

## Список информационных источников:

1. Ультразвуковые решетки для количественного неразрушающего контроля. инженерный подход. // Болотина И.О., Дьякина М.Е., Жантлесов Е., Крёнинг М., Мор Ф., Редди К., Солдатов А.И. Дефектоскопия. 2013. – № 3. – С. 21-40.

2. Диаграмма направленности антенной решетки при сканировании по методу SAFT. // Квасников К.Г., Макаров В.С., Солдатов А.И., Сорокин П.В., Солдатов А.А., Кренинг Х.М.В.А., Рябушкин А.П. Контроль. Диагностика. – 2012, № 13. – С. 62-66.

3. A. I. Soldatov, P. V. Sorokin, V. S. Makarov, A. A. Soldatov, [and others], “Nondestructive testing of pallets defects by multichannel ultrasound system,” in 2013 52nd Annual Conference of the British Institute of Non-Destructive Testing, 2013 – pp. 1-7.

4. А. С. Асочаков, Ю. В. Шульгина. Метод обработки ультразвукового сигнала фазированной антенной решётки. // Неразрушающий контроль: сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции, 2015. – стр. 230-233.

## УСТРОЙСТВО ОГРАНИЧЕНИЯ ПУСКОВОГО ТОКА

*Барило А.Е.*

*Томский политехнический университет*

*Научный руководитель: Огородников Д.Н., к.т.н., доцент кафедры  
промышленной и медицинской электроники*

Пусковой ток — это пиковый ток, возникающий в цепях источника питания при включении. [1] В сущности, все методы ограничения пускового тока сводятся к нескольким основным вариантам, а именно:

- заряд с помощью зарядного резистора;
- заряд с помощью термистора;
- заряд с помощью транзистора;
- заряд с помощью тиристорov.

Все они имеют множество схемных вариаций и довольно широко используются на практике.

Заряд с помощью зарядного резистора, пожалуй, наиболее распространённый способ ограничения пускового тока. Популярность этого метода объясняется простотой и дешёвизной реализации, очень высокой надёжностью (КЗ в нагрузке схема из строя не выйдет),

применимостью как в цепях переменного, так и в цепях постоянного тока [1].

Заряд с помощью термистора способ очень прост, надёжен, не требует никаких дополнительных схем, однако в мощных преобразователях он не нашёл широкого. Этот метод оптимален для преобразователей мощностью не более сотен Ватт; для более «серьёзных» преобразователей потери на термисторе оказываются слишком большими и, плюс к этому, недопустимо снижается надёжность устройства в целом.[1]

Заряд с помощью транзисторов. В зависимости от управления, для этого метода существуют два основных режима: статический и динамический. Статический режим подразумевает работу транзистора на активном участке его ВАХ, таким образом, что сопротивление его канала оказывается достаточно большим, чтобы ограничить ток заряда. Фактически, в таком режиме транзистор используется как переменный резистор. Такое управление используется не часто в виду больших тепловых потерь на кристалле транзистора в процессе заряда, изменении параметров транзистора, в частности, при изменении температуры и, в конечном итоге, из-за низкой надёжности такого способа в целом [2].

Другой режим – динамический: накачка ёмкости кратковременными импульсами. Такой способ плавного заряда гораздо более популярен. Достоинства:

1. Возможность работы от постоянного напряжения питания;
2. Не критичность к напряжению питания и к ёмкостному сопротивлению нагрузки;
3. Возможность реализации защиты нагрузки от КЗ в том числе и кратковременного;
4. Малые габариты в сравнении с резистивным (а тем более резистивно-транзисторном) способе заряда.

Заряд с помощью тиристоров.

Преимущества следующие:

1. Относительная простота реализации (в сравнении со схемой управления для транзистора), не требуется гальванической развязки, преобразователя питания и т.д.
2. Относительно меньшая критичность к изменению напряжения питания;
3. Устойчивость к изменению нагрузки, к импульсным токам большой амплитуды;
4. Малые габариты, т.к. не требуется дополнительных устройств, помимо собственно выпрямительного моста. [3]

Недостатки:

1. Возможность работы только от сети переменного напряжения;
2. Невозможность реализации быстрой защиты нагрузки от КЗ.

В итоге, можно составить таблицу (таблица 1) выбора способа заряда ёмкости. [3]

Таблица 1 – Выбор способов заряда ёмкости нагрузки

	Резистор	Резистор + управление	Термистор	Транзистор	Тиристор
Работа на постоянном напряжении источника	+	+	+	+	–
Работа при изменении напряжения питания и/или нагрузки	–	+	–	+	+
Работа на больших мощностях	+	+	–	±	+
Простота схемы управления	+	–	+	–	±

Устройство ограничения пускового тока (УОПТ), предназначено для ограничения тока заряда емкостей порядка 6000 мкФ, током от 10 до 12 ампер, в первый момент времени после подачи питания на УОПТ. После заряда емкости, в функции УОПТ входит защита от импульсных коммутационных перенапряжений (ИКП).

Было решено использовать контроль тока в цепи заряда конденсаторов С1, использовать шунт RS1, это простое и не дорогое решение. Для управления током заряда решено использовать полевой транзистор VT1. Во избежание резких скачков тока будем использовать дроссель L1, установленный последовательно с транзистором. Так же установим диод VD1 во избежание насыщения дросселя. Параллельно транзистору и дросселю установим резистор R1, для того чтобы в первый момент времени заряд емкостей шел через резистор, до тех пор, пока не установится напряжение питания в блоке управления транзистором (БУТ). Полученная схема представлена на рисунке 1.

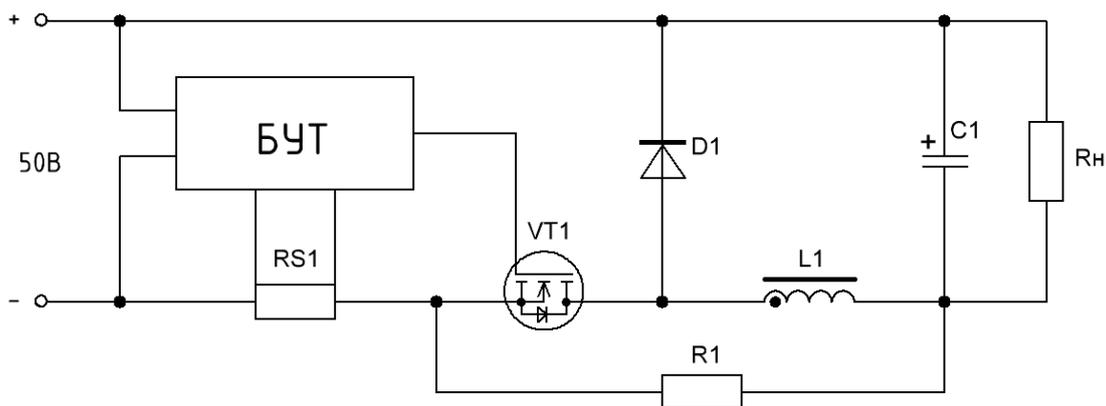
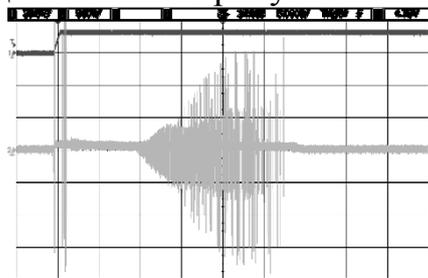


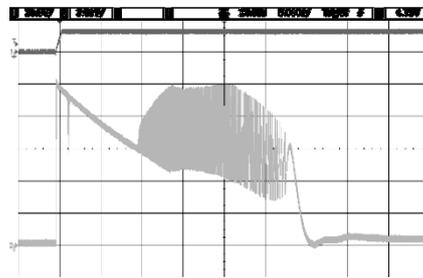
Рисунок 1. Устройство ограничения пускового тока. Схема функциональная

Принцип действия. При подаче напряжения через шунт RS1 начинает протекать зарядный ток, в исходном режиме транзистор VT1 открыт, ток ограничен сопротивлением резистора R1. Как только установится напряжение питания БУТ, начнется ограничение пускового тока. При увеличении зарядного тока на шунте RS1 будет увеличиваться падение напряжения, которое в свою очередь фиксирует БУТ. Когда падение достигнет значения, соответствующего определенному току, БУТ подаст сигнал запирающего транзистора, транзистор VT1 закроется. Зарядный ток пойдет через резистор R1, поэтому величина тока станет меньше. Во время уменьшения тока падение напряжения на шунте RS1 будет уменьшаться и когда достигнет определенного значения, БУТ подаст сигнал отпирающего транзистора VT1. Транзистор VT1 снова откроется, следовательно, увеличится ток, и все повторится снова. Все эти процессы будут происходить до тех пор, пока емкость C1 не зарядится. Когда емкость C1 зарядится до максимума, транзистор VT1 будет в открытом состоянии (установившийся режим). Осциллограммы работы представлены на рисунке 2.



1-Напряжение питания схемы

2-Напряжение на шунте



2-Ток в C1

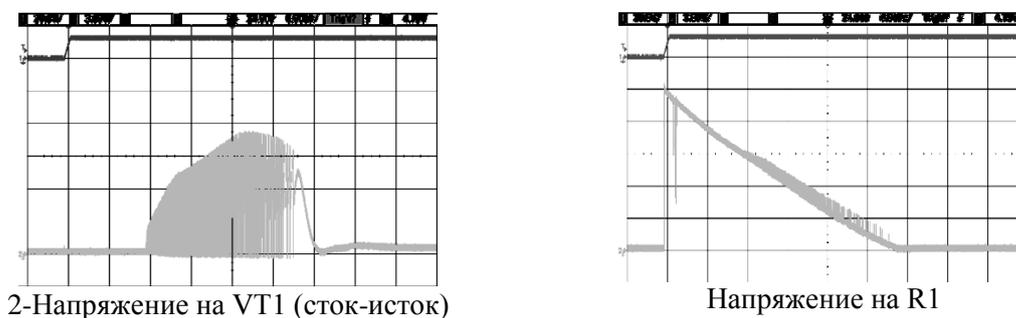


Рисунок 2. Осциллограммы работы УОПТ

Защита от ИКП. Если в установившемся режиме приходит ИКП, на шунте RS1 резко увеличивается падение напряжения, БУТ это фиксирует и выдает сигнал на запираение транзистора VT1, тем самым не дает развиваться току ИКП. После того как импульс ИКП закончился, падение на шунте RS1 уменьшилось, БУТ снова открывает транзистор VT1. Такая система позволяет не допустить больших скачков тока нагрузки.

В итоге собрано УОПТ способное заряжать емкость током порядка 12А. Так же устройство способно защитить нагрузку от ИКП. Устройство полностью удовлетворяет требование технического задания.

### Список информационных источников

1. Основы преобразовательной техники. Учебное пособие для специальности «Промышленная электроника»/ И.М. Чиженко, В.С. Руденко, В.И. Сенько – М.: Высшая школа, 1974. – 430 с.

2. Высоочастотные транзисторные преобразователи/Э.М. Ромаш, Ю.И. Драбович, Н.Н. Юрченко, П.Н. Шевченко. – М.: Радио и связь, 1988. – 288 с.

3. Справочник по импульсной технике/ В.Н. Яковлев, В.В. Воскресенский, А.А. Генис, Е.Ф. Доронин, О.Н. Литвиненко, И.Н. Мигулин, В.И. Сошников, А.В. Цветков. – М.: Техника, 1972. – 712 с.