AEG

# Регулирование нагрузки в сети насосно-аккумулирующим агрегатом на гидроэлектростанции Форбах.

На электростанции Форбах (Швацвальд) от Badenwerke AG, Karlsruhe, в Германии был задействован впервые машинный агрегат насосно-аккумулирующей станции в насосном режиме для первичного и вторичного регулировании сети. Для этого АЭГ разработал и установил преобразователь частоты, которым регулируется этот агрегат.

Приведенный в действие с помощью преобразователя частоты аккумулирующий насос имеет высоту напора 229 м, мощность 20 МВт, объём подачи 8,8 m3/сек при числе оборотов от 440 до 500 в мин. Насос был произведён и установлен в 1991 году.

Статья из AEG Technik Magazin 4 (1993)

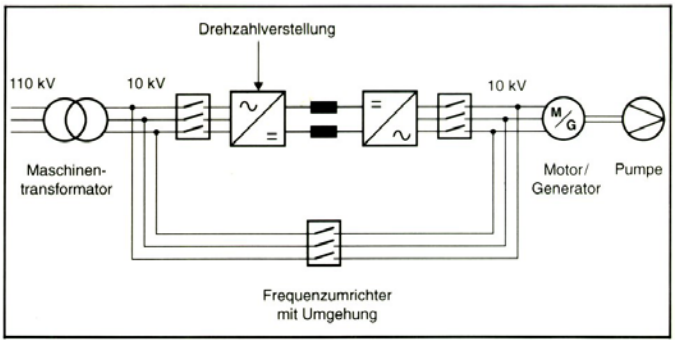
*На фотографии показана часть сетевого выпрямителя тока, а именно 3 уровня стеллажа выпрямителя. Слева спереди видно электронное управление тиристоров. На правой стороне можно видеть одно из взрывных предохранителей в промежуточном контуре постоянного тока, в том числе два из устройств зажигания взрывных предохранителей.*

В объединённой европейской энергосети для координации генерирования и распределения электроэнергии (UCPTE, Париж) между производством и потреблением энергии обеспечивается влиянием электростанций всех объединённых предприятий на первичное регулирование.[1] Вторичное регулирование (или регулирование мощности-частоты) служит для соблюдения обмена договорённых мощностей и устранения отклонений частоты.
Баденская электростанция (Badenwerk AG) в Карлсруэ, имеющая уже в пятидесятые годы первый регулятор мощности-частоты (или рерулятор сети), сдана в эксплуатацию.
Насосно-аккумулирующая электростанция в Форбахе с 2-мя агрегатами производства завода Шварценбахверк общей мощностью 43 МВт уже тогда служила как регулирующая электростанция.
Постепенно в регулировании задействованы были следующие агрегаты: на электростанциях Шлюхзее, Витцнау и Валдшут вместе со следующими 225 МВт и в начале семидесятых годов также насосно-аккумулирующие электростанции Зекинген и Веер в Зюдшварцвальде.
В целом сегодня имеется в распоряжении у Баденской электростанции 865 МВт мощности.
До сих пор из-за очень быстрого предоставления мощности для регулирования сети гидроэлектростанции использовались преимущественно в генераторном режиме. В насосном режиме их участие в первичном и вторичном регулировании до сих пор не было возможно.

Регулированием частоты вращения аккумулирующего насоса с помощью преобразователя частоты в режиме первичного регулирования возможно очень быстро регулировать изменения частоты в энергосистеме; при этом уменьшается производительность насоса и, таким образом, разгружается сеть.
В режиме вторичного регулирования число оборотов насоса зависит от степени нагрузки регулятора сети. Дополнительная польза получается из-за возможности использовать преобразователь частоты как преобразователь для старта агрегата и изменения режима работы. Диапазон регулирования мощности этой установки (от 12 до 20 МВт) по сравнению с всей регулируемой мощностью Баденской электростанции маленький. Но на этой установке можно получить опыт, который потом переносится на более мощные ГАЭС. При этом уже существующие на электростанциях агрегаты проверялись преобразователем частоты относительно дополнительных электро-механических требований. В частности, исследовалось поведение вращательного колебания всей карданной передачи, нагревание, шумы, и результаты этих исследований учитывались при расчёте преобразователя.

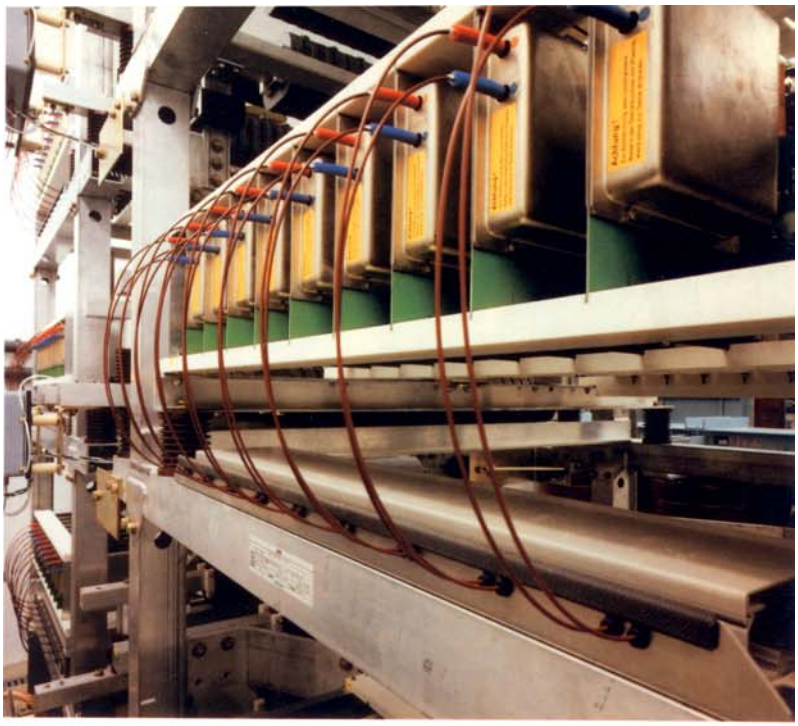
---

[1]Hoffamnn, E.; Schäufle, R.: Применение регулируемого аккумулирующего насоса в регулировании энергосети. Экономика производства электроэнергии 92 (1993) 25

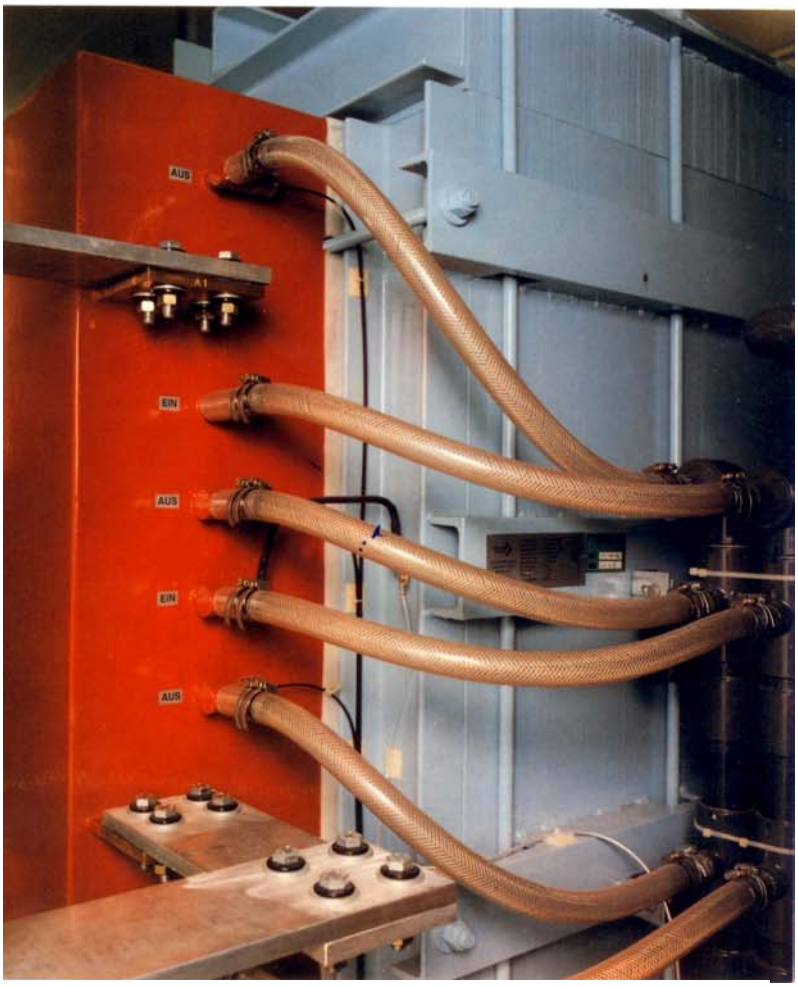



*Принципиальная схема подключённого через преобразователь частоты синхронного агрегата.*

*Электронные управляющие устройства для тиристоров находятся на потенциале высокого напряжения. Они связаны световодом с информационной электроникой и передают команды зажигания. Соответственно каждый второй световодный кабель служит для контроля реакции тиристоров на команды зажигания.*



Дальше было обращено внимание на то, что преобразователь нагружает сеть и трансформатор несинусоидальными токами, индуктивной реактивной мощностью и коммутационными перенапряжениями. Преобразователь частоты для насосно-аккумулирующих станций применялся уже раньше, главным образом в установках, в которых только одна насосная турбина, т.е. агрегат двух направлений вращения, который приводится в действие при насосном режиме. Эти преобразователи частоты служат тогда только для пуска агрегата с опорожненным насосом на номинальном числе оборотов и выключаются после синхронизации генератора с сетью. Поэтому мощностъ этого стартового преобразователя значительно меньше, чем номинальная мощность агрегата.
В насосно-аккумулирующей станции Форбах, напротив, преобразователь частоты находится в непрерывной эксплуатации. С преобразователем частоты выполняется 8 режимов:
- от состояния покоя в регулируемом или нерегулируемом насосном или в турбинном режимах;
- от регулируемого насосного режима в нерегулируемый насосный режим (синхронный мотор /генератор напрямую в сеть) и
- от нерегулируемого насосного режима снова в регулируемый насосный режим через преобразователь частоты;
- от регулируемого насосного режима в турбинный режим и
- от турбинного режима в регулируемый насосный режим и
- из этого состояния назад в состояние покоя.
- перед турбинным режимом агрегат переводится преобразователем частоты в состояние покоя (тормозной режим), если двигатель не остановился сам.




*Водоохлаждаемый электронно-сглаживающий дроссель в промежуточном контуре постоянного тока. Массивные, соединённые между собой болтами, электрические шины служат как электроконтакты;*
*к дросселю подведены линии охлаждающей жидкости*

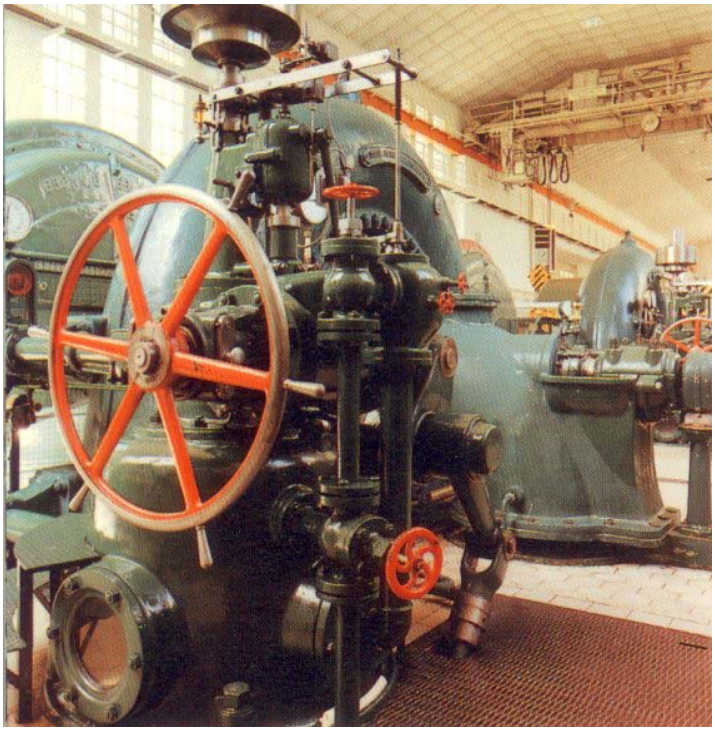
*Вид на уровне выпрямителя тока. Слева подключение, называемое "эффект накопления носителя", справа от него тиристорная шина с подводами воды к охлаждающим ёмкостям; справа виден пружинный пакет, который служит для предотвращения перекоса тиристоров и охлаждающих ёмкостей.*

*Коммуникационный дроссель сетевого выпрямителя с воздушным охлаждением; за ним сглаживающий дроссель в промежуточном контуре постоянного тока с водяным охлаждением*

*На этой фотографии слева и справа видны ферритовые стержни, которые ограничивают повышение тока в тиристорных ответвлениях.*

# Регулирование в сети

Особенности появляются, к примеру, при реверсировании из турбинного в насосный режим - и наоборот, для уменьшения нагрузок на насос в этом случае двигатель тормозится с помошью преобразователя частоты; сетевой выпрямитель тока управляется в инвенторном режиме, агрегатный выпрямитель тока работает в выпрямительном режиме. При этом электроэнергия подаётся обратно в сеть. Двигатель тормозится электрически до числа оборотов наполнения / опорожнения. После наполнения / опорожнения двигатель опять ускоряется до номинального числа оборотов. Таким образом, с преобразователем частоты возможен очень щадящий режим двигателя.
При переходе из регулируемого режима в нерегулируемый, т.е. подключении синхронного двигателя к сети, происходит необходимая синхронизация как на холостом ходе, так и в режиме полной нагрузки (моторный режим) с помощью преобразователя частоты. Управляемые синхронным устройством, частота, напряжение и положение фаз синхронной машины приводятся преобразователем частоты, и соответственно, устройством возбуждения в соответствие с напряжением сети, и двигатель через секционный выключатель подключается непосредственно в сети.
Преобразователь частоты вследствие этого перемыкается и может быть отключён. Таким образом, возможен беспрерывный переход от регулирыемого в ерегулируемый режим. И наоборот, преобразователь частоты может без перерыва перенять двигатель из сетевого режима в преобразовательный режим. При этом подключается преобразователь частоты (при закрытом секционном выключателе) и управляется таким образом, что поток активной мощности перенимается секционным выключателем, так что он открывается почти без тока. Работа в регулируемом режиме - основная задача преобразователя частоты. Число оборотов устанавливается между 440 и 500 мин; что соответствует производительности насоса от 12 до 20 МВт. Мощность можно задавать либо вручную, либо микропроцессорной схемой с быстро реагирующим измерением частоты или степенью нагрузки сетевого регулятора.



*Murgwerk, более старая часть Schwarzenbachwerk с времен с 1914 по 1918.*
*Спиральные турбины Frarancis и генераторы, соответственно по 5 MVA, работают еще сегодня.*

## Конструкция и принцип работы преобразователя

При преобразователе сетевой выпрямитель соединен в ряду с машинным инвертором в 6-ти пульсную мостовую схему и подключён к синхронной машине.
Преобразователь работает со стороны сети в режиме мотора как выпрямитель. Со машинной стороны преобразователь работает как инвертор, который получает свою реактивную мощность коммутации от перевозбуждённой синхронной машины. Номинальное напряжение преобразователя 10 кВ, диапазон частот составляет 0 - 50 Гц, активная мощность при 50 Гц - 21,3 МВт и постоянное напряжение промежуточного контура - 13 кВ.
Конструкция преобразователя - в блочном (модульном) исполнении. Рама объединяет все блоки в полный, готовый к эксплуатации преобразователь.

Каждые мостовые ответвления состоят из расположенных друг над другом 9-ти запирающих тиристоров для 1300А при 85 °С температуры корпуса и 5200 В запирания в обоих направлениях. Они образуют тиристорные стойки, у которых между пластинными тиристорами установлены водоохлаждаемые ёмкости, которые механически жестко закреплены. В случае повреждения можно заменить тиристор без открытия контура охлаждающей жидкости; таким образом время остановки установки сокращается до минимума. Охлаждающая жидкость является химически чистой водой в закрытом циркуляционном контуре. Эта вода охлаждается в холодильнике трубопроводной водой. Блок, состоящий из RC элементов подсоединён непосредственно к тиристорам и служит для управления разделением напряжения и для демпфирования перенапряжений. Отдельные защиты всех тиристоров защищают их от повреждения перенапряжением.

*Один из уровней преобразователя*

## Заключение

Новый СПЧ на электростанции Форбах делает возможным не только автоматизированный, быстрый старт и притормаживание агрегата, но и также принимает участие в насосном режиме в первичном и вторичном регулировании сети благодаря изменению числа оборотов. При этом диапазон мощности регулирования лежит между 12 и 20 МВт. Исходя из полученного опыта, ничто не противоречит будущему применению этой техники на больших установках гидроаккумулирующих станций при соответствующем исполнении и модификации агрегатов. АЭГ участвовал в этом пилотном проекте при планировании и поставке электротехнического оборудования.
К этому относится комплектная установка частотного пробразователя с силовой электроникой, управляющей техникой, регулятором числа оборотов, регулятором производительности, установки переключения 10 кВ, а также системы возбуждения для синхронного мотора/генератора.

# Netzregelung durch Pumpspeichermaschine

## Frequenzumrichter speist Synchronmaschine

*Im Kraftwerk Forbach (Schwarzwald) der Badenwerk AG, Karlsruhe, wurde erstmals in der Bundesrepublik Deutschland ein Maschinensatz eines Pumpspeicherwerkes im Pumpbetrieb an der Primär- und Sekundärregelung des Netzes beteiligt. Hierfür entwickelte und installierte die AEG einen Frequenzumrichter, mit dem die Speicherpumpe regelfähig wird.*

*Die mit Hilfe des Frequenzumrichters angetriebene Speicherpumpe hat eine Förderhöhe von 229 m, eine Leistung von 20 MW, eine Fördermenge von 8,8 m³/s bei einer Drehzahl von 440 bis 500 min⁻¹. Die Pumpe wurde im Jahr 1991 hergestellt und installiert.*

**AEG Берлин**
**Завод преобразовательной техники и приводных систем**

| | | |
|---|---|---|
| Компания AEG разрабатывает, проектирует и выпускает установки и компоненты силовой электроники вот уже более 60 лет. С 1984 года в новых цехах общей площадью более 46 000 м$^2$ работает около 1000 сотрудников. Современное оборудование и автоматизированная организация труда создают предпосылки для укрепления и развития технологической позиции. Последние 8 лет производственные цеха и помещения фабрики AEG, а также весь её опытный персонал, арендовывались различными концернами. Сегодня это Converteam GmbH Berlin, дочернее предприятие банка Barclays Bank. | Отличительными признаками наших систем, установок и модулей является инновационная техника, высокая безопасность и надежность, достигаемые благодаря постоянному повышению качества с учетом строгого контроля и функциональных испытаний.<br><br>Хорошо налаженный сервис соответствует высокому качеству нашей продукции. | **Наша программа выпускаемой продукции и предоставляемых услуг включает в себя:**<br><br>• преобразователи для приводной техники<br>• преобразователи для энергетики<br>• преобразователи для промышленных установок<br>• создание АСУ ТП, монтаж КРУ<br>• высоковольтные и высокоамперные преобразователи<br><br>Эта продукция предлагается нашими отделами как часть полных установок. |

**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. Hohenzollerndamm – коммуникационный центр для бывших и нынешних заводов AEG во всем мире и Ваш компетентный партнер в области промышленных установок.

**Мы заботимся о качестве Вашей электроэнергии**

AEG Industry 0509/01.07