

УДК 621.311

ВЫБОР АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ С СОБСТВЕННЫМИ ГЕНЕРИРУЮЩИМИ ИСТОЧНИКАМИ

Капустинский А.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Радкевич В.Н.

Основная проблема, с которой приходится сталкиваться проектировщикам при решении вопроса о необходимости установки на объекте дизель-генераторной установки (ДГУ) и источника бесперебойного электропитания (ИБП) - это обеспечение надежности электроснабжения электроприемников I категории и особой группы I категории согласно требованиям [1] в случае исчезновения напряжения основной питающей сети.

К сожалению, на практике нередко ситуации выхода из строя оборудования распределительной трансформаторной подстанции (ТП) напряжением 10(6)/0,4кВ, отказы в электрических сетях энергоснабжающей организации и т.п. Поэтому двух вводов от ТП, как требуется в соответствии с [1], для некоторых объектов электроснабжения бывает недостаточно и существует необходимость в установке ДГУ, обеспечивающей гарантированное электропитание, и ИБП – бесперебойное электропитание.

Система гарантированного электропитания служит для обеспечения электроэнергией требуемого качества потребителей I категории в случае исчезновения напряжения основной питающей сети.

Система бесперебойного электропитания необходима для поддержания качества питающего напряжения, подводимого к электроприемникам особой группы I категории, без разрыва синусоиды.

Если на объекте в качестве резервного источника электропитания используется только ДГУ, то такая схема электроснабжения называется схемой гарантированного электропитания, а потребители, получающие электропитание от ДГУ в случае исчезновения напряжения основной питающей сети, - потребителями гарантированного электропитания. Такую схему целесообразно использовать в случаях частого исчезновения напряжения основной питающей сети и отсутствии на объекте электроприемников особой группы I категории, которым для нормального функционирования необходимо электропитание без разрыва синусоиды питающего напряжения.

Если на объекте в качестве резервного источника электропитания используется только ИБП, то данная схема называется схемой бесперебойного электропитания, а потребители, получающие электропитание от ИБП в случае исчезновения напряжения основной питающей сети, - потребителями бесперебойного электропитания. Такую схему целесообразно использовать в случаях нечастого и кратковременного исчезновения напряжения основной питающей сети и при наличии на объекте электроприемников особой группы I категории.

Важная часть ИБП, от которой зависит время автономной работы и надежность всей системы аварийного (резервного) электроснабжения, является аккумуляторная батарея (АБ) или же набор АБ, которые параллельно, последовательно или комбинированно подключаются к устройству ИБП. Аккумуляторная батарея состоит из нескольких электрических аккумуляторов, объединенных в одну электрическую цепь. Составные части аккумуляторной батареи называют ее элементами (или ячейками).

Электрический аккумулятор — химический источник тока многоразового действия, основная специфика которого заключается в обратимости внутренних химических процессов, что обеспечивает его многократное циклическое использование (через заряд-разряд) для накопления энергии и автономного электропитания различных электротехнических устройств и оборудования. Принцип действия аккумулятора основан на обратимости химической реакции. Работоспособность аккумулятора может быть

восстановлена путём заряда, то есть пропусканием электрического тока в направлении, обратном направлению тока при разряде. [4]

Существуют следующие типы аккумуляторных батарей:

- сурьмянистые;
- малосурьмянистые;
- кальциевые;
- гибридные;
- AGM и гелевые батареи;
- щелочные;
- литий-ионные;
- литий-полимерные и др.

Наибольшее распространение в настоящее время получили свинцово-кислотные герметизированные клапанно-рекомбинационные аккумуляторы. Аккумуляторы этой группы часто обозначают сокращенно VRLA (от англ. valve regulated lead acid - клапанно-регулируемые свинцово-кислотные) или же SLA (от англ. sealed lead acid - герметизированные свинцово-кислотные). Аккумуляторные батареи данного типа в зависимости от исполнения бывают различной емкости: от 1 до 300 А·ч для 6 В и 12 В моноблоков, и до вплоть до 4000 А·ч для 2 В элементов (приведенные напряжения являются номинальными напряжениями элементов аккумуляторной батареи).

Особенность аккумуляторов типа VRLA – отсутствие необходимости долива воды в течение всего срока службы и практически полное отсутствие выделения газов (водорода и кислорода) – продуктов электролиза воды, входящей в состав электролита. Поэтому их нередко называют герметизированными необслуживаемыми. Незначительное обслуживание, тем не менее, необходимо: прежде всего, визуальный осмотр, протирание от пыли, подтяжка соединений и контроль напряжений. Данное преимущество, а также относительно невысокая удельная стоимость (на единицу емкости) и относительно большой срок службы (более 15 лет с потерей емкости менее 20%) обусловили их широкое распространение. [3]

Выбор АБ является вопросом, который редко освещается в технической литературе достаточно подробно. Приведенный в данной работе уточненный алгоритм выбора АБ составлен на основе существующих алгоритмов по выбору АБ, технических нормативно-правовых актов (ТНПА) в области электроснабжения и электрооборудования, эксплуатационной документации свинцово-кислотных герметизированных необслуживаемых аккумуляторов.

Основным параметром любого аккумулятора является его емкость. Соответственно, все параметры, по которым следует проверять АБ, так или иначе, влияют на его емкость.

Исходными данными для выбора числа и емкости аккумуляторных батарей являются:

- напряжение питания нагрузки АБ;
- расчетная мощность нагрузки АБ в длительном режиме;
- пиковая мощность нагрузки АБ;
- длина и удельное сопротивление кабеля от АБ до питаемой нагрузки;
- время автономной работы нагрузки;
- температура окружающей среды.

Напряжение питания нагрузки АБ, пиковая мощность нагрузки, а также длина и сопротивление кабеля необходимы для выбора числа последовательно соединяемых аккумуляторных батарей. Также в расчетах целесообразно учитывать снижение напряжения на выводах АБ при разряде (рисунок 1). При низких значениях питающего напряжения потребитель электроэнергии перестает работать с заявленными параметрами, а зачастую и вовсе отключается, что недопустимо при питании от системы бесперебойного электроснабжения. Следовательно, эти параметры необходимы также для выбора пределов разряда АБ. В случае питания нагрузки от ИБП данным пределом является наименьшее значение входного напряжения ИБП. В случае питания нагрузки постоянным током

непосредственно от аккумуляторных батарей данным пределом является значение напряжения, установленное ТНПА в области электротехники.

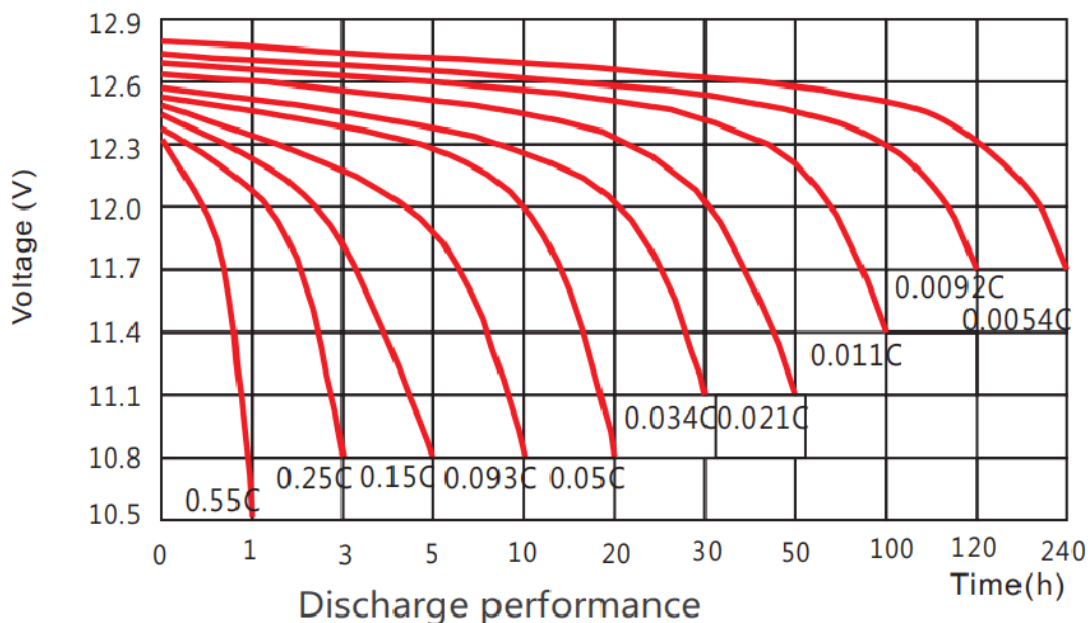


Рисунок 1. Разрядная характеристика свинцово-кислотных герметизированных клапанно-рекомбинационных (VLRA) аккумуляторных батарей

Расчетная мощность нагрузки АБ в длительном режиме и время автономной работы нагрузки являются основными параметрами для выбора емкости аккумуляторной батареи (данный расчет актуален лишь после выбора числа батарей, соединяемых последовательно). Однако задавшись этими исходными данными можно лишь приблизительно определить номинальную емкость батареи. Это связано с тем, что емкость батареи изменяется в зависимости от тока разряда. Номинальным параметром аккумуляторной батареи, а именно номинальным током АБ, является десятичасовой ток разряда или ток разряда десятью процентами емкости I_{10} (для АБ емкостью 32 А·ч это ток 3,2 ампера). Характеристики аккумуляторных батарей (рисунок 2) показывают, что при разряде током в 10 раз превышающим десятичасовой ток разряда, емкость АБ уменьшается более чем в два раза.

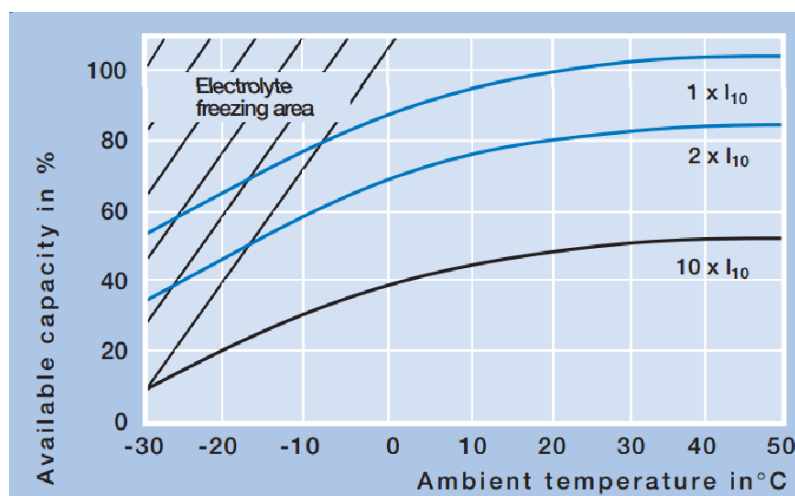


Рисунок 2. Зависимость емкости свинцово-кислотных герметизированных клапанно-рекомбинационных (VLRA) аккумуляторных батарей от температуры окружающей среды и тока разряда

Характеристики аккумуляторных батарей (рисунок 2) также показывают, что емкость аккумуляторных батарей значительно снижается при уменьшении температуры. Расчеты показывают, что при низкой температуре окружающей среды установка в шкаф АБ обогревателя и питание его от АБ является гораздо более дешевым способом увеличения фактической емкости АБ, чем увеличение их номинальной емкости. Время автономной нагрузки значительно увеличивается даже при учете расхода емкости АБ на обогрев.

Таким образом, проверка АБ с учетом выше перечисленных факторов является достаточно сложным итерационным процессом.

Следующим этапом проектирования системы бесперебойного электроснабжения является выбор зарядно-подзарядного устройства (ЗПУ) АБ или выбор ИБП. При выборе ЗПУ АБ или ИБП нужно учитывать, как расчетную мощность потребителей электроэнергии, так и ток подзаряда. Ток подзаряда АБ определяется по графику заряда с учетом минимального допустимого времени заряда АБ до уровня 90% емкости (рисунок 3), которое определяется режимом работы. В случае, если номинальной мощностью (номинальным током) ЗПУ или ИБП является не «выходная» мощность, а «входная» мощность, должен также быть учтен коэффициент полезного действия преобразователя.

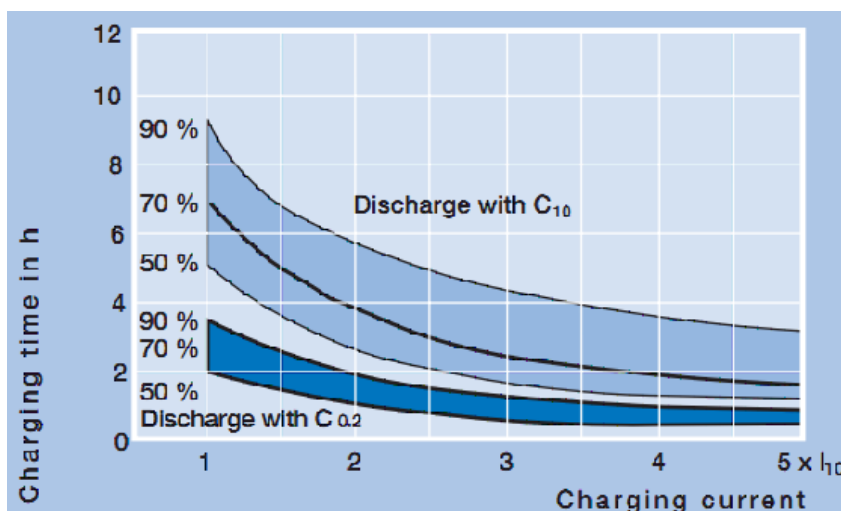


Рисунок 3. График заряда свинцово-кислотных герметезированных клапанно-рекомбинационных (VLRA) аккумуляторных батарей

Выбор количества аккумуляторных батарей производится по следующему выражению:

$$n_6 = \frac{U_{\text{ср.н}}}{n_{\text{эл}} \cdot U_{\text{эл}}}, \tag{1}$$

где n_6 – искомое количество аккумуляторных батарей, шт;
 $n_{\text{эл}}$ – количество элементов в аккумуляторной батарее, шт;
 $U_{\text{ср.н}}$ – среднономинальное напряжение электроприемников, В;
 $U_{\text{эл}}$ – напряжение элемента аккумуляторной батареи, В.

Расчет падения напряжения, В, в цепи от АБ до электроприемника выполняется по следующему выражению:

$$\Delta U = 2 \cdot r_0 \cdot l \cdot I_{\text{пик}}, \tag{2}$$

где r_0 – удельное омическое сопротивление токопроводящей жилы кабеля, Ом/м;
 l – длина кабельной линии, м;
 $I_{\text{пик}}$ – пиковая токовая нагрузка системы бесперебойного электропитания, А.

Номинальная емкость, А·ч, аккумуляторной батареи предварительно определяется по формуле

$$E_{\text{ном}} = \frac{k_3}{k_{\tau 1}} \cdot I_p \cdot t_{\text{тр}}, \quad 3)$$

где k_3 – коэффициент запаса, учитывающий погрешность в расчетах, $k_3 = 1,1$;

$k_{\tau 1}$ – технологический коэффициент, учитывающий снижение емкости батареи к концу службы на 20%, $k_{\tau 1} = 0,8$;

I_p – расчетный ток потребителей электроэнергии, А;

$t_{\text{тр}}$ – требуемое минимальное время работы нагрузки от АБ, ч.

После предварительного выбора АБ производится проверка емкости выбранной батареи.

Первый этап проверки, выбранной АБ – определение фактического времени разряда батареи при расчетной нагрузке с учетом условий разряда. Фактическое время разряда АБ при расчетной нагрузке с учетом условий разряда должно превышать требуемое минимальное время работы нагрузки от АБ. Данная проверка производится по такому соотношению:

$$t_{\text{ф}} \geq t_{\text{тр}}, \quad 4)$$

где $t_{\text{ф}}$ – фактическое время разряда АБ при расчетной нагрузке с учетом условий разряда, ч.

Фактическое время разряда АБ при расчетной нагрузке с учетом условий разряда вычисляется по следующему выражению:

$$t_{\text{ф}} = \frac{k_{\tau 1} \cdot k_{\tau 2}}{k_3} \cdot E \cdot \frac{1}{I_p}. \quad 5)$$

где $k_{\tau 2}$ – технологический коэффициент, учитывающий температуру окружающей среды и фактический ток разряда батареи I_p , $k_{\tau 2}$ определяется по рисунку 2.

Для уточненной проверки, выбранной АБ вводится технологический коэффициент, учитывающий температуру окружающей среды и фактический ток разряда батареи I_p . Исходными параметрами для определения коэффициента $k_{\tau 2}$ являются ток разряда АБ в относительных единицах (относительно номинального тока разряда) и температура окружающей среды:

$$k_{\tau 2} = f(I^*; t_{\text{oc}}), \quad 6)$$

где I^* – ток разряда АБ в относительных единицах относительно номинального, о.е.;

t_{oc} – температура окружающей среды, °С.

Ток разряда АБ в относительных единицах относительно номинального тока разряда определяется по формуле

$$I^* = 10 \cdot \frac{I_p}{E}. \quad 7)$$

Следующий этап проверки АБ – проверка остаточного напряжения согласно разрядной характеристике (рисунок 1). На рисунке 1 изображена разрядная характеристика АБ с номинальным напряжением 2 В на элемент и 6 элементами (номинальное напряжение АБ 12 В). Из графика видно, что при разряде напряжение на АБ может снизиться до 10,5 В. Это приведет к тому, что напряжение на выводах электроприемника окажется ниже 95% от номинального, установленного стандартом качества электроэнергии.

Емкость АБ с учетом коэффициента $k_{\tau 2}$ и напряжения на АБ в конце разряда определяется итерационно. В случае нехватки емкости АБ или недостаточного уровня остаточного напряжения в конце разряда необходимо выбрать АБ большей емкости и повторно произвести проверку.

Выбор зарядно-подзарядного устройства АБ осуществляется по номинальному току. Номинальный ток зарядно-подзарядного устройства определяется по следующему выражению:

$$I_{\text{зпу}} = I_{\text{зар}} + I_{\text{р}}, \quad 8)$$

где $I_{\text{зпу}}$ – номинальный выходной ток зарядно-подзарядного устройства, А;
 $I_{\text{зар}}$ – ток заряда АБ (определяется по рисунку 2, исходя из времени заряда), А.

Зарядные устройства должны обеспечивать следующие функции:

поддерживающий заряд АБ с номинальным напряжением заряда;
 уровень пульсаций не более значений, допустимых по условиям работы потребителей постоянного тока и АБ;

возможность параллельной работы на стороне выпрямленного напряжения;

контроль целостности цепи АБ;

регулирование напряжения подзаряда в зависимости от температуры АБ;

заряд АБ после аварийного разряда до 90% степени заряженности за установленное время;

ограничение зарядного тока АБ.

Зарядные устройства должны иметь защиту от токов перегрузки и короткого замыкания, как самих приборов, так и присоединенных к ним АБ.

Выводы

1. Применение аккумуляторных батарей в системах бесперебойного электроснабжения ответственных потребителей электроэнергии в настоящее время не может быть заменено другими способами резервирования питания вследствие отсутствия дешевой технологии накопления энергии с подходящими выходными параметрами и возможности создания системы большой емкости.

2. Рассмотренная методика выбора аккумуляторных батарей учитывает основные процессы, происходящие в батарее в моменты заряда и разряда, а также параметры окружающей среды. В тоже время данная методика является довольно простой, что обуславливает ее практическое применение в инженерных расчетах.

Литература

1. Правила устройства электроустановок. – Москва : Энергоатомиздат, 1986. – 648 с.
2. Что такое «Система гарантированного и бесперебойного электропитания» // Сайт компании «Никсанбел» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.generator.by/stati/2-cto-takoe-sistema-garantirovannogo-i-besperebojnogo-elektropitaniya>. – Дата доступа: 22.04.2018
3. VRLA/SLA-свинцово-кислотные герметизированные клапанно-рекомбинационные аккумуляторы // Pulsar: Сайт дистрибьютора Тm EverExceed в Украине и странах СНГ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pulsar.kiev.ua/vrla_akkumulyatory. – Дата доступа: 23.04.2018
4. Электрический аккумулятор. Строение и принцип работы // Сайт компании «Свободная энергия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.solarroof.ru/theory/30/94/>. – Дата доступа 22.04.2018