

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

Кафедра теоретической радиотехники

А.А.Илюхин

РАДИОИЗМЕРЕНИЯ

Пособие

по изучению дисциплины и контрольная работа

для студентов 3 курса

специальности 201300

заочного обучения

Москва – 2004г.

Данное пособие издается в соответствии с учебной программой для студентов 3 курса специальности 201300 заочного обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 05.05.04г. и методического совета 21.06.2004г.

ВВЕДЕНИЕ

Для повышения экономической эффективности работы гражданской авиации предполагается создание и внедрение новой техники и технологии, повышение темпов обновления технических средств. Важную роль при этом играет получение объективной, полной и своевременной информации о показателях и процессах функционирования технических средств, что является задачей измерительной техники. Идет постоянное совершенствование методов измерений и технических средств, к ним предъявляются все более высокие требования, что связано с расширением диапазонов измерений, количества измеряемых величин, повышением оперативности измерений, необходимостью обработки результатов измерений, компьютеризации процесса измерения.

Переход от отдельных приборов к информационно-измерительным системам, насыщенность современных воздушных судов и наземных систем навигации и управления воздушным движением сложным радиотехническим оборудованием требует от инженеров-радиостов более глубоких знаний в области метрологии, стандартизации и радиоизмерений.

Необходимо также отметить специфику средств измерений в гражданской авиации, обусловленную следующими требованиями:

- повышение безопасности полетов;
- высокие технико-эксплуатационные характеристики (масса, габариты и др.);
- широкий диапазон внешних условий (температура, влажность, давление, вибрации, удары, ионизирующие излучения и др.);
- высокая помехоустойчивость измерений и надежность средств измерений;
- удобство считывания информации.

Знание специфических особенностей конструкции и принципов измерительных средств, применяемых в гражданской авиации, необходимо инженеру-радиосту.

1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Программа дисциплины «Радиоизмерения» состоит из 10 разделов.

В дисциплине, которая изучается на 3 курсе и завершается экзаменом, рассматриваются вопросы измерения параметров цепей и сигналов на высоких и сверхвысоких частотах, специфические радиотехнические параметры: характеристики цепей с распределенными параметрами, форма и спектр сигналов, кроме того рассматриваются цифровые средства и методы измерений и информационно-измерительные системы.

После изучения дисциплины «Радиоизмерения» необходимо знать принципы действия, конструкции, технические характеристики и области применения радиоизмерительных приборов, используемых при эксплуатации авиационного радиоэлектронного оборудования в гражданской авиации, а также уметь по заданным условиям выбрать метод измерения и измерительные приборы, пользоваться необходимыми приборами при эксплуатации радиоэлектронного оборудования, рассчитать по известным метрологическим характеристикам измерительных приборов погрешности измерения.

Изучение дисциплины «Радиоизмерения» предусматривает: самостоятельную работу студентов с рекомендованной литературой, выполнение контрольной работы, посещение установочной и обзорных лекций по основным вопросам дисциплины в университете в период экзаменационной сессии, консультации в процессе изучения дисциплины.

Проверка знаний и их оценка производится в форме экзамена в сроки, предусмотренные учебным планом. К экзамену допускаются лица, успешно выполнившие контрольную работу.

Основным методом освоения дисциплины является самостоятельная работа студента с учебниками и учебными пособиями. Ниже приводится список литературы, которая должна быть использована при изучении. Указания по использованию литературы содержатся в приводимых ниже методических указаниях к каждому разделу программы. При изучении дисциплины

необходимо использовать технические описания отдельных измерительных приборов и систем.

При выполнении контрольной работы необходимо ответить на 5 вопросов (по одному из каждого раздела) и решить 3 задачи. Номера вопросов и задач должны равняться последней цифре числа, полученного суммированием последней цифры шифра студента и числа, равного количеству букв фамилии студента.

2. ЛИТЕРАТУРА

2.1. Основная литература.

2.1.1. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах. Под ред. В.И. Нефедова. – М.: Высшая школа, 2001.

2.1.2. Мирский Г.Я. Электронные измерения. – М.: Радио и связь, 1986.

2.1.3. Мирский Г.Я. Радиоэлектронные измерения. – М.: Энергия, 1975.

2.1.4. Елизаров А.С. Электрорадиоизмерения. – Минск: Высшая школа, 1986.

2.2. Дополнительная литература.

2.2.1. Кукуш В.Д. Электрорадиоизмерения. – М.: Радио и связь, 1985.

2.2.2. Кушнир Ф.В. Электрорадиоизмерения. – М.: Энергоатомиздат, 1983.

2.2.3. Абубакиров Б.Л., Гудков К.Г., Нечаев Э.В. Измерение параметров радиотехнических цепей. – М.: Радио и связь, 1984.

3. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Измерение напряжения и силы тока. Измерение мощности.

Измерение напряжения в радиоцепях. Особенности измерения напряжения на радиочастотах. Параметры напряжения. Эквивалентная схема электронного вольтметра на высоких частотах. Основные структурные схемы электронных вольтметров. Типы измерительных преобразователей. Цифровые вольтметры. Погрешности электронных вольтметров. Измерение тока высокой

частоты. Выпрямительные, термоэлектрические и электронные амперметры. Погрешности амперметров.

Измерение мощности на высоких и сверхвысоких частотах. Измерение поглощаемой и проходящей мощности. Тепловые, электронные и пондеромоторный методы измерения мощности. Достоинства и недостатки различных методов. Методы измерения импульсной мощности.

Методические указания

При изучении электронных вольтметров нужно воспользоваться литературой [2.1.1, 2.1.2, 2.1.3, 2.1.4]. Необходимо знать принцип действия, основные характеристики, различия в построении, достоинства и недостатки, погрешности.

При изучении амперметров нужно воспользоваться литературой [2.1.1, 2.1.4]. Необходимо знать функционирование и основные характеристики амперметров, различия в построении, достоинства и недостатки, погрешности.

При изучении различных методов измерения мощности нужно воспользоваться литературой [2.1.1, 2.1.2, 2.1.3, 2.1.4, 2.2.1, 2.2.2]. Необходимо знать методы измерения мощности, достоинства и недостатки, погрешности.

Контрольные вопросы

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

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

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

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

5. Цифровой вольтметр с преобразованием напряжения в частоту: схема, принцип действия, погрешности.

6. Импульсный и селективный вольтметры: схемы, принцип действия, погрешности.

7. Высокочастотные амперметры: схемы, принцип действия, погрешности.

8. Методы измерения поглощаемой мощности: схемы, характеристика, достоинства и недостатки, погрешности.

9. Методы измерения проходящей мощности: схемы, характеристика, достоинства и недостатки, погрешности.

10. Методы измерения импульсной мощности: схемы, характеристика, достоинства и недостатки, погрешности.

3.2. Измерительные генераторы.

Исследование формы и параметров сигнала.

Назначение и классификация измерительных генераторов. Основные требования, предъявляемые к измерительным генераторам. Схемы построения измерительных генераторов низких, высоких и сверхвысоких, импульсных и шумовых сигналов, сигналов специальной формы.

Электронно-лучевые осциллографы и их назначение. Типы осциллографов и их структурные схемы. Двухлучевые и многолучевые осциллографы, скоростные и стробоскопические осциллографы, цифровые осциллографы.

Методические указания

При изучении измерительных генераторов нужно воспользоваться литературой [2.1.1, 2.1.2, 2.1.3, 2.1.4]. Необходимо знать принцип действия, основные технические характеристики, различия в построении.

При изучении электронно-лучевых осциллографов необходимо воспользоваться литературой [2.1.1, 2.1.2, 2.1.3, 2.1.4, 2.2.1]. Необходимо знать принцип действия, основные технические характеристики.

Контрольные вопросы

1. Генератор низких частот: схема, принцип действия.
2. Генераторы высоких и сверхвысоких частот: схемы, принцип действия.
3. Генератор сигналов специальной формы: схема, принцип действия.
4. Импульсный генератор: схема, принцип действия.
5. Генератор шумовых сигналов: схема, принцип действия.

6. Универсальный электронно-лучевой осциллограф: схема, принцип действия.

7. Характеристика основных видов разверток и синхронизаций в универсальном электронно-лучевом осциллографе.

8. Стробоскопический осциллограф: схема, принцип действия.

9. Цифровой осциллограф: схема, принцип действия.

10. Двухканальный осциллограф: схема, принцип действия.

3.3. Измерение частоты и интервалов времени. Измерение фазового сдвига.

Осциллографические методы измерения частоты, интервалов времени и фазового сдвига. Измерение частоты методом заряда и разряда конденсатора. Резонансный и гетеродинный методы измерения частоты. Метод дискретного счета при измерении частоты, интервалов времени и фазового сдвига. Электронно-счетный частотомер (ЭСЧ). Измерение частоты СВЧ сигналов с использованием ЭСЧ. Цифровой фазометр.

Методические указания

При изучении разделов нужно воспользоваться литературой [2.1.1, 2.1.2, 2.1.3, 2.1.4, 2.2.1, 2.2.2]. Необходимо знать принцип действия, основные технические характеристики частотомеров и фазометров, их погрешности и пути их уменьшения.

Контрольные вопросы

1. Осциллографические методы измерения частоты: схемы, принцип функционирования.

2. Конденсаторный частотомер: схема, принцип действия, погрешности.

3. Гетеродинный частотомер: схема, принцип действия, погрешности.

4. Резонансный частотомер: схема, принцип действия, погрешности.

5. ЭСЧ в режиме измерения частоты: схема, принцип действия, погрешности.

6. ЭСЧ в режиме измерения временного интервала: схема, принцип действия, погрешности.

7. ЭСЧ при измерении частоты СВЧ сигналов: схема, принцип действия, погрешности.

8. Осциллографические методы измерения фазы: схемы, принцип действия.

9. Цифровой фазометр: схема, принцип действия, погрешности.

10. Методы измерения фазы с преобразованием частоты: схема, принцип действия, погрешности.

3.4. Анализ спектра сигналов. Измерение коэффициента нелинейных искажений. Измерение параметров цепей с сосредоточенными и распределенными постоянными.

Параллельный и последовательный анализ спектра, Анализаторы спектра: последовательного типа, дисперсионный, цифровой. Измеритель нелинейных искажений.

Измерение сосредоточенных параметров цепей. Эквивалентные схемы емкости, катушки индуктивности и резистора. Омметры, мегаомметры, миллиомметры. Мостовые измерители. Резонансный и гетеродинный методы, метод дискретного счета. Аналоговый и цифровой измерители добротности. Измерение амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик (АЧХ и ФЧХ) четырехполюсников. Панорамный измеритель АЧХ.

Измерение характеристик цепей с распределенными параметрами. Измерительная линия. Панорамный измеритель КСВ.

Методические указания

При изучении разделов необходимо воспользоваться литературой [2.1.1, 2.1.2, 2.1.3, 2.1.4, 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3]. Нужно знать принцип действия, основные технические характеристики анализаторов спектра, измерителя нелинейных искажений, аналоговых и цифровых измерителей сопротивления, индуктивности и емкости, добротности, панорамного измерителя АЧХ, измерительной линии, панорамного измерителя КСВ

Контрольные вопросы

1. Анализатор спектра последовательного типа: схема, принцип действия.

2. Дисперсионный анализатор спектра: схема, принцип действия.

3. Цифровой анализатор спектра: схема, принцип действия.
4. Измеритель нелинейных искажений: схема, принцип действия.
5. Омметр, мегаомметр, миллиомметр: схемы, принцип действия.
6. Измерители индуктивности и емкости, в которых используются резонансный и генераторный методы: схемы, принцип действия.
7. Цифровые измерители сопротивления, индуктивности, емкости: схемы, принцип действия.
8. Аналоговый и цифровой измерители добротности: схемы, принцип действия.
9. Измерение комплексного сопротивления с помощью измерительной линии.
10. Панорамный измеритель КСВ: схема, принцип действия.

3.5. Измерение вероятностных характеристик случайных процессов. Автоматизация радиоизмерений.

Особенности измерения вероятностных характеристик. Измерение среднего значения, средней мощности, дисперсии, функций распределения и плотности распределения вероятностей, корреляционных характеристик, спектральной плотности мощности случайных процессов. Структурные схемы аналоговых, аналогово-цифровых и цифровых измерителей.

Основные пути развития автоматизации радиоизмерений. Информационно-вычислительные комплексы. Информационно-измерительные системы: измерительные системы и системы автоматического контроля.

Методические указания

При изучении раздела нужно использовать литературу [2.1.1, 2.1.2, 2.1.3, 2.1.4, 2.2.1, 2.2.2].

Необходимо знать устройство и принцип действия аналоговых и цифровых измерителей вероятностных характеристик случайных процессов, назначение, состав и функционирование информационно-вычислительных комплексов и информационно-измерительных систем.

Контрольные вопросы

1. Аналоговые измерители среднего значения, средней мощности и дисперсии случайного сигнала: схемы, принцип действия.

2. Аналогово-цифровой измеритель среднего значения случайного сигнала: схема, принцип действия.

3. Аналогово-цифровой измеритель средней мощности и дисперсии случайного сигнала: схема, принцип действия.

4. Аналоговый измеритель функции распределения и функции плотности распределения вероятностей случайного сигнала: схема, принцип действия.

5. Цифровой измеритель функции распределения и функции плотности распределения вероятностей случайного сигнала: схема, принцип действия.

6. Аналоговый и цифровой измерители корреляционной функции случайного сигнала: схемы, принцип действия.

7. Аналоговые измерители спектральной плотности мощности случайного сигнала (метод фильтрации, по корреляционной функции): схемы, принцип действия.

8. Основные пути развития автоматизации радиоизмерений.

9. Информационно-вычислительные комплексы: назначение, состав.

10. Информационно-измерительные системы (измерительные системы и системы автоматического контроля).

4. ЗАДАЧИ.

4.1. Задача № 1.

4.1.1. Определить показание электронного вольтметра, который имеет детектор среднев्यпрямленного значения с открытым входом и шкалу, проградуированную в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения, если на его вход подается напряжение вида

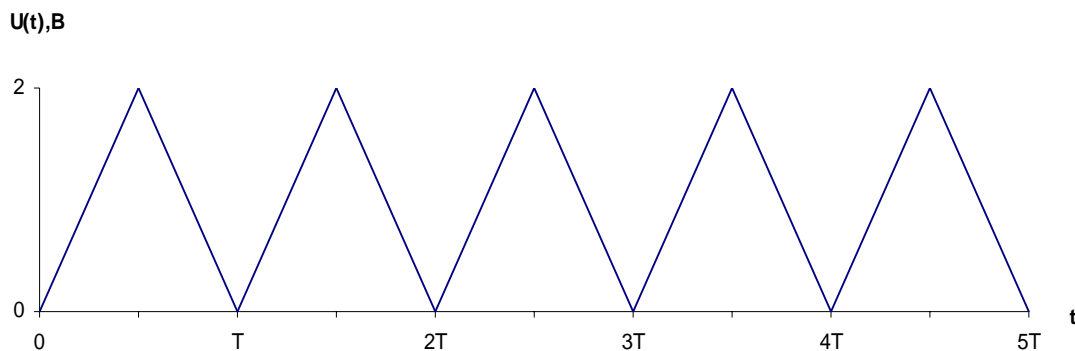
$$u(t) = \begin{cases} 2 \sin \omega t, B, & 0 \leq t \leq T/2, \\ 0, & T/2 \leq t \leq T, \end{cases}$$

где $T = 2\pi / \omega$ - период повторения.

4.1.2. 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.

4.1.3. Рассчитать необходимую полосу пропускания усилителя вертикального отклонения стробоскопического осциллографа, чтобы при шаге стробирования 0,01 нс, эквивалентная полоса пропускания была не менее 1 ГГц.

4.1.4. Определить показание электронного вольтметра, который имеет детектор средневывпрямленного значения с закрытым входом и шкалу, проградуированную в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения, если на его вход подается напряжение вида



4.1.5. Мощность, выделяемую в резисторе, который подключен к генератору низких частот, измеряют косвенным методом с использованием электронного вольтметра. Какова должна быть случайная погрешность измерения напряжения, чтобы случайная погрешность измерения мощности не превысила $\delta_p=3\%$? При этом принять, что случайная погрешность измерения сопротивления равна $\delta_R=1\%$, и δ_U , δ_R не коррелированы.

4.1.6. К генератору высокой частоты с внутренним сопротивлением 75 Ом подключается нагрузка с сопротивлением 25

Ом. Найти значение напряжения, которое нужно установить по шкале выходного аттенюатора генератора, чтобы на нагрузке получить напряжение 0,1 В.

4.1.7. Показание электронного вольтметра, который имеет детектор средневыпрямленного значения с открытым входом и шкалу, проградуированную в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения, при подаче на его вход напряжения в виде последовательности прямоугольных однополярных видеоимпульсов с амплитудой 10 В, составило 2 В. Определить скважность этой последовательности.

4.1.8. 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.

4.1.9. 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.

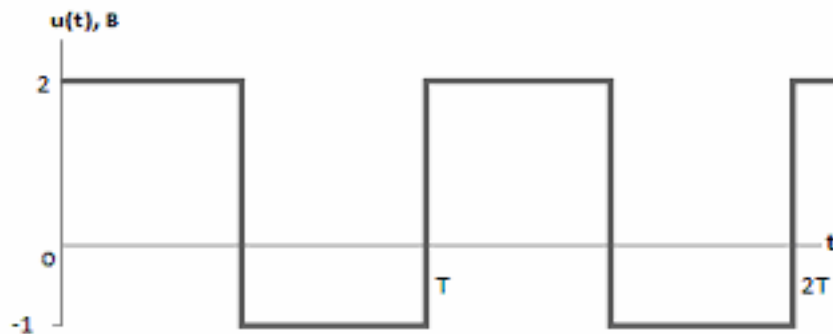
4.1.10. Найти показание электронного вольтметра, у которого шкала проградуирована в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения, детектор средневыпрямленного значения с закрытым входом, если на его вход подается последовательность прямоугольных положительных видеоимпульсов с амплитудой 10 В и скважностью 5.

4.2. Задача № 2.

4.2.1. 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 $\delta_0 = 10^{-6}$. Частоту кварцевого генератора принять равной $f_{кв} = 5$ МГц.

4.2.2. Найти показание электронного вольтметра, у которого шкала проградуирована в среднеквадратических значениях, детектор

среднеквадратических значений, если на его вход подается напряжение вида



4.2.3. Измерение периода гармонического напряжения осуществляется цифровым частотомером. Рассчитать коэффициент умножения частоты в канале формирования счетных импульсов, чтобы абсолютная погрешность дискретности не превысила значения $\Delta_\theta = 10$ нс. Частоту кварцевого генератора принять равной $f_{\text{кв}} = 5$ МГц.

4.2.4. 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.

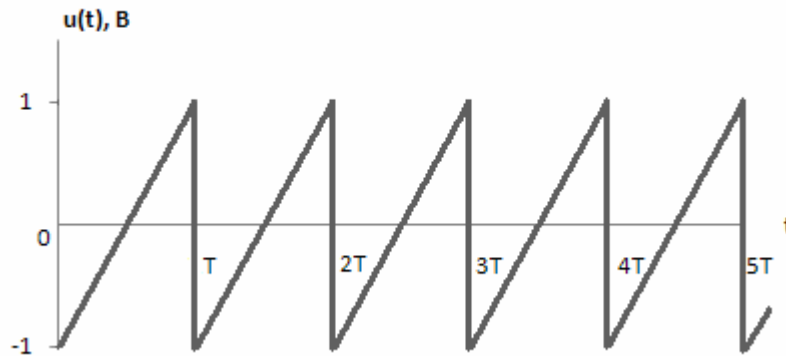
4.2.5. Определить показание электронного вольтметра, который имеет пиковый детектор с закрытым входом и шкалу, проградуированную в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения, если к его входу приложено напряжение в виде последовательности прямоугольных положительных видеоимпульсов с амплитудой $U_m = 10$ В и скважностью $q = 10$.

4.2.6. 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 $\Delta_\theta = 0,09^\circ$.

4.2.7. 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.

4.2.8. Найти показание электронного вольтметра, у которого шкала проградуирована в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения, детектор среднев्यпрямленных значений с открытым входом, если на его вход подается напряжение вида



4.2.9. 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.

4.2.10. 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.

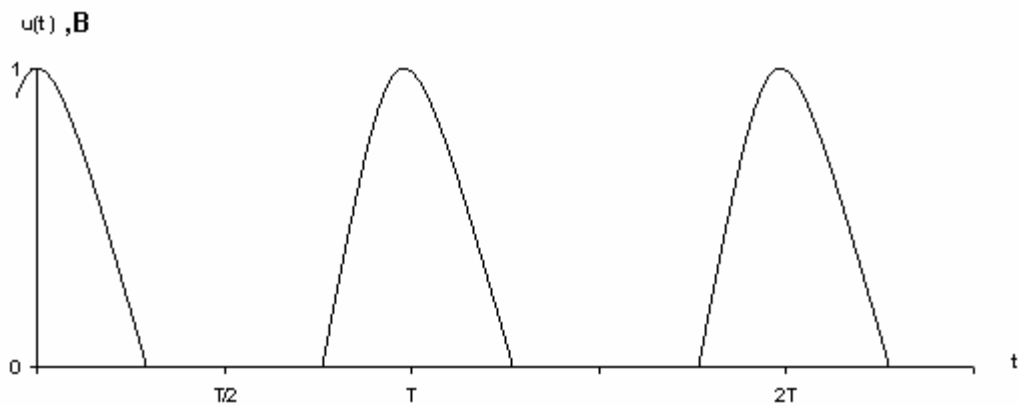
4.3. Задача № 3.

4.3.1. На измерительной линии с волновым сопротивлением $W=75$ 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. Рассчитать сопротивление нагрузки, считая, что характеристика детектора квадратичная.

4.3.2. Измерение частоты периодического сигнала осуществляется методом дискретного счета. Каково должно быть время счета (время измерения) при измерении частоты $f_{из} = 1$ МГц, чтобы относительная погрешность дискретности не превысила значения $\delta_{\delta} = 10^{-4}\%$?

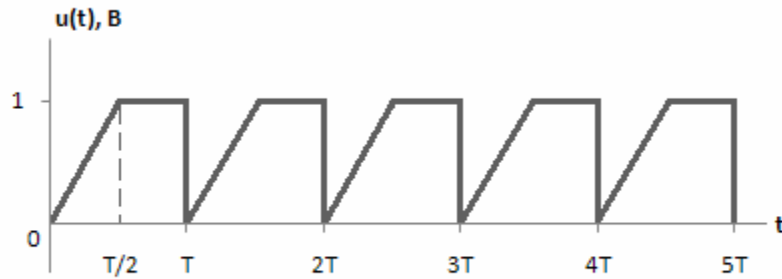
4.3.3. Найти показание электронного вольтметра, у которого шкала проградуирована в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения, детектор среднев्यпрямленных значений с открытым входом, если на его вход подается напряжение вида



4.3.4. На измерительной линии с волновым сопротивлением $W=75$ 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. Рассчитать сопротивление нагрузки, считая, что характеристика детектора квадратичная.

4.3.5. 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 $\delta_{\delta} = 10^{-3}$ и измеряемый фазовый сдвиг $\Delta\varphi_{из} = 30^{\circ}$?

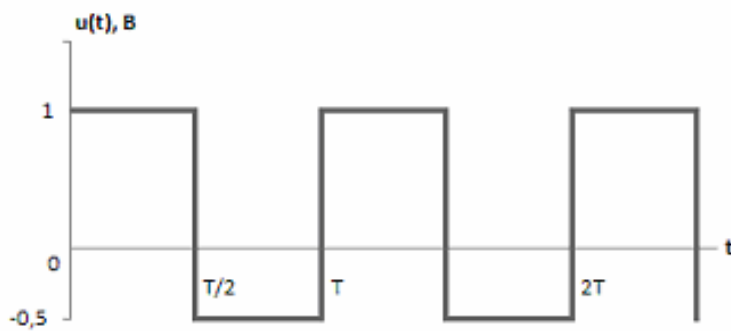
4.3.6. Найти показание электронного вольтметра, у которого шкала проградуирована в среднеквадратических значениях, детектор среднеквадратических значений, с открытым входом, если на его вход подается напряжение вида



4.3.7. 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 $\delta_{\delta} = 10^{-3}$?

4.3.8. 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.

4.3.9. Найти показание электронного вольтметра, у которого шкала проградуирована в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения, детектор пиковый с закрытым входом, если на его вход подается напряжение вида



4.3.10. В процессе измерения частоты СВЧ-колебаний цифровым частотомером, имеющим гетеродинный преобразователь частоты, были получены результаты: значение частоты входного колебания $f_{\text{в}} = 2$ ГГц, значение частоты гетеродина $f_{\text{г2}} = 50$ МГц. Определить номера гармоник напряжения гетеродина, которые были использованы при измерении частоты СВЧ-колебаний.