

УДК 681.2.08

**ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ТОКА****Григорьев Михаил Георгиевич**

аспирант

*Mishatpu@sibmail.com***Авдеева Диана Константиновна**

д-р тех. наук

*diana.avdeeva@mail.ru*

Томский политехнический университет, Томск

**Аннотация.** В статье показана общая конструкция волоконно-оптического датчика тока (ВОДТ) и рассмотрен эффект Фарадея. Предложена конструкция простого ВОДТ. Произведены измерения силы тока и проведен анализ погрешности.

**Ключевые слова:** ВОДТ; эффект Фарадея; плоскость поляризации; постоянная Верде; интенсивность.

---

**FIBER-OPTIC SENSOR CURRENT****Grigoriev Michael Georgievich**

post-graduate student

**Avdeeva Diana Konstantinovna**

doctor of technical sciences

National research Tomsk polytechnic university, Tomsk

**Abstract.** The article shows the general construction of a fiber-optic current sensor, and the effect of Faraday. A design of a simple FOCS. Produced by the current measurement and the analysis of error.

**Keywords:** FOCS; the effect of Faraday; the plane of polarization; the Verde constant; the intensity.

Эффективное энергопотребление является одним из основных направлений развития современной техники. Актуальность этого направления деятельности человечества вызвало большой интерес к прецизионным методам и приборам для измерений основных параметров электрических генерирующих, транспортирующих и распределяющих устройств.

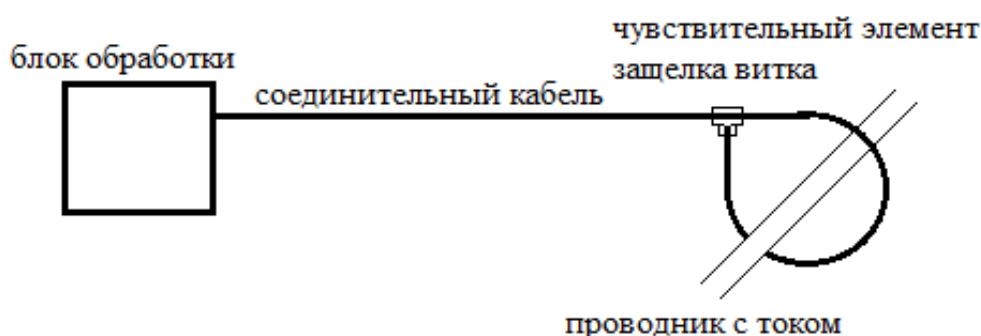
Одним из таких параметров является величина протекающего через устройства электрического тока. Основным недостатком используемых сейчас систем измерения тока является характеристики первичных преобразователей – высоковольтных трансформаторов тока. Они требуют трудоемкого регулярного обслуживания, их погрешность зависит от режима нагрузки и имеет свойство накопления дополнительной погрешности, пригодного не только для измерения переменного тока. Также для анализа сигналов с первичных преобразователей используется электросчетчики, показания которых сильно зависят от качества электроэнергии. В качестве замены первичного преобразователя, можно рассмотреть распространившиеся в последнее время датчики на основе эффекта Холла, которые позволяют измерять постоянный ток и имеют большую точность, чем трансформаторы тока. Но общим недостатком измерительных трансформаторов и датчиков Холла является наличие эффекта насыщения, сильно ограничивающего диапазон измеряемых токов.

В настоящее время благодаря развитию волоконно-оптических технологий появились волоконные измерители тока. Они объединяют многие достоинства измерительных трансформаторов и датчиков на основе эффекта Холла, не имея в то же время присущих им недостатков.

ВОДТ является оптимальным решением большинства задач, возникающих при измерении силы тока. Они обеспечивает прецизионные измерения в большом диапазоне измеряемых токов, позволяет обрабатывать сигнал в режиме реального времени, обеспечивая достоверность,

повторяемость и высокую точность измерений независимо от параметров анализируемого сигнала. ВОДТ обеспечивает электромагнитную совместимость с высоковольтным оборудованием, а также не требуют использования анализаторов сигналов первичного преобразователя, так как непосредственно выдает информацию об измеряемом токе. При этом они лишены актуальных для России проблем с установкой и последующей эксплуатацией датчиков.

Конструктивно ВОДТ состоит из двух частей: чувствительного элемента и блока обработки (см. рис. 1).



**Рисунок 1. Конструкция ВОДТ**

Чувствительный элемент представляет собой волоконный кабель толщиной не более 10 мм, который замыкается кольцом вокруг контролируемого проводника. При этом для некоторых модификаций датчика нет необходимости разрывать и обесточивать контролируемый проводник, что является существенным преимуществом ВОДТ. Датчиком измеряется сила тока в проводнике, который охватывает кольцо, при этом результаты измерений не зависят от других проводников с током и внешних магнитных полей. Также показания датчика не зависят от взаимного расположения кольца и проводника с током. Блок обработки и чувствительный элемент датчика соединяются оптическим кабелем необходимой для эксплуатации длины, выполняющий функцию линии связи между ними. Чувствительный элемент и волоконная линия связи не содержат токопроводящих частей, а также обеспечивается взрывобезо-

пасность и радиационная устойчивость. Стоит также отметить, что датчик не требует регулярного обслуживания.

Волоконно-оптические датчики в последнее время находят все больше применений благодаря их высокой точности, большому динамическому диапазону, электрической изоляции, миниатюрности, невосприимчивости к электромагнитным помехам, высокой скорости работы, возможности передавать информацию на большие расстояния [1; 2]. Постепенно волоконно-оптические датчики вытесняют датчики с механическим и электрическим преобразованием измеряемого параметра в информационный сигнал. Они используются для измерения тока, магнитного поля, перемещения, температуры, давления, акустических колебаний и т.д.

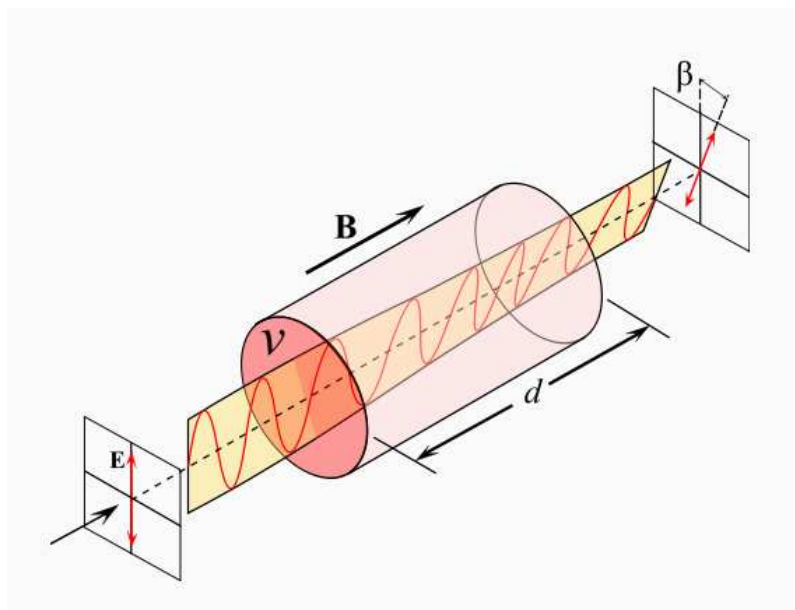
По принципу действия все волоконно-оптические датчики физических величин делятся на четыре класса в соответствии с тем, какой из параметров оптической волны распространяющейся по волокну, используется для получения информации об измеряемом физическом воздействии:

- амплитуда электрического поля;
- фаза;
- состояние или направление поляризации электрического вектора;
- частота.

К датчикам тока обычно выдвигаются следующие требования: высокая точность измерений, малые размеры, электрическая изолированность, удобство установки и последующей эксплуатации. Эти требования лучше всего удовлетворяют волоконно-оптические датчики тока, которые при этом дополнительно имеют целый ряд достоинств. К таким достоинствам можно отнести возможность измерения как переменного, так и постоянного токов, быстродействие, большой диапазон измеряе-

мых токов, возможность функционирования длительное время без обслуживания.

Волоконно-оптические датчики тока проектируются на основе эффекта Фарадея. Эффект Фарадея – магнитооптический эффект, который заключается в том, что при распространении линейно поляризованного света через оптически неактивное вещество, находящееся в магнитном поле, наблюдается вращение плоскости поляризации света (см. рис. 2).



**Рисунок 2. Вращение плоскости поляризации света за счет эффекта Фарадея**

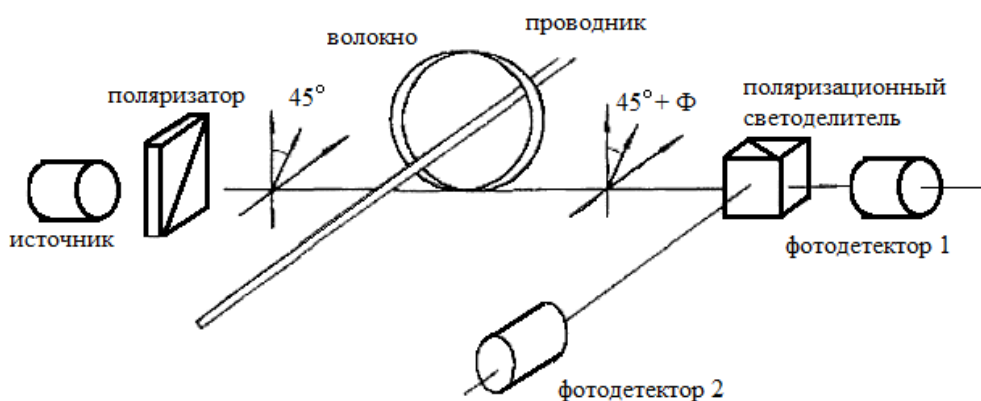
Эффект Фарадея применяется в волоконно-оптических датчиках тока [3], так как существует множество стекол и оптических волокон, в которых он достаточно сильно проявляется [4]. Эти оптические элементы имеют большую постоянную Верде  $V$  (физическая величина, характеризующая магнитное вращение плоскости поляризации в веществе.), которая связывает значение интеграла напряженности магнитного поля  $H$ , взятого по всей длине оптического контура  $L$ , и угол поворота плоскости линейно поляризованного света  $\Delta\Phi$ , прошедшего через оптический контур:

$$\Delta\Phi = V \int_0^L H \times dl \quad (1)$$

Этот угол  $\Delta\Phi$  также эквивалентен невзаимному сдвигу фазы циркулярно поляризованной волны, прошедшей волоконный контур. Для пра-

во циркулярной волны  $\Delta\Phi$  положителен, для лево циркулярной – отрицателен.

Простейшим вариантом ВОДТ на эффекте Фарадея является поляриметрический тип датчика (см. рис. 3). В нем сила тока в проводнике ставится в соответствие углу поворота плоскости поляризации света, прошедшего замкнутый контур, через который пропущен проводник с током.



**Рисунок 3. Конфигурация простейшего поляриметрического ВОДТ**

Линейно-поляризованная световая волна источника после поляризатора направляется в оптоволокно (ОВ), охватывающее проводник, по которому течет электрический ток с силой  $I$ . В качестве чувствительного элемента может использоваться как стандартное одномодовое ОВ высокого качества, так и специальные виды волокон. Количество оборотов ОВ вокруг проводника  $N$  обусловлено диапазоном измеряемых токов. При проходе контура плоскость поляризации волны поворачивается на угол  $\Delta\Phi$ , что является следствием наведенного магнитным полем циркулярного двулучепреломления. Линейная поляризация при этом может рассматриваться как результат суперпозиции волн с циркулярной поляризацией с противоположным направлением вращения. После этого волна раскладывается с помощью поляризационного светоделителя, повернутого на  $45^\circ$  относительно входного поляризатора, на две ортогональные поляризации. Каждая из них направляется на отдельный фото-

детектор. Измеренные таким образом интенсивности света  $Int_1$  и  $Int_2$  при относительно малых потерях в системе зависят от  $\Delta\Phi$  следующим образом ( $Int_0$  - интенсивность входного света):

$$Int_1 = Int_0 \cos^2(45^\circ + \Delta\Phi) \quad (2)$$

$$Int_2 = Int_0 \sin^2(45^\circ + \Delta\Phi)$$

Благодаря тому, что волоконный контур замкнут, угол  $\Delta\Phi$  при этом равен:

$$\Delta\Phi = VNI \quad (3)$$

Это равенство верно для одномодового оптического волокна в приближении, когда постоянные Верде сердцевин и оболочки волокна отличаются слабо, иначе угол  $\Delta\Phi$  зависит от этих постоянных и показателей преломления сердцевин и оболочки волокна [5].

Для получения сигнала  $\Delta\Phi$  независимо от интенсивности  $Int_0$  которая не стабильна во времени, выходной сигнал  $S$  вычисляется как отношение:

$$S = \frac{Int_1 - Int_2}{Int_1 + Int_2} = \sin(2 \cdot \Delta\Phi) \quad (4)$$

В процессе измерения сила тока, создаваемая в установке, ступенчато изменялась в доступном для источника питания диапазоне, а информация с макета измерителя тока и амперметра ( $\pm 0,01 \% \pm 7$  е.м.р) записывалась на персональный компьютер с частотой 50 Гц. Результаты испытания макета измерителя тока представлены на рис. 4.

На представленном графике видна лишь одна прямая, ввиду наложения кривых с макета и амперметра. Для приблизительной оценки погрешности макета рассматриваются отсчеты, в которых сила тока была постоянна, и по ним видно, что в исследуемом диапазоне (от -1.2 кА до +1.2 кА) абсолютная погрешность не превышает 1 А, а относительная погрешность меньше 0.1 %.



**Рисунок 4. Результаты испытания макета измерителя тока**

### **Список использованных источников**

1. Соколов В.А., Яцеев К.В. Волоконно-оптические датчики и системы: принципы построения, возможности и перспективы // Lightwave. Russian Edition. 2006. № 4. С. 44-46.
2. Потапов В.Т., Чаморовский Ю.К. Волоконно-оптические технологии, устройства, датчики и системы // Спецвыпуск «Фотон-экспресс». М.: Наука. 2005. № 6. С. 114-127.
3. Некрашевич Е., Старостин Н. Волоконно-оптические датчики тока // Электронные компоненты. 2006. № 11. С. 76-77.
4. Мешковский И.Р., Стригалева В.Е. Закрытая схема обработки сигнала в волоконно-оптическом датчике тока // Научно-тех. вестн. СПбГУ ИТМО №65. СПб.: СПбГУ ИТМО. 2010. С. 10-15.
5. Takahashi M., Terai K. Optical current sensor for DC measurement // Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002: Asia Pacific. IEEE. 2002. V. 1. P. 440-443.