

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Физический факультет
Кафедра общей физики

Воробьев Алексей Михайлович

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Измерение магнитного поля с помощью генератора
механических колебаний в феррите**

2 курс, группа 18305

Научный руководитель:

Старостенко Александр Анатольевич
Оценка научного руководителя

«__» _____ 2019г.

Преподаватель практикума

Иванов Иван Анатольевич
Оценка преподавателя практикума

«__» _____ 2019 г.

Аннотация

В работе создана установка, регистрирующая магнитное поле. Данные были откалиброваны, и на основе калибровки было получено значение остаточного магнитного поля помещения. Это поле, которое появляется из-за того, что металлические детали здания намагничиваются из-за магнитного поля земли. Его значение получилось равно 0.63 Гс.

Были проведены измерения ЭДС, создающегося на катушке, сердечник которой сжимается с помощью генератора акустических колебаний. ЭДС создаётся за счёт изменения магнитной проницаемости.

Целью данной работы является создание высокоточного датчика постоянных и низкочастотных магнитных полей.

Работа выполнена в лаборатории электронно-лучевой сварки Института Ядерной Физики СО РАН.

Ключевые слова: генератор акустических колебаний, эффект магнито-стрикции, пьезодатчик, ЭДС на соленоиде.

Оглавление

Введение.....	4
Теоретическая часть.....	5
Описание установки и методика измерений	9
Результаты.....	10
Заключение	13
Список литературы	15

Введение

Измерение магнитного поля может потребоваться в различных задачах науки. Например, в детектировании месторождений полезных ископаемых, в изучении процессов, происходящих в недрах нашей планеты, в разработке систем безопасности и т.д.

Моя курсовая работа основана на достаточно простом методе детектирования магнитного поля, хотя и позволяющим добиться большой чувствительности датчика.

Эта установка может быть использована для измерения как сильных, так и достаточно слабых постоянных или низкочастотных магнитных полей.

В данной работе для меня были поставлены следующие задачи:

1. Собрать генератор акустических колебаний с пьезодатчиками, позволяющий создать обратную связь и ощутимые (влияющие на показания ЭДС на катушке) колебания в ферритовом стержне.
2. Провести измерения магнитных полей, поместив установку в соленоид при разных токах, протекающих по его виткам.
3. По полученные данным откалибровать переход от амплитудной величины ЭДС на катушке к величине магнитного поля, проходящего через сердечник.
4. Используя шкалу перехода и сигнал полученный с катушки, удалённой от источников значительных магнитных полей, получить значение остаточного магнитного поля помещения, убедившись, что установка способна измерять слабые поля.

Теоретическая часть

Схема генератора акустических колебаний приведена на рисунке 1.[1]

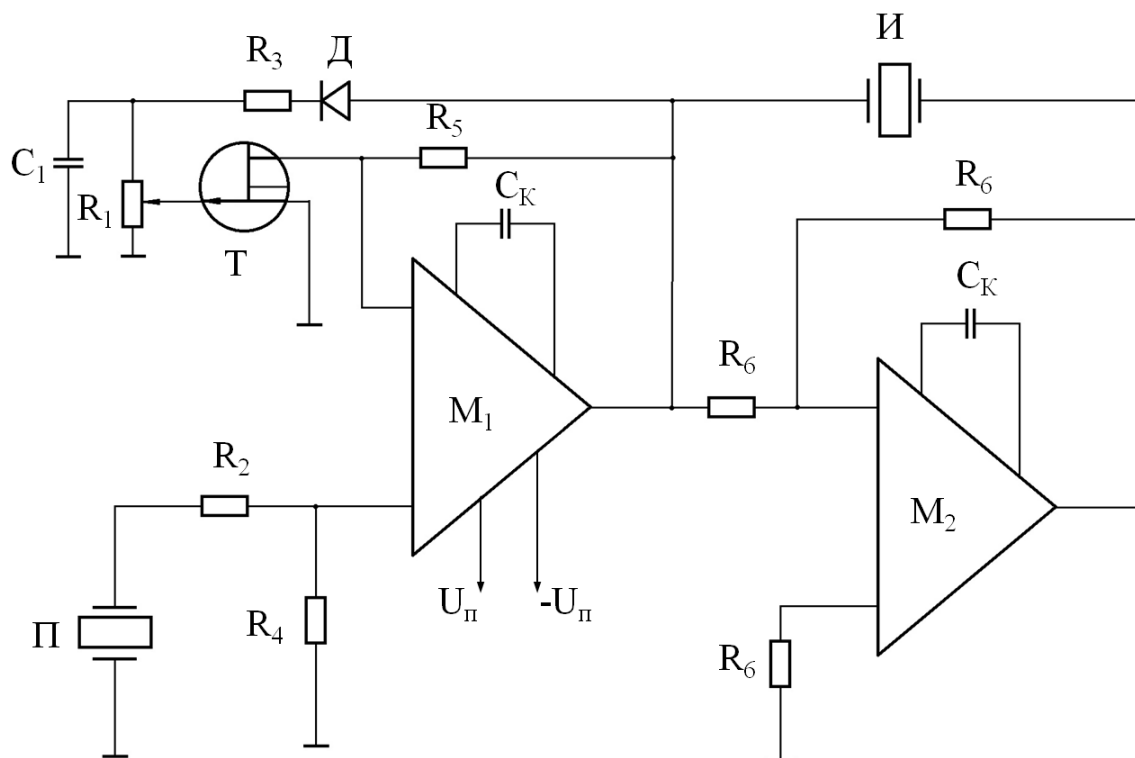


Рисунок 1. Схема генератора акустических колебаний.

C_k – компенсирующая ёмкость 8пФ, П – пьезоприёмник, И – пьезоизлучатель, Д – диод, Т – полевой транзистор КП102К, У – микросхема К157УДЗ.

Микросхема К157УДЗ представляет из себя два операционных усилителя в одном корпусе. Когда на пьезоприёмник оказывается механическое воздействие, на его клеммах образуется напряжение U . Порядок его величины – несколько десятков милливольт. Сигнал проходит через делитель напряжения, в результате чего на неинвертируемый вход первого усилителя идёт напряжение, равное $UR_2/(R_2 + R_4)$. На первом операционном усилителе собрана схема усиления с автоматической регулировкой уровня. Работает это следующим образом. Например, на неинвертируемый вход первого усилителя приходит 10мВ. Пусть, на выходе усилитель выдаёт 1В, в 100 раз больше. Если же теперь на этот вход усилителя пойдёт, к примеру, 15 мВ, сигнал с выхода усилителя пойдёт через диод (вкладом сигнала с выхода второго усилителя явно можно пренебречь, так как сопротивление пьезодатчика велико, и он не шунтирует цепь),

диод отрежет нижнюю полуволну сигнала, а конденсатор C_1 с маленькой ёмкостью сгладит это напряжение до приближенного к постоянному, напряжение на затворе полевого транзистора возрастет (так как возросло напряжение на выходе усилителя), сопротивление сток-исток транзистора возрастет, и коэффициент усиления, за счёт этого, уменьшится, после чего напряжение на выходе усилителя возрастет и будет равно, к примеру, $1В$ – столько же, сколько было. Пока что это условные величины.

Коэффициент усиления первого операционного усилителя будет достигать своего максимума, когда ручка подстроечного резистора перемещена в нижнее положение, так как напряжение на затворе транзистора будет равно нулю, и сопротивление сток-исток будет максимально. По сути, в нижнем положении ручки, схема АРУ (автоматическая регулировка уровня) не имеет смысла, ведь напряжение на затворе всегда равно нулю. Скорей всего нам будет достаточно нижнего положения ручки и максимального коэффициента усиления, но если вдруг подобранные пьезоэлементы окажутся слишком чувствительные к отклонениям от диапазона рабочих напряжений, то с помощью подстроечного резистора мы сможем отрегулировать диапазон напряжений на выходе, тем самым мы получаем возможность работать с любыми пьезоэлементами.

Зависимость сопротивления сток-исток от напряжения на затворе для транзистора КП102К взята из справочных данных, аппроксимирована и приведена к формуле, чтобы с ней было удобно работать. Зависимость приведена на рисунке 2.

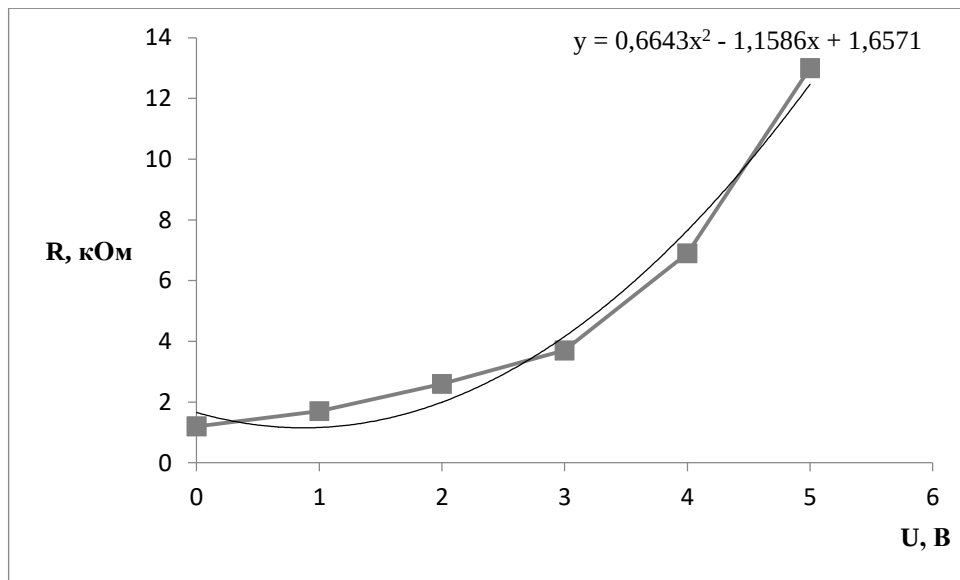


Рисунок 2. Зависимость сопротивления сток-исток полевого транзистора КП102К от напряжения на затворе.

$$R = 0.66U^2 - 1.16U + 1.66 \quad (1)$$

R – сопротивление сток-исток. Запишем формулу для коэффициента усиления, в нижнем положении ручки подстроечного резистора:

$$\frac{R_2}{R_2 + R_4} \left(1 + \frac{R_5}{R(0)} \right) \quad (2)$$

Напряжение с выхода первого усилителя, во-первых, поступает на одну из клемм пьезоизлучателя, а, во-вторых, приходит на неинвертируемый вход второго усилителя. Он же не усиливает сигнал, а только инвертирует его, и в итоге на второй клемме пьезоизлучателя образуется то же напряжение, только с другим знаком. В итоге, потеря напряжения на излучателе станет больше напряжения на выходе первого усилителя в 2 раза. То есть:

$$k = 2 \frac{R_2}{R_2 + R_4} \left(1 + \frac{R_5}{R(0)} \right) \quad (3)$$

Теперь рассчитаем параметры усиления в верхнем положении ручки.

Пусть на пьезоприёмнике создаётся напряжение U , коэффициент усиления равен k . На выходе усилителя напряжение kU . Проходя, через диод и под-

строечный резистор, зашунтированный конденсатором, сигнал сглаживается, его постоянную составляющую можно посчитать равной:

$$kU \frac{R_1}{R_1 + R_3} \frac{1}{2\sqrt{2}}, \quad (4)$$

где численный множитель появляется из эффективного значения по закону сохранения энергии, а дробь с R появляется из-за делителя напряжения.

В итоге, новое сопротивление R сток-исток становится равным:

$$0,66(kU \frac{R_1}{R_1 + R_3} \frac{1}{2\sqrt{2}})^2 - 1,16(kU \frac{R_1}{R_1 + R_3} \frac{1}{2\sqrt{2}}) + 1,66 \quad (5)$$

Новый коэффициент усиления k равен:

$$k = \frac{R_2}{R_2 + R_4} \left(1 + \frac{R_5}{R} \right), \quad (6)$$

или:

$$k = \frac{R_2}{R_2 + R_4} \left(1 + \frac{R_5}{0,66(kU \frac{R_1}{R_1 + R_3} \frac{1}{2\sqrt{2}})^2 - 1,16(kU \frac{R_1}{R_1 + R_3} \frac{1}{2\sqrt{2}}) + 1,66} \right), \quad (7)$$

Когда система придёт в равновесие, коэффициент k не будет меняться. Так как сложно найти решение с буквенными коэффициентами уравнение третьей степени, можно оставить его, и посчитать этот коэффициент с готовыми числами, если он понадобится не аналитическим путём (например, написав программу).

Теперь, если прикрепить наши пьезодатчики к разным торцам ферритового стержня так, чтобы колебания передавались по нему, и поместить стержень в катушку индуктивности, то на ней будет создаваться ЭДС за счёт того, что при продольном сжатии стержня, у него меняется магнитная проницаемость (это изменение будет слабое, но у феррита проницаемость большая, и её изменение будет заметно), из-за эффекта магнитострикции. Магнитострикция – это физический эффект, заключающийся в том, что при изменении линейных размеров

тела или его объёма происходит изменение его магнитного состояния. При изменении магнитной проницаемости стержня, меняется значение вектора $\mathbf{B}$, а значит меняется магнитный поток через катушку, из-за чего на катушке появляется ЭДС.

Проверяя работу устройство на заведомо известных магнитных полях, можно откалибровать шкалу перевода Амплитуда ЭДС -> Значение магнитной напряжённости.

Описание установки и методика измерений

Были выбраны следующие параметры цепи (рис. 1): $R_1 - 47\text{кОм}$, $R_2 - 54\text{кОм}$, $R_3 - 15\text{кОм}$, $R_4 - 91\text{кОм}$, $R_5 - 43\text{кОм}$, $R_6 - 10\text{кОм}$, $C_1 - 15\text{нФ}$.

С этими данными был рассчитан коэффициент усиления сигнала на пьезоизлучателе. Его наибольшее значение (ручка внизу) по формуле 2 получилось равно 27,43. Были выбраны пьезоэлементы ЗП-31, которые достаточно стабильно работают при небольшом превышении верхней границы диапазона рабочих напряжений, так что для работы будет достаточно нижнего положения ручки подстроечного резистора. На рисунке 2 нарисована установка для колебания ферритового стержня.[1]

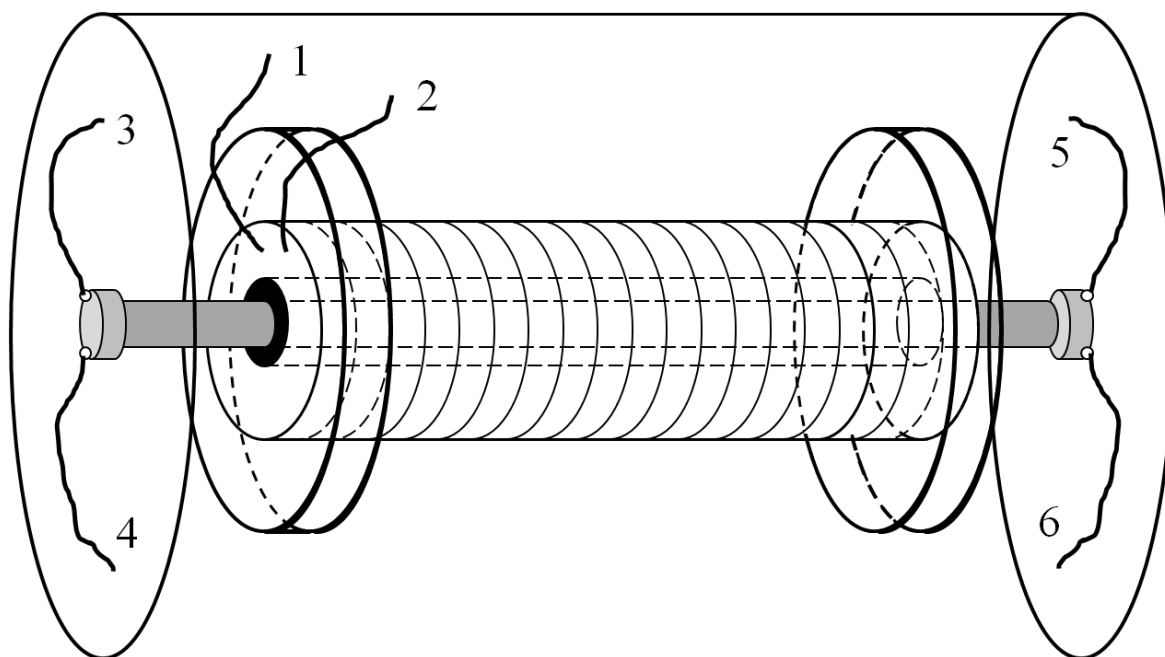


Рисунок 2. Установка для колебания феррита.

1, 2 – клеммы подключения осциллографа. 3, 4 клеммы первого пьезодатчика, 5, 6 – клеммы второго пьезодатчика.

Катушка зашунтирована низкоомным сопротивлением. Это сделано для того, чтобы на клеммах осциллографа, подключенного к выводам соленоида, возникало меньше шумов, связанных с сетевыми наводками.

Пьезодатчики крепко приклеены к стержню. Внутри диаметр катушки немного больше диаметра стержня так, чтобы тот свободно двигался в ней. Стержень расположен так, что его ось и ось соленоида совпадают, и закреплён к торцам катушки. Методика проведения эксперимента:

1. Спаять схему генератора механических колебаний.
2. Подключить любые звуковые пьезодатчики и убедиться в работоспособности генератора, пронаблюдать, на что влияет подстроечный резистор.
3. Собрать установку колебания стержня.
4. Соединить её с генератором и, подключив осциллограф, посмотреть, что происходит с ЭДС при поднесении магнита.
5. Поместив установку в большой соленоид, регулируя его ток и снимая показания осциллографа, откалибровать кривую перевода ЭДС в магнитное поле через торец стержня.

Результаты

- Схема генератора колебаний была спаяна.
- При подключении звуковых пьезодатчиков, слышен достаточно громкий писк при поднесении их друг к другу, так же при воздействии на приёмник (щелчок пальцем, трение) слышен звук из излучателя. При уменьшении коэффициента усиления путём регулирования подстроечного резистора, звук становится тише, пока не пропадает.
- Собрана установка колебания стержня. Она представлена на рисунке 3.1 и 3.2.

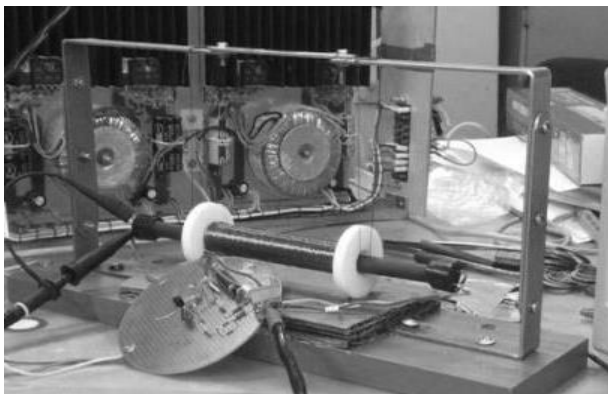


Рисунок 3.1. Установка без корпуса.



Рисунок 3.2. Установка с корпусом.

Установка исправно реагирует на магнит. При отсутствии вблизи сильных магнитов, на осциллографе, подключенном к контактам катушки, возникает синусоида – мы не можем полностью избавиться от магнитного поля, так как есть остаточное магнитное поле помещения. При поднесении магнита на более близкое расстояние:

- Ничего не происходит, если силовые линии магнитного поля перпендикулярны оси ферритового стержня.
- Амплитуда сигнала растёт, если проходящие через ось ферритового стержня магнитные линии самого магнита и поле в катушке пересекаются под острым углом.
- Амплитуда сигнала сначала падает, а когда доходит до нуля, начинает расти, а фаза сигнала меняется на π , если проходящие через ось ферритового стержня магнитные линии самого магнита и поле катушки пересекаются под тупым углом. Это происходит, потому что сначала поле уменьшается по модулю, а потом увеличивается.

Катушка была вставлена в большой соленоид, поле которого в центре можно посчитать однородным. Регулируя ток катушки, и, измеряя магнитное поле магнитометром, была получена зависимость проекции магнитного поля на ось ферритового стержня от амплитудного значения ЭДС на катушке. Данная зависимость представлена в таблице 1 и на рисунках 4 и 5.

Таблица 1. Зависимость магнитного поля от амплитуды сигнала на осциллографе.

U, В	H, Гс	U, В	H, Гс	U, В	H, Гс	U, В	H, Гс	U, В	H, Гс	U, В	H, Гс	U, В	H, Гс
0.11	0.5	0.23	1.8	0.39	3	0.83	4.3	1.25	6.5	2.09	12.9	3.28	18.4
0.13	0.7	0.22	1.9	0.45	3.2	0.96	4.6	1.33	7.8	2.13	13.8	3.58	19.6
0.16	1	0.27	2.2	0.53	3.5	1.01	4.8	1.45	9.1	2.27	15	4.66	21.1
0.19	1.3	0.3	2.4	0.61	3.7	1.11	5.1	1.91	10.4	2.51	16.1	5.47	22.1

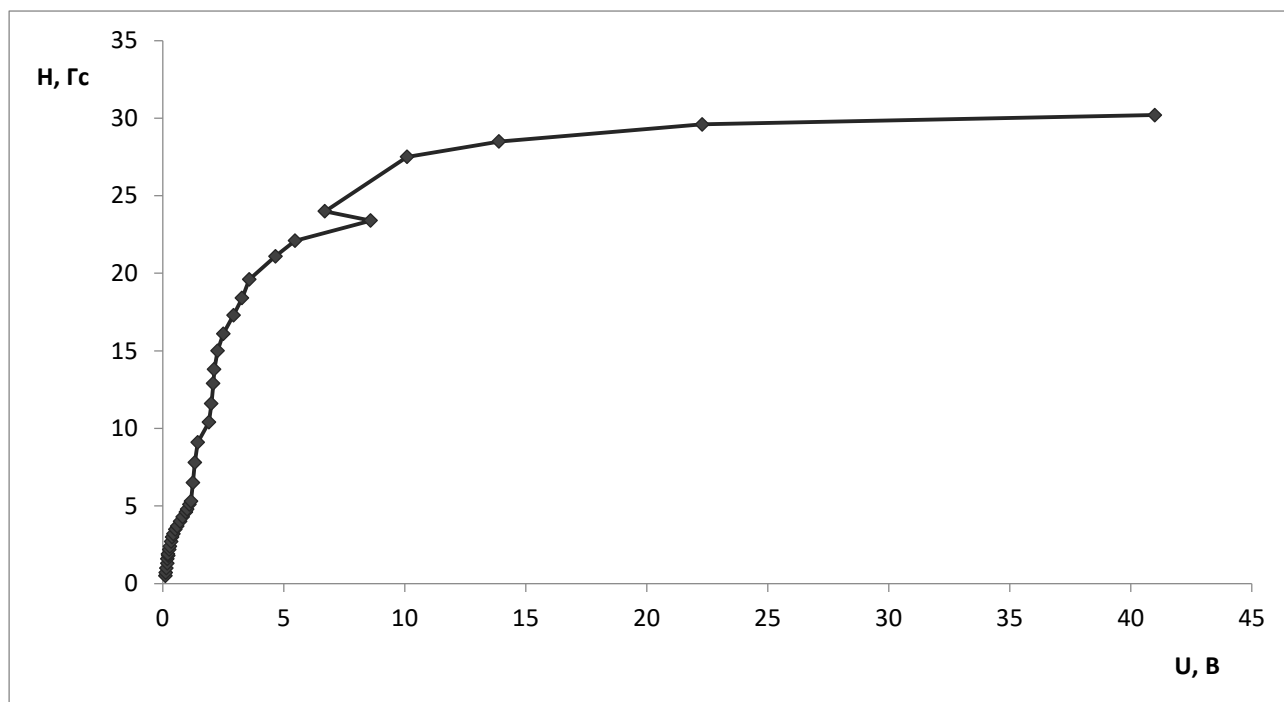


Рисунок 4. Зависимость магнитного поля в Гс через сердечник катушки от амплитудного напряжения сигнала с соленоида в В для большого диапазона полей.

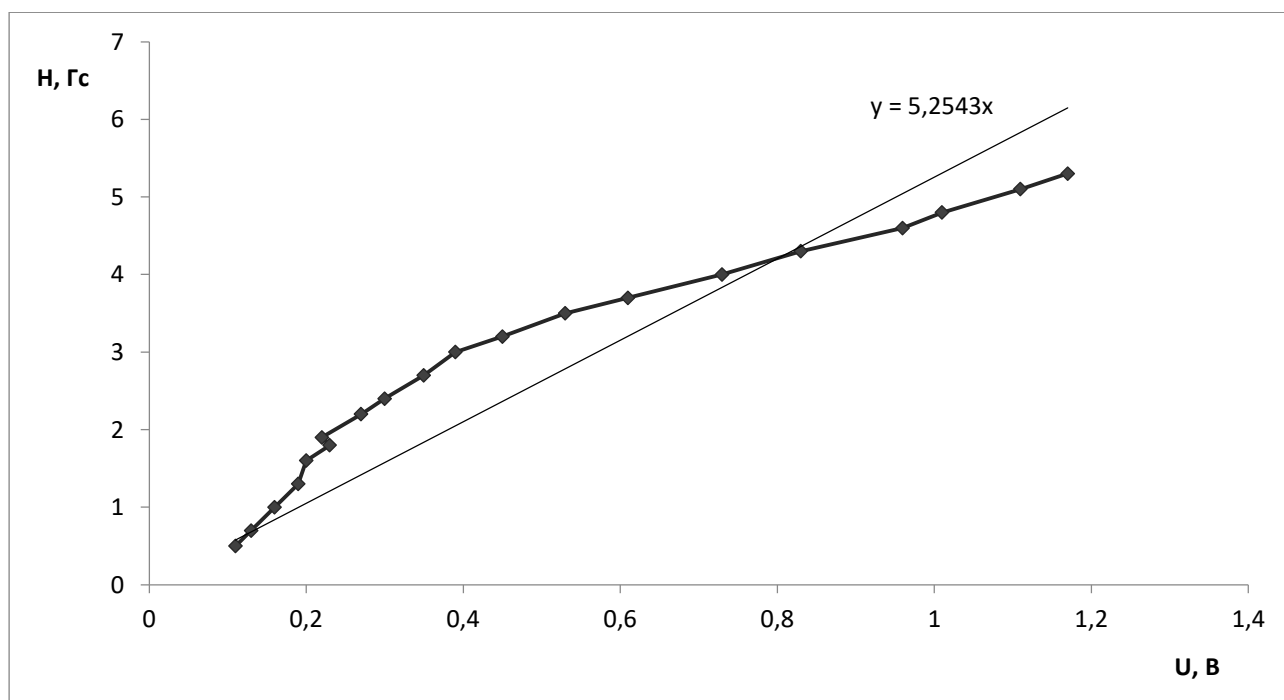


Рисунок 5. Зависимость магнитного поля в Гс через сердечник катушки от амплитудного напряжения сигнала с соленоида в В для маленького диапазона поле .

Если отключить соленоид, то амплитуда выходного сигнала будет равна 120 мВ. Можно посчитать остаточное поле Земли, используя уравнение прямой, которой был аппроксимирован второй график. Это поле получилось равно 0,63 Гс. Максимальная амплитуда выходного сигнала при отсутствии тока в соленоиде (остаточное поле параллельно оси стержня) получилось равно 120 мВ. Минимальная же (остаточное поле перпендикулярно оси) – 100 мВ. Во втором случае амплитуда не равна нулю, так как стержень обладает какой-то намагниченностью. За погрешность можно взять разность этих величин – 20 мВ, что равно 0,1 Гс (через уравнение прямой аппроксимации), то есть померенная величина составила $0,63 \pm 0,1$ Гс. Эта величина достаточно близка к магнитному полю Земли в Новосибирске. Точного справочного значения этого поля нет, оно было взято примерно из карты магнитного поля Земли – 0.58 Гс.

Заключение

В процессе выполнения данной курсовой работы была собрана установка, обладающая достаточно высокой чувствительностью, что позволяет измерять слабые магнитные поля (например, магнитное поле Земли). Было получено значение остаточного поля помещения с достаточно хорошей точностью.

Результаты получились неточные, причиной чего являются систематические источники погрешностей. В будущем планируется следующий перечень улучшений экспериментальной установки:

- Установить полосовой фильтр на входе первого операционного усилителя, чтобы отсеять часть шумов;
- Протестировать больше пьезодатчиков и выбрать те, с которыми наблюдаются лучшие результаты измерений;
- Закрепить стержень в катушке, так чтобы колебания стержня меньше гасились внешней средой, и колебания внешней среды вносили бы меньший вклад в ошибку (например, на резину или нитки);

- Сделать катушку более короткой, чтобы условие однородности поля соблюдалось на меньшей длине.

Список литературы

1. Казанцев, Коблик, Сотниченко.- Высокочувствительный датчик постоянного и низкочастотного магнитного поля с акустической «накачкой» // статья из второго выпуска журнала «Приборы и техника эксперимента» на стр. 1-5.
2. Сайт <http://zpostbox.ru/fet/fet2.html>.