

## Гидроаккумулирующие системы с регулируемой скоростью насосной подачи

### Ключевые особенности

- ◆ Гидроаккумулирующие электростанции могут хранить большое количество энергии в течение длительного времени, что дает возможность выровнять уровни потребления электроэнергии и обеспечить эффективную работу всей энергосистемы в целом. Однако обычные насосы работают только на фиксированных оборотах, поэтому регулировка производительности (мощности) насосной подачи невозможна.
- ◆ Путем использования гидроаккумулирующей системы с регулируемой скоростью насосной подачи, в которой можно изменять обороты насоса, можно получить следующие эксплуатационные преимущества.
  - 1) Можно регулировать скорость насосной подачи в ночное время, когда нагрузка на энергосистему незначительна, поэтому обычные теплоэлектростанции, работающие для регулировки частоты, могут быть остановлены, что вносит вклад в экономичность эксплуатации энергосистемы и сокращение выбросов CO<sub>2</sub>.
  - 2) Можно сгладить колебания выходной мощности от возобновляемых источников энергии, таких как ветровые или солнечные электрогенераторы, что позволяет повысить стабильность энергосистемы.  
⇒ Это упрощает адаптацию возобновляемых источников энергии.
  - 3) При эксплуатации турбин на оптимальных оборотах во время пиковых нагрузок можно, в частности, повысить КПД при неполной загрузке.
  - 4) Быстрая регулировка мощности и напряжения обеспечивает стабилизацию флуктуаций в энергосистеме.

### Базовая концепция

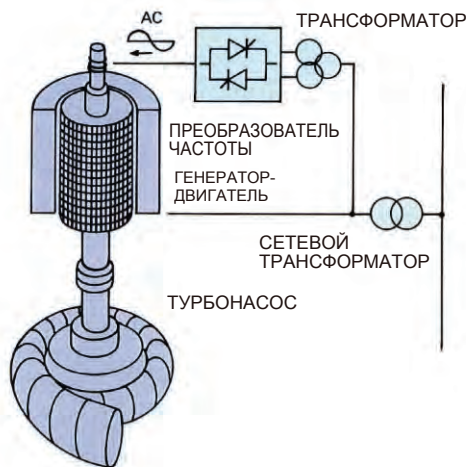
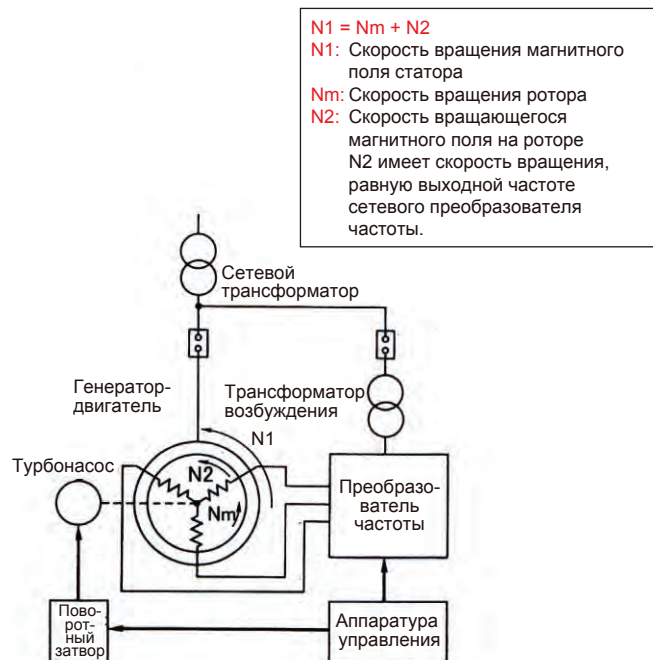


Схема гидроаккумулирующей системы с регулируемой скоростью насосной подачи



$N1 = Nm + N2$   
**N1:** Скорость вращения магнитного поля статора  
**Nm:** Скорость вращения ротора  
**N2:** Скорость вращающегося магнитного поля на роторе  
 N2 имеет скорость вращения, равную выходной частоте сетевого преобразователя частоты.

### Объяснение принципа работы регулировки скорости

- 1) Генератор имеет цилиндрический ротор с трехфазной обмоткой.
- 2) Трехфазный переменный ток подается на ротор с преобразователя частоты, генерируя вращающееся магнитное поле, а соответствующая скорость вращения (N2) пропорциональная выходной частоте преобразователя.
- 3) Скорость вращения N2 магнитного поля добавляется к скорости вращения ротора Nm, обеспечивая синхронизацию с вращающимся магнитным полем статора N1 в стационарном режиме, при этом  $N1 = Nm + N2$ . Иными словами, даже при изменении оборотов агрегата, разница между синхронной скоростью вращения и скоростью вращения ротора компенсируется вращающимся магнитным полем, так что на силовом выходе генератора поддерживается постоянная частота.
- 4) При изменении оборотов примерно на  $\pm 5 - 8\%$  производительность насосной подачи можно регулировать примерно от 60% до 100%.

- ◆ Появляется возможность остановить дополнительно эксплуатировавшиеся теплоэлектростанции, предназначенные для регулировки частоты системы при малых нагрузках, например, в ночное время, таким образом, сократив расход ископаемого топлива, такого как нефть и уголь.  
Пояснение: Для регулировки частоты в энергосистеме генерируемая мощность должна быть равна потребляемой мощности. В то время, когда потребность в электроэнергии невысока, например ночью, многие теплоэлектростанции и гидроэлектростанции останавливаются, снижая таким образом затраты на регулировку. Исходя из этого, как обычно, пришлось ограничить выходную мощность теплоэлектростанции, которая имеет способность регулирования выходной мощности, и эксплуатировать несколько тепловых энергетических агрегатов, и обеспечено регулирование на колебание энергопотребления, где энергетический КПД эксплуатации эффективен. Однако, по результатам внедрения системы ГАЭС с переменной скоростью, поскольку данный ГАЭС имеет регулируемую способность ночного колебания энергопотребления, можно приостановить эксплуатацию вышеуказанных теплоэлектростанций, что может сократить расходы ископаемого топлива.
- ◆ Во время операции генерирования, установкой можно управлять с более низкой выходной мощностью. Для этого необходимо изменить скорость вращения, и диапазон регулирования выходной мощности будет расширен.  
Пояснение: часто считается, что гидроаккумулирующие системы регулируют мощность и могут служить в качестве стабилизатора систем, чтобы обеспечить необходимое количество энергии, увеличивая выход мощности в случаях, когда другие источники энергии непреднамеренно выходят из работы системы во время минимальных операций вывода. Так как гидроаккумулирующие системы с регулируемой скоростью могут работать при более низкой выходной мощности, чем традиционные гидроаккумулирующие системы, а также, поскольку они имеют более широкий диапазон регулировки выходной мощности между верхним и нижним значением выхода, количество работающих единиц в гидроаккумулирующих системах и количество мощности, необходимой для следующей операции, может быть уменьшено. Ожидается, что благодаря этому снизятся затраты на топливо и уменьшатся выбросы CO<sub>2</sub>.
- ◆ Снижая расход горючего топлива, как описано выше, можно сократить выбросы в атмосферу двуокиси углерода, при этом выиграв экономически.
- ◆ Внедрение возобновляемых источников энергии, таких как энергия ветра и солнечная энергия сопровождается целевым сокращением выбросов CO<sub>2</sub>. Однако, поскольку используется природная энергия, вырабатываемая мощность подвержена колебаниям и становится нестабильной из-за погодных и аналогичных факторов, и при повышении доли использования возобновляемых источников энергии становится затруднительным регулировать частоту в энергосистеме. В частности, в регионах, где много ветровой электроэнергии генерируется в ночное время, предполагается сглаживать эти колебания частоты гидроаккумулирующими системами с регулируемой скоростью насосной подачи, что помогает стабилизировать энергосистему.
- ◆ Путем эксплуатации турбины на оптимальных оборотах для генерации электроэнергии, можно повысить КПД при неполной нагрузке примерно на 3%.
- ◆ Путем векторного регулирования можно мгновенно изменять фазу выходного тока преобразователя, и, таким образом, можно мгновенно изменять активную и реактивную мощность генераторов-двигателей (как при генерации, так и при насосной подаче). В результате можно ограничить колебание электрической системы, и при колебании электрического напряжения, путем увеличения и уменьшения реактивной мощности с помощью быстрого управления какой же как статический компенсатор (SVC), сможем ограничить электрического напряжения.
- ◆ При внедрении гидроаккумулирующей системы с регулируемой скоростью насосной подачи находит практическое применение маховиковый генератор для стабилизации частоты в системе. На острове Окинава (Япония) со своей независимой энергосистемой происходили изменения частоты из-за колебаний мощности, вызванных запуском и остановкой электродуговых печей на сталелитейном заводе. Поэтому при установке маховикового генератора колебания мощности аккумулируются в виде энергии вращения, которая затем возвращается в сеть, что дает возможность стабилизировать частоту в энергосистеме.

## Реализованные и планируемые проекты

- В Японии** Электростанция TEPCO Yagisawa мощностью 85 МВ•А, запущенная в эксплуатацию в 1990 году, впервые в мире положила начало использованию этого принципа  
 Электростанция TEPCO Shiobara 360 МВ•А, 1995 год  
 Электростанция J-Power Okukiyotsu № 2 мощностью 345 МВ•А, 1996 год  
 Гидроаккумулирующая морская электростанция J-Power Yambaги мощностью 31,5 МВ•А, 1999 год  
 Подстанция Chujuowan электроэнергетической компании Окинавы с маховиковым генератором мощностью 26,5 МВ•А, 1996 год (внедрение системы)  
 Электростанция TEPCO Kazunogawa мощностью, блок 4, 475 МВ•А, В июне 2014 г. начата коммерческая эксплуатация  
 Электростанция Куоюоки, блок 1, электроэнергетической компании Хоккайдо мощностью 230 МВ•А, В октябре 2014 г. начало коммерческой эксплуатации  
 Электростанция Куоюоки, блок 2, электроэнергетической компании Хоккайдо мощностью 230 МВ•А, В октябре 2015 г. начало коммерческой эксплуатации

**Контакты:** Toshiba Corporation, Energy Systems & Solutions Company,  
 Hydropower Engineering Department  
<http://www3.toshiba.co.jp/power/english/hydro/index.htm>