

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ»**

**Кафедра радиотехнических устройств
В.Г. Сергеев, Д.Н. Яманов**

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ И ПРИЕМА**

ПОСОБИЕ

по выполнению лабораторных работ

Часть 1

для студентов V курса
очной формы обучения
специальности 090106

Москва – 2009

Вводные указания к выполнению лабораторных работ

При подготовке к лабораторной работе изучается теоретический материал по рекомендованной литературе и настоящему пособию. Достаточность знаний следует проверить по контрольным вопросам, которые приводятся в конце описания каждой работы.

Общие указания к выполнению лабораторной работы:

1. Перед началом работы преподаватель опрашивает студентов по теоретической части работы и методике эксперимента.

2. За время, отведенное на выполнение одной части лабораторной работы (4 часа), студенты должны успеть ответить на вопросы по теории, выполнить экспериментальную часть и оформить отчет.

Если к концу занятия бригада не успела оформить и сдать отчет, то экспериментальный материал с фамилиями студентов должен быть показан преподавателю и подписан им. К следующему занятию отчет должен быть полностью оформлен.

3. До окончания занятий выходить из лаборатории можно только с разрешения преподавателя.

4. Студенты должны ознакомиться с правилами работы с приборами лабораторных установок. Пояснения даются преподавателем и лаборантом, а также изложены в соответствующих инструкциях. Первое включение приборов лабораторной установки производится только с разрешения преподавателя или лаборанта.

Постоянных напряжений на приборах нет и прикосновение к ним безопасно. Уровень высокочастотной мощности соответствует нормам. Вскрывать и ремонтировать приборы студентам запрещается.

5. После окончания эксперимента необходимо выключить приборы, а перед уходом из лаборатории привести в порядок свое рабочее место.

6. Защита лабораторной работы заключается в объяснении полученных результатов с точки зрения физических процессов, происходящих в исследуемых устройствах и анализе соответствия полученных результатов теоретическим положениям, известным из рекомендуемой литературы.

Студенты, не защитившие предыдущую лабораторную работу, к выполнению последующей не допускаются.

7. В журнале студенты должны расписаться об ознакомлении с инструкцией по охране труда.

Отчеты могут оформляться как в отдельном экземпляре, так и в общей тетради.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист (см. Приложение);
- цель работы;
- схему лабораторной установки;
- экспериментальные данные в виде таблиц, графиков, диаграмм;
- выводы по работе.

Лабораторная работа №1

Исследование параметров радиопередающих и приемных устройств, влияющих на характеристики электромагнитного излучения и приема

Часть 1.1. Определение параметров дискретно-кодированных радиосигналов

1.1.1. Цель работы

1. Ознакомление с методами формирования радиосигналов с дискретными видами модуляции.
2. Определение их параметров и оценка помехоустойчивости приема радиосигналов с АМн, ЧМн, ФМн.

1.1.2. Теоретическая часть

Дискретные виды модуляции находят широкое применение в радиолиниях различного назначения, например, в радиосвязных устройствах, при передаче цифровой информации (передача данных).

При оценки качества работы системы/радиолинии прежде всего интересуются тем, какую точность передачи сообщений обеспечивает система и какое количество информации можно передать. В качестве основных характеристик радиосистем связи приняты две характеристики: помехоустойчивость и эффективность.

Помехоустойчивостью радиосистемы называют способность системы противостоять вредному влиянию помех на передачу сообщений. Количественной мерой помехоустойчивости является степень соответствия принятого сообщения переданному, т.е. точность воспроизведения сообщения в месте приема.

Если совокупность переданных сообщений есть $V(t)$, а воспроизводимых сообщений в месте приема $U(t)$, то функция плотности вероятности $p(V,U)$ полностью определяет свойства системы в отношении точности воспроизведения сигнала.

Любая оценка точности воспроизведения сообщения (сигнала) должна быть функцией от $p(V,U)$. При самых общих допущениях она может быть представлена как среднее значение некоторой функции расхождения $\rho(V,U)$ между $V(t)$ и $U(t)$, взятых по множествам V и U и взвешенных в соответствии с плотностью вероятности $p(V,U)$

$$r = \int \int_V \rho(V, U) \cdot p(V, U) dV dU = \int \int_V \rho(V, U) \cdot p(V, U) p\left(\frac{U}{V}\right). \quad (1.1)$$

Функция $\rho(V,U)$ определяет относительную значимость ошибки. Обычно ее называют функцией потерь, а величину r – средним риском.

В системах связи (передачи данных) наибольшее распространение получил критерий помехоустойчивости, основанный на использовании простой функции потерь, которая принимает значение 0 для всех правильных

решений и 1 – для всех неправильных решений. Простая функция потерь применена для тех радиотехнических систем, для которых любые ошибки одинаково нежелательны.

Во многих других случаях степень нежелательности ошибки возрастает по мере увеличения величины этой ошибки. В этом случае наиболее распространенной и удобной является квадратичная функция потерь, при которой помехоустойчивость системы оценивается среднеквадратической ошибкой:

$$r = \bar{\varepsilon}^2 = \overline{[U(t) - V(t)]^2} = \int \int (U - V)^2 \cdot p(V, U) dV dU. \quad (1.2)$$

Критерий помехоустойчивости записан применительно к системам передачи непрерывных сообщений $V(t)$. Для систем передачи дискретных сообщений этот критерий определяется следующим выражением:

$$r = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \rho(V_i, U_j) \cdot p(V_i) \cdot p\left(\frac{U_j}{V_i}\right). \quad (1.3)$$

Простая функция потерь в этом случае:

$$\rho(V_i, U_j) = 1 - \delta_{ij}; \quad \delta_{ij} = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & i \neq j. \end{cases} \quad (1.4)$$

При этом согласно (1.3) средний риск равен полной вероятности ошибок p .

Таким образом, помехоустойчивость любой радиотехнической системы связи можно оценивать величиной среднего риска. При передаче дискретных сообщений, в случае простой функции потерь, средний риск равен полной вероятности ошибок.

Двоичная амплитудная манипуляция (АМн) является частным видом амплитудной модуляции (АМ). Она находит применение ввиду простоты ее технической реализации. Можно считать, что в радиосистеме с АМн в соответствии с кодом передаются элементы сигнала следующего вида:

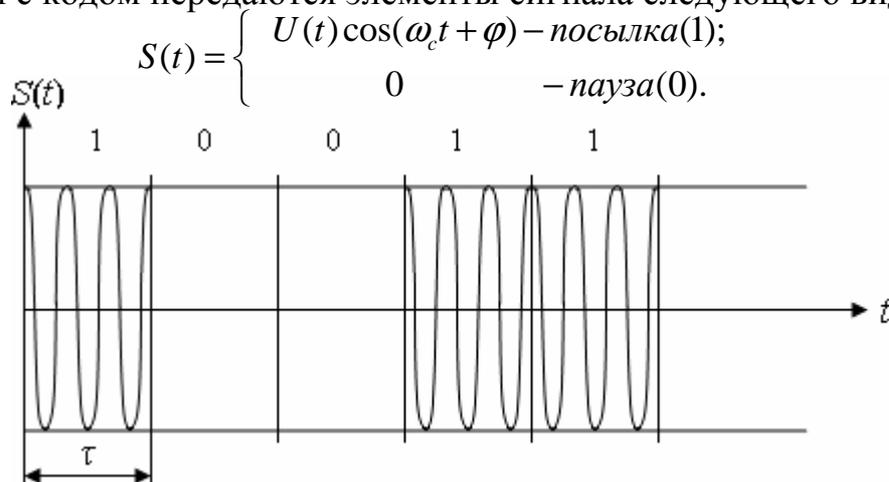


Рис. 1.1. Вид радиосигнала с АМн

Такой радиосигнал может быть легко сформирован с использованием в качестве модулятора электронного ключа (ЭК), управляемого цифровым сигналом (кодом), рис. 1.2.

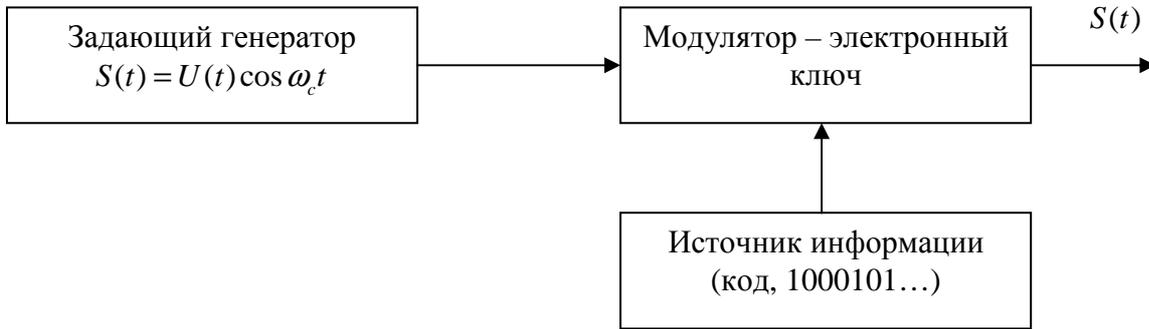


Рис. 1.2. Схема формирования АМн радиосигнала

При когерентном способе приема радиосигналов с АМн в приемнике должна быть точная копия принимаемого сигнала. В приемнике производится перемножение копии сигнала с аддитивной смесью принимаемого сигнала и шума, фильтрация результата перемножения (интегрирования) т.е. определяется значение взаимнокорреляционной функции и далее это напряжение поступает на решающее устройство, в качестве которого используется пороговое устройство. Если порог превышен, то принимается решение о приеме кодовой посылке соответствующей 1, в противном же случае – о приеме 0.

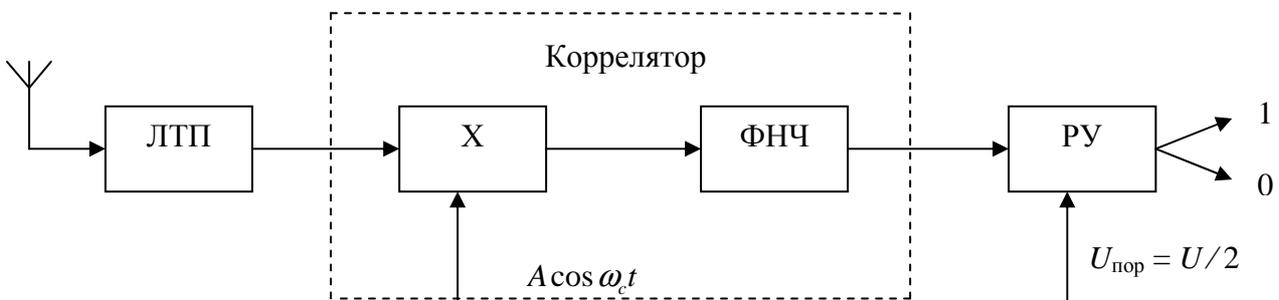


Рис. 1.3. Схема оптимального приемника АМн сигналов (ЛТП – линейный тракт приемника, РУ – решающее устройство)

Вероятность ошибки на символ при когерентном способе приема радиосигналов с АМн определяется выражением:

$$P_{AMn} = 1 - \Phi(0,5\sqrt{q}), \quad (1.5)$$

где $\Phi(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^x \exp(-t^2/2) dt$ - табулированный интеграл вероятностей;

q - отношение мощности сигнала к мощности шума в полосе частот, $\Delta f_{ш} = 1/2\tau$.

Частотная манипуляция. Система связи с частотной манипуляцией (ЧМн) является радиосистемой с активной паузой. При посылке, соответствующей единице кода, излучается колебание частоты ω_1 , в паузе (посылка – 0) излучается колебание с частотой ω_2 . В простейшем случае элементы радиосигнала имеют вид, показанный на рис. 1.4.

$$S(t) = \begin{cases} U(t) \cos(\omega_1 t + \varphi) & - \text{посылка}(1); \\ U(t) \cos(\omega_2 t + \varphi) & - \text{пауза}(0). \end{cases}$$

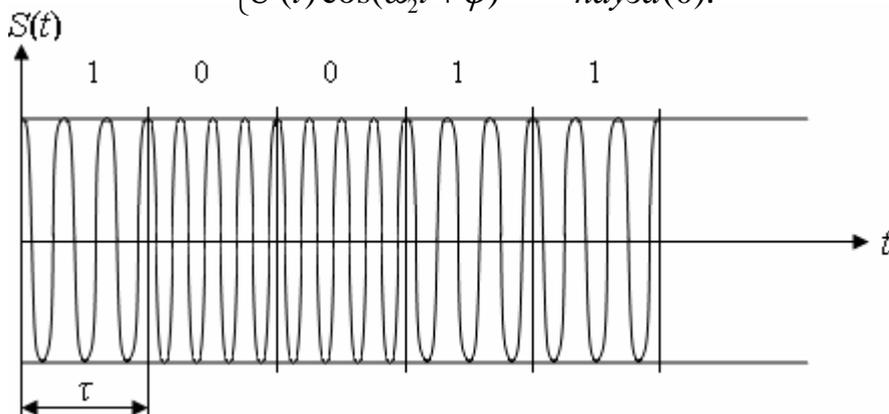


Рис. 1.4. Вид радиосигнала ЧМн

Такой радиосигнал может быть легко сформирован по схеме аналогичной, приведенной на рис. 1.2. Модулятор должен иметь два электронных ключа. Напряжение с выходов ключей необходимо сложить в любом сумматоре, например, на резисторах рис. 1.5.



Рис. 1.5. Схема формирования ЧМн радиосигнала

При когерентном способе приема, радиосигналов с ЧМн в приемнике необходимо иметь точные копии сигналов, соответствующих кодовым посылкам 0 и 1. Приемник, в этом случае, реализуется по схеме двухканального коррелятора. Решение о приеме кода 1 и 0 принимается просто

по уровням сигналов на выходах каналов: «1» если $U_1(t) > U_0(t)$ и «0» если $U_1(t) < U_0(t)$.

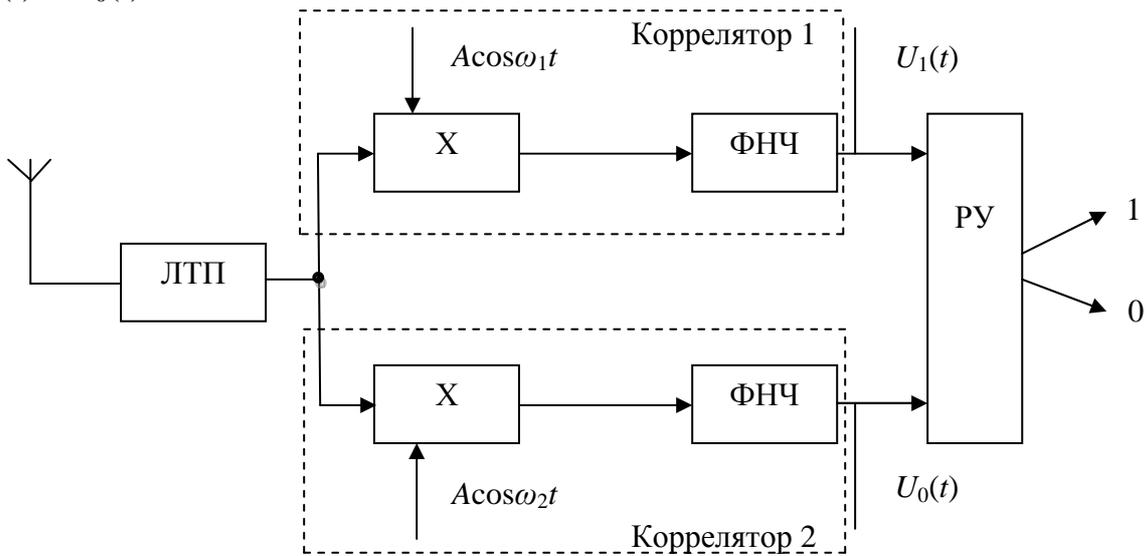


Рис. 1.6. Схема оптимального приемника ЧМн сигналов

Вероятность ошибки на символ при данном способе приема радиосигналов с ЧМн определяется выражением:

$$P_{\text{ЧМн}} = 1 - \Phi[0,5\sqrt{q}]. \quad (1.6)$$

Частотная манипуляция более помехоустойчива, чем амплитудная. При одинаковой вероятности ошибки на символ применение ЧМн обеспечивает двукратный выигрыш в мощности сигнала по сравнению с АМн.

Фазовая манипуляция. Радиосистемы с фазовой манипуляцией также относятся к системам с активной паузой. В этом случае, при двоичной ФМн, колебания, соответствующие кодовым символам единице и нулю, являются противофазными, так что два значения сигнала равны:

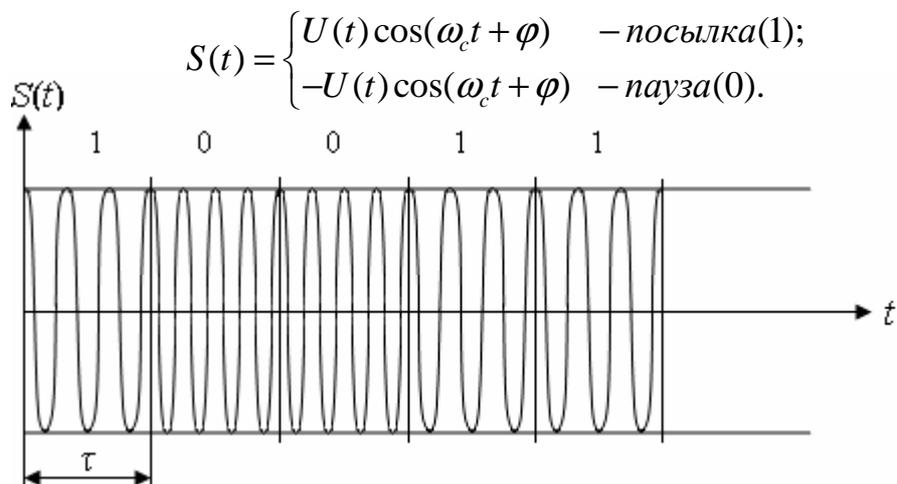


Рис. 1.7. Вид радиосигнала с ФМн

Радиосигнал с фазовой манипуляцией может быть сформирован по схеме, показанной на рис. 1.5, однако необходим лишь один задающий генератор. Такой генератор должен иметь парафазный выход, т.е. на одном выходе должен быть сигнал $U\cos(\omega_c t + \varphi_c)$, а на втором $U\cos(\omega_c t + \varphi_c + \pi) = -U\cos(\omega_c t + \varphi_c)$.

В приемнике, предназначенном для приема манипулированных по фазе колебаний, в качестве демодулятора используется фазовый детектор, рис. 1.8.

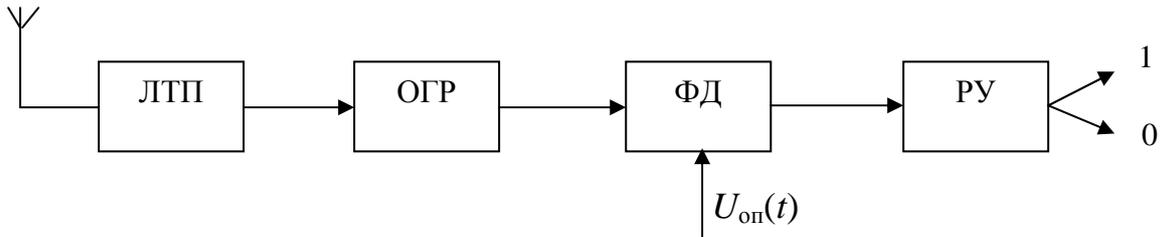


Рис. 1.8. Схема оптимального приемника ФМн сигналов (ОГР – ограничитель, ФД – фазовый детектор)

На фазовый детектор, кроме напряжения принимаемого сигнала, необходимо подать также напряжение опорной частоты $U_{\text{оп}}(t)$, которое должно точно совпадать по частоте с частотой принимаемого колебания. Напряжение на выходе ФД, будет пропорционально разности фаз (φ), входных напряжений $U_{\text{ФД}}(t) = k \cdot \cos\varphi$. Здесь k – некоторый коэффициент пропорциональности. Если колебания опорной частоты в приемнике находятся в фазе с колебанием одной из посылок, например, с колебаниями, соответствующими единице, то напряжение на выходе ФД будет положительным (и максимальным). При приеме нуля разность фаз $\varphi = \pi$, напряжение на выходе фазового детектора будет отрицательным. Решающее устройство регистрирует принятый сигнал (единицу или ноль) по знаку напряжения на выходе фазового детектора.

Вероятность ошибки на символ в данном случае равна:

$$P_{\text{ФМн}} = 1 - \Phi(\sqrt{q}). \quad (1.7)$$

Фазовая манипуляция обладает самой высокой помехоустойчивостью. Она обеспечивает выигрыш в энергии сигнала в два раза по сравнению с ЧМн и в четыре раза по сравнению с амплитудной манипуляцией.

1.1.3. Экспериментальная часть

Экспериментальная часть работы состоит в ознакомлении с схемами формирования и демодуляции радиосигналов с АМн, ЧМн и ФМн и в оценки помехоустойчивости данных видов манипуляции.

Помехоустойчивость оценивается вероятностью ошибочного приема

радиосигналов при передаче двух равновероятных сообщений (методом моделирования на ЭВМ).

Функциональная схема лабораторной установки

На рис. 1.9. приведена функциональная схема лабораторной установки.

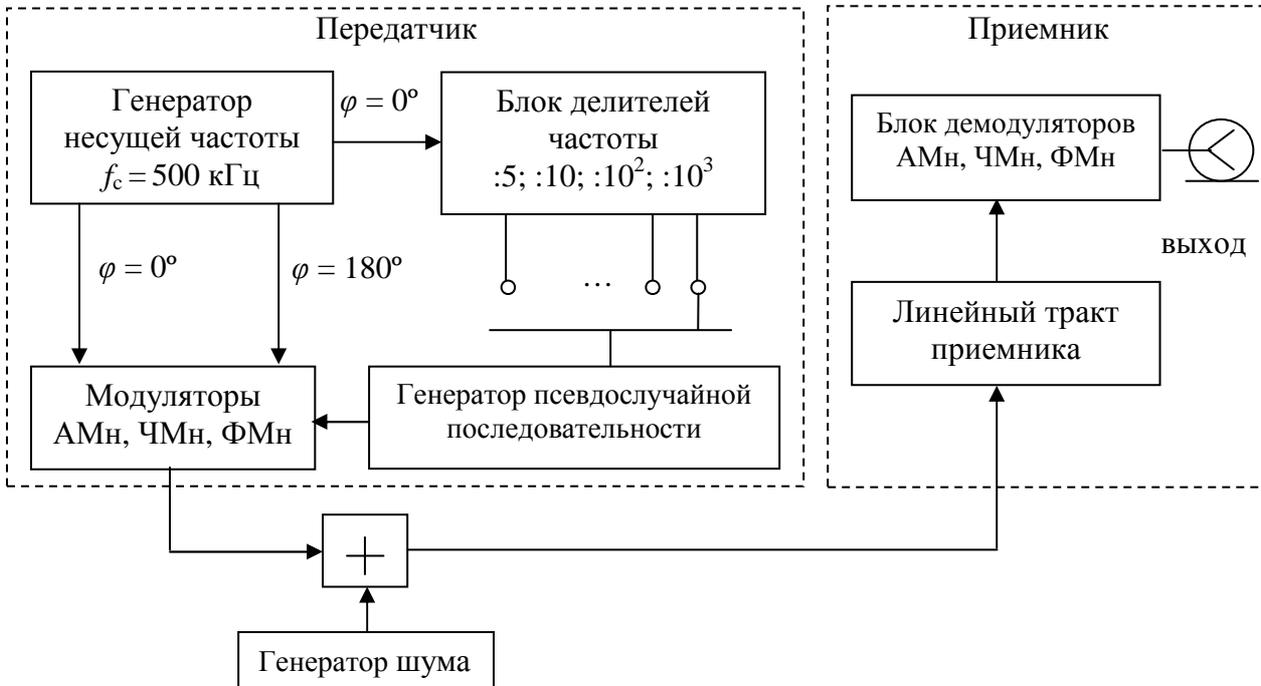


Рис. 1.9. Схема лабораторной установки

Она состоит из передающей и приемной частей. Передатчик позволяет сформировать радиосигнал с АМн, ЧМн и ФМн. Радиосигнал с выбранным видом модуляции поступает в канал связи, в котором к нему добавляется шум от генератора шума. Выбор отношения $P_c/P_{ш}$ производится изменением величины амплитуды несущего колебания. Аддитивная смесь полезного сигнала и помехи поступает на выход приемника, который осуществляет усиление, фильтрацию и демодуляцию поступающего сигнала.

Принципиальные схемы блоков, входящих в лабораторную установку, приведены на панели лабораторного стенда.

Задание к экспериментальной части работы

Каждая бригада студентов получает индивидуальное задание. Пример типового задания:

–ознакомиться с принципиальными схемами блоков лабораторной установки;

–снять осциллограммы напряжений в контрольных точках лабораторной установки в режимах АМн, ЧМн и ФМн;

–определить характеристики помехоустойчивости приема радиосигналов

с АМн, ЧМн и ФМн (методом моделирования на ЭВМ);

– сравнить экспериментальные значения помехоустойчивости с теоретическими результатами.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с функциональной схемой лабораторной установки, изображенной на лицевой панели экспериментального макета.

2. Включить приборы, входящие в установку.

3. Включить тумблер «сеть» лабораторной установки.

4. Просмотреть и зарисовать осциллограммы напряжений в контрольных точках экспериментального макета в режимах АМн, ЧМн и ФМн. Для этого необходимо поставить переключатели рода работы на передающем и приемном блоках макета в выбранный режим работы. Все осциллограммы необходимо зарисовать с соблюдением временных соотношений между сигналами.

5. Подключить к экспериментальной установке генератор шума. Для значений $P_c/P_{ш} = -10\text{дБ} \dots + 10\text{дБ}$ (по указанию преподавателя) зарисовать осциллограммы напряжений на входе и выходе приемной части макета для различных видов манипуляции.

6. Определить характеристики помехоустойчивости приема радиосигналов с АМн, ЧМн и ФМн. Для этого на ПЭВМ войти в папку «Сергеев, лаб. работа №3» и далее, пользуясь подсказками программы, выполнить моделирование радиоканала с АМн, ЧМн и ФМн радиосигналами.

7. По результатам эксперимента построить зависимости вероятности ошибочного приема радиосигналов с АМн, ЧМн и ФМн от отношения $P_c/P_{ш}$.

8. Сформулировать выводы, сравнив результаты моделирования помехоустойчивости радиосигналов с АМн, ЧМн и ФМн с теоретическими данными для различных отношений $P_c/P_{ш}$.

Отчет должен содержать:

- функциональную схему лабораторной установки;
- осциллограммы радиосигналов в контрольных точках;
- графики зависимости вероятности ошибочного приема радиосигналов с АМн, ЧМн и ФМн от отношения сигнал/шум;
- краткие выводы о работе.

1.1.4. Контрольные вопросы

1. Поясните возможные методы формирования радиосигналов с АМн, ЧМн и ФМн.

2. Каковы особенности построения оптимальных демодуляторов радиосигналов с дискретными видами модуляции.

3. Поясните, чем объясняется более высокая помехоустойчивость радиосигналов с ФМн, ЧМн по сравнению с амплитудной манипуляцией.

4. Поясните, чем отличаются квазикогерентные демодуляторы АМн, ЧМн и ФМн от когерентных.
5. Нарисуйте схему аналогового, цифрового корреляторов.
6. Расскажите об основных свойствах автокорреляционной функции.

Часть 1.2. Исследование неустойчивости частоты автогенераторов

1.2.1. Цель работы

1. Исследование кратковременной и средневременной неустойчивости частоты различных схем автогенераторов АГ.
2. Исследование влияния температуры кварцевого резонатора и транзистора на частоту кварцевых и бескварцевых АГ.

1.2.2. Теоретическая часть

Выходное напряжение АГ в общем случае является гармоническим колебанием, модулированным по амплитуде и фазе (частоте) за счет воздействия дестабилизирующих факторов и внутренних флуктуационных процессов (шумов). Мгновенная частота $\omega(t)$ такого колебания помимо неизменной составляющей (первое слагаемое в (1.8)) имеет быстрые и медленные компоненты

Компоненты, описываемые вторым слагаемым в (1.8), обязаны своим происхождением шумам, вибрациям, пульсациям питающих напряжений и другим быстро изменяющимся воздействиям, носящим обычно случайный характер. Третье слагаемое в (1.8) учитывает медленные изменения частоты, имеющие, в основном, детерминированный характер и обусловленные в первую очередь старением деталей АГ, их саморазогревом и изменением климатических условий. Изменения температуры вызывают изменения величины емкости р-п переходов в транзисторе, а поскольку эти емкости подключены к колебательному контуру АГ, определяющему частоту генерации, то их изменения являются одной из основных причин изменения частоты автоколебаний. Для высокостабильных АГ $\varepsilon(t) = 10^{-9} \dots 10^{-13}$ 1/сутки. Поэтому сколько-нибудь заметные изменения частоты могут проявляться только за значительное время наблюдения T_n , а при малых T_n частоту рассматривают как случайный процесс, удовлетворяющий условиям стационарности и эргодичности.

Поскольку измерение статистических характеристик связано с усреднением за конечный временной интервал τ , говоря о значении частоты квазигармонического колебания, имеют в виду усредненное значение частоты $\omega_{cp}(t, \tau)$, определяемое на интервале T_n

где $\omega_{cp}(t_1, \tau) = \frac{1}{T_H} \int_{t_1}^{t_1+T_H} \omega(t) dt$ - среднее значение частоты на интервале T_H ;

$\Delta\omega_{cp}(t_1, \tau)$ – усредненное уклонение частоты.

Причем, величины $\omega_{cp}(t_1, \tau)$, $\omega_{cp}(t_1, T_H)$ и $\Delta\omega_{cp}(t_1, \tau)$ сами являются случайными функциями, зависящими не только от времени t_1 , но и от интервалов наблюдения и усреднения.

Одними из наиболее широко используемых статистических характеристик среднего значения частоты являются спектральная плотность мощности флуктуаций частоты $S(\Omega)$ и дисперсия σ^2 . Поскольку измерение статистических характеристик нестабильности всегда ограничено конечным интервалом наблюдения, для оценки дисперсии σ^2 используют соотношение:

$$\sigma^2(\tau, T_H) = 2 \int_0^{\infty} S(\Omega) \left(\frac{\sin 0.5\Omega\tau}{0.5\Omega\tau} \right)^2 \left[1 - \left(\frac{\sin 0.5\Omega T_H}{0.5\Omega T_H} \right)^2 \right] d\Omega.$$

Нетрудно заметить, что фильтрующий множитель $(\sin 0.5\Omega\tau / 0.5\Omega\tau)^2$ в последнем выражении исключает вклад быстрых (высокочастотных) спектральных составляющих $S(\Omega)$ в оценку σ^2 , а множитель $[1 - (\sin 0.5\Omega T_H / 0.5\Omega T_H)^2]$ – медленных (низкочастотных). Таким образом, выбирая конкретные значения τ и T_H , можно учитывать в соотношении для σ^2 лишь определенную часть энергетического спектра $S(\Omega)$.

Различная природа быстрых и медленных изменений частоты и отмеченная зависимость σ^2 от τ и T_H обуславливают целесообразность введения понятий кратковременной и долговременной нестабильностей частоты и стандартных интервалов наблюдения и усреднения. Так для кратковременной нестабильности принято: $T_H = 100\text{с}$, $\tau = 10^{-3}, 10^{-2}, 10^{-1}\text{с}$, а для долговременной – $T_H = 1\text{ год}$, 6 месяцев, 1 месяц, $\tau = 1\text{ сутки}$.

При оценке долговременной нестабильности из-за больших времен усреднения и наблюдения вкладом высокочастотных (случайных) составляющих $S(\Omega)$ можно пренебречь и считать, что

$$\Delta\omega_d = \omega_{cp}(t_1 + T_H, \tau) - \omega_{cp}(t_1, \tau).$$

При построении высокостабильных АГ следует использовать усилительные элементы, в которых на частоте генерации еще не проявляются инерционные свойства, и колебательные системы с высокой добротностью и эталонностью. Под эталонностью понимается способность колебательной системы поддерживать постоянство собственной резонансной частоты ω_k при изменении тех или иных внешних воздействий.

Существует понятие выбега частоты АГ – процесс установления номинального значения частоты по мере прогрева схемы, после включения в работу до установления стационарного теплового режима.

Это установившееся значение частоты принимают за номинальное.

Для повышения стабильности частоты АГ в его схеме используют в качестве колебательной системы кварцевые резонаторы. Кварцевые резонаторы, являясь механической колебательной системой, также подвержены влиянию внешних факторов, но их стабильность может быть на несколько порядков выше, чем стабильность электрических колебательных систем.

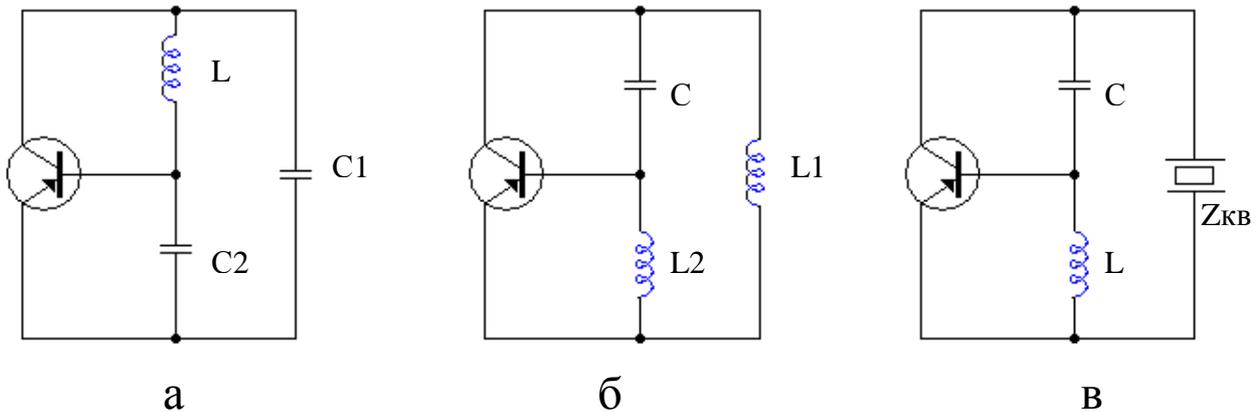


Рис. 1.10. Схемы АГ

На рис. 1.10 приведены схемы АГ: а – емкостная трехточка; б – индуктивная трехточка; в – кварцевый АГ (с кварцем $Z_{кв}$ в цепи обратной связи). Сравнительный анализ простейших схем АГ (рис. 1.10, а, б) показывает, что лучшими характеристиками с точки зрения стабильности частоты обладает емкостная трехточечная схема, что определяет ее широкое использование для создания автогенераторов.

1.2.3. Порядок выполнения работы

1. Включить для прогрева лабораторный стенд и осциллограф, ознакомиться с описанием лабораторного стенда.

2. Ознакомиться со схемой макета и расположением переключателей, ручек управления и разъемов для подключения осциллографа, а также с перечнем информации, выводимой на жидкокристаллический дисплей.

Установить коллекторное напряжение E_k равным 8 В, эквивалентное сопротивление контура $R_{эк}$ максимальным. Переключатель ЗАДЕРЖКА должен находиться в положении 0.

3. Исследовать нестабильность частоты колебаний кварцевого АГ. Эксперимент проводится для схемы с кварцевым резонатором (КР) в цепи обратной связи (переключатель ТИП СХЕМЫ в положении 3).

Установить на дисплее ЖКИ режим измерения частоты колебаний и снять зависимость кратковременной и средневременной нестабильностей частоты колебаний АГ от времени усреднения (накопления) $\tau = T_n$ (устанавливается соответствующей кнопкой под ЖКИ). Снять зависимость $f_{cp} = f(\tau)$, рассчитать и построить график $\sigma / f_{cp} = f(\tau)$.

Время усреднения τ изменять в пределах от 0.001 до 10 с. Для каждого значения τ снять не менее 10 отсчетов f_{Γ} и вычислить среднее значение

частоты $f_{\text{cp}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f(t_i, \tau)$, дисперсию $D[f_{\text{cp}}(\tau)] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta f^2(t_i, \tau)$, где $\Delta f(t_i, \tau) = f(t_i, \tau) - f_{\text{cp}}$, и относительную нестабильность частоты колебаний $\sigma/f_{\text{cp}} = \sqrt{D}/f_{\text{cp}}$.

Для получения каждого нового отсчета частоты при выбранном τ необходимо каждый раз перезапускать частотомер.

4. Исследовать нестабильности частоты бескварцевого АГ. Включить схему 4 и повторить эксперименты по п.3.

5. Исследовать зависимость частоты генерации от температуры. Первоначально, включив схему АГ с КР в цепи обратной связи, настройкой колебательной системы установить максимальное значение напряжения на контуре. Далее, не изменяя $E_{\text{упр}}$, снять зависимость частоты генерации от температуры транзистора в автогенераторах, выполненных по схемам 3 и 4. Для этого включить нагрев транзистора нажатием кнопки НАГРЕВ VT и довести температуру транзистора до 60°C. Выключить нагрев и, начиная с температуры 55°C, через каждые 5°C снимать текущие показания температуры транзистора и частоты генерации поочередно для обеих схем АГ. Одновременно можно регистрировать $I_{\text{к0}}$ и $U_{\text{к}}$ в каждой из схем.

Полученные данные свести в таблицу и построить графики.

После 10...15-минутного остывания лабораторного стенда аналогичным образом исследовать зависимость частоты генерации от температуры КР для схемы с резонатором в цепи обратной связи (схема 3). **После окончания эксперимента убедиться, что кнопки НАГРЕВ ZQ и НАГРЕВ VT выключены!**

Отчет должен содержать:

- упрощенные схемы исследуемых автогенераторов;
- таблицы с экспериментальными и расчетными данными и построенные по ним графики;
- краткие выводы.

1.2.4. Контрольные вопросы

1. Перечислить основные дестабилизирующие факторы и объяснить их влияние на частоту генерируемых колебаний.
2. Что такое кратковременная и долговременная нестабильности частоты, какими причинами они вызваны и как измеряются?
3. Как зависит кратковременная нестабильность частоты от времени наблюдения и усреднения?
4. Что такое выбег частоты и как он измеряется?

5. Почему автогенератор с кварцевым резонатором имеет высокую стабильность частоты генерации?

1.2.5. Литература

1. Криницин В.В., Логвин А.И. Формирование и передача сигналов в авиационных радиоустройствах. – М.: Транспорт, 1998.

2. Сергеев В.Г. Передача дискретных сообщений. Пособие по выполнению лабораторных работ (Лаб. Работа №3). – М.: МГТУ ГА, 2008.

3. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов: Учебник. – СПб.: Питер, 2003.

4. Зюко А.Г. Помехоустойчивость и эффективность систем связи. – М.: Связь, 1978.

Лабораторная работа №2

Исследование параметров антенн, влияющих на характеристики электромагнитного излучения и приема

Часть 2.1. Исследование параметров симметричного вибратора

2.1.1. Цель работы

1. Исследование основных характеристик излучения и приема, к которым относятся диаграмма направленности (ДН) и поляризационная характеристика (ПХ).

2. Исследование влияния относительных размеров симметричного вибратора на его диаграмму направленности, влияние на ДН симметрирующего устройства.

2.1.2. Теоретическая часть

Схема установки показана на рис.2.1. Она включает в себя поворотное устройство 1, на нем закреплен макет исследуемой антенны 2, приемник 3 с индикаторным устройством 4. Передающая часть установки состоит из передающей антенны 5 и генератора стандартных сигналов 6. В качестве приемника используется анализатор спектра С4-60 (или С4-27). Индикаторным устройством в этом случае является встроенный индикатор анализатора спектра.

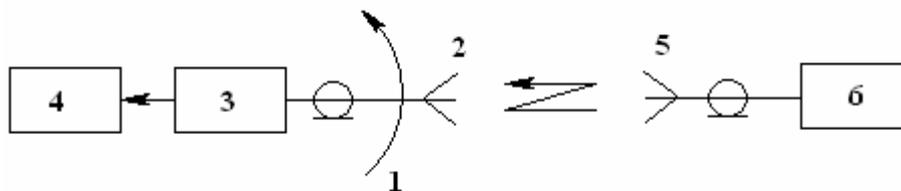


Рис.2.1. Схема лабораторной установки

Антенна служит не только для излучения (или приема) электромагнитной энергии, но и для распределения ее соответствующим образом в пространстве. Это распределение характеризуется диаграммой направленности антенны по напряженности поля $F = E(\theta, \varphi)$ и по мощности $\Pi = \Pi(\theta, \varphi)$. В общем случае диаграмма направленности является комплексной величиной. Поэтому различают амплитудную диаграмму направленности и фазовую ДН антенны. На практике, в основном, пользуются понятием амплитудной ДН.

Амплитудной ДН антенны по полю называется зависимость напряженности поля, создаваемого антенной в точке наблюдения, от направления на эту точку при неизменном (фиксированном) расстоянии от антенны. Так как $E/H = 120\pi$ и $\Pi = E^2/120\pi$, то диаграмма направленности антенны по мощности пропорциональна квадрату ДН по напряженности поля

$$\Pi(\theta, \varphi) = \frac{E^2(\theta, \varphi)}{120\pi}. \quad (2.1)$$

Обычно пользуются понятием нормированной диаграммы направленности антенны, под которой понимают отношение напряженности поля, создаваемого антенной в произвольном направлении, к напряженности поля в направлении максимального излучения

$$F(\theta, \varphi) = \frac{E(\theta, \varphi)}{E_{\text{макс}}(\theta, \varphi)}. \quad (2.2)$$

На практике ограничиваются диаграммами направленности в двух взаимно перпендикулярных плоскостях: диаграммой направленности в плоскости электрического вектора $F(\theta)$ (в плоскости E) и диаграммой направленности в плоскости магнитного вектора $F(\varphi)$ (в плоскости H).

Нормированная диаграмма направленности симметричного вибратора в плоскости E

$$F(\theta) = \left| \frac{\cos(kl \sin \theta) - \cos kl}{(1 - \cos kl) \cos \theta} \right|. \quad (2.3)$$

Здесь угол θ отсчитывается в плоскости вибратора от нормали к его оси, а $k = 2\pi/\lambda$.

В плоскости H симметричный вибратор не проявляет направленных свойств, т.е. $F(\varphi) = 1$.

Направленные свойства антенны характеризуются также ее коэффициентом направленного действия (КНД), под которым понимается отношение мощностей излучения ненаправленной и направленной антенн, создающих в точке приема (расположенной на одинаковом расстоянии от обеих антенн) одинаковую напряженность поля.

Поляризация антенны определяется положением в пространстве плоскости поляризации излучаемой волны, проходящей через вектор напряженности электрического поля (E) и вектор Пойнтинга.

Поляризационной характеристикой (ПХ) антенны называется зависимость ЭДС на зажимах приемной антенны $u(\alpha)$ от угла ее поворота в плоскости, перпендикулярной направлению приема (рис.2.2).

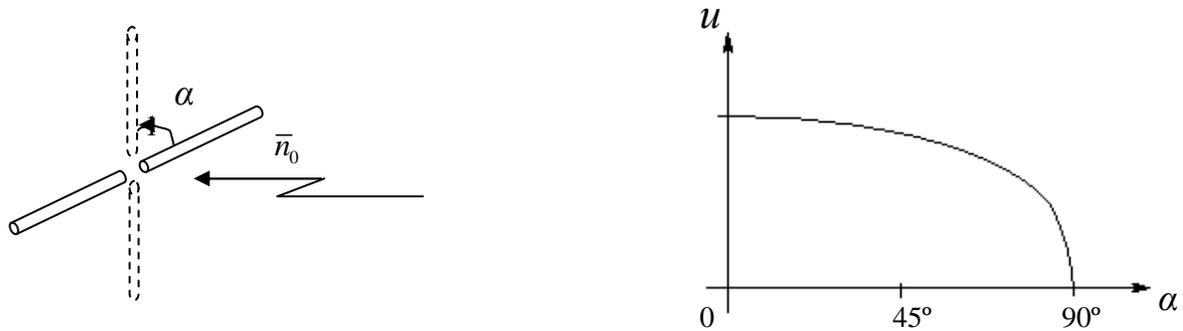


Рис.2.2. Определение ПХ

Диаграмма направленности антенны, закрепленной на металлическом основании, может быть определена методом зеркального изображения. Так, диаграмма направленности симметричного вибратора в плоскости H рассчитывается по формуле

$$F(\varphi) = \sin(kh \cos \varphi), \quad (2.4)$$

а в плоскости E

$$F(\theta) = \left[\frac{\cos(kl \sin \theta) - \cos(kl)}{(1 - \cos kl) \cos \theta} \right] \sin(kh \cos \theta), \quad (2.5)$$

где первый множитель представляет собой диаграмму направленности симметричного вибратора, а второй множитель – множитель решетки, состоящей из двух вибраторов: одного реального, а второго фиктивного, зеркально отраженного, имеющего противоположную фазу питающего тока; h – высота вибратора над металлическим основанием.

Антенны в виде симметричного вибратора находят очень широкое применение.

2.1.3. Задание для расчета

1. Рассчитайте ДН симметричного вибратора в плоскости E для трех значений его относительной длины: $2l / \lambda = 0,5; 0,25$ и $1,25$.

2. Рассчитайте ДН симметричного полуволнового вибратора в плоскости E для трех значений его относительной высоты подвеса над металлическим основанием $h / \lambda = 0,25; 0,5$ и $1,0$. Постройте все ДН в полярной системе координат.

2.1.4. Порядок выполнения работы

1. Снять ДН симметричного вибратора в плоскости E для нескольких значений его относительной длины (по указанию преподавателя, например, для $2l/\lambda = 0,5; 0,25$ и $1,25$).

Для этого измерьте длину плеч вибратора 2 и в соответствии с заданием определите необходимую частоту: $f = c/\lambda$, где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Включите генератор и установите требуемую частоту. Закрепите вибратор 5 и исследуемую антенну 2 горизонтально (в E – плоскости) и с помощью поворотного устройства сориентируйте друг на друга.

Включите анализатор спектра и настройте его преобразователь частоты на частоту генератора, при этом на индикаторе появится сигнал.

Поворачивая с помощью поворотного устройства стенда исследуемую антенну в пределах $\pm 90^\circ$, оцениваем ДН в единицах шкалы индикаторного устройства.

Данные измерения повторяются на остальных частотах. Результаты измерений сведите в таблицу, нормируя данные, и постройте ДН в полярной системе координат. Сравните экспериментальные диаграммы направленности с расчетными.

2. Оценить влияние симметрирующего устройства на диаграмму направленности симметричного вибратора.

Для этого установите частоту генератора равной $f_0 = 0,25c/l$. Закрепите на поворотном устройстве антенну без симметрирующего устройства.

Следуя методике, изложенной ранее, снимите ДН антенны. Результаты сведите в таблицу и постройте ДН.

Сравните ее с ДН антенны с симметрирующим устройством.

3. Снять поляризационную характеристику антенн с симметрирующим и без симметрирующего устройства.

Для этого настройте генератор на частоту $f_0 = 0,25c/l$. Сориентируйте антенны 2 и 5 (рис.2.1) друг на друга и зафиксируйте поворотное устройство. Поляризационная характеристика снимается поворотом одной из антенн в плоскости, перпендикулярной направлению максимума приема (рис.2.2).

2.1.5. Контрольные вопросы

1. Дайте определение ДН антенны.
2. Дайте определение КНД антенны. Расскажите о зависимости КНД симметричного вибратора от его длины.
3. Каков характер распределения тока и заряда по симметричному вибратору?
4. Поясните назначение симметрирующих устройств.
5. Дайте определение ПХ антенны.
6. Объясните влияние металлического экрана на ДН вибратора.
7. Расскажите о методике измерения ПХ антенн.

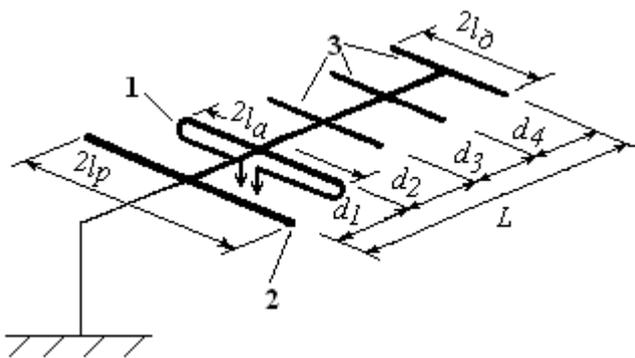
Часть 2.2. Исследование параметров директорной антенны

2.2.1. Цель работы

1. Исследование влияния рефлектора и директоров на диаграмму направленности директорной антенны.
2. Приобретение навыков настройки директорной антенны.

2.2.2. Теоретическая часть

Схема лабораторной установки показана на рис.2.1. Она включает в себя поворотное устройство 1, на котором закреплен макет директорной антенны 2, приемник 3 с индикаторным устройством 4. Передающая часть установки состоит из передающей (логопериодической) антенны 5 и генератора стандартных сигналов 6.



$$2l_a \approx 0,5\lambda$$

$$2l_p \approx 0,525\lambda$$

$$2l_d \approx 0,48\lambda$$

$$d_1 = 0,15\lambda$$

$$d_2 = d_3 = d_4 = 0,1\lambda$$

Рис.2.3. Конструкция директорной антенны

Система «активный вибратор – пассивный рефлектор» обладает односторонней направленностью. Более узкую ДН имеет директорная антенна (антенна типа «волновой канал»), состоящая из одного активного вибратора, пассивного рефлектора и нескольких пассивных директоров. Конструкция антенны была получена экспериментально. Директорная антенна образуется из ряда вибраторов, располагаемых параллельно в общей плоскости и образующих «волновой канал» (рис.2.3). Один из вибраторов является активным 1, остальные – пассивными 2, 3.

В качестве активного вибратора чаще всего используется шлейф-вибратор, обладающий большим входным сопротивлением (~ 300 Ом), что с учетом вносимых пассивными вибраторами сопротивлений обеспечивает согласование антенны с фидером, волновое сопротивление которого 75 Ом. Один из пассивных вибраторов, расположенный сзади активного, играет роль рефлектора 2, а другие, располагаемые впереди активного вибратора, играют роль директоров 3.

Рефлектор компенсирует излучение активного вибратора в обратном направлении. Для этого необходимо, чтобы наведенный ток в рефлекторе опережал по фазе ток в активном вибраторе, что достигается индуктивной

настройкой рефлектора путем увеличения его длины по сравнению с длиной активного вибратора.

Для синфазного сложения полей активного вибратора и директора ток директора должен отставать по фазе от тока активного вибратора, что достигается емкостной настройкой директора путем уменьшения его длины по сравнению с длиной активного вибратора.

Вибраторы директорной антенны можно крепить средними точками к продольному металлическому стержню (рис. 2.3). Этот стержень не возбуждается, поскольку силовые линии вектора E пересекают его под прямым углом, что позволяет монтировать антенну без изоляторов.

Для оценки ДН ее можно рассчитать по приближенной формуле для антенной решетки с осевым излучением.

В плоскости E ДН будет описываться формулой

$$F(\theta) = F_1(\theta) \cdot F_n(\theta), \quad (2.6)$$

где $F_1(\theta)$ нормированная ДН активного вибратора (2.3); $F_n(\theta)$ – множитель решетки, равный

$$F_n(\theta) = \frac{\sin\left[0,5nkd(\cos\theta - \xi)\right]}{\sin\left[0,5kd(\cos\theta - \xi)\right]} / n, \quad (2.7)$$

где n – число излучателей решетки, d – шаг решетки, $k = 2\pi/\lambda$, $\xi = c/v_\phi = 1$ – коэффициент замедления.

В плоскости H ДН директорной антенны определяется множителем решетки $F(\varphi) = F_n(\varphi)$, вследствие того, что $F_1(\varphi) = 1$.

Так как активный вибратор является слабонаправленной антенной, то понятно, почему диаграммы направленности антенны типа «волновой канал» в обеих плоскостях примерно одинаковы.

Ширина диаграммы направленности антенны типа «волновой канал» и КНД могут быть оценены выражениями

$$2\theta_{0,5}^\circ \approx 108\sqrt{\lambda/L}, \quad D \approx 7 \cdot (L/\lambda), \quad (2.8)$$

здесь L – длина антенны (длина решетки).

Директорные антенны находят достаточно широкое применение, например, в качестве приемных телевизионных антенн в метровом и дециметровом диапазонах длин волн, в качестве излучателей в антенных решетках и т.п.

2.2.3. Задание для расчета

Рассчитайте диаграмму направленности пятиэлементной директорной антенны (рис.2.3) в плоскостях E и H , считая, что $\xi = c/v_\phi = 1$.

Постройте эти диаграммы направленности в полярной системе координат.

2.2.4. Порядок выполнения работы

1. Снять ДН системы «активный вибратор – пассивный рефлектор» в плоскости E .

Для этого установите на поворотном устройстве 1 (рис. 2.1) в качестве активного вибратора шлейф-вибратор с траверсой для крепления пассивных вибраторов. Измерьте длину $2l_a$.

Включите генератор и установите его частоту $f \approx 0,24c/l_a$, где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в свободном пространстве.

Установите шлейф-вибратор и передающую антенну 5 горизонтально. Сориентируйте их друг на друга. Настройте анализатор спектра на частоту принимаемого сигнала. Зафиксируйте стопором угловое положение поворотного устройства. Установите на траверсе рефлектор. Передвигая рефлектор вдоль траверсы и изменяя длину его плеч, добейтесь минимального сигнала на индикаторном устройстве 4 в направлении рефлектора.

Снимите ДН системы «активный вибратор – пассивный рефлектор» в плоскости E по методике, описанной в п. 2.1.4.

Постройте диаграмму направленности системы в полярной системе координат.

2. Оценить влияние числа директоров на диаграмму направленности антенны типа «волновой канал».

Для этого сориентируйте приемную антенну в направлении максимума принимаемого сигнала. Установите на траверсу первый директор. Передвигая директор вдоль траверсы и изменяя его длину, добейтесь максимальных показаний на индикаторе анализатора спектра.

Снимите ДН антенны по методике, изложенной в п. 2.1.4.

Установите на траверсе второй директор, настройте его по методике, изложенной выше, для случая одного директора. Снимите диаграмму направленности антенны.

Повторите те же операции при трех директорах. При установке последующих директоров может потребоваться незначительная подстройка предыдущих директоров.

Результаты измерений сведите в таблицу, пронумеруйте и постройте диаграммы направленности антенн в полярной системе координат. На отдельном графике постройте рассчитанную и экспериментальную нормированные ДН пятиэлементной антенны.

Измерьте длину пассивных вибраторов $2l_p$, $2l_d$ расстояния между ними d и сравните их с рекомендуемыми размерами антенны.

3. Снять ДН директорной антенны в плоскости H .

Для этого директорную (с тремя директорами) и передающую логопериодическую антенны поверните в плоскость H .

Снимите ДН антенны по методике, изложенной в п. 2.1.4.

Результаты измерений сведите в таблицу, пронумеруйте и постройте диаграмму направленности антенны в полярной системе координат. На этом же графике постройте рассчитанную в п.2.2.3 ДН антенны в плоскости H .

4. Определить ширину ДН и КНД настроенной директорной антенны.

Для этого по графику ДН настроенной директорной антенны с тремя директорами определите ее ширину. Измерьте общую длину L антенны (рис.2.3) и по формулам (2.8) определите расчетные значения $2\theta_{0,5}$ и D .

Сравните экспериментальное значение $2\theta_{0,5}$ с расчетным.

2.2.5. Контрольные вопросы

1. Расскажите об особенностях построения антенны типа «волновой канал».

2. Почему в качестве активного вибратора в директорной антенне используется шлейф-вибратор?

3. Какова ДН шлейф-вибратора в E и H плоскостях?

4. Какова ДН системы «активный вибратор – пассивный рефлектор» в плоскостях E и H ?

5. Почему вибраторы можно крепить на траверсе без изоляторов?

6. Какова зависимость КНД директорной антенны от числа директоров, почему их число ограничено?

7. Почему ДН директорной антенны в плоскостях E и H примерно одинаковые?

Часть 2.3. Исследование параметров рупорных антенн

2.3.1. Цель работы

1. Исследование основных характеристик излучения и приема, к которым относятся диаграммы направленности (ДН) и поляризационная характеристика (ПХ).

2. Исследование корректирующего действия металлопластинчатой линзы.

2.3.2. Теоретическая часть

Схема установки показана на рис.2.1. Она включает в себя рупорную антенну 2 с линейной поляризацией, антенну 5, поворотное устройство 1, анализатор спектра 3 и генератор 6.

В работе исследуется пирамидальная рупорная антенна, образованная расширением поперечного сечения прямоугольного волновода, рассчитанного на распространение волн H_{10} . При этом излучаемое поле имеет линейную поляризацию.

Без учета фазовых ошибок в раскрыве рупора, обусловленных отличием фронта волны от плоского, ДН антенны в E и H плоскостях определяются выражениями:

$$F(\theta) = \left| \frac{(1 + \cos \theta)}{2} \sin \left(\frac{\pi L_E}{\lambda} \sin \theta \right) \right| / \left(\frac{\pi L_E}{\lambda} \sin \theta \right); \quad (2.9)$$

$$F(\varphi) = \left| \frac{(1 + \cos \varphi)}{2} \cos \left(\frac{\pi L_H}{\lambda} \sin \varphi \right) \right| / \left(1 - \left(\frac{\pi L_H}{\lambda} \sin \varphi \right)^2 \right); \quad (2.10)$$

где L_E и L_H – размеры раскрыва рупора в E и H плоскостях.

Ширина ДН по уровню половинной мощности при этом равна:

$$2\theta_{0,5}^\circ \approx 51 \lambda / L_E; \quad 2\varphi_{0,5}^\circ \approx 68 \lambda / L_H. \quad (2.11)$$

КНД антенны при плоском и неплоском (близком к сферическому) фронтах волны, соответственно, определяют по следующим формулам:

$$D \approx 0,81 \cdot (4\pi L_E L_H / \lambda^2); \quad (2.12)$$

$$D \approx 0,64 \cdot (4\pi L_E L_H / \lambda^2). \quad (2.13)$$

Коррекция фазовых ошибок в раскрыве рупора осуществляется с помощью металлопластинчатой линзы. Она профилирована так, что близкий к сферическому фронт волны, проходя с повышенной фазовой скоростью участка пути вблизи краев линзы, превращается в плоский.

Помимо коррекции фазы колебаний металлопластинчатая линза выравнивает амплитудное распределение в плоскости H рупора.

Рупорные антенны используются в радиорелейных линиях, в радиоизмерительной аппаратуре и как облучатели зеркальных антенн.

2.3.3. Задание для расчета

1. Рассчитать по формулам (2.9) и (2.10) ДН рупорной антенны в E и H плоскостях при плоском фронте волны. Результаты свести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1

θ (град)										
$F(\theta)$										
φ (град)										
$F(\varphi)$										

Построить ДН в декартовой системе координат.

2. Рассчитать по формулам (2.11)...(2.13) ширину ДН в E и H плоскостях и КНД рупорной антенны. Результаты свести в таблицу 2.2.

Таблица 2.2

$2\theta_{0,5}$	$2\varphi_{0,5}$	D	
		фронт плоский	фронт неплоский

Исходные данные для расчета: $f = 8980$ МГц ($\lambda \approx 3,34$ см); $L_E = 9$ см; $L_H = 13,5$ см.

2.3.4. Порядок выполнения работы

1. Снять ДН в E и H плоскостях рупорной антенны с линейной поляризацией поля без корректирующей линзы и с линзой.

Для этого включить генератор 6 (рис.2.1) и установить его частоту f согласно расчетным данным.

Настроить приемник 3 на прием сигнала от генератора 6, предварительно сориентировав антенны 2 и 5 одну напротив другой и развернув их так, чтобы плоскость поляризации была ориентирована горизонтально.

По индикатору настройки 4 приемника 3 определить частоту f принятого сигнала и сравнить ее с заданной. При необходимости подстроить генератор.

С помощью поворотного устройства стенда 1 установить антенну 2 в направлении максимума приема.

На экране приемника 3 выставить удобный для наблюдения уровень сигнала и, поворачивая с помощью поворотного устройства стенда 1 антенну 2 в горизонтальной плоскости (плоскости E) в пределах $\pm 30^\circ$, снять ДН $F(\theta)$.

Повторить измерения и снять ДН $F(\varphi)$ в плоскости H , для чего антенны 2 и 5 развернуть так, чтобы плоскость поляризации (плоскость E) была ориентирована вертикально.

Повторить измерения и снять ДН $F(\theta)$ и $F(\varphi)$, установив на антенне корректирующую (профилированную в двух плоскостях) металлопластинчатую линзу (профилированной стороной внутрь рупора).

Результаты свести в таблицу 2.3.

Таблица 2.3

1 – без линзы	θ (град)								
	$F(\theta)$	1							
		2							
2 – с линзой	φ (град)								
	$F(\varphi)$	1							
		2							

Построить ДН в декартовой системе координат. Сравнить экспериментальные и расчетные ДН.

2. Определить ширину ДН в E и H плоскостях рупорной антенны без линзы и с линзой.

Для этого определить по экспериментальным кривым $F(\theta)$ и $F(\varphi)$ их ширину $2\theta_{0,5}$ и $2\varphi_{0,5}$. Результаты свести в таблицу 2.4.

Таблица 2.4

Без линзы		С линзой	
$2\theta_{0,5}$	$2\varphi_{0,5}$	$2\theta_{0,5}$	$2\varphi_{0,5}$

Сравнить результаты с расчетными данными, сведенными в таблицу 2.2.

3. Снять ПХ рупорной антенны с линейной поляризацией поля без линзы.

Для этого антенны 2 и 5 развернуть так, чтобы их плоскость поляризации была направлена горизонтально.

Установить антенну 2 с помощью поворотного устройства стенда 1 в положение максимума приема, поворачивая антенну 2 в плоскости, перпендикулярной к направлению максимума приема, снять $u(\alpha)$. Результаты свести в таблицу 2.5.

Таблица 2.5

α (град)							
$u(\alpha)$							

Построить ПХ в декартовой системе координат (см. рис. 2.2).

2.3.5. Контрольные вопросы

1. Как возникает фазовая ошибка в рупорной антенне и как она влияет на её ДН?

2. Из каких соображений выбирается длина рупора?

3. Каково амплитудное распределение поля в раскрыве рупорной антенны, возбуждаемой волной H_{10} ?

4. Как влияет амплитудное распределение поля в раскрыве рупорной антенны на её ДН?

5. Каков принцип действия металлопластинчатой линзы?

6. Каким образом выбирают профили металлопластинчатой линзы и расстояние между пластинами?

7. Как металлопластинчатая линза влияет на амплитудное распределение поля в раскрыве рупорной антенны?

8. Как обеспечивается эллиптическая поляризация поля в рупорных антеннах? Каково отличие ПХ антенны с эллиптической поляризацией от ПХ антенны с линейной поляризацией?

2.3.6. Литература

1. Нечаев Е.Е. Слабонаправленные антенны и линейные антенны бегущей волны. Часть 1.: Учебное пособие. – М., МГТУГА, 1997. – 120с.

2. Нечаев Е.Е. Излучающие раскрывы и решетки. Часть 2.: Учебное пособие. – М., МГТУГА, 1998. – 80с.

3. Нечаев Е.Е. Антенны и устройства СВЧ: Пособие по выполнению лабораторных работ. – М., МГТУГА, 2004. – 36с.

СОДЕРЖАНИЕ

Вводные указания к выполнению лабораторных работ.....	3
Лабораторная работа №1. Исследование параметров радиопередающих и приемных устройств, влияющих на характеристики электромагнитного излучения и приема.....	4
Часть 1.1. Определение параметров дискретно-кодированных радиосигналов.....	4
Часть 1.2. Исследование неустойчивости частоты автогенераторов	12
Лабораторная работа №2. Исследование параметров антенн, влияющих на характеристики электромагнитного излучения и приема.....	16
Часть 2.1. Исследование параметров симметричного вибратора.....	16
Часть 2.2. Исследование параметров директорной антенны	20
Часть 2.3. Исследование параметров рупорных антенн.....	23
Приложение.....	28

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

Кафедра радиотехнических устройств

Отчет защищен
Преподаватель

(степень, звание, Ф.И.О.)

(подпись, дата)

Название лабораторной работы

Отчет по лабораторной работе по дисциплине «Методы и средства
определения характеристик электромагнитного излучения и приема»

Работу выполнил
студент группы БИ 5 –

(Ф. И. О.)

(подпись, дата)