

# Радиационная устойчивость оптронов компании Avago Technologies

**В настоящем указании по применению рассматривается устойчивость оптронов компании Avago Technologies к воздействию сильной радиации — например, при применении в военной и космической отраслях. Стандарт MIL-HDBK-279 гласит: «Устройства оптической развязки (то есть оптроны) представляют собой сочетание арсенид-галлиевого светодиода и фотодиода или фототранзистора. Устройства развязки на базе фототранзисторов более чувствительны к радиации, чем соответствующие устройства на базе фотодиодов» [1].**

**В оптронах Avago Technologies используются фотодиоды, в то время как во многих оптронах других производителей используются фототранзисторы. Несколько оптронов производства Avago были подвергнуты воздействию интенсивного нейтронного и гамма-излучения. Представленные ниже результаты этих испытаний показывают, что оптроны Avago Technologies относительно устойчивы к высоким уровням радиации и, таким образом, хорошо подходят для применения в областях, где требуется радиационная стойкость.**

Анна БУДАНОВА  
anna.budanova@ebv.com

## Основные сведения о радиации

Характеристики оптрона, как и любого полупроводникового электронного устройства, под воздействием радиации ухудшаются. Степень такого ухудшения зависит от типа излучения, уровня и длительности воздействия.

### Типы радиации: потоки элементарных частиц и фотонов

Существует два основных типа радиации: это потоки элементарных частиц и потоки фотонов. Элементарные частицы (нейтроны, протоны и электроны) имеют массу, энергию и иногда заряд. Фотоны (гамма- и рентгеновские) представляют густки электромагнитной энергии, не имеющие массы и заряда. В случае элементарных частиц мерой радиации является интегральный поток, или флюенс (число частиц на единицу площади), а в случае потока фотонов — суммарная доза излучения (в радах [Si]) и мощность дозы излучения (в радах [Si]/с). Один рад — это поглощенная доза излучения, приводящая к высвобождению 100 эрг энергии на один грамм поглощающего материала, в данном случае кремния (Si).

### Радиационные среды: космическая и военная отрасли

Как правило, в радиационной среде присутствуют и элементарные частицы, и фотоны. Естественная космическая радиация

содержит гамма-лучи высоких энергий, протоны и электроны Ван Аллена, которые в совокупности с течением времени дают значительную суммарную дозу излучения. Максимальные значения интегрального потока составляют  $10^4$  протонов/см<sup>2</sup> (эквивалентная мощность дозы излучения 3 рад/час) и  $10^{10}$  электронов/см<sup>2</sup> (эквивалентная мощность дозы излучения 100 рад/час) [2]. Для сравнения: время жизни радиационной среды, сформированной ядерным взрывом (военная отрасль), составляет менее одной микросекунды. Эта среда характеризуется огромными значениями интегрального потока нейтронного излучения ( $10^{12}$  нейтронов/см<sup>2</sup>) и мощностями дозы гамма-излучения порядка  $10^9$  рад [Si]/с [3].

### Ущерб от воздействия радиации: смещение атомов и ионизация

Способность радиации проникать в материю и вызывать повреждения зависит от массы, энергии и заряда соответствующих частиц. Нейтроны и протоны имеют большую массу, чем электроны, и поэтому наносят больший ущерб. Облучение происходит в широком спектре (рис. 1), но значимый ущерб наносят элементарные частицы и фотоны с энергией 0,1 МэВ и выше. Заряженные частицы (протоны, электроны) имеют гораздо меньшую глубину проникновения, чем нейтроны и гамма-лучи той же энергии. Нейтронное излучение ответственно

в основном за необратимое смещение атомов в полупроводниках, а ионизация обусловлена главным образом гамма-излучением.

Нейтроны высоких энергий, ударяясь об атомы, смещают их из естественного положения в кристаллической решетке, что приводит к появлению вакансий и междоузельных атомов. Эти дефекты эквивалентны наличию примесей в полупроводниках; у них имеются энергетические уровни в запрещенной зоне, которые могут играть роль рекомбинационных центров [4]. Соответственно, время жизни носителей заряда сокращается и эффективное удельное сопротивление материала возрастает. В совокупности эти эффекты вызывают необратимое ухудшение характеристик устройства. Воздействие на оптрон нейтронного излучения с интегральным потоком свыше  $10^{12}$  нейтронов/см<sup>2</sup> приводит к снижению яркости светодиода, коэффициента пропускания оптического канала, КПД фотодиода и коэффициента усиления транзистора [6].

Гамма-лучи высоких энергий сообщают энергию электронам и дыркам в кристаллической решетке, возбуждая их до неравновесных (ионизированных) состояний. Под действием излучения в обедненных областях обратносмещенных *p-n*-переходов возникают броски фототока. Эти броски зависят от мощности дозы излучения и могут приводить к ошибочному переключению выхода с высокого уровня («выключено») на низкий («включено»). При мощности дозы свыше  $10^9$  рад (Si)/с выра-

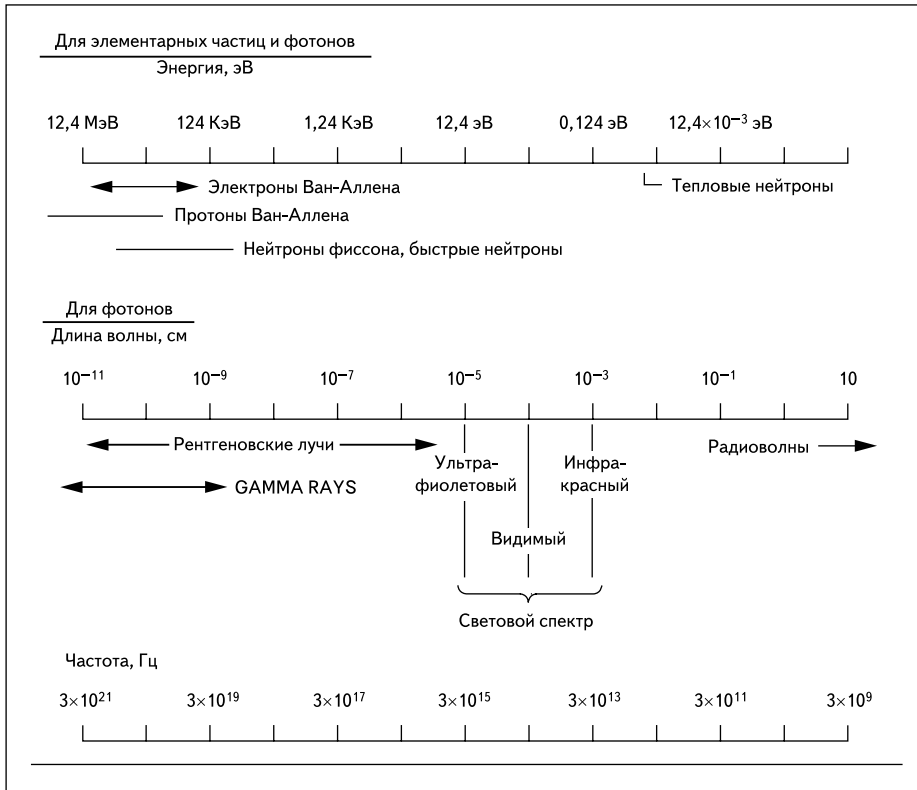


Рис. 1. Номограмма спектра излучения

бываются фототоки в диапазоне 1–1000 мА, которые могут вызывать эффект защелкивания и выгорание устройства. При любых мощностях дозы накопленная суммарная доза излучения приводит к заметному (но не необратимому) ухудшению характеристик. При величине суммарной дозы излучения порядка  $10^4$  рад (Si) характеристики оптрона могут ухудшиться за счет роста токов утечки [6].

**Отклик оптрона на воздействие радиации**

За последнее десятилетие ряд оптронов компании Avago Technologies был подвергнут

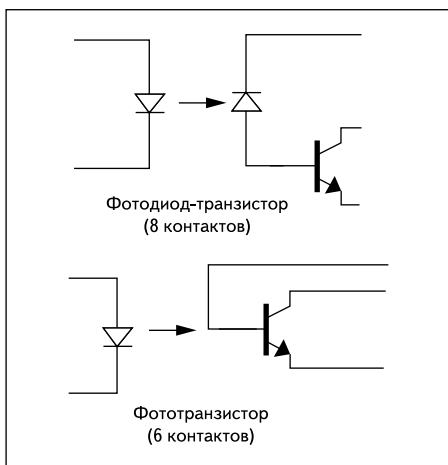


Рис. 2. Схемы оптронов на базе фотодиода и фототранзистора

радиационным испытаниям в широком диапазоне условий. Во всех случаях основной вывод состоял в том, что конструкция фотоэлектрических интегральных схем Avago Technologies обеспечивает повышенную устойчивость к высоким уровням радиации.

На рис. 2 показаны различия между оптронами на базе фотодиода и фототранзистора. В первом случае функции оптического детектирования и усиления разнесены и выполняются отдельными фотодиодом и транзистором. Такая конструкция позволяет использовать меньшую глубину диффузии и меньшую площадь базы транзистора. В оптронах на базе фототранзисторов площадь базы делается как можно большей для улучшения оптической связи. Такая схема делает оптрон уязвимым для радиации. При одном и том же уровне радиации устройство с меньшей площадью пораженной области пострадает в меньшей степени и, следовательно, будет функционировать лучше [7].

Удобной количественной мерой качества оптрона является коэффициент усиления по току. Он определяется как отношение выходного тока коллектора ( $I_O$ ) к входному прямому току светодиода ( $I_F$ ), выраженное в процентах. Эта общая передаточная характеристика дает нам усиление устройства во включенном состоянии. Рассмотрим снижение коэффициента усиления по току, выраженное в виде разности между конечным и начальным значениями этого параметра, деленной на его начальное значение. Герметичные оптроны компании Avago

Technologies не демонстрируют снижения коэффициента усиления по току, существенно ухудшающего функционирование устройства, под действием следующих уровней радиации [8]:

1. **6N134** (двухканальный оптрон с логическим выходом, тип. коэффициент усиления по току 400%,  $I_F = 10$  мА)
  - Суммарная доза гамма-излучения:  $3,0 \times 10^3$  рад (Si) (+)
  - Интегральный поток нейтронного излучения:  $4,0 \times 10^{12}$  нейтронов/см<sup>2</sup> (+)
2. **6N140** (четырёхканальный оптрон с выходными каскадами по схеме Дарлингтона, мин. коэффициент усиления по току 300%,  $I_F = 0,5$  мА)
  - Суммарная доза гамма-излучения:  $3,5 \times 10^3$  рад (Si)
  - Интегральный поток нейтронного излучения:  $4,0 \times 10^{12}$  нейтронов/см<sup>2</sup> (\*)
3. **4N55** (двухканальный оптрон с однотранзисторными выходными каскадами, мин. коэффициент усиления по току 9%,  $I_F = 16$  мА)
  - Суммарная доза гамма-излучения:  $3,0 \times 10^3$  рад (Si) (+)
  - Интегральный поток нейтронного излучения:  $4,0 \times 10^{12}$  нейтронов/см<sup>2</sup> (\*)

Все результаты были получены при минимальном рекомендуемом входном прямом токе светодиода ( $I_F$ ). Устройства подвергались воздействию гамма- и нейтронного излучения с тремя последовательно растущими значениями мощности дозы и интегрального потока нейтронов. Наивысшая мощность дозы составляла  $4,0 \times 10^9$  рад (Si)/с для 6N134 и 4N55 и  $2,0 \times 10^{10}$  рад (Si)/с для 6N140. Звездочкой (\*) обозначен наблюдаемый верхний предел радиационной устойчивости оптрона, определенный как уровень радиации, выше которого надежная работа устройства маловероятна. Знак «плюс» (+) показывает, что указанный уровень был получен путем экстраполяции тренда линейного ухудшения характеристик до предела радиационной устойчивости. Уменьшение суммарной дозы зависит от мощности дозы, поэтому при меньших значениях мощности дозы (например, в космических приложениях) предельная суммарная доза гамма-излучения будет выше.

На рис. 3 и 4 приведены радиационные характеристики оптронов 6N140 и 4N55. Как и ожидалось, нейтронное излучение вызывает более серьезные и необратимые повреждения, чем гамма-излучение. При повышении уровня радиации характеристики устройства ухудшаются. При одном и том же уровне радиации снижение коэффициента усиления по току более выражено при меньших значениях входного тока ( $I_F$ ).

Эти данные укрепляют нашу уверенность в конструкции оптронов Avago Technologies как изначально более совершенной в части радиационной устойчивости. Благодаря

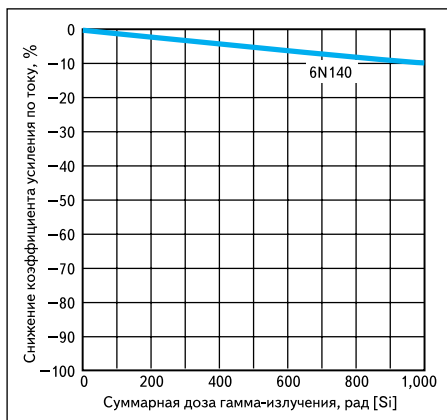


Рис. 3. Отклик оптрона Avago Technologies на гамма-излучение

меньшей глубине диффузии базы фотодиода и транзистора по сравнению с оптронами на базе фототранзисторов в устройствах Avago Technologies сводится к минимуму объем, уязвимый к поражающему действию радиации.

В таблице приведены установленные правительством США уровни гаранти-

Военные документы, касающиеся радиационных испытаний и классификации устройств по радиационной стойкости:

1. MIL-STD-883 C, "Test Methods and Procedures for Microelectronics", 25 Aug. 1983. Group E: Radiation Hardness Assurance Tests Method 1017.2, Neutron Irradiation Method 1019.2, Steady State Total Dose Procedure
2. MIL-HDBK-280, "Neutron Hardness Assurance Guidelines for Semiconductor Devices and Microcircuits", 1984.
3. MIL-HDBK-279, "Total-Dose Hardness Assurance Guidelines for Semiconductor Devices and Microcircuits", 1984.
4. MIL-M-38510 F, "Military Specification Microcircuits, General Specification for", 31 Oct. 1983.

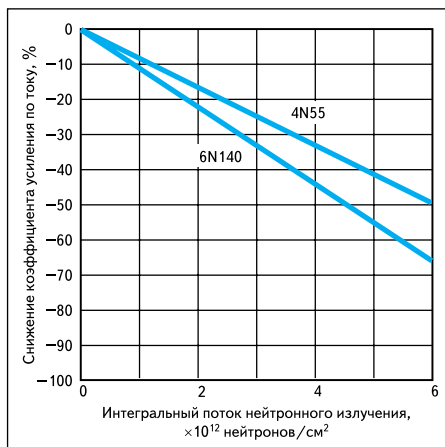


Рис. 4. Отклик оптрона Avago Technologies на нейтронное излучение

рованной радиационной стойкости (RHA, radiation hardness assurance) для микросистемных устройств, отнесенных к классам Class B (военное назначение) и S (космическое назначение) по классификации JAN [9]. Уровни M и D действуют в общем случае для военных компонентов, а уровни R и H важны для устройств, используемых в космосе. Представленные данные по радиационной устойчивости позволяют сделать вывод о том, что герметичные оптроны Avago Technologies сохраняют адекватные рабочие характеристики под действием нейтронного излучения со значениями интегрального потока вплоть до указанных уровней гаранти-

Таблица. Уровни гарантированной радиационной стойкости (RHA)

Обозначение уровня RHA	Суммарная доза радиации, рад	Интегральный поток нейтронного излучения, нейтронов/см <sup>2</sup>
—	Уровень RHA не определен	Уровень RHA не определен
M	3000	2×10 <sup>12</sup>
D	10 <sup>4</sup>	2×10 <sup>12</sup>
R	10 <sup>6</sup>	1×10 <sup>12</sup>
H	10 <sup>8</sup>	1×10 <sup>12</sup>

рованной радиационной стойкости и даже выше. Устойчивость к жесткому нейтронному излучению дает нам основания ожидать, что эти устройства будут соответствовать установленным уровням гарантированной радиационной стойкости и по суммарной дозе излучения. Как гласит стандарт MIL-HDBK-279, «вообще говоря, характеристики устройств оптической развязки находятся в заявленных производителем пределах при суммарных дозах излучения до 10<sup>6</sup> рад» [10].

## Выводы

Оптроны компании Avago Technologies обеспечивают превосходную устойчивость к воздействию разнообразных сред с высокими уровнями радиации. Представленные оптроны могут применяться в военной и космической отраслях, где желательна радиационная стойкость.

## Литература

1. MIL-HDBK-279, 1984.
2. Myers David K. Space and Nuclear Environments and Their Effects on Semiconductors // Electronic Engineer. Sept., 1967.
3. Rose Marion. Nuclear Hardening of Weapons Systems (Parts I, II and III) // Defense Electronics. Sept., Oct., Nov., 1979.
4. Grove Andrew S. Physics and Technology of Semiconductor Devices // Wiley. 1967.
5. Tirado Joseph. Rad-Tolerant ICs Are Available Off The Shelf // Defense Electronics. Dec, 1984.
6. Soda K. J., Barnes C. E., Kiehl R. A. The Effect of Gamma Irradiation on Optical Isolators // IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. NS-22, No. 6, Dec, 1975.
7. Epstein A. S., Trimmer P. A. Radiation Damage and Annealing Effects in Photon Coupled Isolators // IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. NS-19.
8. Radiation data courtesy of the Nuclear Effects Weapons Laboratory, White Sands Missile Range, White Sands, New Mexico.
9. MIL-M-38510F.