

КР

В типовой КР разрабатывается установка для приемо-сдаточных испытаний индивидуального объекта (УПСИ).

Например:

«Установка для приемо-сдаточных испытаний рупорной антенны»

ИЛИ

«Установка для поверки (приемо-сдаточных испытаний) селективного вольтметра»

Выполнение типовой работы

1. **Выбрать индивидуальный** объект испытаний.
2. **Изучить** основные количественно измеряемые параметры объекта.
3. **Изучить** прямые и косвенные методы измерения параметров объекта.
4. **Выбрать** структуру параметров (**не менее 5**, в том числе не менее **1 косвенного измерения**).
5. **Записать математические выражения и (или) определения** выбранных параметров.
6. **Задать требования к точности**, обосновать условия измерений и **точки контроля** каждого параметра (частоты, уровни сигналов и т.д.).

Порядок выполнения работы

7. Выбрать отечественные серийные измерительные приборы и вспомогательное оборудование, необходимое при проведении испытаний: термошкаф, холодильник, вибростенд, безэховая камера, источники питания, термометры и др.

8. Составить таблицу измеряемых параметров и при необходимости согласовать конкретные требования и диапазоны с преподавателем.

9. Выбрать или разработать методику измерений каждого параметра, включая алгоритм измерения и способ обработки данных.

Порядок выполнения работы

10. **Оптимизировать** комплект приборов по критерию минимальной суммарной сложности или минимальной стоимости.
11. **Задать** допустимые и оценить фактические погрешности измерения всех параметров, в том числе измеряемых косвенными методами.
12. **Разработать** структурную схему установки.
13. **Предложить** процедуру аттестации установки и методики ее последующей поверки.
14. **Подготовить** заключение, оформить ПЗ и чертеж структурной схемы на А3.

Пример таблицы параметров

Объект испытаний - УНЧ

№	Наименование параметра (метод измерения)	Диапазон значений параметра	Погрешность		Приборы и вспом. обор.	Условия измерения и точки контроля	Обработка по формуле
			Допустимая	Фактическая			
1	Входное сопротивление (косвенный)	10 – 50 кОм	10 %	7,5 %	В7-39, ГЗ-122	1000 Гц ,, 10 кГц; 1 В, R=10 кОм	$U_V R / (U_G - U_V)$
2	Коэффициент усиления (косвенный)	10 – 25 дБ	1 дБ	0,8 дБ	В7-39, ГЗ-122	1000 Гц, $U_V = 4 В$	$20 \lg(U_V / U)$
3	Граничные частоты (прямой с настройкой)	40 – 60 Гц 16 – 18 кГц (нижняя и верхняя)	3 Гц 0,5 кГц	2,4 Гц 0,3 кГц	В7-39, ГЗ-122	30 – 70 Гц 15 – 20 кГц На уровне -3 дБ	

7	Коэффициент гармоник (прямой)	0,1 – 1 %	0,03 %	0,02 %	С6-12, ГЗ-122	1000 Гц, 1 В	Нет

Разъяснения

- Выбранные параметры должны быть разными по методикам испытаний.
- В составе УПСИ (или УПИП) должно быть не менее 3-х РИП.
- Установка не должна содержать приборы, имеющие одинаковые возможности. С целью минимизации структуры целесообразно использовать алгоритмы косвенных измерений.
- Допустимые погрешности устанавливаются самим студентом методом экспертной оценки, исходя из назначения объекта.
- Фактические погрешности измерения оцениваются приближенно для наихудших условий и точек.

Разъяснения

Необходимо проанализировать структуру погрешности измерения каждого параметра с разделением всех составляющих на методические и инструментальные, систематические и случайные, аддитивные и мультипликативные.

В соответствии с методикой учесть: влияние объекта (модель), субъекта, метода, СИ и условий (климатики, питания, внешних полей и т.д.). Привести расчет погрешности для наихудших точек с суммированием погрешностей систематических и случайных. Для случайных – обосновать законы распределения погрешности.

Оформление ПЗ

1. Титульный лист оформляется в соответствии с принятыми требованиями.
2. На 2-й стр. размещается содержание ПЗ и большой штамп для текстовых документов.
3. Все листы ПЗ должны иметь рамку и малый штамп внизу.
4. Шрифт 14 TNR или 12 Arial.
5. Отдельно на А3 оформляется чертеж структурной или функциональной схемы.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Владимирский Государственный Университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
Кафедра РТ и РС**

РГР

**Установка для приемо-сдаточных испытаний
усилителя низкой частоты
(НАИМЕНОВАНИЕ ОБЪЕКТА)**

Выполнил: студент группы _____

Проверил: А.Д. Поздняков

Владимир 201__ г.

Содержание ПЗ

1. Наименование объекта и перечень параметров ПСИ (с указанием выбранных параметров)
2. Математические выражения и определения выбранных параметров (с указанием метода измерения: прямой или косвенный)
3. Требования к УПСИ (по точности, условиям измерений и точкам контроля каждого параметра).
4. Методики выполнения измерений (включая выбор приборов, схем, а также методов измерений, обработки и представления данных)

Содержание ПЗ

5. Структура и величина ожидаемой погрешности измерений (отдельно для каждого параметра с классификацией всех составляющих и оценкой суммарной погрешности)

6. Структурная схема установки (с вспомогательным оборудованием и приборами, которые подключены к объекту через устройство сопряжения, содержащее коммутаторы, трансформаторы, ответвители, делители, нагрузки и т.д.). Краткие пояснения к схеме.

Вспомогательное оборудование – это печи, вибростенды, холодильные и безэховые камеры, экраны и т.д.

Содержание ПЗ

7. Аттестация и поверка УПСИ (требования).
8. Таблица измеряемых параметров.
9. Выводы по работе (или заключение).
10. Список литературы.

Приложения:

Обязательное

Метрологические характеристики приборов (измеряемые параметры, основные и дополнительные погрешности, диапазоны и т.д.).

Рекомендательное:

Использованные нормативные документы (ГОСТы, ТУ, ТО и др.)

При расчете погрешности необходимо:

- рассмотреть все существенные составляющие полной погрешности;
- исключить или рандомизировать систематические погрешности;
- выбрать для каждой случайной составляющей соответствующий ей закон распределения;
- найти СКО каждой составляющей;
- найти суммарное СКО;
- принять модель итогового распределения (как правило – нормальный закон, или закон основной составляющей);
- выбрать доверительную вероятность;
- оценить доверительный интервал полной погрешности.

Пример структуры погрешности измерения напряжения на нагрузке:

1. Погрешность, обусловленная классом точности вольтметра: случайная, инструментальная, мультипликативная. Закон распределения – равномерный. Из паспорта прибора: $\Delta=0,5\%$. Для равномерного распределения $СКО=\Delta/1,73=0,29\%$.
2. Погрешность оценки влияния коэффициента передачи тракта (кабелей): случайная, инструментальная, мультипликативная. Закон распределения – треугольный. Максимальное значение погрешности $\Delta=0,45\%$. Для треугольного распределения $СКО=\Delta/2,45=0,18\%$.

Пример структуры (продолжение)

3. Дополнительная погрешность вольтметра при колебании температуры: случайная, инструментальная, мультипликативная. Закон распределения – равномерный. Максимальное значение $\Delta=0,6\%$, тогда для равномерного распределения $СКО=\Delta/1,73=0,35\%$.

4. Погрешность из-за внешней наводки на соединительные провода: инструментальная, случайная, аддитивная. Закон распределения – нормальный. Примем максимальное значение погрешности $\Delta=0,1\%$. Для доверительной вероятности $P=0,95$ получим $СКО=\Delta/2=0,05\%$.

Пример структуры (продолжение)

5. Погрешность нагрузочного резистора R_H : случайная, инструментальная, мультипликативная. Закон распределения – равномерный. При максимальном значении $\Delta=2,5\%$

$$\text{СКО}=\Delta/1,73=1,45\%.$$

Для весовых коэффициентов $K=1$ получим итоговое суммарное СКО

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sum_1^5 K_i^2 \sigma_i^2} = 1,53\%$$

$K_5=1$ только для случая измерения напряжения на нагрузке, подключенной к источнику тока. В общем случае, нужно учесть весовой коэффициент.

Суммарная случайная погрешность измерения напряжения:

1. Для итогового равномерного распределения

$$\Delta_{\Sigma\text{СЛУЧ}} = \sqrt{3}\sigma_{\Sigma} \approx 2,6\%$$

2. Для нормального распределения при $k=2$, $P=0,95$

$$\Delta_{\Sigma\text{СЛУЧ}} = \sigma_{\Sigma} * k = 2\sigma_{\Sigma} \approx 3,1\%$$

Доверительный интервал

$$(U_{\text{ИНД}} - \Delta_{\Sigma\text{СИСТ}}) \pm \Delta_{\Sigma\text{СЛУЧ}}$$

Измерение мощности в нагрузке косвенным методом $P=U^2/R$

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{dY}{dX_i} \sigma_i \right)^2}$$

$$\sigma_{\Sigma P} = \sqrt{(2\sigma_{\Sigma U})^2 + (\sigma_{\Sigma R})^2}$$

Учет коэффициента влияния

На примере погрешности измерения ширины ДН антенны.....

і) Погрешность установки частоты генератора (случайная, инструментальная)

Эта погрешность имеет размерность частоты. Для перехода к размерности в градусах необходимо оценить влияние изменения частоты на ширину диаграммы направленности и ввести **весовой коэффициент (к-т влияния)**.

Учет коэффициента влияния

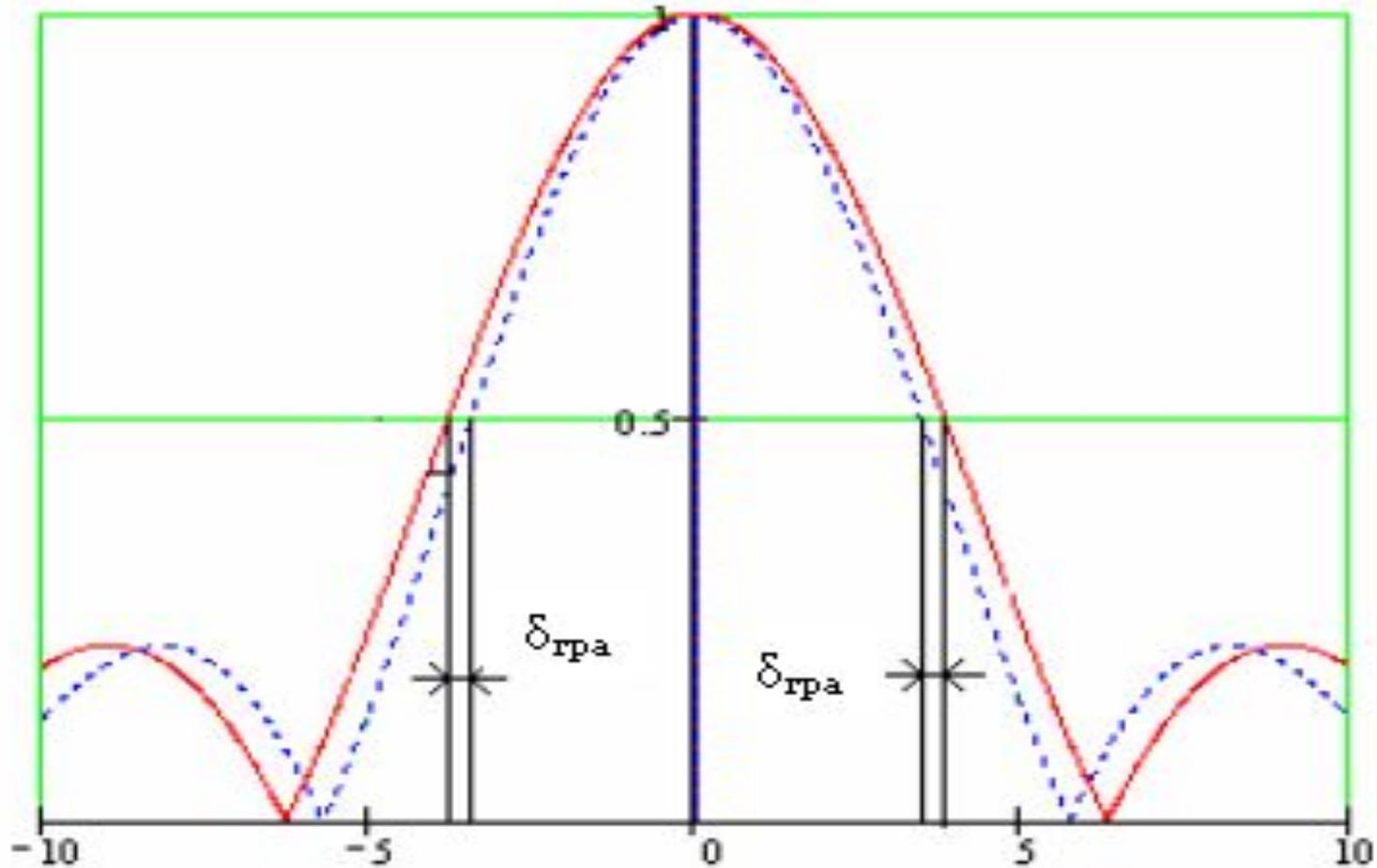
В общем случае при увеличении частоты происходит сужение диаграммы направленности.

Пусть в нашем случае на частоте $f=2,45$ ГГц ширина главного лепестка $7,6^\circ$. При отклонении частоты на 0.1% произойдет сужение ДН на 0.02° , что соответствует погрешности

$$\delta_{\text{ДН}} = \frac{0.02}{7,6} * 100\% = 0.26\%$$

Весовой коэффициент $K = \delta_{\text{ДН}} / \delta_F = 0,26 / 0,1 = 2,6$

Весовые коэффициенты определяются теоретически или экспериментально (по графикам, формулам или экспертно)



Пример схемы измерения

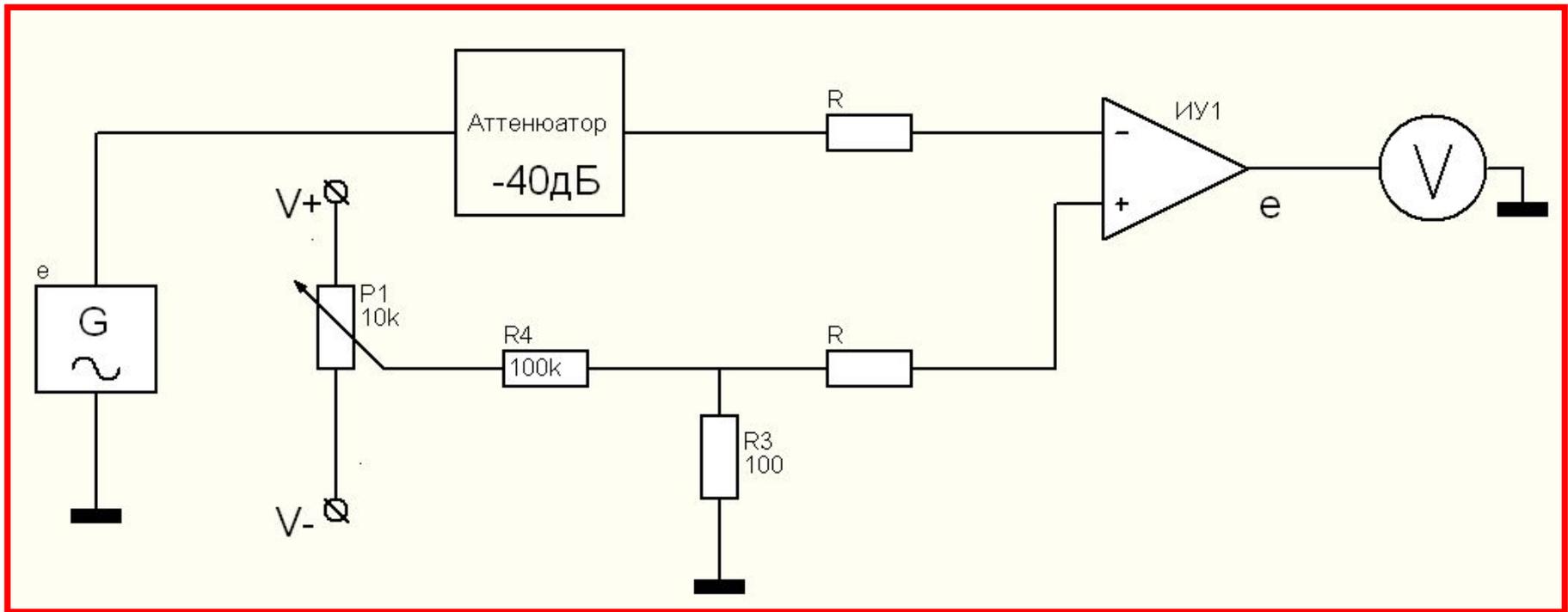


Схема измерения входного сопротивления ОУ

Пример

Структура погрешности измерения коэффициента передачи :

1. Нестабильность источника питания: случайная, инструментальная. Закон распределения – равномерный.
2. Температурный дрейф параметров элементов схемы: случайная, инструментальная. Закон – нормальный.
3. Внешние наводки на измерительные провода: случайная, инструментальная. Закон распределения – нормальный.

Пример (продолжение)

Структура погрешности измерения коэффициента передачи :

4. Погрешность, обусловленная классом точности вольтметра: случайная, инструментальная. Закон – равномерный.
5. Влияние внутреннего сопротивления вольтметра: систематическая, методическая.
-
- И т.д. все составляющие погрешности.

Список основной литературы

1. Поздняков А.Д. Курс лекций по дисциплине «Метрология и радиоизмерения»: Часть 1.- Владимир: ВлГУ, 2008. - 164 с.
2. Поздняков А.Д. Курс лекций по дисциплине «Метрология и радиоизмерения»: Часть 2.- Владимир: ВлГУ, 2009. - 124 с.
3. Басаков М.И. Основы стандартизации, метрологии и сертификации: 100 экзаменационных ответов. – Москва – Ростов на Дону: Март, 2003. – 256 с.

4. Компьютерные методические указания к лабораторным работам.
5. Компьютерный конспект лекций.

Список дополнительной литературы

- 1. Зограф И.А., Новицкий П.Ф. Оценка погрешностей результатов измерений. - Л: Энергоатомиздат, 1991.- 304 с.**
2. ГОСТ Р 8.000-2000. Государственная система обеспечения единства измерений. Основные положения. – М: Издательство стандартов, 2000. – 5 с.
3. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: Учебник для вузов / В. И. Нефедов, В.И. Хахин, Е.В. Федорова и др.: Под ред. В. И. Нефедова. - М.: Высш. шк., 2001. - 383 с.
4. Клаассен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. – М: Пост-маркет, 2000. – 352 с.
5. Мейзда Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений: Пер. с англ. - М.: Мир, 1990. - 535 с.

Параметры приемного тракта

Аналоговый канал

1) Чувствительность

Под чувствительностью понимают способность приемника принимать слабые сигналы. Чувствительность определяется минимально необходимой мощностью или ЭДС сигнала в антенне, при которой обеспечивается нормальное функционирование исполнительного устройства при заданном отношении мощности сигнала к мощности собственных шумов на выходе приемника.

Аналоговый канал

2) Избирательность

Избирательность (Selectivity) или селективность приемного устройства - это совокупность параметров, характеризующая его способность выбрать желательный сигнал из массы сигналов, воздействующих на вход, и ослаблять мешающее действие сигналов, действующих по дополнительным (побочным) каналам приема.

Аналоговый канал

3) Помехоустойчивость

Помехоустойчивостью называют способность приемника обеспечивать прием переданной или извлеченной информации с заданной достоверностью при заданных сигналах и наличии помех в радиоканале. Повышение помехоустойчивости обеспечивается всеми видами избирательности, а также созданием оптимальных (квазиоптимальных) структур приемников и специальными методами борьбы с помехами при обработке принимаемых сигналов.

Аналоговый канал

4) Допустимые искажения воспроизводимого сигнала при отсутствии помех

Искажения могут быть линейными (амплитудно-частотными и фазочастотными) и нелинейными.

Линейные - изменяют соотношения между амплитудами и фазами составляющих сообщения на выходе приемника по сравнению с его входом.

Нелинейные - проявляются на выходе приемника в виде дополнительных частот (гармоник и комбинационных), не содержащихся в передаваемом сообщении, и оцениваются допустимым коэффициентом нелинейных искажений.

Аналоговый канал

5) Динамический диапазон приемника по основному каналу

Под этой характеристикой понимают диапазон граничных уровней входного полезного сигнала, при которых обеспечивается нормальное качество приема. Динамический диапазон характеризует пределы измерения уровня входных сигналов, в которых устройство линейно в практическом смысле.

Аналоговый канал

б) Диапазон рабочих частот

Это область частот сигнала, в пределах которой обеспечиваются все другие электрические характеристики приемника и прежде всего — чувствительность и уровень выходного сигнала.

Традиционно чувствительность приемника определяется наименьшим уровнем сигнала на входе приемника, который приемник может обнаружить при обеспечении удовлетворительного для демодуляции отношения сигнал-шум SNR (Signal-to-Noise Ratio) на выходе приемника.

Цифровой канал

В цифровых системах связи качество измеряется коэффициентом битовых ошибок (Bit Error Ratio, BER). Под BER следует понимать отношение количества ошибочных битов к их общему переданному числу.

Для получения заданного коэффициента битовых ошибок необходимо определенное отношение сигнал-шум на входе информационного блока.

Чувствительность определяет абсолютный уровень мощности входного сигнала, обеспечивающий требуемое отношение сигнал-шум SNR на выходе приемника.

Аналоговые виды модуляции

Амплитудная модуляция (АМ) — вид модуляции, при которой изменяемым параметром несущего сигнала является его амплитуда.

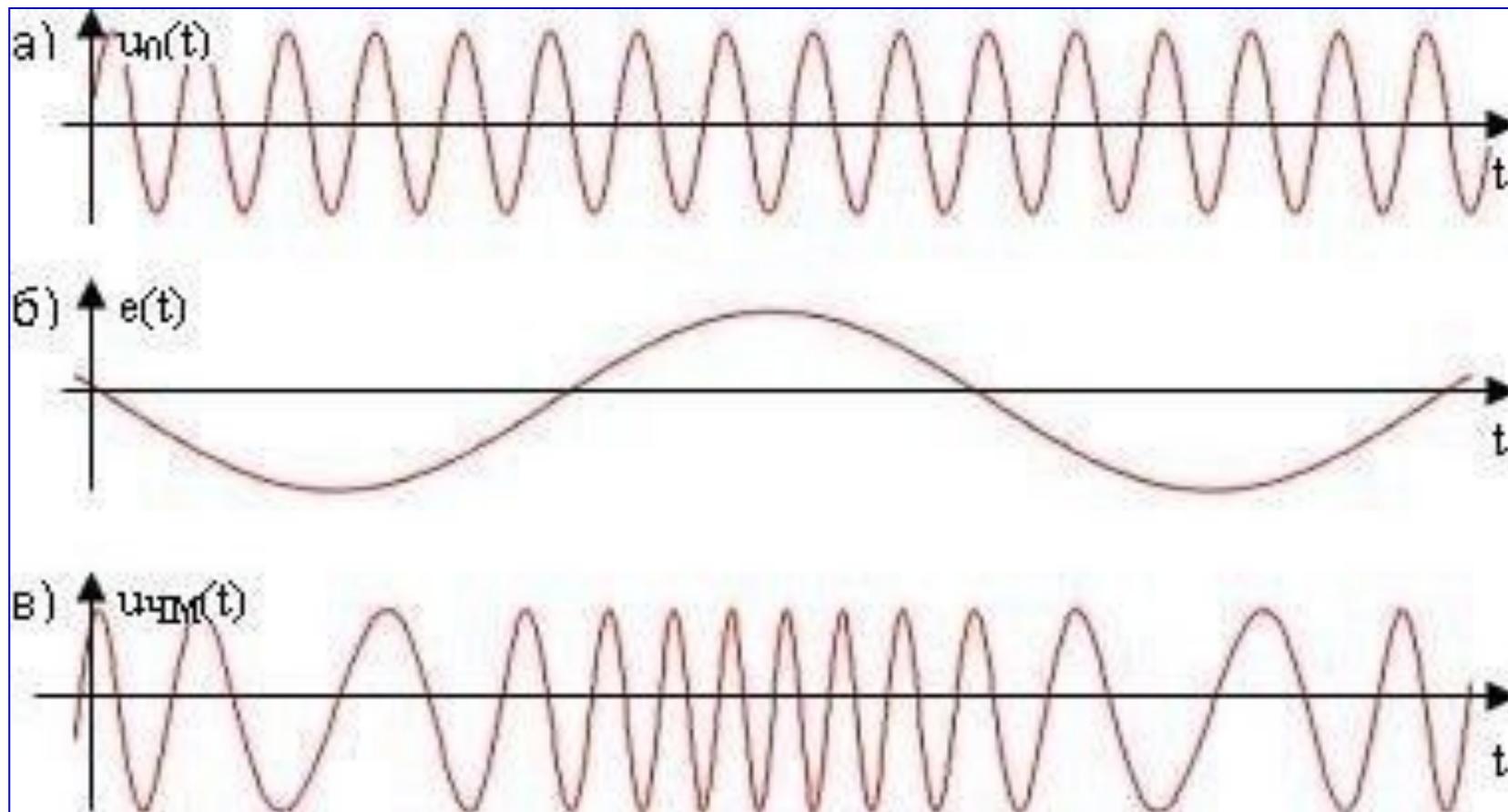


Аналоговые виды модуляции

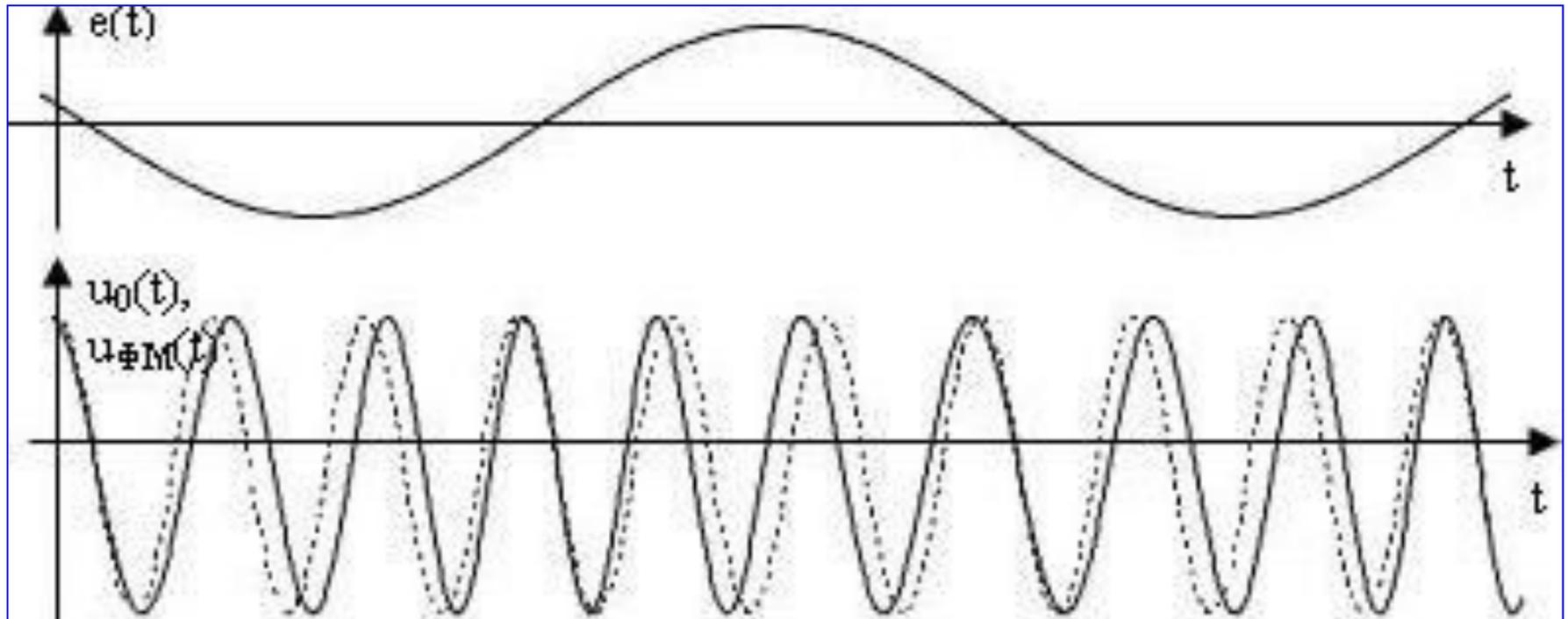
Угловая модуляция — вид модуляции, при котором передаваемый сигнал изменяет либо частоту ω , либо начальную фазу φ , амплитуда не изменяется. Подразделяется соответственно на частотную и фазовую модуляцию.

Названа так потому что полная фаза гармонического колебания $\Psi(t) = \omega t + \varphi$ определяет текущее значение фазового угла.

Частотная модуляция



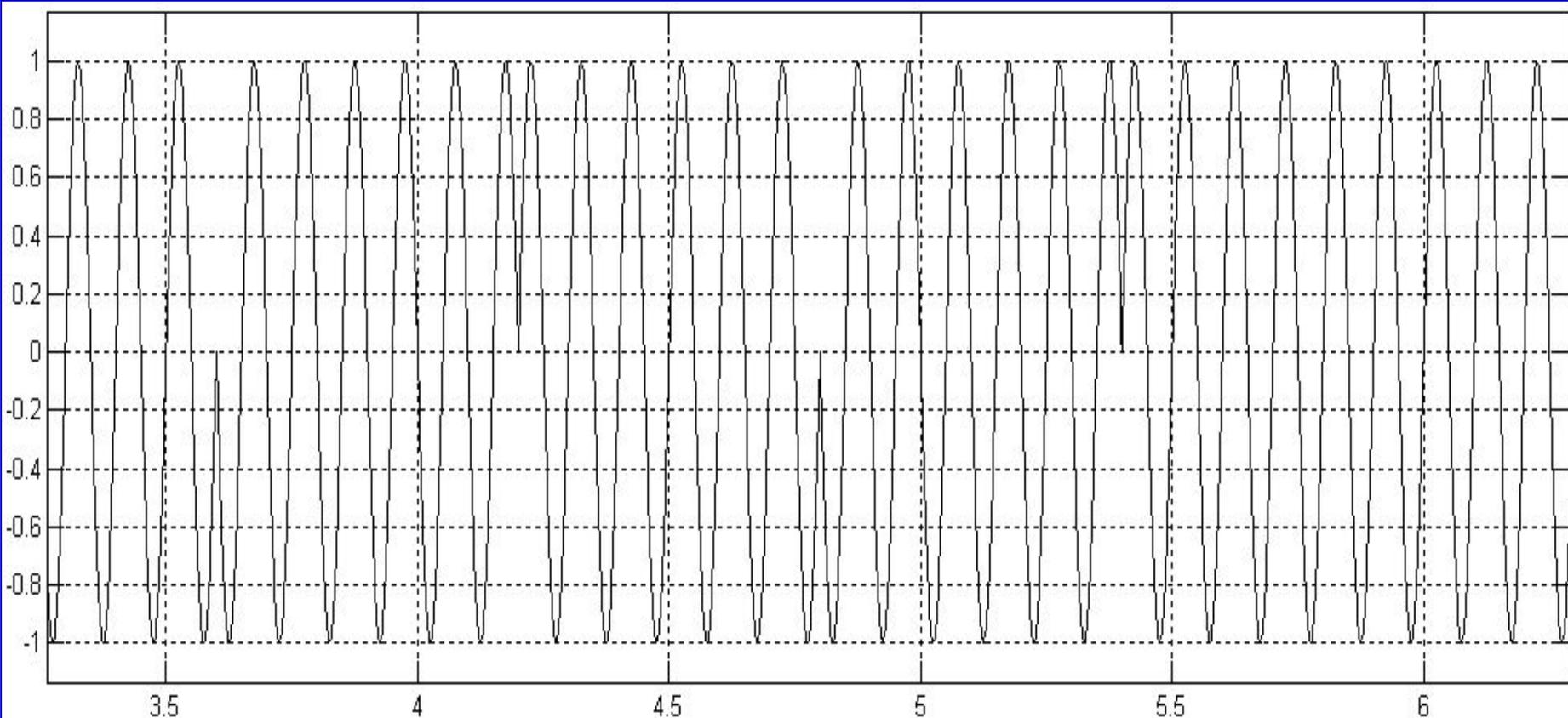
Фазовая модуляция



Цифровые виды модуляции

Двухпозиционная фазовая модуляция (BPSK)

Значения фазы несущего колебания принимают значение 0 и 180 градусов.



Методы измерений

1. Диапазон рабочих частот.

Измерение частоты и диапазона рабочих частот (например, 100 - 150 МГц, отклонение 10^{-6}) осуществляется прямым методом с помощью частотомера ЧЗ-64 с допустимой погрешностью измерения $2 \cdot 10^{-7}$.

2. Мощность несущей частоты передатчика.

Измерение мощности несущей частоты передатчика (5 - 50 Вт, отклонение **20 %**), осуществляется прямым методом с помощью ваттметра **МЗ-95** с допустимой погрешностью измерения **8 %**.

Методы измерений

3. Максимальный коэффициент амплитудной модуляции .

Измерение коэффициента амплитудной модуляции (60 - 100 %) осуществляется прямым методом с помощью прибора СКЗ-45 с допустимой погрешностью измерения 2 %.

4. Коэффициент нелинейных искажений огибающей выходного сигнала передатчика.

Измерение коэффициента нелинейных искажений (не более 5 %) огибающей выходного сигнала передатчика осуществляется прямым методом с помощью приборов СКЗ-45 и С6-12 с допустимой погрешностью измерения 2 %.

Методы измерений

5. Уровень фона при закороченном входе модулятора.

Измерение уровня фона при закороченном входе модулятора (не более 3 %) осуществляется прямым методом с помощью прибора СКЗ-45 с допустимой погрешностью измерения 1 %.

Методы измерений

6. Параметры модуляционного тракта.

- неравномерность **АЧХ** (не более 3 дБ) измеряется прибором **СКЗ-45** путем вычисления отношения максимальной и минимальной глубины модуляции в заданной полосе частот с допустимой погрешностью измерения 5 %;
- затухание на частоте 5 кГц относительно частоты 1 кГц (не менее 10 дБ) измеряется прибором **СКЗ-45** путем вычисления отношения с допустимой погрешностью измерения 5 %;

Методы измерений

- входное сопротивление (600 ± 100 Ом) оценивается методом косвенного измерения встроенным вольтметром прибора С6-12 с использованием эталонного сопротивления (600 Ом), при допустимой погрешности измерения 5 %.

7. Чувствительность приемника.

Измерение чувствительности приемника (не более 1 мкВ) осуществляется косвенным методом по отношению сигнал/шум с использованием генератора Г4-164 и встроенного вольтметра прибора С6-12 с допустимой погрешностью измерения 1,5 дБ.

Методы измерений

8. Выходное напряжение приемника.

Измерение выходного напряжения приемника (не менее 1,2 В на выходе) осуществляется прямым методом с использованием генератора Г4-164 и встроенного вольтметра прибора С6-12, допустимая погрешность измерения 5 %.

9. Коэффициент нелинейных искажений сигнала приемника.

Измерение коэффициента нелинейных искажений сигнала приемника 5 % осуществляется прямым методом с использованием генератора Г4-164 и встроенного вольтметра прибора С6-12, допустимая погрешность измерения 2 %.

Методы измерений

10. Параметры низкочастотного тракта приемника.

- неравномерность АЧХ не более 3 дБ измеряется с использованием генератора Г4-164 и встроенного вольтметра прибора С6-12 путем вычисления отношения максимального и минимального уровня сигнала в заданной полосе частот, допустимая погрешность измерения 5 %;
- затухание на частоте 5 кГц относительно частоты 1 кГц не менее 10 дБ измеряется с использованием генератора Г4-164 и встроенного вольтметра прибора С6-12 путем нахождения отношения сигналов, допустимая погрешность измерения 5 %;

Методы измерений

- выходное сопротивление (600 ± 100 Ом) оценивается методом косвенного измерения встроенным вольтметром прибора С6-12 с использованием эталонного сопротивления 600 Ом, при допустимой погрешности измерения 5 %.
- и другие параметры.

Пример методики измерения

Методика измерения коэффициента передачи усилителя

Собрать установку, как показано на рис. XX. Настроить генератор ГЗ-122 на частоту 1000 Гц. Установить уровень мощности генератора таким, чтобы на выходе усилителя показания вольтметра В7-39 были 4 В. Определить входной уровень по шкале генератора и рассчитать усиление по формуле:

$$K=20*\lg(U_v/U)$$

Пример методики поверки

Методика определения погрешности установки амплитуды прямоугольных импульсов на выходе генератора Г5-79

К генератору импульсов подключается нагрузка в 50 Ом. Параллельно нагрузке подключается вольтметр импульсного напряжения В4-24. При длительности импульсов 10 мкс и периоде повторения 0,001с для четырёх значений амплитуды импульса (1, 10, 100 и 1000 мВ) находится погрешность.