



# Оптические датчики тока и напряжения

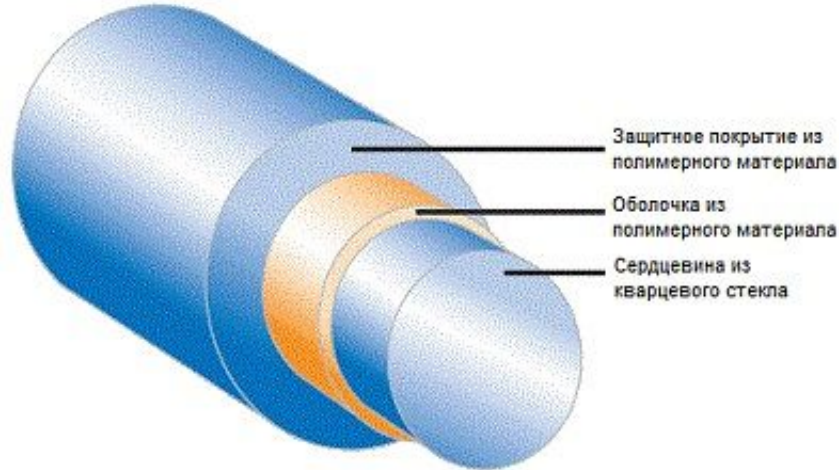
Студент: Карпенко Екатерина

# План

1. История создания
2. Эффект Фарадея
3. Строение оптических датчиков тока
4. Фридрих Карл Альвин Поккельс. Эффект Поккельса
5. Строение оптических датчиков напряжения;
6. Область применения оптических датчиков тока и напряжения;
7. Преимущества и недостатки оптических датчиков тока и напряжения;
8. Сравнительные характеристики оптических датчиков тока и напряжений различных компаний;
9. Итог.

# История создания

Первые попытки создания датчиков на основе оптических волокон можно отнести к середине 1970-х годов. Публикации о более или менее приемлемых разработках и экспериментальных образцах подобных датчиков появились во второй половине 1970-х годов. Однако считается, что этот тип датчиков сформировался как одно из направлений техники только в начале 1980-х годов. Тогда же появился и термин "волоконно-оптические датчики" (optical fiber sensors). Таким образом, волоконно-оптические датчики -- очень молодая область техники.



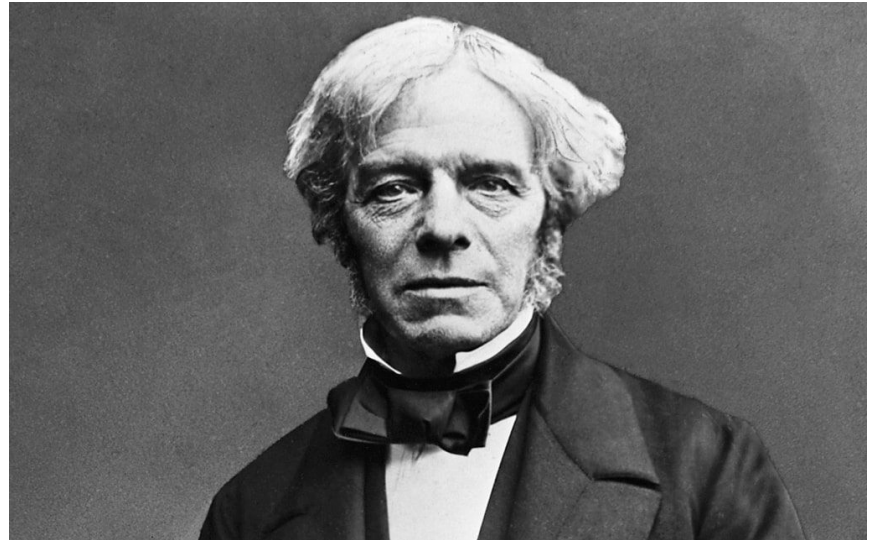
# История создания

Современная волоконная оптика стала развиваться в начале 70-х годов, когда практически одновременно в нескольких странах для изготовления оптических волокон (ОВ) была использована технология осаждения из газовой фазы (MCVD технология). В это же время начались и первые работы по созданию высококачественных ОВ в СССР для телекоммуникационных применений, главным образом в Академии Наук. Данная технология позволила резко понизить уровень потерь света в кварцевых волокнах сначала до 10 дБ/км, а затем и менее 1дБ/км. MCVD технология была выбрана так успешно, что и до настоящего времени является одной из основных технологий как для промышленного производства, так и для разработки новых типов ОВ. Кроме телекоммуникационных применений становление и развитие волоконно-оптических технологий открыло широкие возможности их применения в приборостроении и измерительной технике. Практически одновременно с созданием волокон с малыми потерями появились работы по созданию волоконно-оптических датчиков (ВОД) физических величин, которые также развивались в Академии наук.



# Эффект Фарадея

В 1845 году Майкл Фарадей обнаружил, что линейно поляризованный свет, распространяющийся вдоль постоянного магнитного поля в веществе, испытывает вращение плоскости поляризации. Это открытие стало первым доказательством прямой связи оптических и электромагнитных явлений. Сам Фарадей писал: "Мне удалось намагнитить и наэлектризовать луч света и осветить магнитную силовую линию".



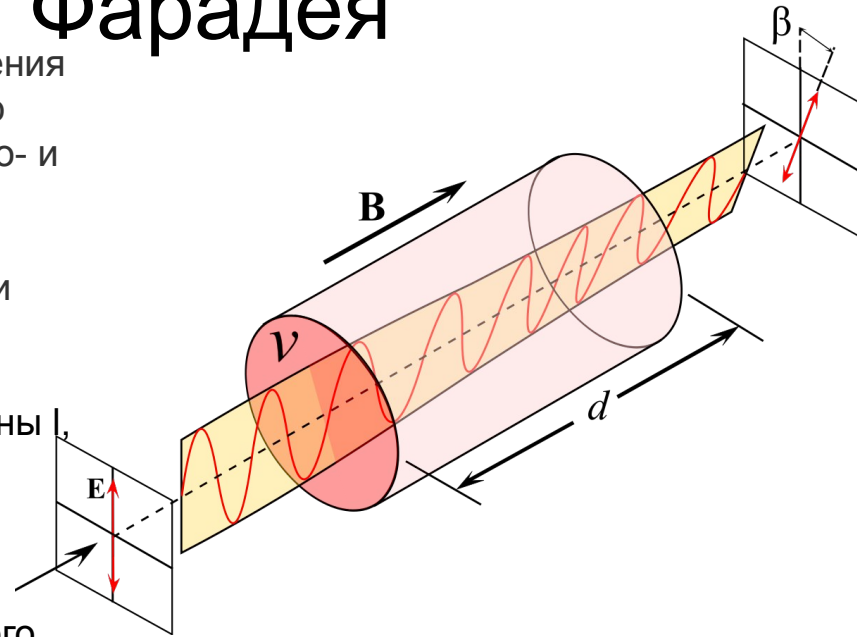


# Эффект Фарадея

Эффект Фарадея объясняется тем, что оптические свойства намагниченного вещества нельзя охарактеризовать одним показателем преломления  $n$ . Под действием магнитного поля показатели преломления  $n_+$  и  $n_-$  для циркулярно право- и левополяризованного света становятся различными. Вследствие этого право- и левополяризованные составляющие линейно поляризованного света распространяются вдоль магнитного поля через вещество с разными фазовыми скоростями. Возникает разность их хода, линейно зависящая от длины пути. В результате плоскость поляризации монохроматического света с длиной волны  $\lambda$ , прошедшего в среде путь  $l$ , поворачивается на угол

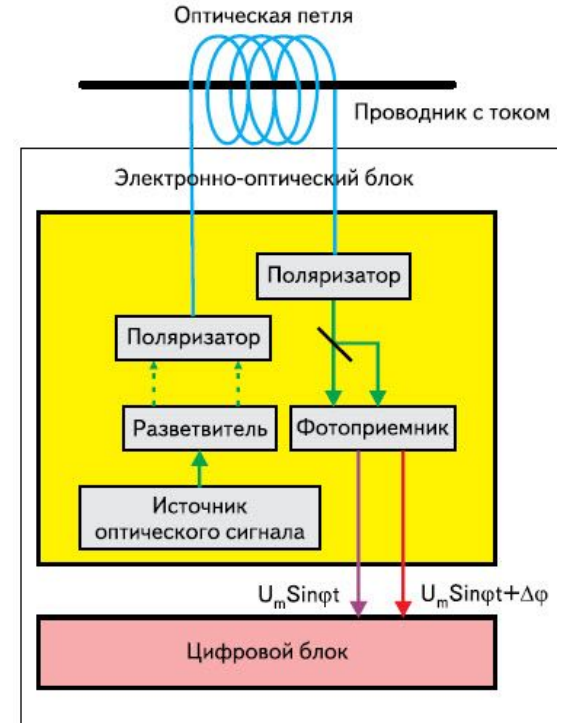
$$\Delta\varphi = 4V \times N \times l,$$

В слабых магнитных полях разность  $(n_+ - n_-)$  линейно зависит от напряженности поля  $H$  и угол фарадеевского вращения описывается формулой  $\theta = VHI$ , где  $V$  (постоянная Верде) зависит от длины световой волны, свойств вещества и его температуры.



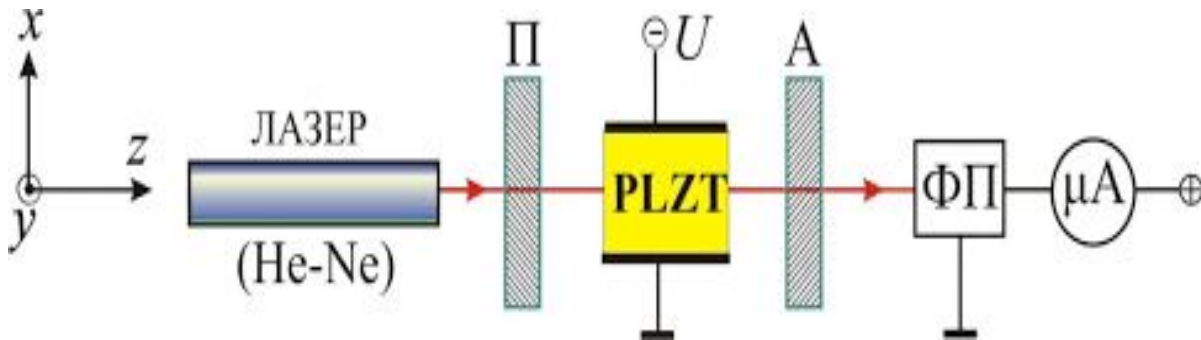
# Оптические датчики тока

Известные волоконно-оптические датчики тока работают на принципе эффекта Фарадея. Ток, протекающий в проводе, индуцирует магнитное поле, которое через эффект Фарадея поворачивает плоскость поляризации излучения, распространяющегося в оптическом волокне, намотанном вокруг токонесущего провода. Пришедшие световые потоки преобразуются фотоприемником в два напряжения переменного тока с частотой  $\omega = 2\pi C/\lambda$  ( $C$  — скорость света в оптоволокне,  $\lambda$  — длина волны оптического излучения). Полученные электрические сигналы поступают на ввод аналогоцифрового преобразователя электронного блока, преобразующего угол  $\Delta\phi$  в цифру с дальнейшей обработкой в DSP-процессоре. Цифровой блок оснащен высокоуровневыми и низкоуровневыми аналоговыми интерфейсами и дополнительным цифровым интерфейсом, поддерживающим стандарт IEC 61850, что открыло пути к созданию полностью цифровой системы защиты и измерения.



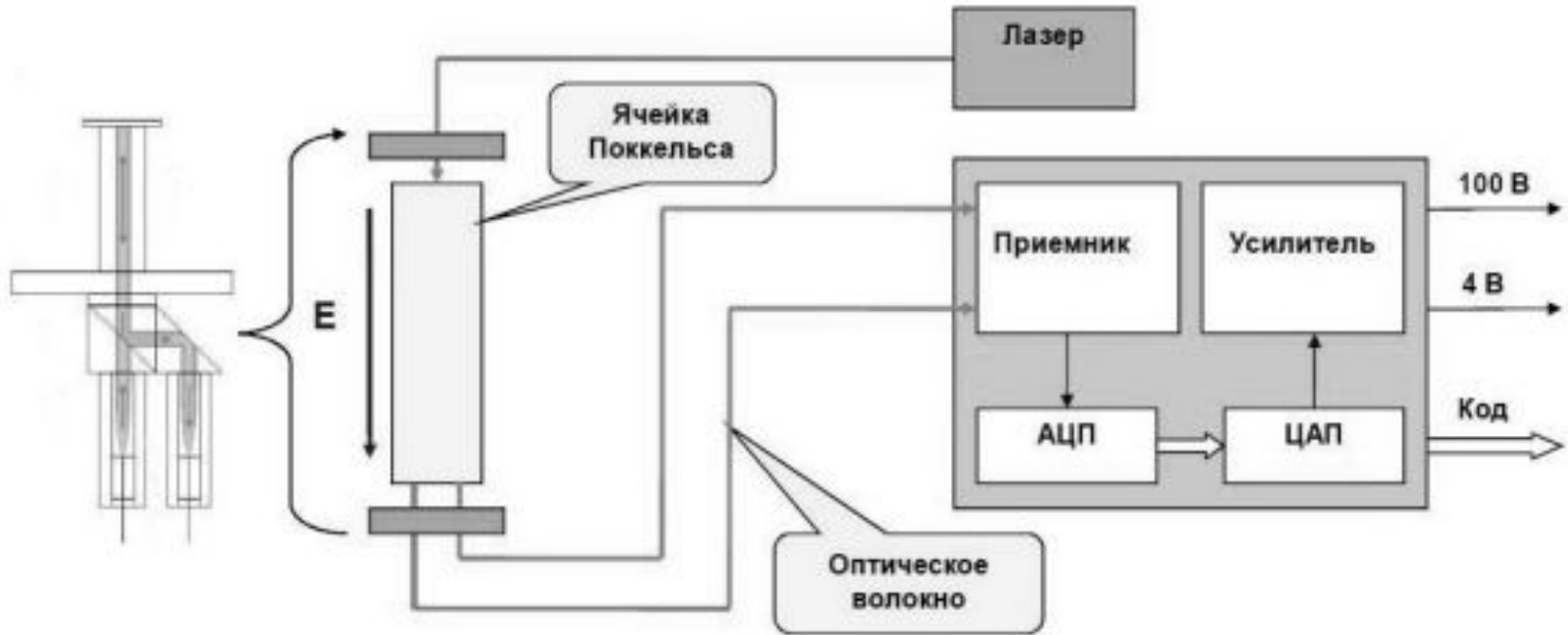
# Фридрих Карл Альвин Поккельс. Эффект Поккельса

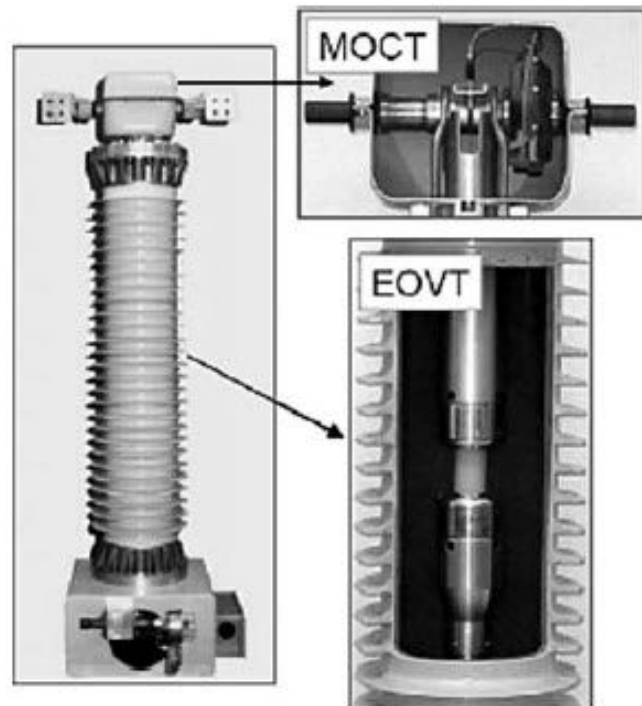
**Фридрих Карл Альвин Поккельс** (1865—1913) — немецкий физик. В 1893 Ф. Поккельс открыл, что постоянное **электрическое поле**, приложенное к определённым материалам, обладающим **двойным лучепреломлением**, вызывает изменение **показателя преломления**, приблизительно пропорционально силе приложенного поля. Коэффициент пропорциональности лежит в пределах от  $10^{-10}$  до  $10^{-12}$  В<sup>-1</sup>. Это явление называют **эффектом Поккельса**. Эффект Поккельса возникает только в кристаллах — ячейках Поккельса. Они представляют собой управляемые напряжением волновые пластины. Световое излучение поляризуется в первом поляроиде, попадает в ячейку Поккельса и у нас возникает поляризация не только вдоль оси, созданной первым поляроидом, но и вдоль оси перпендикулярной ей. Далее при помощи поляроида два “вырезаем” поляризацию и получившийся луч попадает на фотоприёмник.



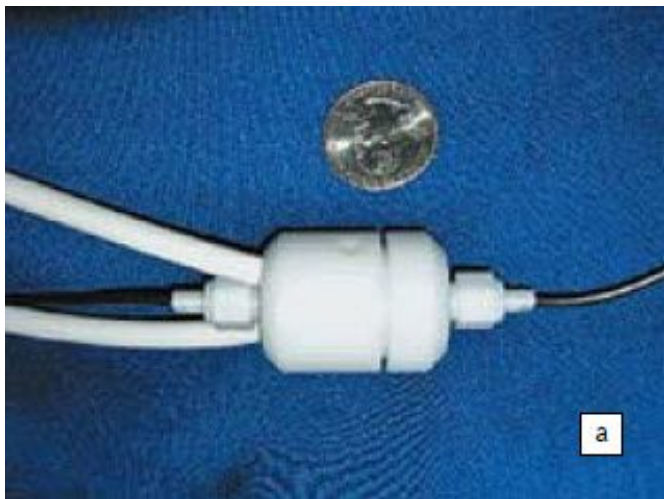


# Оптические датчики напряжения





# Область применения оптических датчиков тока и напряжения



Применение таких датчиков в металлургической и химической промышленности может существенно повысить эффективность производства и дать значительный экономический эффект. В производстве алюминия, меди, марганца, цинка, стали и хлора требуются огромные объемы электроэнергии. Компания Airak, Inc выпускает оптоволоконные датчики, отличающиеся наименьшими массо-габаритными показателями. Оптоволоконные датчики напряжения этой фирмы вместе с пятиметровыми выводами весят всего 170 г. Компактность и малый вес датчика тока фирмы Airak привлекает внимание разработчиков систем контроля и управления энергетическими системами на наземном, морском и воздушном транспорте. В США в рамках программы по модернизации морского флота разрабатываются так называемые «полностью электрические» (all-electric) корабли.

Первое такое судно должно быть сдано в эксплуатацию в 2011 г. Для обеспечения мониторинга и управления всеми системами корабля требуется около 10 000 электрических датчиков.

# Преимущества и недостатки оптических датчиков тока и напряжения

Преимущества:

- Широкий динамический диапазон измерений (токов до сотен кА, напряжения до сотен кВ).
- Высокая линейность.
- Широкий частотный диапазон, позволяющий анализировать гармоники напряжения и тока непосредственно в высоковольтной цепи.
- Отсутствие влияния нагрузки вторичных цепей и потерь в них.
- Высокая устойчивость оптоволоконных информационных каналов к внешним электромагнитным помехам.
- Меньшие массо-габаритные показатели.
- Первичный оптический преобразователь может быть удален от блока электроники на 450–900 м и более.
- Продолжительность установки и ввода в эксплуатацию измеряется часами, а не днями.
- Простота системы
- Высокая точность (до 10-кратного уменьшения погрешности).
- Широкая полоса пропускания обеспечивает быструю реакцию на пульсации и нестационарные токи.
- Датчики обеспечивают измерение постоянных токов как в одном, так и в двух направлениях.

Недостатками таких датчиков является низкий температурный диапазон и необходимость специальных терминалов, что ведет к дополнительному увеличению их стоимости

# Сравнительные характеристики оптических датчиков тока и напряжений различных компаний

Разработкой оптических датчиков напряжения и тока занимается целый ряд компаний. Интерес к разработкам, исследованиям и внедрению этих датчиков проявляется и в России. Впервые в нашей стране оптические преобразователи были продемонстрированы компанией «ПроЛайн», являющейся эксклюзивным представителем компании NxtPhaseT&D Corporation, на выставке «Электрические сети России» в ноябре 2006 года. Уже в 2007 г. установлены и введены в эксплуатацию комбинированные оптические системы NXVCT220 на подстанции 220 кВ ОАО «РЖД». В апреле 2008 г. с применением оптического трансформатора NXCT-F3 в Сургуте создан опытный полигон для подтверждения его эксплуатационных и метрологических характеристик. В декабре 2008 г. ОАО «ТГК1» с применением оптического трансформатора NXCT-F3 введена точка коммерческого учета. В 2006 г. в России создана компания ООО «Уникальные волоконные приборы», занимающаяся разработкой и изготовлением отечественных оптоволоконных трансформаторов тока и напряжения, которые, судя по публикуемым техническим характеристикам, не уступают лучшим зарубежным образцам.

# Сравнительные характеристики оптических датчиков тока и напряжений различных компаний

**Таблица 1.** Сравнительные характеристики оптоволоконных датчиков тока различных компаний

Характеристика	NxtPhase	PowerSense	OptiSense	FieldMetrics	ABB	Airak	ООО «УВП»
Номинал тока, кА	0,1–100	5–20	0,003–1	0,6–20	1–3,5	0,003–30	1–450
Класс точности, %	0,25	2	0,2	0,2	0,2	1	0,25
Рабочая частота, Гц	50/60	50/60	–	50/60	50/60	50/60	0–6000
Частотная полоса, Гц	0,01–6000	–	–	до 5000	0–10 000	5–5000	0–9000
Номинал напряжение, кВ	69–765	36	15, 20, 35	11–36	72,5–800	3,6–36	110–750
Масса, кг	49–95	–	9	5–15	50–186	0,028–0,57	от 40
Диапазон рабочих температур, °С	–50...+60	–40...+50	–40...+75	–50...+85	–5...+40	–40...+85	–50...+60

**Таблица 2.** Сравнительные характеристики оптических датчиков напряжения различных компаний

Характеристика	NxtPhase	OptiSense	FieldMetrics	ABB	Airak	ООО «УВП»
Номинал напряжение, кВ	121–550	35	138	115–550	0,003–5	110
Класс точности, %	0,2/3	0,2	0,3	0,2	1 (5)	0,1
Рабочая частота, Гц	10/3000	–	–	–	50/60	–
Частотная полоса, Гц	0,1–6000	–	5–5000	–	6–5000	–
Масса, кг	132–650	2,5	68	50–186	0,17	98
Диапазон рабочих температур, °С	–40...+50	–40...+50	–40...+70	–5...+40	0...+50	–50...+60



# Итог

Как следует из предложенного обзора, класс оптических датчиков тока и напряжения может занять существенное место в системах мониторинга, контроля и управления в энергетике, металлургической, химической, судостроительной и оборонной промышленности. Компания АВВ, Inc. в свою очередь уже считается одним из лидеров в разработке и оптоволоконных датчиков для высоковольтных электроэнергетических приложений.



Спасибо за внимание