

# 基于物联网抗微波辐射通信计算机的设计

黄 臣

(北京太极信息系统技术有限公司, 北京 100083)

**摘 要:**核心部门使用的基于物联网的高性能计算机,需要在电磁干扰下,特别是在抗高功率微波作用环境下仍能正常工作。从抗高功率微波的需求出发,从信号滤波设计、信号光电转换设计和板卡设计着手,详细介绍了通信计算机关键电路设计,包括物联网层次结构、高功率微波工作原理、部分光电转换设计、电源的滤波设计以及微波实验。通信计算机通过供电输入设计、自研主板等关键板卡设计,包含直流滤波功能、功率变换电路和物联网关键部件的设计,实现了抗微波辐射的电路及结构模块。基于物联网高性能计算机需要经过多种测试来验证其设计的有效性,经过多种抗微波辐射试验测试,物联网高性能计算机通过了试验,实验结果验证了设计的有效性和可靠性。

**关键词:**物联网技术;抗微波辐射;计算机通信;微波滤波器

**中图分类号:**TP31

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2017)10-0049-05

**doi:**10.3969/j.issn.1673-629X.2017.10.011

## Design of Anti-HPM Communication Computer with Internet of Things

HUANG Chen

(Beijing Taiji Information System Technology Company Ltd., Beijing 100083, China)

**Abstract:** The high performance computer based on Internet of Things which the key department uses can work normally in electromagnetic disturbing, especially the HPM disturbing. Based on the needs of anti-HPM application, combined with design of signal filter, fiber transimission and circuit board, the main circuit design of mainboard and key component in the communication computer has been presented, including Internet of Things hierarchy, high power microwave working principle, parts of the fiber-electric conversion design, design of power filter, and anti-HPM experiment. Communication computer consists of power supply input and the self-researched main board including DC filter, power exchange circuit, main components of IoT, which realize the circuit and the structure module of the anti-HPM. Verification tests based on the Internet of Things anti-HPM computer design have been conducted to prove availability of the computer. The experimental results show that the design is effective and reliable.

**Key words:** Internet of Things technology; anti-HPM; computer communication; microwave filter

## 0 引 言

在物联网日益深入的今天,它作为一种形式多样的聚合性复杂系统,是新一代信息技术的重要组成部分,同时作为物联网最重要的终端之一,计算机应具备抗电磁辐射,尤其是抗微波辐射的能力。

高功率微波(High Power Microwave, HPM)作为一项较成熟的技术已经应用于军事、通讯、应急等领域。物联网和高功率微波的结合在日常生活中已有应用,研究并研制基于物联网抗微波辐射通信计算机显得尤为迫切,微波滤波器和应急技术及相关电路设计为实现计算机提供了有效保障。作为高功率微波武器,它可以通过各种方式耦合到电子设备中,破坏设备

电路、存储介质等关键器件。美国在利比亚战争中用微波脉冲炸弹空袭了利比亚电视台及通讯设施,导致电视台等部门瘫痪了五小时之久。将研发的抗高功率微波辐射的计算机用于物联网通信中显得非常有意义。

针对国内在抗高功率微波物联网计算机研究方面落后于发达国家的现状,需要通过相关研究来推动技术的进一步发展。为此,提出了抑制浪涌的模块设计思路,并进行了相应的研究与验证工作。

## 1 物联网及高功率微波工作原理

### 1.1 物联网层次结构

物联网与传统互联网的七层模型不同,它由网络

收稿日期:2016-10-01

修回日期:2017-02-16

网络出版时间:2017-07-11

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61170115)

作者简介:黄 臣(1966-),男,硕士,高级工程师,研究方向为物联网及计算机工程应用。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20170711.1455.042.html>

传输层、应用服务层、感知控制层组成,以往公共技术不属于物联网技术的特定层面,但其与物联网模型架构的这三层都有关系,包括应急信息安全技术、应急标识和解析、智能网络管理及应急广播质量管理。物联网终端在高功率微波环境下能否正常工作,关系到核心部门的信息安全问题,所以研发抗高功率微波计算机显得十分必要。

1.2 高功率微波工作原理

微波通常指频率 300 MHz ~ 3 000 GHz,波长 0.1 mm ~ 1 m 波段的电磁波<sup>[1]</sup>。在工程中通常使用拉丁字母代表微波波段的名称。

高能量微波 (HPM), 又称高功率电磁波<sup>[1]</sup>, 通常是指电磁微波的脉冲峰值功率在一百兆瓦特及以上, 频率在 900 MHz ~ 300 GHz 范围内的电磁能量脉冲。此高功率微波武器将高功率微波源产生的微波经高增益定向天线辐射, 以极高的强度照射目标, 达到杀伤人员和破坏电子设备的目的<sup>[2]</sup>。

HPM 作用原理分析: 从整个过程来看, 设备受破坏的过程是由“收集→耦合→破坏”三部分组成的。

首先收集是由起接收天线作用的各种类型的集流环(金属类导电体)来收集高功率电磁波能量, 像天线馈线、大型天线、分支线和天线支架。集流环的尺寸越大, 收集到的能量越大。

耦合主要有电感应式、磁感应式、电阻耦合三种方式, 其耦合途径主要有下列 5 种:

(1) 极天线耦合: 广义上讲, 所有处于电磁场作用的金属导体均可认为是天线, 包括常用的金属体导线、应急广播器具、无线电接收天线、非绝缘传输电缆、金属连接棒、引线等。

(2) 屏蔽电缆传输过程耦合: 长期处于电磁波辐射下的屏蔽电缆在其屏蔽层表面会产生电流, 尽管受趋肤效应作用, 但由于其辐射强度大, 会阻抗耦合, 在电缆的若干芯线上仍会产生较大的电流。

(3) 缝隙或孔洞耦合: 对高能电磁波的防护方法首先要采用屏蔽措施, 但由于高功率微波的波长在若干毫米至厘米级别, 频率较高, 经常是孔洞或者缝隙的尺寸要大于半波长, 这样电磁波就能进入屏蔽壳内。对于舰船、卫星、飞机而言, 均存在小缝隙或孔洞; 对于地面设施而言, 缝隙或孔洞要更多, 因而电磁波功率越大时, 其泄露也更严重。当其功率太高时, 更能导致空气电离现象, 此时反而对设备起到了一定的屏蔽作用, 但是这种情况理论比较复杂。

(4) 物联网终端电源线耦合: 电源线耦合十分相似于传输电缆耦合。终端电源线经常会有一段暴露于电磁波下, 其非常容易导入高功率电磁波。

(5) 电磁回路耦合: 通过麦克斯韦方程得知, 大电

流或电磁波经过所有回路时均会产生电磁场耦合。

根据耦合进微波能量的大小, 高功率微波的破坏效应可以从三个程度来描述:

(1) 干扰: HPM 相当于超级干扰源, 能干扰现有的通信系统。

(2) 破坏: HPM 功率高到可以破坏电子系统中的微型电路。

(3) 加热: HPM 功率高到可以加热目标。

高功率微波对计算机及其系统产生的效应现象如表 1 所示。

表 1 物联网计算机在不同功率密度微波辐照下的效应现象

高功率电磁波能量	物联网终端效应现象
0.011 ~ 1 mW/cm <sup>2</sup>	计算设备节点的工作受到干扰
0.01 ~ 1 W/cm <sup>2</sup>	计算机设备的芯片被损伤
9.99 ~ 100 W/cm <sup>2</sup>	电子元器件被烧毁
999 ~ 10 000 W/cm <sup>2</sup>	所有计算机节点被摧毁

由此可知, 物联网重要终端之一的通信计算机在抗高功率微波技术研究上显得尤为重要。

2 微波滤波器

2.1 微波滤波器简介

微波滤波器, 又叫电磁波滤波器, 它与传统的电源滤波器有所不同, 因为微波滤波器制造工艺复杂, 并且在微波环境下, 电信号传输会受到强烈的干扰, 因此对于计算机外部的接口信号可通过电路设计将电信号转成光信号, 以光纤接口的形式与外界通讯<sup>[3]</sup>。其中涉及到光电转换的软件设计和硬件设计, 包括对接口协议进行编解码处理和光电器件的电阻电容匹配端接处理。

针对上述在研究和实践过程中遇到的技术难点, 主要在电源微波滤波器的设计上采用现代微波滤波器的设计方法, 根据防护要求设计出高性能微波电源滤波器, 实现 GHz 以上频段的电源微波滤波。

2.2 微波滤波器设计

针对计算机系统, 除了从加强屏蔽的角度提高计算机防护能力外, 去除从传输线缆耦合来的 HPM 干扰也是一个关键问题, 当频率在 300 MHz 以上, 集总参数电子元器件(电容、电感等)会由于寄生效应而导致品质因数降低, 无法实现其原有的电路功能, 因此针对微波频段的滤波, 需要设计专门的微波滤波器来实现滤波效果。

2.2.1 滤波原理

滤波网络如图 1 中 A 范围所示。当高频信号(噪声)通过时, 其感抗  $j\omega L$  较大, 此时容抗值  $-j/\omega C$  较小,

施加在电感  $L$  两端的电压有个较大的压降,图 1 中电容  $C$  近似地把负载  $R_2$  短路,虽然电源  $E_g$  电动势保持不变,电阻负载  $R_2$  两端的压降接近于零。其中网络 A 是由电抗元件组成的,电抗元件不消耗功率,高频功率在这个电路中有时在电感中作为磁能,有时由电感  $L$  交还于电源,这样高频功率在电感和电源间来回交换,阻止了高频功率传送到后级的负载电路。

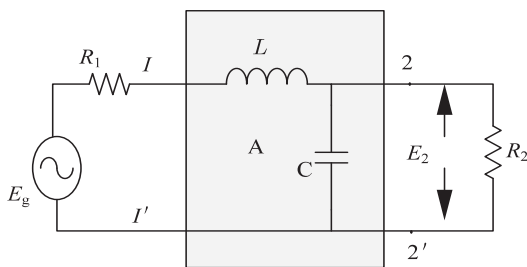


图 1 滤波网络电路

### 2.2.2 滤波器的性能参数

滤波器的电源电动势为  $E_g$ , 内部电阻为  $R_1$ 。设定负载为  $R_2$ , 当直流负载直接与供电电源相连时, 其所能吸纳的能量  $P_{02}$  为:

$$P_{02} = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)^2} E_g^2 \quad (1)$$

考虑到滤波器的特性, 当供电电源频率  $\text{Hz}$  变化时, 表现在  $R_2$  两端的压降  $E_2$  会发生变化。由  $R_2$  从供电电源处获得的功率 ( $P_2 = E_2^2 / R_2$ ) 在不同频率段是不同的。用分贝  $\text{dB}$  表示  $P_{02}$  与  $P_2$  的比值, 设定为插入损耗  $L_i$ :

$$L_i = 10 \lg \frac{P_{02}}{P_2} \quad (2)$$

理想状态下微波滤波器的插入损耗值  $L_i$  在通带内接近于零, 并且在止带内数值是极限正无穷大。

### 2.2.3 LC 低通滤波器的设计

低通滤波器的设计通常有两种方法: 第一种称为镜像参数法。依照滤波网络的设计电路和内在特性, 用计算分析的方法验算出变换器损耗值特性。随后把这些具体电路组装起来, 使得总  $L_A$  特性满足所需要的技术指标。此方法理论根据相对简便, 缺点是在分析过程中未考虑外接负载的作用, 所以在提出具体的设计要求后, 还需反复循环试探, 方能取得理想的设计结果。

第二种方法从插入损耗着手, 这个是最常用、最近较常用的设计方法, 同时也是文中设计采用的方法。该方法根据提出的技术指标, 决定频率  $\omega$  与插入损耗  $L_i$  的函数表达式, 依据这个函数关系式, 采纳相关网络理论融合出具体的电路构架。该方法的优点是准确性设计, 同时考虑到了外连部件负载的作用, 不需再进行扩展性试验。然而数据前要求的微波母型滤波器设计出来

后, 可以通过读图查表和使用矩阵和高等数学来换算数据获得<sup>[4]</sup>。

典型的低通滤波器特性有贝塞尔特性、巴特沃斯特性、切比雪夫特性以及联立切比雪夫特性。每种滤波器的特性都有其特点, 根据设计需求 (需要较好的截止特性), 采用切比雪夫特性的滤波器作为滤波器原型进行设计。

(1) 根据技术指标确定滤波器的阶数  $n$ 。

$$n \geq \left\lceil \frac{\text{ch}^{-1} \sqrt{(10^{L_{\text{as}}/10} - 1)/\varepsilon}}{\text{ch}^{-1} \omega} \right\rceil \quad (3)$$

其中,  $L_{\text{as}}$  为带外抑制;  $\varepsilon$  为波纹因子;  $\omega$  为归一化频率。

(2) 选择好切比雪夫的归一化模型, 进行反归一化, 利用设计中的截止频率和特性阻抗计算出实际滤波器的元件值。

$M$  = 设计指标截止频率/归一化截止频率 (4)

$K$  = 设计指标特性阻抗/归一化特性阻抗 (5)

滤波器截止频率变换:

$$L_{\text{NEW}} = \frac{L_{\text{OLD}}}{M} \quad (6)$$

$$C_{\text{NEW}} = \frac{C_{\text{OLD}}}{M} \quad (7)$$

滤波器特性阻抗变换:

$$L_{\text{NEW}} = L_{\text{OLD}} \times K \quad (8)$$

$$C_{\text{NEW}} = \frac{C_{\text{OLD}}}{K} \quad (9)$$

将所得的新电感电容参数代入到原切比雪夫归一化模型中, 即可得到所需性能的滤波器模型。

## 3 基于物联网的抗微波辐射计算机设计

### 3.1 电路结构总体设计

物联网是信息终端之间的通信和传输, 传输途径遭受电磁乃至微波辐射仍不受影响显得尤为重要。为了使设计的基于物联网计算机达到抗高功率微波等强抗干扰的目标, 该计算机的主要板卡都是自主研发设计, 通过从元器件级入手, 提高计算机的可靠性。主要模块有:

电源滤波模块: 包括专用的微波滤波器模块和常用的低通滤波模块。

电源模块: 基于物联网抗微波辐射电源, 将 220 V 交流电转成所需的 5 V, 3.3 V, 12 V。

主板及背板模块: 基于 Type6 的 COM-E 模块设计的抗辐射主板。

接口光电转换模块: 将串口, 网口, PS2, DVI 信号转成光信号。

经过微波滤波、低通滤波及浪涌抑制处理后, 输入



的 220 V 交流电可经抗微波辐射电源模块进行电压转换,如图 2 所示。

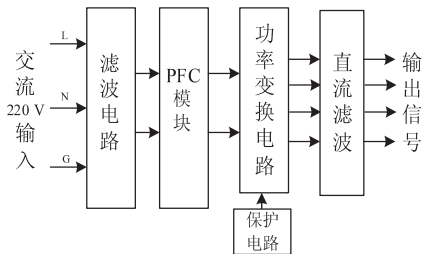


图 2 抗微波辐射电源模块内部功能框图

抗微波辐射电源模块各部分功能如下:PFC 部分为了提高功率因数 PF,减小电流谐波对电网环境的污染,采用高效率、高功率因数的 PFC 模块来实现,简单可靠。

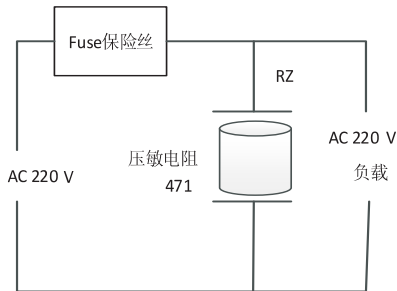
功率变换电路经过 PFC 模块变换后,交流电压转换为 360 V 的高压,于是功率变换电路再次将此电压转换为计算机所需要的电压+12 V、+5 V、+3.3 V。此电路为功率变换的核心部分,采用电源模块实现。

保护电路包含了对整机电源的所有控制和保护功能,包括输入交流电压采样,输入交流电压过欠压保护、输出过欠压保护、过载保护、过热保护等。该电路强化了电源的多功能、高性能和高可靠性等特点<sup>[5]</sup>。

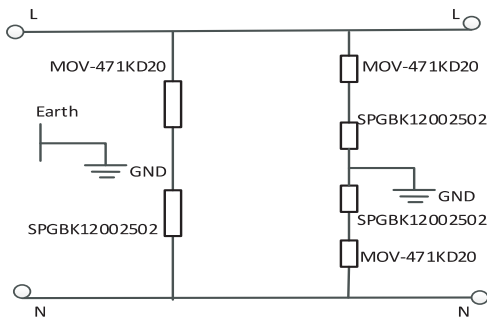
直流滤波部分为了减少电源的共模噪声和差模噪声对计算机设备的干扰,在电源输出端增加滤波电路,提高了电源的 EMC 性能。

### 3.2 输入供电设计

设计采用市电交流 220 V 供电,在计算机内采用



(a) 压敏电阻原理



(b) 压敏电阻与气体放电管组合作用电路

图 3 防雷击浪涌设计原理

电路中串联了一种气体放电管,这种放电管是基于间隙式的有效防雷保护元器件。每当气体放电管外部两端电压增加到使极间场强超过气体的绝缘强度时,放电管两极之间的间隙由于快速放电而被击穿,相当于放电管变成电阻,此时其由原来的绝缘态转变成导电态。放电管两极导通后,两端的电压维持在放电弧道所决定的残压水准<sup>[8]</sup>。这种残压一般情况下会非常小,起到保护与气体放电管并联的后级电路的作用。

### 3.3 自研主板设计

整个主板是基于嵌入式模块 COM-Express 设计

专用的抗微波辐射电源将 220 V 转换成 5 V、3.3 V、12 V。供电部分输入过程需进行滤波、防浪涌雷击等处理。

#### 3.2.1 滤波模块设计

电源的输入滤波处理包括微波滤波和低通滤波两部分,微波滤波器设计参考 2.2 节的方法,设计出截止频率为 1 GHz 的同轴低通滤波器<sup>[6]</sup>。

低通滤波器主要针对 100 MHz 以下的高频噪声,通常是电源的共模差模干扰,像闪电暂态电压采集波形的高频频谱中含有大量的能量分量(无法忽略的频率范围为 0.99 ~ 10 MHz),物联网计算机开关电源产生的共模噪声(频率范围从 9.99 kHz ~ 50 MHz),研究尽可能地衰减这段频段的噪声,防止输入干扰电源,同时也防止电源的噪声干扰电网。在电路中设计由共模电感、差模电感、Y 电容、X 电容等组成的低通滤波模块,用于抑制其共模干扰和差模干扰。

#### 3.2.2 浪涌抑制模块设计

设计用压敏电阻和气体放电管组合成防雷保护电路,如图 3 所示。当电源为 220 V 时,压敏电阻的阻值是无穷大,电阻相当于开路,正常工作。当最大电压高于 471 V AC 时(交流 220 V 电压的峰值是 311 V AC),压敏电阻会马上击穿形成短路现象,从而保护后面的电路<sup>[7]</sup>。压敏电阻参数有:使用电压范围、通流容量、常态泄漏电流、残压水平、动作响应。综合考虑以上因素,通常选用氧化锌压敏电阻。

的,具有各个计算机功能接口的自研主板<sup>[9]</sup>。

需要采用专用芯片和可编程逻辑器件等,设计实现各计算机接口的电光转换及相关的功能模块<sup>[10]</sup>。

## 4 实验验证

### 4.1 微波实验条件设定

实验终端微波源设定有两个方面:

(1)1 GW 超宽(带宽频率 1.1 Hz ~ 100 Hz)微波源(其功率为 1 GW 左右、脉冲宽度为 3 ns、可以单次运行、频率是可调的)<sup>[11]</sup>;

(2)窄带频段(频率 1.31 GHz)L 磁控管微波源(功率 1 MW、脉宽为 20 ns~1 μs 可调、重频近似 100 Hz)。

依照上述微波源设定,对物联网抗微波辐射通信计算机设备进行抗高功率微波相关实验,测试计算机在多种高功率微波辐射下的防护性能<sup>[12]</sup>。实验结果表明,设备在高功率电磁微波的干扰下能正常运行和工作<sup>[13]</sup>的微波功率密度最大值如表 2 所示。

表 2 抗高功率微波实验结果对比

微波源	物联网计算机实验结果	GJB151A-97 定义值
UWB(超宽带)	62.11 kV/m(电场场强)	200 V/m
L 波段	38.1 W/cm <sup>2</sup> (功率密度)	0.01 W/cm <sup>2</sup>

4.2 实验分析

国家军标 GJB151A-97 中 RS103(电场辐射敏感度)规定电场电磁频率在 30 MHz~40 GHz 范围内,其电场辐射发射敏感度的最大辐射场强值是 200 V/m,以空间波阻抗 377 Ω 为基础进行推导,功率谱密度为 0.01 W/cm<sup>2</sup><sup>[14]</sup>。

依照上述实验结果,相比较 GJB151A-97 中电场辐射敏感度章节中规定的 0.01 W/cm<sup>2</sup>,结合物联网特性<sup>[15]</sup>,所设计的计算机在 L 波段(1.31 GHz)和 Ultra Wide Band<sup>[16]</sup>超宽带波段内的防护性能都明显高于规定指标。进行相关计算,频率为 1 GHz 的 10 G 瓦高功率微波源在 5.1 km 外辐照中心的功率场强为 9 000 V/m<sup>[17]</sup>,功率密度约 22 W/cm<sup>2</sup>。考虑到实验环境制约,因 L 波段的微波源功率微小,实验测试数据未能测得抗高功率微波计算机的最高微波防护水准<sup>[18]</sup>。结合表 2 计算机系统在不同功率密度微波辐照下的效应现象,从分析计算和实验结果来看,设计的基于物联网抗高功率微波高性能计算机可以防护 10~100 W/cm<sup>2</sup>量级的微波干扰,完全满足实际的防护需求。

5 结束语

基于物联网抗微波电磁辐射通信计算机,使用物联网技术、结合相关算法的同时,设计优化了特殊的微波低通滤波器和抑制浪涌模块。完成了基于物联网抗微波辐射通信计算机的设计和实验,结果表明,该设计能够满足实际的防护需求。通过多种类实验的合格结果证明了设计的有效性,目前该技术在国内处于领先

水平。

参考文献:

[1] 魏 强,李 燕,邓学文,等.管状低通滤波器的设计[J].压电与声光,2007,29(5):505-507.

[2] 刘勇波,樊 祥,韩 涛.高功率微波作用机理及影响条件分析[J].电子对抗技术,2003,18(4):41-45.

[3] 刘卓贡.EPS 电源滤波电路的建模和仿真[D].上海:同济大学,2007.

[4] 姜治北.高功率微波作用下的计算机系统失效机理研究[D].成都:电子科技大学,2006.

[5] 张 雷,陈 康,张在飞.20 路多种类串口卡的设计与实现[J].计算机与现代化,2013(8):187-191.

[6] 张卓臻.基片集成波导矩形腔双模滤波器设计研究[D].南京:南京邮电大学,2012.

[7] 杨秀忠.物联网技术在智慧城市中的应用[J].中国新通信,2013(20):74-75.

[8] 张 雷.加固计算机肋片散热器的优化设计[J].计算机与现代化,2014(6):120-123.

[9] 金 旭,段崇桧,欧祥荣,等.X 波段全极化微波辐射计的计算机仿真[J].遥感技术与应用,2012,27(6):873-879.

[10] 王嘉伟.圆极化波孔缝耦合研究[D].成都:电子科技大学,2008.

[11] 秦 钊,路 明,刘敬蜀,等.高功率微波对无线电引信的效应分析[J].舰船电子工程,2011,31(8):102-104.

[12] 冯子睿.超宽带脉冲对腔体孔缝及连接的耦合效应研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2009.

[13] 刁振河.高功率微波防护的相关问题研究[D].长沙:国防科学技术大学,2006.

[14] 潘家利,周茂华.低压配电系统浪涌保护器及雷电浪涌防护[J].广西气象,2002,23(2):61-63.

[15] 王志良,王粉花.物联网工程概论[M].北京:机械工业出版社,2014.

[16] Cui W,Li M,Luo X,et al. Anticipating EMI from coupling between high-speed digital and I/O lines[C]//IEEE international symposium on electromagnetic compatibility. [s. l.]: IEEE,1999:189-194.

[17] Han Jing,Xie Lun,Li Dan,et al. Cognitive emotion model for eldercare robot in smart home[J]. China Communications, 2015,12(4):32-41.

[18] Han Jing,Xie Lun,Xu Shangmou,et al. Review of human-robot interactive modelling and application for elders[J]. Computer Modelling & New Technologies, 2014,18(12):408-413.