

УДК [621.396.96 : 621.373.124] : 001.891.57

Исследование возможности "захвата" начальной фазы колебаний передатчика генератором с жестким возбуждением методом имитационного моделирования

О.И. Кривенко

Судоводительский факультет МА МГТУ, кафедра радиотехники и телекоммуникационных систем

Аннотация. Статья посвящена проблеме переориентации схемных решений некогерентных приемных устройств радиолокационных станций на обработку некогерентных сигналов с качеством, характерным для когерентного приема.

Abstract. The paper describes a method of an interpretation of the incoherent circuit designs to rectification of the incoherent signals with the coherent design's quality in the receiving units of radar stations.

1. Введение

Среди удачных попыток сохранить преимущества некогерентных радиолокационных систем и в то же время сохранить качество обработки когерентного сигнала можно указать способ обработки пачки некогерентных импульсов, используемый в псевдокогерентных РЛС (Финкельштейн, 1973). В этих системах применяется некогерентный зондирующий сигнал с запоминанием начальной фазы каждого излученного импульса, что позволяет при приеме отраженного сигнала исключить влияние случайной начальной фазы и сохранить только те фазовые сдвиги, которые происходят за счет движения цели. Запоминание начальной фазы осуществляют в аналоговом виде посредством стабильных опорных гармонических колебаний, заполняющих почти весь промежуток между импульсами, причем начальная фаза этим колебаниям навязывается каждый раз импульсом передатчика. Принятые сигналы сравнивают по фазе с опорным колебанием с помощью фазового детектора.

Проблема заключается в том, что получение опорного напряжения путем фазирования требует высокой стабильности частоты колебаний когерентного гетеродина. При этом точность фазирования тем выше, чем ниже добротность его контура, а для высокой стабильности требуется увеличение добротности пропорционально частоте генератора (Дудевич и др., 1964).

2. Исследование возможности "захвата" начальной фазы колебаний передатчика генератором с жестким возбуждением

Одним из способов решения данной проблемы может быть перевод когерентного гетеродина и фазового детектора на низкую промежуточную частоту и нахождение требуемой добротности колебательного контура гетеродина, при котором соблюдается точность фазирования и стабильность частоты колебаний.

Исследование возможности запоминания ("захвата") начальной фазы колебаний передатчика генератором с жестким возбуждением выполнено методом имитационного моделирования в приложении Simulink среды Matlab.

В ходе выполнения исследования был смоделирован генератор с жестким возбуждением (ГЖВ), осуществляющий запоминание начальной фазы передатчика в аналоговой форме. В имитационную модель также включены блоки формирования сигналов запуска и остановки ("гашения"). Функциональная схема ГЖВ, реализованная в имитационной модели показана на рис. 1.

Коммутационный блок 1 предназначен для пропуска импульса "гашения" генератора в момент окончания очередного такта локации. Блок 3 служит для непосредственной подстройки стабильного гетеродина на частоту тракта ПЧ.

При запуске генератора "пролезающим" импульсом, генератор возбуждается на частоте импульса с захватом фазы колебания и после прекращения воздействия запускающего импульса генерирует колебания на частоте собственного колебательного контура. Для доказательства возможности захвата частоты рассмотрим баланс фаз в автогенераторе под действием внешней ЭДС в предположении, что частота внешней ЭДС отлична от резонансной частоты контура. При этом амплитуду сигнала будем считать настолько малой, что все основные параметры автоколебания останутся такими же, как и в отсутствие внешнего воздействия. Иными словами, влияние внешнего воздействия проявляется только в изменении фазовых соотношений в автогенераторе.

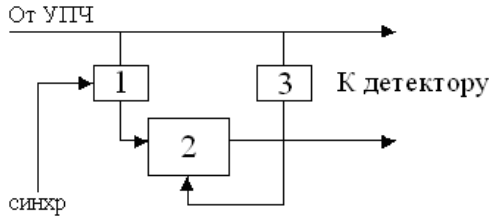


Рис. 1. Схема имитационной модели ГЖВ.
1 – коммутационный блок;
2 – стабильный гетеродин, настроенный на промежуточную частоту приемника;
3 – автоматическая подстройка частоты гетеродина

До включения источника внешней ЭДС эти соотношения характеризуются векторной диаграммой, показанной на рис. 2а. Ток I_1 в фазе с напряжением $U_{БЭ} = U_{OC}$, а напряжение U_K в фазе с током I_1 .

Исходная фаза тока I_1 выбрана произвольно, так как в автогенераторе фаза автоколебания зависит от начальных условий запуска. После включения внешней ЭДС $e(t) = E \cos \omega t$ (начальная фаза θ приравнена нулю) и установления стационарного режима диаграмма примет вид, показанный на рис. 2б. При построении этой диаграммы учтены следующие условия:

1) между током I_1 и напряжением U_K имеется фазовый сдвиг φ_Z , зависящий от расстройки контура по отношению к генерируемой частоте ω . Принимая для определенности, что $\omega < \omega_p$, где ω_p – собственная частота резонансного контура, приходим к выводу, что вектор U_K должен опережать вектор I_1 на угол

$$\varphi_Z = \arctg [(2(\omega - \omega_p)Q)/\omega_p], \quad (1)$$

где Q – добротность контура;

2) ток I_1 находится в фазе с результирующим напряжением $U_{БЭ}$;

3) напряжение обратной связи U_{OC} , индуктивно связанное с напряжением контура U_K , не зависит от частоты. Поэтому направления векторов U_{OC} и U_K совпадают.

Из диаграммы видно, что нарушение фазового баланса автогенератора в коллекторной цепи на угол φ_Z (в сторону опережения) из-за расстройки колебательного контура (при $\omega < \omega_p$) компенсируется тем, что в цепи база – эмиттер результирующее напряжение $U_{БЭ}$ сдвинуто на угол φ_Z в сторону отставания относительно U_{OC} .

Когда $\omega > \omega_p$, фазовый сдвиг в коллекторной цепи является запаздывающим, а в цепи база – эмиттер – опережающим.

Из условий 2) и 3), а также непосредственно из диаграммы на рис. 2б вытекает следующее равенство:

$$\sin \varphi_Z = E (\sin \varphi_K / U_{БЭ}), \quad (2)$$

где φ_K – фазовый сдвиг между E и U_K .

Итак, если режим захватывания действительно существует, то одновременно выполняются равенства (1) и (2).

Используя оговоренное условие малости E по сравнению с U_{OC} , можно считать $U_{БЭ} = U_{OC}$,

$$\sin \varphi_Z = \varphi_Z = (E/U_{БЭ}) \sin \varphi_K = (E/U_{OC}) \sin \varphi_K.$$

Малость угла φ_Z позволяет также и в выражении (1) заменить тангенс его аргументом:

$$\tg \varphi_Z = \varphi_Z = 2(\omega - \omega_p)(Q/\omega_p).$$

Приравнивая правые части последних двух выражений, приходим к следующему важному соотношению:

$$2(\omega - \omega_p)/\omega_p = (E/U_{OC}) \sin \varphi_K (1/Q). \quad (3)$$

Из этого соотношения следует, что при заданной разности частот ω и ω_p сдвиг фазы напряжения U_K относительно синхронизирующего колебания равен (Бойко и др., 2004):

$$\varphi_K = \arcsin [\{2(\omega - \omega_p)Q/\omega_p\} / (E/U_{OC})].$$

Следовательно, при совпадении частот ω и ω_p сдвиг фазы напряжения U_K относительно синхронизирующего E равен нулю. Имеет место захват фазы синхронизирующего колебания. После возбуждения генератор генерирует колебания с постоянной частотой и амплитудой в течение одного периода излучения импульса. После окончания периода необходимо предусмотреть "гашение" генератора, чтобы со следующим импульсом запустить его с нужной частотой и фазой.

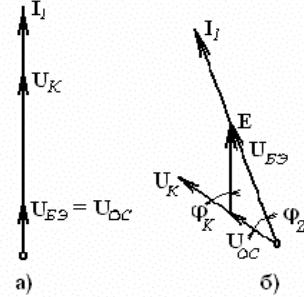


Рис. 2. Векторные диаграммы напряжений и тока в генераторе:
а – без внешнего воздействия;
б – в режиме захвата частоты

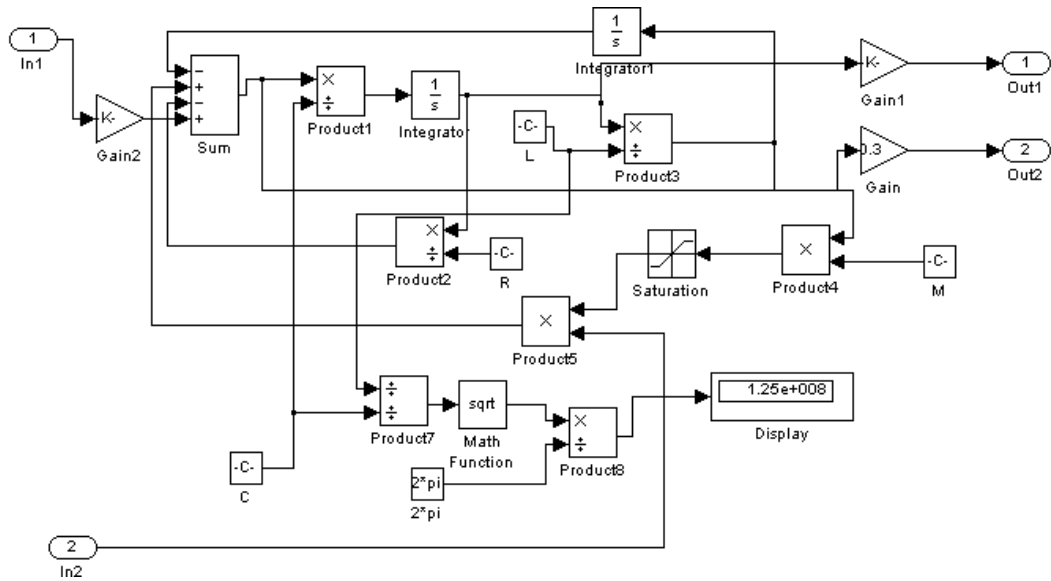


Рис. 3. Имитационная модель генератора с жестким возбуждением в среде Matlab

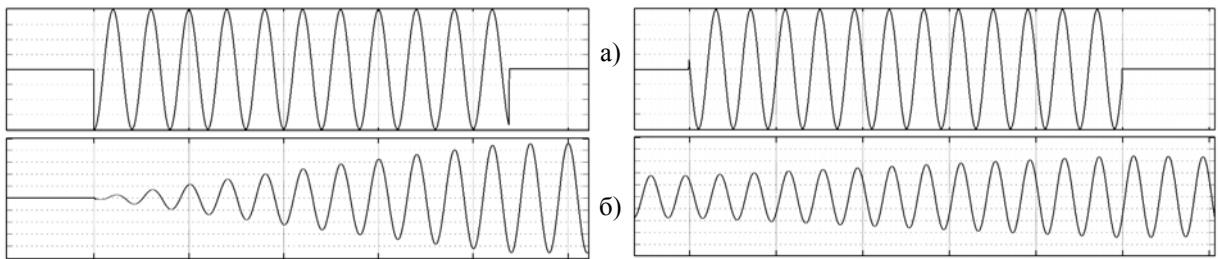


Рис. 4. "Захват" фазы ждущего генератора
а) – "пролезающий" импульс; б) – собственные колебания ГЖВ

Рис. 5. "Захват" фазы запущенного генератора
а) – "пролезающий" импульс; б) – собственные колебания ГЖВ

Теоретически факт "захвата" фазы синхронизирующего колебания вполне доказуем. Данный процесс можно исследовать на имитационной модели. На рис. 3 изображена блок-схема имитационной модели генератора со ждущим возбуждением. Схема имитационной модели полностью адекватна принципиальной электрической схеме генератора.

Вход 1 предназначен для запускающего импульса, вход 2 – для "гасящего", выход 1 – прямой, выход 2 – инверсный. На рис. 4 отображен процесс захвата фазы ГЖВ (б) "пролезающим" в тракт ПЧ импульсом (а), в случае заглушенного генератора. На рис. 5 изображен процесс "навязывания" начальной фазы работающему генератору.

3. Заключение

В условиях набирающей силу тенденции максимального приближения обработки сигналов к апертуре антенны цифровой подход для запоминания начальной фазы становится неприемлемым. В связи с этим продуктивным является путь поиска аналогового решения поставленной задачи и, как показывают исследования, такой путь вполне может быть найден. Следующим шагом данного исследования будет схемотехническая визуализация данного эксперимента, очевидно, представленная в программном пакете OrCAD 9.2. В лабораторных условиях сложно, дорого и нецелесообразно проводить исследования в твердотельном исполнении в то время как существуют столь мощные программные продукты. Однако при промышленном подходе к изготовлению модели нынешний уровень технологии вполне позволяет рассчитывать на высокую точность её реализации.

Литература

Бойко В.И., Гуржий А.Н., Жуйков В.Я., Зори А.А., Спивак В.М. Схемотехника электронных систем. Аналоговые и импульсные устройства. СПб., БХВ-Петербург, 296 с., 2004.
 Дудлевич В.Е., Коростелев А.А., Мельник Ю.А. Теоретические основы радиолокации. М., Сов. радио, 287 с., 1964.
 Финкельштейн М.И. Основы радиолокации. М., Сов. радио, 320 с., 1973.