

# Безопасный заряд

**Зарядные терморезисторы с положительным температурным коэффициентом (PTC) идеально дополняют сглаживающие конденсаторы в источниках питания. В случае возникновения короткого замыкания они ограничивают ток на безопасном уровне.**

**Штефан Бенкхов  
(Dr. Stefan Benkhof)**

**Перевод: Олег Гнеушев**

oleg.gneushev@siemens.com

Использование постоянных резисторов для ограничения тока заряда конденсаторов является общепринятой практикой. Однако такое решение связано с некоторыми рисками.

Например, короткое замыкание конденсатора или выход из строя реле приводят к тому, что через постоянный токоограничивающий резистор в течение длительного времени протекает большой ток и выделяется много тепла, это может вывести из строя как сам резистор, так и всю систему в целом. Компания EPCOS AG разработала профессиональное решение — новые саморегулирующиеся зарядные терморезисторы серии J20X компактного размера. Как видно из таблицы, семейство J20X состоит из типов J201, J202 и J204.

Типичное применение для PTC серии J20X — это промышленные источники питания, преобразователи частоты и системы бесперебойного питания мощностью от 500 Вт до 50 кВт.

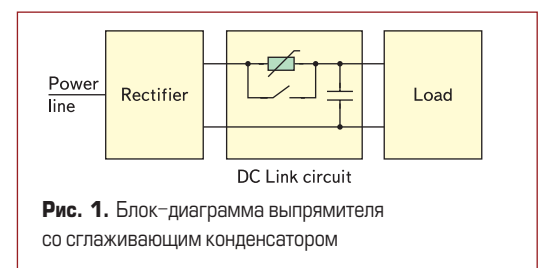
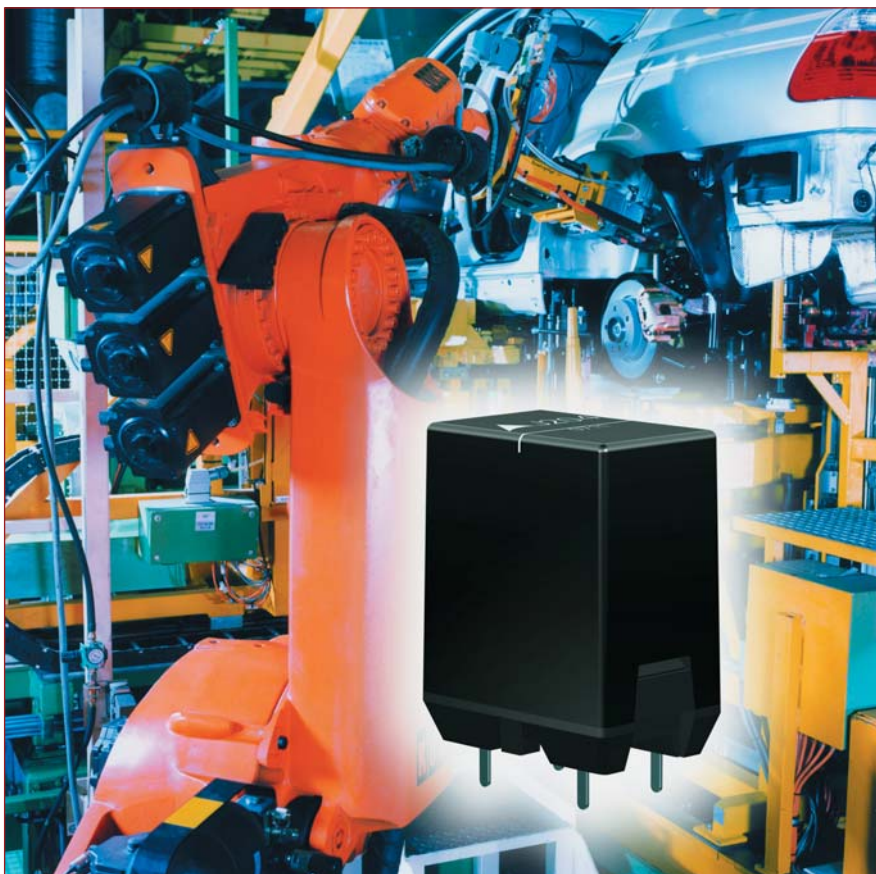
**Таблица.** Основные параметры зарядных резисторов PTC

Тип	Заказной номер	V <sub>max</sub> , В	RR, Ом
J201	B59201J0140B010	550	20 ±30%
J202	B59202J0135B010	650	56 ±30%
J204	B59204J0130B010	800	100 ±25%

В этих применениях конденсаторы звена постоянного тока используются для сглаживания пульсаций напряжения, а также хранения энергии.

Для того чтобы избежать недопустимо больших пиковых токов при заряде конденсаторов, как правило, используется последовательно включенный токоограничивающий резистор. Эту функцию часто выполняют фиксированный резистор или резистор с отрицательным температурным коэффициентом (NTC). В большинстве случаев после заряда конденсаторов токоограничивающий элемент шунтируется при помощи реле, срабатывающего или по времени, или по уровню достаточного напряжения. Ограничение пусковых зарядных токов особенно важно для выпрямительных и конвертерных систем, так как пусковые броски тока могут привести к срабатыванию предохранителей или превысить допустимые уровни для выпрямителя. На рис. 1 представлена блок-диаграмма преобразователя.

В период заряда постоянный резистор ограничивает ток, а затем шунтируется при помощи реле, чтобы избежать потерь энергии в стационарном режиме работы. При отсутствии аварийных ситуаций комбинация постоянного резистора и реле вполне достаточно для ограничения зарядного тока. Однако возникновение неисправностей (сбоев) в момент или после зарядки конденсаторов может привести к полному выходу из строя самого резистора, а также других компонентов оборудования. Для того чтобы избежать нежелательных последствий при таких ти-



**Рис. 1.** Блок-диаграмма выпрямителя со сглаживающим конденсатором

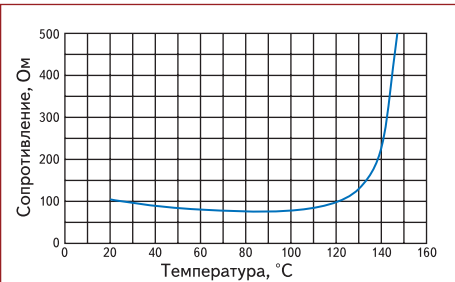


Рис. 2. Температурная кривая сопротивления PTC

пичных неисправностях, как короткое замыкание конденсаторов или несрабатывание реле, предпочтительно использовать терморезисторы J20X. При обычной штатной зарядке конденсаторов PTC работает так же, как и постоянный резистор, и ограничивает пиковое значение зарядного тока. Однако при возникновении неисправности собственное сопротивление терморезистора резко возрастает, и это обеспечивает снижение тока в цепи до безопасного уровня (см. рис. 2).

Ток короткого замыкания, протекая через терморезистор, нагревает его, и PTC переходит в высокоомное состояние.

В случае использования постоянного резистора при возникновении неисправности большой ток будет нагревать постоянный резистор и приведет к большим потерям энергии. Конечно же, нужно использовать резистор довольно больших габаритов и мощности, чтобы работать в таком режиме. Принцип функционирования зарядных PTC представлен на рис. 3.

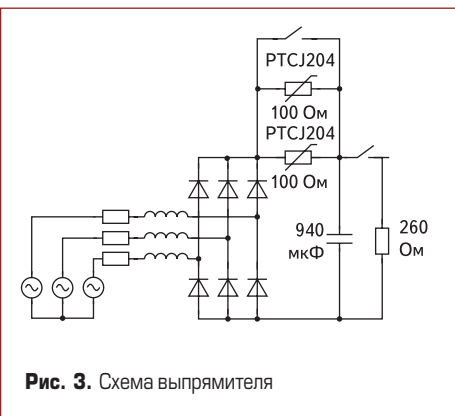


Рис. 3. Схема выпрямителя

Типичная конфигурация выпрямителя 3-фазного источника питания со сглаживающим конденсатором и саморегулирующимися зарядными резисторами.

Рассмотрим пример: трехфазный выпрямительный мост, включенный в сеть 400 V<sub>rms</sub> со сглаживающим конденсатором емкостью 940 мкФ. Зарядная цепь содержит два параллельно включенных зарядных резистора PTC B59204J0130B010 для ограничения пускового тока, указанные резисторы имеют сопротивление 100 Ом при температуре 25 °C. В данной схеме требуется параллельное соединение двух PTC, так как зарядный ток, проходя только через один резистор, может нагреть его до высокой температуры и перевести в высокоомное состояние, вследствие чего конденсатор не будет заряжен полностью.

Необходимое количество PTC резисторов серии J20X может быть рассчитано по следующей формуле:

$$n \geq CV^2 / [2C_{th}(T_{Ref} - T_{Amax})],$$

где  $n$  — необходимое количество PTC J20X;  $C$  — емкость конденсаторной батареи в фарадах;  $V$  — максимальное напряжение заряда в вольтах;  $C_{th}$  — тепловая характеристика зарядного конденсатора J20X в джоулях на кельвин (J/K);  $T_{Ref}$  — точка резкого увеличения сопротивления  $T_{ref}$  PTC в градусах по Цельсию;  $T_{Amax}$  — максимальная предполагаемая температура окружающего воздуха в градусах по Цельсию.

Например, термистор PTC B59204J0130B010 имеет тепловую характеристику приблизительно 2 J/K и  $T_{ref} = 130$  °C. Два термистора могут быть соединены как параллельно, так и последовательно. При соблюдении вышеприведенного неравенства температура PTC гарантированно не превысит точку  $T_{ref}$  вплоть до полного заряда и таким образом термисторы останутся в низкоомном состоянии.

При достижении напряжения 95% от максимального зарядного уровня параллельно соединенные элементы J20X шунтируются при помощи реле, и далее происходит подключение нагрузки (в нашем случае нагрузка представляет собой сопротивление 260 Ом). Таким образом, два параллельно включенных резистора J204 ведут себя подобно постоянному резистору 50 Ом. Диаграмма тока, представленная на рис. 4, показывает штатный режим заряда.

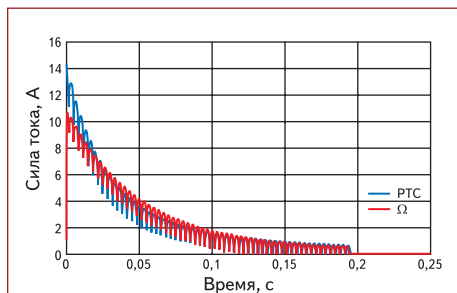


Рис. 4. Штатный режим заряда с использованием PTC и фиксированного резистора

Ток, протекающий при заряде конденсатора, практически идентичен при использовании PTC и фиксированного резистора.

Временные диаграммы тока практически совпадают в обоих случаях. Небольшие расхождения токовых характеристик объясняются тем, что PTC имеет:

- особую форму температурнозависимой резистивной характеристики;
- зависимость сопротивления от напряжения, особенно заметную в первоначальный момент заряда.

Такие особенности PTC должны учитывать ся при оценке пускового тока.

Через 190 мс процесс заряда завершается и резистор шунтируется. Кривая поглощения энергии резисторами также практически совпадает для обоих типов (см. рис. 5). Макси-

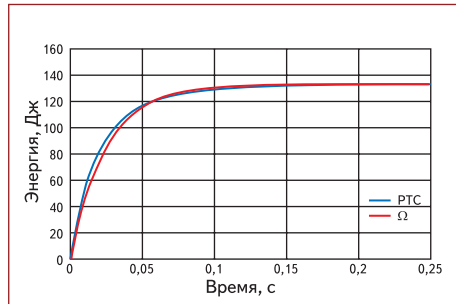


Рис. 5. Поглощение энергии при заряде

мальная поглощенная энергия соответствует моменту отключения резисторов из цепи.

При штатном заряде энергия, поглощенная PTC (синий график) и фиксированным резистором (красный), почти совпадает.

Преимущества PTC термистора как токоограничивающего элемента становятся очевидны в случае нештатного функционирования системы. В случае несрабатывания реле ток нагрузки, протекая через зарядный резистор, сильно нагревает его, в случае использования фиксированного резистора потребуется элемент большой мощности и габаритов. Если же в схеме применен PTC термистор, то в этом случае его сопротивление вырастет до нескольких десятков килоом и тем самым ограничит ток при неисправности реле (рис. 6). Примерно через 3 с ток, протекающий через два параллельно включенных PTC, упадет до уровня нескольких десятков миллиампер. На рис. 7 отчетливо видна разница поглощаемой энергии.

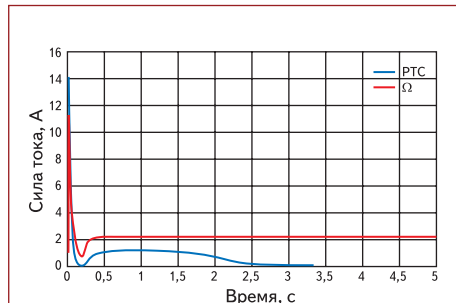


Рис. 6. Ток при неисправном реле

При неисправном реле терморезистор, нагреваясь, ограничивает ток на безопасном уровне в течение 3 с (синий график).

Через несколько секунд PTC практически перестает поглощать энергию, в то время как в схеме с фиксированным резистором энергия продолжает потребляться. В высокоомном

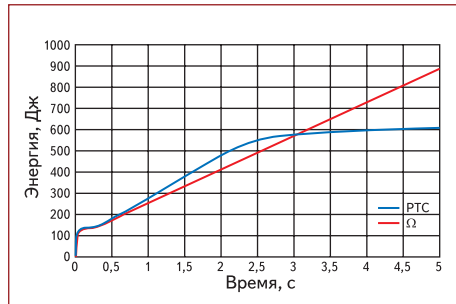


Рис. 7. Энергия поглощения при неисправном реле

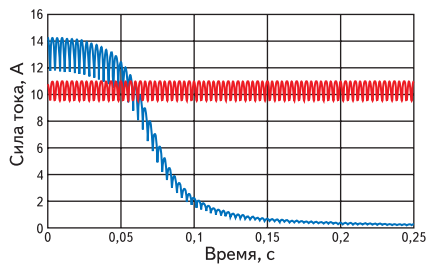


Рис. 8. Графики тока при КЗ конденсатора.

состоянии РТС ограничивает поглощение энергии на безопасном уровне, а фиксированный резистор показывает линейное возрастание поглощенной энергии. В вышеприведенном примере фиксированный резистор, чтобы избежать перегрева, должен иметь мощность не менее 200 Вт.

Рассмотрим другую неисправность — короткое замыкание (КЗ) конденсатора при заряде.

Большой пусковой ток переводит два параллельно включенных РТС термистора в высокоомное состояние в течение 150 мс, при этом, естественно, происходит ограничение тока. Ток же, протекающий в схеме с фикси-

рованным резистором, ограничен только низким импедансом цепи и, соответственно, приводит к большим потерям энергии на резисторе (рис. 8)

При КЗ конденсатора ток, протекающий в схеме с терморезистором, быстро падает до безопасного уровня (синий график), при использовании фиксированного резистора ток остается постоянным на высоком уровне (красный график).

Через короткое время оба параллельно соединенных РТС переходят в высокоомное состояние и поглощают энергию в очень малых

количествах из-за того, что их сопротивление очень высоко. Суммарно поглощенная энергия выглядит подобно той, что приведена на рис. 7.

Вышеприведенный пример неисправности — КЗ конденсатора в момент заряда представляет собой очень высокую нагрузку на зарядный резистор. В этом случае РТС J201 должен иметь дополнительно последовательный фиксированный резистор для ограничения тока короткого замыкания. Терморезисторы J202 и J204 не требуют использования дополнительного резистора.