

О.А. Малишев, М.Р. Арасланов, О.М. Піскун, Є.С. Чекіров

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ВИБІР СПОСОБУ ФОРМУВАННЯ ЦИФРОВОГО КОДУ АЗИМУТАЛЬНОГО ПОЛОЖЕННЯ АНТЕНИ В ОГЛЯДОВИХ РЛС "СТАРОГО" ПАРКУ

Однією з вимог до радіолокаційної інформації є точність вимірювання координат цілей, зокрема, їх азимуту. В оглядових РЛС "старого" парку азимут антени визначається за допомогою сельсинів або синусно-косинусних обертових трансформаторів, а обробка сигналів з їх виходу здійснюється аналоговими пристроями. Для підвищення точності вимірювання азимуту антени в таких РЛС запропоновано використовувати зі складу сельсинної пари лише сельсин-датчик. Сигнали з виходу обмоток синхронізації сельсин-датчика перетворюються у цифровий вигляд. За отриманими значеннями формуються код поточного положення антени та мітки азимута.

Ключові слова: радіолокаційна станція, синхронно-слідкуючий привод, енкодер, сельсин, обертовий трансформатор, мітка азимута.

Вступ

Постановка проблеми. При виконанні завдань щодо захисту повітряного простору держави з боку винищувальної авіації та зенітних ракетних засобів висуваються певні вимоги до радіолокаційної інформації (РЛІ). Серед цих вимог окремо виділяється вимога щодо точності визначення поточних координат цілей. Джерела РЛІ, якими є засоби радіолокації радіотехнічних військ, здійснюють локацію повітряних об'єктів у полярній системі координат, тобто визначають їх азимут та дальність. Будь яка похибка у визначенні цих параметрів приводить до зменшення можливостей наведення радіолокаторів вогневих засобів, які мають достатньо вузьку діаграму спрямованості антени. Як наслідок, це призведе до погіршення якості виконання бойового завдання щодо знищення засобів повітряного нападу або порушників використання повітряного простору [1–3].

Аналіз зразків радіолокаційних станцій (РЛС), які знаходяться на озброєнні радіотехнічних підрозділів Повітряних Сил ЗСУ, показує, що вони представлені як новітніми станціями, так і РЛС «старого» парку. Особливостями останніх є те, що ці РЛС побудовані на застарілій елементній базі (електровакуумних приладах, електромеханічних реле тощо), і обробка інформації в них здійснюється в аналоговому вигляді [4–5].

Зокрема, передача інформації про поточне азимутальне положення антени від обертової частини РЛС до індикаторної апаратури здійснюється за допомогою синхронно-слідкуючого приводу (ССП) на основі сельсинних пар: сельсин-датчиків та сельсин-приймачів. При цьому робота виконавчого засобу приводу забезпечується за допомогою лампових підсилювачів. Потенційно такі системи мають певні похибки при визначенні кутового положення антени. Ці похибки обумовлені в більшій мірі принципом дії електромеханічних пристроїв, нестабільніс-

тю параметрів лампових каскадів інерційністю виконавчих засобів тощо. Отже, актуальним є питання підвищення точності вимірювання азимуту цілей в оглядових РЛС "старого" парку шляхом часткової модернізації синхронно-слідкуючого приводу із застосуванням цифрових пристроїв.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, присвячених питанням створення та застосування пристроїв передачі інформації про кутове положення об'єктів, показує що сучасні тенденції в більшій мірі спрямовані на розробку та застосування цифрових перетворювачів «кут-код» [6–7]. Однак для радіолокаційних станцій "старого" парку реалізація таких перетворювачів не завжди виправдана, оскільки потребує докорінної модернізації апаратури локатору. Тому доцільне використання спрощених методів формування коду азимутального положення антени, наприклад [8–11].

Метою статті є аналіз існуючих шляхів створення та удосконалення систем передачі азимуту в оглядових РЛС, а також вибір схеми перетворювача «кут положення антени – формувач коду» для станцій "старого" парку з використанням цифрових пристроїв.

Виклад основного матеріалу

При визначенні шляхів підвищення точності вимірювання азимуту цілей доцільно спочатку розглянути джерела помилок вимірювання їх координат. Основними з причин помилок є [4; 12]: вплив власних шумів пристроїв радіолокаційних станцій; недосконалість обробки сигналів і знімання інформації в радіолокаційних станціях.

Перший чинник дозволяє оцінити потенційну точність вимірювання координат, тобто теоретичну межу, якої можна досягти при цілком оптимальній обробці сигналів. Для існуючих зразків РЛС покращення точнісних характеристик в цьому напрямку можливе лише при докорінній модернізації станції: наприклад, розробка (доопрацювання) антенної сис-

теми, зміна виду зондуючого сигналу, тощо. Але ці шляхи не завжди є економічно недоцільними.

Друга група причин характеризує РЛС, як вимірювальний інструмент, і, відповідно помилки такого типу називають інструментальними. Саме вони здійснюють основний внесок у точності характеристики РЛС. Складові інструментальних помилок викликані впливом різних чинників, які, як правило, статистично незалежні. Тому середньоквадратична помилка вимірювання будь-якої координати x розраховується за формулою:

$$\sigma_x = \sqrt{\sum_i \sigma_{xi}^2}, \quad (1)$$

де σ_{xi} – складова помилки за рахунок визначеного чинника. В статті будуть розглянуті лише інструментальні помилки вимірювання азимута. Такі помилки обумовлені такими чинниками: 1) неточністю орієнтування антени; 2) погрішністю роботи пристроїв визначення азимутального положення антени; 3) погрішністю формування масштабних відміток азимута; 4) помилками оператора при візуальному зніманні азимута цілей.

Неточність орієнтування визначається тим методом, який застосовується в радіолокаційних станціях. Так, в станціях «старого» парку джерелами помилок є [12–14] неточність визначення орієнтирних напрямків; неточність юстировки антени; погрішності теодоліта (бусолі) тощо. Зазначені операції передбачені ще на етапі розгортання РЛС. Тому будь-які зміни в їх змісті та послідовності складають окреме завдання.

В новітніх РЛС окрім зазначеного вище способу альтернативним шляхом орієнтування антени вибирають використання сучасних пристроїв, які здійснюють GPS-навігацію.

Другий та третій чинники погрішностей обумовлені застосуванням в РЛС пристроїв та алгоритмів, які існували на час розробки станції. Тому зменшити азимутальні помилки можливо за рахунок переходу до сучасної елементної бази та удосконалення обробки сигналів.

Помилки в роботі оператора є основними при візуальному зніманні координатної інформації. При вимірюванні азимута вони містять такі складові.

1. Помилки у визначенні центру відмітки на екрані індикатора кругового огляду (ІКО). Вони залежать від обраної яскравості променя, його фокусування та масштабу індикатора (чим крупніше масштаб, тим менше помилка).

2. Помилки в інтерполяції положення відмітки щодо 5- або 10-градусних відміток азимута.

3. Помилки за рахунок запізнювання інформації при кінцевому часі знімання. При візуальному зніманні час знімання координат складає 1...2 с, що приведе до помилки в положенні цілі на момент видачі інформації. Звичайно ж оператор може робити відлік і з урахуванням руху цілі. Однак при цьому виникають інші випадкові погрішності.

4. Додаткові помилки, які виникають на малих дальностях унаслідок сходження азимутальних відміток.

Слід відзначити, що помилки оператора можуть бути зменшені або взагалі виключені при переході до автоматизованого (автоматичного) способу знімання інформації. Таким чином, основними напрямками у підвищенні точності вимірювання азимуту цілей доцільно вважати розробку (удосконалення) пристроїв визначення азимутального положення антени та застосування ефективних алгоритмів обробки інформації при вимірюванні азимуту цілей і формуванні масштабних відміток азимута.

При виборі підходів до вирішення цього завдання слід відзначити, що зазначені шляхи доцільно розглядати не роздільно, а в сукупності, оскільки при технічній реалізації в РЛС вони пов'язані. Тому наведена нижче класифікація є дещо умовною.

Отже, в залежності від варіанту технічної реалізації можна виділити такі способи визначення кутового положення антени: 1) застосування слідкуючих систем за положенням; 2) безпосереднє визначення кутового положення вала антени; 3) комбінація цих двох способів. Слідкуючі системи є різновидом систем автоматичного керування кутовим положенням вала об'єкта [15]. В таких системах об'єкт керування має бути встановлений у положення, відповідне задавальному діянню, яке надходить зовні. Спрощена структурна схема системи наведена на рис. 1.

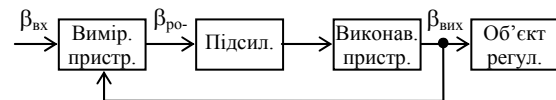


Рис. 1. Спрощена схема системи автоматичного керування кутовим положенням вала

Система містить вимірювальний пристрій, підсилювальний пристрій, виконавчий пристрій і об'єкт регулювання. Вимірювальний пристрій здійснює вимірювання азимутальної розузгодженості вхідної $\beta_{вх}$ і вихідної $\beta_{вих}$ осей. Виконавчий пристрій здійснює поворот вихідної вісі $\beta_{вих}$, зменшуючи азимутальну розузгодженість $\beta_{вх}$ та $\beta_{роузг}$ до нуля, одночасно змінюючи кут повороту об'єкта регулювання. Підсилювальний пристрій підсилює сигнал розузгодженості до величини, необхідної для відпрацювання розузгодженості.

Серед елементів схеми особливе місце займає вимірювальний пристрій, оскільки саме від його типу найбільше залежить точність у визначенні азимуту антени. Вимірювальний пристрій конструктивно являє собою датчик кута, основними видами якого є потенціометричні; трансформаторні; гіроскопічні; цифрові. Принципово не всі види цих датчиків можуть бути реалізовані в оглядових РЛС, оскільки вони мають обмежений сектор роботи за кутом (потрібний сектор для оглядових РЛС складає

360°). З них для задоволення зазначених умов можна вибрати лише синусно-косинусні обертові трансформатори (СКОТ) та цифрові датчики [6–7; 15].

Окреме місце серед датчиків кута займають сельсини – електричні машини змінного струму, які мають властивість до самосинхронізації. Вони використовуються для синхронного повороту або обертання двох (за необхідністю декількох) осей, механічно не пов'язаних один з одним [12–15].

Сельсин має ротор і статор. Ротор має, як правило, одну обмотку (збудження), а статор – три обмотки синхронізації. У слідкуючих системах використовують сельсинну пару: сельсин-датчик та сельсин-приймач. Статорні обмотки сельсин-датчика і сельсин-приймача електрично з'єднуються одна з одною. Серед схем підключення сельсинної пари розрізняють індикаторну (малопотужну) та трансформаторну (силову), яка забезпечує змінення положення об'єктів керування при досить великих навантаженнях. Конкретні схеми ССП з використанням синусно-косинусні обертових трансформаторів або сельсинів залежать від способу формування розгортки на екрані ІКО та порядку формування азимутальних міток на екрані ІКО.

В оглядових РЛС «старого» парку розгортка на екрані індикатора кругового огляду може формуватись або електромеханічним способом – шляхом механічного обертання відхиляючої котушки навколо горловини трубки ІКО, або електронним способом – шляхом подачі напруги розгортки на дві ортогональні котушки [12–14]. Формування азимутальних міток на екрані індикатора кругового огляду здійснюється різними шляхами: за допомогою міток масштабних азимутальних імпульсів (МАІ); використанням імпульсів із контактів датчика 10- та 30-градусних міток, розміщеного на валу серводвигуна, тощо. Але в будь-якому разі такі схеми не є замкнутими, а використовують або напруги розузгодження, або спеціальні імпульси з різних пристроїв.

При формуванні розгортки на екрані індикатора кругового огляду електромеханічним способом в якості вимірювального пристрою, як правило, використовують сельсинні пари, підключені за трансформаторною схемою. При цьому об'єктом керування виступає відхиляюча котушка, яка обертається навколо горловини трубки ІКО [12; 14]. Структурна схема слідкуючої системи за положенням вала антени з використанням сельсинної пари (в трансформаторному режимі) має вигляд, зображений на рис. 2.

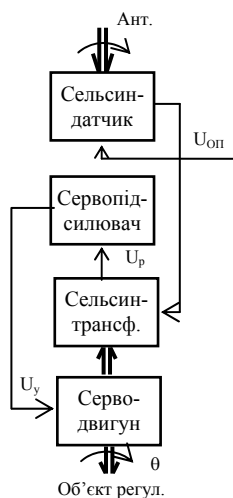


Рис. 2. Схема слідкуючої системи на сельсинах

При формуванні розгортки на екрані ІКО електронним способом в якості вимірювального пристрою, в більшості випадків, використовують синусно-косинусні обертові трансформатори. Такі схеми застосовують, як правило, при необхідності відображення на екрані ІКО додаткової інформації (маркерів, окремих міток) [11; 13].

Цифрові датчики кута (енкодері) перетворюють сигнал, в якому міститься інформація про кут вала антени, у цифровий вигляд [6–7; 15]. Такі датчики можуть застосовуватись як у слідкуючих системах для керування положенням об'єктів, так і при передачі вимірних параметрів споживачам.

В цифрових датчиках перетворення кутових положень у цифровий код здійснюється шляхом безпосереднього (прямого) кодування. Конструктивно вони складаються з двох основних частин: пристрою кодування та допоміжної електронної системи, яка забезпечує зчитування й перетворення коду у необхідний вигляд.

Серед еncoderів виділяють інкрементні (здатні формувати інформацію лише при обертанні вала) та абсолютні (формують код при будь-якому положенні вала).

За принципом дії цифрові датчики кута поділяються на оптичні (фотодатчики), магнітоелектричні, п'єзоелектричні, індуктивні та ін.

Основним недоліком еncoderів на сьогодні є їх висока вартість, що обмежує їх використання при неглибоких модернізаціях РЛС.

Варіантом визначення кутового положення антени в оглядових РЛС є комбінація елементів слідкуючих систем та еncoderів, які формують цифрові коди. Такі системи містять аналогові датчики (наприклад, сельсини, синусно-косинусні обертові трансформатори) та окремі цифрові пристрої (генератор тактових імпульсів, лічильник, тригер, тощо) [8–11]. Приклад схеми визначення кутового положення антени з використанням СКОТ та цифрових пристроїв наведений на рис. 3.

Порядок роботи схеми наступний. В генераторі тактових імпульсів ГТІ формується послідовність імпульсів з певною частотою. В одному напрямку вони надходять на ділянку, де зменшується частота надходження імпульсів, і здійснюється формування меандру. Останній надходить на ФНЧ, в якому він їх перетворюється на синусоїду.

Сформовані коливання є опорною напругою, яка надходить на роторну обмотку збудження синусно-косинусного обертового трансформатора. На виході трансформатора має місце синусоїда тієї ж частоти, що і опорна напруга, але зміщена за фазою на кут, що відповідає поточному положенню антени.

Перетворення набігу фаз у часовий інтервал здійснюється за допомогою двох формувачів F та RS-тригера Tг, на виході якого формуються прямокутні імпульси відповідної тривалості.

Перетворення цих імпульсів у двійковий код здійснюється за допомогою двійкового лічильника

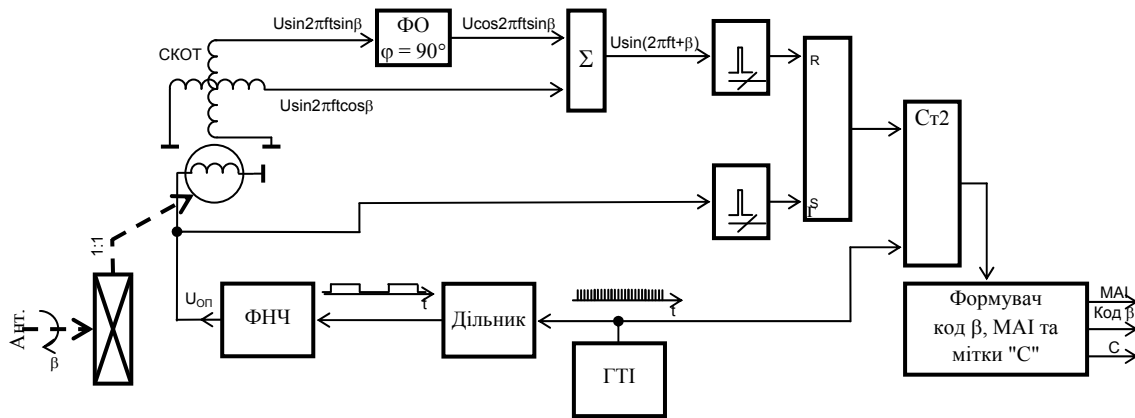


Рис. 3. Структурна схема формувача коду азимута

СТ2, на керуючий вхід якого з виходу RS-тригера надходять часові інтервали (для відкривання лічильника), а на лічильний вхід – тактові імпульси з ГТІ. Сформований на виході лічильника СТ2 двійковий код і є кодом азимута.

Слід відзначити, що схема, наведена на рис. 3, дозволяє одночасно вирішувати два завдання: формування коду азимута для подальшого створення розгортки на екрані ІКО та формування міток МАІ.

В оглядових РЛС «старого» парку формування міток МАІ здійснюється іншими шляхами.

Один з них передбачає використання диска з прорізами, який обертається в проміжку між електричними лампами і фотодіодами [12]. При проходженні прорізу фотодіод засвічується і на виході виробляється сигнал (імпульс). Як правило, диск МАІ має 64 прорізи й обертається з передатним відношенням 64:1, так що за один оберт антени формується $64 \times 64 = 4096$ імпульсів МАІ.

В подальшому ці імпульси надходять на лічильники, які виробляють більш тривалі (один період зондування) імпульси через кожні 5° , 10° та 30° .

Окремим завданням в оглядових РЛС «старого» парку є формування міток азимута (без використання міток МАІ) для їх подальшого відображення на екрані ІКО.

Одним варіантом його вирішення є використання напруг розузгодження на виході сельсин-приймачів для випадку, коли ротор сельсин-датчика обертається зі швидкістю, більшою швидкості вала антени [13]. При цьому огинаюча напруг розузгодження за один оберт антени проходить через нуль кілька разів. Підбором коефіцієнта передачі між валом антени та ротором сельсин-датчика можна домогтись, щоб кількість таких переходів відповідала кількості 5- або 10-градусних відміток азимута за один оберт антени. В подальшому з них формуються відмітки 30° .

Іншим способом формування міток азимута є застосування спеціальних дисків із контактними площадками [14]. Ці диски мають тридцять шість 10-градусних контактних площадок, дванадцять 30-градусних та одну 0-градусну (для мітки «Північ»).

При замиканні цих площадок зі спеціальним контактним елементом на виході пристрою формується імпульс тривалістю, що складає кілька періодів слідування імпульсів запуску.

В подальшому в пристрої збігу виділяється перший імпульс запуску, яких забезпечує формування 10-градусних, а потім і 30-градусних міток азимута.

Виходячи з аналізу схем, реалізованих на сьогодні в оглядових РЛС різних класів, можна зробити висновок, що в оглядових РЛС «старого» парку з використанням СКОТ завдання підвищення точності вимірювання азимуту цілей є відносно простим, оскільки для його вирішення схеми вже відомі та існують.

В РЛС з використанням сельсинної пари це завдання є більш складним, оскільки потребує певних досліджень питання та розробки схем.

Авторами статті пропонується спосіб, заснований на визначенні нульових значень в огинаючій коливань на обмотках синхронізації сельсин-датчика. На відміну від способу описаного вище [13], коли нульові значення в огинаючій визначаються в коливаннях на виході ротора сельсин-приймача, пропонується варіант дозволяє зменшити кількість електромеханічних пристроїв при визначенні азимуту антени.

В основі запропонованого способу покладені властивості роботи сельсину.

При подачі напруги збудження на роторну обмотку на обмотках синхронізації виникають коливання з частотою цієї напруги.

При обертанні ротора напруги на обмотках синхронізації зазнають амплітудної модуляції (рис. 4). При певних положеннях ротора огинаючі приймають нульові значення, а фаза коливань змінюється на протилежну по відношенню до опорної частоти на 180° (рис. 4).

Співвідношення положень ротора та нульових значень огинаючої має закономірний характер. Тому аналізуючи напругу одночасно в трьох обмотках, можна визначити азимут антени з певною дискретністю.

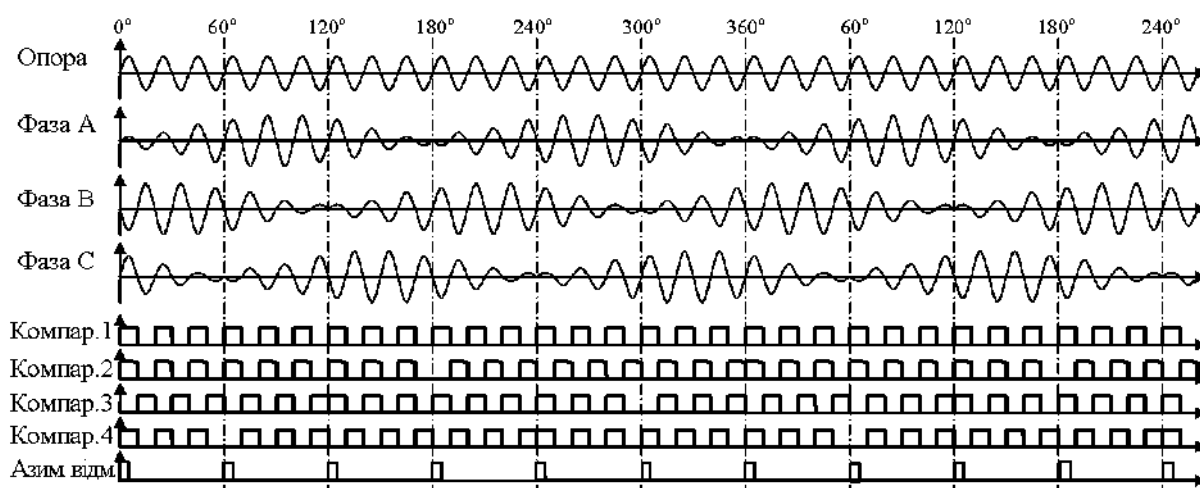


Рис. 4. Принцип формування азимутальних імпульсів з напруги ССП

Аналіз рис. 4 показує, що при обертанні ротора сельсин-датчика синхронно з валом антени (грубий канал) дискретність у визначенні азимуту становить 60° . При використанні сельсин-датчика точного каналу, який обертається, як правило, в 36 разів швидше валу антени, дискретність відповідно зменшується і складає $1,66^\circ$. Якщо в нульових значеннях огибаючої формувати опорні імпульси U_{Op} , то їх можна використовувати для корегування поточного коду азимута, який створюється з використанням імпульсів МАІ. Схема запропонованого пристрою наведена на рис. 5. Вона містить формувач опорних імпульсів U_{Op} , який складається з пристрою перетворення синусоїди в меандр та пристрою порівняння; формувач опорних кодів; генератор тактових імпульсів ГТІ; формувач імпульсів МАІ; формувач

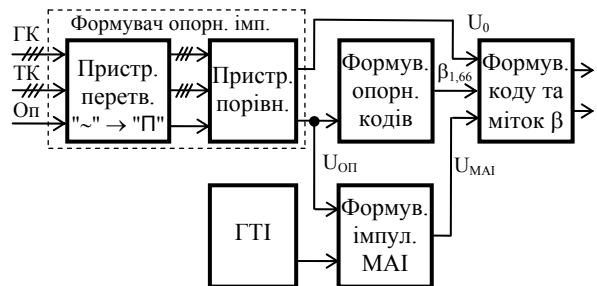


Рис. 5. Структурна схема пристрою визначення азимута антени з напруги ССП

поточного коду азимута та міток азимута.

На вхід схеми надходять синусоїдальні коливання з обмоток синхронізації сельсин-датчика. В пристрої перетворення вони набувають вигляд послідовності прямокутних імпульсів (меандру) тієї ж частоти. Це здійснюється за допомогою компараторів.

Кількість компараторів має дорівнювати семи: три компаратори використовуються для перетворення сигналів грубого каналу, три – для точного каналу, один – для перетворення опорної напруги.

Сформовані меандри далі подаються на схеми порівняння, де визначаються моменти зміни фази в напругах сельсинів відносно опорної напруги. Ці

моменти є точкою проходження огибаючої сигналів грубого й точного каналів через нуль. В даних точках саме і формуються імпульси U_{Op} заданої тривалості.

Ці імпульси далі надходять на формувач опорних кодів $\beta_{1,66}$, в якому записується набір значень, що відповідають азимутам, кратним $1,66^\circ$.

Для формування міток МАІ використовуються імпульси з ГТІ, які надходять на формувач імпульсів МАІ. Цей формувач додатково враховує нестабільність швидкості обертання антени. Для цього на нього також надходять опорні імпульси U_{Op} .

Далі імпульси МАІ $U_{МАІ}$ подаються на формувач поточного коду азимута та міток азимута.

Поточний код азимута виробляється з імпульсів МАІ шляхом їх підрахування у лічильнику. Для зменшення помилок, які можуть накопичуватись при обертанні антени, з формувача опорних кодів через кожні $1,66^\circ$ надходять відповідні коди $\beta_{1,66}$.

Мітки азимута 10° та 30° генеруються при нарахуванні лічильником відповідної кількості імпульсів МАІ.

Для юстирування схеми на формувач поточного коду азимута надходить імпульс U_0 , який генерується у формувачі опорних імпульсів з напруги грубого каналу. З нього виробляється імпульс ПІВНІЧ. Суміщення опорного імпульсу U_0 та дійсного імпульсу ПІВНІЧ проводиться одноразово при підключенні приладу до конкретної РЛС.

Для коректності застосування запропонованої схеми доцільно проаналізувати помилки, що виникають при її роботі. До цих помилок слід віднести такі [15].

1. Помилки, обумовлені дискретністю формування кодів азимута. Ці помилки залежать від частоти надходження імпульсів МАІ, тобто від їх кількості за один оберт антени. Як правило в оглядових РЛС це значення вибирається кратним двом і складає $2^{12}=4096$. При формуванні імпульсів МАІ за допомогою незалежного ГТІ помилки залежать від швидкості обертання антени.

2. Помилки, обумовлені відсутністю синхронізації імпульсів $U_{оп}$ та U_T . Ці помилки є методичними. Їх максимальне значення не перевищує періоду надходження тактових імпульсів $T_{ГТТ}$. Вони підпорядковуються рівномірному закону розподілу в інтервалах підрахунку тактових імпульсів, а їх композиція відповідає трикутному закону розподілу (розподілу Сімпсона). При цьому середньоквадратична помилка складає

$$\sigma_{дискр} = T_{ГТТ} / \sqrt{6}. \quad (2)$$

Зазначені помилки можна зменшити підвищенням частоти надходження тактових імпульсів, але при цьому слід урахувати граничну частоту роботи лічильника.

3. Нестабільність частоти надходження тактових імпульсів.

Помилки нестабільності у формуванні тактових імпульсів значно менші помилок другого типу. Для їх зменшення можна застосовувати кварцову стабілізацію у відповідних генераторах.

4. Помилки, обумовлені старінням інформації про період надходження імпульсів $U_{оп}$.

Якщо припустити відхилення швидкості обертання антени в сусідніх періодах надходження імпульсів $U_{оп}$ навіть на 5%, то розрахункові значення помилок у визначенні азимуту будуть дорівнювати приблизно 5' (при швидкості обертання антени 3 об/хв).

Реальні погрішності будуть значно меншими, ніж розрахункові, оскільки антена РЛС має певну інерційність. Для порівняльного аналізу зазначених вище помилок доцільно провести їх розрахунки для двох основних швидкостей обертання антени: 3 та 6 об/хв. При цьому обчислення періодів надходження імпульсів може бути проведено, виходячи з часу одного оберту антени та періоду слідування імпульсів. Результати розрахунків наведені в табл. 1.

Порівнюючи значення, наведені в табл. 1, можна зробити висновки.

1. Основний внесок у помилки вимірювання азимуту з використанням запропонованої схеми вносить крок дискретизації імпульсів МАІ. При цьому дискретність імпульсів МАІ складає 5,27'.

2. Нестабільністю швидкості обертання антени в сусідніх періодах надходження імпульсів $U_{оп}$ можна знехтувати внаслідок малого кутового інтервалу їх надходження (1.66°) при великій інерційності антени РЛС.

Таблиця 1

Помилки визначення азимуту при різних швидкостях обертання антени

Параметр	Швидкість обертання антени, об/хв.	
	3	6
Середнє значення періоду надходження міток $U_{оп}$, мс	92	46
Період надходження імпульсів $U_{МАІ}$, мс	2,4	4,8
Середньоквадратична помилка дискретизації (для імпульсів $U_{МАІ}$), мс	0,001	0,002
Помилка визначення азимута, обумовлена дискретизацією імпульсами $U_{МАІ}$, хв	5,27	5,27
Розрахункові помилки, обумовлені старінням інформації, хв	5,5	2,7

З огляду на вимоги до радіолокаційної інформації з боку споживачів така точність має задовольняти цим вимогам в достатній мірі.

Висновки

В оглядових радіолокаційних станціях «старого» парку пристрої визначення поточного азимуту антени є сліdkуючими і побудовані на базі селісинів (синусно-косинусні обертових трансформаторів), які потенційно мають відносно невисокі точності. Використання цифрових пристроїв в обробці сигналів на виході селісинів (синусно-косинусні обертових трансформаторів) дає можливість суттєво зменшити погрішності у визначенні азимута антени.

Запропонований спосіб формування поточного коду азимута та азимутальних міток не потягне за собою суттєвої модернізації радіолокаційних станцій. В той же час при застосуванні розробленої схеми для відображення радіолокаційної інформації можливо використовувати LED-монітори замість індикаторів кругового огляду на базі електронно-променевих трубок, ресурс яких вже давно вичерпаний.

Список літератури

1. Алімпієв А.М. Особливості гібридної війни РФ проти України. Досвід, що отриманий Повітряними Силами Збройних Сил України / А.М. Алімпієв, Г.В. Певцов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – № 2. – С. 19-25. <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.27.03>
2. Вишневський С.Д. Потенційні можливості РЛС РТВ з виявлення оперативного-тактичних та тактичних безпілотних літальних апаратів / С.Д. Вишневський, Л.В. Бейліс, В.Й. Климченко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – № 2. – С. 92-98. <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.27.18>
3. Бейліс Л.В. Radar reconnaissance capabilities estimation of low-sized low-altitude aircrafts by means of radiotechnical troops surveillance radars / Л.В. Бейліс, В.Ф. Зюкін, С.В. Кукобко // Системи обробки інформації. – 2017. – № 1. – С. 6-8. <https://doi.org/10.30748/soi.2017.147.01>
4. Основи побудови радіолокаційних засобів розвідки повітряного простору: конспект лекцій / К.С. Васюта, О.В. Тесленко, В.М. Купрій, О.А. Малишев. – Х.: ХУПС, 2013. – 212 с.
5. Аналіз радіолокаційних систем виявлення малорозмірних повітряних об'єктів / В.А. Чепурний, В.Й. Альберт, О.В. Сердюк, Г.В. Худов // Системи обробки інформації. – 2016. – № 1. – С. 53-57.

6. Robert and Repas (2013), "Multi-turn absolute encoders", available at: www.machinedesign.com/article/multi-turn-absolute-encoders-0412 (accessed 20 February 2013).
7. Eitel and Elisabeth (2014), "Basics of rotary encoders: Overview and new technologies", *Machine Design Magazine*, 7 May 2014, available at: www.machinedesign.com/sensors/basics-rotary-encoders-overview-and-new-technologies-0 (accessed 30 June 2014).
8. Ивахно В.С. Особенности построения цифровых преобразователей угла в малогабаритных радиолокационных станциях / В.С. Ивахно, С.А. Войтицкий // *Известия ТулГУ. Технические науки*. – 2014. – Вып.11. Ч.2. – С. 284-288.
9. Прокофьев Г. К1382НХ045 – микросхема преобразователя фазы квадратурного сигнала в код положения / Г. Прокофьев, В. Стахин, А. Обеднин // *Современная электроника*. – 2014. – № 6. – С. 46-49.
10. Ануфриев В. Микросхема преобразователя угол–код для индуктивных датчиков / В. Ануфриев, А. Лужбинин, С. Шумилин // *Современная электроника*. – 2015. – № 3. – С. 44-47.
11. Озброєння та військова техніка РТВ. Побудова РЛС 19Ж6 : навч. посіб. Част. 2. / Б.В. Бакуменко, Д.А. Гриб, А.А. Гризо та ін.; за ред. В.Й. Климченка. – Х.: ХУПС, 2009. – 233 с.
12. Озброєння та військова техніка РТВ. Побудова РЛС П-37 : навч. посіб. / В.І. Зверев, Д.А. Гриб, А.А. Гризо та ін.; за ред. В.І. Зверева. – Х.: ХУПС, 2007. – 306 с.
13. Рисаков М.Д. Військова техніка ближньої радіолокаційної групи. Вип. 1. Оглядова РЛС 1РЛ131Р навч. посіб. / М.Д. Рисаков, Д.Ю. Дукін, В.І. Хохлюк – Х.: ХІВПС, 2003. – 150 с.
14. Озброєння радіотехнічних підрозділів і частин ІППО. Радіолокаційна станція 5Н84А: навч. посіб. / В.Й. Климченко, О.А. Малишев, Ю.Г. Ульянов, Ю.І. Рафальський; за ред. В.Й. Климченка. – Х.: ХУПС, 2005. – 328 с.
15. Системи керування. Ч.1. Типові системи автоматичного керування: навч. посіб. / А.О. Ковальчук, І.І. Сачук, О.О. Сосунов та ін.; за ред. О.О. Сосунова. – Х.: ХУПС, 2013. – 316 с.

References

1. Alimpiyev, A.M. and Pyevtsov, H.V. (2017), "Osoblyvosti hibrydnoyi viyny RF proty Ukrainy. Dosvid, shcho otrymanyu Povitryanyu Sylamy Zbroynykh Syl Ukrainy" [Features of the hybrid war against the Russian Federation. Experience gained by the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 2(27), pp. 19-25. <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.27.03>
2. Vishnevsky, S.D., Beilis, L.V. and Klimchenko, V.I. (2017), "Potentsiyni mozhlyvosti RLS RTV z vyyavlennya operatyvno-taktychnykh ta taktychnykh bezpi-lotnykh lital'nykh aparativ" [Potential capabilities of radar station RTV for the detection of operational tactical and tactical airborne aircraft], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 2(27), pp. 92-98. <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.27.18>.
3. Beylis, L.V., Zyukin, V.F. and Kukobko, S.V. (2017), "Radar reconnaissance capabilities estimation of low-sized low-altitude aircrafts by means of radiotechnical troops surveillance radars", *Information Processing Systems*, No. 1(147), pp. 6-8. <https://doi.org/10.30748/soi.2017.147.01>
4. Vasiuta, K.S., Teslenko, O.V., Kuprii, V.M. and Malyshev, O.A. (2013), "Osnovy pobudovy radiolokatsiynykh zasobiv rozvidky povitriyanogo prostoru: konspekt lekcii" [Fundamentals of construction of radar reconnaissance airspace], KAFU, Kharkiv, 212 p.
5. Chepurnyy, V.A., Al'bert, V.Y., Serdyuk, O.V. and Khudov, H.V. (2016) "Analiz radiolokatsiynykh system vyyavlennya malorozmirnykh povitryanykh ob'yektiv" [Analysis of radar detection systems for small-sized air objects], *Information Processing Systems*, No. 1(138), pp. 53-57.
6. Robert, Repas (2013), "Multi-turn absolute encoders", available at : www.machinedesign.com/article/multi-turn-absolute-encoders-0412 (accessed 20 February 2013).
7. Eitel, Elisabeth (2014), "Basics of rotary encoders: Overview and new technologies", *Machine Design Magazine*, 7 May 2014, available at: www.machinedesign.com/sensors/basics-rotary-encoders-overview-and-new-technologies-0 (accessed 30 June 2014).
8. Ivakhno, V.S. and Voytitskiy, S.A. (2014), "Osobennosti postroyeniya tsifrovyykh preobrazovateley ugla v malogabaritnykh radiolokatsionnykh stantsiyakh" [Features of the construction of digital angle converters in small-sized radar stations], *News of the Tula State University. Technical Science*, Vol. 11. P.2, pp. 284 - 288.
9. Prokofiev, G., Stakhin, V. and Obednin, A. (2014), "K1382NKH045 – mikhroskhema preobrazovatelya fazy kvadrurnogo signala v kod polozheniya" [K1382NKH045 - a chip of the converter of a phase of a quadrature signal in the code of position], *Modern Electronics*, No. 6, pp. 46-49.
10. Anufriev, V., Luzhbinin, A. and Shumilin, S. (2015), "Mikhroskhema preobrazovatelya ugol–kod dlya induktivnykh datchikov" [Angle-code converter chip for inductive sensors], *Modern Electronics*, No. 3, pp. 44-47.
11. Bakumenko, B.V., Hryb, D.A. and Hryzo, A.A. (2009), "Ozbroyennya ta viys'kova tekhnika RTV. Pobudova RLS 19ZH6: navch. posib. Chast. 2" [Armament and Military Equipment of RTF. Construction of Radar 19G6. Part 2], KAFU, Kharkiv, 233 p.
12. Zvyeryev, V.I., Hryb, D.A. and Hryzo, A.A. (2007), "Ozbroyennya ta viys'kova tekhnika RTV. Pobudova RLS P-37 : navch. posib." [Armament and Military Equipment of RTF. Construction of Radar P-37], KAFU, Kharkiv, 306 p.
13. Rysakov, M.D., Dukin, D.Y. and Khokhlyuk, V.I. (2003) "Viys'kova tekhnika blyzhn'oyi radiolokatsiynoyi hrupy. Vyp. 1. Ohlyadova RLS 1RL131R" [Military Equipment of the Near Radar Group. Vol 1. Surveillance radar 1RL131R], KAFU, Kharkiv, 150 p.
14. Klymchenko, V.Y., Malyshev, O.A., Ul'yanov, Y.H. and Rafal's'kyy Y.I. (2005) "Ozbroyennya radiotekhnichnykh pidrozdiliv i chastyn PPO. Radiolokatsiyna stantsiya 5N84A" [Arming of radio engineering units and air defense units. Radar 5N84A: teaching. manual], KAFU, Kharkiv, 328 p.
15. Koval'chuk, A.O., Sachuk, I.I. and Sosunov O.O. (2013), "Systemy keruvannya. Ch.1. Typovi systemy avtomatichnoho keruvannya: navch. posib." [Control systems. Part 1. Typical automatic control systems: teaching. manual], KAFU, Kharkiv, 316 p.

Відомості про авторів:**Малишев Олексій Анатолійович**

кандидат технічних наук доцент
старший викладач кафедри Харківського національного
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-9793-8585>
e-mail: malalex2007@gmail.com

Арасланов Михайло Рімович

кандидат технічних наук старший науковий співробітник
старший науковий співробітник
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-8911-0470>
e-mail – armiri@ukr.net

Піскун Олександр Миколайович

курсант Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-7667-8833>
e-mail: piskunets@gmail.com

Чекіров Євген Сергійович

курсант Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-6973-7332>
e-mail: a.evgenchekirov@gmail.com

Information about the author(s):**Oleksii Malyshev**

Candidate of Technical Sciences Associate Professor
Senior Instructor of Department of Ivan Kozhedub
Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9793-8585>
e-mail: malalex2007@gmail.com

Mikhail Araslanov

Candidate of Technical Sciences Senior Research
Senior Research Associate of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8911-0470>
e-mail: armiri@ukr.net

Oleksandr Piskun

students of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-7667-8833>
e-mail: piskunets@gmail.com

Yevgen Chekirovun

students of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-6973-7332>
e-mail: a.evgenchekirov@gmail.com

ВЫБОР СПОСОБА ФОРМИРОВАНИЯ ЦИФРОВОГО КОДА АЗИМУТАЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ АНТЕННЫ В ОБЗОРНЫХ РЛС "СТАРОГО" ПАРКА

А.А. Малышев, М.Р. Арасланов, А.Н. Пискун, Е.С. Чекиров

Одним из требований к радиолокационной информации является точность измерения координат целей, в частности, их азимута. В обзорных РЛС "старого" парка азимут антенны определяется с помощью сельсинов или синусно-косинусных вращающихся трансформаторов, а обработка сигналов с их выхода осуществляется аналоговыми устройствами. Для повышения точности измерения азимута антенны в таких РЛС предлагается использовать из состава сельсинной пары только сельсин-датчик. Сигналы с выхода обмоток синхронизации сельсин-датчика преобразуются в цифровой вид. По полученным значениям формируются код текущего положения антенны и метки азимута.

Ключевые слова: радиолокационная станция, синхронно-следающий привод, энкодер, сельсин, вращающийся трансформатор, метка азимута.

CHOICE OF A METHOD FOR FORMING A DIGITAL CODE OF THE AZIMUTHAL POSITION OF THE ANTENNA IN THE SURVEILLANCE RADAR OF THE "OLD" PARK

O. Malyshev, M. Araslanov, O. Piskun, Yu. Chekirov

One of the requirements for radar information is the accuracy of measuring the coordinates by targets, in particular, their azimuth. In the survey radars of the "old" park, the antenna azimuth is determined by means of synchronous-tracking drives made on the basis of selsyns or sinusoidal-cosine rotating transformers. The processing of signals from their output is carried out by devices executed on a lamp element base. Therefore, errors in measuring the azimuth of targets are relatively large. To improve the accuracy of determining the current antenna azimuth, variants of existing azimuth measurement devices implemented in different types of survey radars are analyzed. It is shown that one of the options is the use of modern digital converters "corner-code" (encoders). But their embodiment in analog radar is inappropriate. Other variants include the use of a synchronous-tracking drive of selsyns or sinusoidal-cosine rotary transformers. It is proposed to increase the accuracy of the determination of azimuth in the survey radars of the "old" park of the radar using existing in these stations selsyn-sensors from the composition of the muddy pair. The signals from the output of synchronization windings of the selsyn-sensor are digitized. The ratio of the values of these three signals generates the code of the current position of the antenna and the azimuth marks. It is shown that the accuracy of measuring azimuth in the proposed method increases several times. The resultant error is due to the discretization of reference voltages from the output of the selsyn-sensor and the method of forming large-scale azimuthal pulses. For the survey radars of the "old" park, a circuit diagram of the digital azimuth measuring device is used which uses signals from the output of synchronization windings of the selsyn-sensor. It is recommended to use such a device under the conditions of using the LED-monitor on the basis of a circular indicator on analogue stations.

Keywords: radar station, synchronous-tracking drive, encoder, selsyn, rotary transformer, azimuth label.