

УДК 621.372.22

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ЦЕПЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ПАТЧ-АНТЕННЫ С АПЕРТУРНОЙ СВЯЗЬЮ ДЛЯ БЕСПРОВОДНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

А. СИНГХ<sup>1</sup>, М. АНИШ<sup>2</sup>, К. КАМАКШИ<sup>3</sup>, ДЖ. А. АНСАРИ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*NMAM технологический институт,  
Индия, Нитте, Карнатака*

<sup>2</sup>*Аллахабадский университет,  
Индия, Аллахабад, Уттар-Прадеш*

<sup>3</sup>*Институт изучения менеджмента,  
Индия, Газиабад, Уттар-Прадеш*

**Аннотация.** Проведен анализ двухдиапазонной микрополосковой патч-антенны с апертурной связью с использованием расширенной резонаторной модели. Приведены результаты теоретического исследования характеристик антенны, таких как обратные потери, КСВН, диаграмма направленности. Также исследовано влияние геометрических параметров микрополосковой патч-антенны с апертурной связью (высота подложки, диэлектрическая постоянная). Обнаружено, что антенна излучает в двух режимах, т. е. на резонансных частотах 4,39 ГГц (нижняя резонансная частота) и 5,55 ГГц (верхняя резонансная частота). Рабочая полоса частот микрополосковой патч-антенны на нижней резонансной частоте равна 10,23% (теоретически) и 13,33% (результат моделирования), тогда как на верхней резонансной частоте она составляет 5,69% (теоретически) и 3,59% (результат моделирования). Частотный коэффициент, полученный для частот выше нижней резонансной частоты равен 1,5 (теоретически) и 1,37 (результат моделирования). Теоретические результаты сравнивались с результатами моделирования в среде IE3D и с известными экспериментальными результатами, которые оказались хорошо согласованными.

**Ключевые слова:** апертурная связь; двойной диапазон; микрополосковая патч-антенна; SMA коннектор; концепция теории цепей

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Микрополосковые антенны привлекают большое внимание исследователей благодаря таким свойствам, как малый вес, небольшая стоимость производства, наличие как линейной, так и круговой поляризации, сверхширокий, двойной и тройной рабочий частотный диапазон [1, 2]. Они имеют некоторые ограничения, такие как узкая полоса частот, малая эффективность, малое усиление, постороннее излучение от возбуждающих элементов и контактов. Все эти ограничения устранены в микрополосковой патч-антенне (МПА), использующей апертурное возбуждение.

Метод апертурного возбуждения впервые предложен в [3]. Впоследствии только в немногочисленных работах описывается апертурная связь [4–22]. Это связано с тем, что производство и анализ данных антенн затруднительно.

В [4–22] авторы [5] предлагают анализировать апертурную связь МПА с использованием резонаторной модели и эти результаты сравниваются с результатами применения метода моментов и результатами измерений. Позднее, авторы [7] предложили многофункциональ-

DOI: [10.20535/S0021347018040040](https://doi.org/10.20535/S0021347018040040)

© А. Сингх, М. Аниш, К. Камакши, Дж. А. Ансари, 2018

# БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Hrebenciuc, F.; Stroia, N.; Moga, D.; Barabas, Z. A low cost approach to large smart shelf setups. *Advances in Electrical and Computer Engineering*, v.11, n.4, p.117-122, 2011. DOI: [10.4316/AECE.2011.04019](https://doi.org/10.4316/AECE.2011.04019).
2. D'hoë, K.; Van Nieuwenhuysse, A.; Ottoy, G.; De Strycker, L.; De Backer, L.; Goemaere, J.-P.; Nauwelaers, B. Influence of different types of metal plates on a high frequency RFID loop antenna: study and design." *Advances in Electrical and Computer Engineering*, v.9, n.2, p.3-8, 2009. DOI: [10.4316/AECE.2009.02001](https://doi.org/10.4316/AECE.2009.02001).
3. Pozar, D. M. Microstrip antenna aperture-coupled to a microstripline. *Electron. Lett.*, v.21, n.2, p.49-50, 1985. DOI: [10.1049/el:19850034](https://doi.org/10.1049/el:19850034).
4. Sullivan, P.; Schaubert, D. Analysis of an aperture coupled microstrip antenna. *IEEE Trans. Antennas Propag.*, v.34, n.8, p.977-984, Aug 1986. DOI: [10.1109/TAP.1986.1143929](https://doi.org/10.1109/TAP.1986.1143929).
5. Himdi, M.; Daniel, J. P.; Terret, C. Analysis of aperture-coupled microstrip antenna using cavity method. *Electron. Lett.*, v.25, n.6, p.391-392, Mar 1989. DOI: [10.1049/el:19890269](https://doi.org/10.1049/el:19890269).
6. Croq, F.; Papiernik, A. Large bandwidth aperture-coupled microstrip antenna. *Electron. Lett.*, v.26, n.16, p.1293-1294, Aug 1990. DOI: [10.1049/el:19900832](https://doi.org/10.1049/el:19900832).
7. Meiguni, J. S.; Kamyab, M.; Hosseinbeig, A. Theory and experiment of spherical aperture-coupled antennas. *IEEE Trans. Antennas Propag.*, v.61, n.5, p.2397-2403, 2013. DOI: [10.1109/TAP.2013.2244836](https://doi.org/10.1109/TAP.2013.2244836).
8. Ittipiboon, A.; Oostlander, R.; Antar, Yahia M. M.; Cuhaci, Michel. A modal expansion method of analysis and measurement on aperture-coupled microstrip antenna. *IEEE Trans. Antennas Propag.*, v.39, n.11, p.1567-1573, Nov. 1991. DOI: [10.1109/8.102770](https://doi.org/10.1109/8.102770).
9. Bhattacharyya, A. K.; Antar, Y. M. M.; Ittipiboon, A. Full wave analysis of an aperture-coupled patch antenna. *Electron. Lett.*, v.27, n.2, p.153-155, Jan 1991. DOI: [10.1049/el:19910099](https://doi.org/10.1049/el:19910099).
10. Himdi, M.; Lafond, O.; Laignier, S.; Daniel, J. P. Extension of cavity method to analyse aperture coupled microstrip patch antenna with thick ground plane. *Electron. Lett.*, v.34, n.16, p.1534-1536, Aug 1998. DOI: [10.1049/el:19981128](https://doi.org/10.1049/el:19981128).
11. Lafond, O.; Himdi, M.; Daniel, J. P. Extension of cavity method to analyze the aperture-coupled microstrip patch antenna with a tilted feeding line. *Microwave Opt. Technol. Lett.*, v.22, n.6, p.395-396, Sept 1999. DOI: [10.1002/\(SICI\)1098-2760\(19990920\)22:6::AID-MOP83.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2760(19990920)22:6::AID-MOP83.0.CO;2-Q).
12. Liu, Zhang-Fa; Kooi, Pang-Shyan; Li, Le-Wei; Leong, Mook-Seng; Yeo, Tat-Soon. A method for designing broad-band microstrip antennas in multilayered planar structures. *IEEE Trans. Antennas Propag.*, v.47, n.9, p.1416-1420, Sept 1999. DOI: [10.1109/8.793321](https://doi.org/10.1109/8.793321).
13. Kossel, Marcel; Benedickter, Hansruedi; Bachtold, Werner; Kung, Roland; Hansen, Jan. Circularly polarized, aperture-coupled patch antennas for a 2.4 GHz RFID system. *Microwave J.*, Nov 1999. <http://www.microwavejournal.com/articles/2784>.
14. Kim, J. P. Optimum design of an aperture-coupled microstrip patch antenna. *Microwave Opt. Technol. Lett.*, v.39, n.1, p.75-78, Oct 2003. DOI: [10.1002/mop.11132](https://doi.org/10.1002/mop.11132).
15. Chakraborty, S.; Gupta, B.; Poddar, D. R. Development of closed form design formulae for aperture coupled microstrip patch antenna. *J. Sci. Industrial Res.*, v.64, n.7, p.482-486, July 2005. URI: <http://nopr.niscair.res.in/handle/123456789/5129>.
16. Kumar, A.; Kartikeyan, M. V. A circularly polarized stacked patch aperture coupled microstrip antenna for 2.6 GHz band. *Int. J. Infrared Millimeter Waves*, v.28, n.1, p.13-23, 2007. DOI: [10.1007/s10762-006-9174-8](https://doi.org/10.1007/s10762-006-9174-8).
17. Elhefnawy, M.; Ismail, W. Analysis of aperture coupled microstrip antenna with circular polarization diversity. *Wireless Pers. Commun.*, v.56, n.2, p.301-314, Jan 2011. DOI: [10.1007/s11277-009-9833-x](https://doi.org/10.1007/s11277-009-9833-x).
18. Hua, C.; Wu, X.; Wu, W. A cavity-backed aperture-coupled microstrip patch antenna array with sum/difference beams. *J. Electromagn. Waves Appl.*, v.26, n.7, p.932-941, 2012. DOI: [10.1080/09205071.2012.710381](https://doi.org/10.1080/09205071.2012.710381).

19. Kirov, Georgi S.; Chervenkov, Georgi T.; Kalchev, Chavdar D. Aperture coupled microstrip short backfire antenna. *J. Electrical Eng.*, v. 63, n.2, p.75-80, 2012. DOI: [10.2478/v10187-012-0011-0](https://doi.org/10.2478/v10187-012-0011-0).
20. Singh, A.; Singh, S. Miniaturized wideband aperture coupled microstrip patch antenna by using inverted U-slot. *Int. J. Antennas Propag.*, v.2014, Article ID 306942, 2014. DOI: [10.1155/2014/306942](https://doi.org/10.1155/2014/306942).
21. Meiguni, J. S.; Kamyab, M.; Hosseinbeig, A. Theory and experiment of spherical aperture-coupled antennas. *IEEE Trans. Antennas Propag.*, v.61, n.5, p.2397-2403, May 2013. DOI: [10.1109/TAP.2013.2244836](https://doi.org/10.1109/TAP.2013.2244836).
22. Wang, J.; Fralich, R.; Wu, C.; Litva, J. Multifunctional aperture coupled stack patch antenna. *Electron. Lett.*, v.26, n.25, p.2067-2068, Dec 1990. DOI: [10.1049/el:19901333](https://doi.org/10.1049/el:19901333).
23. Gupta, K. C. *Microstrip Lines and Slotlines*, 2nd ed. Norwood MA: Artech House, 1996.
24. Garg, R.; Bhartia, P.; Bahl, I.; Ittipiboon, A. *Microstrip Antenna Design Handbook*. Boston, London: Artech House, 2001.
25. Edwards, T. C. *Foundations for Microstrip Circuit Design*. John Wiley, 1981.
26. Balanis, C. A. *Antenna Theory: Analysis and Design*, 3rd ed. New York: Wiley, 2005.
27. Terman, F. E. *Electronic and Radio Engineering*. McGraw-Hill, 1955.
28. Liu, Zhang-Fa; Kooi, Pang-Shyan; Li, Le-Wei; Leong, Mook-Seng; Yeo, Tat-Soon. A method for designing broad-band microstrip antennas in multilayered planar structures. *IEEE Trans. Antennas Propag.*, v.47, n.9, p.1416-1420, 1999. DOI: [10.1109/8.793321](https://doi.org/10.1109/8.793321).
29. *IE3D Simulation Software version 14.05*. Zeland Software, Inc., CA, 2008.

Поступила в редакцию 15.10.2015

После переработки 09.07.2017