

ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЗАВИСИМЫХ РАСЦЕПИТЕЛЕЙ ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИХ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Середа А.Г., к.т.н.

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"
Украина, 61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21, НТУ "ХПИ", кафедра "Электрические аппараты"
тел. (057) 707-69-76, E-mail: kbv@kpi.kharkov.ua, evl@kpi.kharkov.ua.

Розглядається можливість зниження власного часу спрацьовування струмообмежуючого автоматичного вимикача шляхом оптимального вибору параметрів незалежного розчеплювача.

Рассмотрена возможность снижения собственного времени срабатывания токоограничивающего автоматического выключателя путем оптимального выбора параметров независимого расцепителя.

Степень использования, а, следовательно, и экономическая эффективность полупроводниковых приборов существенно зависят от быстродействия и токоограничивающих свойств защиты. Традиционно эта задача решается с помощью быстродействующих предохранителей, последовательно включаемых с каждым вентиляем, либо установкой на вход выпрямителя автоматического выключателя. Оба способа не совершенны и имеют ряд ограничений по применению.

Применение автоматических выключателей в условиях большой мощности требует установки токоограничивающих реакторов, дорогой и громоздкой системы. Применение быстродействующих предохранителей снимает необходимость в реакторах, однако, необходимость замены сгоревшей плавкой вставки затрудняет возможность автоматизации и дистанционного управления преобразователями.

Автоматический выключатель совмещает в себе как аппарат защиты, так и аппарат дистанционного управления, обеспечивает многократность коммутации цепи в номинальном режиме и осуществляет защиту во всем диапазоне сверхтоков.

Недостатком токоограничивающих автоматических выключателей является невысокое быстродействие, не позволяющее надежно защитить полупроводниковые преобразователи в аварийных режимах. Широкое распространение для защиты управляемого выпрямителя при коротком замыкании получили автоматические выключатели типа АЗ792Б на номинальный ток до 630А. Собственное время срабатывания такого выключателя от воздействия электромагнитного расцепителя максимального тока составляет 20-40 мс, что недопустимо при защите полупроводниковых приборов, обладающих низкой перегрузочной способностью. Повысить быстродействие выключателя возможно, используя в качестве выходного реле независимый расцепитель (РН), предназначенный для дистанционного отключения выключателя. Конструктивно РН представляет собой электромагнит с поворотным якорем. Якорь РН воздействует на отключающую рейку механизма свободного расцепления. Питание РН осуществляется мощным импульсом напряжения от предварительно заряженной емкости, что позволяет уменьшить собственное время срабатывания автоматического выключателя до 10 мс.

Режимы, характеризующие протекание сверхтоков, можно разделить на две группы: внешние аварии, вызванные коротким замыканием нагрузки, и внутренние аварии, обусловленные повреждением вентиля. Наиболее опасным с точки зрения продолжительности и амплитуды аварийного тока является внутреннее короткое замыкание выпрямителя. В худшем случае (индуктивная нагрузка) амплитудное значение тока короткого замыкания наступает через 10 мс. Таким образом, даже применение автоматических выключателей с управлением РН от емкости не позволяет ограничить ударный ток короткого замыкания на безопасном для полупроводникового преобразователя уровне.

В настоящей статье экспериментально исследовано влияние параметров независимого расцепителя (обмоточные данные катушки и масса якоря), емкостного накопителя энергии (емкость, напряжение заряда) и привода главных контактов (провал контактов, ход отключающей рейки механизма свободного расцепления) на собственное время срабатывания автоматического выключателя типа АЗ792Б с целью улучшения его защитных показателей.

Независимый расцепитель может быть укомплектован одной из семи серийно выпускаемых катушек, из которых интерес представляют три. В табл.1 приведены параметры интересующих нас катушек, согласно маркировке завода изготовителя [1].

Таблица 1

Катушка	Требования к источнику питания	Параметры обмотки	
		Диаметр провода	Число витков
№3	$-U=24\div 27В,$ $\sim U=350\div 440В, 400Гц.$	0,224 мм	420±10
№4	$\sim U = 220 В, 400Гц$	0,315 мм	285±5
№7	Импульс от $C=100мкФ,$ $U=220\div 350В.$	0,5 мм	530±5

Кроме того, необходимо исследовать влияние массы подвижной части (якоря) независимого расцепителя. Масса подвижной части определяет инерционность РН. Конструкция якоря РН показана на рис.1. На рис. 1а приведена конструкция якоря серийного

РН. Штриховкой показаны технологические отверстия. На рис. 16 приведена конструкция доработанного якоря, в котором дополнительно фрезерована заштрихованная часть. В результате доработки массу якоря удалось снизить с 36 до 25 грамм.

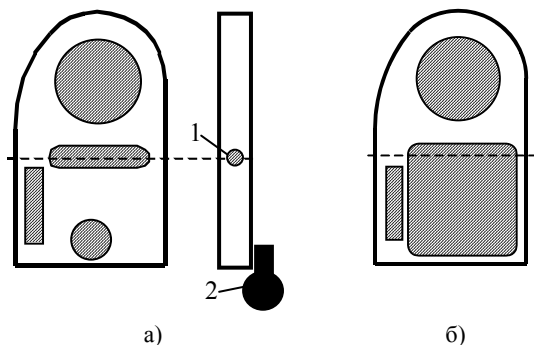


Рис. 1. Якорь независимого расцепителя.
1 – ось вращения; 2 – отключающая рейка

Экспериментально установлено [2], что в качестве системы управления РН с наилучшей стороны зарекомендовала себя схема изображенная на рис. 2.

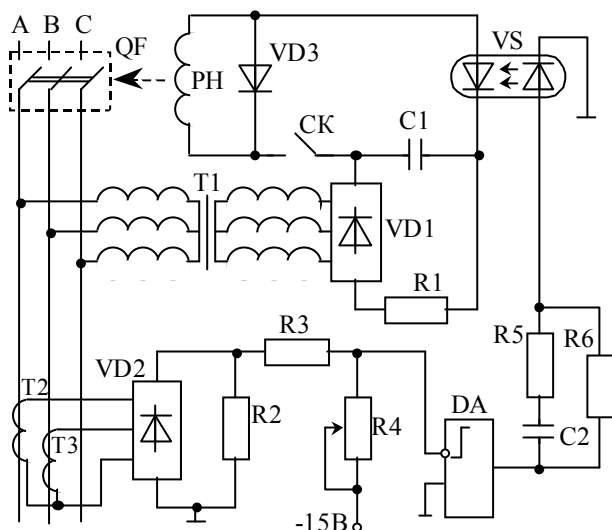


Рис. 2. Система управления независимым расцепителем

Система управления состоит из схемы питания катушки РН и схемы управления тиристорным ключом VS. Схема питания РН характеризуется повышенным напряжением заряда конденсатора (сотни вольт), по сравнению с напряжением питания схемы управления тиристором VS (единицы вольт). Необходимо гальваническая развязка двух схем. С этой целью оптимальным представляется в качестве ключа использовать оптотиристор, например ТО 125-12.

Схема питания РН состоит из конденсатора C1 и электронного ключа VS. Заряд конденсатора осуществляется от трансформатора T1 через выпрямитель VD1. Диод VD3 создает апериодического характера разряда емкости C1, так как экономически целесообразнее применение электролитических конденсаторов. Управление ключом VS осуществляется сигналом, снимаемым с трансформаторов тока T2, T3, выполняющих роль датчиков. Сигнал, снимаемый с T2, T3, преобразуется через выпрямитель VD2 и резисторы R2, R3. Резистор R4 служит для регулировки уставки тока срабатывания. Сравнение тока главной цепи с током уставки происходит в компараторе DA. Если ток главной цепи превысит значение уставки, сигнал компаратора откроет ключ VS и произведет срабатывание автоматического выключателя QF.

Измерение времени срабатывания выключателя производилось по схеме, изображенной на рис. 3.

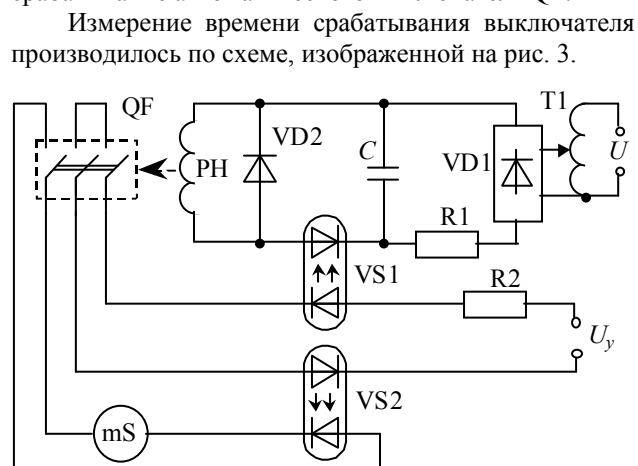


Рис. 3. Схема измерения собственного времени срабатывания автоматического выключателя

Питание РН осуществляется от конденсатора C, емкость которого принималась равной 100мкФ и 200мкФ. Заряд конденсатора C до напряжения U осуществляется от автотрансформатора T1 через выпрямитель VD1. Синхронное управление РН и электронным таймером mS осуществляется с помощью оптотиристора VS1, VS2. Импульс управления тиристорами VS1, VS2 поступает от независимого источника U_y через ограничивающий резистор R2. При включении исследуемого автоматического выключателя QF по цепи управления VS1-VS2 под действием напряжения U_y протекает ток, открывающий тиристоры. При этом синхронно происходит разряд емкости C на обмотку РН и включение таймера mS. Независимый расцепитель срабатывает и отключает автоматический выключатель QF. Отключение QF приводит к остановке таймера. Таким образом, измеряется собственное время срабатывания выключателя от момента подачи управляющего импульса на независимый расцепитель до начала расхождения главных контактов.

Исследование проводилось на пяти образцах автоматических выключателей. В ходе эксперимента выключатели подвергались регулировке провала главных контактов и хода отключающей рейки от максимального до минимального значения. В соответствии с инструкцией по сборке и регулировке указанные параметры выключателя должны находиться в пределах: провал 2,5÷3,5 мм, ход рейки 0,6÷0,8 мм. Исследовались только максимальные и минимальные значения указанных параметров.

Результаты измерения собственного времени срабатывания автоматического выключателя *t* в функции параметров емкостного накопителя энергии (емкость C, напряжение заряда U), параметров расцепителя (катушка, масса якоря *m_я*), параметров выключателя (ход рейки, провал главных контактов) представлены в табл. 2. – 4.

На первом этапе исследовались автоматические выключатели, в которые устанавливались РН с катушкой №7. Эта катушка заявлена заводом изготовителем (табл. 2) для питания РН от системы управления по схеме, изображенной на рис. 2.

При отключении автоматического выключателя время необходимое для выбора провала главных контактов определяется массой подвижных контактодержателей, инерционностью ломающихся рычагов и жесткостью приводных пружин. Влияние величины провала на собственное время срабатывания выключателя носит монотонный характер: чем меньше провал, тем меньше время отключения. Результаты измерений показали, что регулировка провала от максимального до минимального значения уменьшает собственное время отключения выключателя на 0,5 мс.

Результаты измерений времени срабатывания выключателя в функции напряжения заряда конденсатора при различных значениях емкости конденсатора и массы якоря приведены в табл. 2. Параметры выключателя: ход рейки 0,8 мм, провал главных контактов 2,5 мм. По данным табл. 2 построены зависимости, изображенные на рис. 4.

Таблица 2

t , мс	Емкость, мкФ	Масса якоря: $m_{\text{я}}=36\text{г.}$		Масса якоря: $m_{\text{я}}=25\text{г.}$	
		$C=100$	$C=200$	$C=100$	$C=200$
U , В	100	10,6	9,8	10,0	8,8
	150	9,4	8,5	8,7	7,7
	200	8,2	7,76	7,8	7,3
	250	7,8	7,31	7,5	6,9
	300	7,3	7,1	7,1	6,7
	350	7,0	6,85	6,9	6,5
	400	6,9	6,73	6,7	6,4

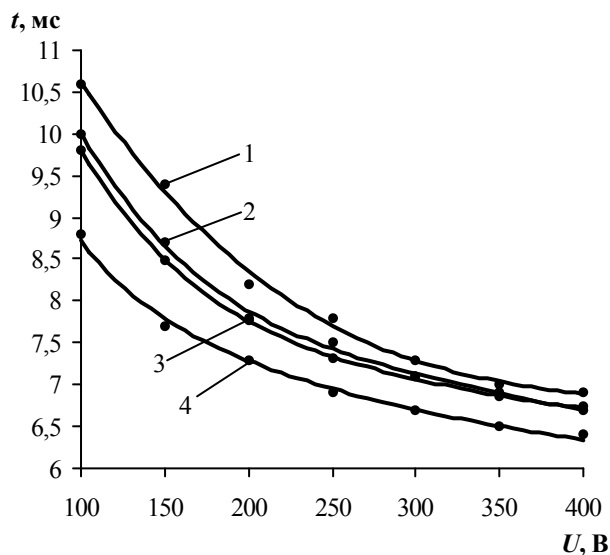


Рис. 4. Влияние массы якоря.

- 1 – $C=100\text{мкФ}$, $m_{\text{я}}=36\text{г.}$; 2 – $C=100\text{мкФ}$, $m_{\text{я}}=25\text{г.}$;
3 – $C=200\text{мкФ}$, $m_{\text{я}}=36\text{г.}$; 4 – $C=200\text{мкФ}$, $m_{\text{я}}=25\text{г.}$

Построенные на рис. 4 зависимости свидетельствуют о том, что снижение инерционности подвижной части РН позволяет уменьшить энергию источника питания. Характеристики 2 и 3 практически не различаются.

В данном случае благодаря снижению массы якоря РН, емкость питающего конденсатора можно уменьшить с 200 до 100мкФ. Следовательно, уменьшатся габариты и стоимость конденсаторной батареи.

Результаты измерений времени срабатывания выключателя в функции напряжения заряда конденсатора при различных значениях массы якоря и хода отключающей рейки сведены в табл. 3. Емкость конденсатора: $C=200\text{мкФ}$. Провал главных контактов 2,5мм. По данным табл. 3 построены зависимости, изображенные на рис. 5.

Таблица 3

t , мс	Ход рейки	Масса якоря: $m_{\text{я}}=36\text{г.}$		Масса якоря: $m_{\text{я}}=25\text{г.}$	
		0,8мм	0,6мм	0,8мм	0,6мм
U , В	100	9,8	9,3	8,8	8,64
	150	8,5	8,2	7,7	7,7
	200	7,76	7,6	7,3	7,02
	250	7,31	7,15	6,9	6,68
	300	7,1	6,88	6,7	6,5
	350	6,85	6,7	6,5	6,27
	400	6,73	6,58	6,4	6,2

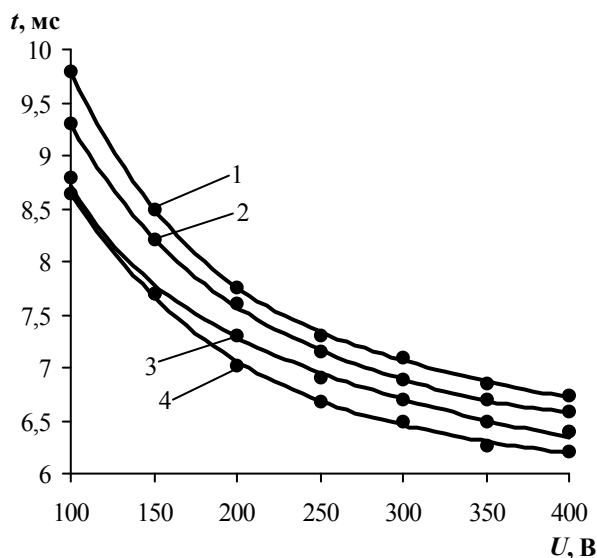


Рис. 5. Влияние хода отключающей рейки.

- 1 – $m_{\text{я}}=36\text{г.}$, ход рейки 0,8 мм; 2 – $m_{\text{я}}=36\text{г.}$, ход рейки 0,6мм;
3 – $m_{\text{я}}=25\text{г.}$, ход рейки 0,8мм; 4 – $m_{\text{я}}=36\text{г.}$, ход рейки 0,6мм

Предварительные исследования показывают, что уменьшить собственное время срабатывания автоматического выключателя позволяет точная регулировка его параметров. В частности минимальные значения провала главных контактов и хода отключающей рейки механизма свободного отключения уменьшают собственное время срабатывания на 1 мс. Такой, несущественный на первый взгляд, выигрыш во времени позволяет снизить интеграл отключения аппарата в 1,5÷2 раза. В ходе дальнейших исследований значения провала главных контактов и хода отключающей рейки фиксировались на минимальных значениях.

Результаты измерений времени срабатывания выключателя в функции напряжения заряда конденсатора при различных параметрах РН сведены в табл. 4. Емкость конденсатора $C=200\text{мкФ}$.

Таблица 4

t , мс	Масса якоря: $m_{я}=36г.$			Масса якоря: $m_{я}=25г.$			
	Катушка	№3	№4	№7	№3	№4	№7
U , В	100	9,3	8,3	9,3	8,9	8,3	8,64
	150	8,33	7,53	8,2	7,85	7,3	7,7
	200	7,73	7,1	7,6	7,35	6,8	7,02
	250	7,22	6,73	7,15	6,83	6,45	6,68
	300	7,08	6,5	6,88	6,65	6,36	6,5
	350	6,83	6,2	6,7	6,55	6,11	6,27
	400	6,8	6,18	6,58	6,45	6,11	6,2

Зависимость времени срабатывания автоматического выключателя, в который установлен серийный РН, представлена на рис. 6. Зависимость времени срабатывания автоматического выключателя, в который установлен РН с облегченным якорем, представлена на рис. 7.

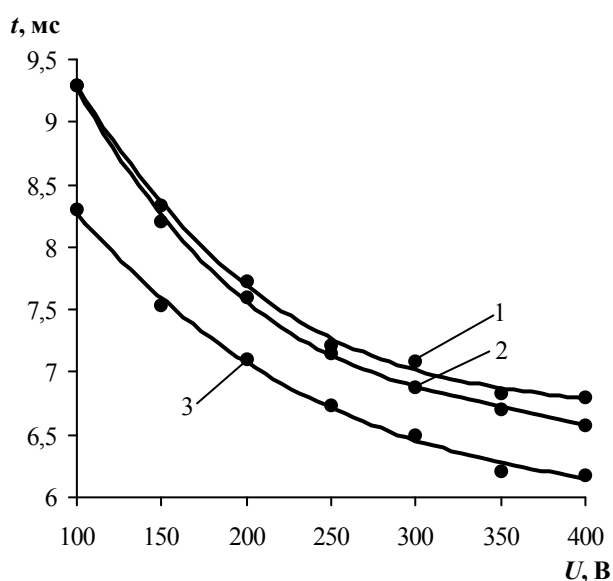


Рис. 6. Влияние параметров обмотки РН при $m_{я}=36г.$
1 – катушка №3; 2 – катушка №7; 3 – катушка №4

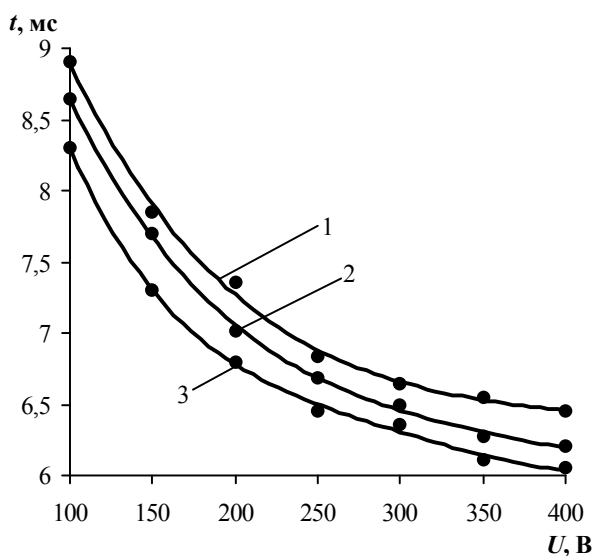


Рис. 7. Влияние параметров обмотки РН при $m_{я}=25г.$
1 – катушка №3; 2 – катушка №7; 3 – катушка №4

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что существенно снизить собственное время срабатывания автоматических выключателей возможно путем повышения быстродействия его расцепителей. Максимальное быстродействие РН обеспечивает катушка №4, которая имеет диаметр обмоточного провода больший, чем у катушки №3 и количество витков меньше, чем у катушки №7. Следовательно, для повышения быстродействия расцепителя необходимо увеличивать магнитодвижущую силу и уменьшать индуктивность обмотки.

Для дальнейших исследований было изготовлено две экспериментальные катушки с параметрами:

- катушка №1: 120 витков, диаметр обмоточного провода 1,2 мм;
- катушка №2: 60 витков, диаметр обмоточного провода 1,2 мм.

Автоматический выключатель, в который установлен РН с экспериментальной катушкой №2, работал неустойчиво. Обмотка катушки не обеспечивала срабатывание выключателя под действием РН.

Результаты исследования катушки №1 сведены в табл. 5.

Таблица 5

U , В		100	150	200	250	300	350	400
t , мс	$C=100\text{мкФ}$	9,3	7,6	6,7	6,2	6,0	5,8	5,6
	$C=200\text{мкФ}$	7,5	6,6	6,0	5,9	5,6	5,5	5,4

По данным табл. 5 построена зависимость, изображенная на рис. 8. На том же рисунке показана зависимость времени срабатывания выключателя для РН с катушкой №4. Очевидно, что применение экспериментальной катушки позволяет не только снизить собственное время срабатывания выключателя во всем диапазоне напряжений заряда конденсатора, но и получить время срабатывания, не превышающее 8мс, уже при напряжении на емкости 100В.

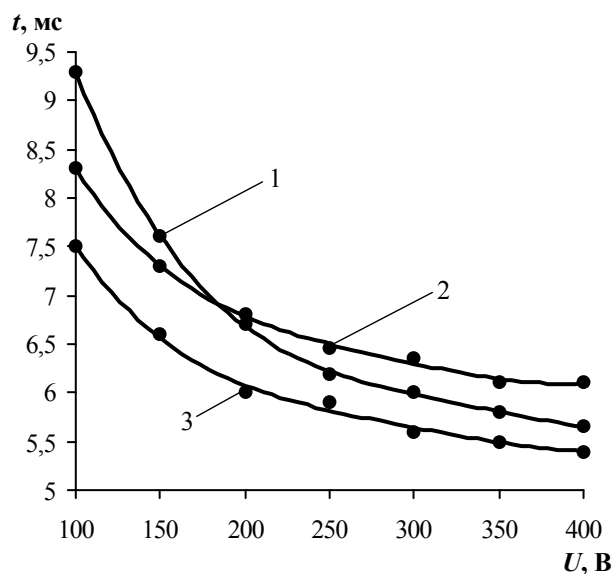


Рис. 8. Время срабатывания выключателя.
1 – экспериментальная катушка №1, $C=100\text{мкФ}$;
2 – катушка №4, $C=200\text{мкФ}$;
3 – экспериментальная катушка №1, $C=200\text{мкФ}$

Снижение напряжения питания расцепителя имеет большое значение. Система управления расцепителем располагается вблизи ячейки системы импульсно-фазового управления (СИФУ) полупроводникового преобразователя. Питание СИФУ осуществляется напряжением 15В. Поэтому присутствие высокого напряжения вблизи ячейки СИФУ крайне нежелательно.

На последнем этапе экспериментального исследования измерялось быстрдействие автоматического выключателя при пониженном напряжении заряда емкостного накопителя энергии (ЕНЭ), питающего РН. Согласно [3] безопасным для человека считается напряжение сети 42В 50Гц. Поэтому представляется интересным уменьшить напряжение питания РН до уровня безопасного с сохранением высокого быстрдействия автоматического выключателя. Было принято решение увеличить емкость ЕНЭ. В РН был установлен облегченный якорь: $m_{я}=25$ г. Результаты исследований представлены в табл. 6.

Таблица 6

Емкость	C=570 мкФ			C=1100 мкФ			
	Катушка	№1	№2	№4	№1	№2	№4
U, В	40	8,13	12,0	10,25	7,45	9,03	9,58
	60	7,11	10,93	8,69	6,76	7,74	8,2
	80	6,54	8,8	7,88	6,3	6,93	7,8
	100	6,07	7,93	7,4	6,1	6,46	7,42
	120	6,0	7,55	7,27	5,8	6,32	6,93
	140	5,8	7,05	6,78	5,7	6,12	6,78
	160	5,7	6,6	6,68	5,5	6,0	6,5
	180	5,5	6,5	6,6			
	200	5,5	6,45	6,5			

По результатам измерений построены зависимости изображенные на рис. 9 – 10.

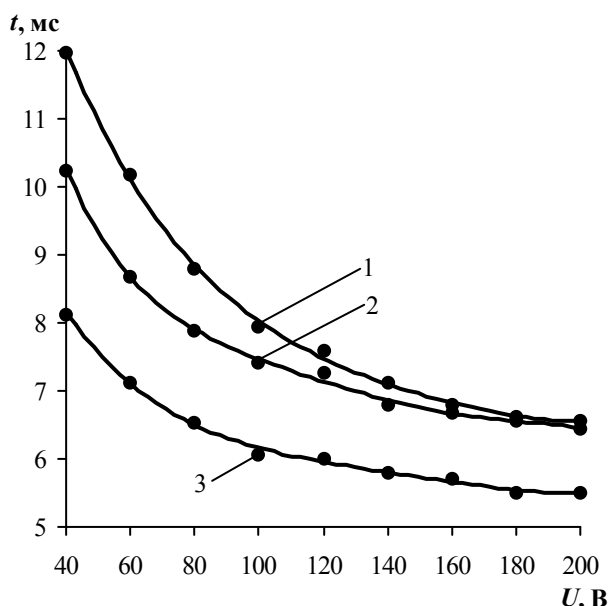


Рис. 9. Время срабатывания выключателя при C=570мкФ. 1 – экспериментальная катушка №2; 2 – катушка №4; 3 – экспериментальная катушка №1

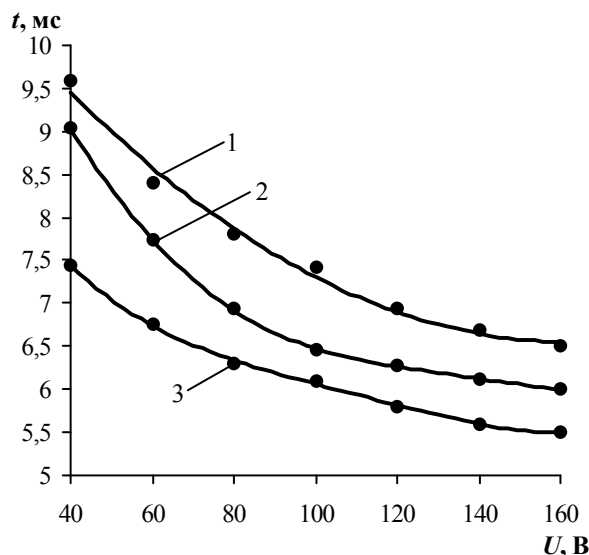


Рис. 10. Время срабатывания выключателя при C=1100мкФ. 1 – экспериментальная катушка №2; 2 – катушка №4; 3 – экспериментальная катушка №1

Проведенные экспериментальные исследования автоматического выключателя с независимым электромагнитным расцепителем показали, что для достижения максимальной эффективности защиты полупроводниковых преобразователей в режиме короткого замыкания выпрямителя необходима оптимизация параметров РН и ЕНЭ. Наибольшее влияние на время срабатывания РН оказывают параметры обмотки электромагнита. Оптимизация параметров обмотки РН позволяет не только уменьшить собственное время срабатывания автоматического выключателя, но и снизить напряжение питания расцепителя до уровня безопасного с сохранением высокого быстрдействия.

ВЫВОДЫ

1. Надежная защита полупроводниковых преобразователей обеспечивается автоматическим выключателем с максимальным быстрдействием.
2. Снизить собственное время срабатывания токоограничивающих автоматических выключателей позволяет повышенное быстрдействие независимого расцепителя, и точная регулировка параметров привода главных контактов.
3. Максимальное быстрдействие имеет независимый расцепитель с обмоткой: 120 витков, диаметр обмоточного провода 1,2 мм.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Выключатели автоматические типа А3790. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ОБЕ 140.010 ТО. – Харьков, 1992, 24с.
- [2] Бару А.Ю., Богатырев В.П., Середя А.Г., Шинднес Ю.Л. Быстрдействующая система защиты мощных тиристорных преобразователей на основе токоограничивающих автоматических выключателей // Электротехника и электромеханика. – 2002. – №2. – с. 15-17.
- [3] Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.

Поступила 10.12.2003