

НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»

МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ



РТРУЛ-4

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЕЙ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ
ЧАСТОТЫ (УПЧ).**

Тула, 2012 г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА. ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЕЙ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ (УПЧ).

Цель работы: исследовать теоретические принципы построения схемы усилителя промежуточной частоты (УПЧ), экспериментально определить параметры сигналов в контрольных точках схемы.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ.

Общие сведения.

Усилитель промежуточной частоты (УПЧ) в супергетеродинном радиоприёмнике размещается после преобразователя частоты и выполняет следующие функции:

- обеспечивает основное усиление сигнала до величины, необходимой для нормальной работы демодулятора (коэффициент усиления УПЧ по напряжению обычно составляет $10^3 - 10^6$);
- обеспечивает избирательность приёмника по соседнему каналу ($\sigma_{ск}=20 - 60$ дБ);
- повышает чувствительность РПУ в целом благодаря частотной селекции сигнала на фоне шума (особенно в приёмнике СВЧ диапазона с диодным смесителем без УРЧ).

УПЧ работает на фиксированной частоте f_0 , что позволяет упростить его конструкцию и применять для повышения избирательности сложные системы фильтров. АЧХ УПЧ определяет частотную характеристику приёмника в целом, полоса пропускания Блока Высокой Частоты (БВЧ) практически равна полосе УПЧ.

Существуют два вида требований к амплитудно-частотной и фазочастотной характеристикам УПЧ в зависимости от вида принимаемых сигналов:

1) для приёмника АМ сигналов и импульсных сигналов АЧХ стремятся сделать близкой к прямоугольной, причём в пределах полосы пропускания создать равномерное усиление, а вне полосы пропускания обеспечить необходимое ослабление мешающих сигналов соседних станций; при этом специальных требований к форме ФЧХ не предъявляется;

2) для приёмников сигналов с угловой модуляцией (ФМ и ЧМ сигналов) задаются требования на линейность ФЧХ, а к форме АЧХ особых требований не предъявляют, за исключением того, что она должна обеспечивать необходимую избирательность по соседнему каналу.

Далее, при определении параметров УПЧ, мы будем задаваться только видом АЧХ. На практике наиболее распространены три формы АЧХ УПЧ (рис. 1.1):

- с одним максимумом («одногогорбая»);
- с максимально плоской вершиной;
- с несколькими максимумами («многогорбая»).

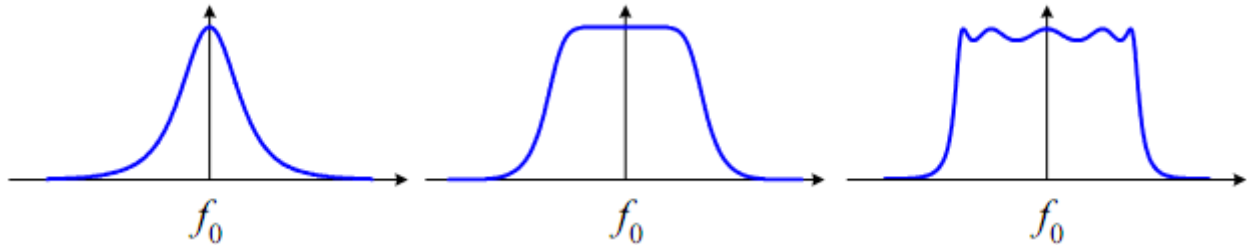


Рис. 1.1. Виды АЧХ УПЧ

Степень близости АЧХ УПЧ к идеально прямоугольной характеризуется коэффициентом прямоугольности:

$$K_{\text{пк}} = \frac{\Pi_{\kappa}}{\Pi_{0,707}} > 1, \quad (1.1)$$

где Π_{κ} – полоса пропускания по заданному уровню $\kappa < 1/\sqrt{2}$;

$\Pi_{0,707}$ – полоса пропускания по стандартному уровню $1/\sqrt{2} \approx 0,707$;

κ – уровень требуемого ослабления на границе полосы пропускания (обычно 0,1 или 0,01) (Рис. 1.2.).

Чем ближе коэффициент прямоугольности к единице, тем круче склоны АЧХ, т.е. тем она ближе к прямоугольной. В соответствии с используемым способом обеспечения частотной избирательности УПЧ делят на две большие группы:

- УПЧ с распределённой избирательностью – когда каждый каскад вносит равный вклад как в усиление, так и в избирательность УПЧ в целом;
- УПЧ с сосредоточенной избирательностью – когда избирательность обеспечивается одним (обычно первым) узкополосным каскадом, а усиление – остальными, широкополосными, каскадами.

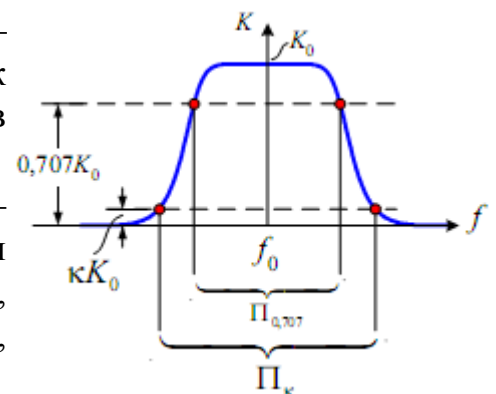


Рис. 1.2. К определению коэффициента прямоугольности АЧХ

УПЧ с распределённой избирательностью строятся с использованием следующих типов каскадов:

с одиночными настроенными в резонанс контурами;	} в узкополосных УПЧ ($P_{\text{упч}} / f_0 < 0,1$)
с двухконтурными полосовыми фильтрами (связанными контурами);	
с фильтрами сосредоточенной селекции: LC-фильтрами, электромеханическими и пьезоэлектрическими фильтрами	
пары и тройки каскадов с симметрично расстроенными контурами	} в широкополосных УПЧ

Для радиовещательных приёмников значение промежуточной частоты определяется стандартом:

- 465 кГц – для приёмников АМ сигналов;
- 6,5 МГц и 10,7 МГц – для приёмников ЧМ сигналов.

Для приёмников радиолокаторов и радиосистем передачи информации диапазона СВЧ типовые значения промежуточной частоты составляют 30 МГц, 60 МГц, 90 МГц, 200 МГц.

Полоса пропускания УПЧ определяется шириной спектра сигнала и, следовательно, зависит от типа сигнала и вида модуляции. Типовые значения ширины спектра некоторых видов сигналов составляют:

радиотелефонная связь с АМ –	6 кГц
радиовещание с АМ –	9-13 кГц
радиовещание с ЧМ –	250 кГц
импульсная радиолокация –	1-10 МГц

Поскольку узкополосный УПЧ легче реализовать, чем широкополосный, то чем больше ширина спектра сигнала, тем выше должна быть промежуточная частота с тем, чтобы УПЧ оставался узкополосным.

Анализ УПЧ с одинаково настроенными каскадами.

Рассмотрим узкополосный УПЧ с распределённой избирательностью, когда каждый каскад вносит равный вклад как в усиление, так и в избирательность УПЧ в целом. Укрупнённая структурная схема такого УПЧ приведена на рис. 1.3. Все каскады идентичны, т. е. имеют одинаковый резонансный коэффициент усиления K_0 , настроены на одну и ту же частоту f_0 и имеют одинаковые АЧХ.

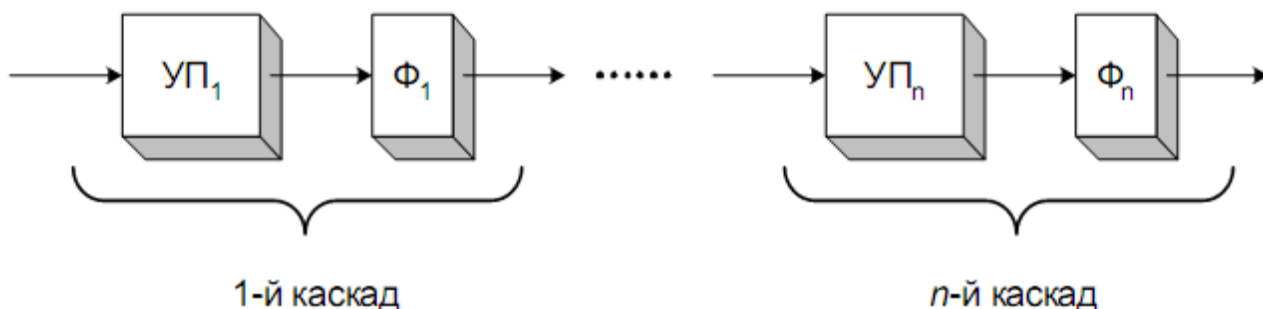


Рис. 1.3. Укрупнённая структурная схема УПЧ с распределённой избирательностью. УП – усилительный прибор; Ф – фильтр

Определим, как зависят параметры n -каскадного узкополосного УПЧ от количества каскадов.

Резонансный коэффициент усиления УПЧ равен произведению коэффициентов усиления всех каскадов:

$$K_{0n} = K_{0(1)} K_{0(2)} \dots K_{0(n)} = K_0^n. \quad (1.2)$$

Если УПЧ построен так, что коэффициент усиления каждого каскада не зависит от числа каскадов, то K_{0n} с увеличением n экспоненциально возрастает.

Амплитудно-частотная характеристика УПЧ равна произведению АЧХ всех каскадов:

$$K_n(f) = K_{(1)}(f) K_{(2)}(f) \dots K_{(n)}(f) = K(f)^n. \quad (1.3)$$

Для дальнейшего анализа её удобно, во-первых, рассматривать как функцию обобщённой расстройки ξ , а во-вторых, представить как произведение резонансного коэффициента усиления УПЧ K_{0n} и нормированной АЧХ $\kappa_n(\xi)$:

$$K_n(f) = K_{0n} \kappa_n(\xi(f)),$$

где $\xi(f) = Q_{\text{кю}} \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)$. Поскольку каскады узкополосны, то $\xi(f) \approx \frac{2\Delta f}{P_{\text{кю}}}$, где $\Delta f = f - f_0$ – отклонение частоты сигнала от частоты настройки УПЧ, $P_{\text{кю}}$ – эквивалентная полоса пропускания одного каскада.

Нормированная АЧХ одного резонансного каскада равна:

$$k(\xi) = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi^2}},$$

поэтому нормированная АЧХ n-каскадного усилителя определяется как:

$$k_n(\xi) = k_{(1)}(\xi)k_{(2)}(\xi)\dots k_{(n)}(\xi) = k(\xi)^n = \frac{1}{(\sqrt{1 + \xi^2})^n}. \quad (1.4)$$

Поскольку при $\xi \neq 0$ $k(\xi) < 1$, то $k_2(\xi) = k(\xi)^2 < k(\xi)$, $k_3(\xi) = k(\xi) \cdot k_2(\xi) < k_2(\xi)$ и т.д. Следовательно, с увеличением числа каскадов нормированная АЧХ УПЧ сжимается (Рис. 1.4) и полоса пропускания усилителя уменьшается:

$$P_{0,7071} > P_{0,7072} > P_{0,7073} > \dots > P_{0,707n}.$$

Кроме этого, изменяется и форма АЧХ – её склоны становятся более крутыми, следовательно, уменьшается коэффициент прямоугольности.

Определим, как изменяется полоса пропускания и коэффициент прямоугольности АЧХ УПЧ с увеличением числа каскадов. Для этого зададим некоторый уровень k , по которому измеряется полоса пропускания, и найдём обобщённую расстройку ξ_k , соответствующую этому уровню. Затем выразим полосу пропускания P_k через ξ_k .

Для n-каскадного УПЧ в соответствии с (1.4) обобщённая расстройка ξ_k , соответствующая границе полосы пропускания находится из условия:

$$\frac{1}{(\sqrt{1 + \xi_k^2})^n} = k \text{ или } (1 + \xi_k^2)^{-n/2} = k,$$

откуда $\xi_k = \sqrt{k^{-2/n} - 1}$.

Для узкополосных каскадов УПЧ можно считать, что:

$$\xi_{\kappa} = \frac{2\Delta f_{\kappa}}{\Pi_{\kappa}}$$

Здесь Δf_{κ} – расстройка по частоте, соответствующая уровню κ и равная половине полосы пропускания, измеренной по этому уровню:

$$\Delta f_{\kappa} = \Pi_{\kappa} / 2$$

Следовательно:

$$\xi_{\kappa} = \frac{\Pi_{\kappa}}{\Pi_{\kappa}}$$

и

$$\Pi_{\kappa} = \Pi_{\kappa} \xi_{\kappa} = \Pi_{\kappa} \sqrt{\kappa^{-2/n} - 1}. \quad (1.5)$$

При $\kappa = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$ формула (6.5) определяет полосу пропускания УПЧ по стандартному уровню:

$$\Pi_{0,707n} = \Pi_{\kappa} \sqrt{\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^{-2/n} - 1} = \Pi_{\kappa} \sqrt{\sqrt[n]{2} - 1}. \quad (1.6)$$

Зависимость $\Pi_{0,707n}$ – убывающая, что подтверждает качественный вывод о сужении полосы пропускания УПЧ при увеличении числа каскадов.

При проектировании УПЧ необходимо решить обратную задачу – определить требуемую полосу пропускания одного каскада по заданной полосе УПЧ. Из (1.6) следует, что эквивалентная полоса пропускания одного каскада равна:

$$\Pi_{\kappa} = \frac{\Pi_{\text{УПЧ}}}{\sqrt{\sqrt[n]{2} - 1}} = \Pi_{\text{УПЧ}} \psi(n), \quad (1.7)$$

где $\psi(n) = \frac{1}{\sqrt{\sqrt[n]{2} - 1}}$ – функция расширения полосы.

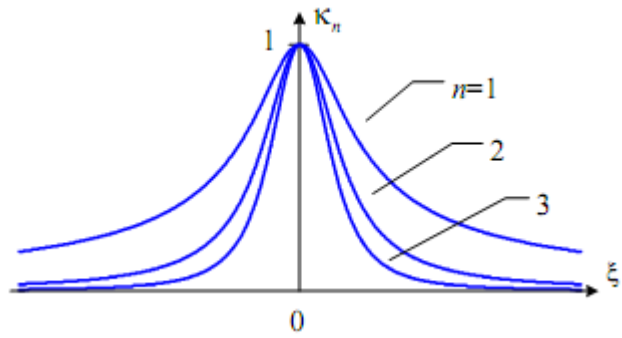


Рис. 1.4. Нормированная АЧХ УПЧ при различном числе каскадов.

$\Pi_{\text{УПЧ}} = \Pi_{0,707n}$ — полоса пропускания УПЧ.

Функция $\psi(n)$ показывает, во сколько раз полоса пропускания каждого каскада УПЧ должна превышать полосу всего усилителя. Её график приведён на рис. 1.5.

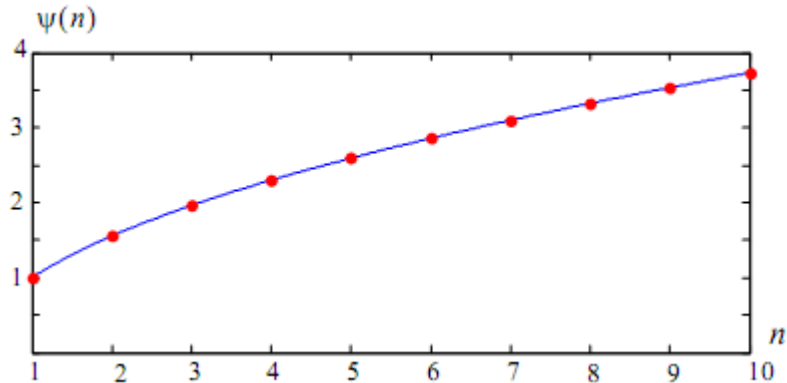


Рис. 1.5. Функция расширения полосы.

Теперь найдём зависимость коэффициента прямоугольности АЧХ от числа каскадов. Подставляя в определение коэффициента прямоугольности (1.1) выражения для полосы пропускания по заданному уровню (1.5) и по стандартному уровню $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$ (1.6), получим:

$$K_{\text{пк}} = \frac{\Pi_{\text{кн}}}{\Pi_{0,707n}} = \frac{\Pi_{\text{кэ}} \sqrt{\kappa^{-2/n} - 1}}{\Pi_{\text{кэ}} \sqrt{\sqrt[n]{2} - 1}} = \sqrt{\frac{\kappa^{-2/n} - 1}{\sqrt[n]{2} - 1}}. \quad (1.8)$$

Величина коэффициента прямоугольности для двух значений уровня κ приведена в табл. 1.1.

Таблица 1.1

**Коэффициент прямоугольности АЧХ УПЧ
с одинаково настроенными каскадами**

n	1	2	3	4	...	10	...	∞
$K_{\text{п}0,1}$	10	4,7	3,7	3,4	...	2,9	...	2,6
$K_{\text{п}0,01}$	100	16	9,0	7,0	...	4,6	...	3,6

Видно, что с увеличением числа каскадов УПЧ коэффициент прямоугольности уменьшается, стремясь к некоторому предельному значению, которое зависит от уровня κ .

Некоторые выводы.

- 1) Для того чтобы при увеличении числа каскадов обеспечить заданную полосу пропускания УПЧ, необходимо расширять полосу пропускания каждого каскада.
- 2) Полоса пропускания одного каскада прямо пропорциональна требуемой полосе УПЧ.
- 3) С увеличением числа каскадов УПЧ (при условии поддержания неизменной полосы пропускания усилителя) коэффициент прямоугольности АЧХ уменьшается, стремясь к некоторому предельному значению. Можно показать, что при этом форма АЧХ УПЧ приближается к гауссовой кривой $k(f) = e^{-[c(f-f_0)]^2}$, где $c = \sqrt{2 \ln 2} / \Pi_{\text{УПЧ}}$.
- 4) С увеличением числа каскадов УПЧ его усиление растёт до определённого значения n , после чего оно уменьшается. Это вызвано необходимостью расширения полосы пропускания каждого каскада, что снижает его усиление.
- 5) Чем выше единичное усиление, тем больше достижимый коэффициент усиления УПЧ. При этом значение числа каскадов, при котором коэффициент усиления максимален, увеличивается.

УПЧ с сосредоточенной избирательностью.

Если радиоприёмник должен работать в условиях интенсивных внешних помех, то избирательность УПЧ необходимо обеспечить возможно ближе к его входу, чтобы предотвратить нелинейные искажения из-за перегрузки усилительных каскадов. В таких случаях целесообразно строить УПЧ по схеме с сосредоточенной избирательностью, включая полосовой фильтр сосредоточенной селекции (ФСС) непосредственно на входе усилителя. В качестве ФСС используются:

- многозвенные *LC*-фильтры;
- активные *ARC*-фильтры;
- электроакустические фильтры;
- электромеханические фильтры.

На рис. 1.6 показан пример схемы двух каскадов УПЧ с многозвенным *LC*-фильтром. В этом фильтре применена емкостная связь между колебательными контурами. Для согласования ФСС с выходом предыдущего и входом последующего каскадов используется автотрансформаторная связь. АЧХ такого ФСС может быть как много горбой (для фильтров Чебышева), так и с максимально плоской вершиной (для фильтров Баттерворта).

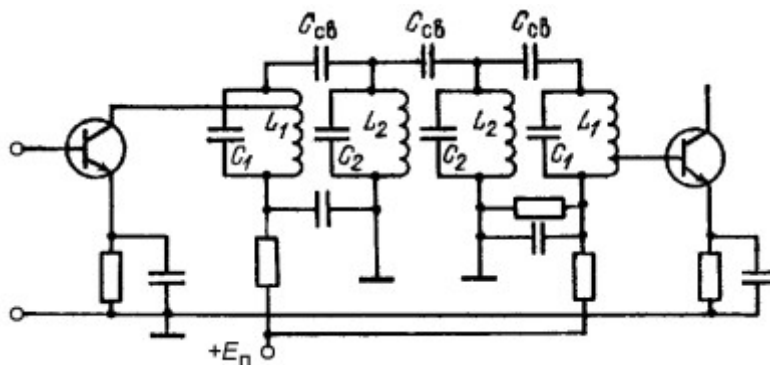


Рис. 1.6. УПЧ с многозвенным *LC*-фильтром

ARC-фильтры строятся на основе широкополосного усилителя и *RC*-цепи, включённой в контур обратной связи. Для получения требуемой АЧХ используются многозвенные фильтры. Такие фильтры удобны для микросхеменной реализации и могут применяться при не очень высокой промежуточной частоте.

В электроакустических фильтрах электрический сигнал с помощью пьезоэлектрического эффекта преобразуется в механические колебания акустической системы – резонатора. В выходном преобразователе за счёт обратного пьезоэлектрического эффекта происходит преобразование механических колебаний в электрические. В качестве материала,

обладающего пьезоэлектрическими свойствами, (пьезоэлектрика) используются кристаллы кварца и пьезокерамика.

В зависимости от того, какие акустические волны возбуждаются и распространяются в пьезоэлектрике, различают два типа электроакустических фильтров – на объёмных акустических волнах и на поверхностных акустических волнах (ПАВ). Фильтры на объёмных акустических волнах (к ним относятся кварцевые и пьезокерамические резонаторы) используются в качестве дискретных частотно-избирательных элементов.

Поскольку механические резонаторы обладают гораздо более высокой добротностью, чем колебательный контур, то такие фильтры имеют очень узкую полосу пропускания. На их основе могут быть построены многосвязные фильтры с АЧХ, близкой к прямоугольной.

Простейшая схема фильтра с одним кварцевым резонатором показана на рис. 1.7. Конденсатор $C_{\text{комп}}$, на который подаётся напряжение сигнала, противофазное напряжению, прикладываемому к кварцевому резонатору, служит для компенсации паразитной ёмкости между электродами резонатора (для удобства настройки обычно используют подстроечный конденсатор). Кварцевые фильтры обладают высокой температурной стабильностью.

Фильтры на ПАВ представляют собой помещённую в герметичный корпус подложку монокристаллического пьезоэлектрика, на поверхности которой располагаются тонкоплёночные металлические электроды (рис. 1.8).

При подаче на входные электроды напряжения сигнала в результате пьезоэлектрического эффекта образуется поверхностная акустическая волна, которая распространяется в направлении выходных электродов. Напряжение на выходе фильтра представляет собой взвешенную сумму копий входного сигнала, задержанных на время $\tau_i = \frac{x_i}{v_{\text{ПАВ}}}$, где x_i – координата i -го электрода выходного преобразователя, $v_{\text{ПАВ}}$ – скорость распространения ПАВ:

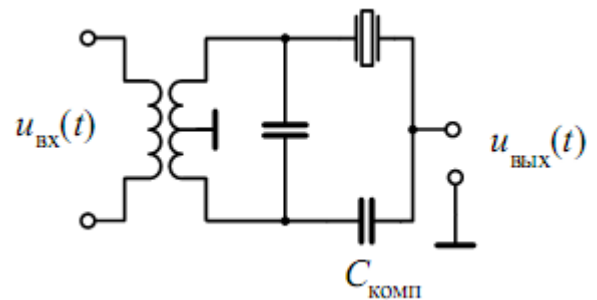


Рис. 1.7. Фильтр на одном кварцевом резонаторе

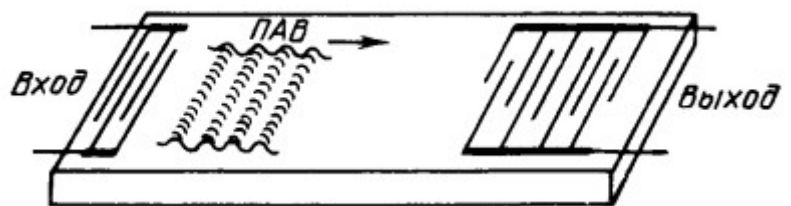


Рис. 1.8. Фильтр на поверхностных акустических волнах

$$u_{\text{ВЫХ}}(t) = \sum_{i=1}^{N_2} A_i s_i(t) = \sum_{i=1}^{N_2} A_i u_{\text{ВХ}}(t - x_i / v_{\text{ПАВ}}) = \sum_{i=1}^{N_2} A_i u_{\text{ВХ}}(t - \tau_i),$$

т.е. фильтр на ПАВ представляет собой аналоговый фильтр с конечной импульсной характеристикой. Путём задания формы и расположения электродов можно реализовать фильтр с требуемой импульсной характеристикой, вид которой определяется заданной формой АЧХ. С уменьшением рабочей частоты размеры фильтра на ПАВ увеличиваются, поэтому они применяются, главным образом, на частотах свыше 10 МГц.

Электромеханический фильтр состоит из входного магнитострикционного преобразователя электрического сигнала в механические колебания, системы механических резонаторов и выходного преобразователя механических колебаний в напряжение. Поскольку каждый механический резонатор обладает высокой добротностью, то можно получить АЧХ фильтра, близкую к прямоугольной. Такие фильтры используются при сравнительно невысокой промежуточной частоте (например, на частоте 465 кГц).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.

Лабораторная работа по исследованию и демонстрации работы УПЧ выполняется на комбинированном лабораторном приборе РТРУЛ-4.

Установка предназначена для проведения лабораторных работ по курсу «Радиотехника и электроника» в высших и средне-технических учебных заведениях.

Установка может быть использована в различных курсах, изучающих основы электронной техники в высших и средних специальных учебных заведениях.

Установка выполнена в климатическом исполнении УХЛ, категория 4.2 ГОСТ 15150-69 для эксплуатации в помещении при температуре от 10°C до 35°C и относительной влажности до 80 %.

Учебная установка конструктивно состоит из нескольких элементов, объединенных в одном корпусе:

- набора изучаемых элементов и устройств;
- стабилизированного источника питания, подающего питание нужной полярности и значения на все элементы схемы;
- схемы контроля необходимых параметров, осуществляющей вывод информации о ходе эксперимента на экран LCD дисплея.

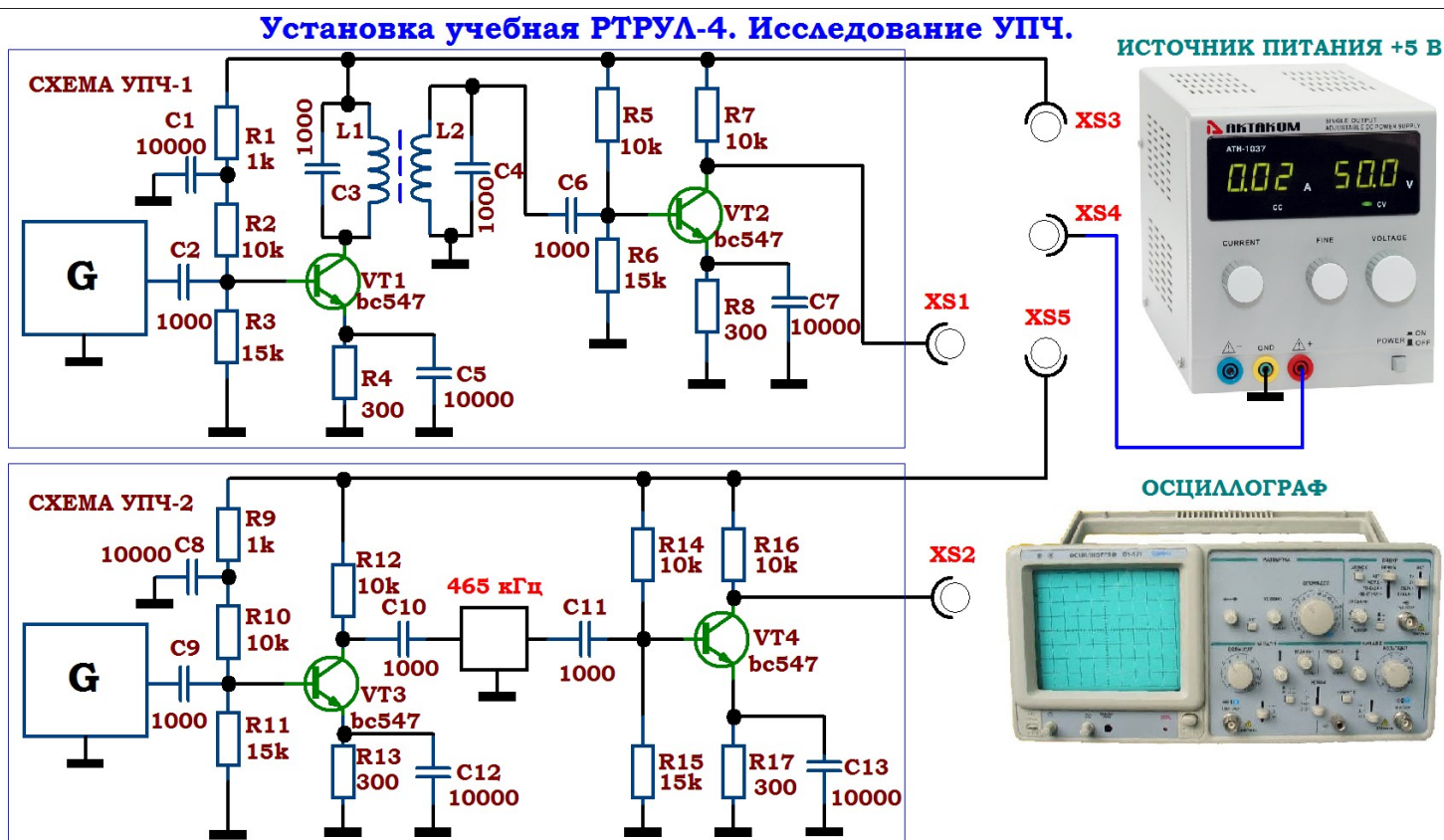


Рис. 2.1. Принципиальная электрическая блок — схема учебной установки РТРУЛ-4.

СХЕМА УПЧ-1, СХЕМА УПЧ-2

СХЕМА 3. РЕЗОНАНСНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ УПЧ.

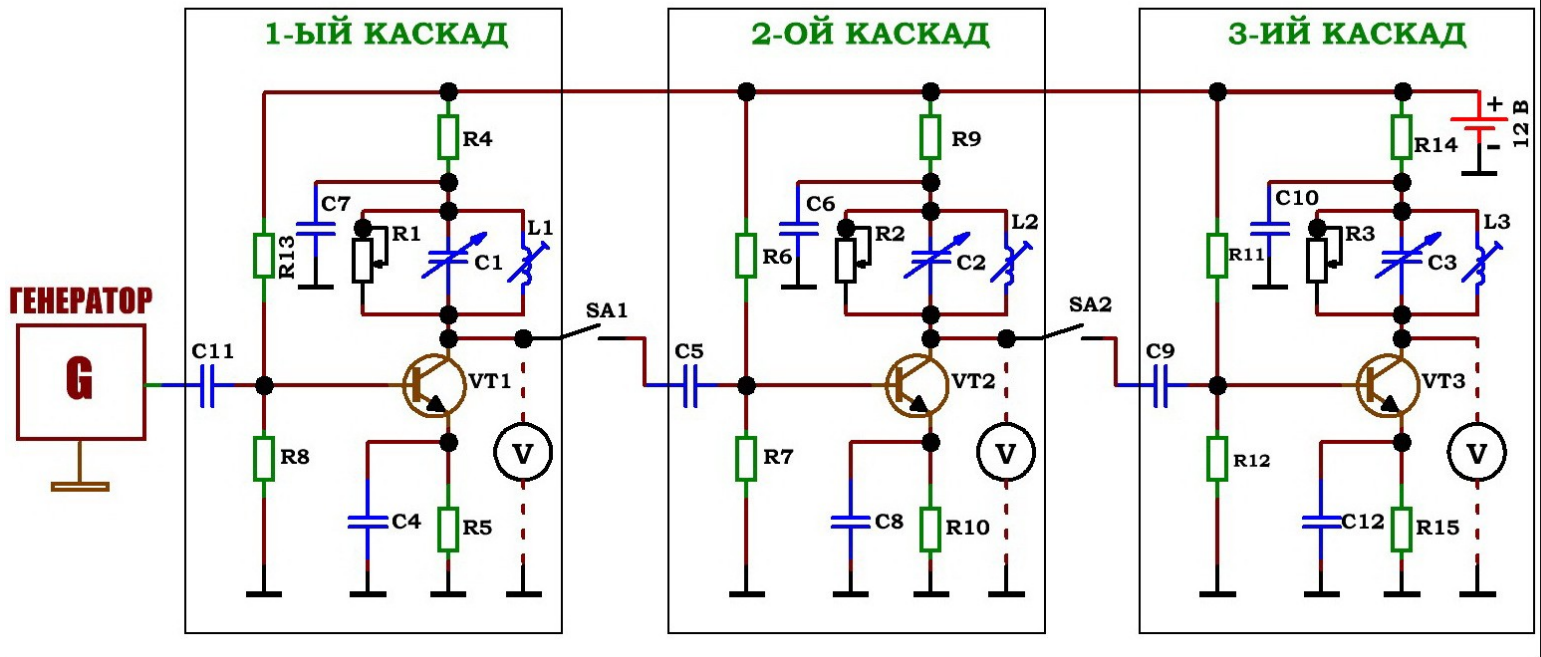


Рис. 2.1-1. Принципиальная электрическая блок — схема учебной установки РТРУЛ-4.

СХЕМА-3. РЕЗОНАНСНЫЙ УПЧ НА ТРЕХ КОНТУРАХ.

Принципиальная электрическая блок — схема учебной установки для изучения Усилителей Промежуточной Частоты приведена на рис. 2.1, рис. 2.1-1. Установка представляет собой три схемы УПЧ.

Схема 1, собранная на транзисторах VT1 и VT2 демонстрирует работу УПЧ с фильтром промежуточной частоты (ФПЧ), собранном на связанных контурах L1C3 и L2C4. При этом транзистор VT2 служит для дополнительного усиления сигнала, снимаемого со второго контура ФПЧ.

Схема 2, собранная на транзисторах VT3 и VT4 демонстрирует работу УПЧ с фильтром промежуточной частоты (ФПЧ), собранном на керамическом фильтре 465 кГц. При этом транзистор VT4 служит для дополнительного усиления сигнала, снимаемого с керамического фильтра.

Схема 3 представляет собой схему резонансного усилителя на трех контурах с возможностью независимой настройки параметров контуров (R, L, C) и выбора их количества (от одного до трёх включенных контуров).

Выбор подключаемой схемы осуществляется соединением переключкой клемм XS4 – XS3 (СХЕМА 1), XS4 – XS5 (СХЕМА 2) либо, если **ПЕРЕМЫЧКА ОТСУТСТВУЕТ, то включена СХЕМА 3**. При этом, усиленный схемой сигнал, поступает на вывод XS1 либо XS2 к которому необходимо подключить провод «тюльпан-BNC» из комплекта и подать этот сигнал на вход Y осциллографа (для схемы 1, 2). Для дополнительной синхронизации используется вывод «СИНХРОНИЗАЦИЯ», который необходимо соединить со входом X внешней синхронизации осциллографа. Осциллограф следует перевести в режим синхронизации внешним сигналом (EXT, ВНЕШН). Для схемы 3 выходное напряжение измеряется с помощью встроенного вольтметра.

Лабораторная установка состоит из генератора колебаний переменной частоты (G), вольтметра, измеряющего амплитуду сигнала с выхода СХЕМЫ 2 и СХЕМЫ-3, электронного осциллографа (ЭО), учебной модели прибора ИЧХ (измерителя частотной характеристики) и комплекса встроенных измерительных приборов.

В установку встроена модель прибора ИЧХ (измеритель частотной характеристики) для снятия амплитудно-частотной характеристики схем с помощью осциллографа.

При этом для СХЕМЫ 1 АЧХ снимается в диапазоне $\sim 462,5 - 467,5$ кГц. Таким образом, вся шкала осциллографа по оси X (от начала кривой АЧХ с нулевого уровня до спада до нулевого уровня) в данном первом опыте составляет $\sim \Delta f = 5$ кГц. АЧХ этой схемы представляет собой стандартный набор АЧХ связанных контуров с разным коэффициентов связи K_{sv} рис. 2.2. При этом, из за особенности работы прибора ИЧХ, на экране осциллографа может визуализироваться сразу несколько

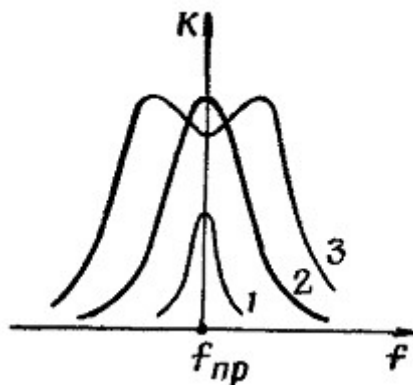


Рис. 2.2. Частотные характеристики двухконтурного каскада.
1 — связь меньше критической; 2 — связь критическая; 3 — связь больше критической

одинаковых характеристик с периодом, совпадающим с периодом работы внутреннего развертывающего генератора прибора ИЧХ.

Коэффициент связи можно менять с помощью многофункциональной ручки «УПРАВЛЕНИЕ, K_{sv}/f ». При этом на LCD индикаторе отображается текущее установленное значение K_{sv} .

Для **СХЕМЫ 2** одновременно с АЧХ на экран осциллографа выводится «метка», указывающая на текущее положение точки, для которой на дисплее отображаются показания частоты f и амплитуды выходного сигнала U схемы. Вращая многофункциональную ручку «УПРАВЛЕНИЕ, K_{sv}/f » и изменяя частоту сигнала с выхода генератора, можно снять АЧХ данной схемы с керамическим фильтром по точкам с одновременной визуализацией на экране электронного осциллографа. При этом, из-за особенности работы прибора ИЧХ, на экране осциллографа может визуализироваться сразу несколько одинаковых характеристик с периодом, совпадающим с периодом работы внутреннего развертывающего генератора прибора ИЧХ.

Для **СХЕМЫ 3** с помощью кнопок управления и ручек регулировки можно выбрать количество подключенных контуров (1 — 3 контура) и независимо установить параметра каждого контура. Измерение АЧХ полученной схемы осуществляется вручную по точкам вращением ручки регулировки «УПРАВЛЕНИЕ, K_{sv}/f » с переключением поддиапазонов генератора соответствующей кнопкой управления.

Назначение кнопок и ручек управления учебной установкой представлено на рис. 2.2-1.

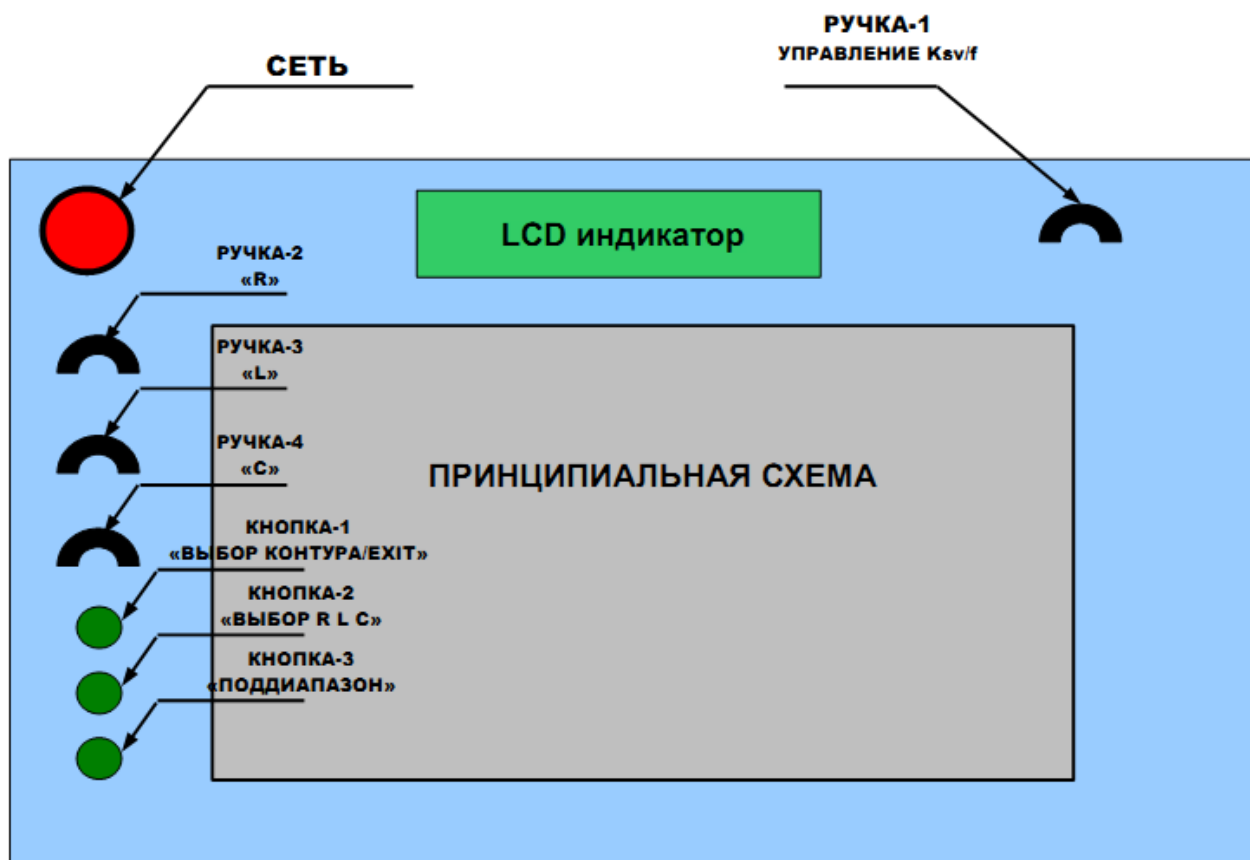


Рис. 2.2-1. Назначение ручек регулировок и кнопок стенда

При включении стенда кнопкой «СЕТЬ» в зависимости от подключения переключки типа «тюльпан-тюльпан» запускается первый, второй либо третий эксперимент. Если переключка не подключена, то запускается третий опыт (СХЕМА-3 Резонансного усилителя). При отключении переключки в режиме первого и второго эксперимента автоматически запускается третий опыт. Для выхода из него и запуска первого либо второго эксперимента следует соединить переключкой клеммы XS4 – XS3 (СХЕМА 1) либо XS4 – XS5 (СХЕМА 2) и удерживать нажатой в течение не менее 5 секунд кнопку-1 «ВЫБОР КОНТУРА/EXIT» либо отключить и включить питание стенда кнопкой «СЕТЬ».

Ручки 2 — 4 служат для установки значений активных сопротивлений, индуктивностей и ёмкостей контуров (см. схема 2.1-1) и активны только в режиме третьего эксперимента.

Кнопка-2 «ВЫБОР R L C» служат для выбора параметра, который необходимо установить (R1, L1, C1 – при подключении одного контура, R1, L1, C1 и R2, L2, C2– при подключении двух контуров, R1, L1, C1, R2, L2, C2, R3, L3, C3 — при подключении трех контуров.

Кнопка-1 «ВЫБОР КОНТУРА/EXIT» служит для выбора количества подключенных контуров — одиночное короткое ~0,5 секунд (MODE 1 – один контур УПЧ; MODE 1,2 — два контура УПЧ; MODE 1,2,3 — три контура УПЧ); для запуска исследуемой схемы — длительное в течение ~2 секунд удержание кнопки, а также для выхода из исследования текущей запущенной схемы - короткое в течение ~0,5 секунд нажатие кнопки. Вольтметр при этом подключается к выходу первого, второго либо третьего контура.

Для выхода из режима СХЕМА-3 следует установить соединить переключкой необходимые клеммы и удерживать нажатой в течение не менее 5 секунд кнопку-1 «ВЫБОР КОНТУРА/EXIT».

Кнопка — 3 «ПОДДИАПАЗОН» служит для переключения поддиапазонов генератора в режиме СХЕМЫ-3.

Сканирование выбранного диапазона по частоте (снятие АЧХ контура) производится вручную по точкам вращением РУЧКИ-1 «УПРАВЛЕНИЕ K_{sv}/f ».

Порядок выполнения.

1. Перед включением установки в сеть необходимо убедиться в целостности сетевых и соединительных проводов. Все соединительные провода и контрольные точки использовать следует только по назначению, запрещается замыкать выход нагрузки и выходы контрольных точек.
2. Включить установку и осциллограф в сеть ~ 220 В с помощью прилагаемого силового сетевого кабеля евро-стандарта. Поставить переключатель СЕТЬ на панели учебного модуля в положение «ВЫКЛ», а переключатель СЕТЬ осциллографа в положение «ВКЛ».
3. Подключить вход X осциллографа к выходу «СИНХР» учебной установки, вход Y осциллографа к выходу XS1 учебной установки.
4. Соединить выход XS4 источника питания с контрольной точкой XS3 первой схемы ФПЧ (на связанных контурах). Поставить переключатель СЕТЬ на панели учебного модуля в положение «ВКЛ» при этом автоматически запустится СХЕМА-1.
5. Установить многофункциональной ручкой «УПРАВЛЕНИЕ, K_{sv}/f » коэффициент связи между контурами $K_{sv} \sim 0,4$.
6. Вращением ручек VOLTS/DIV и TIME/DIV (ВОЛЬТ/ДЕЛ и ВРЕМЯ/ДЕЛ) и ручек POSITION осей X и Y на электронном осциллографе добиться визуально наиболее удобного изображения сигнала. Для дополнительной синхронизации можно использовать ручку LEVEL. Ручка «Y-LINE-EXT» метода синхронизации должна находиться в положении EXT ВНЕШН (синхронизация внешним сигналом). При этом следует учитывать, что оси X (время) и Y (амплитуда) откалиброваны правильно (т. е. подписи у ручек VOLTS/DIV и TIME/DIV верны) только при повернутых до упора ручках плавной регулировки VOLT VAR. и TIME VAR.
7. При этом, из за особенности работы прибора ИЧХ, на экране осциллографа может визуализироваться сразу несколько одинаковых характеристик с периодом, совпадающим с периодом работы внутреннего развертывающего генератора прибора ИЧХ.
8. Выделить один из множества повторяющихся сигналов АЧХ контура и расположить АЧХ контура симметрично относительно центра экрана осциллографа. При этом центр пика будет составлять ~ 465 кГц.

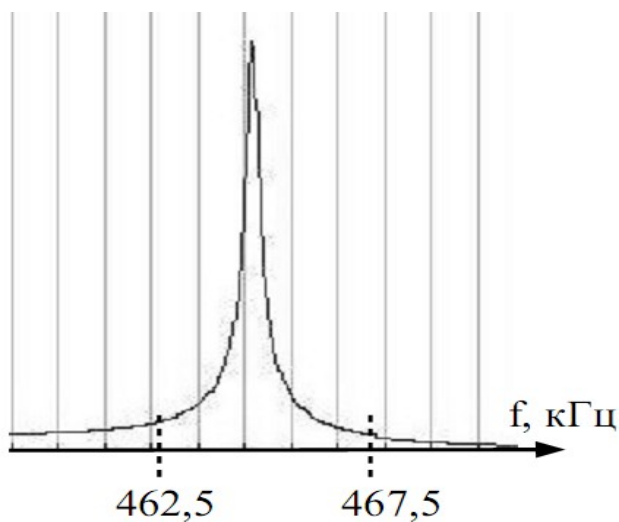


Рис. 2.3. Диапазон измерения АЧХ контура.

9. Определить коэффициент чувствительности АЧХометра по оси X. Для этого следует поделить весь допустимый диапазон измерения частоты $\sim 462,5 - 467,5$ кГц по оси X (от начала кривой АЧХ с нулевого уровня до спада до нулевого уровня) $\sim \Delta F = 5$ кГц на полное количество делений по оси X на шкале осциллографа (рис. 2.3):

$$K_{АЧХ} = \frac{\Delta F}{\Delta X} \quad [\text{кГц/ДЕЛ}]$$

10. В дальнейшем все измерения на осциллографе проведенные по клеткам следует переводить в реальные значения частоты $F = K_{АЧХ} \cdot \Delta X$

11. Оценить ширину полосы пропускания фильтра $2\Delta f$ на уровне 0,707 от максимального значения (рис. 2.4) при данном значении K_{sv} .

12. Плавным вращением ручки «УПРАВЛЕНИЕ, K_{sv}/f » можно наблюдать за изменением амплитудно-частотной характеристики контура при различном коэффициенте связи K_{sv} , отображаемом на LCD дисплее. Получить АЧХ, соответствующие связанным контурам с различным K_{sv} (двугорбая кривая рис. 2.2).

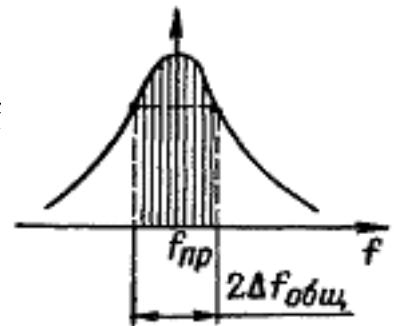


Рис. 2.4. Определение ширину полосы пропускания ФПЧ.

13. Построить график зависимости максимального значения амплитуды сигнала от K_{sv} , вращая ручку регулировка в пределах $K_{sv} \sim 0,15-0,9$ единиц.
14. Определить значение K_{sv} критическое при котором АЧХ начинает приобретать вид двугорбой кривой.
15. Установив ручкой «УПРАВЛЕНИЕ, K_{sv}/f » максимально возможное значение K_{sv} , срисовать полученную АЧХ на миллиметровую бумагу, определить полную ширину полосы пропускания фильтра $2\Delta f$ на уровне 0,707 от максимального значения (рис. 2.4) а также значение разности частоты между вторым и первым максимумом АЧХ $\Delta f' = f_2 - f_1$.
16. Приступить к изучению схемы УПЧ, собранной на керамическом фильтре СХЕМА2. Для этого следует соединить выход XS4 источника питания с контрольной точкой XS5 второй схемы ФПЧ (на связанных контурах). Осциллограф подключить к выходу XS2 второй схемы. Во время отключения-подключения переключки автоматически запускается СХЕМА-3, для выхода из СХЕМЫ-3 при подключенной переключки следует удерживать нажатой в течение не менее 5 секунд кнопку-1 «ВЫБОР КОНТУРА/EXIT».
17. Вращением ручек VOLTS/DIV и TIME/DIV (ВОЛЬТ/ДЕЛ и ВРЕМЯ/ДЕЛ) и ручек POSITION осей X и Y на электронном осциллографе добиться визуально наиболее удобного изображения сигнала. Для дополнительной

синхронизации можно использовать ручку LEVEL. Ручка «Y-LINE-EXT» метода синхронизации должна находиться в положении EXT ВНЕШН (синхронизация внешним сигналом). При этом следует учитывать, что оси X (время) и Y (амплитуда) откалиброваны правильно (т. е. подписи у ручек VOLTS/DIV и TIME/DIV верны) только при повернутых до упора по часовой стрелке ручках плавной регулировки VOLT VAR. и TIME VAR.

18. При этом, из-за особенности работы прибора ИЧХ, на экране осциллографа может визуализироваться сразу несколько одинаковых характеристик с периодом, совпадающим с периодом работы внутреннего развертывающего генератора прибора ИЧХ.

19. Выделить один из множества повторяющихся сигналов АЧХ контура и расположить АЧХ контура симметрично относительно центра экрана осциллографа. Вид АЧХ схемы УПЧ с керамическим фильтром должен соответствовать рис. 2.5 и иметь близкий к единице коэффициент прямоугольности $K_{пк}$.

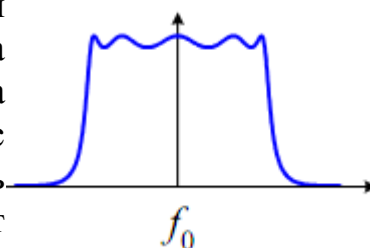


Рис. 2.5. Вид АЧХ СХЕМЫ УПЧ-2 с керамическим фильтром.

20. Изменяя частоту встроенного генератора G вращением многофункциональной ручки «УПРАВЛЕНИЕ, K_{sv}/f », снять зависимость напряжения с выхода схемы U от частоты сигнала f (амплитудно-частотную характеристику) по точкам с одновременным наблюдением АЧХ на экране осциллографа.

21. При этом одновременно с АЧХ на экран осциллографа выводится «метка», указывающая на текущее положение точки, для которой на дисплее отображаются показания частоты f и амплитуды выходного сигнала U схемы.

22. Определить полосу пропускания ФПЧ $P_{0,707}$ по стандартному уровню 0,707 от максимального значения.

23. Выбрав уровень ослабления $k=0,1$ от максимального значения, согласно формуле (1.1) и рис. 1.2 определить полосу пропускания $P_{0,1}$ и коэффициент прямоугольности $K_{пк}$ при заданном уровне ослабления k.

24. Приступить к исследованию резонансного УПЧ СХЕМА-3 рис. 2.1-1.

25. Для этого следует отключить переключку типа «тюльпан-тюльпан» от учебной установки. При этом автоматически запустится СХЕМА-3 и меню выбора количества подключенных контуров в схему.

26. Кнопкой-1 «ВЫБОР КОНТУРА/EXIT» выбрать количество подключенных контуров — одиночное короткое ~0,5 секунд (MODE 1 — один контур УПЧ; MODE 1,2 — два контура УПЧ; MODE 1,2,3 — три контура УПЧ).

27. Запустить выбранную схему длительным в течение ~2 секунд удержанием кнопки-1.

28. Нажатием КНОПКИ-2 «ВЫБОР R L C» листать параметры, доступные для установки в режиме выбранного эксперимента. Устанавливать параметры контуров следует РУЧКАМИ-2 — 4 RLC.
29. Выбрав КНОПКОЙ-2 параметр f (ЧАСТОТА), снять АЧХ исследуемой схемы по точкам вращением РУЧКИ-1 «Управление/ f » с переключением поддиапазонов генератора кнопкой-3 «ПОДДИАПАЗОН». Выходное напряжение схемы измеряется вольтметром и выводится на LCD индикатор U_{out} . АЧХ должна иметь вид резонансной кривой.
30. Кнопкой-2 можно выбрать любой из параметров схемы (R, L, C) и, изменяя его, снять зависимость выходного напряжения схемы от этого параметра при фиксированных значениях других параметров схемы для данной установленной частоты f .
31. Для выхода из исследования текущей запущенной схемы в режим выбора количества подключенных контуров использовать короткое в течение $\sim 0,5$ секунд нажатие кнопки-1.
32. Выбрать другое количество контуров, подключенных к схеме и повторить пп. 26 — 30.
33. По окончании работы поставить переключатель «СЕТЬ» на панели установки и осциллографа в положение «выкл», при этом должен погаснуть индикатор сеть и вынуть сетевые вилки из розеток.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.

1. **Ефимов И. Е., Козырь И. Я.** Основы микроэлектроники — М-Связь, 1975. — 272 с.
2. **Справочник** по интегральным микросхемам/ Под ред. Б В Та-рабрина. 2-е изд. перераб. и доп. — М.: Энергия, 1980. — 816 с
3. **Банк М. У.** Аналоговые интегральные схемы в радиоаппаратуре. — М.: Радио и связь, 1981. — 136 с.
4. **Полевые** транзисторы и интегральные микросхемы. Технический каталог. — М.: ЦНИИ «Электроника», 1975. — 112 с.
5. **Батушев В. А.** Электронные приборы. 2-е изд. перераб и доп — М.: Высшая школа, 1980. — 383 с.
- 6 **Бедрековский М. А., Волга В. В., Кручинкин Н. С.** Микропроцессоры. — М.: Радио и связь, 1981. — 94 с.
7. **Бедрековский М. А., Кручинкин Н. С., Подолян В. А.** Микропроцессоры. — М.: Радио и связь, 1981. — 72 с.
8. **Микропроцессорные БИС и микро-ЭВМ/** Под ред. А. А. Васен-кова. — М.: Сов. радио, 1980. — 280 с.
9. Микро-ЭВМ «Электроника С-5» и их применение/ Под ред. В. М. Пролейко. — М.: Сов. радио, 1980. — 160 с.
10. **Микросхемы** и их применение. — М.: Энергия, 1978. — 248 с.
11. **Огнев И. В., Шамаев Ю. М.** Проектирование запоминающих устройств. — М.: Высшая школа, 1979. — 320 с.
12. **Прангишвили И. В.** Микропроцессоры и микро-ЭВМ. — М.: Энергия, 1979. — 232 с.
13. **Степаненко И. П.** Основы микроэлектроники. — М.: Сов. радио, 1980. — 424 с.
14. **Проектирование** мккроэлектронных цифровых устройств/ Под ред. С. А. Майорова. — М.: Сов. радио, 1977. — 272 с.
15. **Кузнецов В.** и др. Развитие микро-ЭВМ семейства «Электроника С-5» и систем на их основе. — Электронная промышленность, 1979, № И, 12, с. 9 — 12.

ДЛЯ СВОБОДНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ

НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»