

# 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

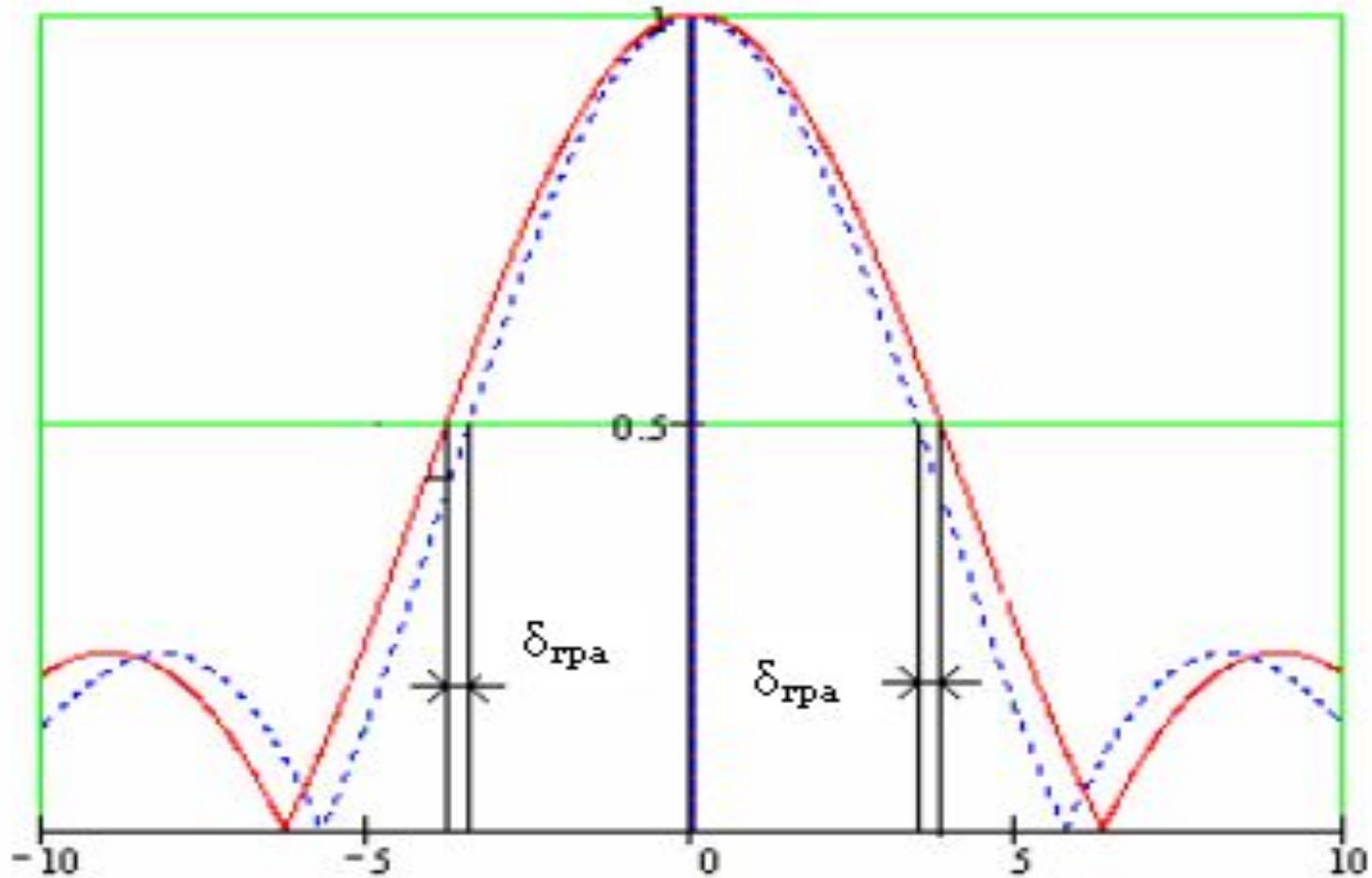
В общем случае при увеличении частоты происходит сужение диаграммы направленности.

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  $0.02^\circ$ , 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

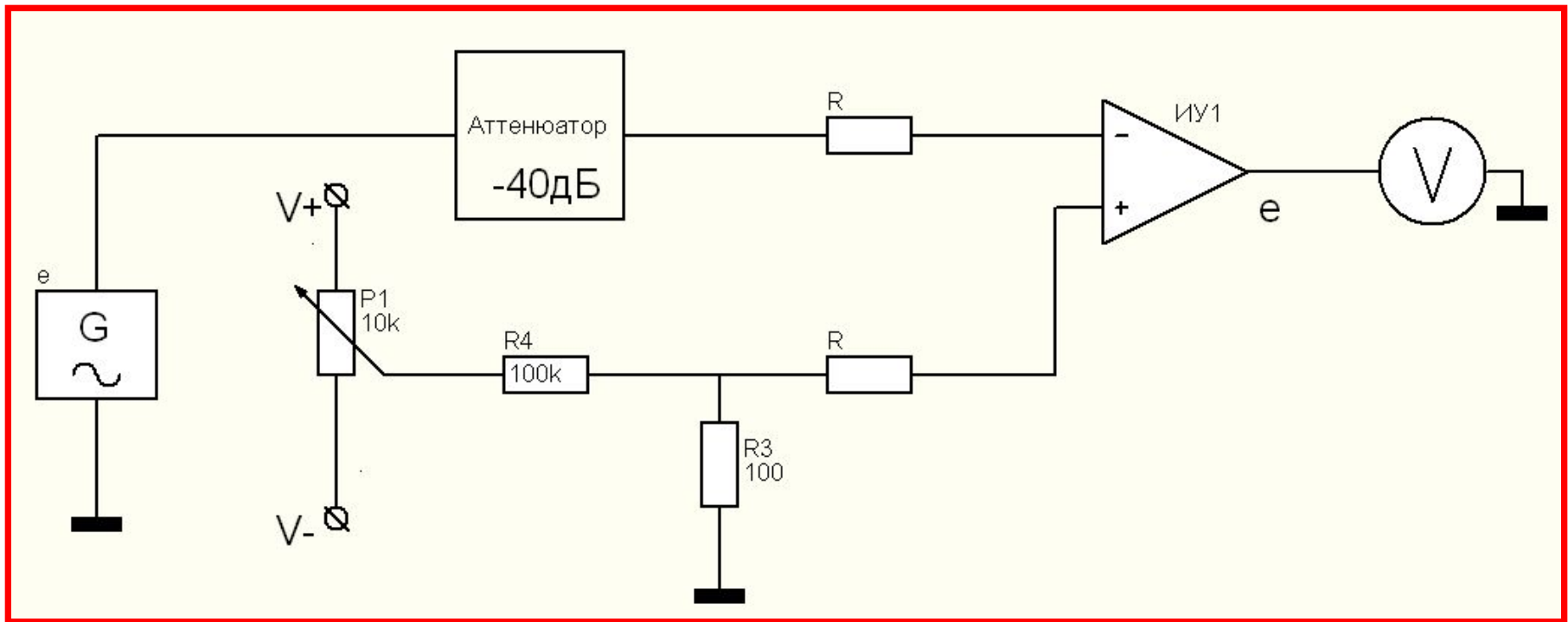


Схема измерения входного сопротивления ОУ

# 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.

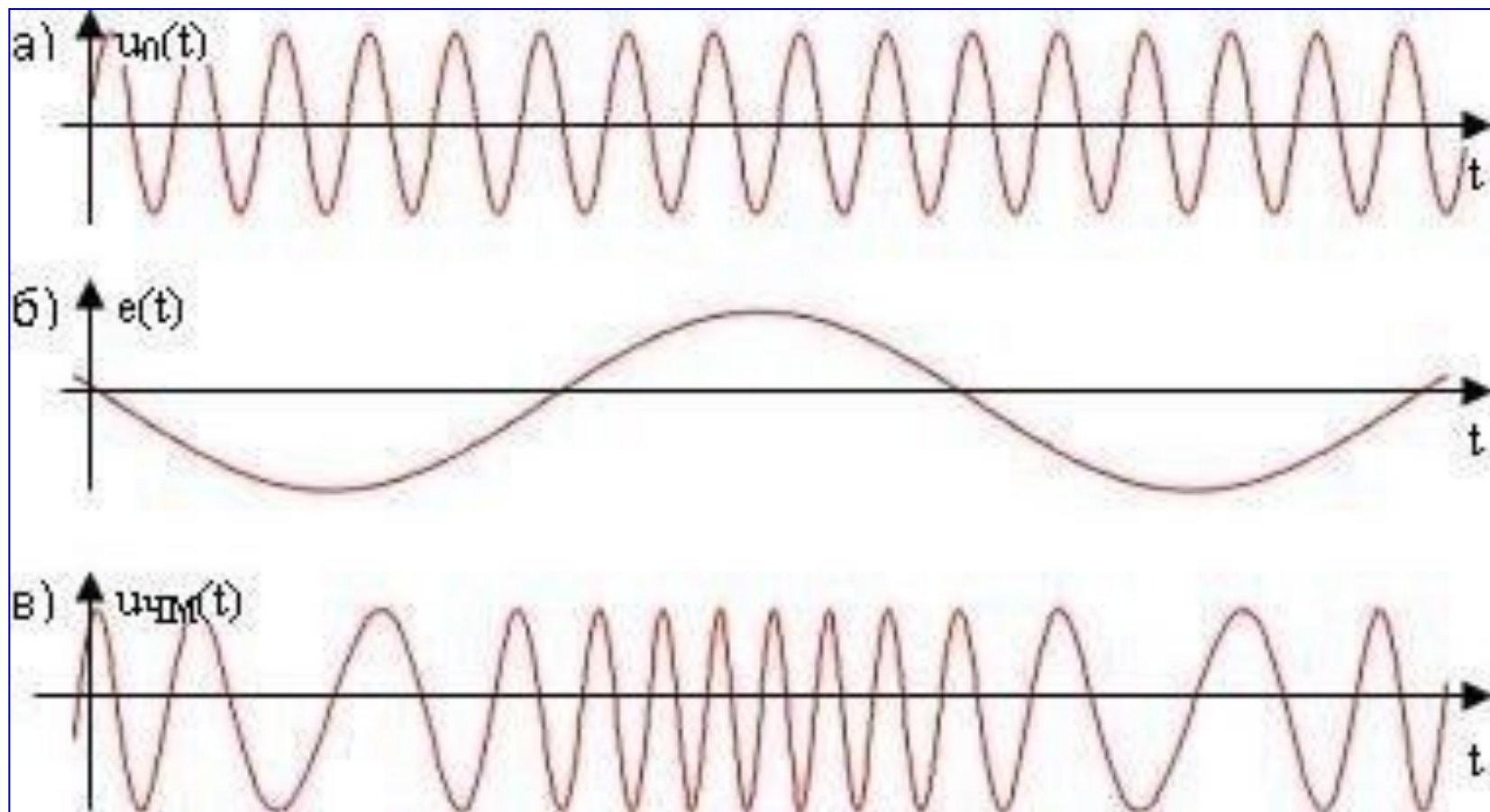


# Аналоговые виды модуляции

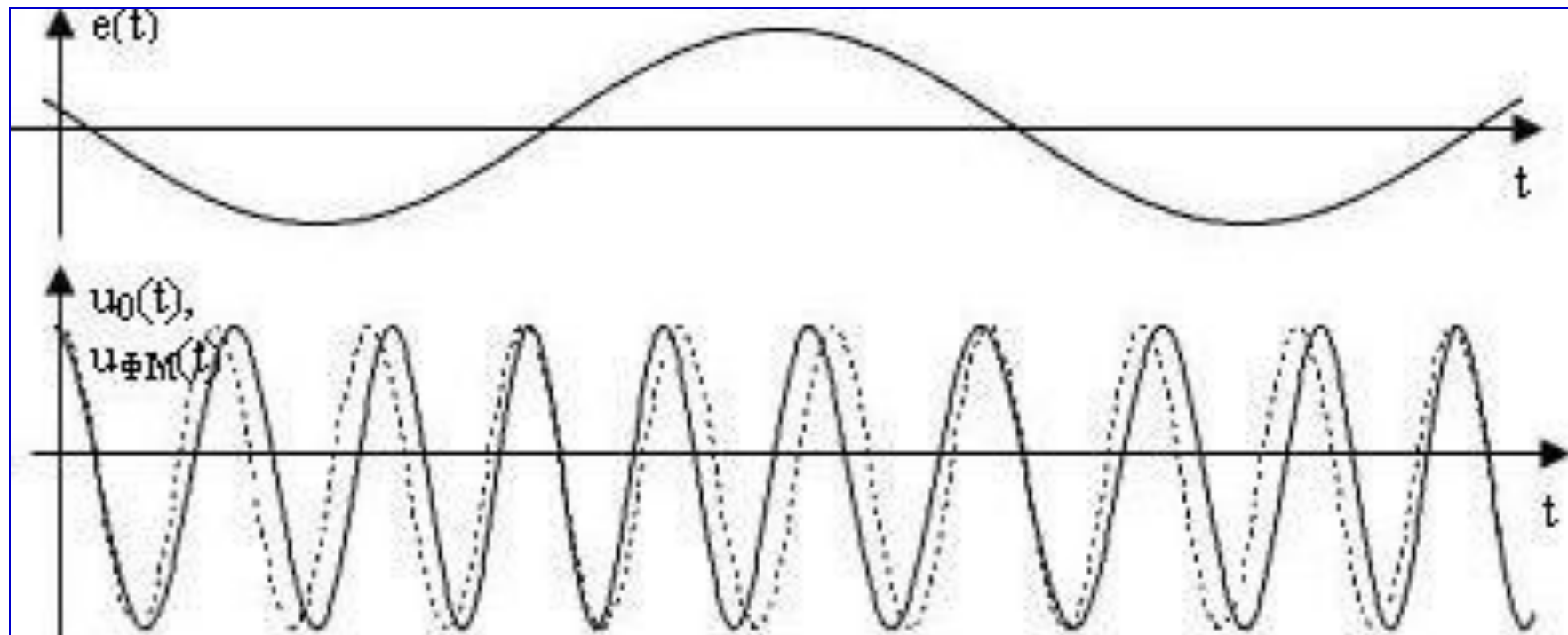
*Угловая модуляция* — вид модуляции, при котором передаваемый сигнал изменяет либо частоту  $\omega$ , либо начальную фазу  $\varphi$ , амплитуда не изменяется. Подразделяется соответственно на частотную и фазовую модуляцию.

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

# Частотная модуляция



# Фазовая модуляция





# 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 ( $600 \pm 100$  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 ( $600 \pm 100$  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.