

Лабораторная работа №3, №4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНДУЦИРОВАННОГО ТОКА ИНДУКТОРАМИ КРУГОВОЙ И ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ

Аксиально-симметричные цилиндрические конструкции инструментов магнитно-импульсной рихтовки

Создание действенных инструментов бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки (индукторных систем) требует адекватных представлений о характере протекающих электродинамических процессов. В первую очередь, речь идёт о возбуждении вихревых токов в заготовках – элементах рихтуемого образца обшивки кузова автомобиля, и их взаимодействии с током в инструменте рихтовки, возбуждении сил магнитного давления и соответствующих расчётных соотношениях.

Во всех известных научных публикациях как современных, так и прошлых лет, теоретические исследования и расчёты базируются на традиционных представлениях МИОМ о характере протекающих электромагнитных процессов. В основе этих представлений лежат выводы, хорошо известные в электродинамике и полученные для массивных хорошо проводящих металлических объектов. Это представления о характере возбуждаемых вихревых токов, о возникающих силовых эффектах взаимодействия с ними внешних магнитных полей, то есть появлении в конечном итоге, так называемых, пондеромоторных сил.

В этой связи необходимо подчеркнуть, что удачными практическими реализациями магнитно-импульсных технологий оказались лишь те, где в качестве обрабатываемых объектов выступали именно массивные хорошие проводники (режим резкого поверхностного эффекта). Этот факт только подтверждает сомнения в правомерности использования традиционных представлений об электромагнитных процессах, если речь идёт о магнитно-импульсных технологиях, когда имеет место существенная диффузия действующих полей.

Одновитковые индукторные системы оказались (как показала практика МИОМ) наиболее эффективными в экспериментах по магнитно-импульсному притяжению заданных участков тонкостенных листовых металлов (рихтовки).

Аксиально-симметричная конструкция индуктора в индукторной системе представляется наиболее простой и прозрачной из физических соображений для понимания реальной сущности процессов силового взаимодействия проникающих полей с проводящими объектами.

Цель работы – экспериментальные исследования радиального распределения индуцированного тока индукторами круговой и прямоугольной формы

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. 1.

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 ~ 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.



Рис. 1. Комплекс для имитации и моделирования процессов в инструментах магнитно-импульсной обработки металлов «МАЛЫШ»

Объект исследования:

1. КРУГОВЫЕ ИНДУКТОРЫ:

- 1.1. «Замкнутый» круговой виток;
- 1.2. Круговой виток с разрывом $\sim 90^\circ$;
- 1.3. Круговой виток с разрывом $\sim 180^\circ$;
- 1.4. «Конический» индуктор.

2. ВИТОК КВАДРАТНОЙ ФОРМЫ:

- 2.1. токи в ветвях направлены в одну сторону (согласованное включение ветвей).
- 2.2. токи в ветвях направлены противоположно (встречное включение ветвей).

Схема эксперимента:

1. Комплексе для имитации и моделирования процессов в инструментах магнитно-импульсной обработки металлов «МАЛЫШ».
2. Согласующее устройство – трансформатор тока (понижает частоту разрядного импульса до $f \approx 2$ кГц).
3. Измеритель – цифровой осциллограф PV-605.
4. Листовая заготовка (размеры листовой заготовки – $200 \times 200 \times 1$ мм, количество позиций измерения – 17, количество выводов – 34; рис.2, 3а, 3б).

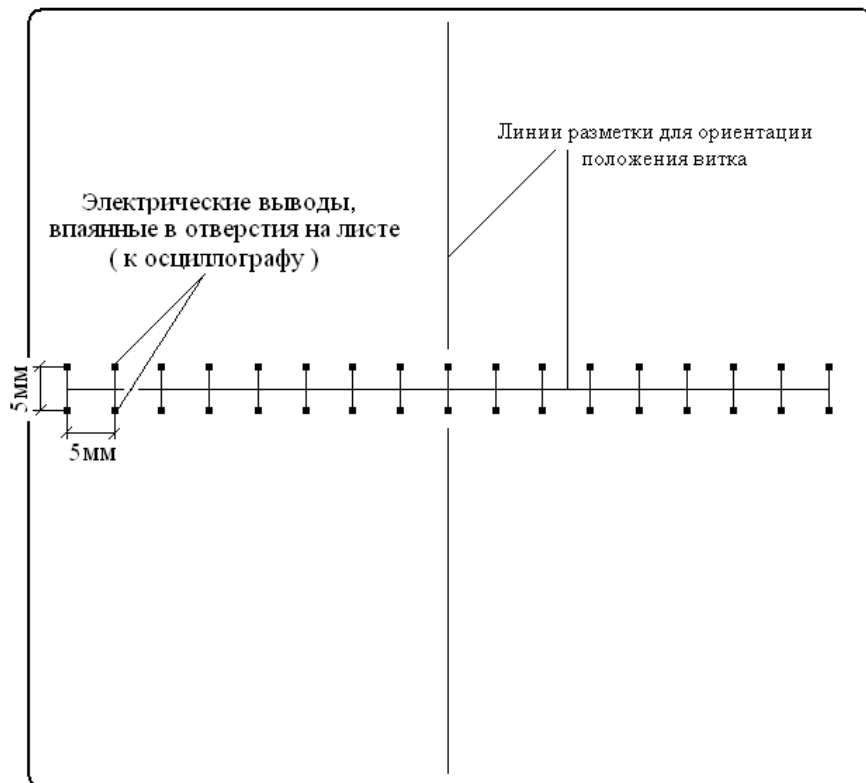


Рис. 2. Схематическое изображение листовой заготовки со стороны выводов для проведения измерений

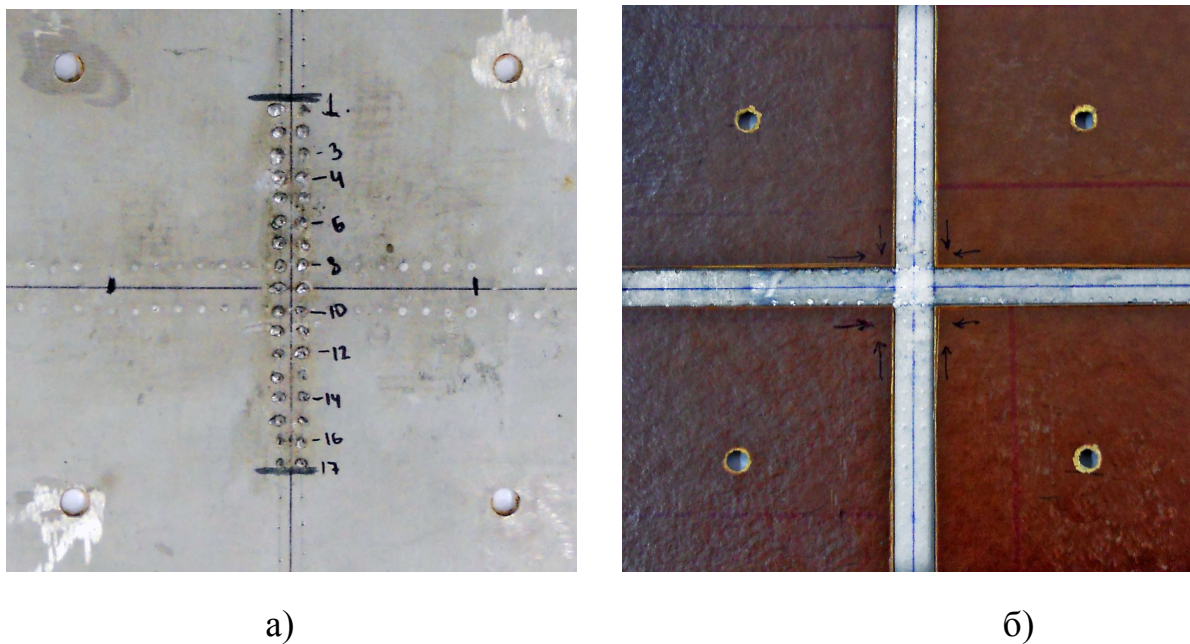


Рис. 3. Экспериментальный образец: а) листовая заготовка со стороны выводов; б) листовая заготовка со стороны противоположной выводам

На плоскость листовой заготовки со стороны, противоположной электрическим выводам для измерений, по размеру листа наклеена пластина изолятора толщиной 1мм (рис. 3б). Индуктор размещен поверх пластины изолятора на плоскости листовой заготовки со стороны, противоположной электрическим выводам для измерений (рис. 3а).

Задачи исследований

В ходе проведения экспериментальных исследований предлагается провести следующие опыты.

1. Измерение наведенного сигнала в листовой заготовке «замкнутым» круговым витком вдоль линии разрыва, рис. 4, рис. 9.
2. Измерение наведенного сигнала в листовой заготовке «замкнутым» круговым витком перпендикулярно линии разрыва, рис. 10.
3. Измерение наведенного сигнала в листовой заготовке круговым витком с разрывом $\sim 90^\circ$ вдоль линии разрыва, рис. 5, рис. 11.
4. Измерение наведенного сигнала в листовой заготовке круговым витком с разрывом $\sim 90^\circ$ перпендикулярно линии разрыва, рис. 12.
5. Измерение наведенного сигнала в листовой заготовке круговым витком с разрывом $\sim 180^\circ$ вдоль линии разрыва, рис. 6, рис. 13.
6. Измерение наведенного сигнала в листовой заготовке круговым витком с разрывом $\sim 180^\circ$ перпендикулярно линии разрыва, рис. 14.
7. Измерение наведенного сигнала в листовой заготовке витком квадратной формы, токи в ветвях направлены в одну сторону (согласованное включение ветвей) перпендикулярно линии разрыва, рис. 7, рис. 15.
8. Измерение наведенного сигнала в листовой заготовке витком квадратной формы, токи в ветвях направлены противоположно (встречное включение ветвей) перпендикулярно линии разрыва, рис. 16.
9. Измерение наведенного сигнала в листовой заготовке витком квадратной формы, токи в ветвях направлены противоположно (встречное включение ветвей) вдоль линии разрыва, рис. 17.
10. Измерение наведенного сигнала в листовой заготовке «коническим» индуктором вдоль линии разрыва, рис. 8.
11. Измерение наведенного сигнала в листовой заготовке «коническим» индуктором перпендикулярно линии разрыва, рис. 8.

«Замкнутый» круговой виток

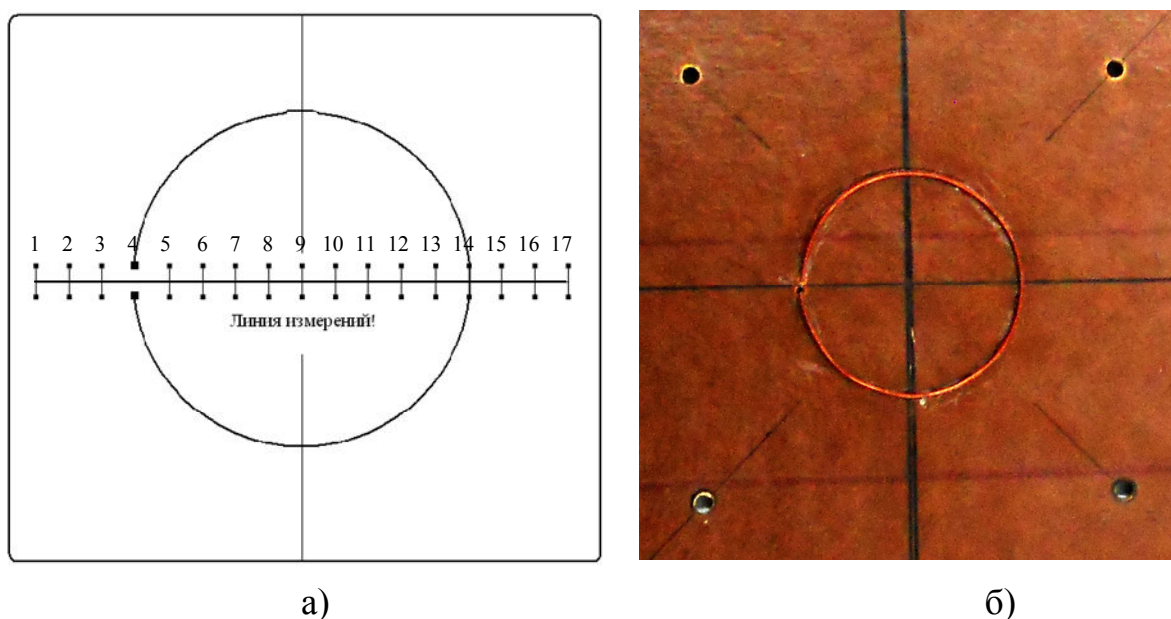
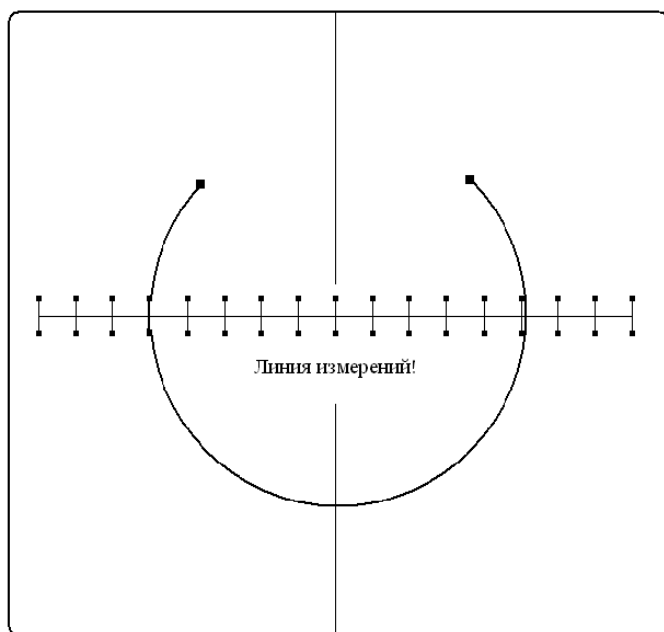
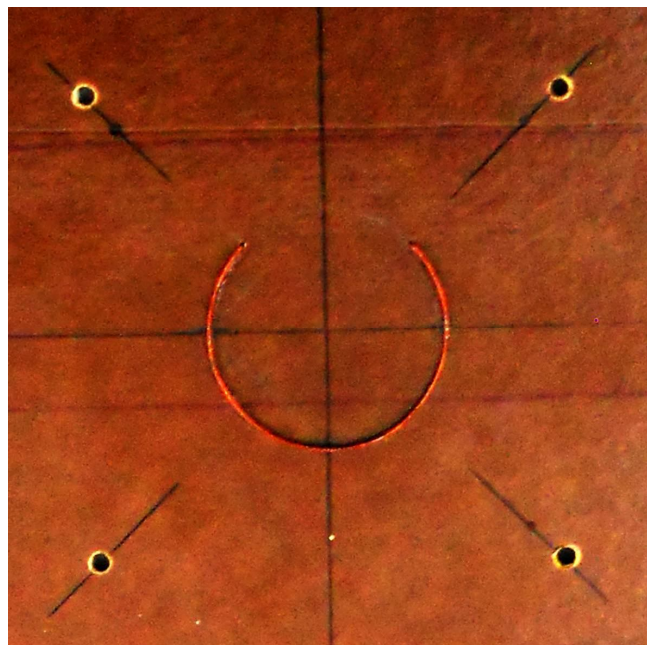


Рис. 4. Индуктор с круговым витком без разрыва: а) схематическое изображение; б) экспериментальный образец
Круговой виток с разрывом $\sim 90^\circ$



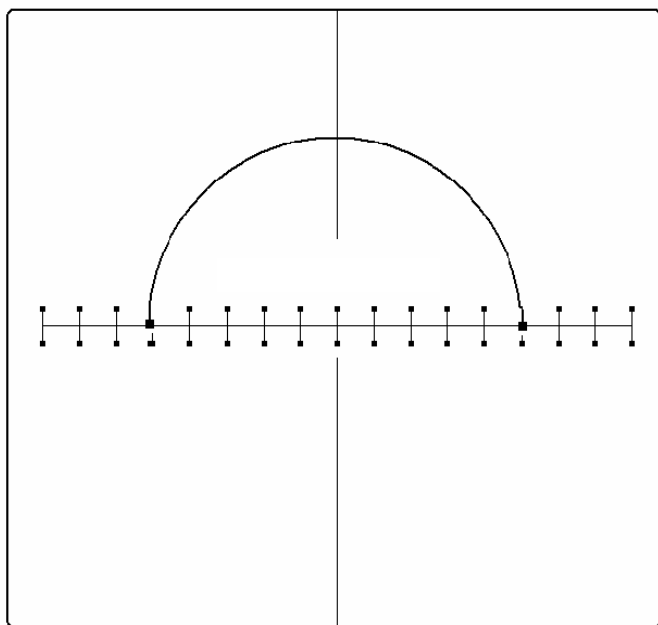
а)



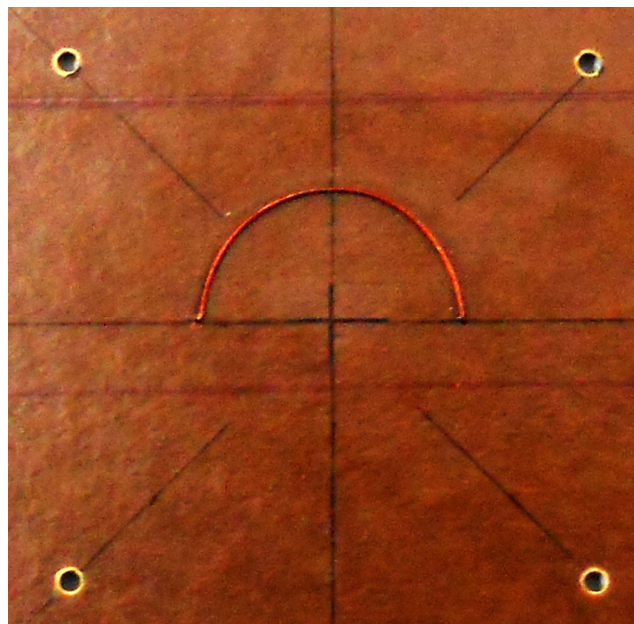
б)

Рис. 5. Индуктор с круговым витком (разрыв 90°): а) схематическое изображение; б) экспериментальный образец

Круговой виток с разрывом $\sim 180^\circ$



а)



б)

Рис. 6. Индуктор с круговым витком (разрыв 180°): а) схематическое изображение; б) экспериментальный образец

Виток квадратной формы

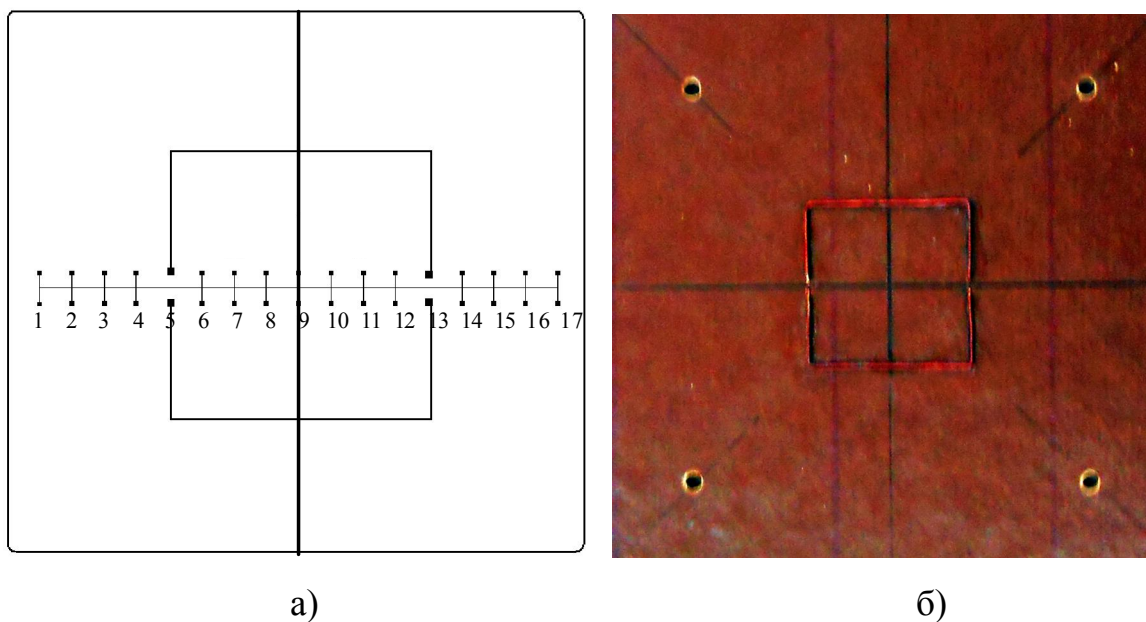


Рис. 7. Индуктор с квадратным витком: а) схематическое изображение; б) экспериментальный образец

«Конический» индуктор

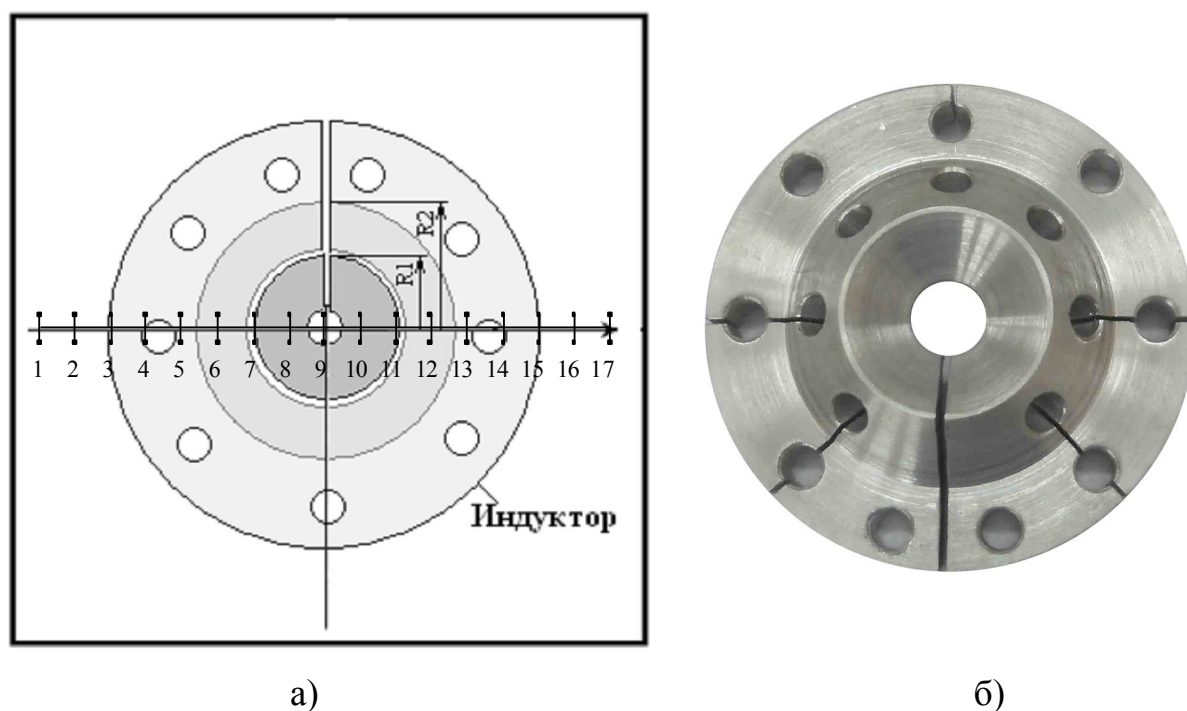


Рис. 8. Индуктор с рабочей областью конического профиля: а) схематическое изображение; б) экспериментальный образец

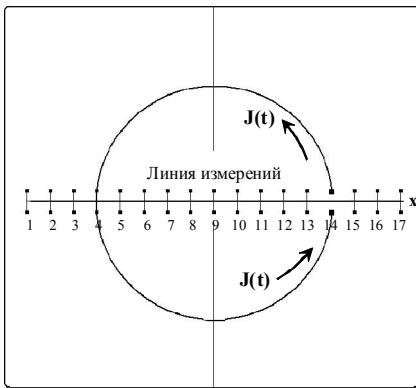
Обработка измерений

В соответствии с поставленными задачами необходимо провести измерения с заполнением табл. 1. По результатам проведенных измерений строятся графические зависимости распределения индуцированного тока в тонкостенной немагнитной пластине, примерный вид которых представлен на рис. 96 – 176.

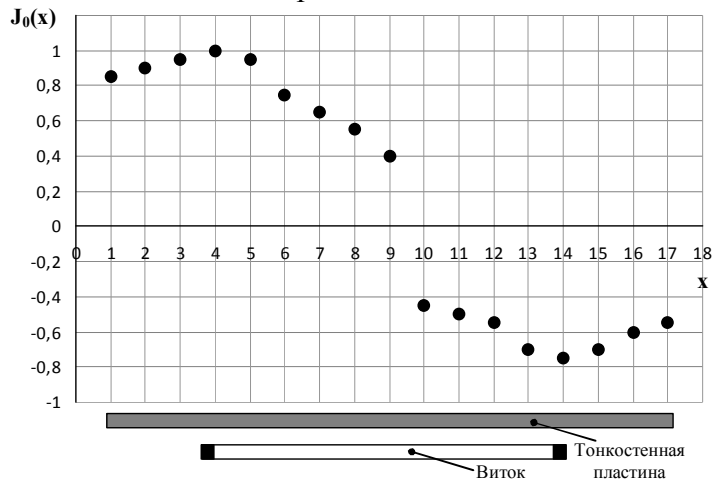
Результаты измерений

Опыт	Позиция измерения																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
№1																	
№2																	
№3																	
№4																	
№5																	
№6																	
№7																	
№8																	
№9																	
№10																	
№11																	

«Замкнутый» круговой виток. Выводы витка на линии измерений.



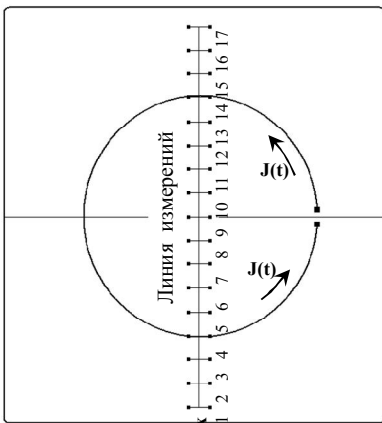
а)



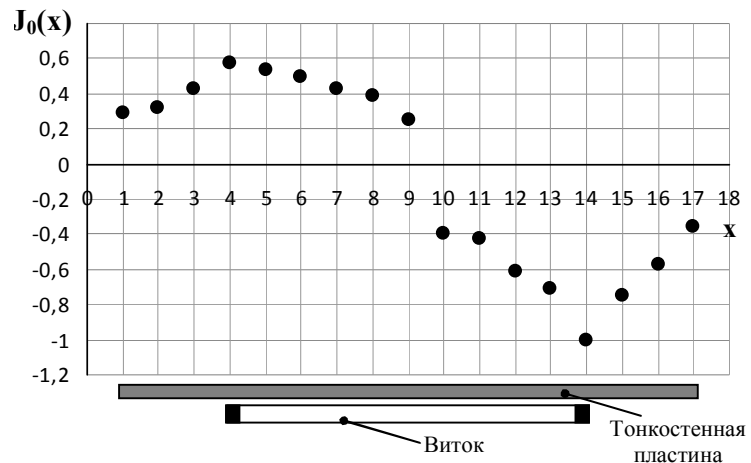
б)

Рис.9. Распределение индуцированного тока в тонкостенной немагнитной пластине, а) схема измерений, б) результаты измерений

«Замкнутый» круговой виток. Выводы витка перпендикулярны линии измерений.



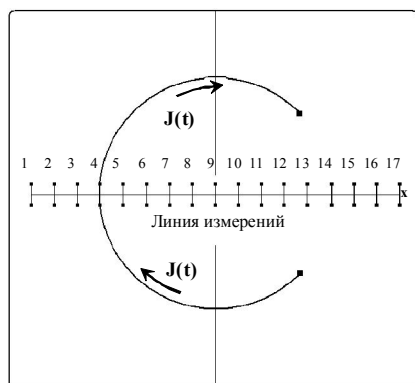
а)



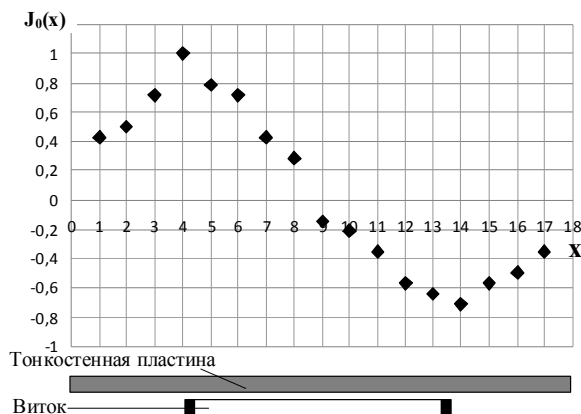
б)

Рис.10. Распределение индуцированного тока в тонкостенной немагнитной пластине, а) схема измерений, б) результаты измерений

Круговой виток с разрывом 90° . Разрыв на линии измерений.



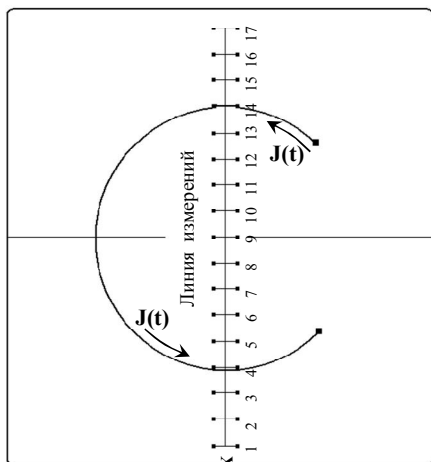
а)



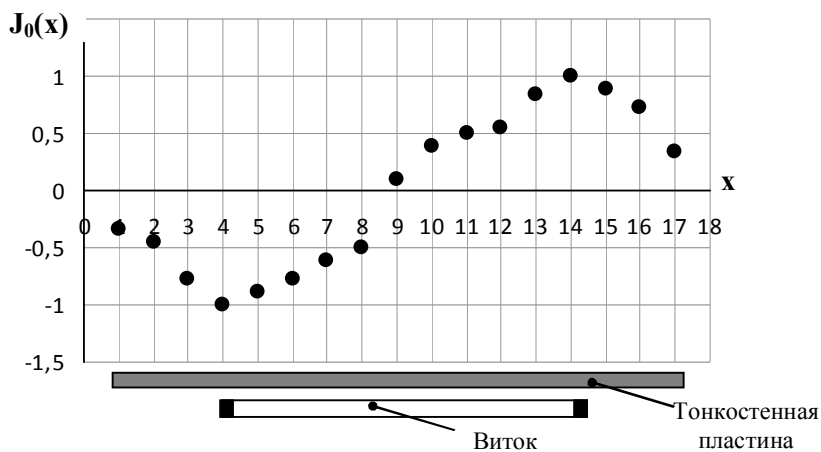
б)

Рис. 11. Распределение индуцированного тока в тонкопленочной немагнитной пластине, а) схема измерений, б) результаты измерений

Круговой виток с разрывом 90° . Разрыв перпендикулярен линии измерений.



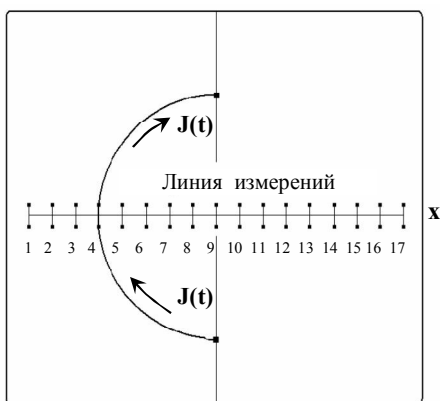
а)



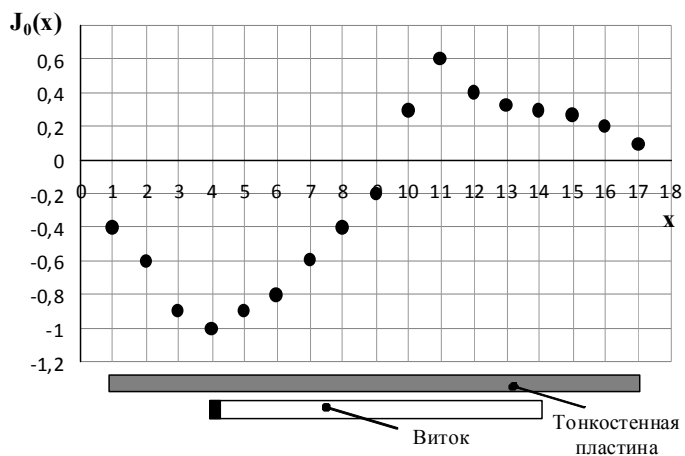
б)

Рис.12. Распределение индуцированного тока в тонкопленочной немагнитной пластине, а) схема измерений, б) результаты измерений

Круговой виток с разрывом 180° . Разрыв на линии измерений.



а)



б)

Рис.13. Распределение индуцированного тока в тонкопленочной немагнитной пластине, а) схема измерений, б) результаты измерений.

Круговой виток с разрывом 180° . Разрыв перпендикулярен линии измерений

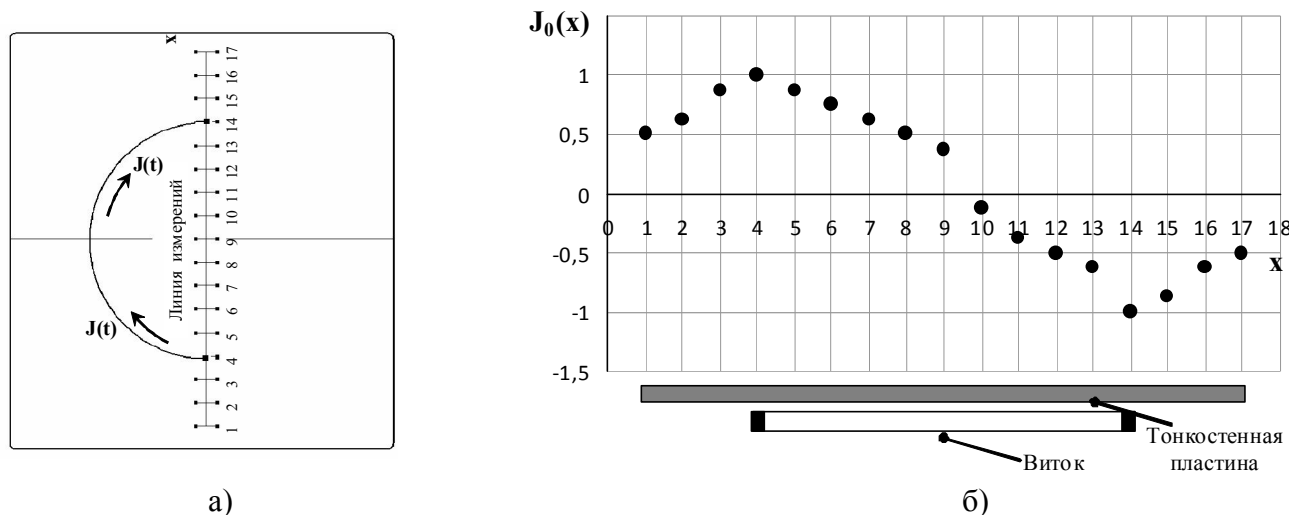


Рис.14. Распределение индуцированного тока в тонкостенной немагнитной пластине: а) схема измерений, б) результаты измерений

Квадратный виток из двух ветвей с одинаково направленными токами – $J(t)$

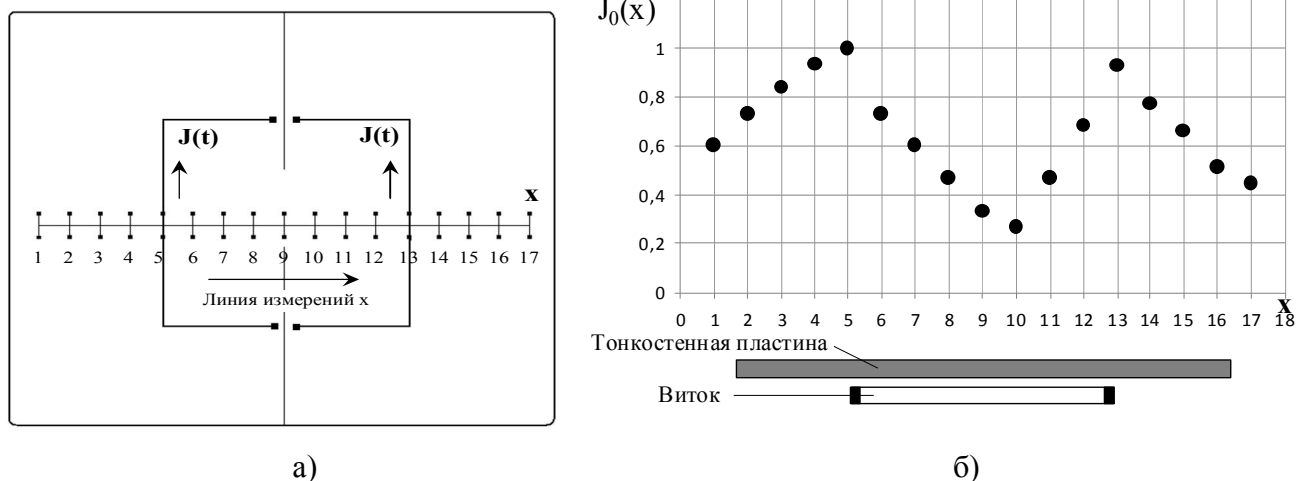


Рис.15. Распределение индуцированного тока в тонкостенной немагнитной пластине, а) схема измерений, б) результаты измерений

Квадратный виток из двух ветвей с противоположно направленными токами – $J(t)$

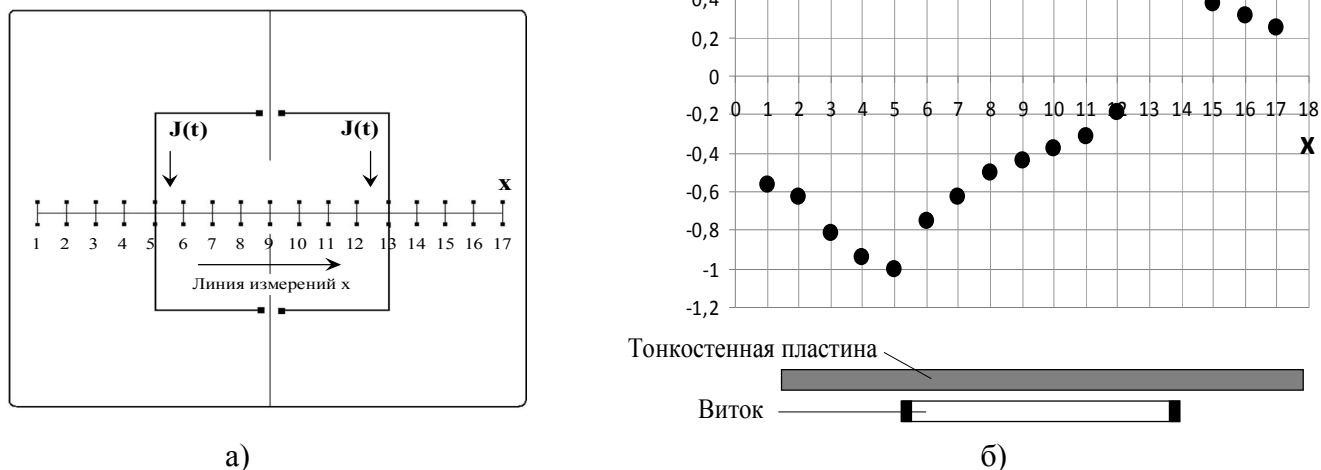
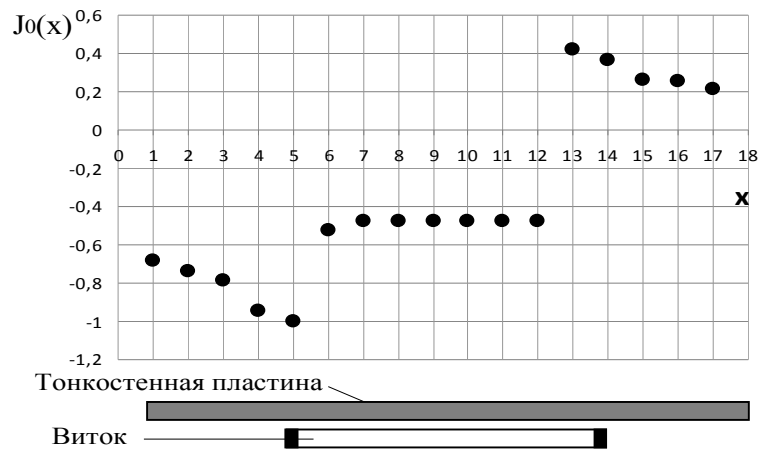
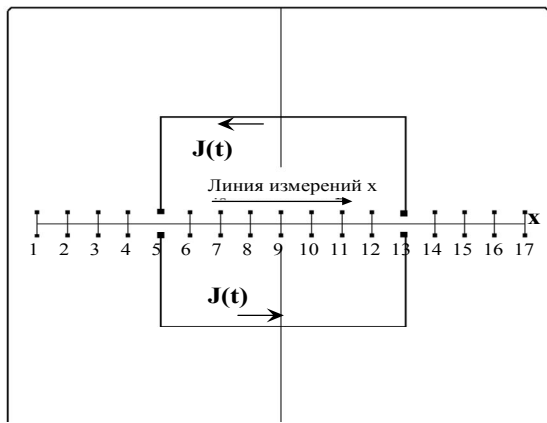


Рис.16. Распределение индуцированного тока в тонкостенной немагнитной пластине, а) схема измерений, б) результаты измерений

Квадратный виток из двух ветвей с противоположно направленными токами – $J(t)$



а)

б)

Рис.17. Распределение индуцированного тока в тонкостенной немагнитной пластине, а) схема измерений, б) результаты измерений

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 данные в соответствии с поставленными задачами, табл.1.
6. Графические зависимости распределения индуцированного тока в тонкостенной немагнитной пластине и схема эксперимента для каждого опыта.
7. Выводы по проведенным исследованиям.

Вопросы для самопроверки

1. Основні компоненти магнітно-імпульсного джерела потужності, особливості з виконанням шинування?
2. Чим обумовлений механізм виникнення зусиль при взаємодії електромагнітного поля з речовиною? Які сили лежать в основі цього механізму?
3. Які сили визначають магнітний тиск на провідник, і які умови для вихрових струмів в заготівці при цьому повинні дотримуватися?
4. В яких випадках індукований в заготівці струм прагне до похідної від струму індуктора?
5. Що у функціональній схемі магнітно-імпульсної установки є найважливішим енергетичним вузлом?
6. У чому полягає ефект магнітно-імпульсного притягання феромагнетиків, зафіксованого в експериментах з тонкостінними сталевими пластинами?
7. Чим пояснюється прагнення до нуля інтегральної дії в часі сил Лоренца при низьких робочих частотах діючих полів?
8. Чи має місце кумулятивний характер сил Лоренца при низьких частотах?
9. Часовий характер сил магнітного притягання? Чи має місце кумулятивний характер цих сил?
10. У чому переваги і недоліки циліндричної плоскої індукторної системи в порівнянні з масивним індуктором, внутрішній отвір якого має форму усіченого конусу?