



Пример интеграции инверторного стабилизатора ТИС в узел автоматики индивидуального теплового пункта

## ЗАЩИТА КРИТИЧЕСКИХ УЗЛОВ ЖКХ ПУТЕМ СТАБИЛИЗАЦИИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ

Александр Гудко, медиаэксперт, Коммуникационная платформа «Инженерка Гуд!»

Качество электроснабжения в коммунальном секторе редко бывает идеальным, а секундный провал напряжения способен мгновенно парализовать котельную или тепловой пункт. Разберем, как инверторные технологии с двойным преобразованием напряжения позволяют полностью исключить аварийные остановки автоматики и насосов из-за капризов сети. Предложим решение, а также на цифрах и примерах из эксплуатации покажем, почему защита цепей управления окупается быстрее силовых цепей двигательной нагрузки, и как современные полупроводники на карбиде кремния помогают управляющим компаниям экономить деньги и сберечь дорогостоящее оборудование.

У разных потребителей свои пределы устойчивости. Электроника способна пережить короткий провал за счет энергии конденсаторов блока питания, однако этот запас конечен. Для асинхронного двигателя снижение напряжения означает уменьшение доступного электромагнитного момента. При неизменной частоте и заданном скольжении момент приблизительно пропорционален квадрату напряжения, то есть снижение на 10 % дает около 19 % потери момента. Особенно чувствителен к этому пуск, когда двигатель должен разогнать механизм. Допустимость такого режима определяется характеристиками двигателя и нагрузки.

Дальнейшие события зависят от алгоритмов управления. Одна установка возобновит работу автоматически, другая останется в блокировке до вмешательства персонала. За это время может нарушиться циркуляция теплоносителя или снизиться давление воды. Тепловая инерция здания дает некоторую отсрочку, но обязанности дежурного инженера на себя не принимает.

Поэтому качество электропитания следует оценивать на клеммах конкретных потребителей, сопоставляя измерения с журналом остановок. Стабилизация оправдана там, где отклонения напряжения действительно нарушают работу

оборудования. Именно эту связь необходимо установить прежде, чем выбрать аппарат.

**Потребители в ЖКХ, нуждающиеся в стабилизированном электропитании**

В котельной внимание прежде всего привлекают автоматика горелок, контроллеры, исполнительные механизмы и насосы. Сбой питания цепей управления способен прервать нормальную последовательность работы горелки. Последующий запуск определяется предусмотренными проверками и блокировками, то есть наличие напряжения еще отнюдь не означает немедленного возвращения тепла. Защитная автоматика здесь выполняет свою задачу, и искать причину остановки следует в том числе в условиях ее электропитания.

В индивидуальном тепловом пункте электрическая часть управляет потоками энергии, несопоставимыми с ее собственным аппетитом. Контроллер погодного регулирования, приводы клапанов и насосные группы поддерживают температурный и гидравлический режимы. При потере управления поведение клапана зависит от исполнения привода, и тут возможны варианты – он может сохранить положение либо перейти в предусмотренное безопасное состояние. В любом случае штатное регулирование оказывается под вопросом. Потому небольшой по мощности узел управления иногда заслуживает большего внимания, чем внушительный силовой шкаф.

В насосных установках необходимо разделять питание двигателя и цепей управления. Для двигателя с прямым пуском существенны пусковой ток и продолжительность разгона. При наличии частотного преобразователя условия меняются, и поэтому оценивать нужно его входные характеристики, защитные функции и совместимость со стабилизатором. Подбирать последний только по киловаттам на шильдике насоса – все равно что рассчитывать лестницу по весу человека, забыв, что по ней еще будут нести оборудование.

В многоквартирном доме к чувствительным потребителям относятся также средства связи и диспетчеризации. Потеря связи сама по себе может не остановить отопление, но диспетчер будет смотреть в потухшее окно.

Практический выбор системы стабилизации начинается с перечня критичных цепей. Иногда достаточно стабилизировать электропитание автоматики, иногда требуется охватить насос и управление вместе. При этом однофазные цепи 230 В и трехфазные силовые нагрузки 400 В требуют разных решений. Защищаемый участок определяют по последствиям его отказа, электрическим характеристикам и схеме питания, а не по желанию «поставить один аппарат на все хозяйство».

**Что дает двойное преобразование напряжения**

Инверторный стабилизатор выстраивает между сетью и нагрузкой цепочку AC–DC–AC. Выпрямитель преобразует переменное напряжение в постоянное, затем инвертор формирует переменное заново, а выходной фильтр сглаживает высокочастотные составляющие. Вместо выбора отвода трансформатора работает непрерывное электронное регулирование. Поэтому здесь нет пауз на переключение ступеней. Однако отсутствие таких пауз не означает ни бесконечного быстродействия, ни защиты от любых сетевых возмущений.

У стабилизаторов ТИС<sup>1</sup> «МИКРОАРТ ПРО» заявлен рабочий диапазон 105–310 В, при этом полная номинальная мощность обеспечивается в диапазоне 165–280 В (рис. 1). Разница принципиальна, ведь при снижении входного напряжения для передачи прежней мощности требуется больший ток. Приблизительно входная активная мощность равна выходной, деленной на КПД, а ток дополнительно зависит от коэффициента мощности. Слабая линия от повышенного тока крепче не становится, поэтому возможность работы при 105 В нельзя читать как обещание полной мощности на этом пределе.

Выход настраивается от 180 до 250 В с шагом 1 В. Это позволяет согласовать уставку с требованиями оборудования, но произвольно снижать напряжение ради «экономии» нельзя. Ведь результат зависит от характера нагрузки, а двигатель может оказаться в неблагоприятном режиме.

Двойное преобразование также не превращает стабилизатор в ИБП. Конденсаторы промежуточного звена накапливают лишь малую часть энергии, и для работы при глубоком блэкауте системе нужен полноценный резервный источник.

**ДВОЙНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ НАПЯЖЕНИЯ**

AC → DC → AC

Переменное → постоянное → переменное



Непрерывное электронное регулирование — без пауз на переключение ступеней

ВХОДНОЕ НАПЯЖЕНИЕ

**105–310 В**

рабочий диапазон

ПОЛНАЯ МОЩНОСТЬ

**165–280 В**

при более низком Uвх нагрузку снижают

НАСТРОЙКА ВЫХОДА

**180–250 В**

с шагом 1 В

**СТАБИЛИЗАТОР ≠ ИБП**

При отключении сети нужен полноценный резервный источник.

Отсутствие ступенчатых переключений не означает защиту от любых сетевых возмущений.

Принципиальная схема по материалам статьи о ТИС МИКРОАРТ ПРО. Формы сигналов показаны условно.

**Рис. 1.** Структурная схема инверторной стабилизации ТИС с непрерывным электронным регулированием по принципу двойного преобразования

<sup>1</sup> ТИС – точный инверторный стабилизатор.

Карбид кремния и энергопотери при работе 24/7

У силового транзистора два основных повода нагреваться. В открытом состоянии потери определяются током и сопротивлением канала:  $P \approx I^2 \cdot R$ . При переключении напряжение и ток некоторое время существуют одновременно, создавая дополнительные потери. Чем чаще переключения, тем заметнее этот вклад.

SiC MOSFET<sup>2</sup> позволяют уменьшить потери переключения и получить выгодное сочетание сопротивления канала и допустимого напряжения. Конкретный результат зависит от выбранных ключей, драйверов, частоты и схемотехники. Карбид кремния помогает сократить отопительный вклад преобразователя в щитовую, но диплом за безупречную конструкцию автоматически не выдает.

Для ТИС заявлен КПД до 97 %. Посмотрим на масштаб потерь при постоянной выходной нагрузке 3 кВт. При КПД 97 % они составят  $3 \cdot (1/0,97 - 1) \approx 0,093$  кВт, или около 813 кВт·ч за 8 760 часов. У «среднестатистического» преобразователя с КПД 95 % – 0,158 кВт и 1 383 кВт·ч. Разница – примерно 570 кВт·ч за год.

Это лишь наглядная иллюстрация, а не прогноз экономии, поскольку в примере оба значения КПД условно приняты постоянными. Для объекта нужны зависимость КПД от загрузки, входное напряжение и годовой график работы. Снижаются собственные потери стабилизатора, а не автоматическое потребление самих насосов. Меньше тепла означает меньшую тепловую нагрузку на компоненты, но ресурс по одной надписи SiC не рассчитывают.

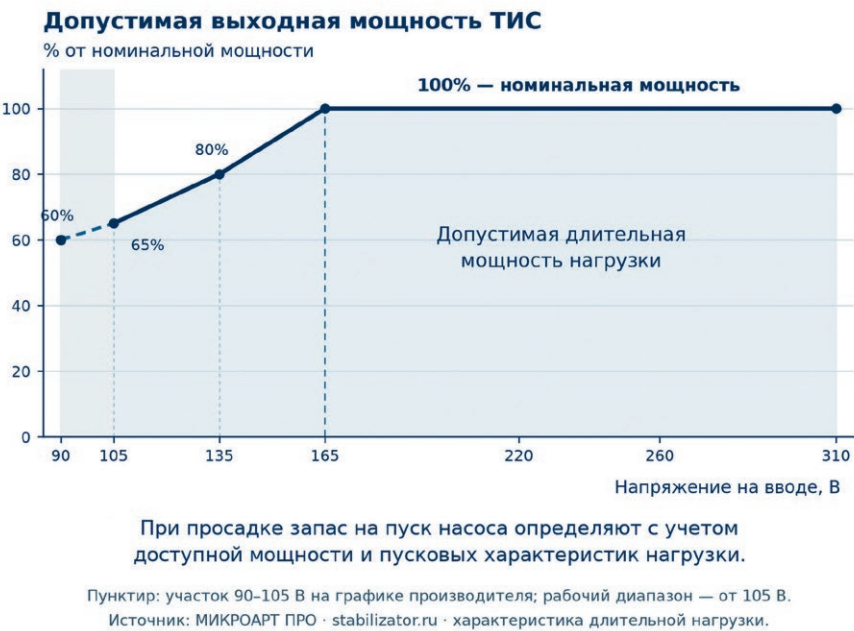


Рис. 2. Зависимость допустимой длительной мощности нагрузки стабилизатора ТИС от величины входного напряжения сети

Таблица Характеристики линейки ТИС по исходным данным

| Модель    | Полная мощность, кВА | Активная мощность, кВт | Перегрузка до 10 с, кВт |
|-----------|----------------------|------------------------|-------------------------|
| ТИС 6000  | 6                    | 5                      | 7,5                     |
| ТИС 8000  | 8                    | 7                      | 10,5                    |
| ТИС 16000 | 16                   | 14                     | 21                      |
| ТИС 24000 | 24                   | 21                     | 30                      |

Как подобрать стабилизатор для конкретного объекта

Подбор начинается с измерений на объекте и журнала остановок. Нужны минимальное напряжение, продолжительность провалов, состав нагрузки и последовательность включения оборудования. Сложить паспортные киловатты и добавить «немного на всякий случай» – популярный метод. Его слабое место в том, что пусковой ток о таком запасе обычно не предупреждают.

Для каждого потребителя определяют активную мощность  $P$ , полную  $S$  и коэффициент мощности  $\lambda$ :  $S = P/\lambda$ . Для двигателя берут электрическую мощность на входе, учитывая КПД, если на шильдике указана механическая. Отдельно проверяют пусковой ток и время разгона. У нагрузки с преобразователем ориентируются на входные характеристики всего устройства.

Для первых трех моделей (см. табл.) перегрузочная способность составляет 150 % номинальной активной мощности до 10 секунд. Для ТИС 24000 – около 143 %. Пиковые киловатты также не заменяют проверки допустимого выходного тока.

Рассмотрим однофазное электропитание насоса и автоматики условного ИТП. Пусть насос потребляет 1,2 кВт при  $\lambda = 0,8$ , автоматика – 0,3 кВт при  $\lambda = 0,9$ . Тогда рабочая активная мощность равна 1,5 кВт, а расчетная сумма полных мощностей по худшему сценарию составит около 1,83 кВА. Допустим, измеренный пусковой ток насоса втрое выше рабочего в течение двух секунд. При напряжении 230 В рабочий ток равен 6,52 А, пусковой – 19,6 А. Вместе с автоматикой мы получаем максимально надежную пиковую оценку около 21 А или 4,83 кВА.

По мощности предварительно подходит ТИС 6000. Приведенная в расчете кратность пускового тока является условной, поскольку для окончательно-

<sup>2</sup> SiC MOSFET – силовой транзистор нового поколения на основе карбида кремния. Технология пришла из аэрокосмической отрасли и систем управления электро-мобилями. Благодаря уникальным физическим свойствам кристалла такие ключи мгновенно проскакивают моменты включения и закрытия, и стабилизатор ТИС избавляется от паразитного нагрева и выдает 97 % эффективности при круглосуточном режиме эксплуатации.

# ПОДБОР СТАБИЛИЗАТОРА

От измерений на объекте — к проверке рабочего и пускового режимов

## 01 ИЗМЕРИТЬ

Минимальное напряжение  
Глубину и длительность провалов  
Журнал остановок, порядок пуска



## 02 РАССЧИТАТЬ

$P$  — электрическая мощность  
 $S = P / \lambda$  — полная мощность  
Пусковой ток и время разгона



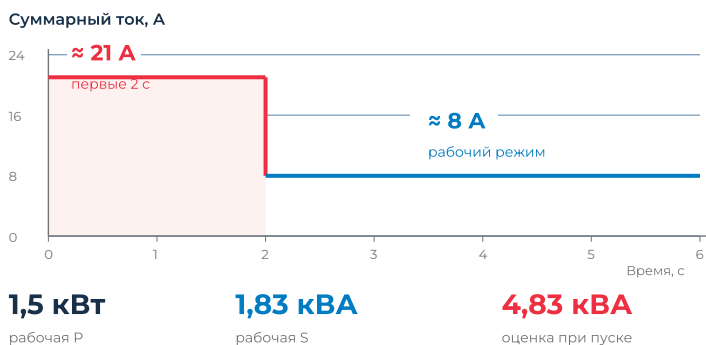
## 03 ПРОВЕРИТЬ

Мощность и допустимый ток  
Работу при минимальном  $U_{вх}$   
Повторные пуски и монтаж

### ПРИМЕР: НАСОС + АВТОМАТИКА ИТП

Однофазное питание, 230 В. Условный пуск насоса: 3 × 1раб в течение 2 с.

Насос: 1,2 кВт,  $\lambda = 0,8$ . Автоматика: 0,3 кВт,  $\lambda = 0,9$ .



### ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ВЫБОР

**ТИС 6000**  
6 кВА / 5 кВт

$U_{вх min} = 175 В$

В диапазоне полной мощности

**165–280 В**

Пусковой ток ещё нужно проверить.

### ДО ОКОНЧАТЕЛЬНОГО ВЫБОРА

Проверить допустимый выходной ток, повторные перегрузки и заводской график снижения мощности.

Учесть линию, защиту, вентиляцию, байпас и протоколы диспетчеризации. График иллюстрирует условный пример.

**Рис. 3.** Алгоритм подбора оборудования и график изменения суммарного тока в момент пуска насосной группы условного ИТП

го выбора оборудования инженеру в обязательном порядке потребуются точные паспортные данные конкретного насоса и детальная проверка того, насколько успешно стабилизатор справится с частыми повторными перегрузками при циклическом старте оборудования.

Этот выбор справедлив при достаточном входном напряжении. Если обследование выявило минимум 175 В, он укладывается в заявленный диапазон полной мощности 165–280 В (рис. 2).

В условиях экстремального падения входного напряжения инженеру необходимо строго руководствоваться заводским графиком снижения допустимой нагрузки, поскольку для защиты внутренних силовых компонентов от перегрузки по току стабилизатор будет вынужден пропорционально уменьшать свою максимальную выходную мощность. Затем проверяют линию, защиту, температуру и вентиляцию места установки, предусматривают обслуживание и байпас. Возможность подключения оборудования к общедомовой диспетчеризации необходимо заранее проверять на уровне доступных цифровых протоколов связи, поскольку физическое наличие коммуникационного разъема на плате управления еще не гарантирует, что устройства разных производителей легко смогут «договориться» между собой.

### Оцениваем результат для эксплуатации

Управляющей компании полезен сопоставимый журнал событий до и после установки. Показатели: число остановок

и перезапусков за месяц, суммарные часы простоя, число аварийных выездов по причинам электропитания и трудозатраты на восстановление. Сравнить следует периоды с близкой нагрузкой, учитывая сезон и фактические сетевые нарушения.

Например, снижение выездов с шести до двух в месяц означает четыре предотвращенных выезда. Умножив их на документированную стоимость, можно оценить эффект.

Это условный пример расчета. Износ автоматики напрямую таким подсчетом не измерить. Его оценивают по частоте отказов и замен блоков питания, контроллеров и контакторов на 1 000 часов работы. Короткий период без аварий еще не доказывает продление ресурса. В экономический расчет включают собственные потери стабилизатора, обслуживание и стоимость внедрения.

### Заключение

Стабилизатор приносит пользу, когда выбран под установленную причину сбоев и реальные режимы нагрузки. Для коммунальной инфраструктуры лучший результат представляет собой будничную картину, на которой оборудование работает, диспетчер видит штатные параметры, а аварийная бригада остается на базе. Именно такая скука и заслуживает инженерных усилий. ♦

Иллюстрационный материал предоставлен автором статьи.