

Учет целостности сигнала при проектировании радиочастотных элементов на примере
гибкой планарной антенны

А.Г. Тимошенко¹, К.М. Ломовская¹

¹Национальный исследовательский университет «МИЭТ»

Интегральные модули приемопередатчиков существуют во враждебной помеховой обстановке, создаваемой не только шумами в канале системы связи, но и собственными шумами устройства, вызванными нелинейностью его блоков, взаимной интерференцией и несовершенством технологий изготовления и корпусирования. Проектирование с обеспечением целостности сигнала позволяет учитывать влияние различных по характеристикам частей интегрального приемопередатчика друг на друга; влияние элементов трассировки, межкристальных и внутрикристальных соединений, внешних корпусных элементов, частей корпуса на аналоговую и РЧ часть. Одной из причин искажения формы сигнала и утраты целостности являются обратные потери, обусловленные отражением сигнала из-за рассогласования импедансов. Для их компенсации может использоваться цепь согласования с переменными параметрами, управляемая анализатором рассогласования предыдущего каскада интегрального модуля.

Последние достижения в области разработки материалов для гибких электронных схем и элементов питания позволили говорить о создании полноценных коммерциализуемых гибких электронных систем [1]. Неотъемлемой составной частью таких систем являются антенны, характеристики которых сильно обусловлены как свойствами используемого материала гибкой подложки, как показано в Таблице 1, так и прилагаемым механическим воздействием, меняющим характеристики антенны. Наиболее заметным влиянием на характеристики обладают обратные потери, создаваемые физической деформацией системы, на границе интерфейсов антенны и РЧ части приемопередатчика из-за меняющегося эквивалентного импеданса деформированной антенны

Полиимид подходит для изготовления как гибких печатных плат, так и гибких антенн по многим параметрам. Он обеспечивает хороший баланс физических, химических и электрических свойств, с низким коэффициентом потерь в довольно широком диапазоне частот. Кроме того, полиимид предлагает очень низкий профиль ($\approx 50,8$ мкм), с высокой степенью надежности при растяжении, хорошей диэлектрической проницаемостью.

Большинство проблем при проектировании приемопередатчиков для гибких антенн связано с деградацией характеристик антенны при ее физическом деформировании, что может включать в себя любые изменения положения, геометрической конфигурации антенны

из-за сгибания, сминания, вращения и т.д. Проблема выбора оптимальной конфигурации антенны и типа антенны с точки зрения обеспечения максимальной эффективности в рамках используемых методов измерения более подробно описаны в [8], включая предложенный метод измерения КСВН. Проблема выбора элементной базы для контроля диаграммы направленности гибкой антенны более подробно описаны в [9], включая преимущества и особенности выбранных нитрид галлиевых (GaN) усилителей мощности и транзисторов в переключающей матрице для гибкой антенны, состоящей из отдельных патчей.

Таблица 1 Сравнение параметров различных типов гибких антенн

Параметр	На основе полиимида [3]	На тканевой основе [4]	На бумажной основе [5]	С жидким металлом [6]	Пластик, покрытый Si ₃ N ₄ [7]
Размеры, мм	38 × 27	180 × 150	46 × 35	65 × 10	39 × 25
Толщина, мм	0,05	4	0,25	1	0,13
Полоса частот, ГГц	Одна/ 2,45	Две/2,2; 3	Одна/2,4	Вариативная	Одна/7,6
Подложка	Полиимид $\epsilon_r=3,4$	Войлочная ткань $\epsilon_r=1,5$	Бумага $\epsilon_r = 3,4$	ПДМС $\epsilon_r = 2,67$	Тонкий пластик $\epsilon_r=3,2$
Диэлектрические потери	Низкие потери $\tan\delta= 0,002$	Низкие потери $\tan\delta= 0,02$	Средние потери $\tan\delta= 0,065$	Высокие потери $\tan\delta= 0,37$	Низкие потери $\tan\delta= 0,015$
Сила натяжения	165 МПа	2,7 МПа	30 МПа	3,9 МПа	74 МПа
Предел прочности при изгибе	Высокий (345 МПа)	Низкий (61 МПа)	Низкий(50 МПа)	Низкий (4 МПа)	Высокий (94 МПа)
Деформируемость	Низкая	Высокая	Высокая	Высокая	Низкая

Для исследования методов обеспечения целостности сигнала для гибких антенн при деформации был изготовлен прототип ММО антенны с микрополосковыми отражателями со следующими параметрами: размеры единичного патча 19 × 15,6 мм; размеры подложки 100 × 100 мм; материал подложки – полиимид, с диэлектрической проницаемостью 3,3; тангенсом угла диэлектрических потерь 0,002; толщиной 0,635 мм; рабочей частотой 5,33 ГГц. Были проведены измерения коэффициента усиления, рабочей частоты, диаграммы направленности антенны-прототипа, и по ним скорректированы параметры модели антенны, использующейся для проведения ЭМ полупериодного моделирования.

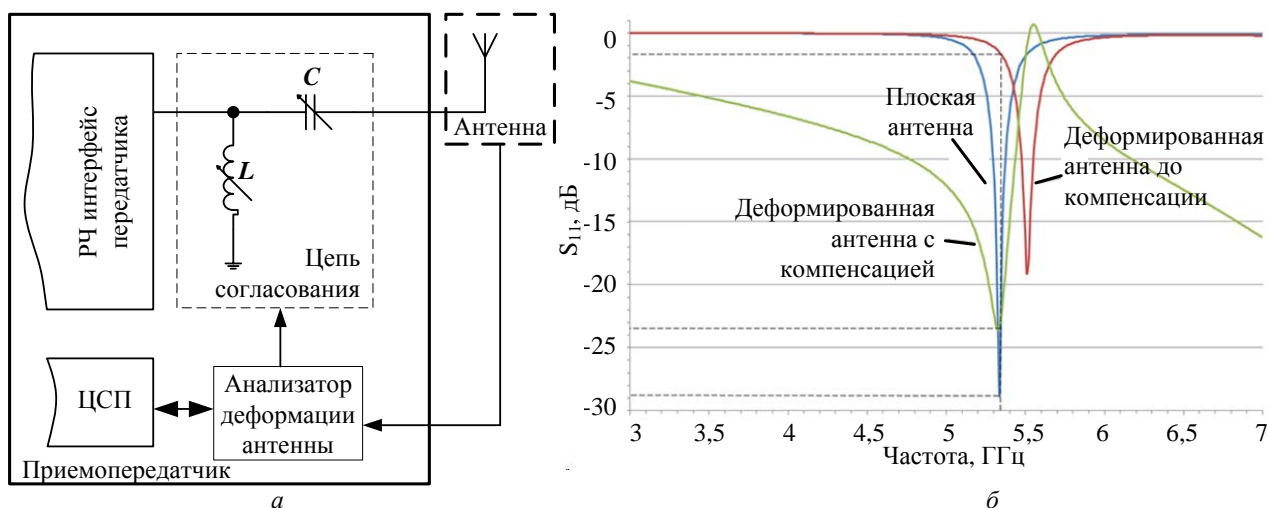


Рис. 1. Компенсация влияния механических деформаций на гибкую антенну: схема цепи согласования (а); обратные потери планарной гибкой антенны (б)

Проведенные исследования показывают значительное увеличение возвратных потерь антенны, S_{11} : от $-29,1$ дБ для плоской антенны до $-1,5$ дБ для деформированной антенны, что является неприемлемым для приемопередатчиков на используемых рабочих частотах.

Для компенсации обратных потерь было решено использовать согласующую LC -цепь с контролируемыми параметрами (полная схема изображена на рис. 1а), которая позволяет изменить полный эквивалентный импеданс гибкой антенны-прототипа, равный $(0,1639 + 0,9968j)$ Ом, показатель добротности антенны – $Q = 2,27$. Для допустимых радиусов изгиба антенны диапазоны изменения элементов согласующей цепи вычислены равными: $L = 0,3 \div 0,8$ нГн; $C = 0,37 \div 0,58$ пФ, так как используется схема на переключаемых конденсаторах для простоты интегрального изготовления, соответствующие номиналы равны $C_1 = 0,93 \div 1,03$ пФ; $C_2 = 0,88 \div 3,04$ пФ. Таким образом, удалось вернуть значение обратных потерь на уровень $-23,6$ дБ, как показано на рис. 1б, что составляет более 80 % от начального значения. Используемый метод компенсации обратных потерь также может применяться для МИС различного назначения, например, элементов приемопередатчиков на основе GaN.

Данная работа была проведена при поддержке Министерства Образования и Науки Российской Федерации (Грант №. 14.Y30.14.5369-МК ID МК-5369.2014.9).

Литература

1. Hyunhyub K., Kapadia R., Takei K., Takahashi T., Xiaobo Z., Javey A. Multifunctional, flexible electronic systems based on engineered nanostructured materials. // IOP Publishing, Nanotechnology. – 2012. – № 23. – pp. 1–11.
2. Wong W. S., Salleo A. Flexible Electronics: Materials and Applications // Springer

Science & Business Media. – 2009. – p. 462.

3. *Khalell H.R., Al-Rizzo H.M., Abbosh A.I.* Design, Fabrication, and Testing of Flexible Antennas // *Adv. in Microstrip Antennas with Recent Applications.* – 2013. – pp. 363-383.

4. *Salonen P., Jaehoon K., Rahmat-Samii Y.* Dual-band E-shaped patch wearable textile antenna // *IEEE Antennas and Propagation Society Symposium*, 1. – 2004. – pp. 466–469.

5. *Anagnostou D.E., Gheethan A.A., Amert A.K., Whites, K.W.* A Direct-Write Printed Antenna on Paper-Based Organic Substrate for Flexible Displays and WLAN Applications // *Display Technology, Journal of*, 6(11) – 2010. – pp. 558–564.

6. *So J., Thelen J., Qusba A., Hayes G.J., Lazzi G., Dickey M.D.* Reversibly deformable and mechanically tunable fluidic antennas // *Adv. Functional Mat.*, vol. 19, no. 22. – 2009. – pp. 3632–3637.

7. *Durgun A.C., Reese M.S., Balanis C.A., Birtcher C.R., Allee D.R., Venugopal S.* Flexible bow-tie antennas // *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI)*, 1 – 2010. – pp. 1–4.

8. *Timoshenko A., Lomovskaya K.* On Possible Application Areas and Layout Configurations of Flexible Antennas // *6th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT).* – 2014. – pp. 735–737.

9. *Timoshenko A., Bakhtin A., Tsarik K.* Power and RF GaN transistors for flexible antennas // *Proc. of the Int. Conf. on Power and Energy (CPE 2014)*, Shanghai, China. – 2014. – pp. 347–350.