

Принципы расчета систем питания постоянного тока

Широкое применение систем электропитания постоянного тока в традиционных телекоммуникационных сетях объясняется их высочайшей надежностью, большим временем резервирования, простотой и неприхотливостью. От тщательного соблюдения принципов и рекомендаций по их конфигурации зависит достижение требуемого уровня надежности и бесперебойности работы системы связи в целом. В последнее время для обозначения характеристик надежности систем широкое распространение получили так называемые "девятки", т.е. показатель вероятности отказа системы в процентах. Например, надежность 99,9 % ("три девятки") означает, что в среднем за год эта система в принципе может не работать 8—9 часов. В США такая надежность считается стандартной для электрических сетей "общего пользования" без дополнительного резервирования.

Если ставится установка резервного питания (дизель-генератор) и АВР, то надежность нашей ЭПУ увеличивается до "средних девяток" 99,99 – 99,999, что составляет до 5 минут среднего времени отказов в год. Считается, что в среднем стоимость одного часа простоя небольшого сайта электронной коммерции составляет до 8000 долл./ч невосполнимых убытков. Для крупных он-лайн продавцов такие потери могут достигать 180 тыс. долл./ч. Неудивительно, что простои по вине электропитания не входят в бизнес-планы предприятий сетевой экономики. Развитие телекоммуникационных сетей, конвергенция сетей передачи данных и голоса требуют повышенной надежности электропитания.

Кратковременный перебой в подаче электроэнергии, просадка или всплеск могут привести к многомиллиардным убыткам, потере ценной информации, порче данных и невосполнимым моральным издержкам. Поэтому узлы связи с критичным к перебоям питания телеком- или датаком-оборудованием нуждаются в надежности электропитания на уровне не менее "шести девяток". Такая надежность уже требует не просто применения систем постоянного тока, но и соблюдения определенных принципов их расчета.

В общем виде эта процедура включает в себя определение количества выпрямителей, емкости аккумуляторных батарей, сечений и типа батарейных кабелей, номинального тока расцепителя системы защиты батареи, выбора типа и номиналов распределительных автоматов или предохранителей, а также сечений кабеля питания нагрузки. Дополнительно при расчете систем могут быть приняты во внимание требования конструктивного размещения системы (автономно в шкафу либо встраиваемое в существующий стив), конфигурация батарейного стеллажа с учетом требований к максимальной нагрузке на пол, точечной либо распределенной, а также требования к возможности местного или дистанционного управления.

О некоторых принципах расчета систем постоянного тока мы и расскажем ниже.

Определение количества выпрямителей

Расчет конфигурации системы питания начинается с определения количества выпрямителей. Для этого необходимо знать потребляемую мощность нагрузки в Ваттах (или в Амперах) в номинальном и пиковом режимах, а также ожидаемую мощность расширения в будущем для правильного выбора типа системы. Данные о напряжении питания и потребляемой мощности можно найти в технической документации на оборудование.

К сожалению, в настоящее время единого стандарта напряжения и режима заземления для источников питания постоянного тока нет. Традиционно на Взаимоуязвимой сети связи РФ используются напряжения - 60 В для питания коммутаторов и абонентских линий и - 24 В для питания каналообразующей аппаратуры. Импортные системы поставляются на напряжение - 48 В (коммутаторы, выносы и MSC), а также на + 24 В (базовые станции сотовой и транкинговой связи).

Решение о том, какую схему вторичного питания выбрать, принимается после того, как собрана полная информация о потребителях, их напряжении питания и потребляемых мощностях. С точки зрения надежности целесообразно выбрать некоторую общую платформу (например, - 48 В) и запитать прочую нагрузку с помощью вторичных преобразователей - DC/DC конверторов (48/24 или 48/60) и инверторов. Преимуществом такого решения будет использование общей аккумуляторной батареи, обеспечивающей равное время резерва для питания всего узла связи.

Для расчета количества выпрямителей $N_{выпр}$ необходимо потребляемую мощность нагрузки $P_{наг}$ разделить на мощность одного выпрямителя $P_{выпр}$, и округлить полученный результат до целого в большую сторону:

$$N_{выпр} \text{ наг} = P_{наг} / P_{выпр}.$$

При определении мощности нагрузки следует не забывать включать в нее таких потребителей, как инверторы (преобразователи постоянного тока в переменный), дополнительные DC/DC конверторы, системы резервного освещения и т.п.. Мощность инверторов измеряется в ВА (вольтамперах) и при расчете мощности нагрузки ее можно учитывать как мощность в Вт (например, инвертор 1000 ВА имеет эквивалентную нагрузку 1000 Вт):

$$P_{инв,вт} = P_{ва}$$

Для учета нагрузки DC/DC конверторов их номинальную мощность в Вт нужно разделить на КПД, который для современных конверторов небольшой мощности (до 700 Вт) составляет 0,8-0,9:

$$P_{DCKонв} = P_{DC/DC} / 0,8.$$

Полученное число $N_{выпр. наг}$ запоминается и начинается процедура расчета емкости аккумуляторной батареи.

Расчет емкости аккумуляторной батареи

Емкость аккумуляторной батареи определяется из условий 10-часового разряда с постоянной мощностью (или током) при температуре 20-25°С до конечного напряжения 1,8 В на гальванический элемент. Обычно при выборе батареи пользуются разрядными таблицами или формулами, представляемыми производителями батарей. Такой метод дает самые точные результаты. Для очень грубой оценки емкости можно воспользоваться методом "ампер-часов" (т.е. умножение тока нагрузки на время резерва в часах).

Процедура расчета с использованием таблиц разряда сводится к следующему: по известному значению мощности нагрузки $P_{наг}$ (с учетом всех дополнительных преобразователей!) определяется удельная мощность на один 2-вольтовый гальванический элемент батареи. На этом шаге также решается, сколько батарейных "групп" или "стрингов" будет использовано. С точки зрения надежности работы и удобства обслуживания рекомендуется использовать батарею, состоящую не менее, чем из двух батарейных групп. Одна группа батарей 48 В имеет 24 гальванических элемента, а одна батарея + 24 В - 12. Если принимается решение об использовании $N_{бат}$ батарейных групп, то количество 2 В гальванических элементов для 48 В будет равно $N_{гэ} = 24 * N_{бат}$.

$$\text{Удельная мощность на один элемент батареи составит: } P_{гэ} = P_{наг} / N_{гэ}.$$

Далее, зная требуемое время резерва в минутах или часах, по таблице разряда определяется емкость аккумуляторной батареи. Для этого полученное значение $P_{гэ}$ сравнивается со значением мощности разряда в таблице для соответствующего столбца времени резервирования и выбирается ближайшее большее значение. Соответствующая строка покажет требуемую емкость.

Пример 1. Мощность нагрузки 1500 Вт/48 В, время резервирования 4ч. Принимаем количество батарейных групп равным 2, тогда удельная мощность на элемент будет равна:

$$P_{гэ} = 1500 / (24 \cdot 2) = 31,25 \text{ Вт/г.э.}$$

По таблице разряда с постоянной мощностью до напряжения 1,8 В на г.э. получаем, например, для батареи Oerlikon Compact Power — тип 6CP80, емкостью 80 Ач. В этом случае батарея будет состоять из двух параллельно соединенных групп по 8 шестивольтовых моноблоков в каждой из групп, соединенных последовательно, всего 16 блоков типа 6CP80. Общая емкость батареи составит 160 Ач.

При использовании метода "ампер-часов" мы бы получили результат 120 Ач, так как 1500 Вт деленные на 50 В, дают примерный ток нагрузки 30 А, умноженные на 4 часа = 120 Ач. Как можно видеть, без использования поправочных коэффициентов этим способом нужно пользоваться с осторожностью.

После того как требуемая емкость аккумуляторной батареи определена, необходимо оценить достаточно ли мощность нашей системы питания для перезарядки батареи в течение заданного времени. Обычно это время составляет 10ч, но может быть задано и меньшим, в зависимости от условий конкретного объекта. Достаточно точно можно определить время перезарядки до уровня 0,8 - 0,9 от номинальной емкости, так как на этом участке "работает" правило "ампер-часов", т.е. практически линейная зависимость тока заряда от емкости. Полностью заряд батареи набирает в течение от одних до нескольких суток.

Этот метод оценки времени перезарядки батареи заключается в следующем.

Полученное количество выпрямителей $N_{выпр. Наг.}$ умножается на мощность одного выпрямителя $P_{выпр.}$ и из полученной общей мощности системы вычитается мощность нагрузки $P_{наг.}$. Полученная разница делится на минимальное напряжение системы питания (например, 43,2 В), откуда получается величина максимального тока I_{max} . Значение общей номинальной емкости батареи в Ач умножается на 0,8 и делится на значение I_{max} . В результате получается ориентировочное время перезарядки батареи. Если полученное время превышает 10 часов, необходимо добавить один или несколько выпрямителей.

Пример 2. Мощность нагрузки 1500 Вт/48 В, время резервирования 4 ч. Выбирается система питания с выпрямителем мощностью 680 Вт. Требуемое количество выпрямителей равно $1500/680 = 2,2 \Rightarrow$ округляется до 3.

Емкость аккумуляторной батареи 160 Ач.

Общая мощность системы питания с тремя выпрямителями равна $680 \cdot 3 = 2040$ Вт.

Запас мощности равен: $2040 - 1500 = 540$ Вт.

Максимальный ток нагрузки с полностью разряженной батареей: $540 \text{ Вт}/43,2 \text{ В} = 12,3 \text{ А}$.

Ориентировочное время перезарядки равно: $160 \text{ Ач} \cdot 0,8 / 12,3 \text{ А} = 10$ ч, что является удовлетворительным.

Некоторые производители систем питания предоставляют очень удобные инструменты для точного расчета времени перезарядки с учетом типа батареи (гелевые или AGM), мощности нагрузки, требуемого уровня заряда и других параметров. Общее количество выпрямителей с учетом мощности нагрузки и заданного времени перезарядки батарей будет равно: $N_{выпр.общее} = N_{выпр.наг.} + N_{выпр.бат.} + 1$, где 1 – резервный выпрямитель (принцип N+1). Использование резервного выпрямителя является необходимым и часто достаточным условием для обеспечения требуемой надежности работы системы.

Расчет системы защиты батареи от глубокого разряда

Следующим шагом является расчет системы защиты батареи от глубокого разряда. Существует в принципе, два условия, которые должны быть при этом учтены, во-первых, при нормальной работе ток батареи должен быть не более 80 % номинала устройства защиты и, во-вторых, система должна сохранить работоспособность даже при отключении одной из групп батарей (если их больше одной). Если используется больше 6 групп батарей, защита должна обеспечить возможность отключения минимум 20 % общего количества групп.

Процедура расчета сводится к следующему. Сначала определяется максимальный ток нагрузки I_{max} путем деления мощности нагрузки $P_{наг}$ на минимальное напряжение (напряжение срабатывания защиты батареи) $U_{min \text{ bat}} / I_{max} = P_{наг} / U_{min \text{ bat}}$. Напряжение $U_{min \text{ bat}}$ рассчитывается, исходя из количества гальванических элементов в батарее (для 48 батарей — 24 шт.) и конечного напряжения разряда на элемент (обычно 1,8 В), т.е. $24 \cdot 1,8 = 43,2$ В.

Далее максимальный ток системы нужно разделить на количество батарейных групп минус 1 (т.е. с учетом одной отключенной группы) и получить максимальный ток через одну батарею для "наихудшего случая".

$$I_{max \text{ bat}} = I_{max} / (N_{bat} - 1).$$

Разделив полученное значение $I_{max \text{ bat}}$ на 0,8 (коэффициент нагрузки) мы получим минимальное значение тока системы защиты батареи: $I_{bat \text{ protect}} = I_{max \text{ bat}} / 0,8$.

Пример 3. Мощность нагрузки 1500 Вт / 48 В, время резервирования 4 ч.

Емкость аккумуляторной батареи 160 Ач, состоящей из двух групп по 80 Ач каждая.

Максимальный ток системы в режиме разряда батарей: $I_{max} = 1500/43,2 = 34,7 \text{ А}$.

Максимальный ток через одну батарею с учетом одной отключенной батареи: $I_{max \text{ bat}} = 34,7/(2-1) = 34,7 \text{ А}$.

Минимальный ток блока защиты батареи: $I_{bat \text{ protect}} = 34,7/0,8 = 43,4 \text{ А}$.

Для системы питания можно выбрать блок защиты батарей 2x50 А.

Вообще, существует два распространенных способа защиты батарей от глубокого разряда – либо путем отключения батарей от общих шин системы питания, либо путем отключения от них нагрузки. Последний способ, с точки зрения ведущих производителей, в настоящее время является более перспективным, так как такая система позволяет реализовать приоритетный принцип разделения нагрузки с минимальным влиянием секций с низким и высоким приоритетом друг на друга. Отключение нагрузки с низким приоритетом в режиме работы от батарей дает дополнительное время резерва для нагрузки с высоким приоритетом и экономии средств за счет установки батареи с меньшей емкостью.

Расчет сечения и длины батарейных кабелей

После расчета системы защиты батареи от глубокого разряда необходимо рассчитать сечения и длину батарейных кабелей. Основным условием расчета сечения является ограничение падения напряжения на кабеле по всей длине с учетом положительной и отрицательной ветви до уровня 0,5 В. Минимальное сечение батарейного кабеля определяется по формуле:

$$S_{\min} = 2 \cdot L \cdot [P_{\text{наг}} / (U_{\min \text{ bat}} \cdot N_{\text{бат}})] \cdot \rho / \Delta U, \text{ (мм}^2\text{)}, \text{ где}$$

L – расстояние от батареи до системы питания (м); ρ – коэффициент удельного сопротивления меди = 0,0175 (Ом*мм²/м) при 20°C; ΔU – допустимое падение напряжения на батарейном кабеле = 0,5 В.

Если полученное значение S_{\min} достаточно велико (например, больше 300 мм²), можно использовать несколько кабелей на полюс батареи, число которых определяется по формуле: $N_{\text{пол}} = S_{\min} / S_{\text{каб}}$, где $S_{\text{каб}}$ – сечение выбранного кабеля.

Общая длина батарейных кабелей будет равна:

$$L_{\text{бат}} = 2 \cdot N_{\text{бат}} \cdot N_{\text{пол}} \cdot L.$$

Пример 4. Мощность нагрузки 5000 Вт/48 В, две группы батарей, расстояние 30 м. $S_{\min} = 2 \cdot 30 \cdot [5000 / (43,2 \cdot 2)] \cdot 0,0175 / 0,5 = 121 \text{ (мм}^2\text{)}$.

В этом случае можно использовать как кабель сечением 150 кв. мм, так и кабель 70 кв. мм.

В последнем случае придется проложить $N_{\text{пол}} = 121/70 = 1,74 = 2$ кабеля на полюс, и общая длина батарейного кабеля будет составлять $L_{\text{бат}} = 2 \cdot 2 \cdot 40 = 320$ м. Для кабеля сечением 150 кв. мм общая длина составит 120 м.

Расчет системы распределения постоянного тока

После расчета аккумуляторной батареи наступает черед расчета системы распределения постоянного тока – сечения кабелей и их длины, типов и номиналов автоматических выключателей или предохранителей. Поскольку эта часть расчета тесно связана с требованиями нагрузки и зависит от ее специфики, здесь уместны только самые общие рекомендации.

Для расчета сечения кабеля питания можно применить ту же формулу, что и для расчета сечения батарейного кабеля, с той лишь разницей, что падение напряжения ΔU при максимальном токе рекомендуется ограничить величиной 2 В.

Типы и номиналы автоматических выключателей или плавких предохранителей выбираются согласно требованиям нагрузки и рекомендациям производителей систем электропитания, причем автоматические выключатели рекомендуется нагружать током, не превышающим 50 % от номинала автомата, а плавкие предохранители – не более 80 %.

Если нагрузка критична к питаемому напряжению, например, имеет строго заданное "окно", то необходимо использовать так называемое "высокоомное распределение", обеспечивающее постоянство параметров во всех режимах работы системы питания, в том числе даже в режиме короткого замыкания.

Такое распределение идеально для нагрузки, имеющей централизованное питание и большое количество взаимосвязанных потребителей. Правильно рассчитанная сеть обеспечит такое "аккуратное" отключение поврежденного в результате короткого замыкания потребителя, при котором соседние потребители этого даже не "почувствуют".

Расчет системы постоянного тока – выбор типа системы питания, мощности и количества выпрямителей, определение емкости аккумуляторной батареи, системы распределения постоянного тока и ее защиты от влияния переходных процессов – требует соблюдения некоторых правил и принципов, часть из которых в общем виде была рассмотрена нами в данной статье. Предложенная методика расчета систем постоянного тока является одним из примеров практических инженерных способов, дающим хорошие результаты и имеющим приемлемую точность. Соблюдение этих принципов обеспечит долгий срок службы, заданный уровень надежности и высокое качество питания потребителей системы электропитания постоянного тока.

В.К. Бурцев