

**Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Уфимский государственный авиационный технический университет**

**ИЗУЧЕНИЕ СЛОЖЕНИЯ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ LabVIEW
И АЦП NI USB-6009**

**Лабораторный практикум
по дисциплине «Современная физика»**

Уфа 2008

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Уфимский государственный авиационный технический университет

Кафедра физики

ИЗУЧЕНИЕ СЛОЖЕНИЯ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ LabVIEW
И АЦП NI USB-6009

Лабораторный практикум

по дисциплине «Современная физика»

Уфа 2008

Составитель В. В. Лазарев

УДК 539.2(07)

ББК 22.36(я7)

Изучение сложения гармонических колебаний с применением программной среды LabVIEW и АЦП NI USB-6009: Лабораторный практикум по дисциплине «Современная физика» / Уфимск. Гос. Авиац. техн. Ун-т; Сост. В. В. Лазарев – Уфа, 2008. – 16 с.

В лабораторном практикуме подробно рассмотрена теория сложения гармонических колебаний с одинаковой частотой и колебаний с близкими частотами. Рассмотрен вывод уравнения результирующего колебания. Приведены описание экспериментальной установки, порядок выполнения измерений амплитуды и фазы колебаний, определения неизвестной частоты колебания по результатам измерений.

Практикум предназначен для студентов, выполняющих лабораторные работы по дисциплине «Современная физика».

Табл. 4. Ил. 8. Библиогр.: 3 назв.

Рецензенты: М. П. Иванов,
П. А. Грахов



Лабораторный практикум разработан в рамках реализации инновационной образовательной программы подготовки кадров в области информационных технологий проектирования, производства и эксплуатации сложных технических объектов (Приоритетный национальный проект «Образование»)

©Уфимский государственный
Авиационный технический университет, 2008

Составитель ЛАЗАРЕВ Владимир Валентинович

ИЗУЧЕНИЕ СЛОЖЕНИЯ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ С
ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ LabVIEW И
АЦП NI USB-6009

Лабораторный практикум

по дисциплине «Современная физика»

Редактор Соколова О. А.

Подписано в печать 30.12.2008. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Nimes New Roman Cyr.

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

Тираж 100 экз. Заказ № 54

ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет
Центр оперативной полиграфии УГАТУ
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12

Содержание

1. Цель работы.....	4
2. Теоретическая часть	4
2.1. Сложение двух одинаково направленных гармонических колебаний	4
2.2. Когерентные колебания.....	6
2.3. Сложение одинаково направленных колебаний с близкими частотами. Биения	7
2.4. Сложение взаимно перпендикулярных гармонических колебаний	8
3. Экспериментальная часть.....	11
3.1. Приборы и принадлежности	11
3.2. Описание установки	11
3.3. Требования по технике безопасности	13
3.4. Порядок выполнения работы	13
4. Требования к отчету	16
5. Контрольные вопросы	16
6. Список литературы	16

Лабораторная работа

Изучение сложения гармонических колебаний с применением программной среды LabVIEW и АЦП NI USB-6009

1. Цель работы

Изучение сложения гармонических электрических колебаний с помощью программной среды LabVIEW и определение частоты и амплитуды неизвестного гармонического колебания методом биений и фигур Лиссажу.

2. Теоретическая часть

Колебаниями называются движения или процессы, характеризующиеся определенной повторяемостью во времени. Гармонические колебания – колебания, при которых колеблющаяся величина изменяется по закону синуса или косинуса (в пособии используется функция косинуса).

Под сложением колебаний понимают нахождение закона результирующих колебаний системы в тех случаях, когда эта система одновременно участвует в нескольких колебательных процессах. Различают два предельных случая – сложение колебаний одинакового направления и сложение взаимно перпендикулярных колебаний.

2.1. Сложение двух одинаково направленных гармонических колебаний

Любое гармоническое колебание $s = A\cos(\omega t + \varphi_0)$ можно представить как вращающийся с угловой скоростью ω вектор длины A , проекции которого в каждый момент времени равны смещениям на ось X и на ось Y : $x = A\cos(\omega t + \varphi_0)$ и $y = A\sin(\omega t + \varphi_0)$, где $\omega t + \varphi_0$ – фаза колебания, φ_0 – начальная фаза колебания (рис. 2.1).

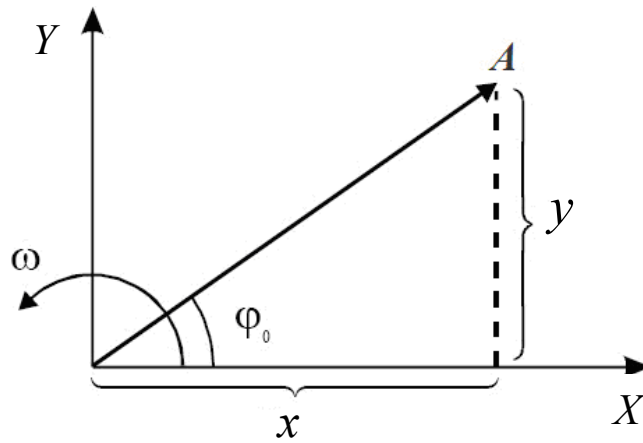


Рис. 2.1

Сложение двух гармонических колебаний $s_1 = A_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_{01})$ и $s_2 = A_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_{02})$ можно произвести, воспользовавшись методом векторных диаграмм. На рис. 2.2 показаны векторы $A_1(t)$ и $A_2(t)$ амплитуд соответственно первого и второго колебаний в произвольный момент времени t , когда фазы этих колебаний равны: $\Phi_1(t) = \omega_1 t + \varphi_{01}$ и $\Phi_2(t) = \omega_2 t + \varphi_{02}$.

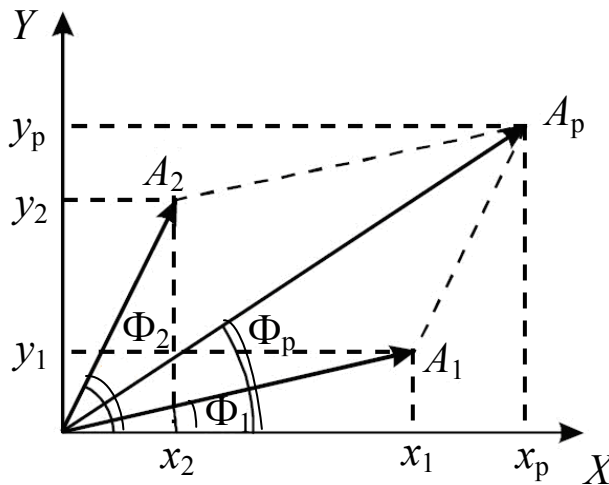


Рис. 2.2

Результирующему колебанию $s_p = s_1 + s_2 = A_p \sin \Phi_p(t)$ соответствует вектор $\vec{A}_p(t) = \vec{A}_1(t) + \vec{A}_2(t)$, амплитуда которого находится по теореме косинусов

$$A_p = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\Phi_2(t) - \Phi_1(t))}, \quad (2.1)$$

а фаза колебаний $\Phi_p(t)$ находится из соотношения

$$\operatorname{tg} \Phi_p(t) = \frac{A_1 \sin \Phi_1(t) + A_2 \sin \Phi_2(t)}{A_1 \cos \Phi_1(t) + A_2 \cos \Phi_2(t)} \quad (2.2)$$

2.2. Когерентные колебания

Два гармонических колебания s_1 и s_2 называются когерентными, если разность их фаз не зависит от времени, т.е. производная

$$\frac{d}{dt} [\Phi_2(t) - \Phi_1(t)] = 0 \quad (2.3)$$

тогда

$$\Phi_2(t) - \Phi_1(t) = \text{const.}$$

Поскольку $\Phi_2(t) - \Phi_1(t) = (\omega_2 - \omega_1)t + (\varphi_{02} - \varphi_{01})$, то циклические частоты колебания должны быть одинаковы, т.е. $\omega_2 = \omega_1 = \omega$. Тогда $\Phi_2(t) - \Phi_1(t) = \varphi_{02} - \varphi_{01}$. Соответственно результирующие колебания – гармонические с той же циклической частотой ω , т.е.

$$s = s_1 + s_2 = A_p \sin(\omega t + \varphi_0), \quad (2.4)$$

где
$$A_p = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 A_2 \cos(\varphi_{02} - \varphi_{01})}$$

и

$$\operatorname{tg} \varphi_0 = \frac{A_1 \sin \varphi_{01} + A_2 \sin \varphi_{02}}{A_1 \cos \varphi_{01} + A_2 \cos \varphi_{02}}. \quad (2.5)$$

В зависимости от значения разности начальных фаз складываемых колебаний амплитуда A_p результирующих колебаний изменяется в пределах: от $A_p = |A_1 - A_2|$ при $\varphi_2 - \varphi_1 = \pm(2m + 1)\pi$

$$\text{до } A_p = A_1 + A_2 \text{ при } \varphi_2 - \varphi_1 = \pm 2m\pi,$$

где $m = 0, 1, 2, 3 \dots$ – любое целое неотрицательное число. Если $\varphi_2 - \varphi_1 = \pm 2m\pi$, то говорят, что складываемые колебания синфазны, а при $\varphi_2 - \varphi_1 = \pm(2m + 1)\pi$ – складываемые колебания находятся в противофазе.

2.3. Сложение одинаково направленных колебаний с близкими частотами. Биения

Колебания, получающиеся в результате наложения двух одинаково направленных гармонических колебаний с близкими частотами ($|\omega_2 - \omega_1| \ll \omega_1$), называются биениями. В этом случае за начало отсчёта времени t целесообразно принять тот момент, когда фазы обоих складываемых колебаний s_1 и s_2 совпадают и равны φ_0 .

Тогда $s_1 = A_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_0)$ и

$s_2 = A_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_0) = A_2 \sin(\omega_1 t + \varphi_0 + \varphi(t))$, где $\varphi(t) = (\omega_2 - \omega_1)t$.

Результирующие колебания $s = s_1 + s_2$ удовлетворяют соотношению

$$s = A_p(t) \sin[\omega_1 t + \varphi_0 + \psi(t)], \quad (2.6)$$

где

$$A_p = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 A_2 \cos \varphi}$$

и

$$\operatorname{tg} \psi(t) = \frac{A_2 \sin \varphi(t)}{A_1 + A_2 \cos \varphi(t)}. \quad (2.7)$$

Рассмотрим частный случай, когда амплитуды складываемых колебаний равны $A_1 = A_2 = A$, а частоты отличаются на $\Delta\omega = |\omega_2 - \omega_1|$, т.е.

$$s_1 = A \sin \omega t, \quad (2.8)$$

$$s_2 = A \sin(\omega + \Delta\omega)t.$$

Результирующее колебание

$$\begin{aligned} s_p = s_1 + s_2 &= A [\sin \omega t + \sin(\omega + \Delta\omega)t] = 2A \sin\left(\frac{\omega + \omega + \Delta\omega}{2}\right)t \cos \frac{\Delta\omega}{2}t = \\ &= 2A \sin\left(\omega + \frac{\Delta\omega}{2}\right)t \cos \frac{\Delta\omega}{2}t \approx 2A \cos \frac{\Delta\omega}{2} \sin \omega t, \end{aligned}$$

поскольку $\Delta\omega \ll \omega$.

Следовательно: $s_p = A_6 \sin \omega t$, где

$$A_6 = 2A \cos \frac{\Delta\omega}{2}t. \quad (2.9)$$

Таким образом, результирующим колебанием является гармоническое колебание с частотой ω и меняющейся амплитудой

$A_6 = 2A \cos \frac{\Delta\omega}{2}t$. Такой вид колебания называется **биением**. Величина

$A_{\text{б}}(t)$, характеризующая размах колебаний, изменяется в пределах от $-2A$ до $+2A$ с циклической частотой $\Delta\omega$, называемой циклической частотой биений. Поскольку частота биений во много раз меньше частоты колебаний ($\Delta\omega \ll \omega$), переменную величину $|A_{\text{б}}(t)|$ условно называют амплитудой биений.

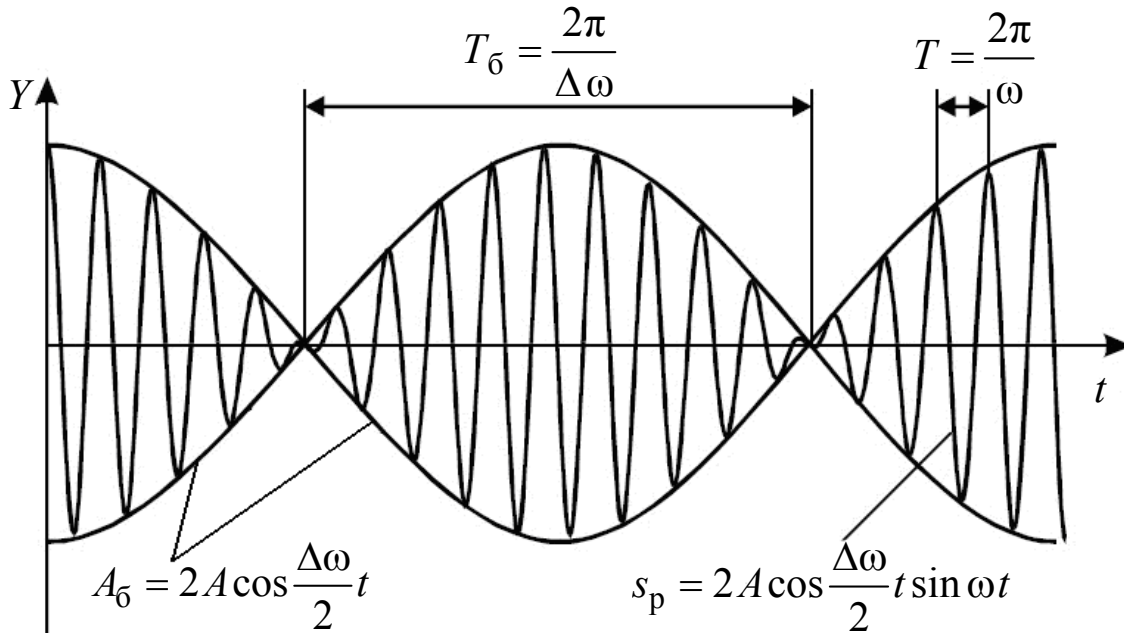


Рис. 2.3

Период биений $T_{\text{б}}$ и частота биений $\nu_{\text{б}}$ равны:

$$T_{\text{б}} = \frac{2\pi}{\Delta\omega} = \frac{2\pi}{\omega_2 - \omega_1}, \quad \nu_{\text{б}} = \frac{1}{T_{\text{б}}}. \quad (2.10)$$

Характер зависимости результирующего колебания от времени представлен на рис. 2.3. Сплошные линии являются графиком результирующего колебания, а огибающая их – график медленно меняющейся амплитуды биений.

2.4. Сложение взаимно перпендикулярных гармонических колебаний

Пусть точка M одновременно колеблется с одинаковой частотой вдоль осей координат OX и OY по законам:

$$\begin{aligned} x &= A_1 \sin(\omega t + \varphi_1), \\ y &= A_2 \cos(\omega t + \varphi_2), \end{aligned} \quad (2.11)$$

где x и y – декартовы координаты точки M . Уравнение траектории результирующего движения точки M в плоскости XOY можно найти исключив из выражений для x и y параметр t

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1A_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1). \quad (2.12)$$

Траектория имеет форму эллипса (рис. 2.4) причём точка M описывает этот эллипс за время, равное периоду складываемых колебаний $T = \frac{2\pi}{\omega}$. Поэтому, результирующее движение точки M называют эллиптически поляризованными колебаниями.

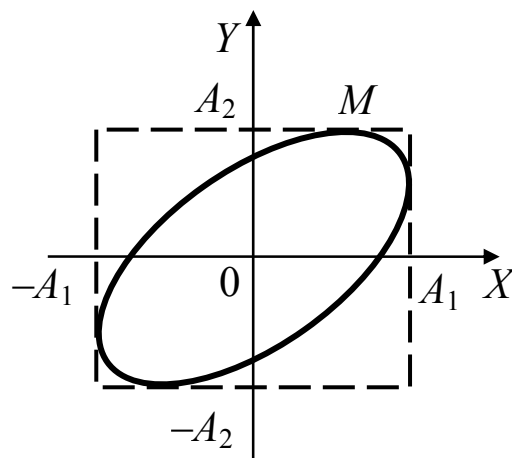


Рис. 2.4

Если $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = (2m + 1)\frac{\pi}{2}$, где $m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots$ и $A_1 = A_2$, то траектория точки M представляет собой окружность

$$x^2 + y^2 = A^2. \quad (2.13)$$

В тех случаях, когда $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = m\pi$ ($m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots$) эллипс вырождается в отрезок прямой

$$y = \pm \frac{A_2}{A_1} x. \quad (2.14)$$

Знак плюс соответствует чётным значениям m , а знак минус – нечётным значениям m (рис. 2.5).

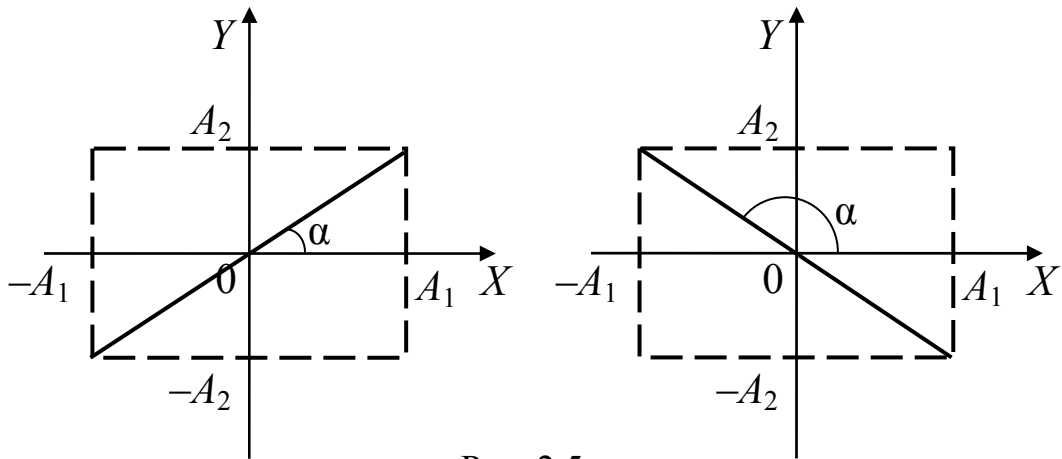


Рис. 2.5

В этих случаях точка M совершает линейно поляризованные колебания с амплитудой $A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2}$ вдоль прямой линии, составляющей с осью OX угол $\alpha = \arctg\left(\frac{A_2}{A_1} \cos \pi m\right)$.

Сложение взаимно перпендикулярных колебаний с циклическими частотами $p\omega$ и $q\omega$, где p и q – целые числа

$$x = A_1 \sin(p\omega t + \varphi_1) \text{ и } y = A_2 \sin(q\omega t + \varphi_2).$$

Значения координат x и y колеблющейся точки M одновременно повторяется через одинаковые промежутки времени T_0 , равные общему наименьшему кратному $T_1 = \frac{2\pi}{p\omega}$ и $T_2 = \frac{2\pi}{q\omega}$ – периодов

колебаний вдоль осей OX и OY . Поэтому траектории точки M – замкнутая кривая, форма которой зависит от соотношения амплитуд, частот и начальных фаз складываемых колебаний. Такие замкнутые траектории точки M , одновременно совершающей гармонические колебания в двух взаимно перпендикулярных направлениях, называются фигурами Лиссажу. Фигуры Лиссажу вписываются в прямоугольник, центр которого совпадает с началом координат, а стороны параллельны осям координат OX и OY и расположены по обе стороны от них на расстояниях, соответственно равных A_1 и A_2 .

Отношение частот $\frac{p\omega}{q\omega}$ складываемых колебаний равно отношению

числа касаний соответствующей им фигуры Лиссажу со стороной прямоугольника, параллельной оси OY , и со стороной, параллельной оси OX . На рис. 2.6 показан вид фигур Лиссажу при трёх различных

значениях отношений $\frac{q}{p}$ (2:1, 3:2 и 4:3) и разности фаз

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\pi}{2}.$$

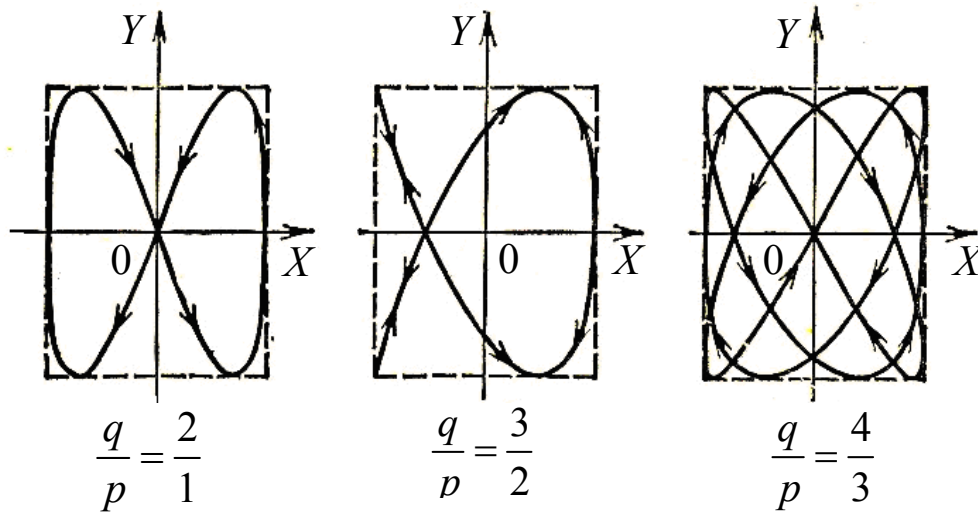


Рис. 2.6

3. Экспериментальная часть

3.1. Приборы и принадлежности

- генератор Г6-43,
- компьютер Pentium-IV,
- система сбора и обработки информации NI USB-6009.

3.2. Описание установки

Среда графического программирования LabVIEW позволяет создавать разнообразные виртуальные приборы и измерительные системы. В данной работе используется виртуальный прибор, созданный на базе программной среды LabVIEW, многофункциональный генератор сигналов Г6-43, аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) NI USB-6009, компьютер (рис. 3.1).



Рис. 3.1

Лицевая панель измерительного прибора представлена на рис. 3.2.

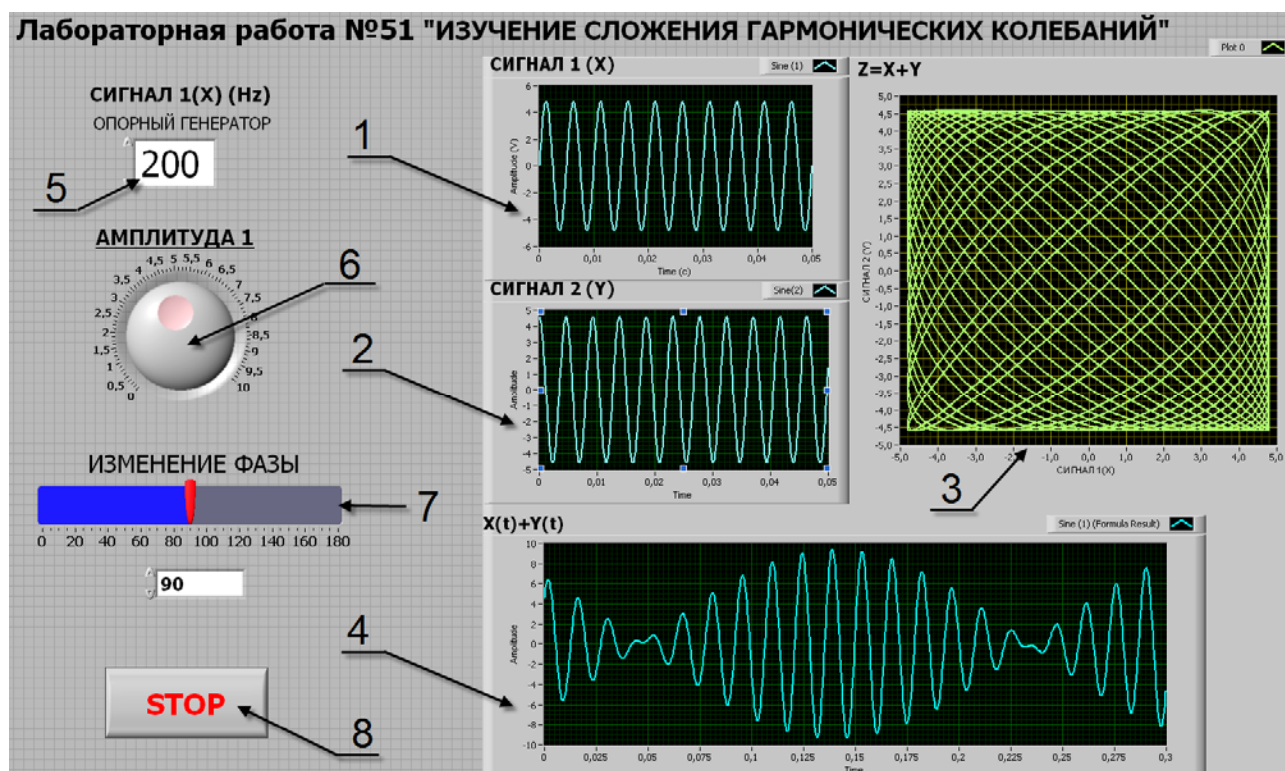


Рис. 3.2

Компьютерный генератор сигналов (который является опорным генератором) генерирует сигнал в виде гармонических колебаний. На вход АЦП подаётся аналоговый гармонический сигнал с генератора Г6-43, который преобразуется в цифровой. Сигналы от обоих генераторов синхронизируются, обрабатываются и с выхода узла обработки подаются на индикаторы графического эквивалента осциллографа 1, 2 и 4 (сигнал $1(X)$, сигнал $2(Y)$, $X(t)+Y(t)$) и двухкоординатный индикатор XY -Graph $X(t)+Y(t)$ (3). На этих индикаторах изучают сложения взаимно перпендикулярных колебаний и колебаний с мало отличающимися частотами. На лицевую панель прибора выведены элементы управления изменениями амплитуды сигнала (амплитуда (X) (6)), частоты опорного генератора (5) и изменение разности фаз колебаний (7). Остановить работу прибора можно нажатием на кнопку STOP(8).

3.3. Требования по технике безопасности

1. Перед началом выполнения лабораторной работы, внимательно ознакомьтесь с описанием экспериментальной установки.
2. Все электрические приборы, используемые в экспериментальной установке, должны быть обязательно заземлены.
3. Запрещается класть какие-либо посторонние предметы на приборы экспериментальной установки.
4. Запрещается прикасаться к оголённым участкам электрооборудования, предварительно их не обесточив. При обнаружении таковых – обратиться к преподавателю.
5. По окончании работы обесточьте приборы, приведите в порядок рабочее место.

3.4. Порядок выполнения работы

Задание 1. Изучение сложения одинаково направленных гармонических колебаний одной частоты.

1. Запустить лабораторную установку – для этого необходимо включить генератор Г6-43, компьютер и открыть файл «lissagu.exe», который расположен на «Рабочем столе» монитора компьютера.
2. Выполнить исследования в соответствии с выбранным вариантом (по указанию преподавателя). Исходные параметры для каждого исследования приведены в табл. 3.1.
3. Установить частоту генератора Г6-43 с помощью ручек управления прибором, а частоту опорного генератора с помощью органа управления «сигнал 1(X) (Hz)» на лицевой панели прибора.
4. Установить амплитуду сигнала обоих генераторов 5 В с помощью органов управления «амплитуда» на панели прибора для опорного генератора, для генератора Г6-43 величину амплитуды можно контролировать на индикаторе (2).
5. Измерить зависимость амплитуды результирующего колебания A_p от сдвига фаз $\delta = \varphi_2 - \varphi_1$ между колебаниями (амплитуда A_p определяется по осциллограмме графического индикатора « $X(t) + Y(t)$ » (4)). Изменение сдвига фаз производится с помощью органа управления «изменение фазы» (7) на панели прибора. Измерения амплитуды произвести через каждые 10 градусов.
6. Данные измерений занести в табл. 3.2.
7. Построить график зависимости $A_p(\delta)$.

Таблица 3.1

Исходные параметры для исследования гармонических колебаний

Частота, Гц	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Генератор Г6-43	100	120	150	200
Опорный генератор	100	120	150	200

Таблица 3.2

Зависимость амплитуды результирующего колебания A_p от сдвига фаз δ

Сдвиг фаз δ	10	20	30	160	170	180
Амплитуда A_p , В										

Задание 2. Изучение сложения одинаково направленных гармонических колебаний с близкими частотами. Биения.

1. Установить на обоих генераторах частоту 200 Гц.
2. Установить амплитуду колебаний генераторов 3 В.
3. Устанавливая частоту опорного генератора 215, 220, 225, 230 Гц получить и зарисовать картину биений на графическом индикаторе « $X(t) + Y(t)$ ». Определив цену деления шкалы по осям X и Y измерьте период биений T_6 (сек) для каждой частоты опорного генератора.

4. Данные измерений записать в табл. 3.3 и определить по ним частоту генератора Г6-43 по формуле (2.10).

5. По экспериментальным данным определить ошибку измерений частоты генератора Г6-43.

Таблица 3.3

Частота опорного генератора ν_2 , Гц	T_6 , с	ω , Гц	Частота генератора ν_1 Г6-43, Гц
215			
220			
225			
230			

Задание 3. Изучение сложения взаимно перпендикулярных гармонических колебаний.

1. Установить на обоих генераторах частоту 100 Гц и амплитуду колебаний 5 В. Добиться появления на графическом индикаторе « $Z = X(t) + Y(t)$ » (3) устойчивой фигуры Лиссажу.

2. Изменяя частоту на опорном генераторе 150, 200, 300, 400, 500 Гц добиться появления на индикаторе фигур Лиссажу, и зарисовать их.

3. Для каждой фигуры Лиссажу определить число точек касания соответствующей им фигуры Лиссажу со стороной прямоугольника, параллельной оси OY , и со стороной, параллельной оси OX и проверить соотношение $\frac{q}{p} = \frac{v_y}{v_x}$.

4. Данные результатов измерений записать в табл. 3.4.

Таблица 3.4.

Результаты измерений сложения взаимно перпендикулярных колебаний

Частота опорного генератора v_y , Гц	Число точек касания		$\frac{q}{p}$	Частота генератора Г6-43 v_x , Гц
	Вид фигуры (1 положение) $q(OY)$	Вид фигуры (2 положение) $p(OX)$		
100				
150				
200				
300				
400				
500				

5. Определить частоту генератора Г6-43 по формуле

$$v_x = v_y \frac{p}{q}. \quad (3.1)$$

6. По экспериментальным данным определить ошибку измерений частоты генератора Г6-43.

4. Требования к отчету

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Номер, название лабораторной работы и цель работы.
2. Приборы и принадлежности для выполнения работы.
3. Блок – схему установки и основные расчётные формулы.
4. Формулы и вычисления погрешностей измерений.
5. Выводы по результатам работы.

5. Контрольные вопросы

1. Что такое гармоническое колебание? Почему они играют особую роль в теории колебаний?
2. Как сложить однонаправленные колебания с помощью метода векторных диаграмм? Когда амплитуда результирующего колебания максимальна, когда минимальна?
3. Какие колебания называются когерентными?
4. Что такое биения? Получите уравнение биений. Как определить частоту и период биений?
5. Как получаются фигуры Лиссажу и как можно их использовать для определения неизвестной частоты колебаний?
6. Можно ли по виду эллипса определить разность фаз складываемых взаимно перпендикулярных колебаний?

6. Список литературы

1. *Трофимова Т. И.* Курс физики. – М.: Издательский центр Академия, 2008. С. 258–264.
2. *Сивухин Д. В.* Курс общей физики. Учеб. пособие: Для вузов. В 5 т. Т.1. 5-е изд., стереот. – М.: Физматлит., 2006. С. 215–220.
3. *Евдокимов Ю. К., Линдваль В. Р., Щербаков Г. И.* LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора. Практическое руководство для работы в программной среде LabVIEW. – М.: ДМК Пресс, 2007.– 400 с.