

文章编号: 2095-4980(2017)05-0812-06

X 波段 300 kW 正交场放大器设计

杨金生, 周红刚, 雷雪峰

(中国电子科技集团公司 第 12 研究所, 北京 100015)

摘要: 首次提出采用高二次发射系数铂钡合金作为冷阴极, 实现了 X 波段正交场放大器(CFA)宽脉冲和大工作比稳定工作。提出了双螺旋耦合翼片慢波结构与波导之间采用缝隙耦合加切比雪夫阻抗变换器输能结构设计方案。通过对慢波结构及高频系统仿真分析与设计, 实现了慢波结构与输能组件间的宽频带良好匹配, 电压驻波比及插损特性仿真结果与冷测结果具有很好的一致性。热测结果表明, 放大器在 1 GHz 带宽内脉冲功率大于 300 kW, 效率大于 57%, 增益大于 14 dB, 填补了国内 X 波段宽带大功率正交场放大器的空白, 是当前国际上脉冲宽度最宽、工作比最大的 X 波段正交场放大器产品。

关键词: 正交场放大器; X 波段; 冷阴极; 双螺旋耦合翼片慢波结构

中图分类号: TN127

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201705.0812

Design of an X band 300 kW crossed field amplifier

YANG Jinsheng, ZHOU Honggang, LEI Xuefeng

(No.12 Research Institute, China Electronics Technology Group Corporation, Beijing 100015, China)

Abstract: The platinum-barium alloy with high secondary emission factor is selected as the cathode material for the first time. With this kind of cathode, the X-band Crossed Field Amplifier(CFA) could operate steadily with the condition of broad pulse-width and large duty ratio. The structure of the slot-coupled and Chebyshev transformer are proposed to connect the dual-helix coupled vane with output waveguide. Based on simulation analysis of RF system, the slow wave structure is perfectly matched with output waveguide; and the experimental results in VSWR and insertion loss are in agreement with simulation results. The test data shows that the device is able to deliver an output power of ~300 kW within 1 GHz bandwidth. In the full bandwidth, the efficiency and gain are more than 57% and 14 dB, respectively. This X-band crossed field amplifier is successfully manufactured for the first time in China. And so far, its pulse-width and duty ratio are the largest among the products of X-band crossed field amplifier in the world.

Keywords: crossed field amplifier; X band; cold secondary emission cathode; dual-helix coupled vane slow-wave structure

正交场放大器(CFA)具有效率高、功率密度大、电压低和瞬时带宽宽的特点, 是一种可以冷阴极工作的大功率微波源, 也是高机动雷达的优选微波源^[1-4]。美国大量装备采用 CFA 作为雷达发射机末级功率放大器, 约占微波管总量的 10%, 典型应用是海军宙斯盾雷达系统, 使用 S 波段 CFA 的脉冲功率为 125 kW, 最大工作比为 2%, 最大脉冲宽度为 50 μ s, CFA 作为发射机末级功率放大器, 发挥了极其关键的作用^[5-6]。在洛克希德-马丁公司生产的 P-3C 远程反潜巡逻机上, 型号为 APS-116/APS-137 的对海监视雷达系统使用了 X 波段 CFA, CFA 脉冲功率为 500 kW, 最大工作比为 0.11%, 脉冲宽度为 2 μ s。国外在上世纪对 X 波段 CFA 做了大量研究, 研制出多种型号产品^[7-9]。为增加注-波互作用, 在 CFA 中使用的螺旋线由导体制成, 具有矩形截面的形状^[10]。为克服矩形截面螺旋线结构散热能力差, 功率容量小和耦合阻抗低的不足, 科研工作者研究设计了螺旋耦合翼片慢波结构^[11-13]。这种慢波结构具有良好的带宽能力和较高的耦合阻抗, 并具有功率容量大及机械强度高的特点, 一般工作相移为 90°~120°, 带宽大于 10%, 耦合阻抗为 40~80 Ω , 是一种很好的宽频带互作用线路。螺旋耦合翼片慢波结构分为单螺旋耦合翼片和双螺旋耦合翼片两种类型^[10], 其互作用空间模型如图 1 所示。从图 1

可以看出，与单螺旋耦合翼片慢波结构相比，双螺旋耦合翼片具有相互作用区域大、散热能力和抑制非对称模式能力强等优点。以单螺旋耦合翼片为慢波线的代表管型是 Varian 公司 S 波段 CFA，型号为 SFD238；以双螺旋耦合翼片为慢波线的代表管型是 Varian 公司 C 波段 CFA，型号为 SFD237。通常在较大相移情况下，相互作用阻抗会下降，所以高阻抗线路带宽较窄，为使螺旋耦合翼片线路在较大相移下具有宽的高阻抗相互作用区域，并获得最佳相互作用效率，发展了若干变态螺旋线线路，并获得了相应的理论分析和实验结果^[14]。

国内科研工作者在 20 世纪 80 年代开展过螺旋耦合翼片慢波结构理论研究，但未形成该类慢波结构的 CFA 产品^[15]。近年来，基于整机用户需求，针对 CFA 大平均功率、大工作比和宽脉冲工作特性的提高做了大量研究^[16-21]，为 X 波段 CFA 设计奠定了理论研究和工程应用基础。本文设计了 X 波段双螺旋耦合翼片慢波结构，对慢波结构色散特性和耦合阻抗进行了理论计算，提出了慢波结构与输能组件间通过缝隙耦合输能结构设计方案，对 X 波段双螺旋耦合翼片慢波结构高频系统进行了设计和优化，高频系统的驻波比和插入损耗特性仿真结果与冷测结果具有较好一致性。提出了在 CFA 中采用高二次发射系数铂钨合金作为冷阴极，实现了宽脉冲和大工作比稳定工作带宽为 1 GHz，脉冲宽度为 100 μs，脉冲功率大于 300 kW 的高效率 X 波段 CFA 产品，填补了国内技术空白，该管也是当前国际上脉冲宽度最宽、工作比最大的一支 X 波段大功率 CFA 产品。

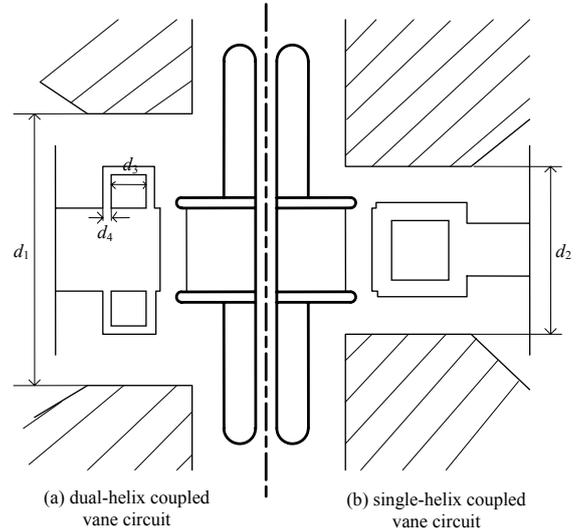


Fig.1 Schematic of interaction space of helix coupled vane CFA
图 1 螺旋耦合翼片 CFA 相互作用空间模型

1 总体方案与阴极材料的选择

基于宽频带、大工作比、宽脉冲工作的目标要求，该 CFA 总体方案采用分布发射重入式前向波设计，双螺旋耦合翼片慢波结构，缝隙耦合输能方式，切比雪夫阻抗变换段加盒型窗输能组件。在慢波结构设计上保证工作带宽的同时尽量提高其耦合阻抗，保证 CFA 实现高效率，以此来减小慢波结构的散热压力。随着 CFA 工作频段的提高，结构尺寸将越来越小。常规钨合金阴极的二次发射系数约为 2.4，铂钨合金的二次发射系数可达 3.5，对于 X 波段 CFA 来说，阳极直径约为 30 mm，阴极直径约为 24 mm，加之工作脉宽宽，工作比大，采用常规钨合金阴极将很难满足电流密度要求。因此，本文提出采用高二次发射系数铂钨合金作为冷阴极方案，也是首次在 CFA 产品设计中采用该类冷阴极材料。实验研究结果表明，该阴极可在脉冲电流密度 2.5 A/cm² 下稳定工作，且具备宽脉冲及大工作比能力。

2 双螺旋耦合翼片慢波结构色散与耦合阻抗分析

对于螺旋线型慢波结构，采用厚度近似为无限薄，单导体阵列特性导纳计算模型，可以获得其色散特性和耦合阻抗^[22]，所建模型如图 2 所示。根据图 2 模型，得到色散方程：

$$\phi = 2\pi a \cos\theta \omega / c \tag{1}$$

式中： ϕ 为连续的 2 个单元相应点间的相移； a 为螺旋线半径； θ 为螺距角； ω 为角频率。对螺旋线表面场进行傅里叶分析，所有空间谐波电场幅值可表示为：

$$E_m = \frac{2A\alpha \sin(\frac{1}{2}\phi) \sin[\alpha(\frac{1}{2}\phi + m\pi)]}{q \alpha(\frac{1}{2}\phi + m\pi)} \tag{2}$$

相速度为：

$$v_m = \omega p / (\phi \sec^2 \theta + 2m\pi) \tag{3}$$

式中： p, q 分别是与螺旋线轴平行的螺距和连续导体间的距离； α 为空节比。

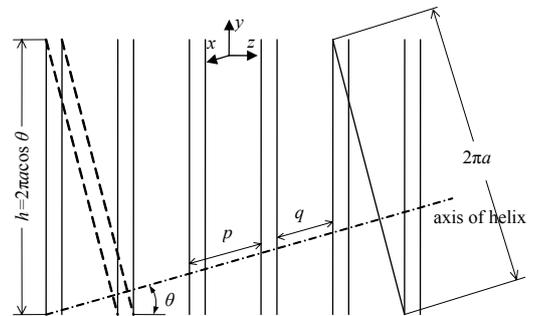


Fig.2 Model of helix slow wave structure
图 2 螺旋线型慢波结构模型

基波相速度和群速度为:

$$v_0 = v_g = c \sin \theta \tag{4}$$

基波耦合阻抗表达式为:

$$K = \frac{1}{Y(\phi)} \left[\frac{\sin(\frac{1}{2}\phi) \sin\{\alpha(\frac{1}{2}\phi + \pi)\}}{\frac{1}{2}\phi + \pi \quad \alpha(\frac{1}{2}\phi + \pi)} \right]^{-2} \tag{5}$$

式中 $Y(\phi)$ 为螺旋线的特性导纳。

对于矩形螺旋型慢波结构, 色散特性和耦合阻抗取决于螺旋片宽度、方孔尺寸和节距 3 个结构参数。通过优化设计, 得到图 1 中螺旋片结构参数为: 宽度 $d_4=1.2 \text{ mm}$, 正方形孔边长 $d_3=1.8 \text{ mm}$, 节距为 1.6 mm 。

根据式(1)计算慢波结构色散特性, 所得色散特性曲线如图 3 所示, 从图 3 可以看出, 慢波结构色散较弱, 接近于一条直线, 保持了螺旋线特有的宽频带特性, 在 1 GHz 带宽内相移量变化约为 30° , 恒压工作条件下, 可以实现 11% 以上的工作带宽。根据式(5)计算慢波结构耦合阻抗, 所得耦合阻抗特性曲线如图 4 所示, 由图 4 可看出, 在频率小于 10 GHz 的 2 GHz 带宽内耦合阻抗均高于 50Ω , 有利于放大器高效率的实现。

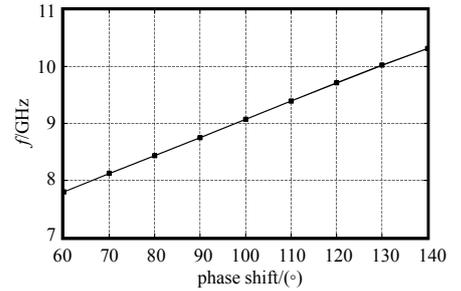


Fig.3 Dispersion of the slow wave structure
图 3 慢波结构色散特性

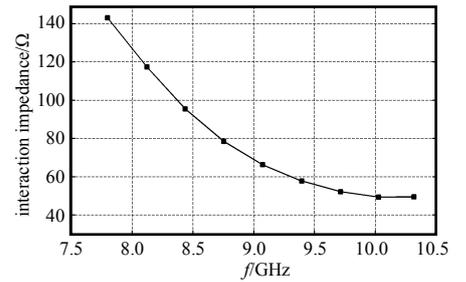


Fig.4 Interaction impedance of the slow wave structure
图 4 慢波结构耦合阻抗

3 高频系统传输特性仿真分析与冷测

CFA 高频系统由慢波结构和输能组件两部分构成, 关键是慢波结构与输能组件间要实现良好阻抗匹配, 为此, 本文提出缝隙耦合输能结构设计方案, 如图 5 所示。图 5 中显示了除波导盒型窗外的整个高频系统, 包括慢波结构、阻抗变换器及能量耦合缝隙。电磁仿真软件 CST 可以对高频系统进行准确建模, 并获得高频系统传输特性^[23-24]。本文对矩形截面螺旋线型慢波结构高频系统进行了精确建模和仿真分析, 获得了高频系统匹配特性及插入损耗特征。慢波结构参数确定后, 针对耦合缝结构尺寸和漂移区进行优化设计, 实现高频系统较低驻波系数和插入损耗。通过优化, 选取耦合缝长度为 18.8 mm , 耦合缝宽度为 0.8 mm , 漂移区角度为 66° 的能量耦合设计方案。高频系统电压驻波比(Voltage Standing Wave Ratio, VSWR)仿真与冷测结果对比如图 6 所示。从图 6 可以看出, VSWR 仿真结果在 2 GHz 带宽内均在 1.7 以下, VSWR 冷测结果在约 1.6 GHz 带宽内小于 1.7, 相对带宽接近 20%, 在中间频带 1.1 GHz 带宽内仿真结果与冷测结果具有较好的一致性, 高频系统保持了螺旋线的宽频带特性, 实现了慢波结构与输能组件的宽频带良好匹配。高频系统插入损耗特性仿真与冷测结果对比如图 7 所示。从图 7 可以看出, 仿真结果在 2 GHz 带宽内, 插入损耗小于 0.5 dB , 实际冷测插入损耗小于 1 dB 的带宽为 1.7 GHz 左右, 在绝对值上两者相差约 $0.5\sim 1 \text{ dB}$ 。误差原因一是实际制管所采用金属材料因集肤效应存在高频损耗, 二是实际制管会存在结构的不均匀性和不对称性, 导致插入损耗仿真结果与冷测结果存在差异, 但从实际制管角度来看, 插入损耗小于 1 dB , 可以满足工程需要。

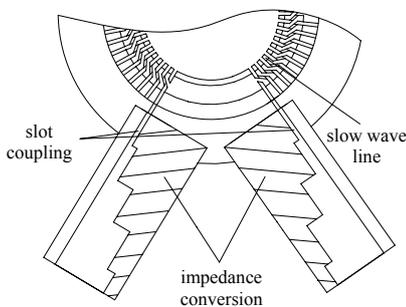


Fig.5 Slot coupling schematic of high frequency system
图 5 高频系统缝隙耦合示意图

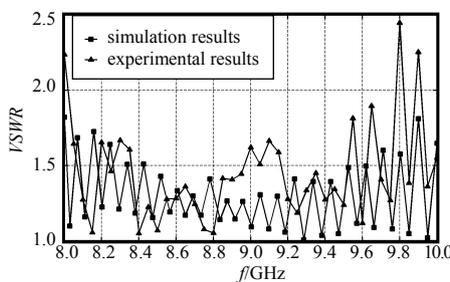


Fig.6 Simulation and experimental results of VSWR for high frequency system
图 6 高频系统 VSWR 仿真与冷测结果

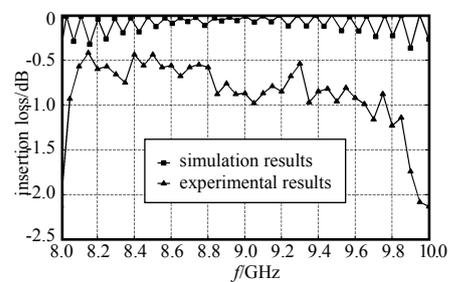


Fig.7 Simulation and experimental results of insertion loss for high frequency system
图 7 高频系统插入损耗仿真与冷测结果

4 热测及结果分析

由于 CFA 的低增益特性, 高峰值功率测试需采用多级放大链系统实现, 工作在脉冲状态时, 所有时间域的

脉冲同步状态必须由一台多路同步脉冲触发器控制和调整。若放大管按 13 dB 增益估算，其前级激励功率至少要达到 15 kW，需要一支宽带大功率 TWT 作为其前级驱动，搭建的三级放大链测试系统框图如图 8 所示，末前级 TWT 为一支带宽 2 GHz，脉冲功率 20 kW 的大功率脉冲行波管。

按图 8 搭建放大链测试系统，测试条件为脉冲宽度 100 μs，工作比 1.7%，阳极平均电流为 370 mA，24 kV 恒压工作，每隔 50 MHz 为一个频率点，对放大管进行了热测，所得脉冲功率、效率及增益测试结果如图 9 和图 10 所示。从图 9 脉冲功率测试结果可以看出，在 1 GHz 带宽内放大管脉冲输出功率均大于 300 kW，平均功率大于 5 kW，脉冲功率带内波动小于 10 kW，输出功率相对于频率的响应曲线平坦。从图 10 工作效率和增益测试结果可以看出，在 300 kW 脉冲功率量级下，放大管保持了高效率特性，在 1 GHz 带宽内效率均大于 57%，带内效率波动小于 1.8%，全带宽内增益大于 14 dB，增益波动小于 0.5 dB，效率和增益相对于频率的响应曲线平坦，具备较好的宽频带工作特性，便于雷达发射机系统应用。虽然慢波结构低频端耦合阻抗较高，但从图 9 和图 10 的功率和效率曲线上可以看出，低端段功率和效率均低于中心频段，一是由于采用恒压测试，电子速度在中心频段与 RF 波保持最佳同步状态，可获得较高相互作用效率；二是由于低频端电长度短；三是由于频带低端 VSWR 较中心频带较高。

本产品与国外 X 波段 CFA 典型产品主要性能参数对比如表 1 所示。从表 1 可以看出，国外 X 波段 CFA 典型产品最大带宽为 1 000 MHz，最大工作比为 1%，最大脉冲宽度为 2 μs，最高效率 45%，因此，本产品带宽与国外产品最大带宽相当，在脉冲宽度、工作比及效率方面具有明显技术指标优势。

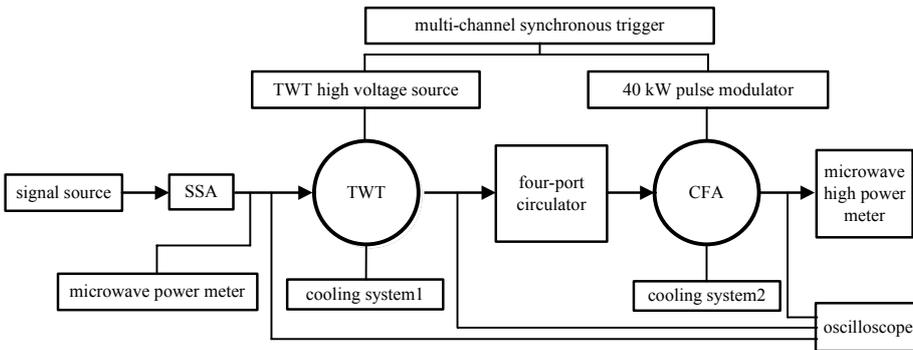


Fig.8 Test block diagram of the X band CFA
图 8 X 波段前向波放大管测试框图

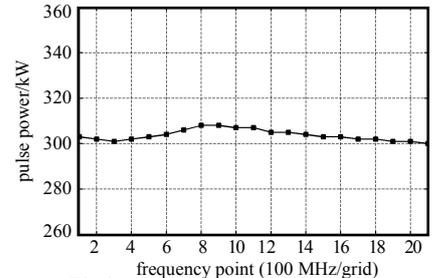


Fig.9 Pulse output power versus frequency
图 9 脉冲输出功率测试结果

表 1 本产品与国外产品主要性能比较

Table1 Performance comparison between experimental results and abroad

type	bandwidth/MHz	output power/kW	pulse width/μs	duty/%	efficiency/%
experimental results	1 000	300	100.0	1.7	57.0
SFD240	400	250	2.0	1.0	45.0
L4750	200	300	1.5	0.4	13.4
L5372	1 000	500	2.0	0.1	29.0
VXX1062	250	300	2.0	0.4	39.0

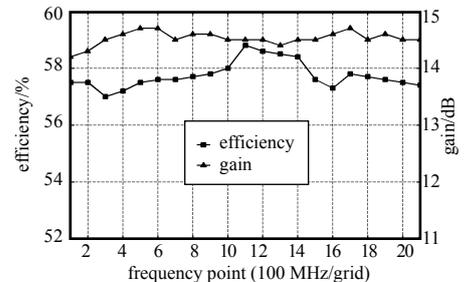


Fig.10 Efficiency and gain versus frequency
图 10 效率与增益测试结果

5 结论

本文研究表明，双螺旋耦合翼片慢波结构具有弱色散和宽频带特性，采用缝隙能量耦合方式，通过优化设计可实现慢波结构与输能组件间的宽频带良好匹配，可应用于 X 波段带宽 1 GHz，脉冲功率大于 300 kW 的 CFA 产品设计中，验证了该慢波结构适合于 X 波段及更高频段 CFA 中使用。在 CFA 中采用高二次发射系数铂钨合金作为冷阴极，放大管可在脉冲宽度 100 μs、工作比 1.7%条件下稳定工作，脉冲电流密度达到 2.5 A/cm²，表明该冷阴极具备宽脉冲及大工作比能力。与国外 X 波段 CFA 产品指标相比，在工作比、脉冲宽度及效率方面具有明显优势，是国内首支 X 波段宽带大功率 CFA 产品。该 CFA 高频系统中通过翼片实现慢波结构与水冷阳块的连接，有效减小了热阻，实现了慢波结构的有效散热，与通水冷却慢波结构相比，省去了纯水冷却系统，为装备应用带来方便。本文研究结果为 X 波段宽频带大功率 CFA 研究设计提供了理论支撑，对更高频段 CFA 设计也具有重要参考价值。

参考文献:

- [1] SOLOPOV A A, TRUSHIN A N, FEDORENKO E A, et al. M-type broadband forward wave amplifier in 3-cm range[C]// International Vacuum Electron Sources Conference. St. Petersburg, Russia: IEEE, 2014.
- [2] 杨金生. 前向波放大管研究进展及其应用[J]. 真空电子技术, 2016(6):7-11. (YANG Jinsheng. Research and application of cross field amplifiers[J]. Vacuum Electronics, 2016(6):7-11.)
- [3] GILMOUR A S, KLYSTRONS J. 速调管、行波管、磁控管、正交场放大器和回旋管[M]. 丁耀根, 张兆传, 译. 北京: 国防工业出版社, 2012. (GILMOUR A S, KLYSTRONS J. Traveling Wave Tubes, Magnetrons, Crossed-Field Amplifiers, and Gyrotrons[M]. Translated by DING Yaogen, ZHANG Zhaochuan. Beijing: National Defense Industry Press, 2012.)
- [4] WARNEEKE R R, KLEEN W, LERBS A. The magnetron type traveling wave amplifier tube[J]. Proceedings of the IRE, 1950, 38(5):486-495.
- [5] WHEELAND C L, WORTHINGTON M S, RAMACHER K F. Ultra low-noise CFA design and development for the AN/SPY-1B/D radar[C]// IEEE International Conference on Plasma Science. Boston, MA, USA: IEEE, 1996:35.
- [6] MICHAEL LT, DAVID C. A time-domain MTL model of the AEGIS CFA circuit for use in the MASK simulation program[C]// International Vacuum Electronics Conference. Monterey, CA, USA: IEEE, 2000.
- [7] HENTSCHEL J. Development of an X-band CW crossed-field amplifier[R]. Armed Services Technical Information Agency (ASTIA), 1966.
- [8] FEINSTEIN J, COLLIER R J. A class of waveguide coupled slow wave structures[J]. IRE Transactions on Electron Devices, 1959, 6(1):9-17.
- [9] RIYOPOULOS S. Simulations of crossed-field amplifier operation using guiding center dynamics[C]// International Electron Devices Meeting. San Francisco, CA, USA: IEEE, 1989.
- [10] GILL C. A broad pulsed crossed-field amplifier for S-band[C]// Proceeding of High Power Microwave Tube Symposium. 1965:111.
- [11] GEORGE K R. Helix-coupled vane circuit with the helix connected centrally of the vanes: 3484649[P]. 1969-12-16.
- [12] GEORGE K R. Interim development report for development of an X-Band CW crossed-field amplifier[R]. Armed Services Technical Information Agency (ASTIA), 1964.
- [13] GEORGE K R. Dual helix-coupled periodic circuits and tubes using same: 3427495[P]. 1969-02-11.
- [14] BICKFORD N K. Final report on design of an octave bandwidth high power S-band injected-beam CFA[R]. Air Force Research Laboratory, 1967.
- [15] 闫铁昌. 螺旋耦合翼片慢波结构的研究[D]. 北京: 北京真空电子技术研究所, 1984. (YAN Tiechang. Research of the helix-coupled vane slow wave structure[D]. Beijing: Beijing Vacuum Electronic Research Institute, 1984.)
- [16] 包广建, 杨金生, 宋振红, 等. 高平均功率前向波放大管研制[J]. 真空电子技术, 2014(3):1-4. (BAO Guangjian, YANG Jinsheng, SONG Zhenhong, et al. Design of a high average power crossed-field amplifier type[J]. Vacuum Electronics, 2014(3):1-4.)
- [17] 孙涵, 杨金生. 大平均功率前向波放大管散热分析[J]. 真空电子技术, 2016(6):27-30. (SUN Han, YANG Jinsheng. Thermal analysis of high average power crossed field amplifiers[J]. Vacuum Electronics, 2016(6):27-30.)
- [18] 陈志强. S波段CFA熄火脉冲调制器触发器设计[J]. 真空电子技术, 2015(6):29-31. (CHEN Zhiqiang. Design of a trigger of quench pulse modulator for S-band CFAs[J]. Vacuum Electronics, 2015(6):29-31.)
- [19] 包广建, 杨金生, 王刚, 等. 新控制方式前向波放大管[J]. 真空电子技术, 2011(4):63-65. (BAO Guangjian, YANG Jinsheng, WANG Gang, et al. A new controlled method of CFA[J]. Vacuum Electronics, 2011(4):63-65.)
- [20] SAMUEL M, FELIPE B R, PAKTER R, et al. Stationary to nonstationary transition in crossed-field devices[J]. Physics of Plasmas, 2016, 23(3):033107-1-033107-7.
- [21] 赵岩, 杨金生. 基于 Matlab 的前向波放大器中的数值计算探析[J]. 真空电子技术, 2016(6):12-16. (ZHAO Yan, YANG Jinsheng. Numerical computation of crossed field amplifiers based on Matlab[J]. Vacuum Electronics, 2016(6): 12-16.)
- [22] WALLING J C. Interdigital and other slow wave structures[J]. Journal of Electronics & Control, 1957, 3(3):239-258.
- [23] 蔡军, 鄢显平, 冯进军. 太赫兹行波管级联倍频器[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2013, 11(5):678-683. (CAI Jun, WU Xianping, FENG Jinjun. Terahertz traveling wave tube cascode multiplier[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2013, 11(5):678-683.)
- [24] 任大鹏, 蔡军, 胡银富, 等. W波段宽带螺旋线行波管设计[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2016, 14(1):31-33. (REN Dapeng, CAI Jun, HU Yinfu, et al. Design of W-band helix traveling wave tube[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2016, 14(1):31-33.)

作者简介：



杨金生(1968-), 男, 内蒙古自治区赤峰市人, 博士, 研究员级高级工程师, 研究方向为物理电子学、电真空器件.email:13911019051@163.com.

周红刚(1978-), 男, 陕西省宝鸡市人, 学士, 工程师, 主要研究方向为物理电子学、电真空器件.

雷雪峰(1986-), 男, 北京市人, 大专, 助理工程师, 主要研究方向为物理电子学、电真空器件.

中國電子學會

关于举办 2017 全国复杂电磁环境效应技术研讨会的通知

自 2014 年中国电子学会连续成功举办了三届复杂电磁环境效应技术研讨会,对电磁环境呈现出复杂多变的重要特性、如何确保电子设备在复杂电磁环境条件下的工作性能及频谱的动态利用等热点问题探讨,基于前三届的基础上,中国电子学会拟于 2017 年 12 月举办“2017 全国复杂电磁环境效应技术研讨会”,本次会议内容将涉及以下内容:(1)复杂电磁环境的理论体系、标准体系、实验验证条件体系。(2)装备复杂电磁环境适应性指标论证方法、案例研究,(3)不同电磁现象效应机理与防护方法和手段研究。会议将邀请相关领域的专家分享在复杂电磁环境相关领域的研究成果和思想建树。现就有关事项通知如下:

一、大会主题: 聚焦试验评估,提升适应能力。

二、时间地点: 2017 年 12 月 7~9 日; 7 日报到; 地点: 北京

三、主办单位: 中国电子学会

承办单位: 中国电子学会学术交流中心

合作媒体: 微波学报、电波科学学报、雷达学报、安全与电磁兼容、太赫兹科学与电子信息学报、空间电子技术、国际电子战

四、大会共主席: 肖凯宁、丁士援、戎建刚

五、大会交流形式: 大会将邀请复杂电磁环境下的电子设计领域的著名专家,就复杂电磁环境条件下装备的试验、测试、评估等内容和最新动态做特邀报告。

六、拟邀请大会报告: 详见中国电子学会(www.cie-info.org.cn)或《太赫兹科学与电子信息学报》(www.iaeej.com)网站通知。

七、收费标准:

注册费	11 月 15 日前汇款	11 月 15 日后汇款
参会代表	1000 元	1500 元

八、会务组联系方式:

1、会议报名及合作咨询: 中国电子学会学术交流中心 张杰 010-68246068

手机: 13811330009(同微信号) email: cie_ew2016@163.com QQ: 961055790@qq.com

2、收款单位: 中国电子学会 开户行: 工商银行北京公主坟支行

帐号: 9558850200000514849 (汇款注明单位+参会人员姓名)

3、报到事项: 会务组另行通知。

中国电子学会
2017 年 10 月 9 日