

поможет адаптироваться к изменяющимся условиям рынка и разработать стратегии [6], которые будут соответствовать потребностям клиентов и изменяющейся среде.

Список литературы

1. Корнева О.Ю. Аспекты вывода нового продукта на рынок (нетипичный подход) // О.Ю. Корнева, И.В. Плотникова, Л.М. Борисова / в сборнике.: Экономика, менеджмент и сервис: проблемы и перспективы. Материалы II Всероссийской научно-практической конференции. – 2020. – С. 147–151.
2. Дейнинг А.В. Методы стратегического анализа внешней среды организации / А.В. Дейнинг // Материалы XIII международной научно-практической конференции молодых ученых, студентов и магистрантов. – 2018. – С. 75–79.
3. Болатбекова Д.Г. Современные инструменты для снижения издержек компании / Д.Г. Болатбекова, И.В. Плотникова // в сборнике : Актуальные проблемы экономики и управления в XXI веке Сборник научных статей V Международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 210–214.
4. Камышев А.И. Анализ среды организации и формирование ее СМК по требованиям ISO 9001:2015. Часть 1. Анализ внешней среды / А.И. Камышев // Методы менеджмента качества. – 2016. – № 5. – С. 28–35.
5. Мамедов Б.И. Конкуренция на рынке банковских услуг: проблемы и тенденции развития / Б.И. Мамедов. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2022. – № 7 (402). – С. 250–253.
6. Франк Йейтс Управление решениями: как обеспечить вашу компанию лучшими решениями / Франк Йейтс. – М.: Гордон, 2012. – 56 с.

УДК 621.317.421:620.179.14

ВЗАИМОИНДУКТИВНЫЙ МАГНИТНЫЙ ТОЛЩИНОМЕР ПОКРЫТИЙ

Полковникова Елена Евгеньевна

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: eep18@tpu.ru

MUTUALLY INDUCTIVE MAGNETIC COATING THICKNESS GAUGE

Polkovnikova Elena Evgenievna

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

Аннотация: в статье рассматривается принцип действия взаимноиндуктивного магнитного толщиномера покрытий. В работе рассматриваются графики зависимостей и получение формулы математической зависимости при помощи полинома третьей степени. Так же рассмотрены факторы, негативно влияющие на снятие показаний, такие как краевой эффект и толщина ферромагнитного основания.

Abstract: the article discusses the principle of operation of a mutually inductive magnetic coating thickness gauge. The paper considers dependency graphs and obtaining a mathematical dependence formula using a polynomial of degree 3. Factors that negatively affect the taking of readings, such as the edge effect and the thickness of the ferromagnetic base, are also considered.

Ключевые слова: преобразователь; толщинометрия; магнитный контроль.

Keywords: transducer; thickness measurement; magnetic control.

Защита изделий от коррозии является одной из основных проблем в современном производстве. Для введения изделий в эксплуатацию необходимо подобрать качественное покрытие, отвечающее необходимым для его использования требованиям, а также правильным образом нанести покрытие на объект. При нанесении недостаточного количества защиты, произойдет её быстрый износ, что повлечёт за собой скорый выход изделия из строя. В то же время, большое количество защитного покрытия зачастую экономически невыгодно

предприятиям. Из-за этих факторов появляется необходимость в определённом оптимальном количестве защиты. Именно поэтому контроль толщины защитных покрытий является одной из важнейших задач неразрушающего контроля.

Для осуществления измерения толщины используются различные методы неразрушающего контроля. В зависимости от метода различают механические, электромагнитные, ультразвуковые, магнитные и вихретоковые толщиномеры [1].

При выборе толщиномера необходимо учитывать его технические характеристики. Так, для ультразвукового толщиномера требуется калибровка для каждого отдельного материала и хороший контакт с поверхностью материала, а толщиномеры, действие которых основано на вихретоковом методе, подходят только для контроля электропроводящих объектов. Магнитный контроль широко эффективен для толщинометрии из-за своей высокой надёжности. Его преимуществами являются высокая чувствительность простая технология, экологичность, наглядность результатов и возможность проводить измерения в любом месте. Существенными недостатками метода является то, что он применим в основном для ферромагнитных сплавов, а также его чувствительность очень сильно зависит от шероховатости поверхности объекта контроля [2, 3].

Действие магнитных преобразователей основано на магнитных свойствах веществ и преобразовании физических величин, зависящих от этих свойств, в электрический сигнал. Так, взаимноиндуктивное измерительное преобразование основано на зависимости взаимной индуктивности обмоток от параметров обмоток и магнитной цепи, в которую включены обмотки, а также от взаимного положения обмоток [4].

Для исследования преобразователя была использована система магнитного контроля СМК-03, предназначенная для нахождения зависимостей амплитуды выходного сигнала от основных параметров ферромагнитного объекта контроля.

Измерительный преобразователь включает в себя три обмотки и ферромагнитный сердечник (см. рисунок 1). Обмотка возбуждения w_1 создаёт магнитное поле, которое компенсируется измерительной w_{21} , и компенсационной w_{22} обмотками, включенными последовательно встречно, благодаря чему выходной сигнал преобразователя близок нулю.

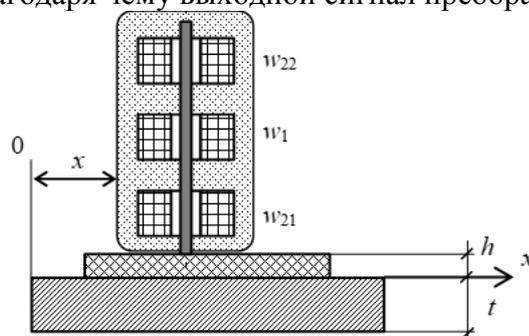


Рисунок 1 – Дифференциальный взаимноиндуктивный магнитный измерительный преобразователь над объектом контроля

При наличии вблизи преобразователя ферромагнитного объекта происходит перераспределение магнитных потоков и возникновение выходного сигнала. Измеритель вносимых напряжений выделяет комплексные составляющие сигнала. Устройство сбора данных преобразует выходные сигналы блока измерителя, пропорциональные амплитудам действительной и мнимой комплексных составляющих выходного напряжения магнитного преобразователя, в цифровую форму. Далее при помощи программы LabView осуществляется определение значений действительной и мнимой комплексных составляющих, амплитуды и фазы выходного напряжения.

Используя взаимноиндуктивный толщиномер системы СМК-3 можно рассмотреть зависимость амплитуды выходного сигнала от толщины электропроводящего и диэлектрического покрытий. Таким образом получим следующий график зависимости (см. рисунок 2):

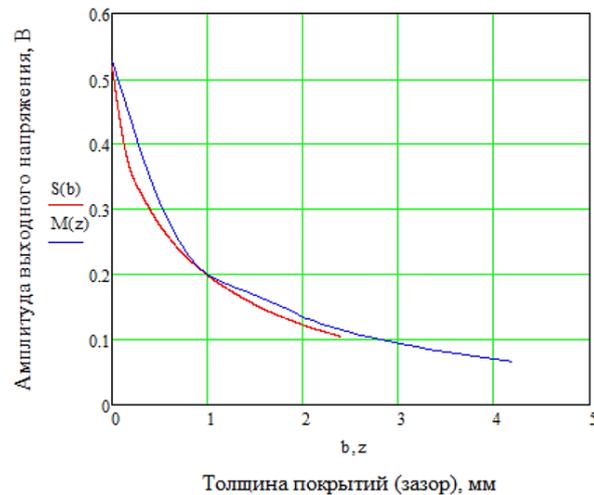


Рисунок 2 – Зависимость амплитуды выходного сигнала от толщины покрытий

На графике красным показана зависимость для диэлектрического, а синим для электропроводящего покрытий.

Мы можем увидеть, что синий график расположен немного выше красного. Это связано с возникающими вихревыми токами, создающимися катушками измерительного преобразователя. При измерении амплитуды выходного напряжения у электропроводящего покрытия вихревые токи создают помехи, из-за которых при одинаковой толщине покрытия, у электропроводящего амплитуда будет больше, чем у диэлектрика [1].

Для получения формулы математической зависимости амплитуды выходного сигнала от толщины покрытий было решено использовать аппроксимацию полиномом третьей степени. Была получена следующая формула (1):

$$T(x) = 4,799 - 33,638x + 84,202x^2 - 73,316x^3 \quad (1)$$

Для которой был проведён расчёт средней ошибки аппроксимации (2):

$$\gamma_p = \frac{1}{m+1} \cdot \sum_{i=0}^m |\gamma F_i| = 0,047 \quad (2)$$

Присутствует небольшая погрешность аппроксимации, которую ещё предстоит устранить.

Так же в работе было рассмотрено влияние краевого эффекта и толщины ферромагнитного основания на измерения. Получены следующие графики (см. рисунок 3, 4):

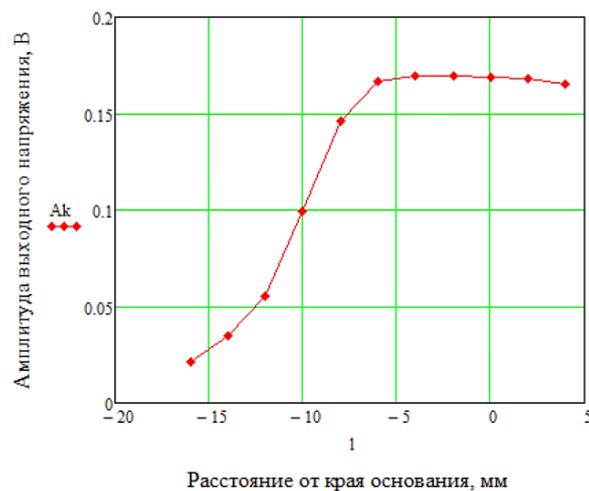


Рисунок 3 – Зависимость амплитуды выходного сигнала от расстояния до края основания

Из эксперимента можно сделать вывод, что краевой эффект начинает влиять на снятие показаний, когда сердечник измерительного преобразователя выходит за пределы основания.

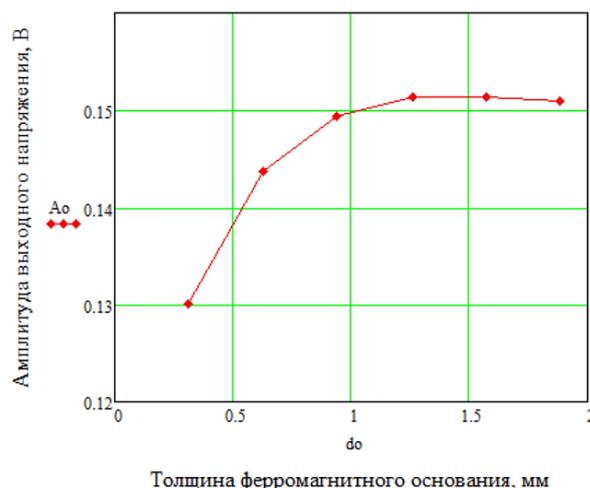


Рисунок 4 – Зависимость амплитуды выходного сигнала от толщины ферромагнитного основания

Из графика видно, что зависимость близка к экспоненциальной. С ростом толщины до 1 мм растёт амплитуда. При достижении толщины в 1 мм амплитуда становится практически постоянной. Из этого можно сделать вывод, что малая толщина ферромагнитного основания влияет на показания.

Таким образом, в ходе выполнения данной исследовательской работы было установлено, что амплитуда выходного напряжения зависит от толщины покрытия (зазора) экспоненциально, что позволило вывести формулу для аппроксимации обратной зависимости полиномом 3 степени, рассчитать коэффициенты и погрешность аппроксимации. Были рассмотрены мешающие факторы, такие как краевой эффект и малая толщина ферромагнитного основания. В дальнейшем планируется исследовать другие методы аппроксимации полученных значений для выведения более точных формул зависимости, а также изучить способы устранения мешающих факторов.

Список литературы

1. Гольдштейн А.Е. Физические основы получения информации: Учебник / А.Е. Гольдштейн – Томск: Издательство томского политехнического университета, 2010. – 311 с.
2. Ключев В.В. Неразрушающий контроль. Справочник: в 8 т. Т.6. Магнитный метод контроля / В.В. Ключев, Г.С. Шелихов. – М.: Машиностроение, 2006. – 700с.
3. Беляев В.А. Магнитные методы контроля толщины покрытий / В.А. Беляев, В.В. Оруджев. – Москва: Знание, 2003. – 112 с.
4. Афанасьев Ю.В. Средства измерений параметров магнитного поля / Ю.В. Афанасьев, Н.В. Студенцев, В.Н. Хорев, Е.Н. Чечурина, А.П. Щелкин. – Л.: Энергия. Ленингр. отделение, 1979. – 320с.