



РКМЗ
**VIII РОССИЙСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ
ПО МОЛНИЕЗАЩИТЕ**

3 - 5 АПРЕЛЯ 2024
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
ОТЕЛЬ FOUR SEASONS
LION PALACE 5*
RCLP2024.COM

Особенности параллельного соединения варисторов.

Акинъхов С.П., Саенко И.В., Синельщикова Т.Ю., Снегова Д.Б.

ООО «НПФ «Магнетон Варистор» (г. Санкт-Петербург)

saenko@magneton.ru

В докладе рассмотрен опыт «НПФ «Магнетон Варистор» в комплектации наборов оксидно-цинковых варисторов для их параллельного соединения. Предложены методики подбора электрических характеристик варисторов, обеспечивающих достаточно равномерное распределение токов по варисторам, входящим в сборку.

Введение

Оксидно-цинковые варисторы представляют собой высоко-нелинейные сопротивления, у которых ток увеличивается на 8 порядков при подъеме напряжения всего в два раза. Это качество позволяет использовать их для эффективного ограничения импульсных перенапряжений. В случаях, когда требуется параллельное соединение варисторов, например, при необходимости увеличить допустимую амплитуду тока или рассеиваемую энергию импульсов [1], высокая нелинейность требует, в идеале, абсолютно идентичных варисторов. Даже небольшое различие в вольтамперных характеристиках (ВАХ) может привести к неравномерному распределению токов и, соответственно, выделяемой энергии в параллельной сборке. В докладе рассмотрены приемы подгонки и подбора варисторов в условиях их мелкосерийного производства, обеспечивающих достаточно равномерное распределение токов по элементам сборки.

Предмет и методика исследований

НПФ «Магнетон Варистор» производит дисковые оксидно-цинковые варисторы с диаметрами 35, 46, 60, 85 и 115 мм на рабочие напряжения 120 – 2200 В. Для удобства расчета остающегося напряжения на

конкретном варисторе мы, в отличие от других производителей [2,3], используем ВАХ (рис.1), приведенную к классификационному напряжению, измеряемому при классификационных токах, (таблица 1).

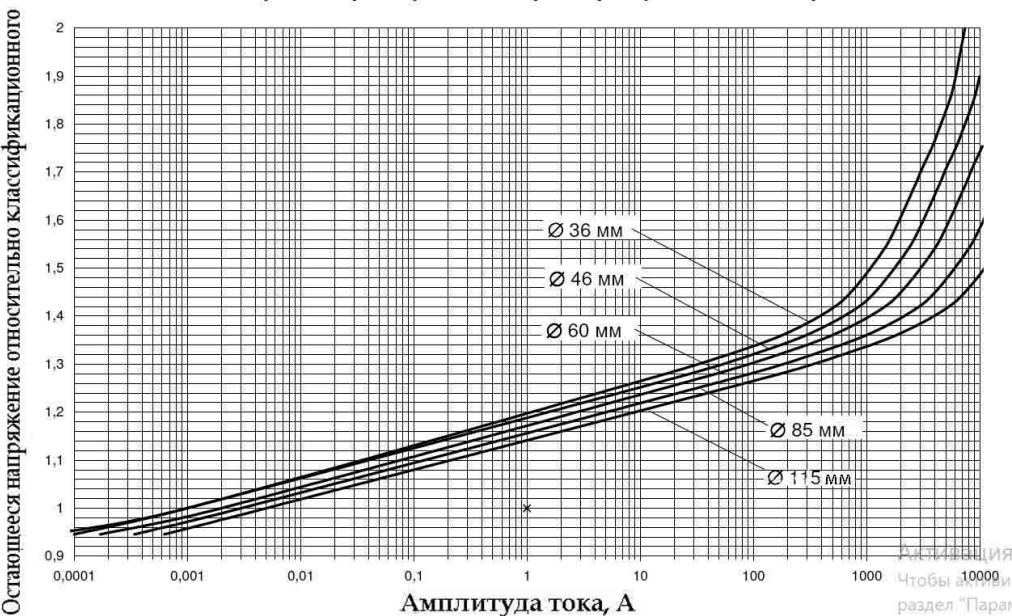
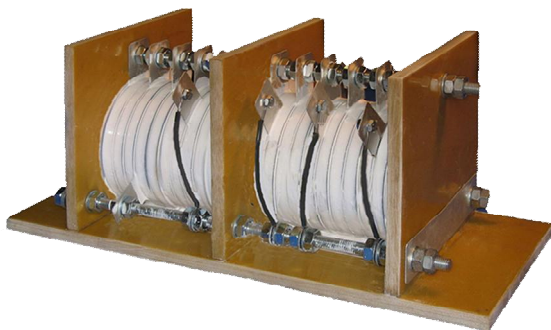


Рис. 1. Вольтамперные характеристики варисторов разных диаметров.

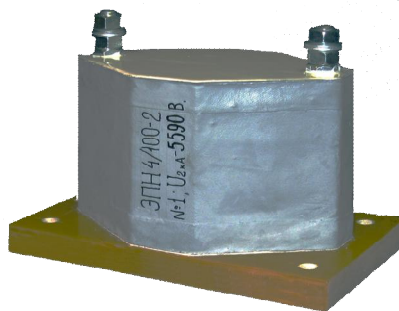
Таблица 1.

Диаметр варистора, см	Классификационный ток, мА	Плотность классификационного тока, мА/см ²
3,5	1,0	0,104
4,6	1,0	0,060
6,0	2,0	0,071
8,5	3,0	0,053
11,5	5,0	0,048

Отклонение расчетных по ВАХ значений остающихся напряжений от измеренных на нашей испытательной базе не превышает 2,5 %. С такой точностью можно подбирать идентичные варисторы для параллельного соединения. Такую методику мы применяем для сборки небольших партий мощных энергопоглотителей нелинейных, ЭПН (рис 2) [2,3].



а)

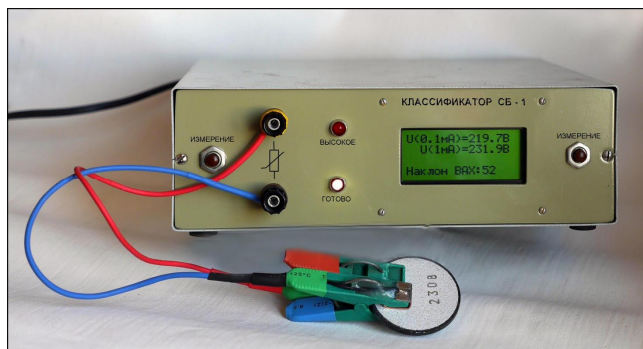


б)

Рис. 2 Энергопоглотители: а) ЭПН 0,8/200(1,2), б) ЭПН 4/100(2).

Однако для массового производства параллельных сборок измерение по нескольким точкам ВАХ является слишком трудоемким.

При более масштабном производстве параллельных сборок оказался возможным подбор варисторов по начальным, классификационным параметрам. Для увеличения точности их измерения были созданы цифровые квалификаторы серии СБ, позволяющие измерять классификационное напряжение, $U_{кл}$, напряжение при токе $0,1I_{кл}$, и коэффициент нелинейности ВАХ с относительной погрешностью не более 2%. (Рис. 3.)



а)



б)

Рис. 3 Квалификаторы: а) однодиапазонный СБ-1, 1,0 мА и 0,1 мА; б) двухдиапазонный СБ-2, 1,0 мА и 0,1 мА, 5,0 мА и 0,5 мА

Эксперимент

Прямое определение равномерности распределения тока по параллельной сборке при импульсных испытаниях затруднительно, поскольку требует разделения цепей измерения тока, их удлинения и неизбежного внесения погрешности за счет паразитных индуктивностей. Поэтому использовалась косвенная оценка равномерности распределения тока по сборке на основании ВАХ. Рассмотрим схему соединения варисторов. (Рис. 4)

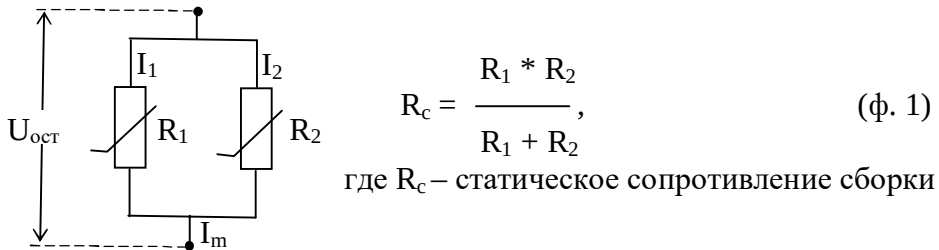


Рис. 4. Параллельное соединение варисторов.

В идеальном случае, когда сопротивления варисторов равны, R_c равно $0,5R_{1,2}$, токи по плечам сборки распределяются равномерно и остающееся напряжение $U_{0,5}$ максимально. В первом приближении это соответствует равенству классификационных напряжений варисторов в сборке. В случае, когда классификационные напряжения и, соответственно, сопротивления плеч различаются, общее сопротивление сборки становится больше $0,5R_{1,2}$, и токи через варисторы различаются. На рис. 5 представлены результаты расчета этой зависимости с использованием формулы (ф. 1). На графике также представлены экспериментальные точки, полученные на варисторах ВК46С при испытаниях импульсом 8/20 мкс с амплитудой 10 кА (таб.2,3). Для данной комбинации варисторов $U_{0,5} = 840$ В.

Таблица 2.

№ варистора	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆
Классификационное напряжение, В	448	446	420	408	380	357

Таблица 3.

Варистор	Остающиеся напряжения			
	U _{10 кА} (1)	U _{10 кА} (2)	U _{10 кА} (3)	U _{10 кА} (средн.)
B ₁ B ₂	854	844	844	847
B ₁ B ₃	817	808	808	811
B ₁ B ₄	799	790	790	793
B ₁ B ₅	790	790	790	790
B ₁ B ₆	745	735	745	742

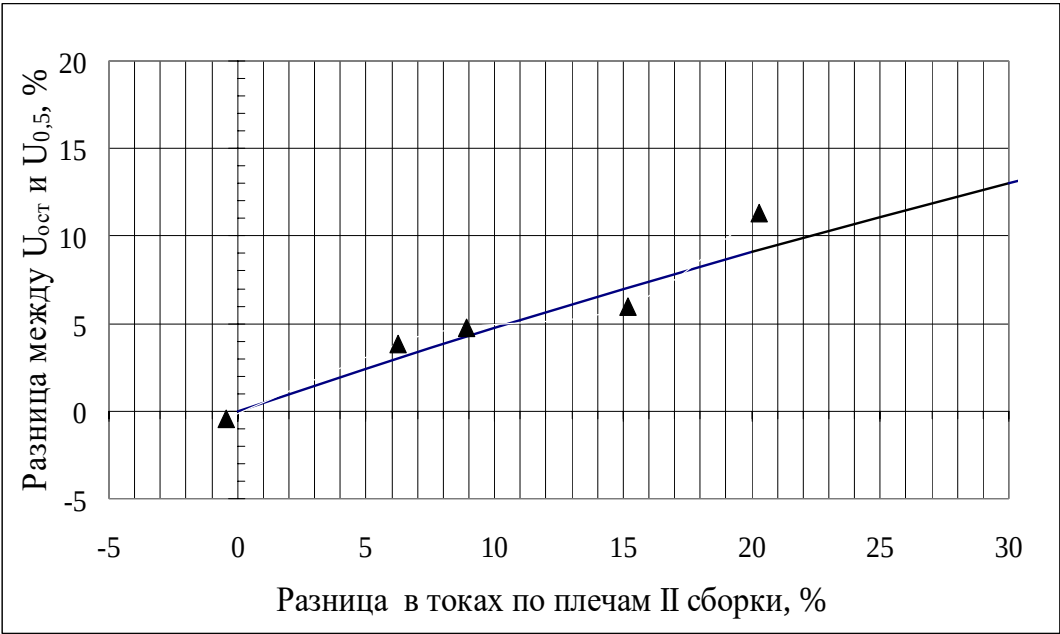


Рис. 5. Рассогласование по токам при сборке варисторов с различными классификационными напряжениями

Обсуждение и выводы

Очевидно, что равномерность распределения тока в сборках из параллельно соединенных варисторов зависит от однородности варисторной керамики как на уровне отдельного варистора, так и на уровне производственной партии варисторов. Однородность обеспечивает воспроизводимость ВАХ и позволяет подобрать варисторы по минимальному количеству точек контроля. В работе показано, что представление о распределении тока по плечам сборки можно получить по соотношению остающегося напряжения на сборке к расчетному остающемуся напряжению для одинаковых варисторов, $U_{0,5}$. Аппаратура для подбора варисторов должна обеспечивать низкую погрешность измерений. Можно рекомендовать для этого упомянутые выше квалификаторы, разработанные НПФ «Магнетон Варистор».

ЛИТЕРАТУРА

1. Саенко И.В., Кузнецов В.В., Пинская Д.Б., Генельт А.Е. Особенности защиты электрооборудования от коммутационных перенапряжений ЭНЕРГИЯ ЕДИНОЙ СЕТИ №1 (24), февраль-март 2016 г., с. 56-61.
2. Каталоги варисторов METROSIL, www.metrosil.com
3. Каталоги варисторов EPCOS TDK, <https://tcomponent.ru/catalog/Epcos/?ysclid=lt4jmcplpx169972007>