

Динамическая компенсация реактивного тока

Стабильное напряжение – надежное напряжение

Удо Клейнштебер,
Пауль Сибер,
Михаэль Шуберт

Организация по снабжению электроэнергией SWAWЕК в Намибии имеет две электростанции общей мощностью 360 МВт, протяженность линий высоковольтных передач составляет более 7900 км. Она располагает 64 крупными трансформаторными подстанциями, трансформаторами мощностью около 1600 МВт и подсоединена к южноафриканской организации по снабжению электроэнергией ESKOM 200 МВт.



Ввиду огромных пространств и не плотной заселенности местности между электростанциями, центрами потребления электроэнергии и точками подключений к ESKOM протянуты многокилометровые линии высоковольтных передач. В связи с этим встает вопрос стабилизации напряжения. На сеть электроснабжения Намибии отрицательно сказываются довольно частые грозы, загрязнение изоляторов в прибрежных районах, короткие замыкания в сети 220 кВ, причиной которых в основном являются животные (обезьяны или совы), перегрызающие кабели электропередач. Ещё одной причиной являются пробой, вызываемые степными пожарами, и обрыв проводов из-за коррозии в прибрежных районах страны. Связанный с этим сброс нагрузки приводит к колебаниям мощности и авариям в сети.

Структура сети электроснабжения Намибии

Сеть электроснабжения Намибии простирается с северо-востока на юг страны. На севере, на реке Кунене, расположена гидроэлектростанция Руакана. Намибия по этой реке граничит с соседней Анголой. Электростанция, имеющая мощность 3x80 МВт, соединена одноцепной воздушной линией 330 кВт общим протяжением 520 км с автоматической трансформаторной подстанцией Омбуру. Отсюда электроэнергия 220 кВт распределяется по разным направлениям. На юге сеть SWAWЕК соединена одноцепной воздушной линией мощностью 220 кВт и общим протяжением 160 км с угольной электростанцией Ван Экк, дающей электроэнергию мощностью 120 МВт. От Ван Экк до населенного пункта Аггенеис, где находится узловая точка ESKOM, проходит двухцепная воздушная линия мощностью 220 кВт и общей протяженностью 830 км.

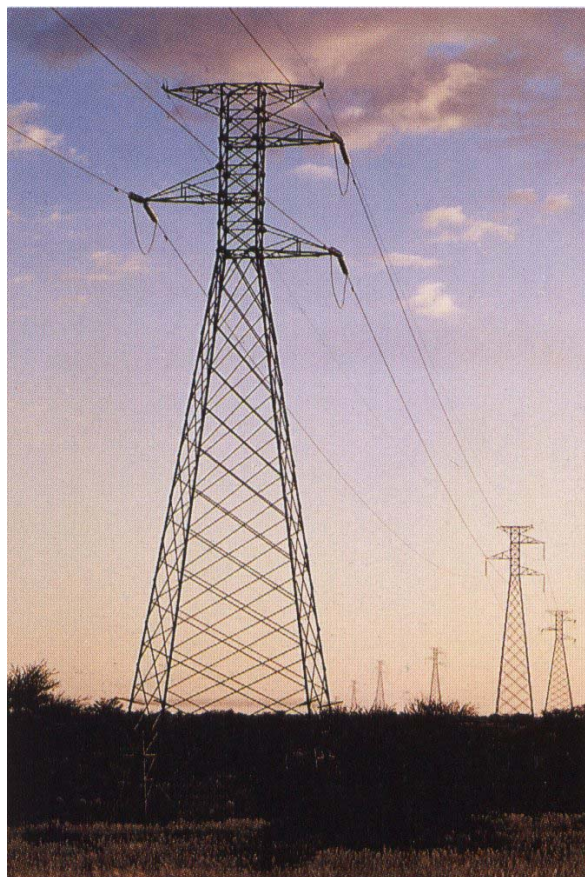
О проблемах работы сети

В сети возникают два критических рабочих состояния. Одно критическое состояние возникает при отключении электростанции в Руакане, в то время как на электростанции Ван Экк генератор поставляет энергию мощностью всего 10 МВт, а остальная мощность подпитывается от сети ESKOM. Напряжение в этом случае, особенно в узловой точке Омбуру, тяжело выдерживать в приемлимых границах. К тому же мощность, колеблющаяся между 130 и 200 МВт, передается на расстояние более 1000 км переменным током 220 кВ. Другая критическая ситуация возникает из-за неисправностей, возникающих при нарушении связи между Омбуру и Ван Экк. На электростанции Руакана, которая до возникновения подобной ситуации работает с полной мощностью, происходит сброс нагрузки, что в свою очередь приводит к

отключению станции, поскольку всего лишь 80 МВт распределяется на другие направления. Момент инерции гидроагрегатов, работающих на турбинах Fronic и синхронных генераторах, намного выше, чем момент инерции паровых турбогенераторов. Поэтому во избежание повышения давления в трубопроводах регулятор гидротурбин должен работать сравнительно медленно. При этом повышается скорость оборотов, которая регулируется перестановкой лопастей турбин. Связанное с увеличением числа оборотов повышение частоты указывает на то, что ёмкостное реактивное сопротивление понижается, а индуктивное, в свою очередь, повышается. Расход реактивного тока уменьшается. Это приводит к повышению напряжения на 30%, хотя через 1,55 секунд в Омбуре из-за перенапряжения включается реактивная катушка сборной шины 60 Мвар. После кратковременного прорыва через 4 секунды следует повышение напряжения, пока частота достигнет 61 Гц. Вслед за этим напряжение и частота понижаются. Это понижение не может быть отрегулировано из-за

больших постоянных времени регулирования гидротурбин. И через 15 секунд происходит отключение из-за частоты субгармоники и пониженного напряжения.

Модельные расчеты, проводимые ESKOM по заданию SWAWEK, показали, что проблему стабилизации напряжения в первом случае можно с успехом решить, применив компенсатор реактивного тока, который можно регулировать в диапазоне от 15 Мвар (индуктивно) до 40 Мвар (ёмкостно). Для решения таких задач фирма АЭГ сконструировала тиристорные компенсаторы реактивной мощности, которые обозначаются SVC (static var compensators). Такой компенсатор стабилизирует напряжение путем динамического выравнивания реактивной мощности с условиями работы сети. Компенсатор состоит из 2 главных узлов: конденсаторов с постоянной ёмкостной реактивной мощностью и управляемой от тиристора реактивной катушки TCR, индуктивную проводимость которых можно быстро и постоянно регулировать от 9 до



Relativ einfach gestaltet sich der Aufbau des Stromversorgungsnetzes in Namibia. Es ist längs einer von Nordwesten nach Süden verlaufenden Linie aufgebaut und besteht überwiegend aus Einfach-Freileitungen, die an Stahlgittermasten befestigt sind



Umspannungstation Omburu mit der Blindstrom-Kompensationsanlage der AEG.

Die Anlage mindert die Auswirkungen von Störungen innerhalb des Stromversorgungsnetzes und trägt dazu bei, daß sich die Spannungsschwankungen bei der Energieversorgung nicht ungünstig auswirken

номинального значения (TCR thyristor controlled reactor регулируемая индуктивность). Тем самым можно регулировать суммарное значение реактивной мощности конденсаторов и реактивных катушек.

Благодаря предвключению реактивных катушек конденсаторы можно использовать как отсасывающий контур. Тем самым конденсаторы потребляют от сети, а также от управляемой тиристором реактивной катушки, токи высших гармоник. Снижаются искажения напряжения в сети. Компенсатор подключается к сети через трансформатор согласования напряжения.

Поскольку в компенсаторе, состоящем из реактивных катушек, конденсаторов и полупроводниковых вентилях, отсутствуют подвижные части, то в отличие от ранее принятых фазо-компенсаторов, которые были исключительно электрическими машинами, эти компенсаторы называют статическими, т.е. находящимися в состоянии покоя, электрическая характеристика которых значительно динамичнее.

В 1983-85 г.г. фирма АЭГ поставила для ESKOM шесть компенсаторов такого типа с диапазоном регулирования 45 Мвар для сети с напряжением 132 кВ и пять компенсаторов с диапазоном регулирования 300 Мвар для сети с напряжением 400 кВ. В отличие от ранее поставленных конденсаторов, в задачу которых кроме регулирования напряжения входила симметризация напряжений неравных однофазных нагрузок, описанный здесь компенсатор имеет только одно симметричное управление, одинаковое для всех 3 фаз. Ёмкостные аккумуляторы настраиваются как отсасывающие контуры на частоту между пятой и седьмой высшей гармоникой. Это самые большие высшие гармоники, которые генерируются реактивной катушкой, управляемой от тиристора.

В случае, упомянутого в начале статьи, второго рабочего состояния, т.е. прерывания подачи электроэнергии из Омбуру в Ван Экк, даже полное управление компенсатора не могло способствовать улучшению ситуации. Повышение частоты в описанном случае изменило бы соотношение ёмкостных резисторов к индуктивным сборной шины компенсатора таким образом, что результирующее из этого реактивное сопротивление компенсатора перешло бы в ёмкостное. Из этого следует, что отсасывающие цепи с большими конденсаторами в таком случае должны отключаться. Поскольку в случае таких помех используется полная индуктивная реактивная мощность, то тиристорный преобразователь реактивной катушки должен постоянно управляться, т.е. высшие гармоники, которые обычно вызываются фазовым управлением тиристоров. Поэтому даже при отпадении отсасывающих цепей содержание высших гармоник в сети не увеличивается. Отключение отсасывающих цепей является причиной того, что в сети имеется полная реактивная мощность реактивных катушек, управляемых от тиристора, что позволяет справляться с неисправностями в сети. При этом появилась дополнительная задача расширения системы регулирования компенсатора таким образом, что во-первых, компенсирующие реакторы (линейные и межсекционные шинные реакторы), находящиеся вне компенсатора, включаются или выключаются по сигналу от компенсатора. Во-вторых, ступенчатый переключатель трансформаторов 330/220 кВ управляется от компенсатора.

У ESKOMа накоплен большой опыт работы с переключателем SF 6, который изготавливается на фирме АЭГ и применяется в пяти упомянутых выше компенсаторах мощностью 300 Мвар. Этот выключатель служит для переключения цепи фильтра, благодаря чему в особых случаях можно увеличивать индуктивный диапазон компенсатора. Поэтому ESKOM решил укомплектовать остальные четыре компенсатора

300 МВар этими выключателями. Совершенно естественно, что и в компенсаторах SWAWEK были применены выключатели такого же типа. Тем самым компенсатор может подавать реактивную мощность от индуктивной в 60 МВар до ёмкостной в 45 МВар.

В небольшой диспетчерской, в которой обычно нет обслуживающего персонала, мнемонические схемы, измерительные приборы и табло сбоев были заменены на дисплей компьютера и принтер.

Реализация проекта

Перед установкой компенсаторов на фирме АЭГ, в Берлине, были проведены исследования на симуляторе Parity, в которых принимали участие представители SWAWEK и ESKOM. Модель компенсатора и регулировочная система были опробованы в работе на модели, симулирующей работу электросети в Намибии. Заказ на выполнение работ был выдан в 1988 году. В марте 1989 года начались работы по установке компенсаторов, а уже в июне того же года работы были завершены и компенсаторы вступили в строй.

Опыт, накопленный в работе

Компенсаторы без каких-либо ограничений отвечают поставленным к ним требованиям. Постоянное напряжение поддерживается при помощи постоянно изменяющейся реактивной мощности. Без компенсатора имеются значительные колебания напряжения. Обычно напряжение регулируется исключительно путем изменения угла направления фазового управления тиристора. Ранее возникало значительное повышение напряжения, во время которого прерывалась связь между Омбуру и Ван Экк. Вслед за повышением напряжения следовала остановка турбин электростанции и прерывалась подача энергии в оставшуюся часть сети. После ввода в действие компенсатора такой остановки больше не происходит, т.к. отсасывающие цепи моментально отключаются. В сети достаточно потребителей реактивной мощности для ограничения повышения напряжения на 10%. Через 30 секунд напряжение достигало номинального значения и больше не падало. Из этого следует, что компенсатор и регулировка, которые координируют переключение генератора и потребителя реактивной мощности в Омбуру, полностью выполняют свои функции.



Zur Steuerung und Regelung elektrischer Ströme sind - ähnlich wie bei Rohrleitungssystemen für flüssige Medien u. a. Ventile erforderlich. Das hier wiedergegebene wurde als dreiphasiges Thyristor-Ventil (TCR- Ventil) für Leistungen bis 60 MVar ausgelegt und gehört zu einem von der AEG entwickelten Stromrichtersystem

Заключение

Сеть обеспечения электроэнергией в Намибии простирается на большом по территории пространстве. Расстояния между потребителями и поставщиком энергии очень велики. В этих условиях часто встают проблемы стабилизации напряжения при сбросе нагрузок, которые невозможно избежать, учитывая отключение на линии в результате коротких замыканий во время гроз или по другим причинам. После установки фирмой АЭГ компенсатора реактивной мощности в Омбуру, самой большой подстанции страны, отрицательные влияния значительно снизились. Колебания напряжения находятся в допустимых границах.

Ваш партнер:



AEG
Industrial Engineering GmbH

International Berlin Office
Hohenzollerndamm 152
14199 Berlin, Germany

Tel.: +49(30)82099490
Fax: +49(30)82099499
E-Mail: aeg@aeg-ibo.com
Web: www.aeg-ibo.com

AEG Industrie в Берлине, ул. Хохенцоллерндамм – коммуникационный центр для нынешних и бывших заводов АЭГ во всем мире, Ваш компетентный партнер в области промышленных установок.



Мы заботимся о качестве Вашей электроэнергии