

# Отчет по лабораторной работе №1: "Вводная лабораторная работа. Генератор Ван Дер Граафа"

Никитин Илья

17 сентября 2020 г.

## Содержание

<b>1</b>	<b>Вводная лабораторная работа</b>	<b>2</b>
1.1	Оборудование . . . . .	2
1.2	Задачи . . . . .	2
1.3	Определение индуктивности катушки . . . . .	2
1.3.1	Теория работы . . . . .	2
1.3.2	Ход работы . . . . .	3
1.4	Снятие ВАХ диода . . . . .	4
1.4.1	Теория работы . . . . .	4
1.4.2	Ход работы . . . . .	5
1.5	Измерение малого сопротивления . . . . .	6
1.5.1	Теория работы . . . . .	6
1.5.2	Ход работы . . . . .	7
<b>2</b>	<b>Генератор Ван Дер Граафа</b>	<b>8</b>
2.1	Оборудование . . . . .	8
2.2	Задачи . . . . .	9
2.3	Измерение тока генератора . . . . .	9
2.3.1	Теория работы . . . . .	9
2.3.2	Ход работы . . . . .	10
2.4	Определение напряжения пробоя воздуха . . . . .	11
2.4.1	Теория работы . . . . .	11
2.4.2	Ход работы . . . . .	11
2.5	Оценка напряжений генератора . . . . .	12
2.5.1	Теория работы . . . . .	12
2.5.2	Ход работы . . . . .	13

# 1 Вводная лабораторная работа

## Содержание

### 1.1 Оборудование

- Цифровой осциллограф со встроенным генератором различных форм напряжения
- Щуп для осциллографа – 3 шт.
- Мультиметр
- Переменное сопротивление
- Катушки индуктивности
- Диод
- Макетная плата
- Соединительные провода
- Источник постоянного тока
- Щупы для мультиметра
- Латунный образец малого сопротивления

### 1.2 Задачи

- Определение индуктивности катушки
- Снятие ВАХ диода
- Измерение малого сопротивления

### 1.3 Определение индуктивности катушки

#### 1.3.1 Теория работы

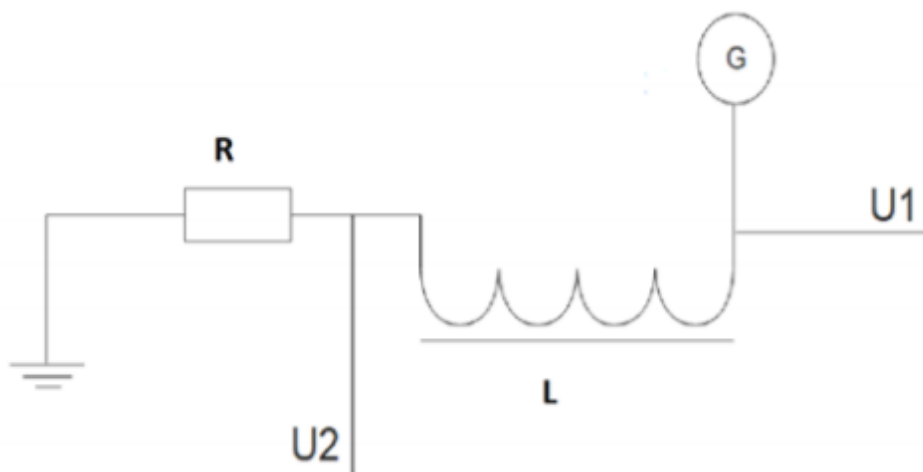


Рис. 1: Схема измерения индуктивности.  $R$  – резистор сопротивлением 480 Ом,  $L$  – катушка, индуктивность которой требуется измерить (заявлено 1мГн),  $G$  – выход встроенного генератора осциллографа,  $U_1$  и  $U_2$  – напряжения, измеряемое на первом и втором каналах осциллографа. Земля у генератора и обоих входов осциллографа общая.

С генератора подается синусоидальный сигнал с амплитудой 12 В. В приближении, что резистор имеет только активное сопротивление, а катушка только реактивное можно рассчитать импеданс катушки  $Z_L = i\omega L$  зная  $U_1$ ,  $U_2$  и  $R$ . Полный импеданс всей цепи равен  $Z_\Sigma = R + i\omega L$ . Тогда модули (и амплитуды) тока и напряжения в цепи связаны следующим образом:  $U_0 = I_0 \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$ . Также из этого легко найти модуль тангенса разности фаз между током и напряжением:  $\tan(\phi) = \frac{\omega L}{R}$ . Измеряемое напряжение  $U_2$  равно произведению величины тока в цепи на сопротивление  $R$ , из этого получим связь между  $U_1$  и  $U_2$ :  $\frac{U_1}{U_2} = \sqrt{1 + (\frac{\omega L}{R})^2}$ , из которой можно найти индуктивность  $L$ . Из этого соотношения легко понять требования на величину сопротивления  $R$  и частоту  $\omega$ : они должны быть такими, чтобы величина  $\frac{\omega L}{R}$  заметно превышала единицу, иначе измерения будут неточными.

### 1.3.2 Ход работы

В ходе работы с помощью осциллографа на заданной схеме были измерены напряжения на катушке для различных частот, затем определены различные значения выражения  $\frac{R}{2\pi} \sqrt{(\frac{U_1}{U_2})^2 - 1}$  при различных значениях частоты, а затем были построены прямые по МНК и взвешенному МНК, коэффициентом которых является искомая индуктивность катушки

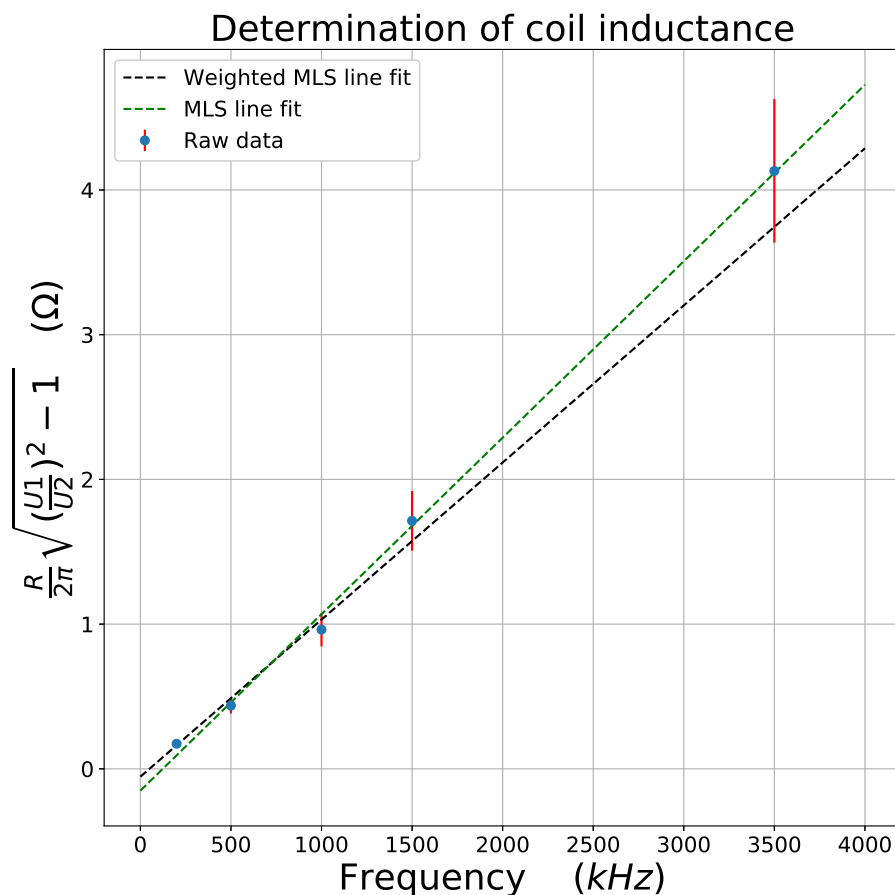


Рис. 2: На графике изображены три прямые: прямая, прямая соответствующая заявленной индуктивности, прямая, построенная по экспериментальным данным с помощью МНК и прямая, построенная с помощью взвешенного МНК

С помощью взвешенного МНК была построена прямая, коэффициент которой определяет искомое значение индуктивности катушки  
 $L = 1.1 \pm 0.1$  мГн

## 1.4 Снятие ВАХ диода

### 1.4.1 Теория работы

Диод – это полупроводниковый прибор с одним р-п переходом, имеющий два вывода (анод и катод), и предназначенный для выпрямления, детектирования, стабилизации, модуляции, ограничения и преобразования электрических сигналов. Такой прибор может находиться только в одном из двух состояний:

1. Открытое – когда он хорошо проводит ток.
2. Закрытое – когда он плохо проводит ток.

Зависимость тока, проходящего через р-п переход, от величины и полярности приложенного к нему напряжения изображают в виде кривой, называемой вольтамперной характеристикой (ВАХ) диода.

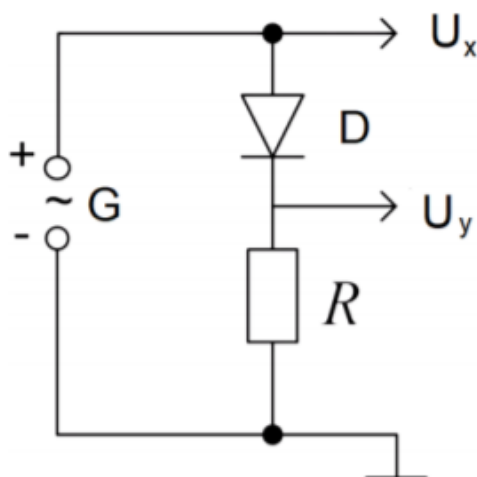


Рис. 3: Схема измерения ВАХ диода.  $R$  – резистор,  $D$  – диод (прямой и обратный ход),  $G$  – выход встроенного генератора осциллографа,  $U_x$  и  $U_y$  – напряжения, измеряемое на первом и втором каналах осциллографа. Земля у генератора и обоих входов осциллографа общая. С генератора подается синусоидальный сигнал с амплитудой 12 В. Измерения удобно проводить в режиме XY. Подача переменного напряжения позволяет снять ВАХ одновременно в положительном и отрицательном направлении.

#### 1.4.2 Ход работы

В ходе работы с помощью осциллографа на заданной схеме были измерены переменные напряжения  $U_x$  и  $U_y$ , а затем построена ВАХ.

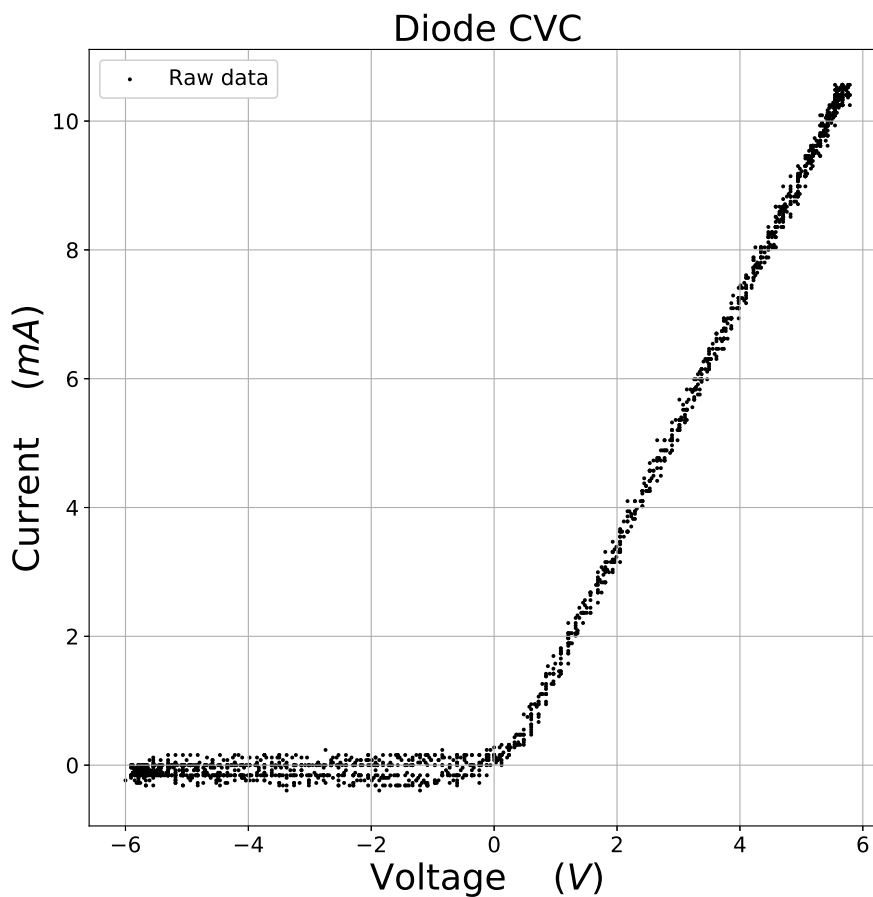


Рис. 4: ВАХ диода

## 1.5 Измерение малого сопротивления

### 1.5.1 Теория работы

Измерить малое сопротивление омметром весьма проблематично, так как так как омметр измерит все сопротивления цепи, включая сопротивления соединительных проводов  $R_{wire}$  и сопротивление самого компонента  $R_{component}$ . Чтобы этого избежать можно использовать 4 проводную схему измерения сопротивления, когда ток и напряжение измеряются независимо друг от друга.

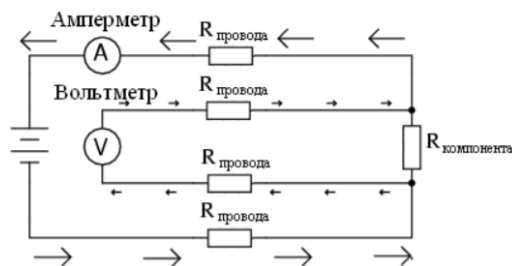


Рис. 5: 4 проводная схема измерения малого сопротивления

При этом по проводам подключения вольтметра будет идти очень незначительный ток, а, следовательно, падение напряжения на них будет таким маленьким, что его можно не принимать во внимание. В качестве вольтметра в данной работе используется мультиметр, ток задается на источнике постоянного тока. Требуется определить сопротивление металлического образца по зависимости напряжения на нем от тока. Оценить погрешность измерений.

### 1.5.2 Ход работы

В ходе работы с помощью мультиметра и блока питания с амперметром были измерены показания напряжения на образце в зависимости от заданной силы тока на блоке питания.

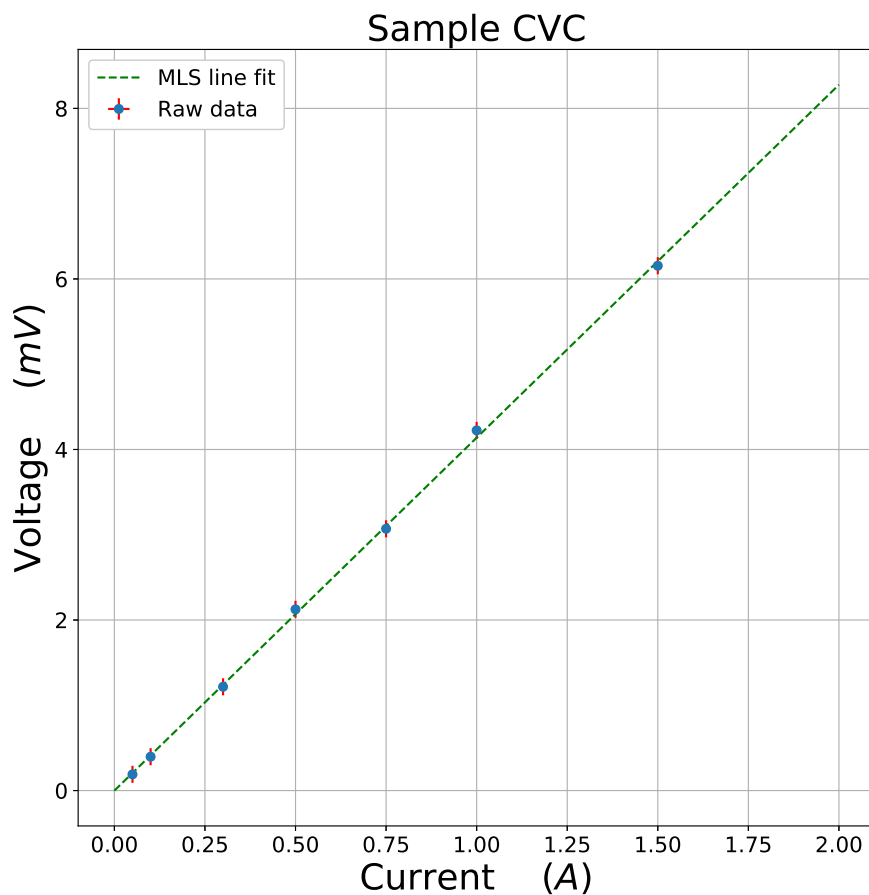


Рис. 6: Зависимость напряжения от тока на образце

С помощью была МНК построена прямая, коэффициент которой определяет искомое значение сопротивления образца  $R = 4.1 \pm 0.1$  мОм. Различные сплавы латуни могут обладать различными удельными сопротивлениями (отличие до 4 раз), что усложняет теоретический подсчет сопротивления образца.

## 2 Генератор Ван Дер Граафа

### 2.1 Оборудование

- Генератор Ван де Граафа
- Источник постоянного тока для питания электродвигателя
- Осциллограф



- Щуп для осциллографа – 1 шт.
- Мультиметр
- Высоковольтный кабель для подключения к сфере генератора
- Провода для заземления

## 2.2 Задачи

- Определить напряжение пробоя воздуха
- Определить напряжение генератора Ван Дер Граафа по длине газового разряда в воздухе

## 2.3 Измерение тока генератора

### 2.3.1 Теория работы

Измерить ток генератора  $I$ . Для этого подключить к генератору мультиметр. Напряжение на генераторе задается источником питания. Провести измерения при различных скоростях вращения ленты (задается установкой напряжения на источнике питания).

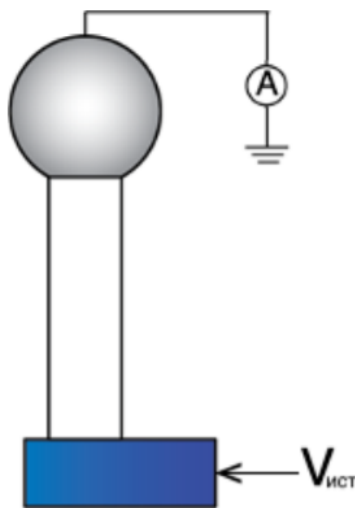


Рис. 7: Схема измерения тока генератора

### 2.3.2 Ход работы

В ходе работы к генератору был подключен мультиметр, ток был измерен при разных напряжениях, подаваемых генератором.

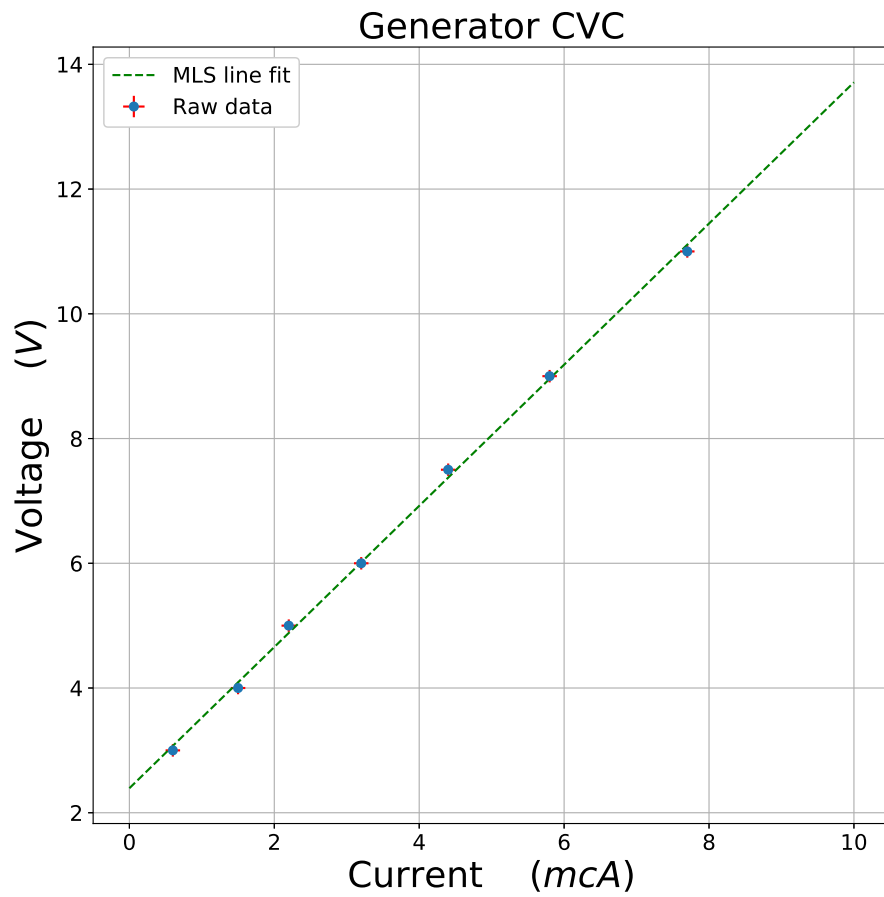


Рис. 8: Зависимость напряжения от тока на генераторе

С помощью МНК была построена прямая, определяющая коэффициент пропорциональности (сопротивление):  $U = 1.132I + 2.393$

## 2.4 Определение напряжения пробоя воздуха

### 2.4.1 Теория работы

Вернуть обратно малую заземленную сферу. Измерить период искрового разряда  $T$  при помощи осциллографа. Для измерения достаточно расположить осциллограф недалеко от генератора, период наводок на экране осциллографа совпадает с периодами искрового разряда. Следует избегать прямого подключения любых измерительных приборов к высоковольтному генератору.

Пренебрегая ёмкостью малой сферы, оценить ёмкость большой сферы генератора как  $C = 4\pi\epsilon_0 r$  где  $r$  – радиус сферы.

Измерить период искрового разряда  $T$  для различных расстояний между сферами.

Полученные выше измерения позволяют оценить напряжение пробоя в зависимости от расстояния  $d$  между сферами:  $E_{bd} = \frac{IT}{dC}$

Оценить погрешность измерений.

### 2.4.2 Ход работы

В ходе работы были измерены периоды искрового разряда  $T$  для разных расстояний при 2 сериях напряжений.

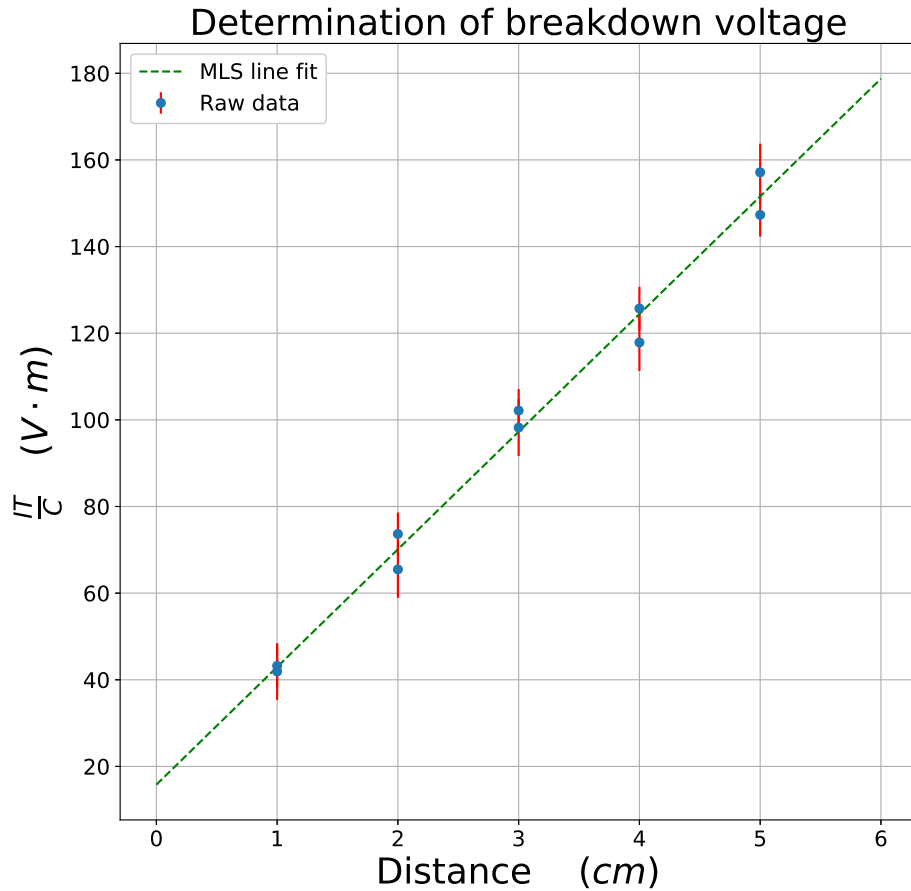


Рис. 9: Зависимость напряжения от тока на генераторе

С помощью МНК была построена прямая, коэффициентом которой является напряженность пробоя воздуха  $E_{bd} = 23 \pm 3$  кВ/см

## 2.5 Оценка напряжений генератора

### 2.5.1 Теория работы

Один из способов измерения больших напряжений – шаровые измерительные разрядники. Порядок измерений высоковольтных напряжений регламентируются в ГОСТ 17512-82 [1]. Напряжение пробоя газов сильно зависит от давления, состава газа и формы электродов. Пренебрегая тем, что сферы имеют различный диаметр, определить напряжение генератора для различных скоростей вращения ленты. Для различных расстояний между сферами  $d$  определить напряжение по Таблице 1. Для условий отличающихся от нормальных следует использовать поправочный коэффициент  $k$ :  $U_{tr} = kU_{tab}$ , где  $U_{tab}$  – значение разрядного напряжения определенное из Таблицы 1,  $U_{tr}$

- истинное значение напряжения. Для значений относительной плотности воздуха от 0.95 до 1.05 поправочный коэффициент  $k$  можно оценить как:  $k = 0.386 \frac{P}{273+t}$  где давление  $P$  выражено в миллиметрах ртутного столба, а температура  $t$  в градусах Цельсия.

Сравнить полученные результаты с результатами из первой части работы.

### 2.5.2 Ход работы

В ходе работы на графике из предыдущей части была построена зависимость напряжения от расстояния предлагаемая Таблицей 1

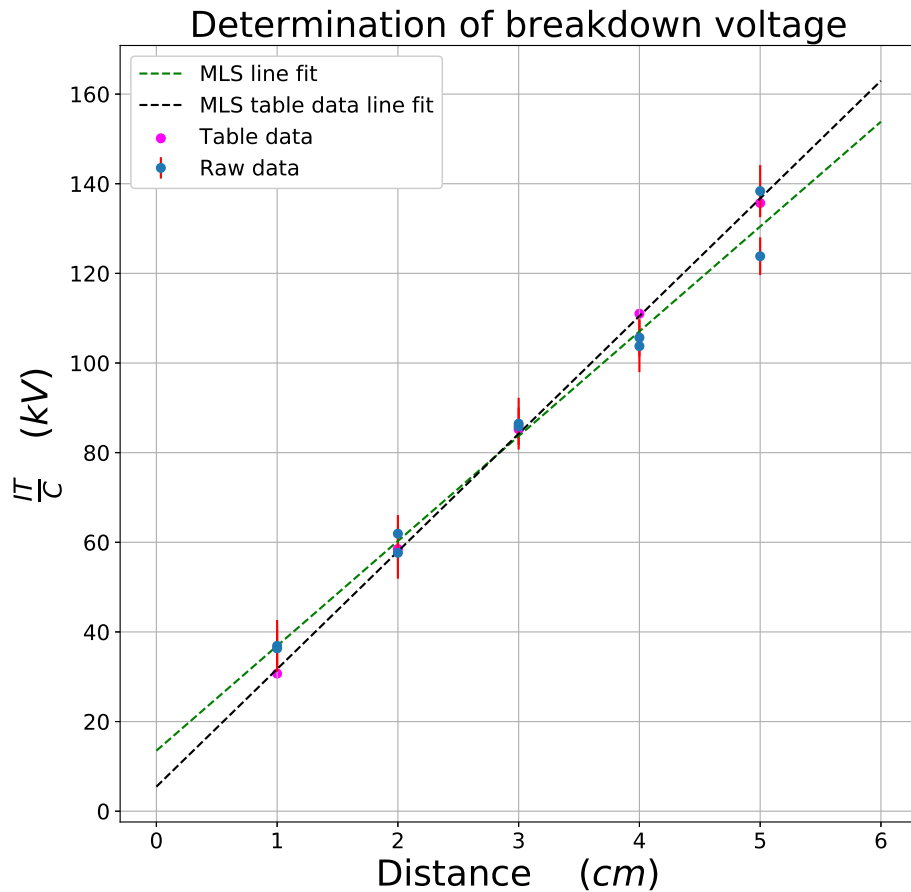


Рис. 10: Зависимость напряжения пробоя воздуха от расстояния между сферами

На график добавилась прямая черного цвета, она соответствует зависимости, построенной по данным из Таблицы 1. Ее коэффициент наклона равен напряженности пробоя воздуха  $E_{bd} = 26$  Кв/м. Как можно заметить, коэффициенты прямых отличаются, но в пределах погрешности экспериментальных данных.