



ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ МАГНИТОМЕТР И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЛИНЫ ОПТОВОЛОКОННОГО КАБЕЛЯ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Содиков Фарход Хусан угли

*Ташкентский государственный технический университет Факультет
машиностроения, ассистент кафедры материаловедения*

E-mail: farxodsodiqov4402@gmail.com

Tel: +998903520697

Аннотация: *В работе рассматриваются принципы построения и функционирования волоконно-оптического магнитометра, основанного на эффекте Фарадея. Описаны особенности взаимодействия оптического излучения с магнитным полем, а также влияние длины одномодового оптического волокна на чувствительность и точность измерений. Приведены этапы экспериментального исследования с использованием волокон различной длины, включая настройку установки, калибровку, сбор данных и анализ результатов. Полученные экспериментальные данные демонстрируют изменение сигнала при воздействии магнитного поля и подтверждают высокую чувствительность волоконно-оптического магнитометра. В работе обсуждаются преимущества таких датчиков, включая устойчивость к электромагнитным помехам, компактность и возможность применения в суровых условиях. Показаны перспективы использования волоконно-оптических магнитометров в геофизике, биомедицине, аэрокосмических технологиях, системах мониторинга и исследованиях магнитных полей Земли. Отмечено, что дальнейшее развитие связано с миниатюризацией, повышением чувствительности и интеграцией с IoT-технологиями.*

Ключевые слова: *Волоконно-оптический магнитометр; эффект Фарадея; оптоволоконный датчик; одномодовое оптическое волокно; магнитное поле; чувствительность; биомагнетизм; геофизические исследования; обработка сигнала; магнитооптика; оптические сенсоры; экспериментальные измерения.*

ВЕДЕНИЕ

Волоконно-оптический магнитометр – это, прибор, использующий состоит из волоконно-оптического сенсора, который реагирует на изменения магнитного поля, и оптической системы для чтения и анализа данных. Этот тип магнитометра обычно используется для измерения слабых магнитных полей, таких как геомагнитные поля или магнитные поля в биологических системах. Он обладает высокой чувствительностью и точностью измерений, нанотехнологии и другие. Волоконно-оптические магнитометры также могут быть компактными и легкими, что делает их удобными для использования в мобильных и портативных приложениях. Они также обладают высокой стабильностью и надежностью измерений, что делает их



привлекательным выбором для различных задач измерения магнитных полей. Волоконно-оптический магнитометр — это устройство, которое измеряет магнитные поля с использованием оптоволоконной технологии. Это тип датчика, который используется для обнаружения присутствия и силы магнитных полей в различных приложениях. Основным принципом оптоволоконного магнитометра заключается во взаимодействии магнитного поля с сенсорным магнитометром, но один из распространенных подходов предполагает использование эффекта Фарадея. Эффект Фарадея — это явление в физике, которое описывает вращение поляризации света при его прохождении через среду в присутствии магнитного поля. В оптоволоконном магнитометре в качестве чувствительного элемента обычно используется оптоволоконная катушка. Когда магнитное поле взаимодействует с оптоволоконной катушкой, оно вызывает измеримое изменение поляризации света, проходящего через волокно. Это изменение можно обнаружить и измерить, чтобы определить силу и направление магнитного поля. Волоконно-оптические магнитометры имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными технологиями магнитометров. Одним из ключевых преимуществ является их высокая чувствительность, которая позволяет им обнаруживать очень слабые магнитные поля. Это делает их особенно полезными для приложений в геофизике, биомагнетизме и других областях, где требуются точные измерения слабых магнитных полей. Кроме того, оптоволоконные магнитометры невосприимчивы к электромагнитным помехам, которые могут быть распространенной проблемой других типов магнитометров. Это делает их пригодными для использования в средах, где может присутствовать электромагнитный шум, например, в медицинских или промышленных условиях. Еще одним преимуществом оптоволоконных магнитометров является их небольшой размер и легкая конструкция. Это делает их более портативными и простыми в развертывании в различных приложениях. Они также предлагают возможность мультиплексирования, что означает, что несколько датчиков могут использоваться одновременно в одной системе для обеспечения пространственно распределенных измерений магнитных полей. Волоконно-оптические магнитометры имеют широкий спектр потенциальных применений. В геофизике их можно использовать для изучения магнитного поля Земли, обнаружения погребенных объектов и составления карт геологических структур. В биомагнетизме их можно использовать для измерения магнитных полей, создаваемых человеческим телом, что может предоставить ценную информацию для медицинской диагностики и нейробиологических исследований. В промышленных условиях оптоволоконные магнитометры можно использовать для неразрушающего контроля, мониторинга магнитных полей в производственных процессах и обнаружения дефектов материалов. В целом, оптоволоконные магнитометры представляют собой мощную и универсальную сенсорную технологию, обеспечивающую высокую чувствительность, устойчивость к электромагнитным помехам и возможность мультиплексирования. В результате они находят все более широкое применение в широком спектре научных, медицинских и промышленных применений, где требуются точные измерения магнитных полей.

Экспериментируя с оптоволоконными кабелями разной длины, следует помнить о нескольких вещах, чтобы обеспечить точные результаты и оптимальную производительность. Есть несколько шагов для управления нашим опытом

1. Настройка. Настройте испытательный стенд, убедившись, что все соединения надежны, а оптоволоконные кабели проложены правильно. Следует позаботиться о том, чтобы свести к минимуму любые источники шума, которые могут повлиять на измерения.

2. Изменение длины. Мы должны начать с тестирования серии волоконно-оптических кабелей, начиная с более коротких и постепенно увеличивая их длину. Нам необходимо записывать измерения, снятые при каждом изменении длины.

3. Калибровка. Откалибруйте оборудование с учетом любого внутреннего шума или колебаний сигнала. Этот шаг важен для того, чтобы полученные данные точно отражали изменения магнитного поля.

4. Сбор данных: нам нужно использовать оптоволоконный магнитометр для измерения напряженности магнитного поля для каждой длины кабеля. Нам необходимо провести несколько измерений на каждой длине, чтобы учесть любые потенциальные колебания или вариации.

5. Анализ данных: путем анализа данных эксперимента для выявления любых тенденций или закономерностей, которые могут возникнуть. Посмотрите взаимосвязь между длиной кабеля и измеренной напряженностью магнитного поля.

6. Репликация: повторение эксперимента несколько раз для подтверждения результатов и обеспечения их последовательности. Этот шаг очень важен для установления надежности и повторяемости измерений.

7. Учет внешних факторов: Учет любых внешних факторов, которые могут повлиять на измерения, таких как магнитные помехи окружающей среды или изменения условий окружающей среды. Эти последствия следует свести к минимуму, насколько это возможно.

8. Интерпретация: В контексте ваших конкретных исследовательских целей или требований применения вам следует подумать о том, как данные могут быть использованы для дальнейшего исследования или для оптимизации производительности оптоволоконного магнитометра.

9. Сравнение. Сравните характеристики оптоволоконного магнитометра при разной длине кабеля, чтобы определить оптимальную конфигурацию для конкретного применения. Следует учитывать такие факторы, как чувствительность, соотношение сигнал/шум и общая точность измерений.

10. Оптимизация. На основе экспериментальных результатов мы оптимизируем длину оптоволоконного кабеля для достижения наилучших характеристик для конкретных требований. Это может включать в себя точную настройку длины кабеля или изменение экспериментальной установки.

Систематически изучая влияние различной длины оптоволоконного кабеля на производительность магнитометра, мы можем получить ценную информацию о поведении системы и оптимизировать ее конфигурацию для наших нужд. Этот



процесс экспериментирования помогает определить наиболее подходящую длину кабеля, чтобы максимизировать чувствительность и производительность магнитометра в нашем приложении.

Статическое круговое двулучепреломление прямого отрезка круглой сердцевины оптического волокна обычно достаточно мало. Однако в присутствии магнитного поля H возникшее в волокне круговое двулучепреломление повернет плоскость поляризации линейно поляризованного излучения на угол θ

Где, магнитооптическая постоянная Верде V является мерой интенсивности проявления эффекта Фарадея в волокне и интегрирование выполняется по длине волокна, подвергнутого воздействию поля H . Величина V зависит от состава материала волокна и оптической длины волны; намного слабее она зависит от температуры диэлектрического вещества. Примечательным свойством вращения под воздействием эффекта Фарадея является его зависимость от направления распространения. Если свет, распространяющийся в одном направлении, подвергается вращению на угол θ , свет, двигающийся в противоположном направлении, подвергается вращению на угол $-\theta$. Эту зависимость можно использовать в разъединителях мощности, как на оптических, так и на микроволновых частотах. С другой стороны, она может являться помехой в таких устройствах, как волоконно-оптические датчики вращения, основанные на исключении всех источников такой зависимости, кроме эффекта Саньяка. Паразитное магнитное поле может действительно влиять на датчик через эффект Фарадея и исказить выходной сигнал. Угол фарадеевского вращения θ при напряженности магнитного поля H , длине светового пути в веществе L выражается еще как

$$\theta = VHL$$

Эффект Фарадея - Если свет распространяется через магнитооптический материал параллельно вектору его намагниченности M то наблюдается магнитной круговой двулучепреломление носящее название эффекта Фарадея эффект Фарадея пропорционален пути светового пучка в МО среде.

Ширина полосы пропускания — важная характеристика волоконно оптических датчиков, основанных на эффекте Фарадея. Поскольку эффект Фарадея возникает в результате взаимодействия между электронами в волокне и приложенным магнитным полем, такие датчики срабатывают чрезвычайно быстро, особенно по сравнению с магнитострикционными датчиками, основанными на механическом движении. Хотя в коротких объемных оптических устройствах, основанных на эффекте Фарадея, измеренная полоса пропускания намного превышает значение 1 ГГц, в волоконных датчиках она ограничена временем задержки в самом волокне.

Чувствительность и разрешение волоконно-оптического магнитометра.

Чувствительность волоконно-оптического магнитометра обычно находится в диапазоне пикотесл, что позволяет обнаруживать очень слабые магнитные поля.

Разрешение волоконно-оптического магнитометра

Разрешение волоконно-оптического магнитометра находится в диапазоне нанотесл, обеспечивая высокую точность измерения изменений магнитного поля.

Применение волоконно-оптического магнитометра

Волоконно-оптические магнитометры используются в различных областях, таких как геофизика, биомедицинские исследования и аэрокосмическая отрасль, благодаря их.

Обработка сигналов и анализ данных для волоконно-оптического магнитометра

Захват сигнала и фильтрация

Магнитометр собирает исходные данные с волоконно-оптического датчика, которые затем фильтруются для удаления шума и помех для точной обработки сигнала.

Обработка данных и калибровка

Обработанные данные используются с помощью алгоритмов для анализа силы и направления магнитного поля, и калибруются для точных измерений.

Мониторинг и визуализация в реальном времени

Обработанные данные отображаются в реальном времени на удобном для пользователя интерфейсе, что позволяет проводить немедленный анализ и визуализацию изменений магнитного поля.

Исследование магнитного поля Земли

Волоконно-оптические магнитометры используются для картографирования и изучения магнитного поля Земли, помогая в геологических обследованиях и разведке минеральных ресурсов.

Мониторинг тектонической активности.

Эти магнитометры используются для мониторинга тектонической активности, таких как предвестники землетрясений и извержения вулканов, путем обнаружения изменений магнитного поля.

Будущие разработки и тенденции в технологии волоконно-оптических магнитометров.

Продвижения в технологии сенсоров.

Будущие разработки в технологии волоконно-оптического магнитометра могут включать в себя улучшенные возможности датчиков, такие как увеличенная чувствительность для обнаружения б

Интеграция с IoT и Big Data.

Тенденция интеграции волоконно-оптических магнитометров с IoT и аналитикой больших данных позволит осуществлять мониторинг и анализ магнитных полей в реальном времени в раз.

Миниатюризация и портативность.

Будущее технологии волоконно-оптического магнитометра может включать в себя миниатюризацию и переносимость, что позволит использовать их в компактных и мобильных устройствах для широкого

Одномодовое оптическое волокно (ОМВ) – это особый тип оптического волокна, которое позволяет передавать световой сигнал только одним модом или лучом. В отличие от многомодового оптического волокна, в котором распространяется несколько лучей под разными углами от оси волокна, одномодовое волокно

обеспечивает более прямолинейное распространение света. Одномодовое волокно имеет очень маленький диаметр с обычной величиной около 9-10 микрон, что гораздо меньше диаметра многомодового волокна (обычно 50 или 62.5 микрон). Из-за своего маленького диаметра, одномодовое волокно способно подавлять многомодовую дисперсию, волновую дисперсию и дисперсию взаимного расположения мод, что делает его эффективным для передачи дальних расстояний и высокоскоростной коммуникации. Одномодовые волокна распространены во многих областях, включая телекоммуникации, сетевые связи, медицинскую технику, научные исследования, лазерные системы и другие приложения, где требуется точная передача светового сигнала с минимальными потерями и искажениями.

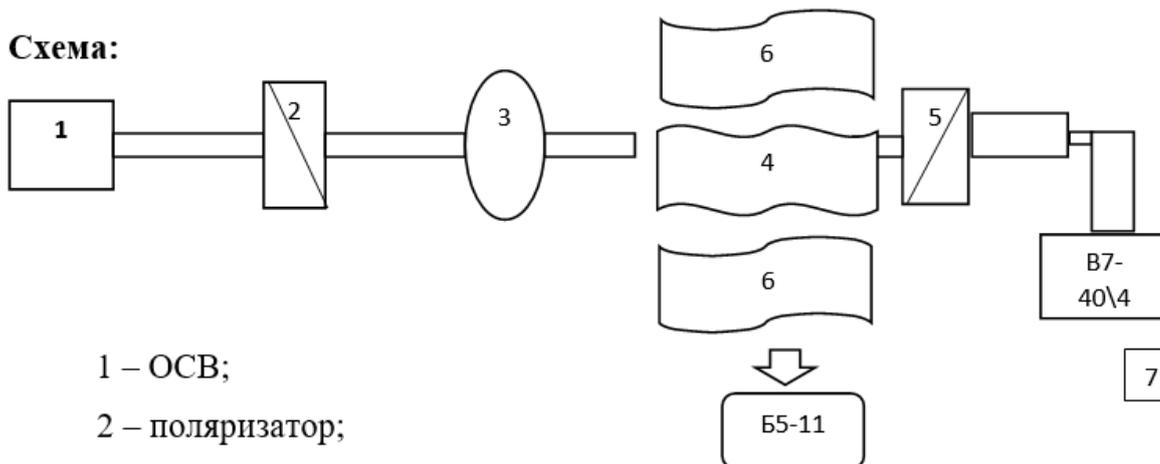
Существует несколько типов оптических волокон, каждое из которых имеет свои особенности и применения. Вот некоторые из наиболее распространенных типов оптических волокон:

1. Многомодовое оптическое волокно (ММВ): Многомодовое оптическое волокно позволяет свету распространяться по нескольким модам или путям. Оно обычно используется для коротких расстояний, таких как в локальных сетях (LAN), аудио/видео связи и других приложениях, где требуется передача данных на относительно небольшие расстояния.

2. Одномодовое оптическое волокно (ОМВ): Как уже упоминалось ранее, одномодовое оптическое волокно позволяет свету распространяться только по одной моде или пути. Оно обеспечивает высокую пропускную способность и дальность передачи сигнала, что делает его идеальным для использования в телекоммуникационных сетях на большие расстояния.

3. Полимерное оптическое волокно: Этот тип оптического волокна изготавливается из полимерных материалов, что делает его более гибким и легким, чем традиционные стеклянные волокна. Полимерные оптические волокна обычно используются в приложениях, где требуется гибкость и простота монтажа.

4. Специализированные оптические волокна: Существуют также различные специализированные типы оптических волокон, такие как волокна с низким уровнем дисперсии, волокна с высоким уровнем прочности и др. Эти типы волокон разработаны для конкретных приложений и требований. Каждый из этих типов оптических волокон имеет свои преимущества и ограничения, и выбор конкретного типа зависит от конкретных требований приложения.



- 1 – ОСВ;
- 2 – поляризатор;
- 3 – линза;
- 4 – одномодовое опт. волокно;
- 5 – анализатор;
- 6 – ИСТ. маг. пол
- 7 – вольтметр.
- 8 – амперметр

Результат измерения

Изменение сигнала при М.поля - $H = 0,096 \text{ мТ}$

Одномодовое оптический волокна

Длина = 3м

диаметр = 0,9mm

С магнитом	Без магнита	Δ
1. 64,56 мВ	66,46 мВ	1,9
2. 68,12 мВ	70,35 мВ	2,23
3. 67,05 мВ	69,46 мВ	2,41
4. 66,10 мВ	68,24 мВ	2,24
5. 65,50 мВ	67,69 мВ	2,19

ВЫВОДЫ

Рассмотрены высокая чувствительность и точность волоконно-оптических магнитометров при обнаружении магнитных полей, что делает их идеальными для различных научных и промышленных применений.

Потенциальные применения волоконно-оптических магнитометров можно увидеть в таких областях, как аэрокосмическая промышленность, геофизика и медицинская диагностика.

Следует подчеркнуть преимущества волоконно-оптических магнитометров, в том числе их компактные размеры, устойчивость к электромагнитным помехам и возможность работы в суровых условиях.

Мы экспериментировали с одномодовым оптическим волокном, оптоволоконными кабелями. мы изменили длину маленького кабеля. понемногу. В эксперименте следует учитывать и максимально уменьшать внешние факторы, такие как магнитные помехи. Изучая влияние длины оптоволоконного кабеля на производительность магнитометра, мы получили ценную информацию о поведении системы. Волоконно-оптический магнитометр помогает нам обнаруживать слабые магнитные поля. А в геофизике они помогают картировать геологические структуры, изучать поверхность Земли и идентифицировать объекты. Таким образом, оптоволоконный магнитометр используется не только для измерения магнитных полей, но и для измерения слабых магнитных полей, например магнитных полей в биологических системах. Волоконно-оптический магнитометр может широко использоваться в геофизике, биомедицине, нанотехнологиях и других областях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Б.М. Степанов В.В. Панин. Практическая магнитометрия. М: Машиностроение, 1978.
2. Х. К. Серан и П. Фержо. Оптимизированный низкочастотный трехосный магнитометр с поисковой катушкой для космических исследований. Обзор научных инструментов, 76(4):044502 2005.
3. В.Е. Корепанов. Современные тенденции в области космических электромагнитных приборов. Достижения в космических исследованиях, 32 (3): 401-406, 2003.
4. Таширо К. Оптимальная конструкция индукционного магнитометра с воздушным сердечником для регистрации низкочастотных полей менее 1 пт. Журнал Общества магнетиков Японии. 30(4):439-442, 2006.
5. Б. Андо, Сальво Бальо, А.Р. Булсара и С Тригона. Конструкция и характеристики микропроводного феррозондового магнитометра. 151:145-153, 04.04.2009.
6. И.А. Клубович Б.Б. Винокуров, Г.В. Вавилова. Измерение неэлектрических величин. Томск: изд-во Томского политехнического университета, 2008.