

МИНИСТЕРСТВО СВЯЗИ СССР

**Московский ордена Трудового Красного Знамени электро-
технический институт связи**

Аманджан Абдуазизов

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГАРМОНИЧЕСКОГО ЧАСТОТНОГО
ДЕТЕКТОРА**

Специальность 05.12.08 - Радиоприемные устройства

**Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических
наук**

Москва, 1972

МИНИСТЕРСТВО СВЯЗИ СССР

Московский ордена Трудового Красного Знамени электро-
технический институт связи

Аманжан Абдуазизов

На правах рукописи

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАРМОНИЧЕСКОГО ЧАСТОТНОГО
ДЕТЕКТОРА

Специальность 05.12.06 - Радиоприемные устройства

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических
наук

Редакционно-издательский отдел ВЗЭИС
Москва 1972

Работа выполнена в Московском ордена Трудового Красного Знамени электротехническом институте связи.

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор Сидоров В.М.

Официальные оппоненты- доктор технических наук,
профессор Шахгильдян В.В.,
кандидат технических наук,
доцент Прахов В.И.

Ведущее предприятие - НИИР Министерства связи СССР.


Автореферат разослан " 15 " Апрель 1978 г.

Защита диссертации состоится на заседании Объединенного совета факультетов РСиВ и АТиЭ Московского ордена Трудового Красного Знамени электротехнического института связи

" 15 " февраль 1978 г. в 16 час.

Адрес института: г. Москва, ИИО24, Авиамоторная ул., 8а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.


Ученый секретарь Совета Маковеева М.М.

ВВЕДЕНИЕ

Частотные детекторы применяются для детектирования частотно-модулированных сигналов в радиоприемных устройствах, в качестве управляющих элементов в системах автоматической подстройки частоты генераторов, для индикации точности настройки приемника на сигнал и в других различных радиотехнических устройствах, где информация заложена в изменениях частоты сигнала.

В настоящее время известны различные методы детектирования частотно-модулированных (ЧМ) сигналов и, соответственно, различные типы частотных детекторов (ЧД). Однако из них нашли практическое применение сравнительно небольшое количество типов ЧД. В последнее время В.М. Сидоровым и А.А. Кубицким предложен новый тип ЧД с использованием высших гармоник, так называемый "гармонический частотный детектор".

Одним из основных преимуществ гармонического частотного детектора (ГЧД) является возможность применения в нем в качестве преобразователя вида модуляции двухполосника (например, одиночного колебательного контура без отвода от средней точки), что устраняет необходимость симметрирования схемы ЧД. В известных схемах балансных ЧД с взаимно расстроенными контурами, со связанными контурами и в детекторе отношений преобразователем вида модуляции является шестиполосник, схема которого для нормальной работы ЧД должна быть специальным образом отсимметрирована. Однако, несмотря на использование в ГЧД в качестве преобразователя вида модуляции двухполосника, его детекторная характеристика имеет форму типичную для балансных ЧД.

Отсутствие всесторонних исследований в отечественной и зарубежной литературе ГЧД не позволяет сравнивать его амплитудные, частотные, переходные характеристики и вносимые им нелинейные искажения в сигналы с такими же показателями хорошо изученных типов ЧД, а также выявить наиболее рациональные области применения ГЧД.

Наибольший интерес с точки зрения использования ГЧД в радиотехнических устройствах и областей его рационального применения представляет исследование следующих вопросов:

1. Анализ работы ГЧД в статистическом режиме.
2. Рассмотрение ограничительных свойств ГЧД.
3. Исследование переходных процессов в ГЧД и определение закона установления выходного напряжения при скачкообразном изменении частоты входного сигнала.
4. Сравнение переходных процессов в различных типах ЧД.
5. Анализ действия радиопульсов на ГЧД.
6. Исследование нелинейных искажений как в статическом, так и в динамическом режимах при быстрых изменениях частоты модуляции.
7. Анализ влияния дестабилизирующих факторов на детекторную характеристику гармонического ЧД.
8. Сравнение детекторных характеристик ГЧД с характеристиками других типов ЧД.
9. Разработка инженерной методики расчета ГЧД для приема сигналов частотной модуляции и частотной телеграфии.

Исследованию этих вопросов посвящена диссертация, содержащая шесть глав, приложение и заключение.

Г Л А В А I. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ЧАСТОТНЫХ ДЕТЕКТОРАХ

В начале данной главы излагается принцип работы ГЧД и приводятся известные соотношения для ГЧД, необходимые для последующего анализа. Далее дается обзор литературы, посвященной исследованию различных частотных детекторов.

Гармонический ЧД содержит нелинейную систему (НС), линейную систему (ЛС), пропускающую первую и высшие гармоники, и два

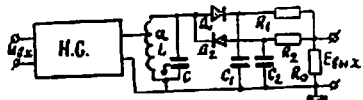


Рис. I

пиковых детектора (рис. I). Напряжение сигнала с частотой ω_c поступает на вход нелинейной системы, которая служит для создания высших гармоник сигнала. В линейной системе, настроенной на среднюю частоту первой гармоники сигнала, суммируются напряжения первой и высших гармоник. В зависимости от величины и знака расстройки частоты сигнала от резонансной частоты ЛС первая и высшие гармоники суммируются с различными начальными фазами, и поэтому пиковые значения сигнала U_+ и U_- , соответствующие положительным и отрицательным полупериодам высокочастотного напряжения на ЛС, получаются равными и зависящими от частоты сигнала. Положительные и отрицательные полупериоды напряжения на ЛС выпрямляются пиковыми детекторами ПД₁ и ПД₂. В результате вычитания выходных напряжений пиковых детекторов образуется выходное напряжение ГЧД

$$E_{\text{вых}} = m (U_+ - U_-), \quad (I)$$

где m - коэффициент, зависящий от параметров пикового детектора и резистора R_0 (рис. I).

Из литературы известно следующее выражение для напряжения на выходе ГЧД

$$E_{\text{вых}} = 2m I_2 Z(2\omega) \cos(2\varphi_1 - \varphi_2), \quad (2)$$

где I_2 - амплитуда тона второй гармоники на выходе ЛС;
 $Z(2\omega)$ - сопротивление ЛС на частоте второй гармоники;
 φ_1 и φ_2 - фазовые сдвиги, вносимые ЛС на частоте первой и второй гармоник.

На основе проведенного в первой главе обзора литературы обоснована актуальность решения сформулированных во введении задач по исследованию ГЧД.

Г Л А В А 2. АНАЛИЗ ГАРМОНИЧЕСКОГО ЧД В СТАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

В главе произведен анализ несимметричной схемы гармонического ЧД, напряжение на выходе которого на средней частоте детекторной характеристики ω_0 не равно нулю и гармонического ЧД с двумя настроенными контурами на частоты ω_0 и $2\omega_0$.

Напряжение на выходе несимметричной схемы ГЧД при отсутствии модуляции сигнала, как показано в диссертации, равно

$$E_{\text{вых}} = \frac{1}{2} U_0, \quad (3)$$

где $U_0 = U_{01} + U_{02} = \text{const}$ - сумма напряжений на выходе пиковых детекторов. Напряжение на выходе несимметричной схемы ГЧД при наличии модуляции сигнала имеет следующий вид:

$$E_{\text{вых}} = \frac{U_0}{1+y}, \quad (4)$$

где $y = \frac{U_{02}}{U_{01}}$ - отношение напряжений на выходе пиковых детекторов.

Включая последовательно первому контуру, настроенному на частоту ω_0 , в основной схеме ГЧД второй контур, настроенный на частоту $2\omega_0$, можно увеличить коэффициент передачи ГЧД. Выходное напряжение для этого случая, как показано в диссертационной работе, определяется формулой (2). Однако, при этом в (2) необходимо подставлять значения $\varphi_1 = -\arctg \alpha_1$ и $\varphi_2 = -\arctg \alpha_2$, где α_1 и α_2 - обобщенные расстройки для первого и второго контура соответственно.

В данной главе доказывается также возможность замены пикового детектора в схеме ГЧД нелинейным устройством с кубической вольтамперной характеристикой и фильтром нижних частот. При этом напряжение на выходе ГЧД определяется следующим выражением:

$$E_{\text{вых}} = A \sin \omega T, \quad (5)$$

т.е. ГЧД можно рассматривать как устройство, вычисляющее корреляционную функцию между первой и второй гармониками входного сигнала, возникающих на выходе его нелинейной системы.

Во второй главе рассматриваются способы обеспечения постоянства амплитуды второй гармоники на входе линейной системы ГЧД. Произведен анализ нелинейной системы, в качестве которой использован транзистор, включенный по схеме с общим эмиттером. Получено выражение для расчета амплитудной характеристики ГЧД при известных параметрах импульса коллекторного тока и заданных резонансном сопротивлении контура R_2 , амплитуде входного напряжения U_0 , крутизне S_k характеристики $i_k = f(\varphi_k)$ и крутизне S характеристики $i_k = f(\varphi_k)$

$$E_{\text{вых}} = 2mZ(2\omega) \left\{ S U_0 [\delta_2(\theta) - \delta_2(\theta_1)] - S_k U_{k1} \delta_1(\theta) \right\} \cos(2\varphi_1 - \varphi_2) \quad (6)$$

где U_{k1} — амплитуда напряжений первой гармоники в линейной системе.

Г Л А В А 3. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ГАРМОНИЧЕСКОМ ЧАСТОТНОМ ДЕТЕКТОРЕ

В третьей главе исследованы переходные процессы в ГЧД при скачкообразном и симметричном относительно ω_0 изменении частоты на его входе без разрыва текущей фазы, а также воздействие на ЧД кратковременных радиоимпульсов с длительностью T_u и частотой заполнения ω_c , которая в общем случае не равна средней частоте ω_0 .

При исследовании переходных процессов в ГЧД предположено, что мгновенное изменение частоты на входе нелинейной системы ГЧД на $2\Delta\omega$, эквивалентно выключению э.д.с. с частотами ω_1 и $2\omega_1$ и включению в тот же момент э.д.с. с частотами ω_2 и $2\omega_2$ на линейную систему ГЧД между точками а и б (рис. 1).

Получено выражение для закона установления фазы напряжения первой гармоники на контуре при скачке частоты входного сигнала

$$\xi(t) = \arctg \frac{2e^{-\alpha t} \sin \varphi_1 \cos \beta \alpha t - \sin \varphi_1}{2e^{-\alpha t} \sin \varphi_1 \sin \beta \alpha t + \cos \varphi_1} \quad (7)$$

где φ_1 — установившееся значение фазового сдвига, вносимого контуром на частоте первой гармоники;
 $\beta = \frac{\Delta\omega}{\Omega}$ — отношение скачка частоты к полосе пропускания контура на уровне 0,7.

Амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики колебательного контура с добротностью $Q \gg 1$ и резонансной частотой ω_0 в области частот $2\omega_0$ практически не зависят от частоты. Поэтому скачок частоты второй гармоники на $4\Delta\omega \ll 2\omega_0$ на входе линейной системы ГЧД не приводит к существенным изменениям ее амплитуды и фазы. После подстановки в (2) выражение (7) получим закон установления напряжения на выходе ГЧД

$$E_{\text{вых}} = 2m I_2 Z(2\omega) \frac{2X}{1+X^2}, \quad (8)$$

где

$$X = \frac{2e^{-\alpha t} \sin \varphi_1 \cos \beta \Omega t - \sin \varphi_1}{2e^{-\alpha t} \sin \varphi_1 \sin \beta \Omega t + \cos \varphi_1}, \quad (9)$$

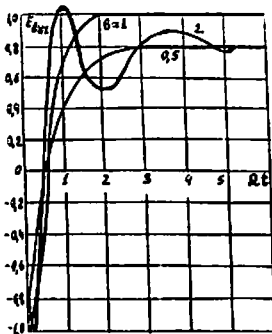


Рис. 2

На рис. 2 приведены графики установления выходного напряжения ГЧД $E_{\text{вых}} = \varphi(\Omega t)$, рассчитанные по формуле (8) при различных значениях β , т.е. отношения скачка частоты к полосе пропускания на уровне 0,7.

Проведенный теоретический анализ показал следующее:

I. Установление напряжения на выходе ГЧД зависит в основном от времени установления фазы первой гармоники на контуре.

2. Если скачок частоты меньше полосы пропускания контура ($\beta < 1$), процесс установления амплитуды выходного напряжения имеет монотонный характер. При $\beta > 1$ процесс установления имеет колебательный характер.

3. С увеличением величины скачка частоты $2\Delta\omega$ при одной и той же полосе пропускания контура на уровне 0,7 равного 2Ω , время установления выходного напряжения уменьшается, из-за биевности между свободными и вынуждающими составляющими напряжения на контуре.

Далее в диссертации исследовано действие на вход ГЧД радиоимпульса

$$\begin{aligned} u(t) &= u \cos(\omega_c t + \varphi_0) \quad \text{при } 0 < t < \tau_u; \\ u(t) &= 0 \quad \text{при } t < 0 \text{ и } t > \tau_u, \end{aligned} \quad (10)$$

где τ_u - длительность радиоимпульса;
 $\omega_c = \omega_0 \pm \Delta\omega$ - частота заполнения радиоимпульса;
 ω_0 - средняя частота ЧД.

Напряжение на выходе линейной системы ГЧД при этом равно

$$u_{\text{вых}}(t) = A_{\text{вых}}(t) \sin[\omega_c(t) + \theta(t)], \quad (11)$$

где $\theta(t) = \varphi_0 + \varphi_1 + \psi(t)$ - суммарное значение фазы первой гармоники на выходе линейной системы;

φ_1 - стационарное значение вносимого линейной системой фазового сдвига на частоте $\omega_c \neq \omega_0$;

φ_0 - начальная фаза радиоимпульса;

$A_{\text{вых}}(t)$ - мгновенное значение напряжения первой гармоники.

К концу времени, равного длительности радиоимпульсов $t = \tau_u$, переменная часть вносимого фазового сдвига равна

$$\psi(t) = \alpha \tau_c \operatorname{ctg} \frac{e^{-\gamma} \sin \gamma \alpha}{1 - e^{-\gamma} \cos \gamma \alpha}, \quad (12)$$

где $\gamma = \frac{\tau_u}{\tau_c}$ - отношение длительности радиоимпульса к постоянному времени контура;

α - обобщенная расстройка.

Принимая равным нулю φ_0 и подставляя в (2) значение φ_1 и $\psi(t)$, получено выражение для детекторной характеристики в импульсном режиме работы ГЧД:

$$E_{\text{вых}} = 2mI_2 Z(2\omega) \sin \left[\arctg \alpha - \arctg \frac{e^{-\gamma} \sin \gamma d}{1 - e^{-\gamma} \cos \gamma d} \right] . \quad (13)$$

На основе анализа (13) можно сделать вывод, что крутизна детекторной характеристики ГЧД в импульсном режиме меньше, чем в случае воздействия на ГЧД непрерывного сигнала. Увеличивая добротность контура детектора, можно увеличить крутизну его детекторной характеристики. Влияние переходных процессов на работу ГЧД в импульсном режиме тем меньше, чем меньше их длительность по сравнению с длительностью радиоимпульса. При некоторых значениях обобщенной расстройки α , в случае малых значений отношения длительности радиоимпульса к постоянной времени контура, напряжение на выходе ГЧД принимает нулевое значение. Это значит, что при определенных значениях несущей радиоимпульсов, отличающихся от средней частоты ω_0 ЧД, выходное напряжение детектора равняется нулю и система работает неэффективно.

В диссертационной работе дается методика выбора добротности контура Q при заданных значениях длительности радиоимпульса $T_{\text{и}}$, средней частоты ГЧД ω_c и полосы охватывания $\alpha_{\text{сх}}$, при которых в рабочей полосе отсутствуют ложные нули и достигается максимально возможная крутизна детекторной характеристики.

Г Л А В А 4. СРАВНЕНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ ЧАСТОТНЫХ ДЕТЕКТОРОВ

В четвертой главе диссертации произведено сравнение переходных процессов в различных типах ЧД при скачкообразном изменении частоты сигнала на их входе. Так как в известной автору литературе отсутствуют исследования переходных процессов в частотно-фазовом детекторе, в ЧД со связанными контурами и в ЧД фильтрового типа, то возникла необходимость проявления этих исследований.

Выходное напряжение частотно-фазового детектора определяется по следующей известной формуле:

$$E_{\text{ЧФД}} = K U_1 U_2 \sin \varphi . \quad (14)$$

При постоянстве амплитуды сигнала на входе и скачкообразном изменении частоты дополнительный фазовый сдвиг φ в (14), зависящий от обобщенной расстройки α , определяется формулой (7). При этом выражение для закона установления выходного напряжения частотно-фазового детектора принимает вид:

$$E_{\text{ЧФД}} = K U_1 U_2 \frac{X}{\sqrt{1 + X^2}} , \quad (15)$$

где X - определяется выражением (9).

Из (15) следует, что напряжение на выходе частотно-фазового детектора зависит от процесса установления дополнительного фазового сдвига φ между напряжениями U_1 и U_2 . Характер установления выходного напряжения зависит от коэффициента β (при $\beta \leq 1$ - монотонный характер и при $\beta > 1$ - колебательный).

Получено выражение для закона установления напряжения на выходе фильтрового ЧД, для случая когда средняя частота одного фильтра совпадает с частотой ω_1 , а второго - с частотой ω_2 .

В этой главе также рассмотрены переходные процессы в ЧД со связанными контурами и получено выражение для закона установления выходного напряжения при скачкообразном изменении частоты входного сигнала.

Для сравнения переходных процессов в различных типах ЧД вводятся так называемые относительные обобщенные детекторные характеристики ($\psi/\psi_{\text{накс}} = f(\alpha/\alpha_{\text{накс}})$), вместо характеристик $\psi = f(\alpha)$

Сравнение переходных процессов в различных типах ЧД проводится при условии, что ширина рабочего участка между максимумами их детекторных характеристик одинакова. Одинаковую ширину рабочего участка детекторных характеристик для различных типов ЧД можно получить соответствующим подбором параметров преобразователей вида модуляции частотных детекторов.

На основе проведенного сравнения различных типов ЧД в переходном режиме сделаны следующие выводы:

1. Время установления выходного напряжения не определяется однозначно шириной рабочего участка, оно зависит также от типа ЧД.

2. Время установления выходного напряжения фильтрового ЧД по крайней мере в два раза больше, чем для гармонического ЧД и частотно-фазового детектора.

3. При скачкообразном изменении частоты от одного максимума к другому максимуму детекторной характеристики время установления выходного напряжения ГЧД на 25% меньше по сравнению с временем установления частотно-фазового детектора и ЧД с взаимно расстроенными контурами (при $\alpha_0 = \rho = 1$).

4. С увеличением обобщенной расстройки α_0 (изменяя затухание контура при сохранении ширины детекторной характеристики постоянным) время установления выходного напряжения ЧД с взаимно расстроенными контурами увеличивается.

5. При увеличении числа звеньев N в канальных фильтрах ЧД фильтрового типа возрастает крутизна амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристики, что приводит к возрастанию времени установления выходного напряжения.

Г Л А В А 5. ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ В ГАРМОНИЧЕСКОМ ЧАСТОТНОМ ДЕТЕКТОРЕ

В пятой главе рассмотрены нелинейные искажения в гармоническом ЧД как в статическом, так и в динамическом режиме при быстрых изменениях частоты сигнала.

Напряжение n -ой гармоники сигнала на выходе линейной системы ГЧД в динамическом режиме определяется по следующей формуле:

$$\bar{U}_n = I e^{j(\omega_0 t + \int \omega_c dt)} \left[\bar{Z}(j\omega_0) + \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n} C_n \frac{d^n \bar{Z}(j\omega_0)}{d\omega^n} \right]. \quad (16)$$

При этом величина результирующего фазового сдвига, вносимого линейной системой, равна

$$\varphi = \varphi_c(\omega) + \varphi_d(t), \quad (17)$$

где $\varphi_c(\omega)$ - фазовый сдвиг, вносимый линейной системой в квазистационарном режиме;

$\varphi_d(t)$ - дополнительная составляющая вносимого фазового сдвига, которую нужно учитывать в динамическом режиме, проявляющаяся из-за переходных процессов при быстрых изменениях частоты.

Далее в диссертационной работе отдельно рассмотрены вносимые фазовые сдвиги $\varphi_c(\omega)$ и $\varphi_d(t)$ и получены выражения для определения этих величин. Подставляя в (2) выражение (17) и разлагая функцию $E_{\text{вотк}}$ в ряд, после некоторых преобразований получим выражение для определения коэффициента нелинейных искажений сигнала на выходе ГЧД по третьей гармонике в динамическом режиме

$$K_{ГЗ} = \frac{0,375M + 0,0083d^2 + d^4(0,03 + 0,375M^2)}{\alpha M(1 + 0,375d^2) + 0,25d^2 + d^4(0,0625 + 0,375M^2) - 1}, \quad (18)$$

где $M = \frac{1}{\beta}$, β - индекс частотной модуляции.

Зависимости $K_{ГЗ} = F(d)$ для различных значений индекса модуляции β приведены на рис. 3, где α - отношение максимальной девиации частоты сигнала к полосе пропускания контура на уровне 0,7. В динамическом режиме нелинейные искажения сигнала больше, чем в квазистационарном режиме. Например, при девиации частоты равной половине полосы пропускания контура и при индексе ЧМ $\beta = 5$ коэффициент нелинейных искажений увеличивается на 40%, а при $\beta = 10$ - на 10% по сравнению со значениями, определенными в квазистационарном режиме.

С увеличением α и частоты модуляции Ω нелинейные искажения возрастают. При увеличении β нелинейные искажения уменьшаются. При $\beta \gg 1$ и $\alpha \ll 1$ выполняется условие применимости квазистационарного метода и значение нелинейных искажений в динамическом режиме приближается к значению в квазистационарном режиме.

В диссертации произведено сравнение различных типов ЧД по величине вносимых ими нелинейных искажений в выходные сигналы. При этом вводится коэффициент δ^n , характеризующий степень отклонения детекторной характеристики от линейной

$$\delta = \frac{[\psi'(\Delta f_m)]_{\Delta f_m=0}}{[\psi'(\Delta f_m)]_{\Delta f_m \neq 0}} \quad (19)$$

Для сравнения различных типов ЧД построены графики зависимости величины δ от отношения амплитуды девиации частоты к величине частотного отклонения, при котором достигается максимум (горб) детекторной характеристики $\mathcal{E}(\alpha/\alpha_{\max})$. Произведено сравнение гармонического ЧД, ЧД с одиночным расстроенным контуром, ЧД со связанными контурами и ЧД с взаимно расстроенными контурами.

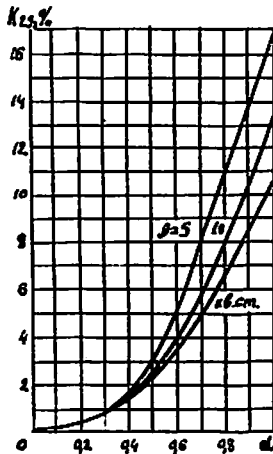


Рис. 3

Результаты сравнения показывают, что в области значений $\mathcal{E} \leq 0,1$ детекторные характеристики всех вышеперечисленных ЧД имеют нулевое отклонение от линейного. Гармонический ЧД при больших девиациях частоты сигнала по линейности детекторной характеристики лучше, чем ЧД на одиночном расстроенном контуре, и несколько уступает ЧД на взаимно расстроенных контурах и ЧД со связанными контурами.

В пятой главе рассмотрено также влияние дестабилизирующих факторов на детекторную характеристику ГЧД. На основе проведенного анализа предлагается метод уменьшения влияния дестабилизирующих факторов на работу ГЧД, который состоит в выполнении

условия $R_1 R_2 = \rho^2$ при выборе первичных параметров контура (R_1 - сопротивление потерь в индуктивности; R_2 - сопротивление вносимых потерь и потерь в емкости; ρ - характеристическое сопротивление).

Г Л А В А 6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В шестой главе диссертации описывается установка, разработанная для снятия амплитудной и детекторной характеристик гармонического ЧД. Экспериментально исследовано влияние изменения значения емкости одиночного контура на его фазовую характеристику и на детекторную характеристику ГЧД при различных значениях добротности контура Q , сопротивления потерь R_1 в индуктивности, сопротивления вносимых потерь и потерь в емкости R_2 ; характеристического сопротивления контура ρ . Экспериментально снимались переходные характеристики ГЧД, ЧД с взаимно расстроенными контурами, ЧД фильтрового типа и частотно-фазового детектора при скачкообразном изменении частоты входного сигнала, для различных значений отношения скачка частоты и ширине рабочего участка детекторной характеристики.

Произведенная экспериментальная проверка подтверждает результаты теоретического анализа.

В п р и л о ж е н и и диссертации на основе проведенного теоретического анализа приводится методика инженерного расчета гармонического ЧД как при детектировании сигналов с частотной модуляцией, так и сигналов с частотной манипуляцией. Разработанная методика иллюстрируется соответствующими примерами расчета.

В з а к л ю ч е н и е изложены основные результаты проведенного в диссертации исследования гармонического ЧД, которые сводятся к следующему:

1. Произведен анализ нелинейной системы гармонического ЧД, работающей в режиме ограничения амплитуды второй гармоники входного сигнала. Получено выражение для расчета амплитудной характеристики гармонического ЧД.

2. Доказана возможность осуществления пикового детектирования, используемого в гармоническом ЧД, с помощью устройства с

кубической вольтамперной характеристикой и фильтра нижних частот.

3. Показано, что гармонический ЧД можно рассматривать как устройство, вычисляющее взаимно корреляционную функцию.

4. Исследован закон установления выходного напряжения гармонического ЧД при скачке частоты на его входе. Рассчитаны переходные характеристики гармонического ЧД при различных значениях отношения скачка частоты к полосе пропускания его линейной системы на уровне 0,7.

5. Получены законы установления напряжения на выходах частотно-фазового детектора, ЧД со связанными контурами и ЧД фильтрового типа при скачкообразном изменении частоты сигнала входного напряжения.

6. Произведено сравнение переходных процессов в различных типах ЧД, которое показало, что при одинаковой ширине рабочего участка детекторных характеристик гармонический ЧД имеет минимальное время установления выходного напряжения по сравнению с ЧД со связанными контурами, ЧД с взаимно расстроенными контурами, частотно-фазового детектора и ЧД фильтрового типа.

7. При сохранении ширины рабочего участка детекторной характеристики постоянным, с увеличением начальной обобщенной расстройки, время установления выходного напряжения ЧД с взаимно расстроенными контурами увеличивается; с увеличением параметра связи в ЧД с связанными контурами время установления выходного напряжения уменьшается.

8. Время установления выходного напряжения в частотных детекторах не определяется однозначно шириной детекторной характеристики ЧД, оно также зависит от типа частотного детектора.

9. Исследовано действие радиопульса на гармонический ЧД, работающий в инерционном режиме и создающий выпрямленное напряжение, зависящее от частоты заполнения радиопульса. Дается методика выбора добротности контура при заданном значении длительности радиопульса, средней частоты частотного детектора и полосы схватывания, при которой в рабочей полосе системы автоматической подстройки частоты отсутствуют ложные нули и достигается минимально возможная крутизна детекторной характеристики. Этот результат имеет большое значение с точки зрения теории автоматической подстройки частоты.

10. Дан анализ нелинейных искажений, возникающих в гармоническом ЧД как в статическом, так и в динамическом режиме (при быстрых изменениях частоты сигнала. Показано, что в динамическом режиме коэффициент нелинейных искажений больше чем в квазистационарном режиме.

11. При использовании небольшого участка детекторной характеристики ($\xi < 0,1$) ГЧД практически не искажает сигнал. При использовании большого участка детекторной характеристики ($\xi > 0,1$) ГЧД вносит большие нелинейные искажения по сравнению с ЧД со связанными контурами и ЧД со взаимно расстроенными контурами при определенных значениях параметра связи и начальной обобщенной расстройки соответственно.

12. На основе проведенного в диссертации анализа влияния дестабилизирующих факторов получено условие минимального изменения фазовой характеристики одиночного контура. Соблюдение этого условия дает возможность уменьшить влияние дестабилизирующих факторов на форму детекторной характеристики ГЧД.

Результаты проведенного анализа показывают, что ГЧД по всем основным показателям отвечают требованиям, предъявляемым к лучшим типам частотных детекторов.

На базе проведенного в диссертации исследования разработана методика инженерного расчета ГЧД, которыми можно пользоваться при проектировании различных радиотехнических систем с частотной модуляцией.

Основное содержание диссертации отражено в следующих опубликованных работах автора:

1. Переходные процессы в гармоническом частотном детекторе. "Радиотехника", т. 26, 1971, № 6.
2. Нелинейные искажения в гармоническом частотном детекторе в динамическом режиме. "Радиотехника", т. 27, 1972, № 1.
3. Анализ принципа работы гармонического частотного детектора на основе теории корреляции. "Радиотехника", т. 27, 1972, № 4.
4. Работа гармонического частотного детектора в импульсном режиме. Материалы научно-технического семинара молодых ученых по приемно-усилительной технике. ИТОРЭиС им. А.С. Попова, Москва, 1972.

**5. К принципу работы гармонического частотного детектора.
Тезисы докладов на заседании секции радиоприемных устройств и
усилителей, НТОРЭС им. А.С. Попова, Москва, 19 октября 1971 г.**

Аманджан Абдуазизов

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГАРМОНИЧЕСКОГО ЧАСТОТНОГО
ДЕТЕКТОРА**

**Специальность 05.12.06 – Радиоприемные
устройства**

**Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических
наук**

**Редактор О.Ф. Чеховская
Корректор Л.В. Ходаковская**

**Подписано к печати 10/XI-72г., л. 52671, п.л. 1,1 , т. 150,
зак. 871 , изд. № 340. Бесплатно.**

Типография ВЗЭС. Москва, 111024, Авиамоторная, 8.