一种基于 DMS 滤波器的高效整流电路

林航，何忠奇，刘长军
四川大学电子信息学院，成都，610065
*310814366@qq.com
*cjliu@ieee.org

摘　要　本文基于缺陷微带结构（DMS）提出了一种低通滤波器，并应用到整流电路上，提高整流电路的效率。首先应用 ADS（Advanced Design System）软件设计并分析了一段具有缺陷微带结构的传输线，然后利用该传输线设计了一个低通滤波器并集成到整流电路中作为输入滤波器。仿真结果表明，该 DMS 结构在频率为 10 GHz 下具有良好的选择性，并对整流电路中二极管产生的高次谐波具有良好的抑制作用。最终仿真得到的整流电路在 10GHz 下，输入功率为 18.9 dBm 时具有 70.9 %的最高效率，可有效应用在微波无线能量传输系统中。

关键词　DMS，滤波器，整流电路，微波无线能量传输系统

A High Efficiency Rectifier Based on the Filter with DMS

Hang Lin, Zhongqi He, Changjun Liu
School of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu, China, 610065
*310814366@qq.com
*cjliu@ieee.org

Abstract: A low-pass filter based on the DMS (defected microstrip structure) is proposed, and it is applied to a rectifier for a high efficiency. First, the software ADS (Advanced Design System) is used to simulate and design a microstrip line with the DMS, and then it is integrated into a rectifier as the input filter due to the good low pass characteristic. The simulation results show that the filter of the DMS has good selectivity at fundamental frequency of 10 GHz, and it can suppress the high harmonics produced by the diode in the rectifier. The final simulation of the rectifier has an efficiency of 70.9 % when the input power is 18.9 dBm at 10 GHz. The rectifier can be well applied to the microwave wireless power transmission system.

Keywords: DMS, filter, rectifier, microwave wireless power transmission system

1 引言

整流电路作为微波无线能量传输系统的研究重点，如何提高它的 MW-DC 效率，一直都是整流电路的研究目标。近年来整流电路在高频下的研究有很多进展，比如：基于谐波回收原理，提高整流电路效率[1]；使用阻抗补偿技术对二极管阻抗的虚部进行抵消，达到提高整流电路的效率[2]。

作为整流电路中的一个关键结构，输入端的低通滤波器能将二极管产生的高次谐波反射回电路中重新进行整流，从而提高整流效率。与传统方法设计的低通滤波器相比，缺陷微带结构（defected microstrip structure, DMS）具有结构紧凑、模型简单、频率抑制特性好、易于实现等优点[3]-[4]。本文仿真设计了一个基于 DMS 的微带低通滤波器，并应用到整流电路中以提高整流效率，电路的拓扑结构如图 1 所示。仿真结果表明，该整流电

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

路在 10 GHz 下，输入功率为 18.9 dBm 时具有 70.9 %的高效率。

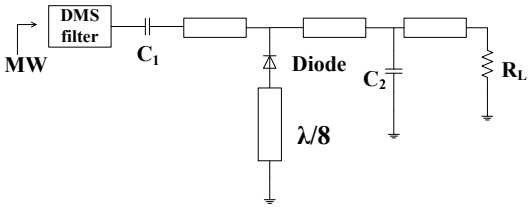

图 1 整流电路拓扑图

2 基于 DMS 的低通滤波器仿真设计

DMS 是在一段微带线上进行蚀刻。本文所分析的 DMS 微带线是在 10 GHz 下，特征阻抗为 50Ω 的微带线上蚀刻出 L 形槽，如图 2 所示。通过在微带线上进行蚀刻，改变了微带线的有效介电常数，增加了微带线的电长度，从而改变了微带线的有效介电常数[5]。基于 DMS 的低通滤波器各参数如

表 1 所示。本文利用 ADS 研究 DMS 的频率特性，得到 DMS 在 10 GHz 下的|S11|和|S21|随频率的变化曲线，如图 3 所示。从图中可以看出，基于 DMS 的低通滤波器对 20 GHz 和 30 GHz 信号具有良好的抑制作用。

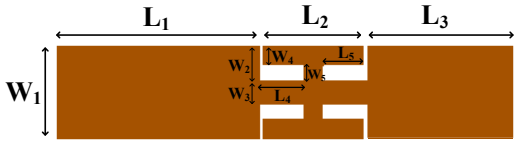

图 2 基于 DMS 的滤波器版图

表 1 基于 DMS 低通滤波器参数（单位：mm）

变量	W1	W2	W3	W4	W5
值	2.76	1.08	0.60	0.53	0.50
变量	L1	L2	L3	L4	L5
值	7.00	4.62	5.00	1.62	1.48

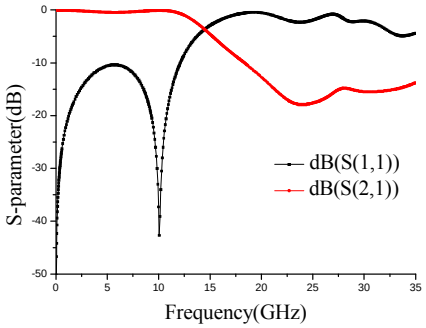

图3 基于 DMS 的滤波器|S11|和|S21|随频率的变化

3 整流电路设计

作为微波无线能量传输中关键器件的整流电路，通常采用肖特基二极管作为核心整流器件。本文使用 HSMS-286C 进行电路设计，因为它具有截止频率高，结电阻低，结电容小等特点，具体参数为 V_{br}=7 V，C_{j0}=0.18 pF，R_s=6 Ω。

通过计算可以得到在特定频率，输入功率和直流负载下二极管的虚部，-jX。根据公式[6]

$$Z_{in1} = jZ_1 \tan(\frac{\pi}{4}\frac{\omega}{\omega_0}) = \begin{cases} 0, & \omega = 0 \\ jZ_1, & \omega = \omega_0 \\ \infty, & \omega = 2\omega_0 \end{cases} \quad (1)$$

可知一段 λ/8 终端短路的微带线输入阻抗为+jX’，只需要改变微带线宽度，使 X’=X，就可以达到通过与二极管串联的方式抵消二极管容性虚部，最终使这个串联结构达到易于匹配的设计。第 2 节中设计的 DMS 低通滤波器被运用到整流电路中，作为输入滤波器。电路采用的介质基板为 F4B-2 聚四氟乙烯玻璃纤维双面覆铜板，厚度为 1mm，介电常数 εr=2.65，损耗角正

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

切值为 0.005，表面覆盖的铜板厚度为 0.018mm。最终实现的整流电路结构图如图 4 所示。

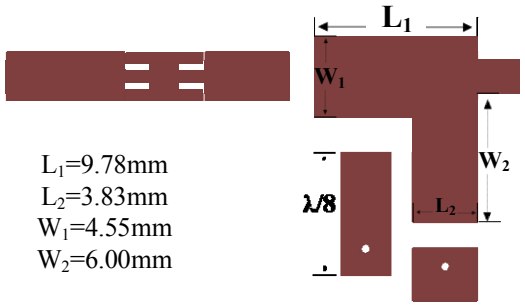

图 4 整流电路结构图

通过在 ADS 中进行建模仿真并优化，得到电路的整流效率随输入功率的变化曲线以及整流效率随负载的变化曲线，如图 5 和图 6 所示。从图中可以看出，当负载为 154 Ω 时，输入功率在 7.7~20.6 dBm 处，整流效率都高于 50 %。当输入功率为 18.9 dBm 时，负载在 65~251 Ω 处，整流效率都高于 50 %。当负载为 154 Ω，输入功率为 18.9 dBm 时，整流效率可以达到 70.9 %。该设计方法实现了一个高效的整流电路。

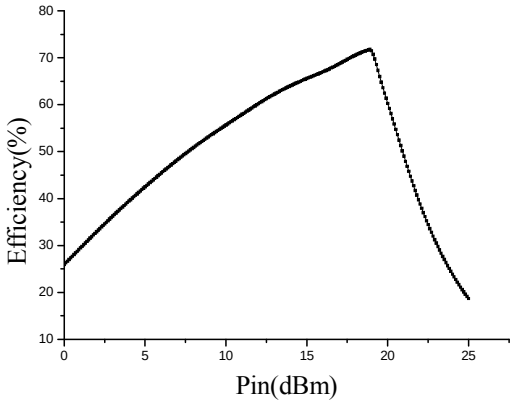

图 5 当负载为 154 Ω 时，整流效率随输入功率的变化曲线

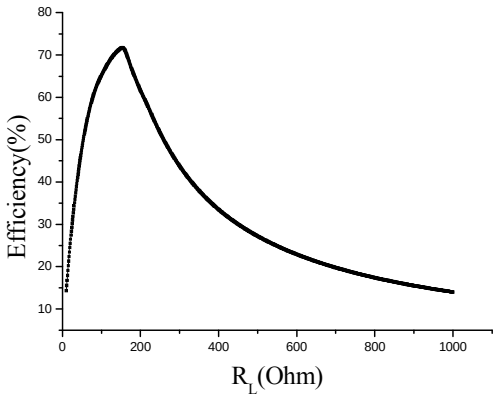

图 6 当输入功率为 18.9 dBm 时，整流效率随负载的变化曲线

4 结论

本文仿真设计了一个基于 DMS 结构的低通滤波器并应用到了 X 波段整流电路中。电路采用微带结构具有体积小（30 mm×15 mm×1 mm），易于与天线整合的优点。仿真中电路在输入功率为 18.9 dBm，负载为 154 Ω 的条件下达到了最高为 70.9 %的整流效率，实现了高效的目的。该微波整流电路可以运用到微波无线能量传输系统中，获得理想的直流功率。

参考文献

[1] LU Ping, YANG Xuesong, LI Jialin, et al. A compact frequency reconfigurable rectenna for 5.2 and 5.8 GHz wireless power transmission[J]. IEEE transactions on power electronics,2015,30(11): 6006-6010.

[2] Tan, Feifei, Changjun Liu. "Theoretical and experimental development of a high conversion efficiency rectifier at X band," International Journal of Microwave and Wireless Technologies 9.5(2017):985-994.

[3] AHN D, PARK J S, KIM C S, KIM J, QIAN Y X, ITOH T. A design of the low-pass filter using the novel microstrip defected ground structure [J]. IEEE Trans Microwave Theory Tech,2001,49(1):86-93

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[4] PARK J S, KIM J H, LEE J H, KIM S H, MYUNG S H. A novel equivalent circuit and modeling method for defected ground structure and its application to optimization of a DGS lowpass filter [j]. IEEE MTT-S Int Microwave Symo, 2002:410-417

[5] 薛玉杰，杨雪霞，陆祎敏.一种新颖的 DMS 低通滤波器的分析与设计[J].应用科学学报,2007年,25(3):272-275.

[6] 刘长军，黄卡玛，闫丽萍．射频通信电路设计[M]．北京：科学出版社，2005. (LIU Changjun,HUANG Kama,YAN Liping. RF communication circuit design [J]. Beijing:Science Press, 2005.)

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net