

## 2400MHz ISM 波段功率放大器的仿真

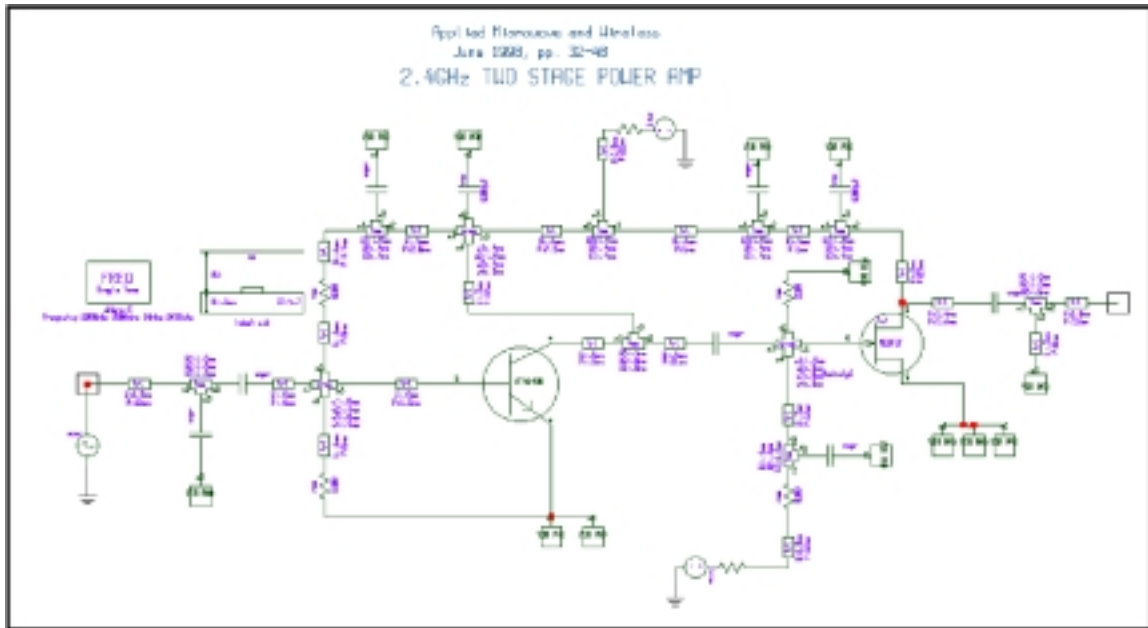
Ansoft New Jersey

### 摘要

本文介绍了一个用于ISM数字无线系统的2400MHz两极功率放大器。电路设计源自National Cheng Kung University，并在Applied Microwave and Wireless [1]中发表了技术报告。本文利用ANSOFT Serenade Design Environment对该功放电路进行了仿真，分析了电路的单音、双音特性，并用384KPS Pi/4 DQPSK对电路进行了数字调制分析，然后将分析结果与测量结果进行了比较。

### 电路说明

该放大器由两级放大构成，驱动级为HP-Advantek AT-41486BJT晶体管，输出级为Siemens CLY-2 MESTET。器件的模型由Serenade非线性有源器件库提供。CLY-2工作于甲类线性状态，其偏置点为 $V_{GS} = -1.3V$ ， $V_{DS} = 5V$ ，基板为FR4 ( $\epsilon_r=4.7$ ，厚度 $d=0.8mm$ )。功放的电原理图如图一所示：



图一 2400MHz 两级功率放大器

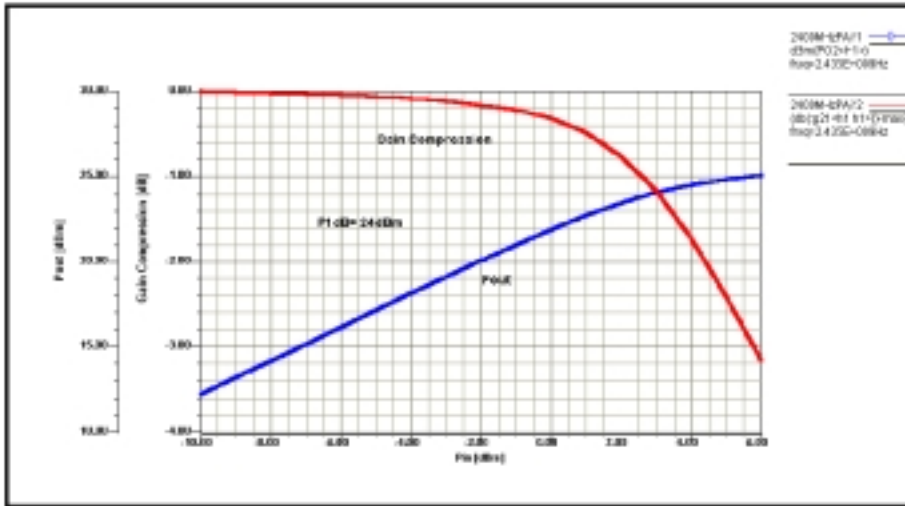
### 单音分析

对电路进行单音分析可得到其基本的射频特性。在Serenade中我们可以非常方便地对电路进行频率（从2350MHz到2500MHz）和功率（输入功率从-10dBm到6dBm）扫描分析。扫描分析的结果如图2到图4所示，除了图3之外，其余曲线均为 $f=2435MHz$ 时的结果。

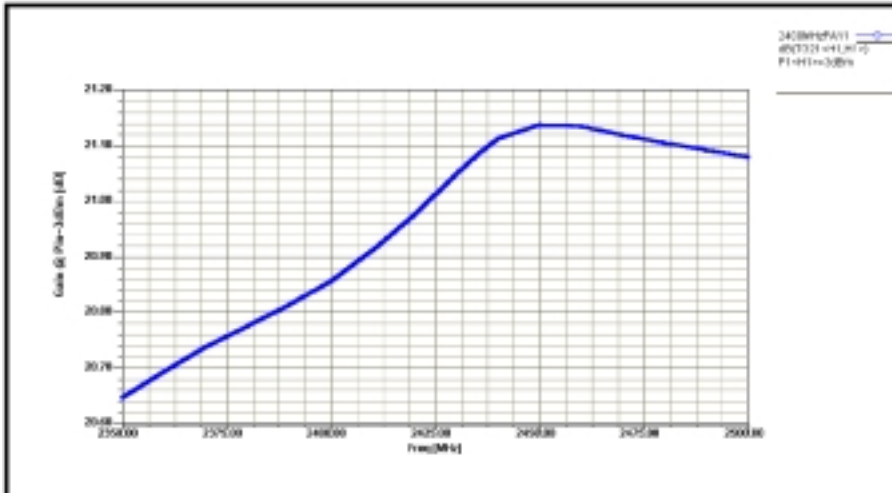
在图2中，我们可以清楚地看到该放大器的输入输出特性，得到其1dB压缩点功率 $P_{1dB}=24dBm$ 。

图3为该放大器的频率响应曲线，可以看到，在2350MHz到2500MHz，其平均增益为21dB，增益波动为 $\pm 0.3dB$ 。

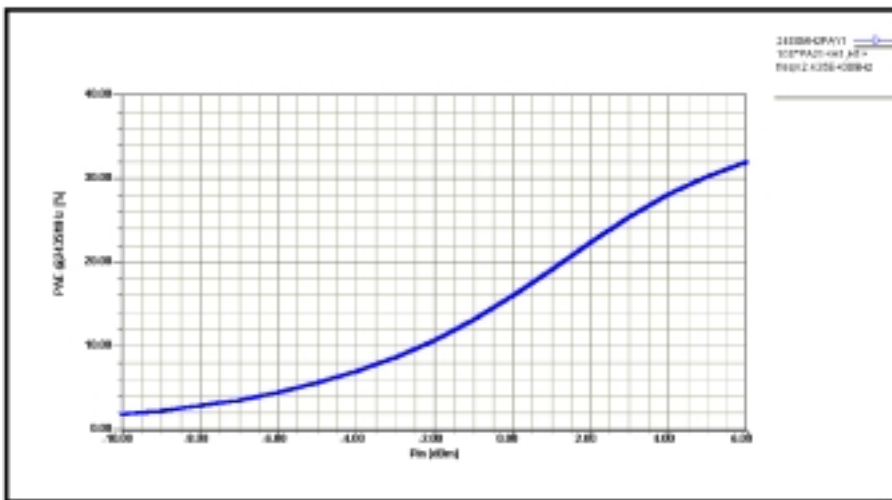
图4所示为放大器的效率与输入功率的关系曲线



图二 放大器的输出功率及增益



图三 放大器的频率响应



图四 放大器的效率

## 双音交调分析

对放大器的另一项重要的分析是双音分析。我们将两个频率非常接近且功率相等的信号注入放大器中进行双音分析，从而确定放大器的输出三阶交调点功率（OIP3）。

我们最感兴趣的交调产物是 $2f_1-f_2$ 和 $2f_2-f_1$ ，这是由于它们非常靠近输入信号，会直接影响放大器的动态范围。在本文中，我们设置的双音信号频率分别为 $f_1=2432\text{MHz}$ ， $f_2=2434\text{MHz}$ ，同时对输入功率从 $-10\text{dBm}$ 到 $6\text{dBm}$ 进行扫描。分析结果如图5到图6所示。

图5为一阶和三阶交调产物与输入功率产关系曲线，OIP3由两条曲线的线性部分外推得到，它们的交点就是三阶交调点（IP3）。交点的Y轴读数（ $33\text{dBm}$ ）就是OIP3。反推过去，其X轴的读数就是输入IP3。

图6为双音输入功率为 $-10\text{dBm}$ 时的输出频谱，可以看到，三阶交调产物大约比主信号低 $40\text{dB}$ 。

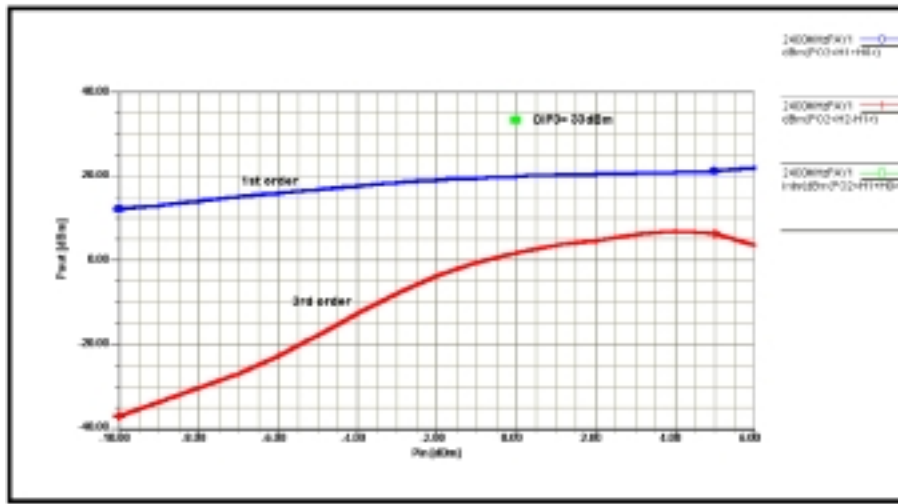


图5 双音功率扫描分析

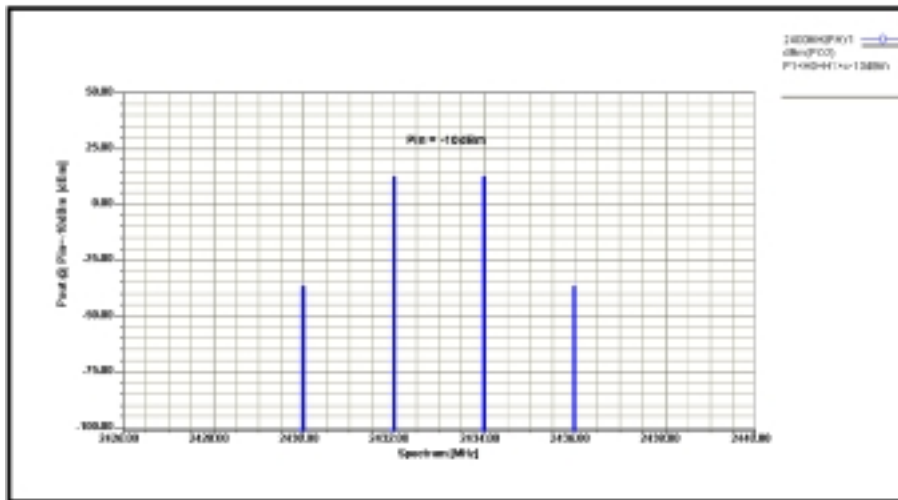


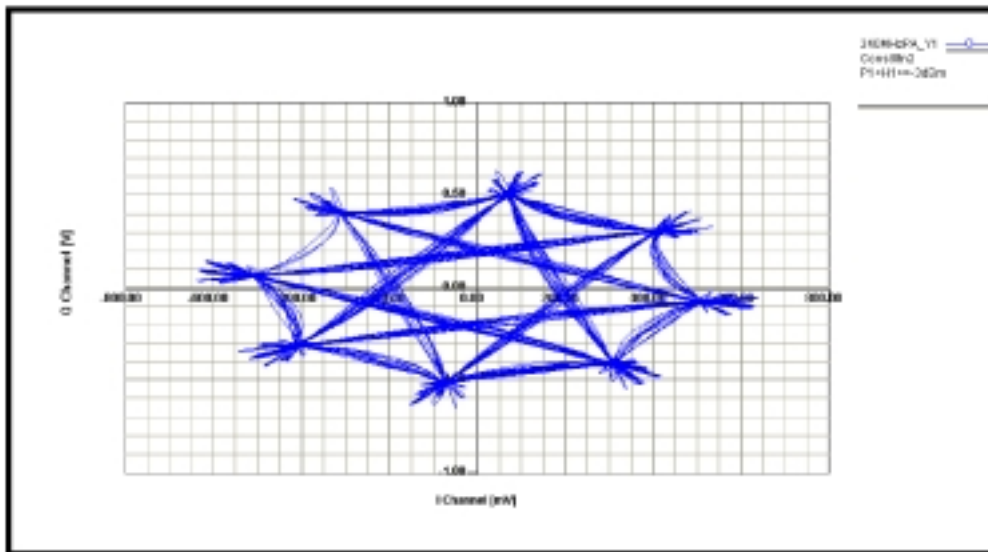
图6 双音交调产物

## 数字调制分析

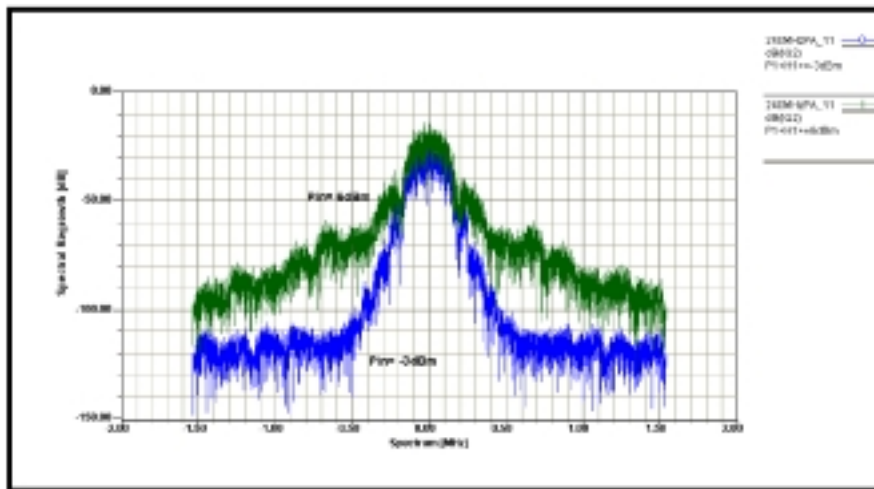
Ansoft Serenade 提供了非常方便的数字调制分析功能，可在电路级进行数字调制分析，快速地获取许多非常重要的性能参数，如频谱的再展宽、临道功率比 (ACPR) 及码间串扰 (ISI) 等。数字调制信号展宽了载波的频谱，而放大器的失真会造成频谱的再展宽，使部分能量进入相邻的信道中，我们在带内和相邻信道的两个一定宽度的频率范围内分别计算其相应功率，对临道功率比 (ACPR) 进行计算。ACPR 就是临道功率和信道内功率的比值，通常以 dB 表示。我们的设计目标是尽量降低 ACPR，以避免对相邻信道的干扰。带内频率和临道频率可在 Serenade 中数字调制源中指定。码间串扰 ISI 可方便地根据眼图得到，眼图中间张开的大小与接收机的误码率直接相关。信号数据的质量也可以由星座图中各状态转换线的清晰程度方便地得到。

文中在  $f=2435\text{MHz}$ ，采用 384KPS Pi/4-DQPSK 信号对电路进行数字调制分析，同时对输入功率  $P_{in}$  从  $-10\text{dBm}$  到  $6\text{dBm}$  进行了扫描分析。ACPR 计算采用的频率间隔为  $380\text{KHz}$ ，这在 Serenade 中可方便地在数字调制源中定义。图 7 到图 10 为数字调制分析的结果。

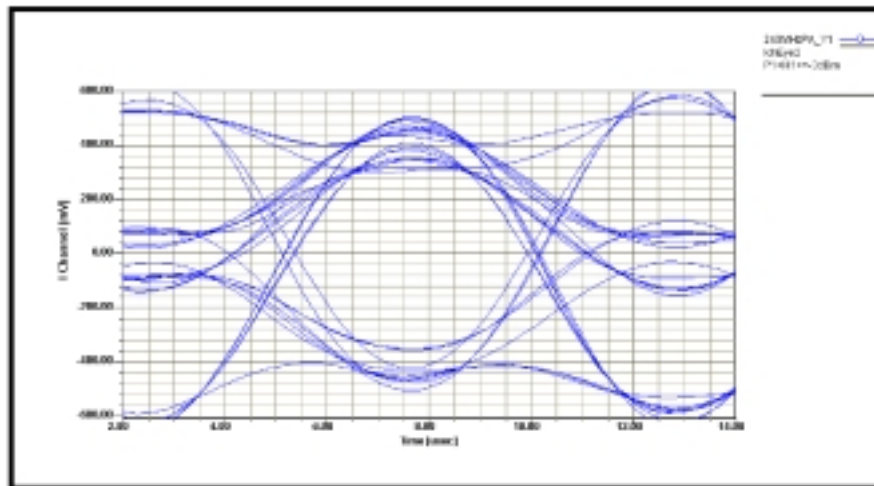
特别需要注意的是图 8 中频谱再展宽的情况，与  $P_{in}=-3\text{dBm}$  相比，当  $P_{in}=6\text{dBm}$  时，功率放大器已出现严重的增益压缩，因而频谱展宽非常明显，这清楚地表明了失真的增加对相邻信道的影响。图 8 也清楚地显示出这一点。



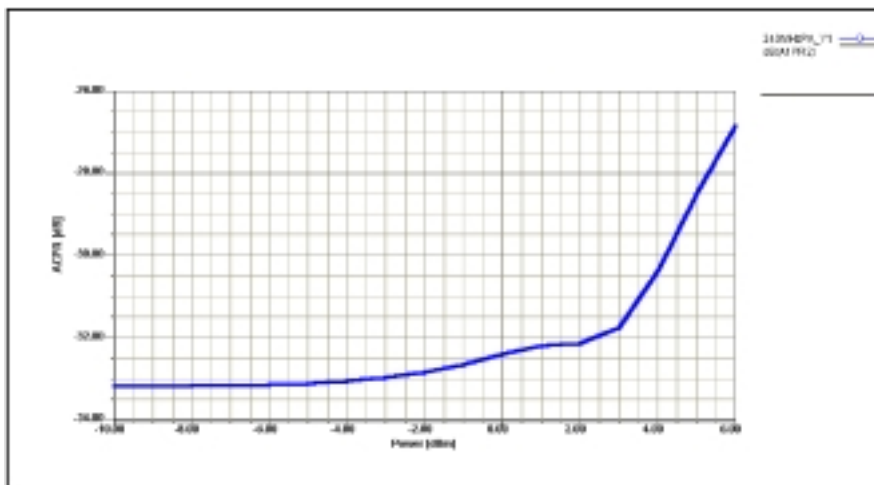
图七 输入功率  $P_{in}=-3\text{dBm}$  时的眼图



图八 Pin=-3dBm 和 Pin=6dBm 时调制载波频谱的再展宽



图九 Pin=-3dBm 时的眼图



图十 临道功率比与输入功率的关系

表一 用 Serenade 仿真的结果与测量结果 [参考文献1] 的比较

	Serenade	Ref.[1]
V <sub>DD</sub>	5V	5V
V <sub>GG</sub>	-5V	-5V
Gain	21dB	21dB
Gain Flatness	±0.3dB	±0.5dB
VSWR (Input)	1.8	<1.2
1dB Compression Point	24dBm	24dBm
Output IP3	33dBm	31.4dBm
Power Added Efficiency(P <sub>in</sub> = 3dBm)	26%	40%
Adjacent Channel Power Ratio*	-33dBc	-30dBc

## 结论

我们用 Serenade 对参考文献1中描述的两级 2400MHz ISM 放大器进行了仿真, 分析了放大器的单音、双音交调及数字调制特性, 并对仿真结果和测量结果进行了比较, 二者的一致性相当好。Serenade 非常容易使用, 可方便地得到各种结果, 同时又具有很好的仿真精度, 是射频、微波电路设计的理想工具。

## 参考文献

1. Sen-You Liu and Huey-Ru Chuang, "A 2.4GHz Transceiver RF Front-end for ISM-Band Digital Wireless Communications," *Applied Microwave and Wireless*, pp. 32-48, June 1998.



SUNSTAR 商斯达实业集团是集研发、生产、工程、销售、代理经销、技术咨询、信息服务等为一体的高科技企业，是专业高科技电子产品生产厂家，是具有 10 多年历史的专业电子元器件供应商，是中国最早和最大的仓储式连锁规模经营大型综合电子零部件代理分销商之一，是一家专业代理和分销世界各大品牌 IC 芯片和电子元器件的连锁经营综合性国际公司，专业经营进口、国产名厂名牌电子元件，型号、种类齐全。在香港、北京、深圳、上海、西安、成都等全国主要电子市场设有直属分公司和产品展示展销窗口门市部专卖店及代理分销商，已在全国范围内建成强大统一的供货和代理分销网络。我们专业代理经销、开发生产电子元器件、集成电路、传感器、微波光电元器件、工控机/DOC/DOM 电子盘、专用电路、单片机开发、MCU/DSP/ARM/FPGA 软件硬件、二极管、三极管、模块等，是您可靠的一站式现货配套供应商、方案提供商、部件功能模块开发配套商。商斯达实业公司拥有庞大的资料库，有数位毕业于著名高校——有中国电子工业摇篮之称的西安电子科技大学（西军电）并长期从事国防尖端科技研究的高级工程师为您精挑细选、量身订做各种高科技电子元器件，并解决各种技术问题。

微波光电部专业代理经销高频、微波、光纤、光电元器件、组件、部件、模块、整机；电磁兼容元器件、材料、设备；微波 CAD、EDA 软件、开发测试仿真工具；微波、光纤仪器仪表。欢迎国外高科技微波、光纤厂商将优秀产品介绍到中国、共同开拓市场。长期大量现货专业批发高频、微波、卫星、光纤、电视、CATV 器件：晶振、VCO、连接器、PIN 开关、变容二极管、开关二极管、低噪晶体管、功率电阻及电容、放大器、功率管、MMIC、混频器、耦合器、功分器、振荡器、合成器、衰减器、滤波器、隔离器、环行器、移相器、调制解调器；光电子器件和组件：红外发射管、红外接收管、光电开关、光敏管、发光二极管和发光二极管组件、半导体激光二极管和激光器组件、光电探测器和光接收组件、光发射接收模块、光纤激光器和光放大器、光调制器、光开关、DWDM 用光发射和接收器件、用户接入系统光收发器件与模块、光纤连接器、光纤跳线/尾纤、光衰减器、光纤适配器、光隔离器、光耦合器、光环行器、光复用器/转换器；无线收发芯片和模组、蓝牙芯片和模组。MRFXX、三菱 MOTOROLA、爱立信、ASI、富士通等军民用射频产品。惠普 Hp、安捷伦 Agilent 全系列高频放大管，微波集成电路 IC，混频管，PIN 管，肖特基管，MMIC，HEMT 等元器件。可能是惠普 Hp 安捷伦 Agilent 全系列产品现货最多，品类最全，价格最低的一家。竭诚为您服务，期待与你合作。长期以来真正坚持信誉第一，诚实为本！专业现货批发：Hp 惠普（Agilent 安捷伦 PHILIPSNEC、MOTOROLA、TOSHIBA、RFMICRO、HITTE、TYCO 等全系列高频放大管、射频管、微波集成 IC、PIN 管、混频管、肖特基管二、三级管等等。为 Hp 惠普 Agilent 安捷伦、PHILIPS 全系列国内经销商。欢迎索取免费详细资料、设计指南和光盘

商斯达微波光电网：[//www.rfoe.net/](http://www.rfoe.net/)

中国传感器科技信息网：[HTTP://WWW.SENSOR-IC.COM/](http://WWW.SENSOR-IC.COM/)

工控安防网：[HTTP://WWW.PC-PS.NET/](http://WWW.PC-PS.NET/)

消费电子专用电路网：[HTTP://WWW.SUNSTARE.COM/](http://WWW.SUNSTARE.COM/)

地址：深圳市福田区福华路福庆街鸿图大厦 1602 室 E-MAIL: [szss20@163.com](mailto:szss20@163.com)

电话：0755-82884100 83397033 83396822 83398585

传真：0755-83376182 83338339 邮编：518033 手机：(0)13902971329

E-MAIL:[xjr5@163.com](mailto:xjr5@163.com) MSN: [SUNS8888@hotmail.com](mailto:SUNS8888@hotmail.com) QQ: 195847376

技术支持: 0755-83394033 13501568376

深圳展销部：深圳华强北路赛格电子市场 2583 号 TEL/FAX: 0755-83665529 25059422

北京分公司：北京海淀区知春路 132 号中发电子大厦 3097 号

TEL: 010-81159046 82615020 13501189838 FAX: 010-62543996

上海分公司：上海市北京东路 668 号上海赛格电子市场 2B35 号

TEL: 021-28311762 56703037 13701955389 FAX: 021-56703037

西安分公司：西安高新开发区 20 所(中国电子科技集团导航技术研究所) 西安劳动南路 88 号电子商城二楼 D23 号

TEL: 029-81022619 13072977981 FAX:029-88789382