

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»**

**ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА РАБОТЫ
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ОСЦИЛЛОГРАФА**

**Методические указания к лабораторной работе № 50
по дисциплине «Физика»**

Уфа 2015

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

Кафедра физики

ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА РАБОТЫ
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ОСЦИЛЛОГРАФА

Методические указания к лабораторной работе № 50
по дисциплине «Физика»

Уфа 2015

Составитель С.В. Тучков

УДК 534.23(07)

ББК 22.36(Я7)

Изучение принципа работы электронно-лучевого осциллографа: Методические указания к лабораторной работе № 50 по дисциплине «Физика» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. С. В. Тучков – Уфа, 2015. – 15 с.

Цель методических указаний – закрепление и совершенствование знаний студентов по дисциплине «Физика» и формирование умений их применять для решения научно-технических задач в теоретических и прикладных аспектах, возникающих в последующей профессиональной деятельности выпускников технического университета.

Знакомят студентов с принципом работы электронно-лучевого осциллографа. Описывается получение изображения на экране электронно-лучевой трубки, метод экспериментального определения частоты и разности фаз складываемых колебаний.

Предназначены для студентов, изучающих дисциплину «Физика» по разделу «Электричество и магнетизм» на всех направлениях подготовки бакалавров и специалистов.

Ил. 5. Табл. 2. Библиогр.: 4 назв.

Рецензенты: канд. тех. наук, доц. Строкина В. Р.,
д-р тех. наук, проф. каф. ВМС БГУ Кулиш Е. И.

©Уфимский государственный
авиационный технический университет, 2015

Содержание

| | |
|--|----|
| Введение | 4 |
| 1. Цели работы | 6 |
| 2. Задачи..... | 6 |
| 3. Теоретическая часть | 6 |
| 3.1. Устройство и принцип работы осциллографа..... | 6 |
| 3.2. Получение изображения на экране электронно-лучевой трубки ... | 10 |
| 4. Экспериментальная часть..... | 11 |
| 5. Требования по технике безопасности | 11 |
| 6. Задания..... | 11 |
| 7. Методика выполнения заданий | 12 |
| Контрольные вопросы | 15 |
| Требования к содержанию и оформлению отчета | 15 |
| Критерии результативности выполнения лабораторной работы | 16 |
| Список литературы | 16 |

Введение

Слово осциллограф образовано из двух слов – «колебание» и «пишу». Осциллографы, как и весь мир электроники, постоянно развиваются, у них появляются новые функции и компоненты, такие как встроенный генератор сигналов стандартной формы, большой дисплей, высокая скорость обновления сигналов, способность работать с цифровыми сигналами.

Осциллографы бывают различного типа и назначения. Наиболее распространены в настоящее время цифровые и аналоговые осциллографы, анализаторы спектров.

Область применения осциллографов чрезвычайно обширна. Возможность преобразования механических, химических, световых, тепловых и других величин в электрические сигналы позволяет применять осциллографы во многих отраслях науки и техники.

Электронный осциллограф предназначен, прежде всего, для исследования быстропеременных (гигагерцевых) периодических процессов. Например, с помощью осциллографа можно измерять силу тока и напряжение, изучать зависимость силы тока и напряжения от времени, измерять сдвиг фаз между ними, сравнивать частоты и амплитуды различных переменных напряжений. Кроме того, при применении соответствующих преобразователей осциллограф позволяет исследовать неэлектрические процессы, например, измерять малые промежутки времени, кратковременные давления и т.д.

Достоинствами электронно-лучевого осциллографа являются его высокая чувствительность и практическая безинерционность действия, что позволяет исследовать процессы, длительность которых не превышает 10^{-6} - 10^{-7} с.

В результате выполнения данной лабораторной работы формируются следующие компетенции:

- способность демонстрировать базовые знания в области общенаучных дисциплин и готовность использовать основные законы в профессиональной деятельности;

- способность проводить эксперименты по заданной методике, обработку результатов, оценку погрешностей и достоверности их результатов.

Перечисленные компетенции формируются через умения:

- работать с измерительными приборами;
- рассчитывать физические величины по экспериментальным данным;
- анализировать результаты опыта;
- оформлять отчет;
а также владения:
- теоретическим материалом;
- навыками измерения физических величин по приборам;
- технологией обработки экспериментальных данных.

Лабораторная работа № 50

ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА РАБОТЫ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ОСЦИЛЛОГРАФА

1. ЦЕЛИ РАБОТЫ

1. Изучение принципа работы электроннолучевого осциллографа.

2. Экспериментальное определение периода, частоты, амплитуды синусоидального сигнала, получение фигур Лиссажу и определение с их помощью неизвестной частоты генератора, определение разности фаз двух гармонических колебаний одной и той же частоты.

2. ЗАДАЧИ

1. Закрепление теоретических знаний студентами по теме «Электродинамика».

2. Приобретение навыков проведения физических измерений, умение обработки полученных данных и оценки погрешностей измерений.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

3.1. Устройство и принцип работы осциллографа

Простейший электронный осциллограф состоит из электронно-лучевой трубки (ЭЛТ), вертикального и горизонтального усилителей, генератора развертки, блока питания: трансформатора и выпрямителя. Все эти блоки находятся внутри корпуса, на переднюю панель которого выведены экран электронно-лучевой трубки, тумблер включения и выключения питания осциллографа, различные переключатели, ручки управления и зажимы для подачи на осциллограф исследуемых напряжений.

Рассмотрим устройство и принцип работы отдельных частей осциллографа (рис. 3.1).

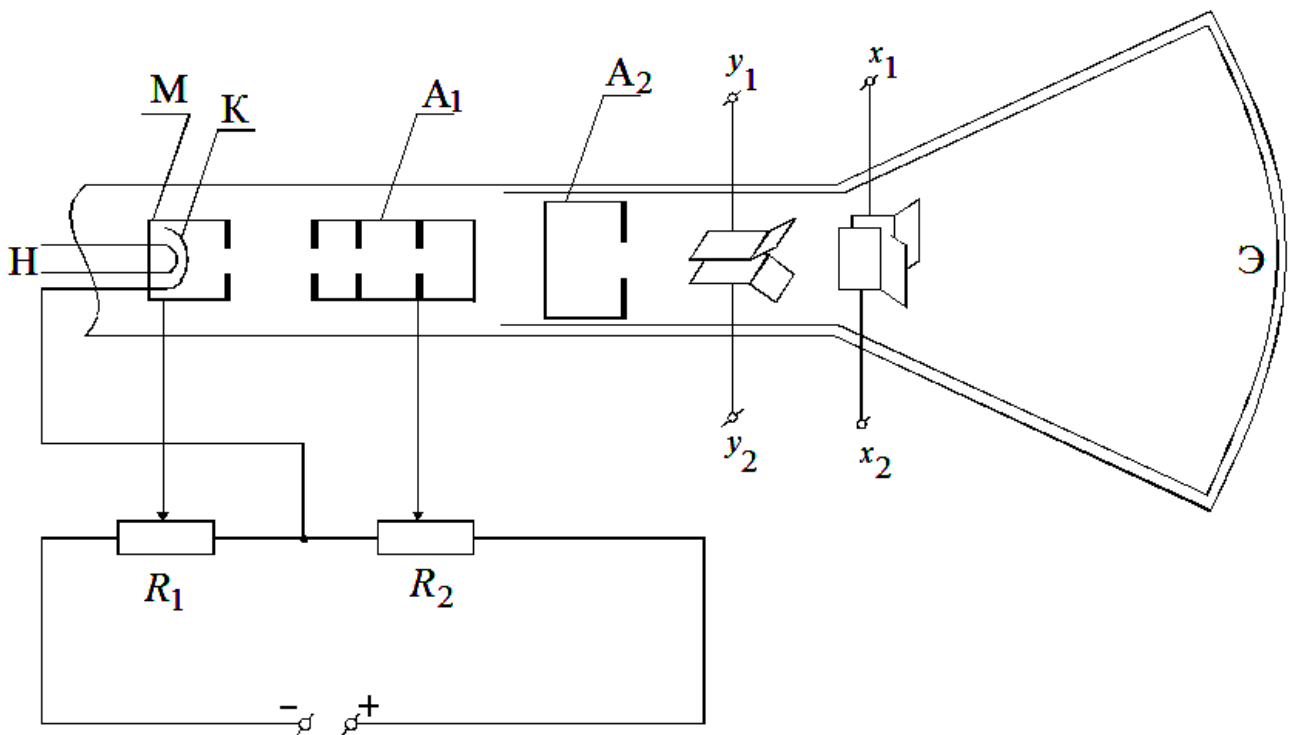


Рис. 3.1

Электронно-лучевая трубка с электростатическим управлением состоит из вакуумной колбы цилиндрической формы с расширением к одному концу в виде конуса. Почти плоское основание конуса покрыто слоем люминофора. Это – экран трубки (Э). Внутри колбы создан высокий вакуум.

Внутри колбы помещаются катод (К), нить накала (Н), модулятор (М), потенциометр (R_1), первый анод (A_1), потенциометр R_2 , второй анод (A_2).

Катод – это полый тонкостенный цилиндр с плоским доньшком, покрытым активирующим слоем для уменьшения работы выхода электрона;

Нить накала – спираль из вольфрама, покрытая керамикой для изоляции от катода. На спираль подается низкое напряжение. Нагреваясь, спираль нагревает катод до температуры, при которой происходит достаточно интенсивная термоэлектронная эмиссия с поверхности катода;

Модулятор или, как его еще иначе называют управляющий электрод, – цилиндр, окружающий катод, имеющий отрицательный потенциал относительно катода. Электроны, вылетевшие из катода под разными углами к его поверхности, попадают в электрическое поле

цилиндра М. Этим полем поток электронов сжимается и направляется в отверстие модулятора. Так формируется электронный пучок;

Потенциометр регулирует интенсивность пучка, а следовательно, и яркость светящегося на экране пятна, т.к. поле управляющего электрода помимо сжимающего действия на поток электронов оказывает еще и тормозящее действие. При достаточно большом отрицательном потенциале модулятора можно совсем «погасить» пучок. Поэтому ручка, соответствующая движку потенциометра R_1 , обозначается значком ☀ – «яркость»;

Первый анод (фокусирующий цилиндр) – на него подается положительное относительно катода напряжение порядка нескольких сот вольт. Это поле ускоряет электроны в пучке и, благодаря своей конфигурации, сжимает электронный пучок;

Потенциометр – фокусирует луч, изменяя потенциал первого анода;

Второй анод – короткий цилиндр, который располагается непосредственно за первым анодом, на него подается более высокое положительное напряжение (1-5 кВ). Этот анод называют еще ускоряющим анодом.

Система электродов «катод-модулятор-первый анод-второй анод» образует так называемую электронную пушку. При прохождении через нее электронам сообщается достаточная скорость, чтобы вызвать свечение экрана, а благодаря фокусировке на экране получается светящаяся точка.

Далее на пути к экрану электронный пучок проходит между двумя парами отклоняющих пластин. Если к пластинам «х» и «у» приложить разность потенциалов, то электронный луч будет отклоняться в горизонтальном и вертикальном направлениях. Таким образом, претерпев на своем пути два взаимно перпендикулярных отклонения, электронный луч может быть направлен в любую точку экрана. При отсутствии отклоняющих напряжений на пластинах электронный луч попадает в центр экрана.

Если электрон влетает в однородное электрическое поле со скоростью $v_0 = v_z$, направленной вдоль оси z (при движении вдоль этой оси на электрон не действуют никакие силы, поэтому в этом направлении он движется равномерно (рис. 3.2)), то

$$z = v_0 t. \quad (3.1)$$

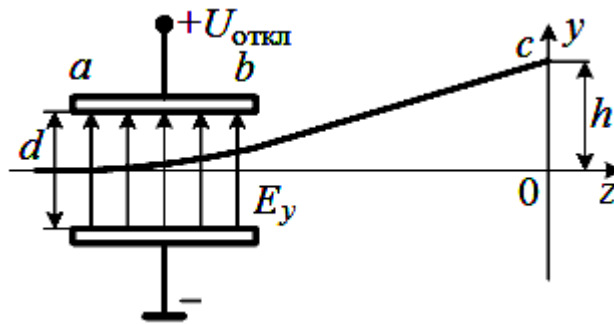


Рис. 3.2. Движение электрона в однородном электрическом поле

Вдоль оси y на электрон действует постоянная сила

$$F = eE, \quad (3.2)$$

где $E = U_{\text{откл}}/d$ – напряженность поля между пластинами, e – модуль заряда электрона, $U_{\text{откл}}$ – напряжение на обкладках конденсатора, d – расстояние между обкладками. Следовательно, движение электрона вдоль оси y является равноускоренным и для него справедливы уравнения:

$$v_y = at, \quad y = \frac{at^2}{2}. \quad (3.3)$$

Ускорение находим из второго закона Ньютона

$$a = \frac{F}{m} = \frac{eE}{m} \Rightarrow a = \frac{eU_{\text{откл}}}{md}. \quad (3.4)$$

Тогда

$$y = \frac{eU_{\text{откл}}t^2}{2 \cdot md}. \quad (3.5)$$

Учитывая, что $t = \frac{z}{v_0}$ из (3.5) получим

$$y = \frac{eU_{\text{откл}}z^2}{2 \cdot md \cdot v_0^2}. \quad (3.6)$$

Из формулы (3.6) видно, что смещение луча на экране пропорционально напряжению на отклоняющих пластинах. Поэтому, можно записать:

$$x = \alpha_x U_x; \quad (3.7)$$

$$y = \alpha_y U_y, \quad (3.8)$$

где x , y – смещение луча в горизонтальном и вертикальном направлениях; U_x , U_y – разности потенциалов между горизонтально и

вертикально отклоняющими пластинами; α_x , α_y – чувствительность трубки к напряжению соответственно в направлении осей x и y .

3.2. Получение изображения на экране электронно-лучевой трубки

Для того, чтобы на экране осциллографа можно было увидеть, как в некотором физическом процессе величина y меняется в зависимости от изменения другой физической величины x : $y = f(x)$, необходимо на горизонтально отклоняющие пластины подать напряжение U_x , пропорциональное x , а на вертикально отклоняющие пластины одновременно подать напряжение U_y , пропорциональное y . Тогда электронный луч начертит на экране линию, соответствующую зависимости $y = f(x)$. Если теперь луч неоднократно заставить повторить тот же путь по экрану, то вследствие инерционности глаза, наблюдатель увидит неподвижный график зависимости $y = f(x)$.

На практике часто приходится наблюдать изменение различных физических величин в зависимости от времени $y = f(t)$. При этом на вертикально отклоняющие пластины необходимо подать напряжение, пропорциональное исследуемой величине y , а на горизонтально отклоняющие пластины – напряжение, изменяющееся пропорционально времени.

Для создания напряжения, величина которого меняется пропорционально времени, в осциллографе существует генератор развертки. При действии этого напряжения луч смещается по экрану слева направо, причем в любой момент времени это смещение будет пропорционально времени, отсчитанному от начала движения луча. Одновременно поданное на вертикально отклоняющие пластины напряжение, пропорциональное исследуемой физической величине y , будет смещать луч по вертикали в соответствии с изменением y . Однако, когда луч дойдет по горизонтали до крайнего правого положения, его нужно мгновенно перевести в исходное положение, а физический процесс повторить сначала. Следовательно, напряжение генератора развертки скачком должно измениться до первоначального значения, а потом снова начать расти по тому же закону. Зависимость напряжения генератора развертки от времени имеет вид, показанный на рис. 3.3 (T_p – период развертки).

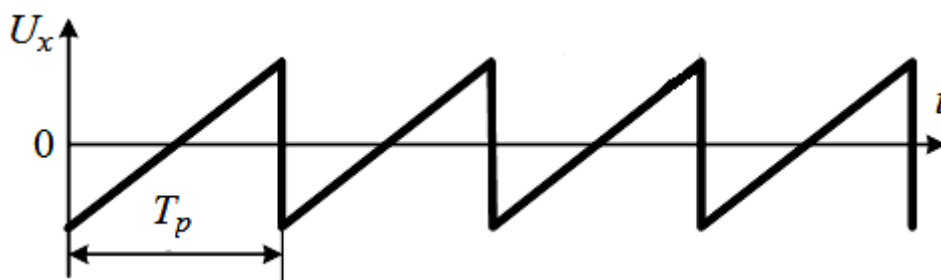


Рис. 3.3

Для получения устойчивой картины на экране осциллографа необходимо, чтобы частота пилообразного напряжения совпадала с частотой повторения изучаемого физического процесса или была меньше ее в целое число раз. В связи с этим частота напряжения, даваемого генератором развертки, может меняться в широком диапазоне, и с помощью специальной схемы генератор развертки синхронизируется с исследуемым напряжением, подаваемым на вертикально отклоняющие пластины.

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Лабораторное оборудование:

1. Осциллограф универсальный.
2. Звуковые генераторы.

5. ТРЕБОВАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Прежде, чем приступить к работе, ознакомиться с заданием и лабораторной установкой.
2. Проверить наличие заземления и правильность сборки схемы установки. В случае сомнения обратиться к преподавателю.
3. Во время работы нельзя прикасаться к оголенным участкам схемы, предварительно не обесточив установку.
4. Не загромождать рабочее место посторонними предметами.
5. После проведения эксперимента привести в порядок рабочее место. Обесточить все приборы и лабораторный стенд.

6. ЗАДАНИЯ

1. Исследование синусоидального сигнала звукового генератора.
2. Получение фигур Лиссажу.
3. Определение разности фаз двух гармонических колебаний одной и той же частоты.

7. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЙ

7.1. Исследование синусоидального сигнала звукового генератора

Измерение амплитуды и частоты сигнала с помощью осциллографа заключается в определении линейного размера изображения исследуемого сигнала с учетом цены деления шкалы на экране осциллографа

$$U = k_y \cdot H, \quad (7.1)$$

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{k_x \cdot \Pi}, \quad (7.2)$$

где U – амплитуда сигнала в вольтах; H и Π – размер изображаемого сигнала в делениях шкалы (где Π соответствует расстоянию между соседними максимальными значениями U), k_x – цена деления шкалы осциллографа, устанавливаемая переключателем «ВРЕМЯ/ДЕЛ»; k_y – цена деления шкалы осциллографа, устанавливаемая переключателем «V/ДЕЛ».

Порядок выполнения задания:

1. Подать на вход канала I через кабель исследуемый сигнал от генератора А.
2. Переключателями «V/ДЕЛ» канала I, «ВРЕМЯ/ДЕЛ», ручками \updownarrow , \leftrightarrow , получить на экране устойчивое изображение нескольких периодов сигнала.
3. Определить визуально линейные размеры изображения заданных параметров сигнала в делениях шкалы экрана ЭЛТ.
4. По формулам (7.1) и (7.2) определить амплитуду и частоту сигнала.
5. Повторить измерения частоты сигнала звукового генератора на трех-четырёх различных частотах.
6. Сравнить значения частоты измерений с помощью осциллографа с показаниями генератора.
7. Результаты измерений занести в табл. 7.1.

Таблица 7.1

| № п/п | Период сигнала, деления шкалы | Период сигнала, секунды | Частота сигнала, Гц | Показания генератора, Гц | Амплитуда сигнала, деления шкалы | Амплитуда сигнала, Вольт |
|-------|-------------------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| | | | | | | |

7.2. Получение фигур Лиссажу

Если складывать два взаимно перпендикулярных колебания с равными или кратными частотами, то луч будет описывать на экране замкнутые траектории, которые называются фигурами Лиссажу. При небольшой разности частот форма фигур медленно меняется, а при большой – картина размывается.

Пусть от генератора на вход канала I осциллографа подается сигнал $x = A\cos(\omega t + \varphi_1)$, а на вход канала II от другого генератора поступает смещенный по фазе сигнал той же частоты: $y = B\cos(\omega t + \varphi_2)$. Уравнение траектории можно получить, исключая из этих уравнений время t ,

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} - \frac{2xy\cos(\varphi_2 - \varphi_1)}{AB} = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1). \quad (7.3)$$

Таким образом, фигура, которую описывает луч при сложении колебаний, имеющих одинаковую частоту, представляет собой эллипс, ориентация которого зависит от разности фаз колебаний.

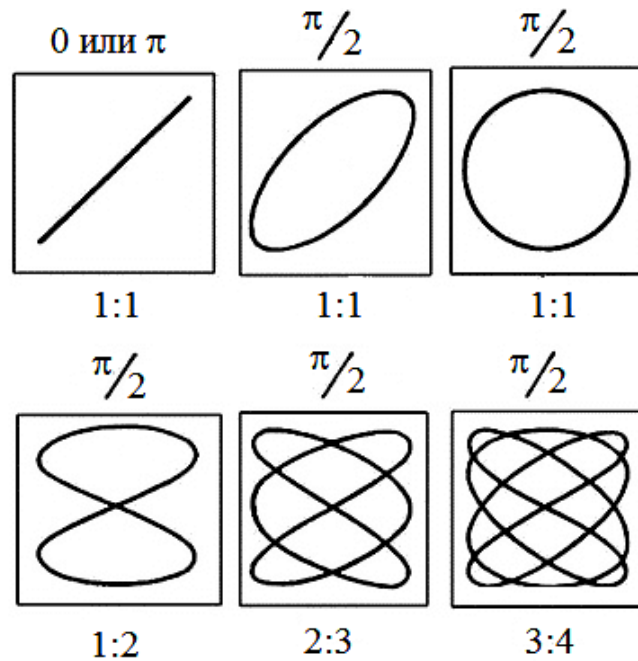
В общем случае вид фигуры Лиссажу зависит от соотношения между периодами, фазами и амплитудами колебаний. Зная параметры одного колебания, можно по фигуре Лиссажу определить параметры другого колебания.

Порядок выполнения задания:

1. Подать на входы каналов I и II через кабели исследуемые сигналы с генераторов A и B .

2. Установить на генераторе A частоту 100 Гц.

3. Получить на экране осциллографа неподвижную фигуру Лиссажу и по ее виду определить неизвестную частоту генератора B (отношение частот колебаний равно отношению числа касаний фигуры с прямой, параллельной оси x , и с прямой, параллельной оси y , например:



7.3. Определение разности фаз двух гармонических колебаний одной и той же частоты

Разность фаз можно определить методом эллипса. Если на пластины x подать напряжение $U_x = A \cdot \sin \omega t$, а на пластины y – напряжение той же частоты $U_y = B \cdot \sin (\omega t + \varphi)$, то на экране осциллографа получится изображение эллипса в виде

$$y = \frac{B}{A} (x \cos \varphi + \sqrt{A^2 - x^2} \sin \varphi), \quad (7.4)$$

где A и B – амплитудные, а x и y – мгновенные значения отклонения пятна в горизонтальном и вертикальном направлениях соответственно (рис. 7.1).

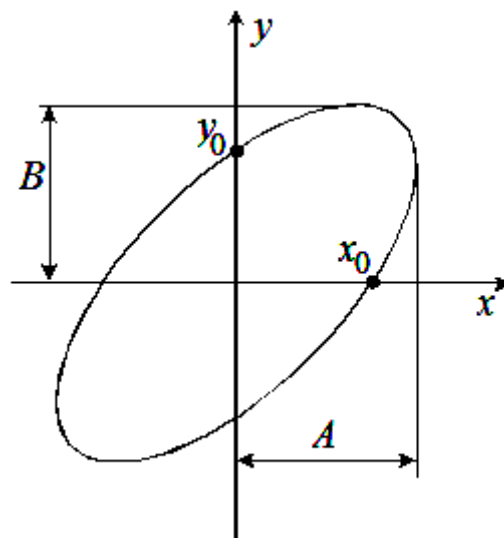


Рис. 7.1. Результат сложения двух взаимно перпендикулярных гармонических колебаний

Для определения точки пересечения этого эллипса с осями координат положим сначала $y = 0$, а потом $x = 0$. Тогда получим

$$\sin\varphi = \frac{x_0}{A} + \frac{y_0}{B}. \quad (7.5)$$

Порядок выполнения задания:

1. Получить на экране осциллографа неподвижную фигуру Лиссажу в виде эллипса.
2. Определить по рисунку значения x_0 , y_0 , A и B .
3. По формуле (7.5) определить разность фаз колебаний.
4. Данные занести в табл. 7.2.

Таблица 7.2

| Частота, Гц | x_0/A | y_0/B | φ , рад |
|-------------|---------|---------|-----------------|
| | | | |

Контрольные вопросы

1. Объяснить принцип работы ЭЛТ осциллографа и назначение ее основных частей.
2. Как осуществляется фокусировка электронного луча?
3. Как зависит чувствительность трубки осциллографа от ускоряющего напряжения и расстояния между пластинами?
4. Что такое фигуры Лиссажу, и как они получаются в данной работе?
5. Как определить с помощью осциллографа период исследуемого сигнала?

Требования к содержанию и оформлению отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Название и номер лабораторной работы.
2. Цель работы.
3. Краткую теорию.
4. Основные формулы для выполнения расчетов.
5. Таблицы с результатами измерений и вычислений.
6. Формулы для расчета погрешностей.
7. Расчет погрешностей.
8. Вывод по результатам работы.

Критерии результативности выполнения лабораторной работы

Лабораторная работа считается выполненной, если студент:

- овладел знаниями о физических явлениях и законах, лежащих в основе принципа работы электронно-лучевого осциллографа;
- правильно выполнил экспериментальную и расчетную часть работы;
- сформулировал выводы о проделанной работе.

Список литературы

1. *Савельев И. В.* Курс общей физики. Т. 1. – СПб.: Издательство «Лань», 2011.
2. *Детлаф А. Н., Яворский Б.М.* Курс физики. – М.: Academia, 2012.
3. *Трофимова Т. И.* Курс физики. – М.: Высшая школа, 2012.
4. *Калашиников Н. П., Смондырев М. А.* Основы физики. – М.: Дрофа, 2007.

Составитель ТУЧКОВ Сергей Валерьевич

ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА РАБОТЫ
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ОСЦИЛЛОГРАФА

Методические указания к лабораторной работе № 50
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 2015. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Печать плоская. Гарнитура Nimes New Roman Cyr.

Усл. печ. л. 1,1. Усл.-кр.-отг. 1,1. Уч-изд.л. 0,9.

Тираж 100 экз. Заказ №

ФГБОУ ВПО Уфимский государственный авиационный
технический университет

Редакционно-издательский комплекс УГАТУ

450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12