

**Разработка высоковольтных вводов с RIP изоляцией
для систем передачи постоянного тока высокого напряжения**

Д.т.н. А.З. Славинский, аспирант П.В. Кирюхин, аспирант М.Б. Верещагин.

Завод Изолятор, Россия (<http://mosizolyator.ru>)

Московский завод Изолятор, основанный в 1896 году, в настоящее время насчитывает более 110 лет своей истории и является одним из старейших предприятий в России. В середине 30-х годов завод приступил к производству высоковольтных вводов и с тех пор стал одним из передовых предприятий электротехнической промышленности России и единственным производителем в/в вводов в стране. Подобных ему не более десятка во всем мире.

Уникальность завода подтверждается его более чем столетней историей и традиционным качеством выпускаемой продукции. С 30-х гг. и по настоящее время завод выпустил более 500 000 вводов различных типов и классов напряжений, из которых более 300 000 сейчас находится в эксплуатации в 26 странах мира. За последние годы нам удалось освоить огромное количество новых технологических процессов и внедрить в серийное производство большое количество вводов принципиально новой конструкции. Мы применяем самые современные материалы как в качестве основной, так и в качестве внешней изоляции. Все материалы, применяемые при производстве RIP изоляции – это материалы лучших европейских производителей. Модернизация происходит ежедневно, и почти каждый месяц мы осваиваем в производстве новые модернизированные и унифицированные изделия. Те показатели, которые принято считать конкурентоспособными, мы для себя определяем как главную задачу и стремимся ее достигать. Подтверждением тому могут служить различные международные свидетельства и сертификаты на изобретения, которыми обладает наше предприятие. Наши технологии охраняются 12 международными патентами, включая патенты на изготовление RIP-изоляции и производство внешней полимерной (кремнийорганической) изоляции на напряжения от 35 до 330 кВ.

В настоящее время завод выпускает высоковольтные вводы для систем как переменного, так и постоянного тока и именно на этих вводах необходимо остановиться подробнее.

История развития систем постоянного тока в России лишний раз подтверждает известную истину о том, что все новое это хорошо забытое старое. Разумеется, с определенными поправками на научно-технический прогресс. Еще в 1965 году вышло Постановление Совета Министров, в котором заводу «Изолятор» поручалось разработка и изготовление конструкций высоковольтных вводов для линий электропередачи переменного тока 1,2 миллиона Вольт и постоянного тока на напряжение 1,5 миллиона Вольт. Выполнение этих сложных задач потребовали осуществления целого комплекса мероприятий по реконструкции завода – расширение его производственных площадей, строительство еще более мощной испытательной станции, оснащением новым оборудованием и техникой, усовершенствованием технологии и производственных процессов. В рамках выполнения этих работ на заводе были спроектированы и поставлены на производство маслонаполненные вводы постоянного тока:

- 110 кВ на ток 2500 А для Выборгской выпрямительно-инверторной подстанции электропередачи «Россия-Финляндия»;
- ± 200 кВ на ток 800 А и ± 400 кВ на ток 1000 А для электропередачи постоянного тока «Волгоград-Донбасс» на Волжскую ГЭС;
- ± 400 кВ и ± 750 кВ на ток 2500 А на мощный испытательный стенд (МИС) г.Тольятти.

Для строящейся в 80-е годы самой мощной линии электропередачи «Экибастуз-Центр» заводом, совместно с трансформаторными заводами и институтами ВЭИ и НИИПТ, были разработаны уникальные составные вводы постоянного тока на напряжения ± 400 кВ и ± 750 кВ.

Новым витком развития систем постоянного тока стала Генеральная схема размещения объектов энергетики до 2020 г., одобренная Правительством РФ от 22.02.2008г., в которой в ближайшее время предусмотрены серьезные работы по линиям электропередач постоянного тока на напряжения от 220 (вставка постоянного тока) до ± 500 и ± 750 кВ.

Чтобы быть готовым к выполнению будущих заказов, завод счел необходимым уже сейчас начать работы по созданию вводов постоянного тока с новым видом изоляции. Но, к сожалению, заявок от российских заказчиков пока не поступало.

В настоящее время завод разрабатывает и производит вводы по заказам иностранных компаний:

Для китайской корпорации TBEA – 150 кВ 2500 А, 186 кВ 5400 А, 220 кВ 4500 А, 280 кВ 1800 А, 536 кВ 3000 А;

Для европейской корпорации AREVA – вводы ± 800 кВ и ± 660 кВ для трансформаторов и реакторов и линейный ввод ± 800 кВ.

Основной конструктивной частью вводов постоянного тока, разработанных заводом «Изолятор», служит его изоляционный остов – (RIP-изоляция), полученный намоткой на проводник (алюминиевую или медную трубу) особой электроизоляционной крепированной бумаги с размещением обкладок из специального полупроводящего материала. Обкладки служат для распределения электрического поля и обеспечивают оптимальное распределение напряжения.

Одним из основных требований, предъявляемых к вводам постоянного тока, является требование пожаробезопасности, и, как следствие, невозможность применения трансформаторного масла в конструкции вводов. В связи с этим были применены два типа конструкций внешней изоляции вводов:

- Конструкция с нанесением полимерной изоляции непосредственно на остов (т.н. технология «direct molding»). Эта технология давно и широко применяется на нашем предприятии в качестве внешней изоляции вводов как переменного, так и постоянного тока на напряжения $35 \div 330$ кВ;
- Для вводов на более высокие напряжения, где требуемые размеры изделия делают невыгодным применение вышеуказанной технологии нанесения полимерной изоляции на остов, в конструкции для внешней изоляции используется стеклоэпоксидная покрышка с полимерным ребрением. В этом случае пространство между остовом и стеклоэпоксидным цилиндром заполняется элегазом.

Для вводов, заполненных элегазом, разработана система контроля и поддержания необходимого давления во вводе.

Система состоит из:

- Мембранных предохранительных устройств (МПУ) с хлопающими мембранами, для предотвращения разрушения стеклоэпоксидной покрышки при аварийном повышении давления элегаза во вводе;
- Для контроля аварийного снижения давления ввод комплектуется либо электронным прибором с датчиком давления, либо электроконтактным манометром. Оба прибора отслеживают давление элегаза во вводе и при

снижении давления до опасной величины подают сигнал на предупреждение, при дальнейшем снижении давления подаётся сигнал на отключение объекта.

Большинство вводов постоянного тока, выпускаемые заводом «Изолятор», имеют удлиненную конструкцию соединительной втулки для прохода ввода через стену вентильного зала с учетом угла установки, также часть вводов комплектуется внешними обечайками и резиновыми кожухами для уплотнения места прохода ввода через стену.

Характерной особенностью вводов постоянного тока является значительно увеличенная длина пути утечки внешней изоляции, по сравнению с вводами переменного тока, что в сочетании с удлиненной соединительной втулкой неизбежно сказывается на массогабаритных параметрах вводов. Таким образом, аксиальные размеры и массы этих вводов увеличиваются, но в то же время, требования по сейсмической стойкости и испытательной консольной нагрузке тоже возрастают. Это потребовало принятия нестандартных конструктивных решений, а также проведения дополнительных расчетов и тщательную проработку отдельных узлов и конструкции в целом. В частности одним из таких конструктивных решений стала конструкция трансформаторного ввода 800 кВ, в котором полностью отсутствует соединительная втулка, а измерительный вывод и отверстия для заполнения ввода элегазом расположены непосредственно на опорном фланце.

По требованию заказчика, для диагностики состояния ввода под рабочим напряжением, на измерительный вывод может быть установлен делитель напряжения, имеющий с ним постоянный электрический контакт.

В качестве уплотнений в элегазонаполненных вводах постоянного тока используются прокладки из специального материала производства фирмы AMORIM.

Для проведения испытаний вводов в соответствии с МЭК нашим заводом было приобретено необходимое специальное оборудование для высоковольтной испытательной лаборатории. Все вводы постоянного тока, изготовленные нашим предприятием, прошли испытания в соответствии с МЭК 60199 “Вводы систем постоянного тока”.

Габаритные размеры твердой изоляции новых вводов для линий передачи постоянного тока сверхвысокого напряжения ± 800 кВ значительно превышают размеры самых крупных изоляций вводов 500 кВ для систем переменного тока, которые уже выпускает «Изолятор». Диаметр этих изоляций больше 500 мм,

длина больше 8 м. Поэтому для изготовления крупногабаритных изоляций для вводов постоянного тока сверхвысокого напряжения потребовалось использовать новые технологии, которые позволили бы достичь самых высоких электрических, механических и физических свойств. На основании имеющегося опыта были разработаны новые технологии сложной геометрической намотки бумажной изоляции, оптимальные процессы вакуумной пропитки и теплового отверждения.

Но кроме изменений в технологии решили использовать новые материалы, отказаться от использования уравнильных обкладок из алюминиевой фольги и начать использовать современные полимерные полупроводящие материалы.

В соответствии со сложившейся технологией при изготовлении твердой RIP-изоляции используют крепированную бумагу, которая прекрасно пропитывается электроизоляционными компаундами, но имеет очень рельефную поверхность. Для изготовления уравнильных обкладок высоковольтных вводов используют алюминиевую фольгу толщиной менее 150 мкм. Поэтому в процессе намотки изоляции закладываемые между слоями бумаги конденсаторные обкладки деформируются и приобретают неравномерный профиль, точно повторяющий креп бумаги (рис.1).



Остов ввода 220кВ производства
фирмы HSP



Остов ввода 110кВ производства
«Изолятор»

Рис. 1 Поперечные разрезы изоляций вводов
с уравнильными обкладками из AL-фольги

Новый полупроводящий материал имеет толщину более 250мкм и как большинство полимерных полотен является эластичным, поэтому в процессе намотки обкладки не деформируются, сохраняют правильную концентрическую форму (Рис.2).



Рис. 2 Поперечный разрез изоляции ввода с уравнительными обкладками из полимерного полупроводящего материала

Даже при высоком качестве изготовленной изоляции – получении монолитной структуры без микротрещин и полостей – возможно возникновение высоких напряженностей электрического поля E_{C1} в слое изоляции между обкладками из-за неравномерности профиля Al-фольги, которые могут превысить критическую прочность твердой изоляции $E_{ср.пр.}$ (Рис.3).

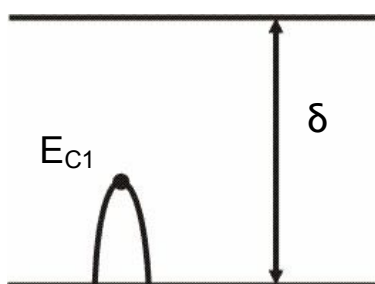


Рис.3

При использовании обкладок из полупроводящего материала электрическое поле становится более однородным в пространстве между обкладками и в области на краях обкладок.

Из-за оксидной пленки на поверхности Al-фольги сложно получить требуемую адгезию пропиточного компаунда к уравнительным обкладкам в процессе отверждения. Из-за этого изоляция в области уравнительных обкладок не является полностью монолитной. Требуемая механическая прочность и отсутствие внутренних полостей достигаются за счет сил обжатия, которые возникают в процессе отверждения пропитанной изоляции и ее усадки. Для увеличения прочности связи соседних слоев изоляции Al-фольгу искусственно перфорируют. Проникающий через перфорацию компаунд после отверждения создает «клепки», что дополнительно увеличивает прочность RIP-изоляции.

Новый полимерный полупроводящий материал, из которого изготавливают уравнивающие обкладки для изоляций вводов на постоянный ток сверхвысокого напряжения, является полностью проницаемым для пропиточного компаунда. Это позволило получить полностью монолитную RIP-изоляцию с превосходными электрическими, механическими и физическими свойствами. Это подтверждают результаты высоковольтных испытаний собранных вводов. Как установили значение напряжения, при котором появляются частичные разряды при использовании проницаемого полупроводящего материала выше, чем в случае применения Al-фольги для изготовления уравнивающих обкладок.

Остов ввода 220кВ производства фирмы HSP