

УДК 621.391.1

DOI 10.22213/2413-1172-2018-1-71-73

**А. И. Нистюк**, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова  
**Н. А. Деришева**, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ РАБОТЫ В ТЯЖЕЛЫХ УСЛОВИЯХ

Современный этап развития радиоэлектроники характеризуется обострением проблемы надежности вследствие усложнения условий работы электронных средств. Круг условий эксплуатации постоянно расширяется, что приводит к ужесточению требований к средствам сбора, хранения и передачи информации.

Так, например, электронная аппаратура, установленная на борту ракет-носителей и космических аппаратов, работает в диапазоне температур  $-70...+125$  °С, в вакууме до  $10^{-7}$  мм рт. ст., при влажности 98-100 %, вибрации, линейных ускорениях до 20000 g, акустических шумах до 165 дБ, подвергается многократным ударам, солнечной и космической радиации [1].

Другая проблема радиоэлектроники заключается в энергопотреблении. Как правило, устройства, работающие в жестких условиях, лишены долговременных источников питания. Если брать спускаемые на поверхность планет аппараты, то условия эксплуатации становятся еще жестче. Например, средняя температура на поверхности Венеры около 467 °С, что выше температуры плавления олова, свинца и цинка, а атмосферное давление равно давлению под водой на глубине около 910 м.

Облака Венеры состоят из сернистого газа и капель серной кислоты и прозрачны лишь в радио- и микроволновом диапазоне, а также в отдельных участках ближней инфракрасной области. Была замечена прозрачность атмосферы на волнах длиной 1,02, 1,1 и 1,18 мкм [2].

На рис. 1 изображена диаграмма распределения отказов электронной аппаратуры от внешних факторов. В порядке убывания показаны доли отказов от температуры, влажности и вибрации [3]. Такие методы повышения надежности, как снижение нагрузки и щадящий режим, не эффективны при высоких температурах [4].

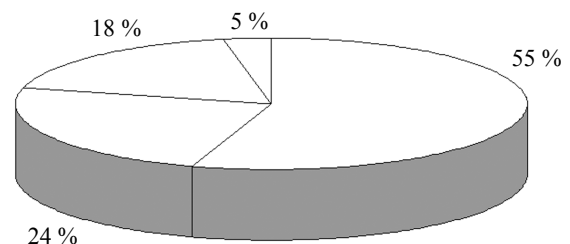


Рис. 1. Распределение долей отказов электронной аппаратуры от температуры, влажности и вибрации

Одним из перспективных направлений развития телекоммуникационных устройств является разработка элементной базы, способной работать в жестких условиях и основанной на применении высокотемпературных материалов на основе кремния и керамики с использованием механики.

Таковыми устройствами могут быть механические элементы на основе кремния. Например, карбидокремниевые наномеханические переключатели работают при сверхвысоких температурах и выдерживают миллионы циклов [5]. Переключатели построены на основе наноэлектромеханической системы (НЭМС).

По технологии НЭМС построены и ячейки памяти. Одиночная ячейка памяти состоит из струны нанометровых размеров (используется НЭМС и микроэлектронные механические технологии в качестве основного производственного инструмента), и при воздействии на ее концы высокочастотного напряжения (с частотой в несколько мегагерц) изгибается. При определенной амплитуде напряжения струна принимает одно из конечных состояний («1» или «0»), что необходимо для хранения информации.

Размеры подобных устройств, измеряемые микронами, позволяют достичь высокочастотных колебаний подвижного элемента конструк-

ции десятков мегагерц и потребления энергии в несколько фемтоватт [6].

Предлагается система передачи информации, основанная на модуляции отраженного сигнала (рис. 2). Система состоит из аппарата 5 с приемной и излучающей антенной, аппарата 1 с модулятором в виде уголкового отражателя.



Рис. 2. Система передачи информации: 1 – уголкового отражателя с модулятором; 2 – отраженный сигнал; 3 – среда передачи сигнала; 4 – несущее излучение; 5 – аппарат, собирающий информацию

Система работает следующим образом. Аппарат 1 работает в жестких условиях при дефиците энергии. Аппарат автономно собирает и готов к передаче информации во время сеанса связи. Во время сеанса аппарат 5 излучает электромагнитный сигнал постоянной частоты. Сигнал, достигнув уголкового отражателя на аппарате 1, модулируется зеркалами отражателя и возвращается обратно на аппарат 5, где информация подвергается обработке известными методами.

Рассмотрим уголкового отражателя с модулятором. Уголкового отражателя (рис. 3) состоит из собственно отражателя 1 и модулирующих отражателей 2. Модулирующих отражателей может быть несколько, как на рисунке.

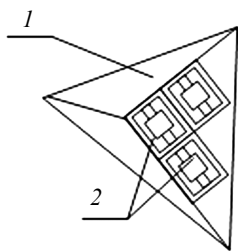


Рис. 3. Уголкового отражателя с модуляторами электромагнитного потока: 1 – уголкового отражателя; 2 – модулирующих отражателя

В этом случае информацию можно передавать сочетанием нескольких модулирующих частот. В микро- и наноисполнении уголкового отражателя образуют поверхность (рис. 4), достаточную для уверенного отражения падающей энергии, поток которой модулирован полезной информацией.

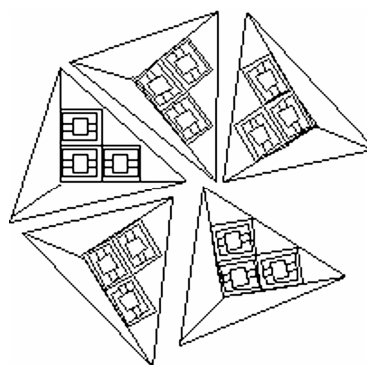


Рис. 4. Поверхность, образованная уголкового микроотражателями

Для проектирования многомассовых резонансных механизмов, обладающих еще меньшим потреблением энергии, можно применять методики, изложенные в работах [7–9]. Оценку эффективности модуляции многочастотного сигнала можно проводить по модифицированной методике, изложенной в работе [10].

В качестве вывода можно отметить, что развитие информационных технологий с применением элементной базы на основе механических устройств является перспективным направлением, а предложенная система передачи информации на основе микроуголкового отражателя с механическими модуляторами отражающей поверхности обладает малым энергопотреблением и способна работать в жестких условиях.

#### Библиографические ссылки

1. Тюлевин С. В. Анализ отказов элементов бортовых радиоэлектронных средств. URL: <http://www.sworld.com.ua/simpoz8/80.pdf> (дата обращения: 26.10.2017).
2. Shalygin E. Study of the Venus surface and lower atmosphere using VMC images. Berlin, 2013. P. 9.
3. Технологии поверхностного монтажа. URL: <http://smt.miem.edu.ru> (дата обращения: 26.10.2017).
4. Лакиминарайянан В. Методы повышения надежности электронных систем. URL: [http://www.chipnews.ru/html.cgi/arhiv/00\\_08/stat\\_46.htm](http://www.chipnews.ru/html.cgi/arhiv/00_08/stat_46.htm) (дата обращения: 26.10.2017).
5. Карбидокремниевые наномеханические переключатели долговечны. URL: <http://www.tdmegalit.ru/news/world/23551/> (дата обращения: 26.10.2017)
6. Новости нанотехнологий. URL: <http://www.microsystems.ru/files/publ/838.htm> (дата обращения: 26.10.2017)
7. Nistyuk A. I., Danilov M. V., Sivtsev N. S., Kugultinov S. D. (2016). Method for direct identification of optimum modal values of dynamical systems. *Vibroengineering PROCEDIA*, vol. 8, pp. 256-263.
8. Нистюк А. И. Синтез лентопротяжных механизмов по частотным спектрам как диссипативных колебательных систем : дис. ... канд. техн. наук. Ижевск : ИжГТУ, 1983. 225 с.

9. Nistyuk A. I., Lyalin V. E., Danilov M. V., Mikhailov Y. O. (2016). Diacoptical analysis algorithms of topological site models of information backup and storage carrier. *Vibroengineering PROCEDIA*, vol. 8, pp. 470-477.

10. Бабинцев Е. С., Копысов А. Н. Расчет распознаваемости многочастотного широкополосного сигнала // Приборостроение в XXI веке. Интеграция науки, образования производства : Труды III Научно-практической конференции. Ижевск : Изд-во ИЖГТУ, 2007. С. 360–364.

### References

1. Tyulevin S. V. (2017). *Analiz otkazov elementov bortovykh radioelektronnykh sredstv* [Analysis of failures of elements of onboard radioelectronic facilities], available at <http://www.sworld.com.ua/simpoz8/80.pdf> (accessed November 26, 2017) (in Russ.).

2. Shalygin E. (2013). Study of the Venus surface and lower atmosphere using VMC images. Berlin. P. 9.

3. *Tekhnologii poverkhnostnogo montazha* [Surface mount technology], available at <http://smt.miem.edu.ru> (accessed November 26, 2017) (in Russ.).

4. Lakshminarayanan V. *Metody povysheniya nadezhnosti elektronnykh sistem* [Methods of improving the reliability of electronic systems], available at [http://www.chipnews.ru/html.cgi/arhiv/00\\_08/stat\\_46.htm](http://www.chipnews.ru/html.cgi/arhiv/00_08/stat_46.htm) (accessed November 26, 2017) (in Russ.).

5. *Karbidokremnievye nanomekhanicheskie pereklyuchateli dolgovechny* [Silicon carbide nanomechanical switches durable], available at <http://www.tdmegalit.ru/news/world/23551/> (accessed November 26, 2017) (in Russ.).

6. *Novosti nanotekhnologii* [Nanotechnology news], available at <http://www.microsystems.ru/files/publ/838.htm> (accessed November 26, 2017) (in Russ.).

7. Nistyuk A. I., Danilov M. V., Sivtsev N. S., Kugultinov S. D. (2016). *Method for direct identification of optimum modal values of dynamical systems*. *Vibroengineering PROCEDIA*, vol. 8, pp. 256-263.

8. Nistyuk A. I. (1983). *Sintez lentoprotyazhnykh mekhanizmov po chastotnym spektram kak dissipativnykh kolebatel'nykh sistem* [Synthesis of tape drive mechanisms in the frequency spectra as a dissipative vibrating systems]; PhD thesis. Izhevsk (in Russ.).

9. Nistyuk A. I., Lyalin V. E., Danilov M. V., Mikhailov Y. O. (2016). *Vibroengineering PROCEDIA*, vol. 8, pp. 470-477.

10. Babintsev E. S., Kopysov A. N. (2007). *Raschet raspoznavaemosti mnogochastotnogo shirokopolosnogo signala* [The calculation of the recognition of the multi-frequency broadband signal of the III scientific-practical conference]. *Proceedings of the Priborostroenie v XXI veke. Integratsiya nauki, obrazovaniya proizvodstva*. Izhevsk, pp. 360-364 (in Russ.).

Получено 11.12.2017