

## Некоторые вопросы совместной работы ДГУ и мощного ИБП

О. Кузьмина

Сегодня всё большее число ответственных потребителей электроэнергии – телекоммуникационное и компьютерное оборудование, электрооборудование банков, медицинских центров, диспетчерских служб и т.п., получает питание от систем бесперебойного электроснабжения (СБЭ).

Самое широкое распространение получили СБЭ централизованной и многоуровневой структуры – т.е. такие, в которых имеется мощный источник бесперебойного питания (ИБП), к которому подключается критическая нагрузка или, в случае многоуровневой СБЭ – критическая нагрузка и ИБП младшего уровня. В качестве резервного источника электроэнергии в таких СБЭ, помимо аккумуляторных батарей, всё чаще используются дизель-генераторные установки (ДГУ).

Однако иногда довольно сложно убедить клиента в необходимости установить в СБЭ резервный генератор. Альтернативой ему обычно выступают аккумуляторные батареи. Производство аккумуляторов хорошо освоено промышленностью; надежные и простые в обслуживании они давно и успешно эксплуатируются.

Вместе с тем, если говорить о мощных системах, работающих при длительных пропаданиях основной сети, становятся заметными и недостатки аккумуляторных батарей. Главные из них – значительное время заряда батарей, во время которых критическая нагрузка остается фактически без резервного источника электроэнергии; сравнительно небольшой срок службы, сложности с утилизацией использованных аккумуляторов и их высокая стоимость. Всё перечисленное определило рост интереса проектировщиков и потребителей «чистого электропитания» к автономным генераторам.

Среди автономных генераторов наибольшей популярностью пользуются дизель-генераторные установки. Они универсальны, надёжны, долговечны и давно применяются в народном хозяйстве.

### Проблема согласования

Проблему согласования мощностей ИБП и ДГУ, на наш взгляд, нужно разделить на две. Одна из них наиболее резко проявляется в момент подключения ИБП к генератору, другая – в установившемся режиме работы ИБП от генератора.

Рассмотрим процесс подключения нагрузки к генератору несколько подробнее.

Для начала вспомним, что наиболее важными характеристиками ИБП являются так называемые «диапазон напряжения без перехода на батареи» и «диапазон частоты без перехода на батареи» – условия, при которых ИБП работает в режиме On-Line, не переходя на батарею. Этот диапазон у большинства производителей определён как  $U_{ном}(\pm 10/-15)\%$  и  $f_{ном}(\pm 10)\%$ . Указанные характеристики могут сыграть большую роль при переводе ИБП на генератор и вот почему: при «набросе» нагрузки наблюдаются значительные динамические изменения выходного напряжения генератора и частоты приводного двигателя.

На рис. 2 показано, как изменяется напряжение на выходе генератора при «набросе» нагрузки. График описывает поведение генератора (Newage Stamford HCl 434D) мощностью 295 кВА. Видно, что при подключении нагрузки (295 кВА) напряжение изменяется на 15%. Хочу подчеркнуть, что речь идет именно о резком скачкообразном изменении напряжения, вызванном подключением нагрузки. Несмотря на то, что дизель-генераторы комплектуются автоматическими регуляторами напряжения, дающими стабилизацию напряжения в установившемся режиме  $\pm 0,5$  или  $\pm 1,5\%$ , при подключении нагрузки неизбежные «просадки» составляют 15-20% от номинального напряжения. Итак, при «набросе» нагрузки напряжение и/или частота генератора может выйти за допустимые пределы. ИБП воспримет это как *пропадание сети* и перейдет на батарею. Генератор окажется в режиме электрического холостого хода, и по прошествии некоторого времени восстановит номинальное напряжение и частоту. ИБП воспримет это как *появление сети* и вновь перейдет с батареи на генератор. Подключение нагрузки вновь вызовет «просадку» напряжения и частоты генератора – и цикл повторится. Автору известны случаи, когда совместная работа ДГУ и ИБП ограничивалась только такими непрерывными подключениями и отключениями, вследствие чего батареи были полностью разряжены и критическая нагрузка потеряна.

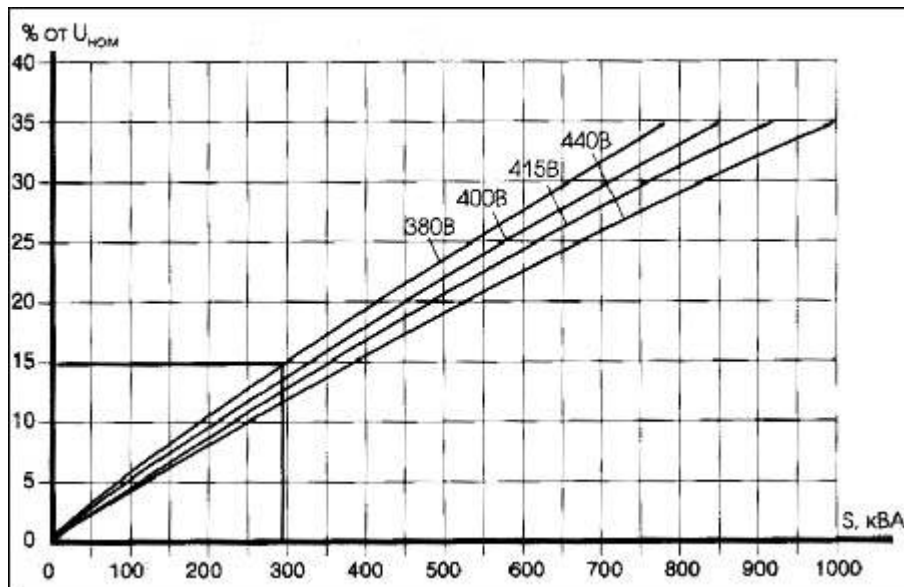


Рис. 2. Зависимость напряжения на выходе генератора при «набросе» нагрузки

Решить эту проблему следует двумя путями – завязать мощность ДГУ или использовать ИБП с плавным переключением нагрузки с батареи на сеть. Процедура плавного перевода нагрузки, в частности, реализована в ИБП компании General Electric Digital Energy IMV серий SitePro и Image.

### О влиянии ИБП на сеть

Мы рассмотрели процессы и эффекты, возникающие при подключении мощного ИБП к генератору. Допустим, нам удалось обеспечить включение ДГУ на ИБП. При их совместной работе на передний план выступает проблема, вызванная наличием в ИБП выпрямителя. Импульсные схемы выпрямителей ИБП служат причиной искажения входных токов. На рис. 3 и 4 показана форма входных токов, характерная для 6-пульсных и 12-пульсных тиристорных выпрямителей. Как видно, при 12-пульсном выпрямителе форма токов несколько ближе к синусоиде, чем при 6-пульсной схеме.

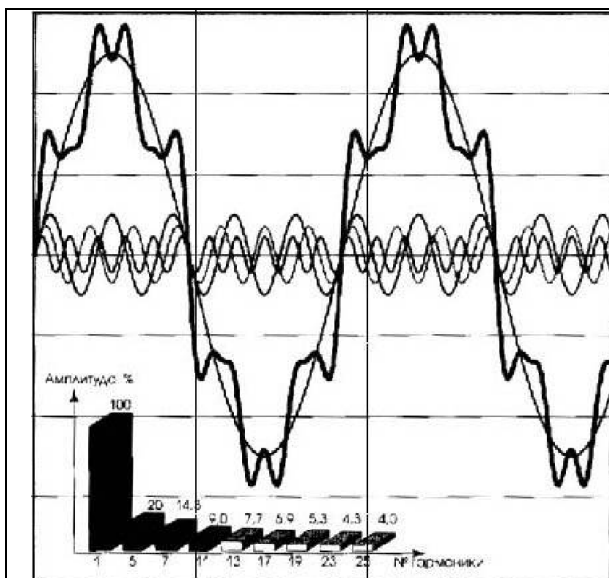


Рис. 3. Форма входных токов, характерная для 6-импульсных тиристорных выпрямителей

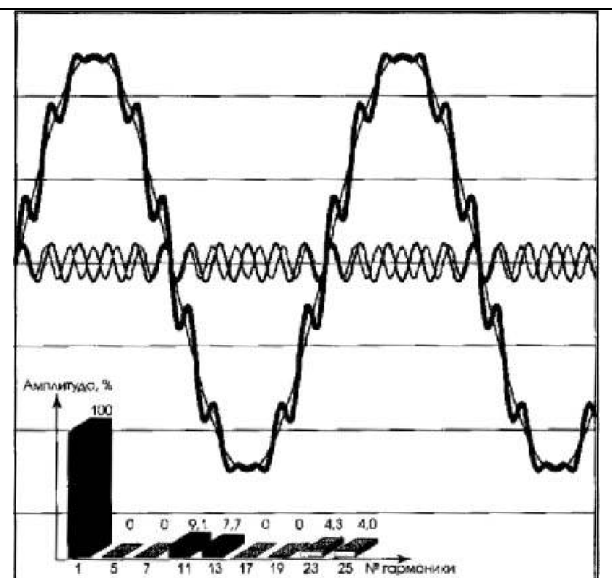


Рис. 4. Форма входных токов, характерная для 12-импульсных тиристорных выпрямителей

Несинусоидальные токи, замыкаясь по обмоткам автономного генератора, вызывают дополнительные потери мощности в «стали» и «меди» генератора, значит, снижают величину мощности, отдаваемой в нагрузку. Влияние нелинейных токов на ДГУ этим не исчерпывается. Несинусоидальные токи якоря участвуют в создании магнитного поля машины и приводят к искажению синусоидальности выходного напряжения ДГУ. Хотя несинусоидальное напряжение и не окажет влияния на ответственную нагрузку, защищённую ИБП, оно часто приводит к повреждению или отказу других потребителей, подключённых

непосредственно к ДГУ. Кроме того, сильно несинусоидальное напряжение иногда служит причиной некорректной работы автоматического регулятора напряжения и вызывает аварийные остановы ДГУ. Коэффициент несинусоидальности выходного напряжения автономного синхронного генератора не должен быть выше 8-10%.

Предотвратить дефицит мощности, отводимой в нагрузку, перегрев генератора и искажение синусоидальности выходного напряжения ДГУ можно, если выбрать ДГУ большей номинальной мощности.

### Правила подбора ДГУ

Существуют вполне определённые рекомендации для выбора мощности ДГУ при известной мощности ИБП, которые учитывают нелинейность токов, допустимую величину несинусоидальности напряжения генератора и его внутренние параметры. Согласно этим рекомендациям мощность ИБП определяется как

$$S_{\text{ИБП}} = S_{\text{ген}} * (X_{\text{д, сх}}'' / X_{\text{д ген}}''),$$

где

$S_{\text{ИБП}}$  – номинальная мощность ИБП;

$S_{\text{ген}}$  – номинальная мощность генератора;

$X_{\text{д ген}}''$  – сверхпереходное индуктивное сопротивление генератора по продольной оси ротора при синусоидальной нагрузке (обычно  $X_{\text{д ген}}'' = 0,11-0,15$  о.е, указывается в паспортных данных генератора);

$X_{\text{д, сх}}''$  = сверхпереходное индуктивное сопротивление генератора по продольной оси ротора при нелинейной нагрузке.

$X_{\text{д, сх}}''$  при 6-импульсной нагрузке составляет около 0,04 о.е., при 12-пульсной – около 0,09 о.е.

Таким образом, при 6-пульсной схеме выпрямления

$$S_{\text{ген}} = S_{\text{ИБП}} * (2,75... 3,75).$$

При 12-импульсной схеме выпрямления

$$S_{\text{ген}} = S_{\text{ИБП}} * (1,22... 1,66).$$

Следовательно, уменьшая нелинейность нагрузки, можно выбрать генератор меньшей мощности. К методам снижения нелинейности нагрузки ДГУ относятся:

- применение 12-импульсной схемы выпрямления вместо 6-пульсной (например, ИБП серии Site Pro компании GE DE.IMV);
- применение выпрямителей на IGBT-транзисторах (ИБП серии Image)
- применение входных фильтров высших гармоник

В заключение представим некоторые соображения, которыми следует руководствоваться при выборе ИБП и ДГУ при построении системы электроснабжения ответственной нагрузки:

1. *Класс ИБП* – On-Line, как единственный, защищающий нагрузку от всех существующих неполадок в электросети: высоковольтных выбросов, всплесков напряжения, электромагнитных и радиочастотных помех, кратковременного повышения или понижения напряжения, искажения его формы и, что особенно важно при питании ИБП от ДГУ, от нестабильности частоты.
2. *Мощность ИБП* выбирается, исходя из требований нагрузки.
3. ИБП в обязательном порядке комплектуется *аккумуляторными батареями*. По статистике, около 90% сбоев электроснабжения длятся не более 1-3 минут, поэтому совсем отказаться от аккумуляторных батарей и использовать при каждом пропадании напряжения ДГУ неправильно. Во-первых, частые пуски и остановы значительно снижают срок службы генераторного агрегата, в частности, до 36% от общего износа дизельного двигателя приходится на износ при запусках. Во-вторых, резервная ДГУ обладает некоторой инерцией – механической и электромагнитной. Время выхода дизельного двигателя на номинальную частоту вращения занимает 5 – 10 с (при низких температурах – больше), время установления номинального выходного напряжения на зажимах генератора при подаче возбуждения – до 6 с. Вследствие такой инерции ДГУ нагрузка, допускающая перерывы в питании не более 10 мс (либо вообще не допускающая бестоковых

пауз), может оказаться обесточенной на несколько секунд. В общем случае время резервирования аккумуляторов выбирается в диапазоне 5-10 минут.

4. Принимаются меры для снижения нелинейных искажений тока, вносимых ИБП в питающую сеть – применяются ИБП с выпрямителями на IGBT-транзисторах, с 12-импульсными тиристорными выпрямителями или с активными выпрямителями. Вместе с тем, мы с осторожностью даем рекомендации к использованию входных фильтров высших гармоник для этих целей. ИБП с гармоническим фильтром представляет собой емкостную нагрузку для генератора, которая при подключении может вызвать резкое увеличение выходного напряжения ДГУ и срабатывание аварийной защиты. Поэтому каждый случай совместной работы ДГУ и ИБП с гармоническим фильтром должен рассматриваться индивидуально.
5. При выборе ИБП отдается предпочтение источникам с системой плавного перевода ИБП на питание с батареи на сеть.
6. При выборе мощности ДГУ учитываются:
  - мощность ИБП;
  - степень создаваемых им искажений входного тока;
  - внутренние параметры ДГУ, в частности,  $X''_d$ .
  - диапазон напряжений и частоты сети, при которых ИБП не переходит в автономный режим работы;
  - изменения напряжения и частоты ДГУ при 100% «набросе» нагрузки.
  - ДГУ комплектуются автоматическим регулятором выходного напряжения и электронным регулятором скорости приводного двигателя.

Как показывает наш опыт, выбор звеньев СБЭ с учётом приведенных выше требований обеспечивает согласованную и устойчивую совместную работу ИБП и ДГУ. Дополнительным преимуществом СБЭ с ДГУ является возможность практически неограниченного времени работы в автономном режиме, т.е. полная независимость электроснабжения ответственной нагрузки от неполадок основной сети.

**Об авторе:** Оксана Кузьмина, кандидат технических наук, ведущий эксперт компании IBTech