

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ (МГТУ ГА)**

Кафедра основ радиотехники и защиты информации

А.А. Илюхин

РАДИОИЗМЕРЕНИЯ

ПОСОБИЕ

по проведению практических занятий

*для студентов III курса
специальности 162107
очной формы обучения*

Москва - 2013

ББК 6Ф2.08
И49

Рецензент проф. Д.Н. Яманов

Илюхин А.А.

И49 Радиоизмерения: пособие по проведению практических занятий. – М.: МГТУ ГА, 2013. – 20 с.

Данное пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Радиоизмерения» по Учебному плану для студентов III курса специальности 162107 очной формы обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 24.10.13 г. и методического совета 15.11.13 г.

Редактор И.В. Вилкова

Печать офсетная	Подписано в печать 19.02.14 г.	
1,16 усл. печ. л.	Формат 60ч84/16	0,90 уч.-изд. л.
	Заказ № 1733/	Тираж 50 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20
Редакционно-издательский отдел
125493 Москва, ул. Пулковская, д.6а

© Московский государственный
технический университет ГА, 2013

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

При подготовке к практическому занятию студенты должны:

- уяснить цель и порядок проведения практического занятия;
- изучить материалы, изложенные на лекционных занятиях и в рекомендуемой литературе.

На занятии студент должен иметь конспект лекций, данное пособие и тетрадь для решения задач.

Практическое занятие начинается с опроса студентов по знанию теоретических положений практического занятия с использованием контрольных вопросов, а также проверяется понимание решения типовых задач.

Далее студенты решают приведенные в пособии задачи с последующим обсуждением полученных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Боридько С.И., Дементьев Н.В., Тихонов Б.Н., Ходжаев И.А. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах. - М.: Горячая линия–Телеком, 2007.

Дополнительная

2. Метрология и радиоизмерения / под ред. В.И. Нефедова. - М.: Высшая школа, 2006.

3. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах / под ред. В.И. Нефедова. - М.: Высшая школа, 2001.

Практическое занятие №1

Электронные вольтметры

Цель занятия – закрепление теоретических знаний в области назначения составных элементов электронных вольтметров.

Контрольные вопросы

1. Основные структурные схемы электронных вольтметров: принцип действия, области применения, достоинства и недостатки.

2. Измерительные преобразователи среднеквадратического (действующего, эффективного) значения: схема, принцип действия.

3. Измерительные преобразователи средневывпрямленного значения: схема, принцип действия.

4. Измерительные преобразователи амплитудного (пикового) значения: схема, принцип действия.

5. Цифровой вольтметр с однократным интегрированием: схема, принцип действия, погрешности.

6. Цифровой вольтметр с двойным интегрированием: схема, принцип действия, погрешности.

7. Цифровой вольтметр поразрядного уравнивания: схема, принцип действия, погрешности.

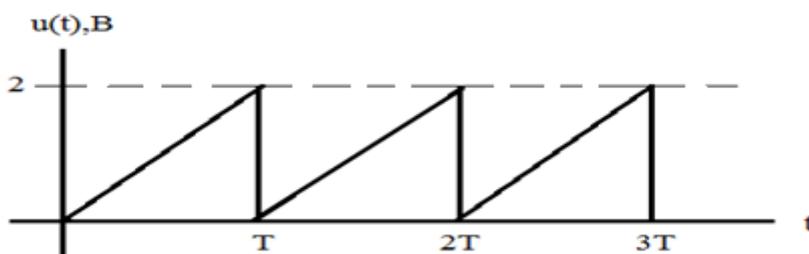
8. Цифровой мультиметр.

Задание на практическое занятие

При подготовке к занятию необходимо изучить теоретические материалы и ответить на контрольные вопросы, используя литературу [1, с. 146-161], [2, с. 189-208], [3, с. 124-150] и конспект лекций, а также уяснить методику решения типовой задачи.

Пример решения типовой задачи

Найти показание электронного вольтметра (ЭВ), у которого шкала проградуирована в среднеквадратических значениях (СКЗ) синусоидального напряжения, измерительный преобразователь пиковый с открытым входом, если на его вход подается напряжение вида



Решение

Напряжение, показываемое вольтметром $U_{\text{пок}} = K_{\text{гр}} U_{\text{по}}$,

где $K_{\text{гр}}$ – градуировочный коэффициент (ГК) вольтметра;

$U_{\text{по}}$ – постоянное напряжение на выходе пикового измерительного преобразователя с открытым входом, которое примерно равно амплитудному значению входного напряжения.

Так как рассматриваемый ЭВ предназначен для измерения СКЗ синусоидального значения, то его ГК определяется следующим образом

$$K_{\text{гр}} = \frac{U_{\text{син}}}{U_{\text{мсин}}},$$

где $U_{\text{син}}$ и $U_{\text{мсин}}$ – соответственно среднеквадратическое и амплитудное значения синусоидального напряжения.

Известно, что $U_{\text{мсин}} = \sqrt{2} U_{\text{син}}$, то есть $K_{\text{гр}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,707$.

Тогда $U_{\text{пок}} = K_{\text{гр}} U_{\text{мпил}}$,

где $U_{\text{мпил}}$ – амплитудное значение входного напряжения ($U_{\text{мпил}}=2 \text{ В}$);
 $U_{\text{пок}} = 0,707 \cdot 2 = 1,414 \text{ В}$.

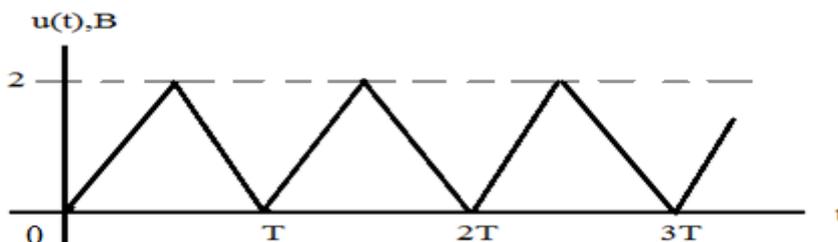
Задачи для самостоятельного решения

Задача №1. Определить показание электронного вольтметра, который имеет измерительный преобразователь средневыпрямленного значения с открытым входом и шкалу, проградуированную в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения, если на его вход подается напряжение вида

$$u(t) = \begin{cases} 2 \sin \omega t, \text{ В}, & 0 \leq t \leq T/2, \\ 0, & T/2 \leq t \leq T, \end{cases}$$

где $T = 2\pi/\omega$ – период повторения. Ответ: 0,707 В.

Задача №2. Определить показание электронного вольтметра, который имеет измерительный преобразователь средневыпрямленного значения с закрытым входом и шкалу, проградуированную в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения, если на его вход подается напряжение вида



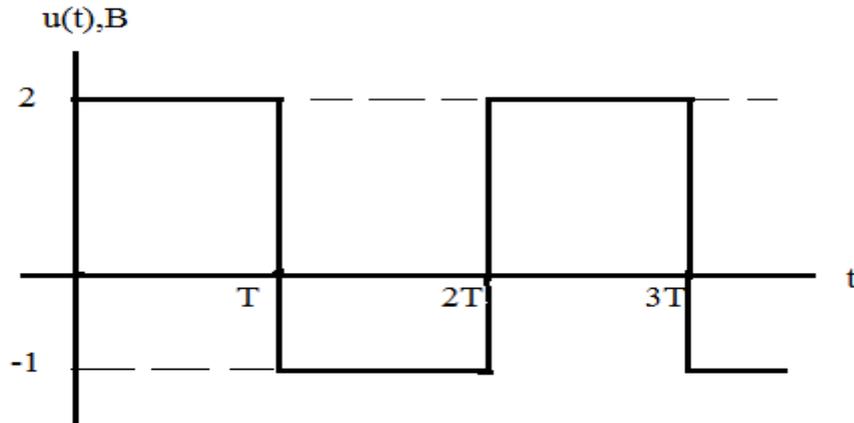
Ответ: 0,55 В.

Задача №3. Показание электронного вольтметра, который имеет измерительный преобразователь средневыпрямленного значения с открытым входом и шкалу, проградуированную в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения, при подаче на его вход напряжения в виде последовательности прямоугольных однополярных видеопульсов с амплитудой 10В, составило 2 В. Определить скважность этой последовательности. Ответ: 5,5.

Задача №4. Найти показание электронного вольтметра, у которого шкала проградуирована в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения, измерительный преобразователь средневыпрямленного значения с закрытым входом, если на его вход подается последовательность

прямоугольных положительных видеоимпульсов с амплитудой 10 В и скважностью 5. Ответ: 3,52 В.

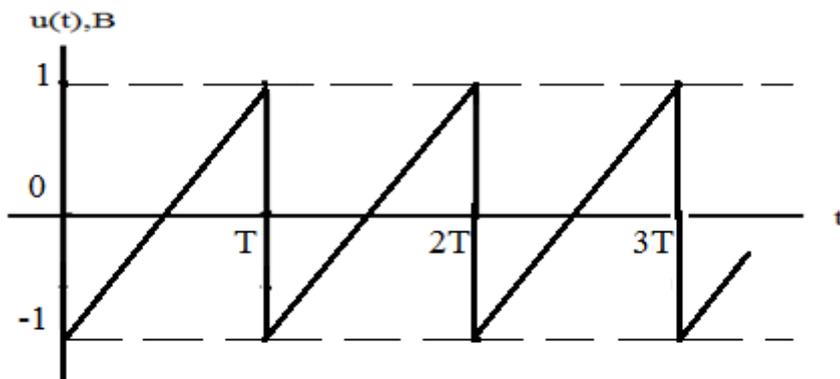
Задача №5. Найти показание электронного вольтметра, у которого шкала проградуирована в среднеквадратических значениях, измерительный преобразователь среднеквадратических значений с открытым входом, если на его вход подается напряжение вида



Ответ: 1,6 В.

Задача №6. Определить показание электронного вольтметра, который имеет измерительный преобразователь пикового значения с закрытым входом и шкалу, проградуированную в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения, если к его входу приложено напряжение в виде последовательности прямоугольных положительных видеоимпульсов с амплитудой $U_m=10\text{В}$ и скважностью $q=10$. Ответ: 6,36 В.

Задача №7. Найти показание электронного вольтметра, у которого шкала проградуирована в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения, измерительный преобразователь средневыпрямленных значений с открытым входом, если на его вход подается напряжение вида



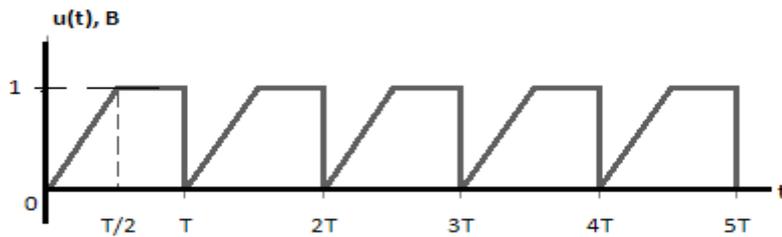
Ответ: 0,55 В.

Задача №8. Найти показание электронного вольтметра, у которого шкала проградуирована в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения, измерительный преобразователь средневыхрямленных значений с открытым входом, если на его вход подается напряжение вида

$$u(t) = \begin{cases} \cos \omega t, \text{ В,} & 0 \leq t \leq T/4, \\ 0, & T/4 \leq t \leq 3T/4, \end{cases}$$

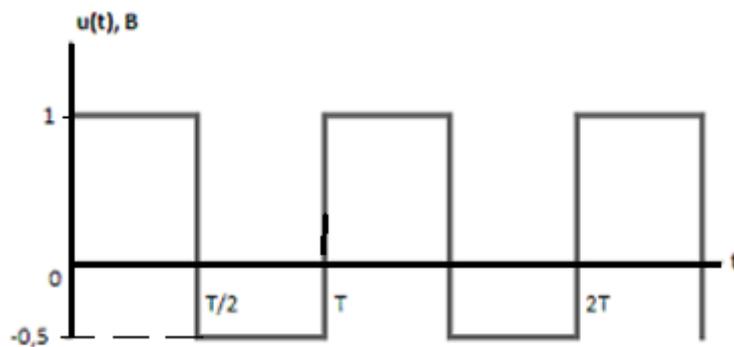
где $T = 2\pi/\omega$ – период повторения. Ответ: 0,35 В.

Задача №9. Найти показание электронного вольтметра, у которого шкала проградуирована в среднеквадратических значениях, измерительный преобразователь среднеквадратических значений с открытым входом, если на его вход подается напряжение вида



Ответ: 0,8В.

Задача №10. Найти показание электронного вольтметра, у которого шкала проградуирована в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения, измерительный преобразователь пикового значения с закрытым входом, если на его вход подается напряжение вида



Ответ: 0,53В.

Практическое занятие №2

Измерение мощности

Цель занятия - закрепление теоретических знаний в области измерения мощности ВЧ- и СВЧ-сигналов.

Контрольные вопросы

1. Методы измерения поглощаемой мощности (метод вольтметра): схема, характеристика, достоинства и недостатки, погрешности.
2. Методы измерения поглощаемой мощности (тепловые методы): схемы, характеристика, достоинства и недостатки, погрешности.
3. Методы измерения проходящей мощности (на основе направленных ответвителей): схема, характеристика, достоинства и недостатки, погрешности.
4. Методы измерения проходящей мощности (пондеромоторный метод, метод на основе эффекта Холла): схемы, характеристика, достоинства и недостатки, погрешности.
5. Косвенный метод измерения импульсной мощности на высоких и сверхвысоких частотах, погрешности.
6. Прямой метод измерения импульсной мощности на высоких и сверхвысоких частотах с использованием болометра, погрешности.
7. Электронный метод измерения импульсной мощности на высоких и сверхвысоких частотах, погрешности.
8. Цифровой ваттметр: схема, принцип действия, погрешности.

Задание на практическое занятие

При подготовке к занятию необходимо изучить теоретические материалы и ответить на контрольные вопросы, используя литературу [1, с. 262-280; с. 327-328], [3, с. 223-225] и конспект лекций, а также уяснить методику решения типовой задачи.

Пример решения типовой задачи

Найти среднюю и импульсную мощности генератора прямоугольных радиоимпульсов, если показания измерителя средней мощности составили $P_{\text{пок.}}=1$ Вт; ослабление аттенюатора, включаемого между генератором и ваттметром $\Delta_{\text{дб}}=-40$ дБ; длительность радиоимпульсов $t_{\text{и}}=1$ мкс, период их повторения $T_{\text{п}}=1$ мс.

Решение

Ослабление аттенюатора

$$\Delta_{\text{дб}} = 10 \lg \frac{P_{\text{пок.}}}{P_{\text{ср}}},$$

где $P_{\text{ср}}$ – средняя мощность генератора.

Тогда

$$P_{\text{ср}} = \frac{P_{\text{пок}}}{10^{\frac{\Delta_{\text{дБ}}}{10}}} = \frac{1}{10^{\frac{-40}{10}}} = 10^4 \text{ Вт.}$$

Импульсная мощность генератора

$$P_{\text{и}} = P_{\text{ср}}q,$$

где q - скважность радиоимпульсов, $q = \frac{T_{\text{п}}}{t_{\text{и}}}$.

Тогда

$$P_{\text{и}} = P_{\text{ср}} \frac{T_{\text{п}}}{t_{\text{и}}} = 10^4 \frac{10^{-3}}{10^{-6}} = 10^7 \text{ Вт} = 10 \text{ МВт.}$$

Задачи для самостоятельного решения

Задача №1. Найти показание ваттметра, измеряющего среднюю мощность сигнала и подключенного через аттенюатор с ослаблением 20 дБ к генератору прямоугольных радиоимпульсов, если импульсная мощность генератора 100 Вт, длительность импульсов 5 мкс, частота повторения 1 кГц. Ответ: 5 мВт.

Задача №2. К генератору прямоугольных радиоимпульсов через аттенюатор подключен ваттметр, измеряющий импульсную мощность. Рассчитать необходимое ослабление аттенюатора, если максимальный предел измерения ваттметра 1 Вт, средняя мощность генератора 1 Вт, длительность импульсов 1 мкс период повторения 1 мс. Ответ: 30 дБ.

Задача №3. Средняя мощность генератора прямоугольных радиоимпульсов 10 Вт, скважность 100. Найти показание ваттметра, измеряющего импульсную мощность, который подключен к генератору через аттенюатор с ослаблением 40 дБ. Ответ: 0,1 Вт.

Задача №4. Импульсная мощность генератора прямоугольных радиоимпульсов измеряется косвенным методом ($P_{\text{и}} = P_{\text{ср}} * T_{\text{п}} / t_{\text{и}}$). Рассчитать случайную погрешность измерения мощности $\delta_{P_{\text{и}}}$, если случайные погрешности измерения средней мощности, периода повторения и длительности импульсов соответственно равны $\delta_{P_{\text{ср}}} = 2\%$, $\delta_{T_{\text{п}}} = \delta_{t_{\text{и}}} = 1\%$. Погрешности $\delta_{T_{\text{п}}}$ и $\delta_{t_{\text{и}}}$ не коррелированы. Ответ: 2,4 %.

Практическое занятие №3

Электронно-лучевые осциллографы

Цель занятия - закрепление теоретических знаний в области наблюдения и измерения сигналов с использованием электронно-лучевых осциллографов.

Контрольные вопросы

1. Универсальный электронно-лучевой осциллограф: схема, принцип действия.
2. Характеристика основных видов разверток и синхронизаций в универсальном электронно-лучевом осциллографе.
3. Цифровой осциллограф: схема, принцип действия.
4. Двухканальный осциллограф: схема, принцип действия.
5. Суть стробоскопического метода осциллографирования.
6. Стробоскопический осциллограф: схема и принцип действия стробоскопического преобразователя.
7. Стробоскопический осциллограф: принцип действия схемы автоматического сдвига импульсов.
8. Скоростной осциллограф: принцип действия.

Задание на практическое занятие

При подготовке к занятию необходимо изучить теоретические материалы и ответить на контрольные вопросы, используя литературу [1, с. 162-185], [2, с. 244-265], [3, с. 80-84] и конспект лекций, а также уяснить методику решения типовой задачи.

Пример решения типовой задачи

Усилитель вертикального отклонения (УВО) стробоскопического осциллографа имеет полосу пропускания $\Delta f_{\text{пуво}} = 1$ МГц. Рассчитать полосу пропускания стробоскопического осциллографа при коэффициенте трансформации масштаба времени $K_{\text{тр}} = 10^3$.

Решение

Полоса пропускания стробоскопического осциллографа

$$\Delta f_{\text{п}} = \Delta f_{\text{пуво}} K_{\text{тр}} = 10^6 \cdot 10^3 = 10^9 \text{ Гц} = 1 \text{ ГГц.}$$

Задачи для самостоятельного решения

Задача №1. На вход Y универсального осциллографа подается последовательность положительных прямоугольных видеопульсов с амплитудой 2В, длительностью импульсов 0,1 мс и скважностью 4. Изобразить осциллограмму этой последовательности, если коэффициент отклонения 0,5 В/дел. и коэффициент развертки 0,2 мс/дел., размер градуировочной сетки 6 дел.х10 дел.

Задача №2. На вход Y универсального осциллографа подается гармоническое напряжение с амплитудой 1В и частотой 10кГц. Изобразить осциллограмму этого напряжения, если коэффициент отклонения 0,5 В/дел. и

коэффициент развертки 50 мкс/дел., размер градуировочной сетки 6 дел.х10 дел.

Задача №3. Рассчитать необходимую полосу пропускания усилителя вертикального отклонения стробоскопического осциллографа, чтобы при шаге стробирования 0,01 нс эквивалентная полоса пропускания была не менее 1 ГГц. Ответ: 10 МГц.

Задача №4. Для осциллографирования импульсного сигнала с периодом повторения 1 нс в универсальном осциллографе потребовалась бы скорость развертки 10^8 м/с. Рассчитать скорость развертки стробоскопического осциллографа, необходимую для наблюдения вышеназванного сигнала, если шаг стробирования равен 0,01 нс. Ответ: 1000000 м/с.

Задача №5. Усилитель вертикального отклонения стробоскопического осциллографа имеет полосу пропускания $\Delta f_{\text{п}}=10$ МГц. Рассчитать шаг стробирования в этом осциллографе, обеспечивающий осциллографирование синусоидального напряжения с частотой $f=1$ ГГц. Ответ: 0.01 нс.

Практическое занятие №4

Электронно-счетные частотомеры

Цель занятия - закрепление теоретических знаний в области измерения частоты и временных интервалов сигналов с использованием электронно-счетных частотомеров.

Контрольные вопросы

1. Электронно-счетные частотомеры (ЭСЧ) в режиме измерения частоты: схема, принцип действия, погрешности.
2. ЭСЧ в режиме измерения временного интервала: схема, принцип действия, погрешности.
3. ЭСЧ при измерении частоты СВЧ сигналов: схема, принцип действия, погрешности.
4. Измерение временных интервалов нониусным методом.

Задание на практическое занятие

При подготовке к занятию необходимо изучить теоретические материалы и ответить на контрольные вопросы, используя литературу [1, с. 195-203], [2, с. 204-205] и конспект лекций, а также уяснить методику решения типовых задач.

Примеры решения типовых задач

1. Измерение частоты периодического сигнала осуществляется цифровым частотомером. Рассчитать максимальное значение относительной погрешности

дискретности, если частота кварцевого генератора $f_{\text{кв.}} = 1$ МГц, коэффициент деления делителя частоты в канале формирования стробирующего импульса $k_d = 10^2$, измеряемая частота $f_{\text{и}} = 50$ МГц.

Решение

Максимальная абсолютная погрешность дискретности

$$\Delta_{\text{дmaxf}} = \pm \frac{f_{\text{кв.}}}{k_d} = \pm \frac{10^6}{10^2} = \pm 10^4 \text{ Гц.}$$

Максимальная относительная погрешность дискретности

$$\delta_{\text{дmaxf}} = \pm \frac{\Delta_{\text{дmaxf}}}{f_{\text{и}}} = \pm \frac{10^4}{50 \cdot 10^6} = \pm 0,0002.$$

2. Измерение периода гармонического напряжения осуществляется цифровым частотомером. Рассчитать максимальное значение относительной погрешности дискретности, если в канале формирования счетных импульсов частота кварцевого генератора $f_{\text{кв.}} = 5$ МГц, коэффициент умножения умножителя частоты $k_y = 10$, измеряемый период $T_{\text{и}} = 100$ мкс.

Решение

Максимальная абсолютная погрешность дискретности

$$\Delta_{\text{дmaxT}} = \pm T_{\text{сч}},$$

где $T_{\text{сч}}$ – период счетных импульсов;

$$\Delta_{\text{дmaxT}} = \pm \frac{1}{f_{\text{кв.}} \cdot k_y} = \pm \frac{1}{5 \cdot 10^6 \cdot 10} = \pm 0,2 \cdot 10^{-7} \text{ с.}$$

Максимальная относительная погрешность дискретности

$$\delta_{\text{дmaxT}} = \pm \frac{\Delta_{\text{дmaxT}}}{T_{\text{и}}} = \pm \frac{0,2 \cdot 10^{-7}}{100 \cdot 10^{-6}} = \pm 0,0002.$$

3. Измерение частоты СВЧ-колебаний осуществлялось цифровым частотомером, имеющим гетеродинный преобразователь частоты. При измерении были получены два значения частоты гетеродина $f_{\text{г1}} = 50,1$ МГц, $f_{\text{г2}} = 50,0$ МГц. Найти значение частоты СВЧ-колебаний.

Решение

Так как $f_{\text{г2}} < f_{\text{г1}}$, то имеют место следующие соотношения

$$f_{\text{и}} = n f_{\text{г1}}, f_{\text{и}} = (n+1) f_{\text{г2}},$$

где $f_{\text{и}}$ – измеряемая частота СВЧ-колебаний.

Тогда номер гармоники напряжения гетеродина с частотой первой гармоники $f_{\text{г1}}$ будет равен

$$n = \frac{f_{r2}}{f_{r1} - f_{r2}} = \frac{50,0 \cdot 10^6}{50,1 \cdot 10^6 - 50,0 \cdot 10^6} = 500.$$

Значение измеряемой частоты СВЧ-колебания.

$$f_{и} = n f_{r1} = 500 \cdot 50,1 \cdot 10^6 = 25,05 \text{ ГГц.}$$

Задачи для самостоятельного решения

Задача №1. Измерение частоты периодического сигнала осуществляется цифровым частотомером. Рассчитать коэффициент деления делителя частоты в канале формирования стробирующего импульса, чтобы при измерении частоты $f_{и}=10$ МГц относительная погрешность дискретности не превысила значения $\delta_{дmaxf}=10^{-6}$. Частоту кварцевого генератора принять равной $f_{кв}=5$ МГц. Ответ: 500000.

Задача №2. Измерение периода гармонического напряжения осуществляется цифровым частотомером. Рассчитать коэффициент умножения частоты в канале формирования счетных импульсов, чтобы абсолютная погрешность дискретности не превысила значения $\Delta_{дmaxT}=10$ нс. Частоту кварцевого генератора принять равной $f_{кв}=5$ МГц. Ответ: 20.

Задача №3. Измерение частоты СВЧ-колебаний осуществлялось цифровым частотомером, имеющим гетеродинный преобразователь частоты. При измерении были получены два значения частоты гетеродина $f_{r1}=102,0$ МГц, $f_{r2}=100,0$ МГц. Рассчитать значение частоты СВЧ-колебания. Ответ: 5100 МГц.

Задача №4. Измерение частоты периодического сигнала осуществляется методом дискретного счета. Каково должно быть время счета (время измерения) при измерении частоты $f_{и}=1$ МГц, чтобы относительная погрешность дискретности не превысила значения $\delta_{дmaxf}=10^{-4}\%$? Ответ: 1 с.

Задача №5. Измерение периода гармонического напряжения осуществляется методом дискретного счета. Какова должна быть частота счетных импульсов при измерении периода $T_{и}=100$ мкс, чтобы относительная погрешность дискретности не превысила значения $\delta_{дmaxT}=10^{-3}$? Ответ: 10 МГц.

Задача №6. В процессе измерения частоты СВЧ-колебаний цифровым частотомером, имеющим гетеродинный преобразователь частоты, были получены результаты: значение частоты входного колебания $f_{и}=2$ ГГц, значение частоты гетеродина $f_{r2}=50$ МГц. Определить номера гармоник напряжения гетеродина, которые были использованы при измерении частоты СВЧ-колебаний. Ответ: 39 и 40.

Задача №7. Измерение частоты гармонического сигнала осуществляется цифровым частотомером. Рассчитать коэффициент умножения частоты

гармонического сигнала, чтобы уменьшить относительную погрешность дискретности в пять раз. Ответ: 5.

Задача №8. Измерение периода гармонического напряжения осуществляется цифровым частотомером. Рассчитать коэффициент деления делителя частоты гармонического напряжения, чтобы уменьшить относительную погрешность дискретности в 10 раз. Ответ: 10.

Задача №9. Измерение частоты гармонического сигнала осуществляется цифровым частотомером. Рассчитать относительную погрешность дискретности, если коэффициент умножения частоты гармонического сигнала $K_y=2$, коэффициент деления делителя частоты в канале формирования стробирующего импульса $K_d=10^3$, измеряемая частота $f_{и}=1$ МГц, частота кварцевого генератора $f_{кв.}=5$ МГц. Ответ: 0,25 %.

Задача №10. Измерение периода гармонического напряжения осуществляется цифровым частотомером. Рассчитать относительную погрешность дискретности, если коэффициент деления делителя частоты гармонического напряжения $K_d=10$, коэффициент умножения частоты в канале формирования счетных импульсов $K_y=5$, измеряемый период $T_{и}=10$ мкс, частота кварцевого генератора $f_{кв.}=5$ МГц. Ответ: 0,04 %.

Практическое занятие №5

Цифровые фазометры

Цель занятия - закрепление теоретических знаний в области измерения фазового сдвига между сигналами с использованием цифровых фазометров.

Контрольные вопросы

1. Использование метода дискретного счета при измерении фазового сдвига.
2. Цифровой фазометр: схема, принцип действия, погрешности.
3. Цифровой фазометр среднего значения: схема, принцип действия, погрешности.
4. Микропроцессорный фазометр: схема, принцип действия, погрешности.

Задание на практическое занятие

При подготовке к занятию необходимо изучить теоретические материалы и ответить на контрольные вопросы, используя литературу [1, с. 291-293], [2, с. 302-308] и конспект лекций, а также уяснить методику решения типовой задачи.

Пример решения типовой задачи

При измерении фазового сдвига между синусоидальными напряжениями с частотой $f = 1$ кГц используется метод дискретного счета. Рассчитать максимальную относительную погрешность дискретности, если частота счетных импульсов $f_{сч.} = 2$ МГц, измеряемый фазовый сдвиг $\Delta\varphi=60^\circ$.

Решение

Абсолютная максимальная погрешность дискретности

$$\Delta_{\text{дmax}\Delta\varphi} = \pm 360^0 \frac{f}{f_{\text{сч}}}$$

Относительная максимальная погрешность дискретности

$$\delta_{\text{дmax}\Delta\varphi} = \pm \frac{\Delta_{\text{дmax}\Delta\varphi}}{\Delta\varphi} = \pm 360^0 \frac{f}{f_{\text{сч}} \Delta\varphi} = \pm 360^0 \frac{10^3}{2 \cdot 10^6 \cdot 60^0} = \pm 0,003.$$

Задачи для самостоятельного решения

Задача №1. При измерении фазового сдвига между синусоидальными напряжениями с частотой $f=10,0$ кГц используется метод дискретного счета. Рассчитать период счетных импульсов, если допустимая абсолютная погрешность дискретности измерения фазового сдвига $\Delta_{\text{дmax}\Delta\varphi}=0,09^0$.
 Ответ: 25 нс.

Задача №2. При измерении фазового сдвига между синусоидальными напряжениями используется метод дискретного счета. Какова должна быть частота счетных импульсов, если частота синусоидальных напряжений $f=5$ кГц, а допустимая относительная погрешность дискретности $\delta_{\text{дmax}\Delta\varphi}=10^{-3}$ и измеряемый фазовый сдвиг $\Delta\varphi=30^0$?
 Ответ: 60 МГц.

Задача №3. При измерении фазового сдвига между гармоническими напряжениями используется метод дискретного счета. При каком соотношении между частотами гармонического напряжения и счетных импульсов абсолютная погрешность дискретности измерения фазового сдвига не превысит значения $\Delta_{\text{дmax}\Delta\varphi}=0,1^0$?
 Ответ: $f_{\text{сч}}/f > 3600$.

Задача №4. При измерении фазового сдвига между гармоническими напряжениями используется метод дискретного счета. Рассчитать относительную погрешность дискретности $\delta_{\text{дmax}\Delta\varphi}$, если частота счетных импульсов больше частоты гармонических напряжений в 1000 раз и измеряемый фазовый сдвиг $\Delta\varphi=60^0$.
 Ответ: 0,6 %.

Практическое занятие №6**Измерители L, C, R**

Цель занятия - закрепление теоретических знаний в области измерения L, C, R в цепях с сосредоточенными параметрами.

Контрольные вопросы

1. Омметр, мегаомметр, миллиомметр: схемы, принцип действия, погрешности.
2. Измерители индуктивности и емкости, в которых используются резонансный и генераторный методы: схемы, принцип действия, погрешности.
3. Аналоговый измеритель добротности колебательного контура: схема, принцип действия, погрешности.
4. Панорамный измеритель АЧХ: схема, принцип действия, погрешности.
5. Цифровой измеритель сопротивления с использованием метода дискретного счета: схема, принцип действия, погрешности.
6. Цифровой измеритель емкости с использованием метода уравнивающего преобразования: схема, принцип действия, погрешности.
7. Цифровой измеритель сопротивления, емкости, индуктивности с использованием метода развертывающего преобразования: схема, принцип действия, погрешности.
8. Цифровой измеритель сопротивления, емкости, индуктивности с микропроцессором: схема, принцип действия, погрешности.

Задание на практическое занятие

При подготовке к занятию необходимо изучить теоретические материалы и ответить на контрольные вопросы, используя литературу [1, с.211-229], [2, с.280-286], [3, с.321-323] и конспект лекций, а также уяснить методику решения типовых задач.

Примеры решения типовых задач

1. Добротность контура определяется методом вариации частоты и рассчитывается по формуле:

$$Q = \frac{f_1 + f_2}{2(f_2 - f_1)}$$

Рассчитать случайную относительную погрешность косвенного измерения добротности контура, если среднеквадратические отклонения случайной относительной погрешности измерения частот f_1 и f_2 равны $\delta_{f_1} = \delta_{f_2} = 0,001$, а сами частоты $f_1 = 490$ кГц и $f_2 = 510$ кГц, коэффициент корреляции между случайными погрешностями измерения частот равен нулю.

Решение

Находим абсолютную случайную погрешность косвенного измерения добротности контура

$$\sigma_Q = \sqrt{\left(\frac{dQ}{df_1}\right)^2 \sigma_{f_1}^2 + \left(\frac{dQ}{df_2}\right)^2 \sigma_{f_2}^2},$$

где $\frac{dQ}{df_1}$ и $\frac{dQ}{df_2}$ – частные производные от выражения $Q = \frac{f_1+f_2}{2(f_2-f_1)}$ по аргументам соответственно f_1 и f_2 ;

σ_{f_1} и σ_{f_2} – абсолютные случайные погрешности косвенного измерения соответственно частот f_1 и f_2 ,

$$\sigma_{f_1} = \delta_{f_1} f_1, \quad \sigma_{f_2} = \delta_{f_2} f_2,$$

где δ_{f_1} и δ_{f_2} – относительные случайные погрешности косвенного измерения соответственно частот f_1 и f_2 ;

$$\frac{dQ}{df_1} = \frac{f_2}{(f_2-f_1)^2}, \quad \frac{dQ}{df_2} = -\frac{f_1}{(f_2-f_1)^2}.$$

Тогда

$$\sigma_Q = \sqrt{\frac{f_2^2}{(f_2-f_1)^2} \delta_{f_1}^2 f_1^2 + \frac{f_1^2}{(f_2-f_1)^2} \delta_{f_2}^2 f_2^2} = \frac{f_1 f_2}{(f_2-f_1)^2} \sqrt{\delta_{f_1}^2 + \delta_{f_2}^2}.$$

Далее находим случайную относительную погрешность косвенного измерения добротности контура

$$\delta_Q = \frac{\sigma_Q}{Q} = \frac{2f_1 f_2}{f_2^2 - f_1^2} \sqrt{\delta_{f_1}^2 + \delta_{f_2}^2} = \frac{2 \cdot 490 \cdot 10^3 \cdot 510 \cdot 10^3}{510 \cdot 10^3{}^2 - 490 \cdot 10^3{}^2} \times \\ \times \sqrt{0,001^2 + 0,001^2} \approx 0,035.$$

2. При измерении индуктивности катушки используется метод дискретного счета. Рассчитать максимальное значение относительной погрешности дискретности, если частота счетных импульсов $f_{сч.} = 25$ МГц, сопротивление образцового резистора $R_0 = 1$ кОм, измеряемая индуктивность $L_{и}=4$ мГн.

Решение

Относительная максимальная погрешность дискретности

$$\delta_{\text{дmaxL}} = \pm \frac{R_0}{f_{сч} L_{и}} = \pm \frac{10^3}{25 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 10^{-3}} = \pm 0,01 = \pm 1\%.$$

3. При измерении емкости конденсатора используется метод дискретного счета. Рассчитать максимальное значение относительной погрешности дискретности, если период счетных импульсов $T_{сч.} = 1$ мкс, сопротивление образцового резистора $R_{0} = 10$ кОм, измеряемая $C_{и}=10$ нФ.

Решение

Относительная максимальная погрешность дискретности

$$\delta_{\text{дmaxC}} = \pm \frac{T_{сч}}{R_0 C_{и}} = \pm \frac{10^{-6}}{10 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} = \pm 0,01 = \pm 1\%.$$

Задачи для самостоятельного решения

Задача №1. Измерение емкости конденсатора осуществляется контурным методом. Рассчитать случайную погрешность косвенного измерения емкости, если значения случайной погрешности измерения частоты и индуктивности соответственно равны $\delta_f=1\%$, $\delta_L=2\%$, δ_f и δ_L не коррелированы. Ответ: 2,82 %.

Задача №2. Измерение индуктивности катушки осуществляется контурным методом. Рассчитать случайную погрешность косвенного измерения индуктивности, если значения случайной погрешности измерения частоты и емкости соответственно равны $\delta_f=1\%$, $\delta_c=2\%$, δ_f и δ_c не коррелированы. Ответ: 2,82 %.

Задача №3. Сопротивление резистора измеряется с помощью электронного вольтметра и амперметра. Рассчитать случайную погрешность измерения сопротивления δ_R , если случайные погрешности измерения напряжения и тока соответственно равны $\delta_U=2\%$, $\delta_I=3\%$. Считать, что δ_U и δ_I не коррелированы. Ответ: 3,6%.

Задача №4. Измерение индуктивности катушки осуществляется контурным методом. Рассчитать максимально допустимую случайную погрешность измерения емкости, если случайная погрешность измерения частоты $\delta_f=1\%$, а максимально допустимая случайная погрешность измерения индуктивности $\delta_L=3\%$, δ_f и δ_c не коррелированы. Ответ: 2,2%.

Задача №5. Измерение емкости конденсатора осуществляется контурным методом. Рассчитать максимально допустимую случайную погрешность измерения индуктивности, если случайная погрешность измерения частоты $\delta_f=0,5\%$, а максимально допустимая случайная погрешность измерения емкости $\delta_c=1,5\%$, δ_f и δ_L не коррелированы. Ответ: 1,1%.

Задача №6. При измерении индуктивности катушки используется метод дискретного счета. Рассчитать максимальное значение абсолютной погрешности дискретности, если частота счетных импульсов 1 МГц, а сопротивление образцового резистора 1 кОм. Ответ: 1 мГн.

Задача №7. При измерении емкости конденсатора используется метод дискретного счета. Рассчитать период счетных импульсов, если допустимая относительная погрешность дискретности 1%, сопротивление образцового резистора 1 кОм и измеряемая емкость 0,1 мкФ. Ответ: 1 мкс.

Задача №8. При измерении индуктивности катушки используется метод дискретного счета. Рассчитать максимальное значение относительной погрешности дискретности $\delta_{\text{max}L}$, если период счетных импульсов $T_{\text{сч}}=0,1$ мкс сопротивление образцового резистора $R_0=1$ кОм, измеряемая индуктивность $L_{\text{и}}=10$ мГн. Ответ: 1%.

Задача №9. При измерении емкости конденсатора используется метод дискретного счета. Рассчитать частоту счетных импульсов, если допустимая абсолютная погрешность дискретности $\Delta_{\text{дmaxC}}=10$ пФ, а сопротивление образцового резистора $R_0=10$ кОм. Ответ: 10 МГц.

Задача №10. При измерении емкости конденсатора используется метод дискретного счета. Рассчитать частоту счетных импульсов, если допустимая относительная погрешность дискретности $\delta_{\text{дmaxC}}=1\%$, сопротивление образцового резистора $R_0 =1$ кОм и измеряемая емкость $C_{\text{н}}=0,1$ мкФ. Ответ: 1МГц.

Практическое занятие №7

Измерительные линии

Цель занятия - закрепление теоретических знаний в области измерения в цепях с распределенными параметрами.

Контрольные вопросы

1. Устройство и принцип действия измерительной линии.
2. Измерение комплексного сопротивления с помощью измерительной линии.

Задание на практическое занятие

При подготовке к занятию необходимо изучить теоретические материалы и ответить на контрольные вопросы, используя литературу [1, с. 374-385], [3, с. 274-279] и конспект лекций, а также уяснить методику решения типовой задачи.

Пример решения типовой задачи

На измерительной линии с волновым сопротивлением $W = 75$ Ом с подключенной к ней нагрузкой получены следующие результаты измерений: максимальное показание индикатора $U_{\text{max}}= 90$ делений; минимальное показание индикатора $U_{\text{min}}= 10$ делений; расстояние между соседними минимальными показаниями индикатора $l_{\text{min min}}= 5$ см; расстояние от нагрузки до ближайшего к ней максимального показания индикатора $l_{\text{н max}}= 2$ см. Определить сопротивление нагрузки, считая, что индикатор имеет измерительный преобразователь среднеквадратического значения.

Решение

Комплексное сопротивление нагрузки измерительной линии

$$Z_{\text{н}} = W \frac{1 + \rho_{\text{н}}}{1 - \rho_{\text{н}}},$$

где $\rho_H = \rho_H e^{i\varphi_{\rho_H}}$ – комплексный коэффициент отражения напряжения в сечении линии, где включена нагрузка;

$\rho_H = \frac{KCB-1}{KCB+1}$ – модуль комплексного коэффициента отражения

($KCB = \frac{U_{\max}}{U_{\min}}$ – коэффициент стоячей волны в линии);

$\varphi_{\rho_H} = \frac{4\pi}{\lambda} l_{H \min}$ – π -аргумент комплексного коэффициента отражения,

$l_{H \min}$ – расстояние от нагрузки до ближайшего к ней минимума;

λ – длина волны в линии.

КСВ в линии: $KCB = \frac{90}{10} = 3$.

Модуль комплексного коэффициента отражения

$$\rho_H = \frac{3-1}{3+1} = 0,5.$$

Расстояние от нагрузки до ближайшего к ней минимума

$$l_{H \min} = l_{H \max} + \frac{l_{\min \min}}{2} = 2 + \frac{5}{2} = 4,5 \text{ см.}$$

Длина волны в линии

$$\lambda = 2 l_{\min \min} = 2 \cdot 5 = 10 \text{ см.}$$

Аргумент комплексного коэффициента отражения

$$\varphi_{\rho_H} = \frac{4\pi}{10} 4,5 - \pi = 0,8 \pi.$$

Комплексное сопротивление нагрузки

$$Z_H = 75 \frac{1 + 0,5e^{i0,8\pi}}{1 - 0,5e^{i0,8\pi}} = 27 + i21 \text{ Ом.}$$

Задачи для самостоятельного решения

Задача №1. На измерительной линии с волновым сопротивлением $W = 75 \text{ Ом}$ с подключенной к ней нагрузкой получены следующие результаты измерений: максимальное показание индикатора – 75 делений, минимальное – 3 деления, расстояние между соседними максимальным и минимальным показаниями – 7,5 см, расстояние от нагрузки до ближайшего к ней минимального показания индикатора – 6 см. Определить сопротивление нагрузки, считая, что индикатор имеет измерительный преобразователь среднеквадратического значения. Ответ: 114-j161 Ом.

Задача №2. На измерительной линии с волновым сопротивлением $W = 75 \text{ Ом}$ с подключенной к ней нагрузкой получены следующие результаты измерений: максимальное показание индикатора – 40 делений, минимальное – 10 делений, расстояние между соседними минимальными показаниями – 10 см,

расстояние от нагрузки до ближайшего к ней максимального показания индикатора – 2,5 см. Определить сопротивление нагрузки, считая, что индикатор имеет измерительный преобразователь среднеквадратического значения. Ответ: $60+j45$ Ом.

Задача №3. На измерительной линии с волновым сопротивлением $W=75$ Ом с подключенной к ней нагрузкой получены следующие результаты измерений: максимальное показание индикатора – 90 делений, минимальное – 10 делений, расстояние между соседними максимальными показаниями – 4 см, расстояние от нагрузки до ближайшего к ней минимального показания индикатора – 1 см. Определить сопротивление нагрузки, считая, что индикатор имеет измерительный преобразователь среднеквадратического значения. Ответ: $103-j97$ Ом.

Задача №4. На измерительной линии с волновым сопротивлением $W=75$ Ом с подключенной к ней нагрузкой получены следующие результаты измерений: максимальное показание индикатора – 60 делений, минимальное – 15 деления, расстояние между соседними максимальным и минимальным показаниями – 4 см, расстояние от нагрузки до ближайшего к ней максимального показания индикатора – 6 см. Определить сопротивление нагрузки, считая, что индикатор имеет измерительный преобразователь среднеквадратического значения. Ответ: $37,5$ Ом.