки опорних сигналів, що поступили від віддалених джерел RTP2 та RTP3, 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

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

генератора ОСХО, середньочасової стабільності локального РТР1 і довготривалої стабільності приймача GPS (чи приймача будь-якої іншої системи GNSS).

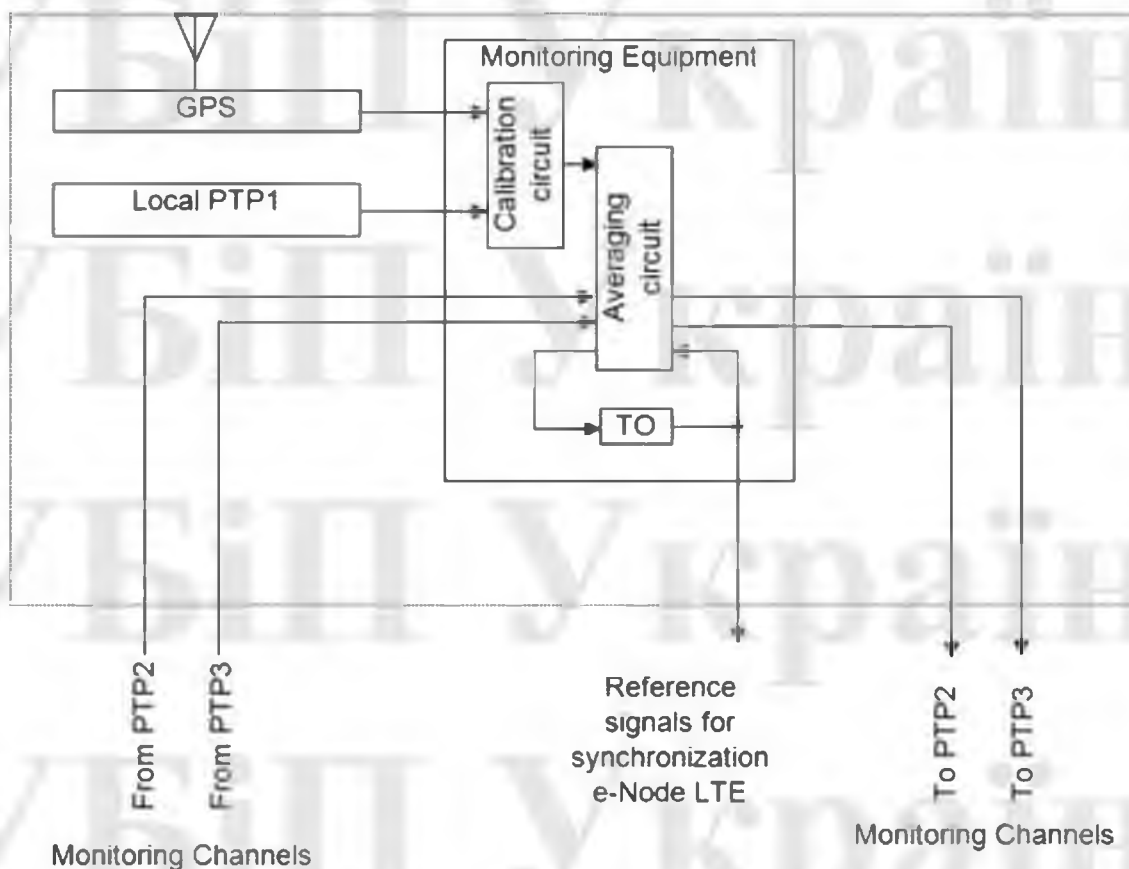


Рис. 2.х. Схема приладів моніторингу якості опорних сигналів РТР

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

За наявності кількох NTP або РТР 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 вхідних сигналів від кварцового генератора ОСХО 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 РТР 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 RTP 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. Пристрої 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 пристроїв першого рівня. Комбінуючи різні типи вимірювальних пристроїв, датчиків в залежності від задачі та фінансових ресурсів, можна будувати контрольнo–вимірювальні системи різних масштабів, складності, та вартості.

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

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

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, зображеної 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 розімкнутої системи (рис.2.3)

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

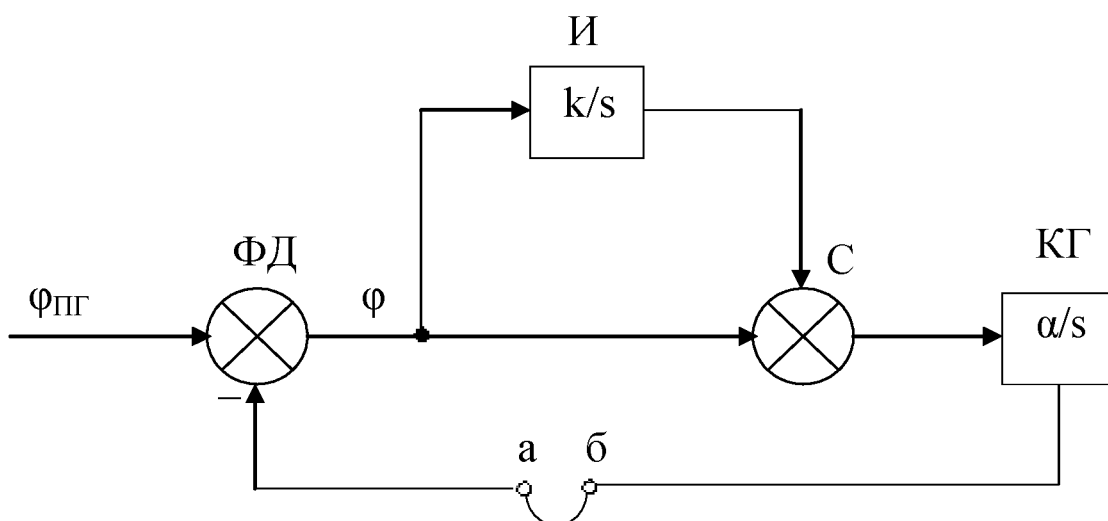


Рис.2.х. Структурна схема мікропроцесорного ВПС

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 $W_{\Phi}(s) = \left(1 + \frac{k}{s}\right) = \frac{s+k}{s}$ - 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 мкГц. 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 ($k' = 1,91 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$).

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

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРИСТРОЮ СИНХРОНІЗАЦІЇ ФАЗИ

3.1 Дослідження пристрою фазової синхронізації

Пристрої синхронізації фази 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 пристрої 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]

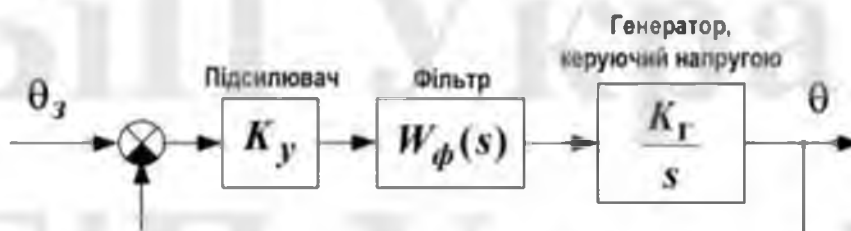


Рис. 3.х. Система синхронізації фази

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 $W_\phi(s)$:

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

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

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

$XX(ss)$ - 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

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

$HH(ss)$ - 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

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

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

де

$$tt \rightarrow ss \rightarrow 0$$

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

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

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

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 корневих гілок дорівнює числу полюсів або кількості нулів. Число нулів у нескінченності - різниця між числом кінцевих полюсів і кінцевих нулів $G(s)H(s)$.

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

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

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

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

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

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.

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

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 асимптотою, кут повороту якої π рад. Центр сили тяжіння $ss = kk$. Однак, оскільки є тільки 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 $ss = -2kk$.

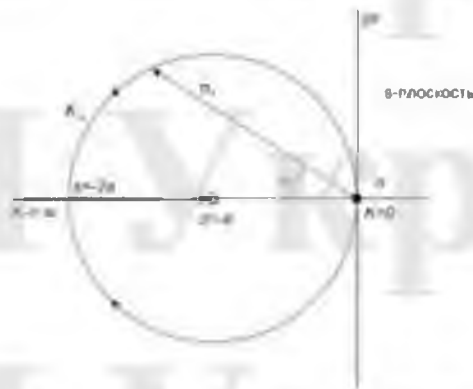


Рис. 3.х. Кореневий годограф

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

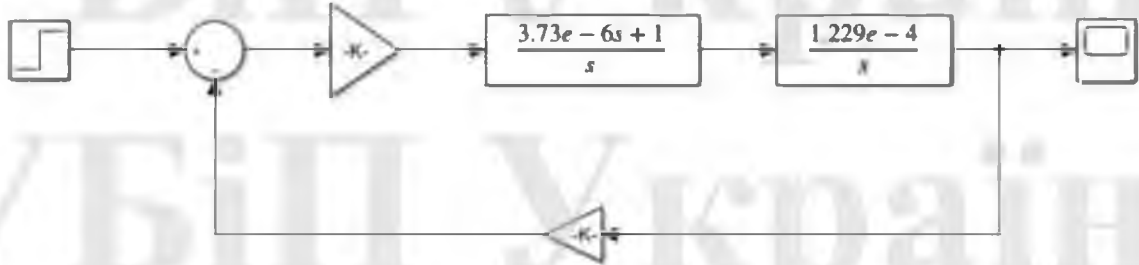


Рис. 3.х. Модель Simulink в середовищі Matlab

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

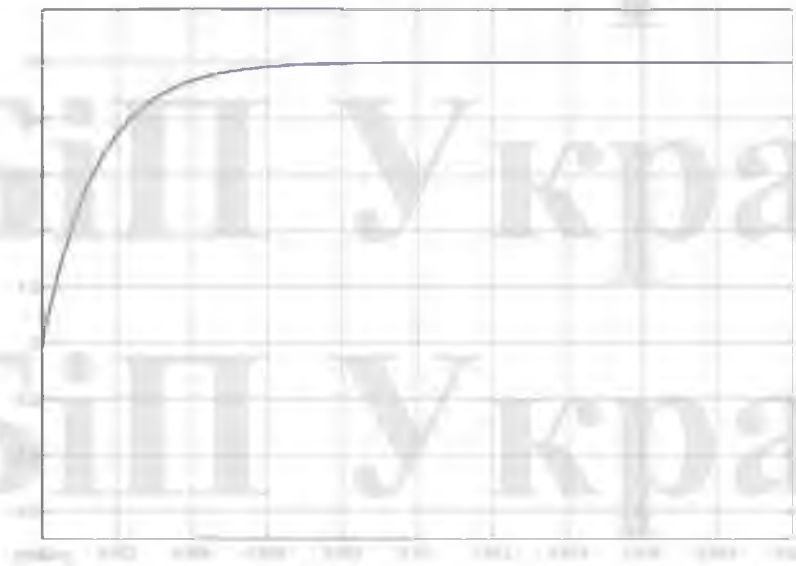


Рис. 3.х. Форма вихідного сигналу при зміні вхідного

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, процедури, функції та ін.).

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

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

наприклад, змінювання початкового значення змінної, виконання обчислення, 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 оформлений 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'єктно-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 пристроїв.

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

включати кілька серій. Властивості серій встановлюються за допомогою Редактора Діаграм або кодів 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 приладом по протоколу UDP в локальній або глобальній мережі до якої підключений ПК та прилад.

4.2 Розробка алгоритмів програми

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

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

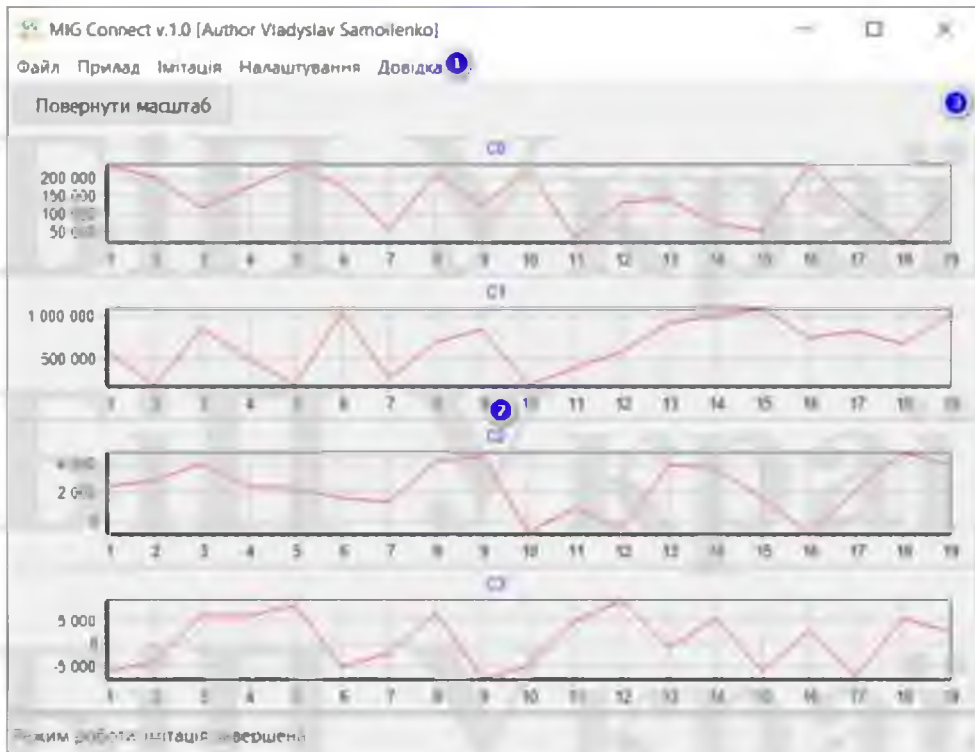


Рис. 4.х. Інтерфейс головного екрану програми (тестовий)

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).

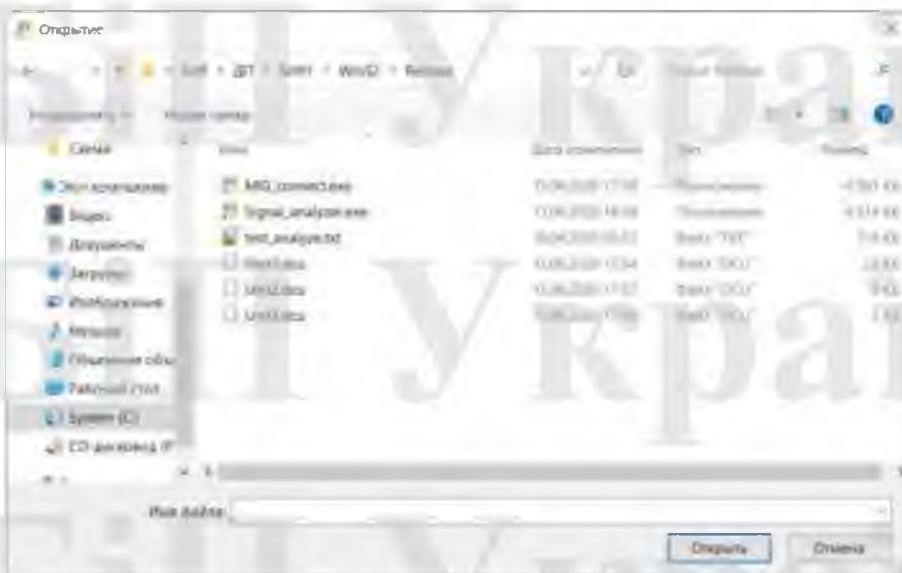


Рис. 4.2. Вікно відкриття файлу

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 супутникових 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 супутникових 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 приладом 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, пристроїв в них, разом з системою моніторингу синхросигналів. Аналіз даних дає швидко характеристику досліджуваному об'єкту.

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

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

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., Феценко 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., Ущановский К.В., Мольков А.Н., Сопель М.Ф., Павловский В.В., Пилипенко Ю.В. Система глобального мониторинга, синхронизации и регистрации системных параметров ОЭС Украины – основа нового качества автоматизированного и оперативного управления // Энергетика та електрифікація. – 2006. – № 4. – С. 8–11.

6. Стогний Б.С., Сопель М.Ф., Варський Г.М., Яковлева 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., Яковлева 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., Яковлева І.В. Математичне моделювання вимірювання векторів струму високовольтних електроенергетичних об'єктів //

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

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 доступа до ресурсу: <https://selinc.com/ru/products/ICON/>.

10. Танкевич Є.М., Яковлева 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. Яковлева 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 бюлетень № 18, 2012 р.

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

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

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

39. Коваль В.В., Зінько П.М., Лавінський Д.С., Кальян Д.О., Осінський О.Л., Самойленко В.В. Оптимізація за швидкодією пристроїв контролю інтелектуальної комп'ютерно-інтегрованої системи діагностики засобів синхронізації мережі електропостачання SMART-технологій / Матеріали ІХ 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

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

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

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