覆盖LTE频段的天线增强器-调谐器组合

Antenna booster-Antenna Tuner Combo Cover LTE Bands

Aurora Andújar, José L. Leiva, Fractus Antennas, Jaume Anguera, Fractus Antennas and Universitat Ramon Llull, and Cor Schepens and Roberto Gaddi, Cavendish Kinetics

由于LTE频段数量众多，无线设备需要许多复杂的多频天线设计[1-12]。与仅使用824至960和1710至2170 MHz的2G和3G相比，4G的最大挑战之一是大工作带宽：698至960和1710至2690 MHz。低频区域的较低频率，尤其是698至960 MHz的频率，加剧了挑战，因为与工作波长相比，天线必须很小。

本文介绍如何结合Fractus Antennas的86.4 mm^{3}小型天线增强器与Cavendish Kinetics仅占2 mm^{2}面积的小型天线调谐器实现一个天线系统，覆盖698至2690 MHz频率范围内的LTE频段。

增强器+调谐器

虚拟天线TM技术[13-18]依赖于非常小的天线元件，称为天线增强器，这使其成为满足LTE带宽要求的一个好方法。使用匹配网络，不通过设计复杂的天线几何结构来调整工作频带，而只调整适当的匹配网络，这更快且更经济高效。相同的天线增强器可以适应不同的平台尺寸，因为只有匹配网络从一种设计改变到另一种设计[18]。这与传统天线设计不同，传统天线设计在不同情形下几何形状必须分别设计。除了体积小外，天线增强器也是表面贴装元件，简化了它们在无线设备中的集成（见图1）。

图1：天线增强器，尺寸为12 mm × 3 mm × 2.4 mm，安装在智能手机PCB的一角。

天线调谐器是精确、低损耗、可变电容器，可承受高RF电压，是可调谐天线、动态负载调谐器、可调谐滤波器和需要高压操作的模拟RF应用的理想选择。Cavendish Kinetics天线调谐器采用获得专利的RF MEMS技术，消除了传统绝缘体上硅（SOI）或GaAs RF前端的高插入损耗和RF电压处理的局限性。

Fractus天线增强器与Cavendish Kinetics天线调谐器的结合设计支持698至2690 MHz频率范围内的所有通信频段[19-20]。这种增强器与调谐器组合的主要优点是：无线设备可以在整个频率范围内动态优化特定带宽的性能，为平台提供最大辐射，以支持每个覆盖范围和用户使用场景。

采用Cavendish Kinetics的RF MEMS技术和制造工艺生产的器件具有高准确性和可靠

表1 32CK301R ANTENNA TUNER CHARACTERISTICS	
Capacitance Range	0.4 to 1.0 pF
Resolution	5-bit, i.e., 32 Capacitor States
ESR	~0.3 Ω at Cmax
Power Handling	+39 dBm
Self-Resonance	> 15 GHz
Current Consumption	100 μA Typical
Packaging and Size	WLCSP ~2 mm^2

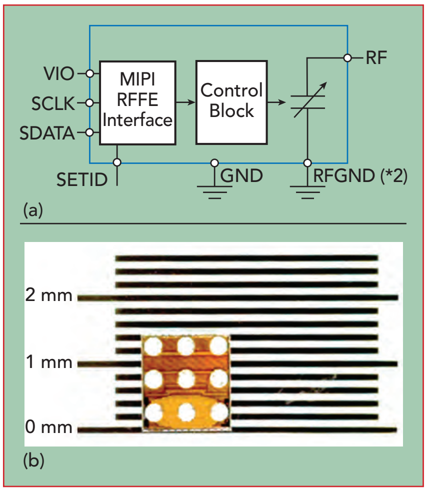

图2：天线调谐器框图（a）和照片（b），调谐器的尺寸为1.4 mm × 1.4 mm。

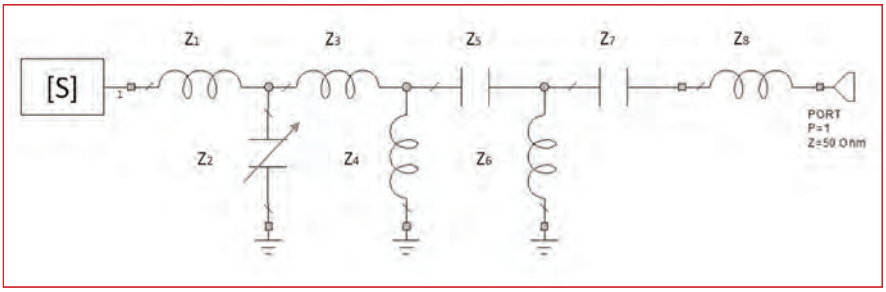

图3：可重构匹配网络。Z_2是Cavendish Kinetics的可变电容器。

表2

MATCHING NETWORK DESIGN
(ALL PASSIVE COMPONENTS FROM MURATA)

Circuit Element	Value	Part Number
Z_1	8 nH	LQW15AN8N0G80
Z_2	Antenna Tuner	Cavendish Kinetics 32CK301R
Z_3	7.3 nH	LQW15AN7N3G80
Z_4	11 nH	LQW15AN11NG80
Z_5	0.8 pF	GJM1555C1HR80WB01D
Z_6	13 nH	LQW15AN13NG80
Z_7	1.9 pF	GJM1555C1H1R9WB01
Z_8	2.5 nH	LQW15AN2N5B80D

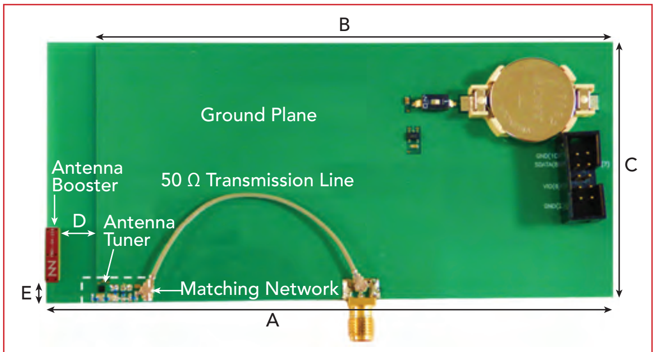

图4：集成Fractus天线增强器、Cavendish天线调谐器和匹配网络的FR4评估板。

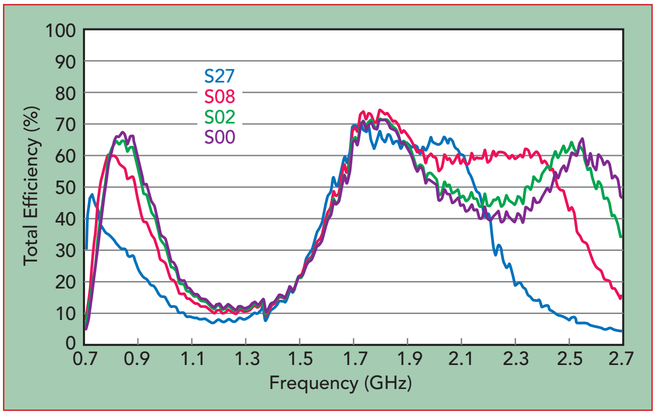

图5：4种状态下测得的效率。

性，即使在1000亿次循环使用后仍能满足全部规格要求[21-22]。32CK301R SmarTune™天线调谐器（见表1）用于演示本文中的设计概念。可提供具有更宽电容范围的产品，Cavendish Kinetics的调谐器系列提供0.4到3 pF的各种电容范围。所有SmarTune天线调谐器均通过MIPI RFFE接口进行控制（见图2），调谐器的功能是独立的，由控制器中的逻辑电路管理。

可重构匹配网络

如图3所示，本文所提出的可重构匹配网络包括MEMS可调电容器（Z_2）和七个集总电容和电感（见表2）。在这种设计中，来自村田制作所的所有无源元件均为SMD 0402型，具有高Q值和严格的公差。可调谐电容器具有32个状态，数字控制，每个状态对应于0.4到1 pF的电容值。在本设计中，值和状态的对应关系为0.40（S00）、0.44（S02）、0.55（S08）和0.92 pF（S27）。

没有匹配网络的天线增强器的阻抗特性非常差，特别是在低频，从698到960 MHz，其中$|S_{11}|$低于-1 dB[17]。但是，通过多频带匹配网络，可以在不改变天线几何形状的情况下轻松调整性能。天线增强器的位置对于激发地平面的有效辐射模式是重要的。在此设计中，选择了地平面的一个角[16-17]。

可调谐电容器的状态通过接地平面末端的并行接口由软件控制。该接口将评估板连接到运行Cavendish Kinetics的SkyWalker软件的PC，该软件用于将阻抗调谐器设置为32种状态中的任何一种。

由于接地平面是辐射的重要贡献者，为了避免在测量天线性能时接口连接产生不良影响，使用了以下程序：通过连接接口选择阻抗调谐器的所需状态。在设置状态之后，接口连接被移除，接地平面上的电池向调谐器提供DC电压以维持该状态。这使得天线效率和S_{11}的测量不受接口连接的影响。

图4给出了右侧带有电池和10针并行接口的评估板。UFL电缆将天线增强器连接到安装在电路板边缘的SMA连接器。

性能结果

对于每个天线调谐器的四种状态，总效率（η_t）通过Satimo Stargate-32测量系统在暗室中测量三维方向图获得（见图5）。总效率包括辐射效率（η_r）和失配损耗，其中$\eta_t = \eta_r \cdot (1 - |S_{11}|^2)$。测量数据显示，状态S27覆盖一些LTE低频带，即从698到746 MHz，而状态S08覆盖746到824 MHz。

为了评估天线调谐的有效性，将覆盖698至960和1710至2690 MHz的无源匹配网络设计与此有源调谐设计进行了性能比较（见表3）。该表显示无源网络未覆盖所有LTE频段。天线调谐在低LTE频段（即699至798 MHz）中的优势明显。在频带12，有源解决方案的效率比无源设计高5.4 dB，在频带13和14效率高3.6 dB。在其他频带的效率相当，即1.4 dB以内。

表3

PASSIVE MATCHING VS. ANTENNA TUNING
AVERAGE TOTAL EFFICIENCY (%)

Band	12	13, 14	5	8	3	2	1	30	41
Frequency (MHz)	699 to 746	746 to 798	824 to 894	880 to 960	1710 to 1880	1850 to 1990	1920 to 2170	2305 to 2360	2496 to 2690
Passive	11.8	23.1	69.9	72.0	77.1	79.0	74.9	72.4	78.4
S27	41.5	37.7	29.0	22.3	65.8	65.3	59.9	17.2	6.0
S08	19.0	53.6	54.0	41.5	71.5	63.8	59.1	60.4	26.2
S02	13.0	46.8	62.5	50.2	69.0	59.6	50.1	48.8	50.6
S00	11.5	44.1	65.4	53.7	68.4	58.5	47.7	42.5	57.2

载波聚合

评估板设计适用于载波聚合（CA），可同时使用多个LTE频带来提高数据速率。表4给出了为每个带间CA对推荐的天线调谐器状态。

结论

安装在120 mm × 60 mm的地平面上、体积为86.4 mm^{3}的小型天线增强器，配有可重构的匹配网络，蜂窝频段的覆盖范围为698至960和1710至2690 MHz。为了实现最高性能，可重构匹配网络采用MEMS可调电容和无源器件设计。测量的平均总效率高于40%，使得这种设计方法适用于大多数无线和移动设备。■

致谢

该项目由西班牙工业部、能源部和旅游部共同实施的2015-2017国家科学研究发展和技术创新计划资助（项目编号：TSI-100103-2015-39）。

参考文献

1. J. Anguera, A. Andújar, M. C. Huynh, C. Orlenius, C. Picher and C. Puente, "Advances in Antenna Technology for Wireless Handheld Devices," International Journal on Antennas and Propagation, Vol. 2013, Article ID 838364.
2. J. Ilvonen, R. Valkonen, J. Holopainen and V. Viikari, "Design Strategy for 4G Handset Antennas and a Multiband Hybrid Antenna," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 62, No. 4, April 2014, pp. 1918–1927.
3. J. Lee, Y. Liu and H. Kim, "Mobile Antenna Using Multi-Resonance Feed Structure for Wideband Operation," IEEE Transaction on Antennas and Propagation, Vol. 62, No. 11, November 2014, pp. 5851–5855.
4. H. Xu et al., "A Compact and Low-Profile Loop Antenna with Six Resonant Modes for LTE Smartphone," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 64, No. 9, September 2016, pp. 3743–3751.
5. K. L. Wong, "Planar Antennas for Wireless Communications," Wiley Inter-Science, 2003.
6. R. Aziz, A. Arya and S. O. Park, "Multiband Full Metal Rimmed Antenna Design for Smartphones," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol.15, March 2016, pp.1987–1990.
7. C. W. Yang, Y. B. Jung and C. W. Jung, "Octaband Internal Antenna for 4G Mobile Handset," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 10, 2011, pp. 817–819.
8. Y. Liu, Y. Luo and S. Gong, "An Antenna With a Stair-Like Ground Branch for Octa-Band Narrow-Frame Mobile Phone," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 17, No. 8, August 2018, pp. 1542–1546.
9. A. Lehtovuori, R. Valkonen, J. Ryynänen and M. Valtonen, "Design Equations for Dual Wideband Matching of Capacitive Coupling Element Antennas," Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 56, 2014, pp. 236–240.
10. R. Valkonen, M. Kaltiokallio and C. Icheln, "Capacitive Coupling Element Antennas for Multi-Standard Mobile Handsets," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 61, No. 5, May 2013, pp. 2783–2791.
11. R. Valkonen, J. Ilvonen, C. Icheln and P. Vainikainen, "Inherently Non-Resonant Multi-Band Mobile Terminal Antenna," Electronics Letters, Vol. 49, No. 1, January 2013, pp. 11–13.
12. Y. Wang and Z. Du, "Wideband Monopole Antenna With Less Nonground Portion for Octa-Band WWAN/LTE Mobile Phones," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 64, No. 1, January 2016, pp. 383–388.
13. J. Anguera, A. Andújar, C. Puente and J. Mumbrú, "Antennaless Wireless Device Capable of Operation in Multiple Frequency Regions," Patent Application WO2010/015364, July 2009.
14. A. Andújar, J. Anguera and C. Puente, "Ground Plane Boosters as a Compact Antenna Technology for Wireless Handheld Devices," IEEE Trransactions on Antennas and Propagation, Vol. 59, No. 5, May 2011, pp. 1668–1677.
15. J. Anguera, N. Toporcer and A. Andújar, "Slim Radiating Systems For Electronic Devices," Patent Application WO2016/012507.
16. J. Anguera, C. Picher, A. Bujalance and A. Andújar, "Ground Plane Booster Antenna Technology for Smartphones and Tablets," Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 58, No. 6, June 2016, pp.1289–1294.
17. A. Andújar, J. Anguera and R. Mateos, "Multiband Non-Resonant Antenna System with Reduced Ground Clearance," European Conference on Antennas and Propagation, April 2017.
18. J. Anguera, A. Andújar and C. Puente, "Antenna-Less Wireless: A Marriage Between Antenna and Microwave Engineering," Microwave Journal, Vol. 60, No. 10, October 2017, pp. 22–36.
19. J. Anguera and A. Andújar, "Wireless Device," Patent Application U.S. 2017/0202058, January 2016.
20. J. Anguera, A. Andújar, J. L. Leiva, C. Schepens, R. Gaddi and S. Kahng, "Multiband Antenna Operation with a Non-Resonant Element Using a Reconfigurable Matching Network," European Conference on Antennas and Propagation, April 2018.
21. V. Joshi et al., "MEMS Solutions in RF Applications," IEEE SOI-3D-Subthreshold Microelectronics Technology Unified Conference, October 2013.
22. R. Gaddi et al., "Measurement-Based Optimization of Aperture Tunable Antennas," Microwave Journal, Vol. 60 No. 10, October 2017, pp. 72–84.