

## Лабораторная работа №2

### Обработка экспериментальных исследований. Интегрирование осциллограмм

#### Измерение сигналов в магнитно-импульсных технологиях

Практическое использование энергии импульсных электромагнитных полей открывает исключительные перспективы для создания прогрессивных технологий по обработке материалов любой физической природы. Здесь возможно комплексное сочетание всех атрибутов, определяющих прогрессивность технических решений различных производственных задач, а именно, экологическая чистота, высокая производительность, экономия материальных и энергетических ресурсов.

Отличительной особенностью полевых методов воздействия является отсутствие непосредственного контакта с обрабатываемым материалом. В этом нет необходимости, поскольку трансформация энергии поля в механическую работу происходит собственно в материале заготовки подлежащей обработке.

Однако, при разработке, проектировании и создании новых прогрессивных магнитно-импульсных технологий достаточно остро стоит вопрос об определении и измерении сигналов, как в силовых цепях, так и в самих инструментах данных технологий. Но, следует подчеркнуть, что измерение токов порядка  $\sim 100$  кА достаточно проблематична. Один из методов, который довольно точно позволяет провести такие измерения, основан на использовании, индукционного датчика – **пояса Роговского**.

Магнитный пояс или **пояс Роговского** используют в качестве датчика в большинстве приборов для измерения тока, выпускаемых в нашей стране и за рубежом. В отечественной литературе его чаще называют магнитный пояс, а за рубежом – пояс Роговского. Магнитный пояс представляет собой катушку с витками, строго равномерно распределенными по длине какой-нибудь ленты, концы которой скреплены, рис. 1. Лента может быть жесткой или гибкой. В качестве основания для катушки может быть использован тор или другое тело, образующее контур обязательно замкнутой формы. Обычно, в целях простоты изготовления и увеличения срока службы катушка размещается на твердом цилиндрическом теле тора, поэтому в некоторых случаях датчики называют тороидами.

Площадь поперечного сечения ленты или тора также должна быть постоянной на всей длине контура. Датчик при измерениях охватывает проводник, по которому течет измеряемый ток. Принцип действия магнитного пояса и предъявляемые к нему требования основаны на законе полного тока, определяющим, что в среде с однородными магнитными свойствами, например в воздухе, линейный интеграл напряженности магнитного поля вдоль замкнутого контура равен электрическому току, охватываемому этим контуром, т.е.

$$\oint Hdl = I,$$

где  $H$  – напряженность магнитного поля;  $l$  – длина контура;  $I$  – ток проводника, в данном случае это сварочный ток.

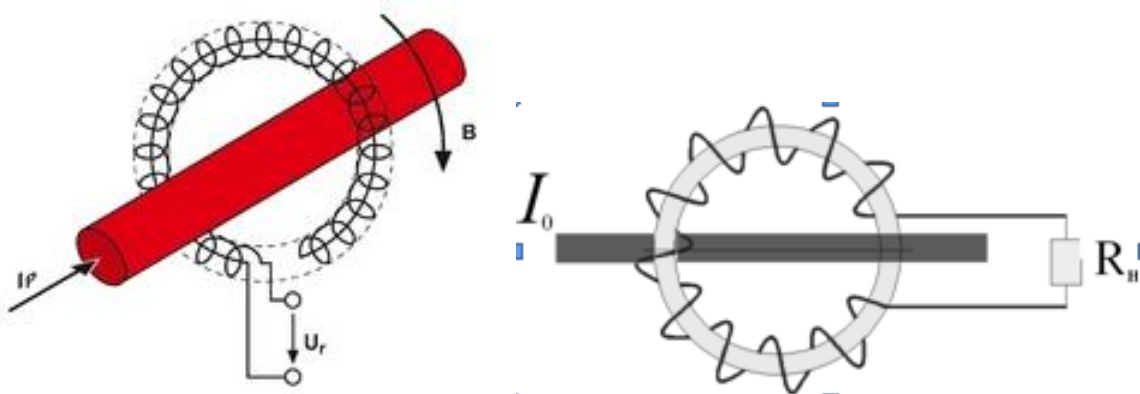


Рис. 1. Схемные изображения пояса Роговского

Для воздуха индукция  $B = \mu_0 H$ , тогда

$$\oint Bdl = \mu_0 I.$$

Резюмируя изложенное.

**Пояс Роговского** – измерительный трансформатор тока, выполненный в виде длинного замкнутого соленоида с произвольной и практически замкнутой формой и равномерной намоткой, один из выводов которой приведён к другому через ось соленоида (назван в честь немецкого физика Вальтера Роговского).

В нагруженном поясе Роговского электродвижущая сила пропорциональна изменению тока  $i(t)$  в объекте измерения:

$$e(t) = \frac{L}{N} \cdot \frac{di(t)}{dt},$$

где  $L$  – индуктивность,  $N$  – количество витков.

Пояс Роговского находит применение в измерительной технике. Выходное напряжение, будучи проинтегрированным по времени, с точностью до константы соответствует току в измеряемой цепи.

Интегрирование сигнала может быть произведено либо техническим способом (применяется специальное устройство – интегратор или интегрирующая цепь, рис. 2), либо аналитическим способом (применяя методы математического аппарата интегрирования).

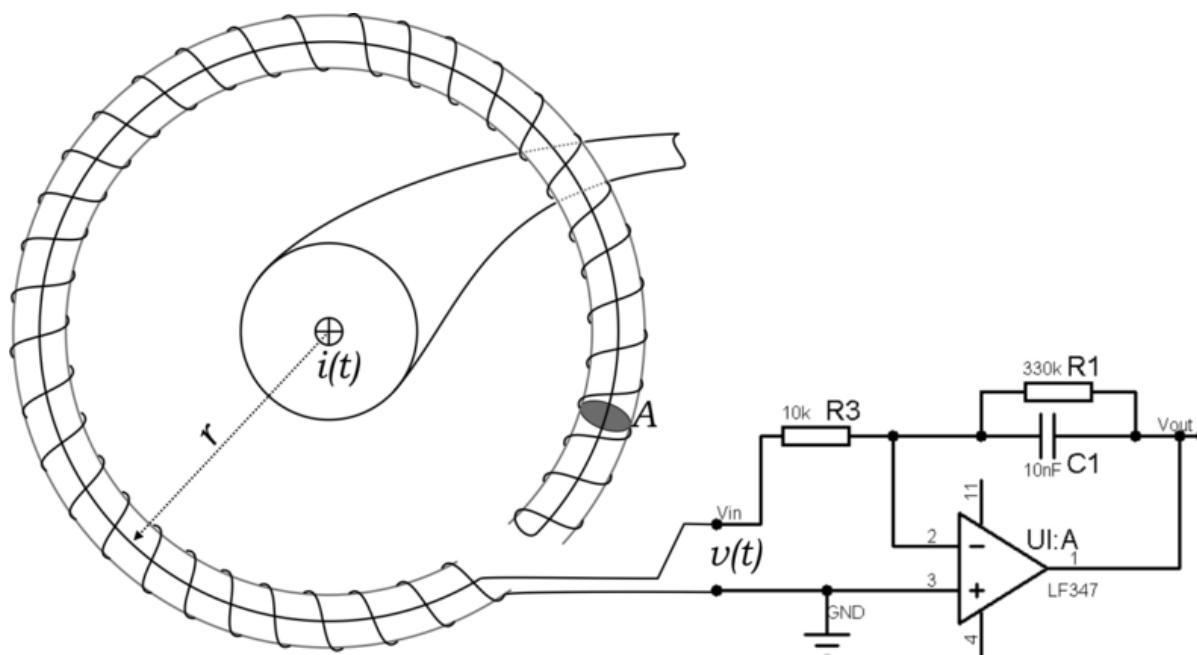


Рис. 2. Схема использования пояса Роговского, подключённого к интегрирующей цепи, для измерения амплитуды импульса тока  $i(t)$ .

**Целью настоящей работы** является приобретение навыков по обработке снятых экспериментальных осциллограмм в прогрессивных магнитно-импульсных технологиях в автотранспортной технике.

#### Условия и ход работы

Экспериментальные исследования проводятся на комплексе для имитации и моделирования процессов в инструментах магнитно-импульсной обработки металлов «МАЛЫШ», разработанного в лаборатории электромагнитных технологий ХНАДУ, рис. 3

Технические характеристики комплекса:

- напряжение питающей сети  $\sim U_c = 220$  В;
- напряжение заряда емкостных накопителей  $U_3 = 650$  В;
- ёмкость конденсаторов комплекса  $C = 33$  мкФ;
- частота следования разрядных импульсов  $f_{\text{имп}} = 20$  Гц.
- собственная частота разрядного импульса  $\sim 30$  кГц;
- амплитуда тока в импульсе, при работе на закороченный выход 3000 А;
- разрядный импульс – затухающая синусоида.

Осциллограммы сигналов измеряются в разрядной цепи комплекса с помощью цифрового осциллографа PV6501 с помощью индукционного датчика – пояса Роговского.



Рис. 3. Комплекс для имитации и моделирования процессов в инструментах магнитно-импульсной обработки металлов «МАЛЫШ»

Типовая осциллограмма сигнала, представлена на рис. 4.

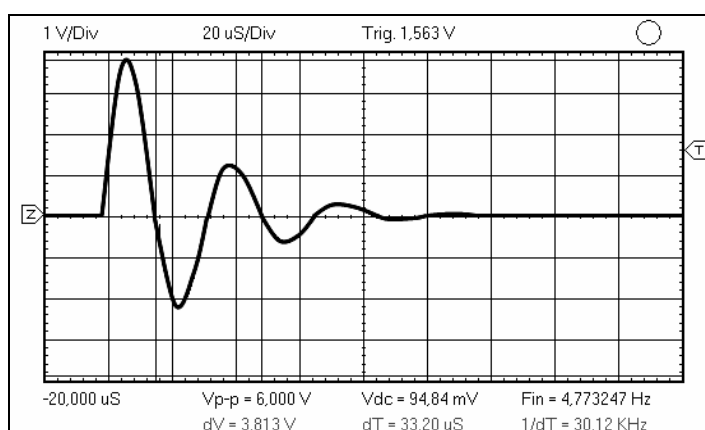


Рис. 4. Осциллограмма разрядного сигнала

Сигнал в разрядном контуре МАЛЫША измерялся с помощью индукционного датчика – пояса Роговского. Исходя из принципов работы пояса Роговского, сигнал, измеренный с его помощью, является производной от первоначального (измеряемого) сигнала, протекающего в проводнике, который он охватывает. Для определения первичного сигнала –  $i(t)$ , необходимо произвести интегрирование сигнала, измеряемого с помощью пояса Роговского, –  $U(t)$ .

Данная операция может быть осуществлена одним из численных методов, например, методом Симпсона [7].

$$i(t) = \int_{t_0}^{t_n} U(t) dt = \frac{t_n - t_0}{3n} \left( \frac{U_0 + U_n}{2} + (U_1 + U_2 + \dots + U_{n-1}) + 2 \left( U_{\frac{1}{2}} + U_{\frac{3}{2}} + \dots + U_{\frac{n-1}{2}} \right) \right), \quad (1)$$

где  $t$  – значение времени в конкретной точке интегрируемого сигнала;

$U$  – значение интегрируемой функции напряжения, соответствующее временным отрезкам измеряемого сигнала;

$i(t)$  – функция силы тока от времени.

$n$  – количество точек интегрирования.

Целесообразность в использовании данного метода состоит в том, что он является наиболее точным, в отличие от аналогичных методов прямоугольников и прямолинейной трапеции [6].

Применим формулу (1) для интегрирования экспериментально полученных осциллограмм напряжения. Расчет и построение графических зависимостей  $y = I(t)$  проводился на базе пакета программ *Microsoft Office Excel 2003*.

Для более качественного анализа процесса протекания тока, форма которого приближается к колебательной и характерной для реальных МИУ, необходимо рассчитать ряд фундаментальных величин, от которых, собственно, и зависит, как форма токового сигнала, так и его амплитудные и временные характеристики. Это декремент затухания сигнала токового импульса  $\delta$ , индуктивность  $L$  и активное сопротивление  $R$  разрядной цепи.

Запишем основные расчетные соотношения в соответствии с [2 – 4, 8].

Циклическая частота колебаний, рад/с:

$$\omega = 2\pi \cdot f. \quad (2)$$

Логарифмический декремент затухания

$$\lambda = \ln \frac{U_1}{U_2}, \quad (3)$$

где  $U_1 = U(t)$ ;  $U_2 = U(t+T)$  – значение напряжения  $U$ , В за время  $t$ , с, измеренное с помощью пояса Роговского;

$T$  – период колебания, при заданной частоте  $f$ , Гц (среднее значение, измеренное по осциллограмме)

$$T = \frac{1}{f}.$$

Абсолютный декремент затухания:

$$\delta = \frac{\lambda}{T}. \quad (4)$$

Зная величину декремента затухания, можно судить об интенсивности изменения амплитуды сигнала за промежуток времени равный периоду. Чем меньшее значение декремента затухания, тем большее воздействие будет происходить на металл со стороны магнитного поля индуктора.

Собственная частота колебаний разрядного контура в рад/с определяется:

$$\omega_0 = \sqrt{\omega^2 + \delta^2}. \quad (5)$$

Индуктивность  $L$ , Гн разрядного контура определяется:

$$L = \frac{1}{\omega_0^2 \cdot C} \quad (6)$$

Активное сопротивление  $R$ , Ом разрядного контура определяется:

$$R = 2 \cdot \delta L \quad (7)$$

Совокупность выражений (1),(4)-(7), в указанной последовательности, позволяют рассчитывать все основные характеристики процесса разрядного импульса. По значениям приведенных показателей, можно судить о работоспособности прогрессивных методов магнитно-импульсных технологий.

### Задачи исследований

В ходе проведения экспериментальных исследований предлагается провести следующие опыты.

1. Выводы МАЛЫША закорочены. Измерение осциллограммы производится с закоротки.
2. К выводам «МАЛЫША» подключается согласующее устройство (СУ) цилиндрического типа. Измерение осциллограммы производится в первичной обмотке СУ, рис. 5.

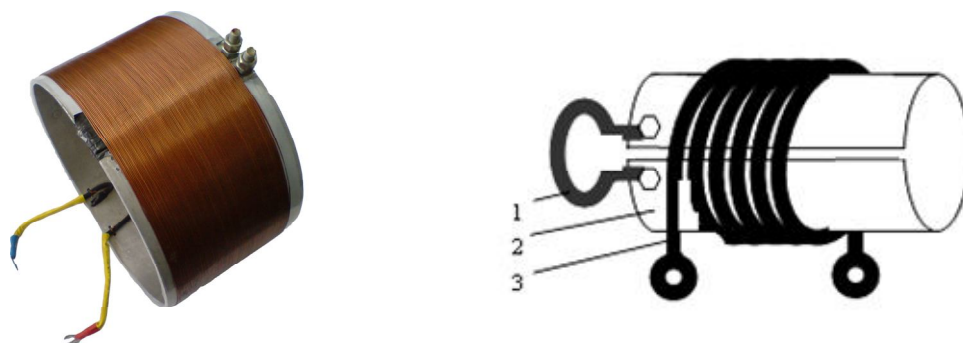


Рис. 5. Внешний вид и схематическое изображение СУ с вторичным витком в виде цилиндра с продольным разрезом: 1 – нагрузка (исследуемая индукторная система); 2 – вторичная обмотка СУ; 3 – первичная обмотка СУ

3. К выводам «МАЛЫША» подключается СУ дискового типа. Измерение осциллограммы производится в первичной обмотке СУ, рис. 6.



Рис. 6. Внешний вид и схематическое изображение СУ с плоским вторичным витком, имеющим радиальный разрез: 1 – нагрузка (исследуемая индукторная система); 2 – вторичная обмотка СУ; 3 – первичная обмотка СУ

4. К выводам «МАЛЫША» подключается индуктор с рабочей областью конического профиля (конический индуктор). Измерение осциллограммы производится в через отверстие в центральной части рабочей области конического индуктора, рис. 7.



Рис. 7. Внешний вид индуктора с рабочей областью конического профиля

### Обработка осциллограмм

Экспериментально измеренные осциллограммы необходимо проинтегрировать, используя выше представленную методику метода Симсона.

Для большей наглядности необходимо использовать относительные единицы измерения.

$$I_{\text{ini}}(t) = \frac{I(t)}{I_{\text{max}}} \quad (8)$$

В табл.1 сводятся конечные результаты расчетов по соотношениям (2) – (7).

Таблица 1

### Расчетные характеристики

Исследуемые элемент	Характеристики разрядного контура			
	Декремент Затухания		Индуктивность $L$ , мкГн	Активное сопротивление $R$ , Ом
	$\lambda$	$\delta$		
МАЛЫШ - выводы закорочены				
СУ цилиндрического типа				
СУ дискового типа				
Конический индуктор				

В соответствии с проведенными исследованиями делаются выводы по работе.

**В отчете по лабораторной работе должны быть отражены следующие вопросы:**

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Задачи проводимых исследований.
4. Характеристики лабораторного оборудования
5. Измеренные осциллограммы в соответствии с поставленными задачами.
6. Ход и результаты численной обработки измеренных осциллограмм. Сводная таблица полученных данных.
7. Выводы по проведенным исследованиям.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Назначение и принцип действия пояса Роговского.
2. Как производят интегрирование сигнала снятого с пояса Роговского?
3. Дайте определение закону полного тока. Аналитическая запись.
4. Назначение и принцип действия СУ в технике МИОМ.
5. Какие бывают типы СУ? Их конструктивное различие.
6. В чём состоит перспективность магнитно-импульсных технологий для современной промышленности и промышленности будущего?
7. Индукционные индукторные системы, схема и принцип действия?
8. Состав и назначение оборудования для магнитно-импульсной обработки металлов.
9. Какова отличительная особенность полевых методов воздействия является?
10. Где конкретно в технике МИОМ происходит трансформация энергии поля в механическую работу?
11. Что лежит в основе механизма силового воздействия для проводников?
12. Чем является индукторная система в технике МИОМ?
13. Как определяется индуктивность системы магнитно-импульсной обработки металлов?