

УДК 621.382.2/3

## ПРЕЦИЗИОННЫЕ СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ПОЛЯРНОСТИ С НИЗКИМ ОСТАТОЧНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ И ЗАЩИТОЙ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ РАЗРЯДА СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Ю.Н. КРИВОШЕЯ

Филиал «Транзистор» ОАО «Интеграл»  
Корженевского, 16, Минск, 220108, Беларусь

Поступила в редакцию 11 октября 2013

Приведены результаты разработки и исследования конструкции прецизионных стабилизаторов напряжения положительной полярности с низким значением падения напряжения и защитой от воздействия разрядов статического электричества (К1254ЕН3АП1) с выходным напряжением 1,8 В, 2,5 В, 2,85 В, 3,3 В и 5 В в пластмассовых корпусах КТ-28 (ТО-220), КТ-27 (ТО-126, КТ-89 (D-РАК).

*Ключевые слова:* стабилизатор напряжения, статическое электричество.

### Введение

Электростатический разряд (ЭСР) является одной из самых главных причин выхода из строя интегральных схем в процессе монтажа и эксплуатации приборов. Как правило, от 1/3 до половины отказов микросхем происходит из-за воздействия ЭСР либо электрического перенапряжения. Для того чтобы увеличить надежность микросхемы и свести разрушительное воздействие ЭСР к минимуму, требуется, кроме обеспечения известных технологических приемов снижения величины статического заряда, вводить в конструкцию микросхем специальные элементы защиты.

При производстве полупроводниковых изделий электростатический заряд чаще всего возникает из-за трения поверхностей различных материалов. Величина заряда зависит от способа, качества и степени давления при контакте между материалами. Значительные по величине заряды могут возникать непосредственно на поверхности прибора. Такие заряды бывают подвижными, если они накапливаются на проводящих элементах конструкции, или неподвижными, когда они образуются на изолированных деталях. Собственно, наличие и накопление заряда на любом изделии, как правило, не ведет к его повреждению или изменению характеристик до тех пор, пока через это изделие не пройдет электростатический разряд, возникающий при соединении тел с различными электростатическими потенциалами. В момент, когда тот или иной вывод прибора касается проводящего тела, происходит импульсный разряд, который может полностью или частично повредить прибор [1].

Электрическое перенапряжение в микросхеме может возникать вследствие таких явлений, как электростатический разряд, электромагнитный импульс, молния, приводящих к электрическому пробую и грубому повреждению в интегральной схеме. Механизмы отказа при электрическом перенапряжении можно разделить на две категории: отказы под действием температуры и отказы из-за усиления электрического поля. Продолжительность воздействия электрического напряжения может быть от одной наносекунды до одной миллисекунды и дольше. Длительное воздействие электрического перенапряжения может привести к таким повреждениям, как вздутие металлических поверхностей, повреждение кремния из-за перегревания отдельных областей пластины. Эти повреждения приводят к сокращению срока службы микросхемы (например, увеличение тока утечки на одном или более выводах), или выходу микросхемы из строя [2].

Функциональным назначением стабилизаторов напряжения является поддержание постоянного выходного напряжения независимо от изменяющихся во времени температуры, входного напряжения или тока нагрузки с минимальными потерями мощности. Поэтому основными параметрами, характеризующими стабилизаторы напряжения, являются: точность поддержания выходного напряжения, дрейф при изменении входного напряжения, тока нагрузки и температуры окружающей среды, значение остаточного напряжения, коэффициент сглаживания пульсаций.

### Методика эксперимента

Испытания на устойчивость к воздействию статического электричества проводились согласно ГОСТ 18727-83 и ОСТ 11 073.013 метод 502-1а. На выводы микросхемы подавался статический разряд сначала положительной, а потом отрицательной полярности последовательно величиной 65 В, 150 В, 350 В, 750 В, 1500 В, 2500 В до появления отказов. Годность изделий оценивалась по соответствию значений электрических параметров (см. в таблице) в нормальных условиях требованиям ТУ (АДКБ.431420.913ТУ).

Таблица 1. Основные электрические параметры K1254

Наименование параметра, единица измерения	Буквенное обозначение	Норма параметра		Режим измерения	Температура корпуса, °С
		K1254ЕН3АП K1254ЕН3АП1 K1254ЕН3АТ			
		Не менее	Не более		
Выходное напряжение, В	$U_0$	3,267	3,333	$U_1 = 5,3 \text{ В}, I_0 = 10 \text{ мА}$	25±10
		3,250	3,350	$U_1 = (4,75 \div 12,0) \text{ В}, I_0 = (0 \div 1) \text{ А}$	
		3,240	3,360	$U_1 = 14,5 \text{ В}, I_0 = 10 \text{ мА}$	
Изменение выходного напряжения при изменении входного напряжения, мВ	$U_0 (U)$	–	7	$U_1 = (4,75 \div 12,0) \text{ В}, I_0 = 0 \text{ мА}$	25±10
		–	10	$U_1 = (5,3 \div 14,5) \text{ В}, I_0 = 10 \text{ мА}$	
		–	12	$U_1 = (4,75 \div 12,0) \text{ В}, I_0 = 0 \text{ мА}$	
Изменение выходного напряжения при изменении тока нагрузки, мВ	$U_0 (I)$	–	12	$U_1 = 5,3 \text{ В}, I_0 = (0 \div 1) \text{ А}$	25±10
		–	24		–10÷100
Ток потребления, мА	$I_{\text{пот.}}$	–	10	$U_1 = (12 \div 15,0) \text{ В}, I_0 = 0 \text{ мА}$	25±10
Остаточное напряжение, В	$U_{ds}$	–	1,3	$I_0 = 1 \text{ А}$	25±10
Максимальный выходной ток, А	$I_{0 \text{ макс}}$	1,0	–	$U_1 = 8,3 \text{ В}$	25±10
Коэффициент подавления пульсаций, дБ	$K_{RR}$	60	–	$U_1 = 6,3 \text{ В}, I_0 = 1 \text{ А}$	25±10

Для испытаний микросхемы K1254ЕН3АП1 использовалась модель человеческого тела. Это наиболее широко используемая модель испытаний на устойчивость к электростатическому разряду (ЭСР). Она используется для описания чувствительности электронных элементов к повреждениям вследствие ЭСР. Электрическая принципиальная схема устройства для проведения испытаний полупроводниковых приборов приведена на рисунке 1. На схеме: G – регулируемый источник постоянного напряжения; V – испытуемый полупроводниковый прибор; R1 – резистор 100–200 МОм; R2 – резистор 1,5 кОм; C – конденсатор 100 пФ; S1, S2 – переключатели.

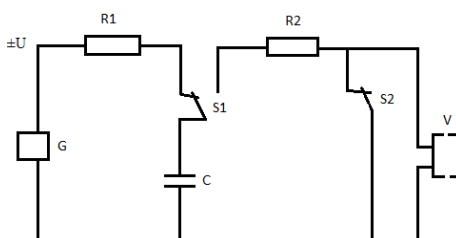


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная устройства для проведения испытаний полупроводниковых приборов на чувствительность к воздействию статического электричества

## Результаты и их обсуждение

В испытаниях на воздействие статического электричества было задействовано 15 микросхем. Выход годных микросхем при  $U = \pm 65$  В,  $U = \pm 150$  В,  $U = \pm 350$  В,  $U = \pm 750$  В и  $U = \pm 2500$  В составил 0 штук, при  $U = \pm 1500$  В – 6 штук. Экспериментально было установлено, что допустимое значение статического электричества для микросхемы К1254ЕНЗАП1 составило 2000 В. Максимальный ток нагрузки микросхем соответствует 1,0 А. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Принцип действия прецизионных стабилизаторов напряжения положительной полярности с низким остаточным напряжением и защитой от воздействия разряда статического электричества основан на использовании стабильного напряжения запрещенной (энергетической) зоны кремния. Структурная схема микросхемы представлена на рис. 2. Микросхема состоит из следующих компонентов: 1) источник опорного напряжения 1,25 В; 2) узел подгонки опорного напряжения (резисторы R9, R10, R11, R12); 3) узел масштабирования опорного напряжения (резисторы R23, R24); 4) усилитель ошибок; 5) мощный выходной транзистор VT27; 6) схема защиты выходного транзистора от тока короткого замыкания и от превышения предельных входных напряжений; 7) схема защиты микросхемы от перегрева (схема тепловой защиты); 8) генератор режимных токов микросхемы; 9) блоки защиты от статического электричества (БЗСЭ).

Таблица 2. Электрические параметры микросхемы К1254ЕНЗАП1

Наименование параметра	Тип микросхемы	Режим измерения	Норма параметра		Температура корпуса, °С
			Мин.	Макс.	
1	2	3	4	5	6
Выходное напряжение, В	К1254ЕНЗАП1 – 1,8	$U_I = 3,8$ В, $I_0 = 10$ мА	1,782	1,818	25±10
		$U_I = 3,3 \div 12$ В, $I_0 = 0 \div 1$ А	1,773	1,827	
		$U_I = 14,5$ В, $I_0 = 10$ мА			
	К1254ЕНЗАП1 – 2,5	$U_I = 3,3 \div 12$ В, $I_0 = 0 \div 1$ А	1,764	1,836	-10÷100
		$U_I = 4,5$ В, $I_0 = 10$ мА	2,475	2,525	25±10
		$U_I = 4,0 \div 12$ В, $I_0 = 0 \div 1$ А	2,463	2,537	
	$U_I = 14,5$ В, $I_0 = 10$ мА				
	К1254ЕНЗАП1 – 2,85	$U_I = 4,0 \div 12$ В, $I_0 = 0 \div 1$ А	2,450	2,550	-10÷100
		$U_I = 4,85$ В, $I_0 = 10$ мА	2,821	2,879	25±10
		$U_I = 4,4 \div 12$ В, $I_0 = 0 \div 1$ А	2,807	2,893	
	$U_I = 14,5$ В, $I_0 = 10$ мА				
	К1254ЕНЗАП1 – 3,3	$U_I = 4,4 \div 12$ В, $I_0 = 0 \div 1$ А	2,791	2,910	-10÷100
		$U_I = 5,3$ В, $I_0 = 10$ мА	3,267	3,333	25±10
		$U_I = 4,75 \div 12$ В, $I_0 = 0 \div 1$ А	3,250	3,350	
	$U_I = 14,5$ В, $I_0 = 10$ мА				
К1254ЕНЗАП1 – 5,0	$U_I = 4,75 \div 12$ В, $I_0 = 0 \div 1$ А	3,240	3,260	-10÷100	
	$U_I = 7,0$ В, $I_0 = 10$ мА	4,950	5,050	25±10	
	$U_I = 6,5 \div 12$ В, $I_0 = 0 \div 1$ А				
$U_I = 16,3$ В, $I_0 = 10$ мА					
Изменение выходного напряжения при изменении входного напряжения, мВ	К1254ЕНЗАП1 – 1,8	$U_I = 6,5 \div 12$ В, $I_0 = 0$ А	4,900	5,100	-10÷100
		$U_I = 4,900$ В, $I_0 = 0 \div 1$ А			
		$U_I = 3,3 \div 12$ В, $I_0 = 0$ А			
	К1254ЕНЗАП1 – 2,5	$U_I = 3,3 \div 12$ В, $I_0 = 0$ А	-	7,0	25±10
		$U_I = 3,8 \div 14,5$ В, $I_0 = 10$ мА			
		$U_I = 3,3 \div 12$ В, $I_0 = 0$ А	-	10	-10÷100
	К1254ЕНЗАП1 – 2,85	$U_I = 4,0 \div 12$ В, $I_0 = 0$ А	-	7,0	25±10
		$U_I = 4,5 \div 14,5$ В, $I_0 = 10$ мА			
		$U_I = 4,0 \div 12$ В, $I_0 = 0$ А	-	10	-10÷100
	К1254ЕНЗАП1 – 3,3	$U_I = 4,4 \div 12$ В, $I_0 = 0$ А	-	7,0	25±10
		$U_I = 4,85 \div 14,5$ В, $I_0 = 10$ мА			
		$U_I = 4,4 \div 12$ В, $I_0 = 0$ А	-	10	-10÷100
	К1254ЕНЗАП1 – 5,0	$U_I = 4,75 \div 12$ В, $I_0 = 0$ А	-	7,0	25±10
		$U_I = 5,3 \div 14,5$ В, $I_0 = 10$ мА			
		$U_I = 4,75 \div 12$ В, $I_0 = 0$ А	-	10	-10÷100
К1254ЕНЗАП1 – 5,0	$U_I = 6,5 \div 12$ В, $I_0 = 0$ А	-	7,0	25±10	
	$U_I = 7,0 \div 14,5$ В, $I_0 = 10$ мА				
	$U_I = 6,5 \div 12$ В, $I_0 = 0$ А	-	10	-10÷100	

Продолжение таблицы 2

Ток потребления, мА	K1254ЕН3АП1 – 1,8	$U_i = 6,8 \div 15 \text{ В}, I_0 = 0 \text{ А}$	–	10	$25 \pm 10$
	K1254ЕН3АП1 – 2,5	$U_i = 7,5 \div 15 \text{ В}, I_0 = 0 \text{ А}$	–	10	$25 \pm 10$
	K1254ЕН3АП1 – 2,85	$U_i = 7,85 \div 15 \text{ В}, I_0 = 0 \text{ А}$	–	10	$25 \pm 10$
	K1254ЕН3АП1 – 3,3	$U_i = 12,0 \div 15 \text{ В}, I_0 = 0 \text{ А}$	–	10	$25 \pm 10$
	K1254ЕН3АП1 – 5,0	$U_i = 12,0 \div 16,3 \text{ В}, I_0 = 0 \text{ А}$	–	10	$25 \pm 10$
Изменение выходного напряжения при изменении тока нагрузки, мВ	K1254ЕН3АП1 – 1,8	$U_i = 3,8 \text{ В}, I_0 = 0 \div 1 \text{ А}$	–	10	$25 \pm 10$
			–	20	$-10 \div 100$
	K1254ЕН3АП1 – 2,5	$U_i = 4,5 \text{ В}, I_0 = 0 \div 1 \text{ А}$	–	10	$25 \pm 10$
			–	20	$-10 \div 100$
	K1254ЕН3АП1 – 2,85	$U_i = 4,85 \text{ В}, I_0 = 0 \div 1 \text{ А}$	–	10	$25 \pm 10$
			–	20	$-10 \div 100$
	K1254ЕН3АП1 – 3,3	$U_i = 5,3 \text{ В}, I_0 = 0 \div 1 \text{ А}$	–	10	$25 \pm 10$
			–	20	$-10 \div 100$
	K1254ЕН3АП1 – 5,0	$U_i = 7,0 \text{ В}, I_0 = 0 \div 1 \text{ А}$	–	10	$25 \pm 10$
			–	20	$-10 \div 100$
Остаточное напряжение, В	K1254ЕН3АП1 – 1,8	$I_0 = 1,0 \text{ А}$	–	1,3	$25 \pm 10$
	K1254ЕН3АП1 – 2,5				
	K1254ЕН3АП1 – 2,85				
	K1254ЕН3АП1 – 3,3				
	K1254ЕН3АП1 – 5,0				
Максимальный выходной ток, А	K1254ЕН3АП1 – 1,8	$U_i = 6,8 \text{ В}$	1,0	–	$25 \pm 10$
	K1254ЕН3АП1 – 2,5	$U_i = 7,5 \text{ В}$			
	K1254ЕН3АП1 – 2,85	$U_i = 7,85 \text{ В}$			
	K1254ЕН3АП1 – 3,3	$U_i = 8,3 \text{ В}$			
	K1254ЕН3АП1 – 5,0	$U_i = 10,0 \text{ В}$			
Коэффициент подавления пульсаций, дБ	K1254ЕН3АП1 – 1,8	$U_i = 4,8 \text{ В}, I_0 = 1 \text{ А}$	60	–	$25 \pm 10$
	K1254ЕН3АП1 – 2,5	$U_i = 5,5 \text{ В}, I_0 = 1 \text{ А}$			
	K1254ЕН3АП1 – 2,85	$U_i = 5,85 \text{ В}, I_0 = 1 \text{ А}$			
	K1254ЕН3АП1 – 3,3	$U_i = 6,3 \text{ В}, I_0 = 1 \text{ А}$			

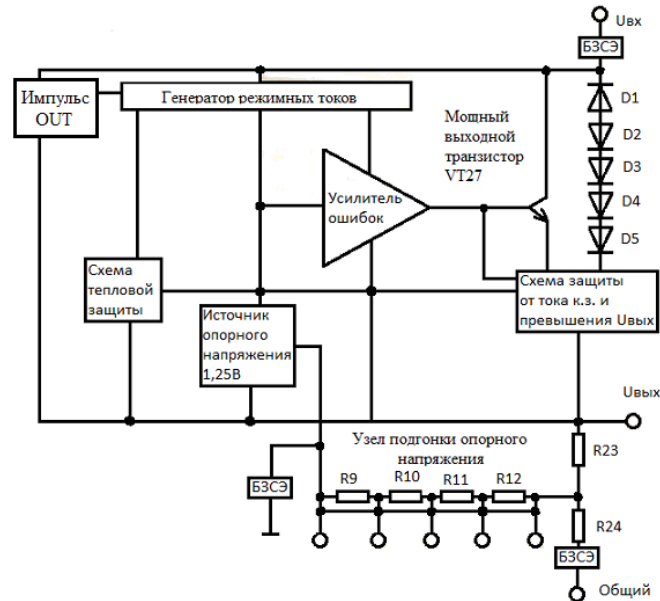


Рис. 2. Структурная схема микросхемы K1254ЕН3АП1

Для реализации источника опорного напряжения в микросхеме используется широко известная схема, работа которой основана на использовании напряжения, равного ширине запрещенной зоны кремния. Узел подгонки опорного напряжения обеспечивает устойчивость источника опорного напряжения к технологическим разбросам параметров элементной базы микросхемы. Масштабирование опорного напряжения для получения заданного ряда выходных напряжений осуществляется с помощью прецизионного делителя R23, R24 путем изменения сопротивления резистора R24. Усилитель ошибок представляет собой усилитель постоянного тока. Выходной транзистор VT27 спроектирован таким образом, чтобы были достигнуты требуемые параметры при максимально допустимых плотностях тока эмиттера и предельной

удельной мощности рассеивания, т.е. при минимальных геометрических размерах транзистора. Цепь защиты по мощности состоит из схемы защиты выходного транзистора от тока короткого замыкания и от превышения предельных входных напряжений, стабилитрона D1 и диодов D2, D3, D4, D5. Защита выходного транзистора осуществляется путем ограничения выходного тока микросхемы. Если температура кристалла повышается до 165–180 °С, то срабатывает схема защиты от перегрева, которая обесточивает источник опорного напряжения. Для минимизации влияния изменений входного напряжения и выходного тока на стабильность параметров микросхемы режимы работы основных узлов микросхемы задаются генератором стабильных режимных токов.

На рис. 3 условно показан блок защиты от статического электричества. Защита схемы от воздействия статического электричества реализована путем включения диодов D6, D7 и D8, сформированных включением мощных горизонтальных *p-n-p* транзисторов в диодный режим, в цепи питания, земли, а также проходной емкости C2 (рис. 3). В случае попадания на любой из выводов разряда статического электричества величиной, превышающей напряжение пробоя коллектор-эмиттер *p-n-p* транзистора, последний открывается и импульс статического электричества «сбрасывается» на землю, что предотвращает его воздействие на саму схему K1254ЕН3АП1.

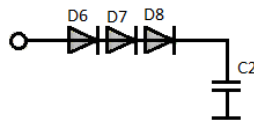


Рис. 3. Схема электрическая принципиальная блока защиты от статического электричества

### Заключение

По результатам проведенных исследований разработана конструкция и технология прецизионных стабилизаторов напряжения положительной полярности с низким остаточным напряжением и защитой от воздействия разрядов статического электричества. Разработаны несколько конструктивных вариантов приборов:

- в корпусе КТ-28 с выходными напряжениями 1,25, 1,8, 2,5, 2,85, 3,3 и 5,0 В;
- в корпусе КТ-27 с выходными напряжениями 1,25, 1,8, 2,5, 2,85, 3,3 и 5,0 В;
- в корпусе КТ-89 с выходными напряжениями 1,25, 1,8, 2,5, 2,85, 3,3 и 5,0 В;
- бескорпусные приборы с выходными напряжениями 1,25, 1,8, 2,5, 2,85, 3,3 и 5,0 В.

## PRECISION VOLTAGE STABILIZERS OF POSITIVE POLARITY WITH THE LOW RESIDUAL VOLTAGE AND PROTECTING FROM ELECTROSTATIC DISCHARGE

Y.N. KRYVASHEYA

### Abstract

Results of research and design of precision voltage stabilizers of positive polarity with low value of power failure and protecting from electrostatic discharge (K1254EN3AP1) with output voltage of 1,8 V, 2,5 V, 2,85 V, 3,3 V and 5 V, given in plastic cases КТ-28 (ТО-220), КТ-27 (ТО-126, КТ-89 (D-PAK) are reduced.

### Список литературы

1. Горлов М.И. // Природа. 2006. № 12. С. 27–36.
2. Stephen G. Beebe. Characterization, modeling, and design of ESD protection circuits. California, 1998.