

Перепечатка из журнала International Aluminium Journal, январь/февраль 2013 г.

Модернизация электросилового блока линий электролитических ванн завода Isal в Исландии

Самая сложная и передовая модернизация силового блока из когда-либо осуществленных



В 2012 г. завод Rio Tinto Alcan (Isal) в Исландии получил от компании АББ четыре новых трансформатора-выпрямителя для подачи питания ко всем трем линиям электролитических ванн от новой понижающей открытой подстанции (AIS) на 220 кВ. Это действительно самая сложная и передовая модернизация силового блока из когда-либо осуществленных в алюминиевой промышленности.

Power and productivity
for a better world™



Модернизация электросилового блока линий электролитических ванн 1-3 завода Isal в Исландии

Б. Йонссон (B. Jonsson), RTA; М. Вайстнер (M. Wiestner), компания АББ

Самая сложная и передовая модернизация силового блока из когда-либо осуществленных в алюминиевой промышленности. В 2012 г. завод Rio Tinto Alcan (Isal) в Исландии получил от компании АББ (Швейцария) четыре новых трансформатора-выпрямителя, которые теперь обеспечивают питание от новой понижающей открытой подстанции (AIS) на 220 кВ ко всем трем линиям электролитических ванн. Ниже описаны история выполнения проекта и преодоленные технические проблемы.

В период с 1959 по 1971 годы правительство Исландии стремилось интенсивно развивать электроэнергетику, чтобы использовать ресурсы гидроэлектростанций Исландии, из которых использование не менее 30 ТВтч/а считается экономически целесообразным, и они не являются предметом охранной ценности.

В начале 1960-х контакты между группой компаний Alu-suisse и Министерством промышленности быстро перешли в фазу официальных переговоров, которые в 1966 году завершились подписанием генерального соглашения по разработке и строительству в г. Страумсвик предприятий по производству алюминия. Был также заключен контракт на поставку электроэнергии между National Power Co., Landsvirkjun (национальная компания по производству электроэнергии Лэндсвиркюн) и Icelandic Aluminium Co. Ltd (Isal), единственным филиалом группы Alusuisse.

Алюминиевый завод Isal строился в несколько этапов, начиная с линии электролитических ванн 1, введенной в действие в середине 1969 года, и заканчивая линией электролитических ванн 3, введенной в действие в середине 1997 года.

В середине 1980-х годов электролизеры обоих старых электролизных цехов были заменены только разработанным тогда новым типом, так называемыми электролизерами колыбельного типа, которые обладали большей способностью теплового расширения, чем их предшественники. Цель этой разработки Alusuisse состояла в том, чтобы увеличить силу тока линий электролитических ванн от 104 кА приблизительно до 120 кА, что является номинальным током для каждой из выпрямительных подстанций А и В для линий электролитических ванн 1 и 2, для которых всего было назначено восемь выпрямительных блоков. Приблизительно в 1990 году выпрямительный блок В4 был изменен с целью служить вспомогательным выпрямителем при проведении испытаний и подключался к 20 электролитическим ваннам линии 2 для токовых испытаний до 20 кА. К середине 1990-х номинальный ток в 120 кА был достигнут уже для 320 электролитических ванн линий 1 и 2.

Уже тогда группа Alusuisse искала дополнительные инвестиции и осуществляла выбор новой линии электролитических ванн с идентичными ванными, но с большими и магнитно-оптимизированными шинами постоянного тока. Номинальный ток линии 3 составляет 135 кА с четырьмя выпрямительными блоками.



Завод RTA Isal в г. Страумсвик, Исландия

В 2000 году была расширена система фильтров для выпрямителя С, чтобы достичь силы тока выше 140 кА, а в 2004 году был добавлен пятый выпрямитель, чтобы поддерживать работоспособность выпрямителей по системе (n-1).

К 2004 году сила тока в линии электролитических ванн 1 и 2 достигла 125 кА. Потом была расширена система фильтров для выпрямителя В, потребность которого в реактивной мощности выше, чем у выпрямителя А, и сила тока постепенно поднималась до ее существующего в настоящее время значения в 133 кА.

Существующее в настоящее время значение силы тока в линии электролитических ванн 3 составляет 168 кА, а с ноября 2011 года имеется 100-вольтовый вспомогательный выпрямитель на 20 кА, который работает, чтобы достичь силы тока в 181 кА на десяти испытательных электролитических ваннах линии 3.

Подстанцию и выпрямительное оборудование, обслуживающее линию электролитических ванн 1, поставила швейцарская компания Oerlikon, а то же самое для линии электролитических ванн 2 – швейцарская компания ВВС. Обе компании являются предшественниками компании АББ, консорциума, состоящего из шведской компании Asea и швейцарской компании ВВС. Компания АББ в 1995 году выиграла тендер на поставку расширения подстанции и новой выпрямительной станции С линии электролитических ванн 3 в г. Страумсвик.

Для линий электролитических ванн завода Isal имеются три различных системы управления током. Выпрямитель А содержит диоды, выпрямительные трансформаторы и регулировочные трансформаторы с переключателями отводов трансформатора под нагрузкой (переключатель РПН - OLTC) компании Maschinenfabrik Reinhausen (MR) в Регенсбурге, Бавария. Все эти устройства являются чрезвычайно надежным оборудованием. Флуктуации силы тока в линии 1 не превышают $\pm 0,1$ кА в интервале времени в 24 часа.

Выпрямитель В содержит диоды, выпрямительные трансформаторы с дросселями насыщения в диапазоне напряжений ± 30 В постоянного тока и регулировочные трансформаторы с переключателями отводов трансформатора под нагрузкой от компании MR. Это оборудование обеспечивает постоянное управление током для линии 2.

Выпрямитель С содержит тиристоры и выпрямительные трансформаторы с постоянным контролем тока и способностью быстрого сброса нагрузки, и с очень большим диапазоном градиентов нагрузки для линии 3.

У каждой выпрямительной станции имеется своя собственная система управления током со своими плюсами и минусами. В линии электролитических ванн 1 наблюдаются флуктуации тока. Алгоритм управления оптимизирует число шагов так, чтобы одновременно минимизировать и число операций дивертерного переключателя, и длительное отклонение тока от заданного значения.

Выпрямительные станции В и С обеспечивают постоянный ток с использованием регулировочных трансформаторов. Это выпрямительные трансформаторы с дросселями насыщения и диодные выпрямители в линии В и, соответственно, выпрямительные трансформаторы и тиристорные выпрямители в линии С. У каждой системы есть свои преимущества и недостатки, но превосходная управляемость тиристорного выпрямителя неоспорима. Это преимущество позволяет достигнуть быстрого и модулированного сброса нагрузки. С другой стороны, эта особенность не используется для многофазных падений напряжения более чем на 50%, так как при этом мы должны отключить тиристоры от сети, чтобы избежать повреждения тиристоров из-за неправильного срабатывания. В островной электросети, какая имеется в Исландии, такие падения обычно происходят примерно один раз в год.

Использование программируемых логических контроллеров на заводе Isal в 1990 году дало начало оптимизированному управлению током в линиях электролитических ванн и позволило усилить защиту от обрыва цепи.



Самый большой трансформатор в Исландии

Это помогло достичь более высокого тока и эффективности использования энергии, а также позволило уменьшить частоту анодных эффектов, уменьшив, таким образом, выпуск парниковых газов. Заслуга завода Isal в этом контексте имеет немалое значение в международном масштабе.

Современная технология управления также послужила повышению безопасности в цехах электролиза. В электролитической ванне окажется сконцентрирована огромная мощность при обрыве цепи линии электролитических ванн, по которой течет очень большой ток. Такой случай является катастрофическим для персонала и для оборудования, находящегося поблизости от анодного устройства. В 1991 году завод Isal, поддержанный предприимчивым инженером-механиком и специалистом по программному обеспечению из университета Беркли, Хафлиди Лофтссоном (Haflíði Loftsson), начал сбор данных для эмпирической разработки защитного алгоритма. Эта разработка программного обеспечения скоро доказала свою успешность в электролизном цехе 1, в котором с момента внедрения разработки диагностика условий возникновения дуги и средства защиты позволяют избежать любой вспышки дуги через ванны.

Потом эта схема была адаптирована к другой динамике линии электролитических ванн 2, а вскоре после запуска линии электролитических ванн 3 схема была адаптирована к намного более динамическим характеристикам управления линии электролитических ванн 3. Эта схема защиты должна быть адаптирована к параллельно работающим старым и новым выпрямителям.



Комплексное распределительное устройство элегазовое (КРУЭ – GIS) на 132 кВ, работающее под напряжением 60 кВ



Открытая подстанция (AIS) на 220 кВ

Основные этапы

19 июня 2006 года феррорезонанс стал причиной отказа измерительных трансформаторов напряжения на шинном проводе низкого напряжения понижающих трансформаторов для выпрямительной станции С, питающей линию электролитических ванн 3. Возникли субгармонические колебания между индуктивностями этих трансформаторов напряжения и емкостями кабелей на 33 кВ, питающих пять выпрямительных трансформаторов. Это вызвало чрезмерное напряжение на трансформаторах напряжения и огромную перегрузку. Силовые системы на упругой подвеске склонны к этому явлению в условиях повышенного напряжения, как это имело место здесь в полночь в середине лета. Феррорезонанс был вызван изменением в активной и реактивной нагрузке, когда линия электролитических ванн 3 переклочилась на нулевой ток из-за некоторой потребности ванн.

Измерение напряжения на соединенной треугольником шине фиксированного отношения 220/33 кВ, 51 МВА, а также однофазные понижающие трансформаторы служат, главным образом, чтобы обеспечить эталонный сигнал управляющему электроду тиристора. Когда это входное измерение исчезло, выпрямители перестали работать, что привело к застыванию ванн.

Несмотря на успешный холодный перезапуск 160 застывших ванн в период с 16 июля по 31 августа 2006 год, потери составили не менее 30 миллионов долларов США.

Таким образом, завод Isal с июня 2006 года до января 2007 года предпринял ряд незначительных улучшений, чтобы избежать повторного возникновения этого редкого явления. Однако основное уменьшение риска все еще предстояло реализовать.

В декабре 2006 года тогдашний владелец завода Isal Алькан с экспертами Isal провел комплексную оценку деятельности предприятия в г. Страумсвик, чтобы оценить доступность электропитания для трех линий электролитических ванн. Этот анализ Hazop (HAZard and OPERability - опасные ситуации и готовность к эксплуатации) показал серьезные слабости в проекте сети электропитания по многим сценариям отказов по общей причине. Было очевидно, что эти слабые стороны можно исправить только серьезным усилением системы энергоснабжения.

Концепция, выбранная в спецификации, выполненной Isal и Alesa, проектно-конструкторской компанией Alcan и компанией, теперь называемой Rio Tinto Alcan (RTA), состояла в необходимости спроектировать новый блок электроснабжения на 220 кВ, подающий ток 2 x 75 кА, на 900-вольтовые распределительные соединительные шины (DC-busbars), на выпрямитель качаний тиристорных блоков, фактически обходя таким образом существующую систему электропитания. Выпрямители качаний могут работать параллельно с каждой из выпрямительных станций А, В и С, обслуживая все три линии электролитических ванн. Номинальная мощность этой системы повышенной надежности - 200 МВА на стороне 220 кВ и 150 кА, 900 В на стороне пост. тока. Нормальное рабочее напряжение линий электролитических ванн составляет только 720 В постоянного тока, в то время как возможность высокого напряжения позволяет выполнять перезапуск линии электролитических ванн на грани застывания, например, при нарушении электроснабжения, так как в этом случае нет никакого резерва электроснабжения для завода Isal.

В марте 2007 года в соседнем муниципалитете г. Хабнарфьёрдур (Hafnarfjörður), находящемся в нескольких километрах от существующего завода, был проведен референдум, в котором общественность выразила свое несогласие с расширением завода Isal. Тогда завод Isal предложил план Б по увеличению производственной мощности существующего завода с 190 до 230 кило тонн в год с потенциалом дальнейшего роста. Новый владелец - RTA - одобрил этот план.

По этой концепции необходимо добавить понижающий трансформатор на 200 МВА и два тиристорных выпрямителя, 75 кА, 900-вольтовые распределительные соединительные шины для линий 1 и 2 для концепции роста. Идея состоит в том, чтобы продолжить эксплуатацию четырех старых выпрямительных блоков для каждой из линий 1 и 2, так как остаточный срок службы самой ценной части этого оборудования составляет приблизительно 30 лет.

Тогда нормальное функционирование на линиях 1 и 2 будет состоять в работе четырех старых устройств приблизительно на 112 кА и нового устройства приблизительно на 74 кА (в сумме 186 кА). Этого можно также достигнуть в режиме функционирования (n-1).

Два из трех силовых трансформаторов завода были модернизированы с 15 до 30 МВА. Один из них был необходим, чтобы справиться с более высокой нагрузкой газоочистных центров для паров электролитических ванн и чтобы справиться с потреблением энергии электрической печью в литейном цехе, предназначенной для гомогенизации цилиндрических слитков. Слитки - новый тип продукта завода Isal, заменяющие плиты горячей прокатки.

Линия питания силового трансформатора завода, питающего вспомогательные устройства линии 3, была переведена с шин на 33 кВ на новые шины КРУЭ на 60 кВ. Последние снабжены секционными разъединителями, позволяющим осуществлять передачу нагрузки между понижающими ступенями на каждой электролинии на 220 кВ, не влияя на работу линий электролитических ванн, что является шагом вперед для завода Isal. Причиной предпочтения КРУЭ (GIS) перед открытой подстанцией (AIS) была нехватка земли на побережье, где находится подстанция.

Выгода смена места расположения линии питания состоит не только в более высокой надежности электропитания. Это также означает, что мощность в 15 МВт, прежде предназначенная для электроснабжения установки, теперь может быть передана выпрямительной станции, достигая таким образом силы тока в 180-185 кА от выпрямительной станции С вместо 168 кА, имевшихся ранее.

Новый контракт на электроснабжение с компанией National Power Co. и соглашение о передаче с компанией TSO, Landsnet, состоит в поставке мощности в 425 МВт с коэффициентом мощности не менее 0,98 в течение календарного месяца. В дополнение к этой высокой компенсации реактивной мощности компания TSO также потребовала осуществлять полную фильтрацию гармоник, поддерживая каждую гармонику напряжения ниже 1,0% и коэффициент нелинейных искажений напряжения ниже 1,5% на входной линии в 220 кВ завода Isal.

Это потребовало сложную разработку фильтров 2x85 МВА, подключенных к шинам на 60 кВ.

Немедленная польза

Переустройство трансформаторов и выпрямителей было отложено на период строительства комплексного блока электроснабжения (IPU), чтобы избежать загромождения строительной площадки и уменьшить производственные потери и помехи электролизу. Это привело бы к значительным потерям для завода Isal, поскольку было невозможно сварить шины на при полной силе тока на линии электролитических ванн. Это главное объяснение более высокой частоты отказов оборудования, чем предполагалось, в период пуско-наладочных работ. Один регулировочный трансформатор вышел из строя на каждой из выпрямительных станций А и В, после чего сразу же пришлось ввести в действие новые секции выпрямителей А5 и В5, чтобы поддерживать полный ток 133 кА в линии электролитических ванн. Переключатели ответвлений трансформаторов были отремонтированы на месте.

Когда устранялась утечка в выпрямительном трансформаторе в станции В, произошло возгорание устройства демпфирования для одного из выпрямителей станции В. После этого на линии электролитических ванн 2 были доступны только два старых устройства. Это не могло быть постоянной ситуацией на этой линии, так как ее сила тока составила бы только 80 кА из 133 кА, или 60%.

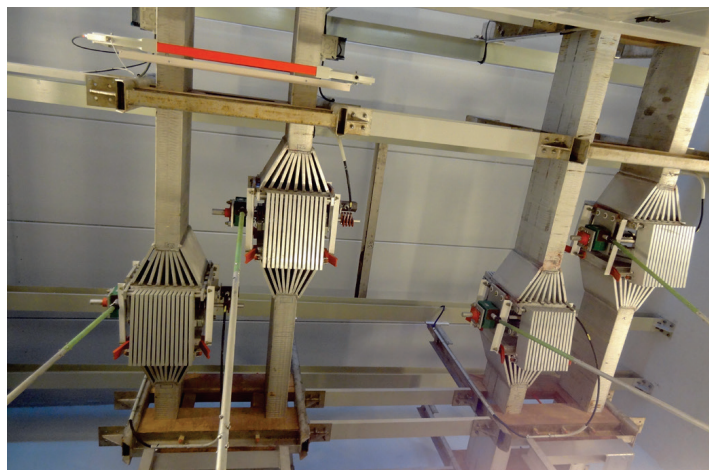
Во время ремонта устройства демпфирования температура электролита приблизилась к своей точке застывания. Вероятно, что были бы потеряны некоторые электролитические ванны, и могла бы нарушиться эксплуатационная стабильность и эффективность других ванн. Затраты на электролиз и потерянный доход из-за такой серьезной ситуации можно оценить в 1,5 миллионов долларов США. Поскольку компания АББ уже произвела поставку новых устройств для завода Isal, во время этой критической ситуации удалось сохранить полную силу тока в линии электролитических ванн.

Все это задержало ввод в эксплуатацию в «горячем» режиме и нарушило график работ компании АББ; однако компания АББ, ее субподрядчики и завод Isal получили ценный опыт.

Во время этого периода наблюдалось плавающее повреждение контрольно-измерительных приборов, например, катушек индуктивности и регулирующих клапанов. Мы идентифицировали причину, анализируя качество питания по шине в 60 кВ нового силового трансформатора установки, который подает вспомогательное напряжение новой системе S и существующей системе С. С новыми работающими выпрямительными блоками без какого-либо включенного фильтра напряжение содержит много гармоник с суммарным коэффициентом нелинейных искажений напряжения $TVDF = 10$ ($TVDF$ - Total Voltage Distortion Factor). Поэтому было решено изменить концепцию системы управления фильтрами. Вместо включения, когда потребность в реактивной мощности составляет приблизительно 30 МВА, первая часть фильтра включается после включения первого выпрямительного трансформатора, но до того, как на него будет подана нагрузка. С включенным фильтром третьей гармоники напряжение является чисто синусоидальным, и качество напряжения даже еще выше при включении фильтра для пятой и одиннадцатой гармоник.

Заключение

Плодотворное сотрудничество между шведской компанией АББ и заводом Isal продолжается на настоящий момент в течение приблизительно 45 лет, начиная с разработки системы электроснабжения и системы управления для линии электролитических ванн 1 в г. Страумсвик и до ввода в действие выпрямительных блоков на 4 x 75 кА и их электропитания осенью 2012 года.



Система шин с волоконно-оптическим датчиком тока (FOCS)

Это сотрудничество было выгодным для обеих сторон.

Исландские компании никогда не играли столь большую роль в реализации проекта компании АББ в г. Страумсвик, как в Проекте комплексного блока электроснабжения (IPU Project). Компания Orkuvirki установила все оборудование, а также спроектировала и собрала ряд распределительных и управляющих устройств. Компания Staki разработала программное обеспечение мастер-контроллера каждой линии электролитических ванн, а также программное обеспечение супермастера и системы диспетчерского контроля и сбора данных (SCADA). Все это было достигнуто с сохранением хороших отношений с владельцем систем, завода Isal, с которым постоянно консультировались на каждом этапе, а также стало значительным вкладом в техническое развитие.

Производственная инфраструктура, поставленная на завод Isal, соответствует технической спецификации, сделанной совместно компаниями Alesa, машиностроительной компанией RTA в Цюрихе, Швейцария и заводом Isal до объявления тендера проекта IPU.

Система электроснабжения и система управления подстанцией завода Isal представляет собой современное решение для сложной задачи расширения системы распределения электроэнергии алюминиевого завода, работающего более 40 лет, без остановки производства. Это было достигнуто без каких-либо травм персонала и без серьезных повреждений оборудования завода.

Isal видит будущее в повышении производственной мощности, повышении производительности и надежности электроснабжения линий электролитических ванн и завода в целом.

Авторы

Бьярни Йонссон - лидер Службы электроснабжения компании Рио Тинто Альян, базирующейся в компании Icelandic Aluminium Ltd, г. Страумсвик, Исландия.

Макс Вайстнер - менеджер бизнес-группы Primary Aluminium, которая является частью компании ABB Global Product Group, г. Девиль, Швейцария.

Наши координаты

Global Product Group Aluminium

ABB Switzerland Ltd.

Segelhofstrasse 9P

CH-5405 Baden 5 Dättwil

Switzerland

Phone.: +41 58 586 84 44

E-mail: max.wiestner@ch.abb.com

Офис в России

ООО «АББ»

630048, Россия, Новосибирск

пл. К. Маркса, 7, офис 810

Тел: +7 383 227 8200

Факс: +7 383 227 8211

E-mail: maksim.khabibulin@ru.abb.com

Для более подробной информации
посетите наш сайт:

www.abb.com/aluminium