

УДК 623.4.011

М.І. Камчатний, М.В. Мамренко, В.О. Приходько, О.І. Батюшин, Є.Ю. Василюк

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## КОРЕКЦІЯ МОМЕНТУ СПРАЦЮВАННЯ ЧАСТОТНИХ КАНАЛІВ НАПІВАКТИВНОГО ФАЗОДОПЛЕРІВСЬКОГО РАДІОПІДРИВАЧА ДЛЯ УСУНЕННЯ ЕФЕКТУ ЙОГО РАНЬОГО СПРАЦЮВАННЯ ПРИ ВПЛИВІ ПАСИВНИХ ПЕРЕШКОД

В статті аналізуються робота частотних каналів напівактивного фазодоплерівського радіопідривача зенітних керованих ракет в різних умовах перешкодової обстановки, виявляється ефект їхнього раннього спрацювання при впливі пасивних перешкод, пропонується спосіб корекції моменту спрацювання частотних каналів радіопідривача за рахунок вимірювання часу раннього спрацювання і затримки моменту спрацювання на вимірний час.

**Ключові слова:** напівактивний фазодоплерівський радіопідривач, зенітна керована ракета, активна перешкода, пасивна перешкода, частотний канал, фазовий канал, пристрій корекції.

### Вступ

#### Постановка проблеми і аналіз літератури.

Основним елементом бойового спорядження зенітних керованих ракет (ЗКР), який визначає момент підірвання бойової частини є неконтактний радіолокаційний підривач (РП). В радіолокаторах сучасних зенітних ракетних комплексів (ЗРК) для забезпечення роботи РП використовуються, як правило, безперервні сигнали. Тому в ЗКР переважно застосовуються напівактивні радіопідривачі, в яких для визначення моменту підірвання бойової частини використовується ефект Доплера та фазовий метод пеленгації. Такі РП отримали назву фазодоплерівських РП [1].

До їх складу фазодоплерівських РП входять, як правило, два частотних і фазовий канали, робота окремо кожного із яких досить детально розглянута в [2]. Також проводиться комплексний аналіз послідовності спрацювання каналів напівактивного фазо-

доплерівського РП в умовах відсутності перешкод та при впливі на його роботу активних і пасивних перешкод. Але в відомих джерелах практично не приділяється уваги способам корекції моменту спрацювання РП при його передчасному або ранньому спрацюванні [1 – 3].

**Мета статті.** Проведення аналізу роботи частотних каналів фазодоплерівського РП в різних умовах перешкодової обстановки, виявлення ефекту його раннього спрацювання при впливі пасивних перешкод, та розробка способу корекції моменту спрацювання РП в даних умовах для зменшення впливу виявленого ефекту на ефективність бойового спорядження ЗКР.

### Основной материал

Структурна схема напівактивного фазодоплерівського радіопідривача, в складі якого є два частотних та фазовий канали, приведена на рис. 1 [3].

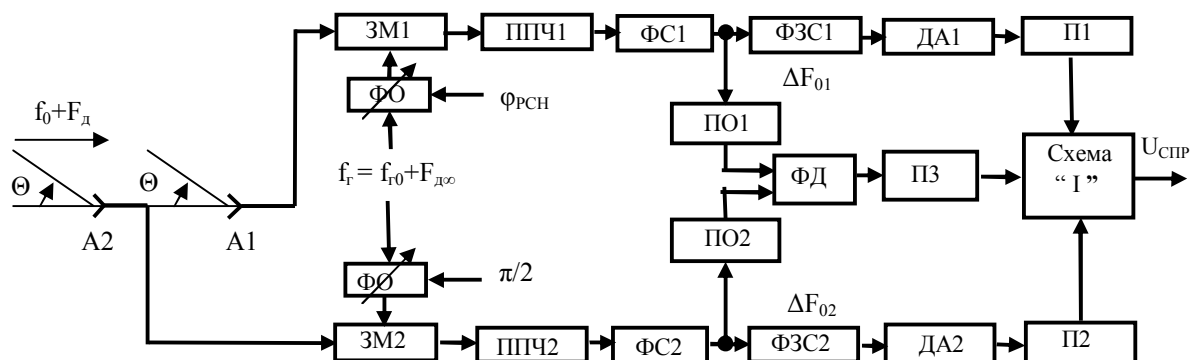


Рис. 1. Структурна схема напівактивного фазодоплерівського радіопідривача

Кожний частотний канал даного РП представляє собою приймач супергетеродинного типу, до складу якого входять відповідно Антена (А1, А2), змішувач (ЗМ1, ЗМ2), підсилювач проміжної частоти (ППЧ1, ППЧ2), смуговий фільтр (ФС1, ФС2), фільтр зосередженої селекції (ФЗС1, ФЗС2), амплітудний детектор (ДА1, ДА2). Факт спрацювання

частотного каналу фіксується елементом пам'яті (П1, П2). Сигнали спрацювання частотних каналів подаються на схему співпадання (схему «І»).

Для реалізації фазового методу пеленгування антени А1 і А2 рознесені на базу  $d$ . Фазовий канал утворюється елементами обох частотних каналів від антен до смугових фільтрів ФС1 і ФС2. Сигнали з

останніх через підсилювачі – обмежувачі ПО1 і ПО2 подаються на фазовий детектор ФД, напруга з виходу якого і є сигналом спрацювання фазового каналу. Факт спрацювання фазового каналу фіксується елементом пам'яті ПЗ. Сигнал спрацювання фазового каналу подаються на схему співпадання (схему «І»), на виході якої формується сигнал спрацювання РП у виді напруги  $U_{спр}$  лише за умови наявності на її виході сигналів спрацювання усіх трьох каналів.

Проведемо аналіз роботи частотних каналів даного РП в різних умовах обстановки.

В основу функціонування доплерівських каналів РП покладено частотний спосіб визначення моменту знаходження цілі на оптимальному куті спрацювання радіопідживача. При цьому враховується факт швидкої зміни доплерівської частоти прийнятого РП сигналу в районі точки зустрічі ракети з ціллю. Доплерівська добавка частоти сигналу підсвічування радіолокатора (РЛ), відбитого від цілі і прийнятого РП, визначається співвідношенням

$$f_{д\text{ пот}} = (V_{пц} + V_{відн} \cos \Theta) / \lambda, \quad (1)$$

де  $V_{пц}$  – радіальна швидкість цілі відносно РЛ;  $V_{відн}$  – відносна швидкість зближення ракети з ціллю;  $\Theta$  – кут між вектором  $V_{відн}$  і лінією ракета – ціль;  $\lambda$  – довжина хвилі.

Протягом часу роботи РЛ швидкості  $V_{пц}$  і  $V_{відн}$  суттєво не зміняться. Тому основною причиною зміни частоти  $f_{д\text{ пот}}$  буде зміна кута  $\Theta$ . По мірі наближення ракети до цілі цей кут буде безперервно збільшуватися, досягаючи практично на момент зустрічі ракети з ціллю значення  $\pi/2$ . Тому доплерівська добавка частоти  $f_{д\text{ пот}}$  на вході РП буде постійно зменшуватися до значення  $f_{д\infty} = V_{пц} / \lambda$ . Так як значення цієї частотної добавки залежить від апріорі невідомих величин  $V_{пц}$  і  $V_{відн}$ , то безпосередньо використати її для визначення моменту спрацювання РП неможливо. Тому в РП використовується різниця частот

$$\Delta F = f_{д\infty} - f_{д\text{ пот}}, \quad (2)$$

де  $f_{д\infty}$  – значення доплерівської частоти  $f_{д\text{ пот}}$ , яке відповідає великій відстані між ракетою і ціллю, при якій кут  $\Theta = 0$ . Значення  $f_{д\infty}$  передається на РП ракети з РЛ, тобто різниця частот буде визначатися як

$$\Delta F = V_{відн} (1 - \cos \Theta) / \lambda. \quad (3)$$

Ця різниця  $\Delta F$  не залежить від радіальної швидкості цілі відносно РП  $V_{пц}$ , а залежить від швидкості зближення ракети з ціллю  $V_{відн}$ . З (3) визначається кут  $\Theta$ , за яким необхідно формувати команду на піджив бойової частини

$$\Theta = \arccos(1 - \Delta F \lambda / V_{відн}). \quad (4)$$

Оскільки значення  $\Theta$  є функцією  $\Delta F$  і  $V_{відн}$ , то величину  $\Delta F$  треба вибирати такою, щоб у заданому діапазоні  $V_{відн}$  забезпечувалось (після спрацювання РП) накриття цілі осколками максимальної щільності. В РП, що розглядається, це відбувається при  $\Delta F = \Delta F_2$ . Тоді для спрацювання РП при потрібному значенні кута  $\Theta$  необхідно фіксувати значення різниці доплерівських частот  $\Delta F_2$ , що здійснюється за допомогою фільтра зосередженої селек-

ції (ФЗС2), настроєного на задану різницю  $\Delta F_2$  зі смугою пропускання, яка забезпечує накопичення фільтром сигналу граничного рівня. Однак при цьому слід мати на увазі, що для деяких частот спектра сигналу, відбитого від хмари пасивних перешкод, різниця доплерівських частот також може приймати значення  $\Delta F_2$ . Для підвищення перешкодостійкості РП (рис. 1) введено ще один частотний канал, ФЗС1 якого настроєний на  $\Delta F = \Delta F_1 < \Delta F_2$ , що виключає проходження через нього сигналів, відбитих від пасивних перешкод. Отже величина  $\Delta F$  порівнюється в РП з двома порогамі  $\Delta F_1$  і  $\Delta F_2$ , при цьому  $\Delta F_2 > \Delta F_1$ . Порядок спрацювання частотних каналів РП при відсутності впливу на його роботу перешкод пояснюється графіком, приведеним на рис. 2, де показано варіант закону зміни частоти сигналу на виході змішувачів ЗМ1 і ЗМ2 частотних каналів РП.

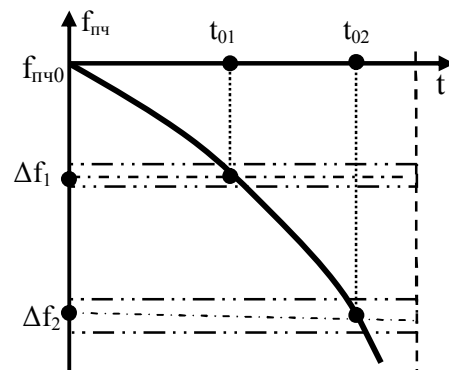


Рис. 2. Порядок спрацювання частотних каналів

Після припинення роботи контуру керування ракетою в районі точки зустрічі з ціллю [3] частота відбитого від цілі сигналу на виходах змішувачів буде зменшуватися за рахунок  $\Delta F$ . В момент часу  $t_1$  частотний зсув досягне величини  $\Delta F = \Delta F_1$ , сигнал пройде через ФЗС1 і спрацює перший частотний канал (ЧК1), що буде зафіксовано елементом пам'яті П1. В момент часу  $t_2$  частотний зсув досягне величини  $\Delta F = \Delta F_2$ , сигнал пройде через ФЗС2 і спрацює другий частотний канал (ЧК2), що також буде зафіксовано елементом пам'яті П2. В інтервалі часу між  $t_1$  і  $t_2$  спрацює фазовий канал (ФК), що фіксується елементом пам'яті ПЗ [3]. Таким чином на вході схеми «І» будуть усі три сигнали спрацювання, що забезпечить формування РП сигналу  $U_{спр}$ . При цьому в умовах відсутності перешкод канали ЧК1 і ФК є таким, що взводять РП, а канал ЧК2 буде виконавчим. В умовах впливу на роботу РП активних перешкод обидва частотні канали спрацюють вже в момент його вмикання, так як сигнал перешкоди відразу пройде через фільтри ФЗС1 і ФЗС2 (рис. 3). тому канали ЧК1 і ЧК2 в умовах активних перешкод будуть взводити РП, а виконавчим буде ФК, який спрацює в момент знаходження цілі на встановленому оптимальному куті спрацювання  $\Theta_{рсп}$ .

При впливі на роботу РП пасивних перешкод можлива ситуація, коли сигнал пасивної перешкоди пройде через ФЗС2 з відстройкою  $\Delta F_2$  (рис. 4). При цьому канал ЧК2 спрацює відразу після вмикання

РП. Практично відразу спрацює і ФК, так як у складі пасивної перешкоди завжди знайдуться частотні складові зсунуті за фазою на кут  $\varphi_{рчн}$ . Ці канали взведуть РП. Виконавчим в даному випадку буде перший частотний канал ЧК1, який спрацює в момент часу  $t_1$ . В цей же момент буде сформовано і сигнал спрацювання РП  $U_{спр}$ . Оптимальним же моментом спрацювання є момент часу  $t_2$ . Тобто в умовах впливу пасивних перешкод напівактивний фазодоплерівський РП спрацює дещо раніше на час  $\Delta t = t_2 - t_1$ . Цей ефект отримав назву ефекту раннього спрацювання РП, а час  $\Delta t$  – часу раннього спрацювання [3].

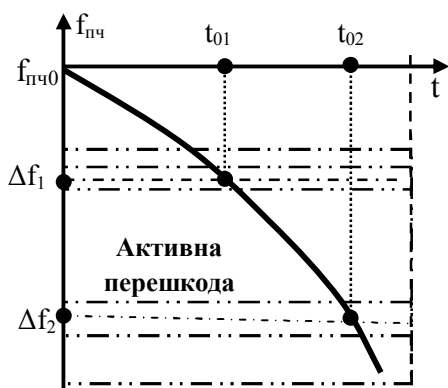


Рис. 3. Проходження сигналів перешкод через фільтри

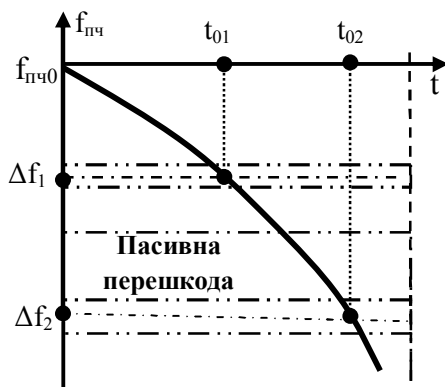


Рис. 4. Проходження сигналу пасивної перешкоди через фільтр

Таким чином, напівактивний фазодоплерівський радіопідривач ефективно працює як в умовах відсутності перешкод, так і в умовах впливу активних перешкод. Але при впливі на його роботу пасивних перешкод частотні канали радіопідривача можуть спрацювати раніше на час раннього спрацювання. Зазначене є суттєвим недоліком РП і може призвести до видачі команди на підірвання бойової частини (БЧ) ракети на відстані від цілі, яка перевищує її радіус поразення, що знижує імовірність поразення цілі. Актуальним тому є розробка спеціального способу корекції моменту спрацювання РП в умовах впливу на його роботу пасивних перешкод. Зазначене завдання може бути виконано за рахунок вимірювання часу раннього спрацювання РП з наступним затримуванням моменту його спрацювання (видачі команди на підірвання БЧ) на вимірний час  $\Delta t$ . Для вимірювання часу раннього спрацювання РП пропонується ввести додатковий час-

тотний канал (ЧКд), відстройка якого  $\Delta F_3$  симетрична відстройці каналу ЧК2  $\Delta F_2$  відносно каналу ЧК1 з відстройкою  $\Delta F_1$ . Сигнал проміжної частоти  $f_{пч}$  послідовно буде проходити спочатку через ФЗС додаткового частотного каналу ЧКд з відстройкою  $\Delta F_{03}$ , потім через ФЗС першого частотного каналу ЧК1 з відстройкою  $\Delta F_{01}$ , і лише потім – через ФЗС другого частотного каналу ЧК2, з відстройкою  $\Delta F_{02}$ . При цьому часовий інтервал  $\Delta t_{3-1} = \Delta t_{01} - \Delta t_{03}$  між моментом спрацювання додаткового  $\Delta t_{03}$  і першого  $\Delta t_{01}$  частотних каналів приблизно рівняється часовому інтервалу  $\Delta t_{1-2} = \Delta t_{02} - \Delta t_{01}$  між моментом спрацювання першого  $\Delta t_{01}$  і другого  $\Delta t_{02}$  частотних каналів, тобто приблизно рівняється часу раннього спрацювання РП. Враховуючи нелінійний характер зміни частоти сигналу  $f_{пч}$ , відстройка додаткового каналу ЧКд від першого частотного каналу ЧК1 може бути виставлена при кінцевому настроюванні РП. Структурна схема РП з введеним додатковим частотним каналом ЧКд приведена на рис. 5. До складу ЧКд входять фільтр зосередженої селекції ФЗСЗ, амплітудний детектор ДАЗ, пристрій корекції та елемент пам'яті П4. Додатково в перший частотний канал ЧК1 введено комутуючий пристрій ПК. Введений додатковий канал має виконувати такі завдання:

1. Регулювати затримку моменту спрацювання РП лише за умови, що першим спрацював другий частотний канал ЧК2 з відстройкою  $\Delta F_{02}$ , що є фіксацією факту впливу на його роботу пасивних перешкод.

2. Вимірювати часовий інтервал  $\Delta t_{3-1}$  між моментами спрацювання додаткового ЧКд і першого ЧК1 частотних каналів для визначення часу раннього спрацювання РП  $\Delta t$ .

3. Затримувати момент спрацювання РП на вимірний час  $\Delta t_{3-1}$ , який приблизно дорівнює часовому інтервалу  $\Delta t_{1-2}$ , тобто часу раннього спрацювання РП.

Виконання першого завдання покладається на комутуючий пристрій (ПК), який встановлений в перший частотний канал РП ( $\Delta F_{01}$ ), перед елементом пам'яті П1 (рис. 5). У вихідному стані ПК відкритий і буде закривається сигналом спрацювання другого частотного каналу ЧК2 ( $\Delta F_{02}$ ). Таким чином, якщо першим спрацює канал ЧК2 (що є фактом впливу пасивних перешкод), то сигнал спрацювання першого частотного каналу ЧК1 з відстройкою  $\Delta F_{01}$  не пройде на схему «І» і не призведе до раннього спрацювання радіопідривача. Виконавчим сигналом для РП в даному випадку має бути сигнал зі спеціального пристрою корекції, на який покладається виконання другого і третього завдань. Пристрій корекції відкривається сигналом спрацювання другого частотного каналу ЧК2. Запуск процесу вимірювання часу раннього спрацювання РП відбувається сигналом спрацювання додаткового частотного каналу ЧКд, а закінчення процесу вимірювання – сигналом спрацювання першого частотного каналу ЧК1. Послідній має також запустити в пристрої корекції процес затримки сигналу спрацювання частотного каналу. Момент спрацювання додаткового частотного

каналу фіксується елементом пам'яті П4. При відсутності впливу на роботу частотних каналів сигналу

пасивної перешкоди порядок їх спрацювання не зміниться і РП буде працювати у штатному режимі.

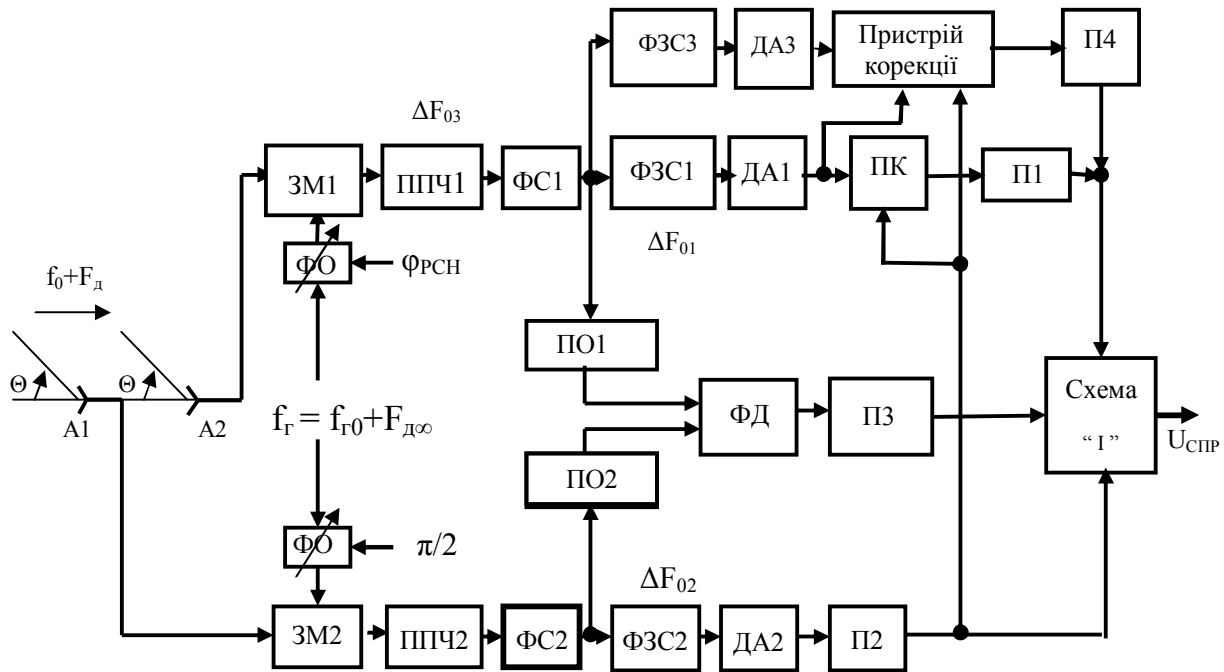


Рис. 5. Структурна схема РП з введеним додатковим частотним каналом ЧКд

**Висновок**

В статті проводиться аналіз роботи частотних каналів напівактивного фазодоплерівського радіопідривача зенітних керованих ракет в різних умовах перешкодової обстановки, виявляється ефект їх раннього спрацювання при впливі пасивних перешкод, пропонується спосіб корекції моменту спрацювання частотних каналів радіопідривача за рахунок вимірювання часу раннього спрацювання і затримки моменту спрацювання на вимірний час.

**Список літератури**

1. Бурцев В.В. Систематичні основи побудови та бойового використання комплексів і систем зенітного

озброєння. Навч. посібн. / В.В. Бурцев. – Х.: ХУПС, 2005. – 288 с.

2. Проектування зенітних керуючих ракет. Посібн. / Під ред. І.С. Голубєва, В.Г. Світлова. – М.: МАИ, 1999. – 725 с.

3. Математичне моделювання бортового обчислювача ЗКР. Аналіз задачі моделювання управління ЗКР з вертикальним стартом / А.Б. Скорик, О.В. Гаврентюк, А.А. Скорик, П.А. Драник // Системи озброєння і військова техніка. – 2011. – № 1 (25). – С. 54-57.

Надійшла до редколегії 3.02.2015

**Рецензент:** д-р військ. наук доц. С.П. Ярош, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

**КОРРЕКЦИЯ МОМЕНТА СРАБАТЫВАНИЯ ЧАСТОТНЫХ КАНАЛОВ ПОЛУАКТИВНОГО ФАЗОДОПЛЕРОВСКОГО РАДИОПОДРЫВАТЕЛЯ ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ ЭФФЕКТА ЕГО ПРЕЖДЕВРЕМЕННОГО СРАБАТЫВАНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПАСИВНЫХ ПОМЕХ**

Н.И. Камчатный, Н.В. Мамренко, В.О. Приходько, А.И. Батюшин, Е.Ю. Василюк

В статье анализируется работа частотных каналов полуактивного фазодоплеровского радиовзрывателя зенитных управляемых ракет в различных условиях помеховой обстановки, проявляется эффект их раннего срабатывания при воздействии пассивных помех, предлагается способ коррекции момента срабатывания частотных каналов радиовзрывателя за счет измерения времени раннего срабатывания и задержки момента срабатывания на измерение времени.

**Ключевые слова:** полуактивный фазодоплеровский радиовзрыватель, зенитная управляемая ракета, активная помеха, пассивная помеха, частотный канал, фазовый канал, устройство коррекции.

**THE CORRECTION OF MOMENT TO OPERATION FREQUENCY CHANNELS OF SEMI FAZE DOPPLER RADIO DETONATORS TO ELIMINATE THE EFFECT OF ITS EARLY WEAR IN PASSIVE NOISE IMPACT**

M.I. Kamchatny, M.V. Mamrenko, V.O. Prikhodko, O.I. Batyushyn, Ye.Yu. Vasylyuk

The work is analyzed in article of frequency channels faze doppler radio detonators semi-aircraft missiles in different conditions-interference environment turned effect of early wear when exposed to passive noise is provided a method of correction since the operation frequency channels radio detonators by measuring the time delay and early operation since the operation on the measured time.

**Keywords:** semi faze doppler radio detonators, anti-aircraft guided missile, an active hindrance, passive noise ratio, frequency channel, channel phase, device correction.