МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Nº 4613



ФЕДЕРАЛЬНЫЙ **УНИВЕРСИТЕТ**



Технологический институт Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Южный федеральный университет"

> Методическое руководство к лабораторной работе

Исследование частотных детекторов

Для студентов дневной формы обучения и ФБФО радиотехнических специальностей

КАФЕДРА РАДИОПРИЁМНЫХ УСТРОЙСТВ РТΦ

И ТЕЛЕВИЛЕНИЯ

Таганрог 2010

УДК 621.396.62.(076.5)

Составители: В.С. Плаксиенко, Н.Е. Плаксиенко.

Методическое руководство к лабораторной работе "Исследование частотных детекторов".– Таганрог: Изд-во ТТИ, 2010. – 32 с.

В данном руководстве изложены краткие теоретические сведения о частотных детекторах, сведения о пакете MICRO САР, лабораторное задание и методика его выполнения, контрольные вопросы.

Предназначено для студентов радиотехнических специальностей, обучающихся по направлению "Радиотехника", при изучении дисциплин "Устройства приема и обработки сигналов", "Радиоприемные устройства" и "Прием и обработка сигналов".

Ил. 20. Библиогр. 3 назв.

Рецензент В.И. Марчук д-р. техн. наук., профессор зав. кафедрой "Радиоэлектронные системы" Южно-российского государственного университета экономики и сервиса.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является изучение схем построения частотных детекторов и исследование их основных характеристик. Ознакомиться с основными видами и принципиальными электрическими схемами различных видов частотных детекторов. Освоить работу частотных детекторов в составе радиоприемных устройств.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Частотным детектором (ЧД) называется устройство, которое выполняет одну из функций:

- преобразование сигнала в напряжение, изменяющееся во времени в соответствии с законом изменения частоты входного сигнала. Такие ЧД применяют в РПрУ ЧМ-колебаний;

- преобразование отклонения несущей частоты от номинального значения в постоянное напряжение, величина и знак которого характеризуют отклонение. Такие ЧД необходимы, например, в системах АПЧ.

Принцип частотного детектирования состоит в преобразовании ЧМ-колебания в линейной системе в колебание с другим видом модуляции с последующим детектированием преобразованного колебания безынерционной нелинейной цепью.

При частотной модуляции мгновенная частота сигнала изменяется по закону модулирующего сигнала S(t), поэтому при ЧМ получим:

$$\omega(\mathbf{t}) = \omega_0 + \mathbf{aS}(\mathbf{t}), \qquad (2.1)$$

где ω_0 – частота в режиме молчания, т.е. частота несущего колебания,

 $S(t) = U_0 \cos\Omega t$ – модулирующий (управляющий) сигнал.

Пропорционально амплитуде управляющего сигнала U_{Ω} происходит изменение частоты на величину, которую называют девиацией частоты $\Delta \omega_{max}$ (амплитуды частотного отклонения) (рис. 2.1).



Рис. 2.1

Определение. Отношение девиации частоты $\Delta \omega_{max}$ к модулирующей частоте Ω называется индексом частотной модуляции $\frac{\Delta \omega_{\text{max}}}{\Omega} = m$, тогда девиация частоты равна m $\Omega = \Delta \omega_{\text{max}}$.

Запишем выражение (2.1) в виде $\omega(t) = \omega_0 + m\Omega \cos\Omega t$ и используем его для записи несущего колебания $U(t) = U_m \cos[\omega_0 t + m \sin\Omega t].$

Выводы. Индекс частотной модуляции т не зависит от несущей частоты ω_0 , а определяется только девиацией $\Delta \omega_{max}$ и модулирующей частотой Ω. Он тем больше, чем меньше частота

управляющего сигнала (обратная пропорциональность) $m = \frac{\omega_{\pi}}{\Omega}$.

При частотной модуляции чистым тоном девиация частоты пропорциональна амплитуде управляющего сигнала и не зависит от его частоты.

Преобразуем выражение для ЧМ-сигнала

 $U(t)=U_{m}\cos(\omega_{0}t+(m\sin\Omega t)),$

представив его в виде двух составляющих:

 $U(t) = U_{m} \cos \omega_{0} t \cos (m \sin \Omega t) - U_{m} \sin \omega_{0} t \sin (m \sin \Omega t). (2.2)$

Пусть индекс модуляции m мал, т. е. m << 1 ($\omega_{_{\rm T}} << \Omega$ – это быстрая модуляция), тогда можно считать, что $\cos(m\sin\Omega t) \approx 1$,

 $\sin(m\sin\Omega t) \approx m\sin\Omega t$.

Выражение (2.2) примет вид

$$U(t) = U_{m} \cos \omega_{0} t - m \sin \omega_{0} t \sin \Omega t) =$$

= $U_{m} \cos \omega_{0} t - \frac{U_{m} m}{2} \cos (\omega_{0} - \Omega) t + \frac{U_{m} m}{2} (\omega_{0} + \Omega) t,$ (2.3)

Выражение (2.3) содержит три слагаемых:

– первое слагаемое $U_m [\cos(\omega_0 t)]$ – колебание с несущей частотой;

- второе слагаемое $\frac{U_m m}{2} \cos (\omega_0 - \Omega) t$ - колебание с ниж-

ней боковой частотой (появляется в процессе модуляции);

- третье слагаемое $\frac{U_m m}{2} \cos(\omega_0 + \Omega) t$ - колебание с верх-

ней боковой частотой (появляется в процессе модуляции).

Следовательно, спектр колебания при частотной модуляции чистым тоном состоит из трех оставляющих с частотами: ω_0 – (несущая частота), ($\omega_0 - \Omega$) – нижняя боковая частота, ($\omega_0+\Omega$) – верхняя боковая частота. Амплитуды боковых составляющих равны 0,5 M U_{m0}.

Каждое слагаемое выражения (2.3) изобразим в виде спектральной составляющей на рис. 2.2 и получим спектр ЧМсигнала.



Рис. 2.2

Спектр при угловой модуляции, если m << 1, отличается от спектра AMK только тем, что фаза колебания нижней боковой частоты сдвинута на 180° . Ширина спектра равна 2Ω (Ω - частота модулирующего сигнала) и не зависит от девиации $\omega_{\rm q}$.

Общая структурная схема ЧД показана на рис. 2.3.



Рис. 2.3

Амплитудный ограничитель служит для устранения паразитной амплитудной модуляции ЧМ-колебания.

Преобразовать ЧМ-колебание можно в колебания следующих видов:

- амплитудно-частотно-модулированное (АЧМ), у которого амплитуда меняется в соответствии с изменением частоты колебания. Это преобразование можно осуществить в линейной цепи с реактивными параметрами, зависящими от частоты. После линейной цепи АЧМ-колебание детектируется АД; - фазочастотное с последующим фазовым детектированием;

- импульсы с переменной скважностью с последующим детектированием импульсным детектором, напряжение на выходе которого пропорционально длительности импульсов, и т. д.

Важнейшей характеристикой ЧД является его статическая детекторная характеристика – зависимость выходного напряжения от частоты (рис.2.4):

$$\mathbf{U}_{\mathrm{B}\mathrm{b}\mathrm{I}\mathrm{X}} = \mathbf{E}_{\mathrm{A}} = \boldsymbol{\varphi}_{\mathrm{0}} \left(\mathbf{f}_{\mathrm{0}} \pm \Delta \mathbf{f} \right) \,.$$

Частота, при которой $E_{\rm d} = 0$, называется переходной. Обычно исключают зависимость от входного напряжения и рассматривают нормированную характеристику



$$\frac{U_{BbIX}}{U_{BX}} = \varphi(f_0 \pm \Delta f).$$

Назначение ЧД определяет требования к его показателям:

- высокая крутизна нормированной статической детекторной характеристики



- высокая линейность характеристики;

- большой размах (раствор) П_Д;

- минимальность частотных и фазовых искажений;

- стабильность характеристик при изменении климатических условий.

Частотные детекторы с преобразованием ЧМколебания в АЧМ-колебание. К детекторам, преобразующим отклонение частоты в изменение амплитуды, относятся одноконтурные и балансные ЧД. В таких детекторах ЧМ-колебание преобразуется в АЧМ-колебание в расстроенных относительно несущей частоты резонансных цепях с последующим детектированием амплитудным детектором.

Схема одноконтурного ЧД. Преобразование ЧМколебания в детекторе, схема которого показана на рис. 2.5, осуществляется в резонансном LC-контуре с использованием для этого наклонного участка его АХЧ, где зависимость U_к от f близка к линейной.



Рис. 2.5

Таким образом, действие данного вида ЧД происходит с расстроенным относительно частоты сигнала контуром. При использовании наклонного участка АЧХ контура возникает сопутствующая модуляция (рис. 2.6), при которой закон изменения амплитуды U_к напряжения на контуре соответствует закону изменения частоты входного сигнала.

Напряжение с контура подается на АД, после которого $E_{\ensuremath{\mathbb{I}}}{=}F(f_c).$

Напряжение на контуре

$$U_{\rm K} = \frac{U_{\rm K0}}{\sqrt{1 + [2(f_{\rm c} - f_{\rm o})/f_{\rm o}d_{\rm o}]^2}},$$

где $U_{K0} = I_{m1}R_{\Im};$

I_{m1} – амплитуда первой гармоники тока на выходе АО;

d_э – эквивалентное затухание контура.



Рис. 2.6

Тогда

$$E_{\rm A} = U_{\rm K} \cos \Theta = \frac{U_{\rm K0} \cos \Theta}{\sqrt{1 + [2(f_{\rm c} - f_{\rm o})/f_{\rm o}d_{\rm g}]^2}},$$

где $\cos\Theta$ – коэффициент передачи АД.

Характеристика детектирования, построенная согласно выражению для Е_д, по форме совпадает с АЧХ, используемой в ЧД линейной цепи (в данном случае с резонансной характеристикой контура). Подобные простейшие ЧД применяются только в системах с узкополосной ЧМ, поскольку не обладают достаточно линейными детекторными характеристиками. Повысить линейность характеристики детектирования ЧД можно уменьшением добротности контура либо использованием балансного ЧД с взаимно расстроенными контурами.

Балансная схема ЧД. Балансная схема ЧД с взаимно расстроенными контурами представляет собой два ЧД с одиночными контурами, функциональная схема которого приведена на рис. 2.7, а принципиальная – на рис. 2.8,



Рис. 2.7

где ВУ – вычитающее устройство.





Первый контур ЧД L1C1 настроен на частоту f_{01} , превышающую f_0 на δf , а второй контур L2C2 – на частоту f_{02} , которая на δf ниже средней частоты входного сигнала f_0 , полосы пропускания фильтров для симметрии должны быть равны

$$\frac{f_1}{Q_1} = \frac{f_2}{Q_2} = \frac{f_0}{Q} \,.$$

При f = f₀ U_{K1} = U_{K2}, $E_{Д1} = E_{Д2}$ и напряжение на выходе ЧД (рис. 2.9) $E_{Д} = 0$.

При $f > f_0$ напряжение U_{K1} на первом контуре становится больше, чем напряжение U_{K2} на втором, и соответственно $E_{Д1} > E_{Д2}, E_{Д} > 0.$

При f < f_0 U_{K1} < U_{K2}, E_{Д1} < E_{Д2} и $E_{\mathcal{J}} < 0.$



Рис. 2.9

Характеристика детектирования балансного ЧД с взаимно расстроенными контурами практически симметрична, поэтому при детектировании отсутствуют искажения по второй гармонике. При значительной взаимной расстройке контуров характеристика детектирования становится нелинейной.

При работе в условиях действия случайных возмущений, обусловленных внутренними шумами приемного устройства, амплитудными флуктуациями входного сигнала и другими причинами, на вход ЧД поступает радиосигнал, смешанный с шумами. Зависимость математического ожидания выходного напряжения ЧД от величины f называется дискриминационной характеристикой.

В случае, когда необходимо получить высокую крутизну дискриминационной характеристики, можно использовать усилитель, однако он усилит и сигнал и шум, поэтому применение усилителя не решает задачу повышения крутизны дискриминационной характеристики. Другим методом повышения крутизны является применение более узкополосных фильтров, однако их применение приводит к затягиванию переходных процессов и размах линейного участка характеристики уменьшается. Третьим методом повышения крутизны является применение дискриминаторов с управляемой характеристикой, реализуемых на основе структур с взаимными обратными связями.

Частотные детекторы с преобразованием ЧМколебания в ФЧМ-колебание. К детекторам, преобразующим изменение частоты в изменение фазового сдвига, относятся ЧД с двумя связанными контурами и дробный детектор (детектор отношений). К этому же типу относятся детекторы совпадений.

В этих схемах используют резонансный контур для преобразования изменения частоты в изменение фазового сдвига с последующим фазовым детектированием, т.к. резонансный контур имеет ФЧХ у которой фазовый сдвиг в некоторых пределах пропорционален частотной расстройке.

Принципиальная схема ЧД со связанными контурами показана на рис. 2.10. Обычно плечи ЧД выполняют одинаковыми, поэтому $R_{H1} = R_{H2} = R_{H}$; $C_{H1} = C_{H2} = C_{H}$. Для преобразований ЧМколебаний используют линейную цепь из двух индуктивно связанных контуров L1C1 и L2C2. Контуры настроены на частоту $f_{01} = f_{01} = f_0$, равную средней частоте сигнала. На выходе линейной цепи включены два диодных детектора, на нагрузках которых выделяются продетектированные напряжения $E_{Д1}$ и $E_{Д2}$.



Рис. 2.10

Так как диоды VD1, VD2 одинаковы, а $R_{\rm H1}=R_{\rm H2}$, то коэффициенты передачи диодных детекторов равны соs Θ . Тогда

 $E_{d_1}=U_{d_1}\cos\Theta$, $E_{d_2}=U_{d_2}\cos\Theta$, где U_{d_1} , U_{d_2} – высокочастотные напряжения на диодах.

Постоянная составляющая тока диода VD1 протекает по цепи VD1 – R_{H1}– Др – верхняя половина L2 – VD1, а постоянная составляющая тока VD2 – по цепи VD2 – R_{H2} – Др- нижняя половина L2 – VD2. Дроссель Др служит для замыкания цепи постоянной составляющей тока диода. Специального вычитающего устройства в ЧД нет, а используется простое сложение напряжений $E_{Д1}$ и E_{J2} в противоположной полярности, следовательно,

$$E_{\Pi} = E_{\Pi 1} - E_{\Pi 2} = (U_{\Pi 1} - U_{\Pi 2}) \cos \Theta$$

Для определения E_{d} необходимо найти напряжения U_{d1} и U_{d2} . Для этого укажем цепь протекания высокочастотной составляющей тока диода VD1: VD1 – C_{H1} – C_{H2} – общий провод – $C_{\delta n}$ – L1C1 – C_{CB} – контур L2C2 – VD1. К диоду VD1 приложено два напряжения: половина напряжения на втором контуре 0,5U₂ и напряжение на первом контуре U₁, т. е. $U_{d1} = U_1+0,5$ U₂. Напряжение U₁ выделяется на дросселе Др, подключенном по высокой частоте параллельно L1C1-контуру; наличие напряже-

ния U₁ необходимо для нормальной работы ЧД. Для того чтобы индуктивность дросселя L_{др} не влияла на индуктивность первого контура, ее выбирают исходя из условия L_{др} \cong 10L1. По аналогии для диода VD2 можно записать U_{д2} = U₁ – 0,5 U₂; знак «минус» обусловлен тем, что если к диоду VD1 прикладывается «плюс» напряжения U₂, то в этот же момент к диоду VD2 прикладывается «минус» этого напряжения.

Принцип работы ЧД со связанными контурами поясним с помощью векторных диаграмм, приведенных на рис. 2.11.

Предположим, что $f_C = f_0$. В качестве исходного берем вектор напряжения U_1 , его фазу принимаем равной нулю. На диаграмме (рис.2.11,а) I_1 отстает по фазе на 90° от U_1 . ЭДС Ем, наводимая этим током во 2-м контуре, отстает от I_1 на 90°. Ток I_2 во 2-м контуре совпадает по фазе с E_M . Напряжение U_2 сдвинуто относительно I_2 на 90°.



Рис. 2.11

Половина напряжения $U_2^{"} = 0,5 U_2$, действующая относительно средней точки катушки индуктивности L2, прикладывается к диоду VD1, а другая половина $U_2^{"} = -0,5 U_2$, прикладывается к диоду VD2. Сложив векторы напряжений U_1 и $U_2^{"}$, найдем вектор напряжения $U_{д1} = U_{\Pi}$, а сложив U_1 и $U_2^{"}$, определим вектор $U_{д2} = U_1$. Из векторной диаграммы, представленной на рис. 2.11,а видно, что $U_{Д1} = U_{Д2}$; следовательно, $E_{Д1} = E_{Д2}$, $E_{Д} = 0$.

Построим векторную диаграмму для $f_c > f_o$ (рис. 2.11,б). Взаимное расположение векторов U₁, I₁, E_M не изменяется по сравнению с предыдущей диаграммой. При $f_C > f_0$ сопротивление второго контура $\omega L2 - 1/\omega C2$ для тока I₂ имеет индуктивный характер, следовательно, ток I₂ отстает по фазе от ЭДС E_M. Напряжение U₂ сдвинуто относительно I₂ на 90°. К диоду VD1 приложено напряжение U₂["] = 0,5U₂, а к диоду VD2 – напряжение U₂["] = -0,5 U₂.

Сложив соответствующие векторы, определим $U_{Д1}$ и $U_{Д2}$. Из диаграммы на рис. 2.11,6 следует, что при $f_C > f_0 U_{Д2} > U_{Д1}$, при этом $E_{Д2} > E_{Д1}$ и $E_{Д} < 0$. Чем больше расстройка, тем больше ϕ и тем больше разность U_I и U_{II} .

Учитывая требование идентичности амплитудных детекторов $K_{Д1} = K_{Д2} = K_{Д}$, получим:

$$U_{\text{Bbix}} = [|U_1|_{-}|U_{\Pi}|] K_{\Pi} = |Y_{21}| R_{_{O3}} U_{_{Bx}} K_{\Pi} \Psi_{(\xi)},$$

где $R_{O9}=\omega_0 LQ$,

$$ψ(ξ) = \frac{\sqrt{4 + (\eta + 2)^2 - \sqrt{4 + (\eta - 2)^2}}}{2\sqrt{(1 + \xi^2 - \eta^2) + 4\eta^2}} -$$
нормированная ха-

рактеристика ЧД,

где $\xi = \frac{2\Delta fQ}{f_0}$ – обобщенная расстройка, n = kQ – обобщенный параметр связи.

Детекторы по схеме с двумя взаимно связанными одинаково настроенными контурами обладают достаточно протяженным линейным участком детекторной характеристики, значительной ее крутизной. Они просты в регулировке и поэтому нашли широкое применение как в приемниках ЧМ-колебаний, так и в системах АПЧ.

Форма характеристики детектирования ЧД (рис. 2.12) зависит от добротности контуров и степени связи между ними.



Рис. 2.12

Таким образом, в ЧД со связанными контурами с изменением частоты f_C относительно f_0 меняется фазовый сдвиг между ЭДС E_M , наводимой на втором контуре, и током I_2 в нем, что приводит к изменению напряжений $U_{Д1}$ и $U_{Д2}$ на диодах, а следовательно, и напряжения $E_{Д}$.

Схема детектора отношений (дробный ЧД). Рассмотрение балансных ЧД показало, что $U_{Bblx} = E_{d}$ пропорционально амплитуде сигнала. Чувствительность детекторов к паразитной амплитудной модуляции ЧМ-сигнала вызывает его искажения. В значительной степени свободны от этого недостатка дробные ЧД (рис. 2.13).

Характерной особенностью дробного ЧД является малая чувствительность к амплитудной модуляции детектируемого напряжения, благодаря чему отпадает необходимость в АО.

Схема дробного ЧД (рис. 2.13) является вариантом схемы ЧД со связанными контурами; ее отличие состоит в способе включения диодов и нагрузки, а также во введении катушки связи L3 вместо дросселя.



Рис. 2.13

Каждое из высокочастотных напряжений $U_{Д1}$ и $U_{Д2}$, подводимых к диодам VD1 и VD2, так же, как в ЧД со связанными контурами, представляет собой сумму напряжений: напряжения U_1' на катушке связи L3 и половины напряжения на втором контуре 0,5U₂. Напряжение $U_1^{1}=M_2U_1/L_1$, т. е. по фазе оно совпадает с напряжением U_1 на первом контуре. Поэтому векторные диаграммы, рассмотренные при анализе работы ЧД со связанными контурами, остаются справедливыми и для дробного ЧД; различие состоит лишь в том, что вместо U_1 при построении векторных диаграмм дробного ЧД необходимо использовать напряжение U_1' , которое несколько меньше U_1 .

В дробном ЧД напряжение $E_0=E_{Д1}+E_{Д2}$ подводится к конденсатору C_0 настолько большой емкости, что напряжение на нем не успевает реагировать на быстрые изменения амплитуды входного сигнала. Следовательно, в процессе работы ЧД может меняться только отношение $E_{Д2}/E_{Д1}$, а не их сумма. Именно по этой причине такой ЧД называют дробным (иногда детектором отношения), т.е. отношение их зависит от отклонения частоты сигнала и практически не зависит от АМ. Степень подавления сопутствующей AM определяется симметрией плеч ЧД, и для ее повышения включают небольшие резисторы в плечи детектора последовательно с диодами и выбирают $U_2 = 0.5U_1$.

Широкополосность тракта усилителя-ограничителя УПЧ является необходимым параметром высококачественного тракта УКВ-приемника.

От частотного детектора УКВ-приемника требуется прежде всего высокая линейность детектирования. Она необходима для правильного воспроизведения модулирующей функции. Но можно показать, что линейность характеристики детектора в значительной мере определяет и избирательность приемника, так как предотвращает образование комбинационных частот между полезным сигналом и помехой. Расчеты показывают, что даже при нелинейности всего 1 % реальная избирательность приемника может снизиться на 10 – 15 дБ. Высокая линейность (доли процента) должна сохраняться в широком диапазоне частот. Это означает, что линейная часть характеристики частотного детектора высококачественного приемника должка составлять не менее 1 – 2 МГц.

Широко распространенный в течение многих лет детектор отношений постепенно перестает применяться в ЧМприемниках. Это следствие нестабильности его настройки во времени, а также неудобств, связанных с применением катушек индуктивности. Вместо детектора отношений все чаще используется так называемый «детектор совпадений» или, иначе, «квадратурный детектор».

Частотные детекторы с преобразованием ЧМколебания в ИЧМ-колебание. К детекторам, преобразующим изменение частоты в импульсы с переменной скважностью, относятся детектор совпадений (квадратурный детектор) и счетный ЧД. К этому же типу относятся детекторы совпадений.

В этих схемах ЧМ-сигналы преобразуются в импульсы с переменной скважностью с последующим детектированием импульсным детектором, напряжение на выходе которого пропорционально длительности импульсов.

Схема квадратурного ЧД. Структурная схема квадратурного детектора показана на рис. 2.14,а, а на рис. 2.14,б приведена принципиальная схема одного из возможных вариантов реализации такого детектора.



Рис. 2.14

После усилителя-ограничителя УО импульсы с выхода эмиттерного повторителя подаются на перемножитель X, собранный на транзисторах VT2 – VT7.

При этом одна последовательность подается на перемножитель непосредственно, а другая – через колебательный контур К, создающий при резонансе сдвиг фаз, равный 90° (ФНЧ – фильтр нижних частот). К сожалению, фазовая характеристика колебательного контура имеет нелинейность, создающую нелинейные искажения выходного сигнала тем большие, чем больше добротность контура. Однако при добротностях около 16 единиц нелинейные искажения такого детектора менее 1 %. Вместо одиночного контура можно включить пару связанных контуров, что позволяет уменьшить нелинейность до десятых долей процента.

На вход квадратурного детектора подаются две группы импульсов промежуточной частоты. При отсутствии модуляции эти две группы сдвинуты относительно друг друга по фазе на 90°, как показано на рис. 2.15,а.



Рис. 2.15

При отклонении частоты следования импульсов от среднего значения, вследствие модуляции, сдвиг фаз меняется, как показано на рис. 2.15, б, в. Показанные последовательности импульсов подаются на устройство перемножения, на выходе которого появляется напряжение, соответствующее времени совпадения импульсов. После сглаживающего фильтра образуется сигнал низкой частоты, соответствующий модулирующему сигналу.

Для отсутствия нелинейных искажений выходного сигнала необходимо, чтобы ФЧХ фазосдвигающей цепи была линейной в рабочем диапазоне частот.

Квадратурный частотный детектор нашел широкое применение в полупроводниковых ИС тракта ЧМ-приемника, так как основная часть его схемы легко воспроизводится в одном кристалле с усилителем-ограничителем.

Для трактов ПЧ и детектора ЧМ-приемников выпускаются специальные полупроводниковые ИС, представляющие собой комбинацию усилителя-ограничителя и квадратурного частотного детектора. Так, широкое применение нашла ИС К174ХА6, зарубежный аналог ТДА1570, заменившая менее совершенную ИС К174 ХА3. Микросхема включает в себя усилительограничитель, детектор совпадений, цепь бесшумной настройки (БШН) и вспомогательные элементы.

Схема счетного ЧД. Другой схемой частотного детектора является счетный детектор. Его выходное напряжение определяется числом импульсов, поступающих на вход в единицу времени, т. е. частотой приходящего сигнала. Основным условием правильной работы счетного детектора является строгая унификация формы импульсов независимо от мгновенной частоты.

К такой унификации можно приблизиться путем глубокого амплитудного ограничения сигнала и последующего дифференцирования, как показано на рис.2.16,а, где ДЦ – дифференцирующая цепь, Огр. – ограничитель по минимуму.



Рис.2.16

В результате глубокого ограничения фронты и срезы импульсов приближаются к вертикальным, но сохраняется модуляция их по ширине в соответствии с частотной модуляцией. После дифференцирования и срезания отрицательных выбросов импульсы становятся практически одинаковыми по форме, изменяется только их скважность. Постоянная составляющая на выходе интегрирующей цепи становится пропорциональной скорости поступления импульсов, т. е. мгновенной частоте сигнала.

Другой путь унификации импульсов – запуск ими мультивибратора (рис. 2.16,б), где ЖМТВБ – ждущий мультивибратор.

Этот вариант частотного детектора обладает некоторым преимуществом, связанным с постоянством формы фронта интегрируемых импульсов.

Счетный детектор, в принципе, обеспечивает минимальные нелинейные искажения и шумы и поэтому может рекомендоваться для самых высококачественных УКВ-трактов. Однако практическая его реализация на высокой ПЧ (10,7 МГц) пока затруднена и счетный детектор, как правило, применяют на пониженных частотах, ниже 1 МГц.

3. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

1. Повторите основные параметры сигналов, модулированных по частоте, и аналитическую форму записи ЧМсигналов.

2. Изучите принципы работы схем ЧД.

3. Изучите меню основных видов анализа электронных схем, которые будут использоваться в ходе выполнения лабораторной работы (Transient Analyses, AC Analyses).

4. Проведите анализ предстоящей работы с использованием настоящего методического руководства.

4. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

1. Наберите схему балансного частотного детектора (ЧД) в среде MICROCAP, приведенную на рис.4.1 (либо схему, представленную на рис. П1, П2 или П3, по согласованию с преподавателем).

На схеме V1 - генератор пилообразного напряжения;

Х1 – генератор, управляемый напряжением (ГУН);

Е2 – генератор ЧМ-сигнала.

На вход ГУН (X1) с генератора V1 подается пилообразное напряжение размахом ± 1 В с периодом 20 m, которое изменяет



Рис. 4.1

его частоту по линейному закону на KF = ± 40 кГц относительно частоты F₀ = 465 кГц. Такое ЧМ-колебание необходимо для снятия АЧХ колебательных контуров и статической детекторной характеристики ЧД.

В генераторе E2 в виде макроса записано выражение для частотно-модулированного колебания (ЧМК)

$$i(t) = I_m \cos(\omega_0 t + m\cos\Omega c),$$

где Ω – частота модуляции,

ω₀ – частота несущего колебания,

 $\frac{\omega_{\pi}}{\Omega} = m$ – индекс частотной модуляции,

ω_д – девиация частоты.

При ЧМ частота ω меняется во времени по закону

$$\omega = \omega(t) = \omega_0 + \omega_{\pi} \cos \Omega o.$$

Генератор Е2 используется для исследования прохождения ЧМ-сигнала через частотный детектор.

2. Получите и зарисуйте АЧХ двух резонансных контуров.

Для снятия АЧХ резонансных контуров необходимо:

- ко входу схемы ЧД (точка 11) подключить генератор с линейно-изменяющейся частотой (V1 и X1);

- напряжение снимать с резонансных контуров схемы ЧД (точки 5 и 8),

– выбрать в меню **Analyses** режим AC (анализ частотных характеристик).

3. Определите параметры контуров: резонансные частоты, полосы пропускания, максимальные значения напряжений.

Вычислите добротности резонансных контуров.

4. Проанализируйте полученные данные и сделайте вывод, соответствуют ли резонансные контуры тем требованиям, которые предъявляются к ним в балансных схемах ЧД.

5. Получите и зарисуйте статическую детекторную характеристику ЧД. Определите размах (раствор) детекторной характеристики П_{д.}

Для исследования статической детекторной характеристики необходимо: - снимать напряжение с выхода схемы ЧД (точка 6);

– запустить анализ переходных процессов **Transient Analyses** (Alt+1).

При этом следует учесть следующее: на входе схемы частота изменяется на ± 40 кГц относительно частоты 465 кГц. Поэтому по горизонтальной оси расстояние от средней точки составляет 40 кГц в каждую сторону.

6. Исследуйте условия прохождения ЧМ-сигнала через ЧД без искажений.

Для этого необходимо:

 – рассчитать требуемое значение индекса частотной модуляции ЧМ-сигнала, чтобы девиация частоты не превышала размаха (раствора) детекторной характеристики;

– установить полученное значение индекса частотной модуляции в выражении для частотно-модулированного колебания (ЧМК) генератора E2, которое записано в виде макроса;

– подключить ко входу ЧД генератор ЧМ сигнала Е2: – зарисовать осциллограммы напряжения на выходе детектора (точка 6);

7. Исследуйте прохождение ЧМ-сигнала через ЧД с искажениями.

Для этого необходимо:

 – рассчитать значение индекса частотной модуляции ЧМсигнала, при котором девиация частоты превысит размах (раствор) детекторной характеристики;

– установить полученное значение индекса частотной модуляции в выражении для частотно-модулированного колебания (ЧМК) генератора E2, которое записано в виде макроса;

– зарисовать осциллограммы напряжения на выходе детектора (точка 6).

8. Объясните полученные результаты в отчете по лабораторной работе. Сделайте выводы.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.

2. Схема для исследований ЧД.

3. Задания для лабораторной работы, полученные результаты, объяснение полученных результатов.

4. Выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается принцип частотного детектирования?

2. Изобразите статическую детекторную характеристику. Какие требования предъявляются к основным показателям ЧД?

3. Приведите классификацию схем частотных детекторов.

4. Укажите особенности балансных схем ЧД.

5. Поясните принцип работы ЧД с преобразованием отклонения частоты в изменение амплитуды.

6. Приведите принципиальную схему и объясните принцип действия ЧД с одиночным контуром.

7. С помощью векторных диаграмм поясните принцип действия ЧД со связанными контурами.

8. Поясните принцип действия счетного ЧД.

9. Приведите принципиальную схему и объясните принцип действия балансного частотного детектора.

10. Приведите структурную схему и объясните принцип работы квадратурного частотного детектора.

Библиографический список

1. Радиоприемные устройства: Учебник для вузов / Н.Н. Фомин, Н.Н. Буга, В.С. Плаксиенко и др.; Под ред. Н.Н. Фомина. – М.: Радио и связь, 2003. – 520 с.

2. Плаксиенко В.С. Устройства приема и обработки сигналов: Учебное пособие. Часть 2. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. – 112 с.

3. Плаксиенко В.С., Плаксиенко Н.Е. Устройства приема и обработки сигналов: Учебное пособие. Часть 3. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2001. – 52 с.





Рис. П1. Квадратурная схема ЧД



Рис. П2. Схема дробного ЧД



Рис. ПЗ. Схема ЧД со связанными контурами

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель работы	3
2. Краткие теоретические сведения	3
3. Домашнее задание	
4. Лабораторное задание	22
5. Содержание отчета	25
Контрольные вопросы	
Библиографический список	
Приложение	

Плаксиенко Владимир Сергеевич Плаксиенко Нина Евгеньевна

Методическое руководство

к лабораторной работе

Исследование частотных детекторов

Ответственный за выпуск Плаксиенко В.С.

Редактор Проценко И.А. Корректор Надточий З.И.

ЛР№020565 от 23.06.1997 г. Подписано в печать 26.06.2010

Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. п.л. – 2,0. Уч.-изд. л. – 1,8. Тираж 100 экз. Заказ №228 "С"

Издательство Технологического института Южного федерального университета ГСП 17А, Таганрог, 28, Некрасовский, 44

Типография Технологического института Южного федерального университета ГСП 17А, Таганрог, 28, Энгельса,1