

单片机系统设计的误区与对策

南京河海大学电气工程学院(210098) 王柏林 TP3 B

摘要: 用电磁兼容性理论剖析了单片机系统设计中的某些传统观念,指出其过时和失误之处,给出了根据电磁兼容性理论设计单片机系统的新理念,还给出了双时限看门狗、定时复位看门狗、抗快速脉冲群滤波器、电磁兼容 PCB 等新的设计方法。

关键词: 单片机 电磁兼容性(EMC) 电磁干扰(EMI) 看门狗(WatchDog)

单片机系统在军事、工业、民用产品中的应用越来越广。它将许多以往用硬件实现的功能由软件来完成,体积小、功能丰富、智能化程度高,但在可靠性方面也面临许多新问题。用现代电磁兼容性(EMC)理论剖析单片机系统设计中的某些传统观念,会发现许多误区,并且有些误区至今还在工程界广为存在。

1 误区之一:有了看门狗就不会死机

死机是指 CPU 的程序指针进入一个死循环,无法执行正常的程序流程。其外在表现常常是:正常功能

丧失,按键无响应,显示凝固。单片机死机后,只有复位才能走出死循环,执行正常的程序流程。众所周知,克服死机的最有效手段是加看门狗(WatchDog)。

目前用得最广泛的看门狗实际上是一个特殊的定时器 DogTimer。DogTimer 按固定速率计时,计满预定时间就发出溢出脉冲使单片机复位。如果每次在 DogTimer 溢出前强行让 DogTimer 清零,就不会发出溢出脉冲。清零脉冲由 CPU 发出,在单片机程序中每隔一段语句放一个清 DogTimer 的语句——FeedDog 语

(接上页)

保护器件有:火花隙、气体放电管、压敏电阻(MOV)、瞬态抑制二极管(TVS)和电流型硅浪涌保护器件等。本实验对响应速度最快的 TVS 性能进行了研究。

TVS 以响应速度快、瞬态功率大、漏电流小著称,它能以 10^{-12} s 量级的速度将两极的高阻抗变为低阻抗,吸收数千瓦的浪涌功率,使两极电压箝位于预定值^[4]。在进行单片机加固实验时,在电路中的各敏感点与地之间并联 TVS 器件,收到了良好的效果。

在前面的典型故障原因分析中,提到 RST 脚上的干扰信号是产生重启的原因之一。为此,在 RST 和地之间并联一个型号为 SA5.0A (箝位电压为 5V,单向)的 TVS。在实验室温度为 31°C,湿度为 53%时,测得并联前后 RST 脚上的干扰信号波形如图 3 所示。图

3 表明,并联 TVS 后,RST 脚的干扰信号受到了明显衰减。同时还测出了并联前后出现重启的最低放电电压分别为 3.8kV 和 7.5kV。

为进一步证明引起重启的第二种原因存在的可能性,将单片机的 12MHz 换为 6MHz,此时,RST 脚上需出现不小于 $4\mu\text{s}$ 的高电平才能使单片机可靠复位,而 RST 上的干扰信号的持续时间达不到 $4\mu\text{s}$,不足以使单片机复位。实验测得,工作频率为 6 MHz 时,加装 TVS 后单片机发生重启的最低放电电压基本不变,重启是由 CPU 内部的复位信号线上的干扰信号所致。

ESD EMP 对单片机系统的辐照效应实验表明,单片机系统在 ESD EMP 作用下,会产生重启、死机、通讯出错等多种故障现象。对单片机实施屏蔽和旁路保护等措施可有效提高其抗干扰能力。

参考文献

- 1 Laurin, Zaky G, Keith G Balmain. On the Prediction of Digital Circuit Susceptibility to Radiated EMI. IEEE Trans. On EMC, 1995; 37(4): 528~535
- 2 孔慧,徐国华.微机应用系统程序失控的若干防护措施.微型机与应用,1996; 15(9): 31~33
- 3 陈粤初.单片机应用系统设计与实践.北京:北京航空航天大学出版社,1991.10
- 4 王幸之,王雷.单片机应用系统抗干扰技术[M].北京:北京航空航天大学出版社,2000.

(收稿日期:2001-08-29)

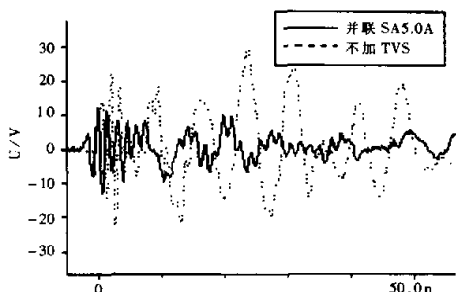


图3 加 TVS 前后 RST 脚上的干扰信号

句,以保证程序正常运行时 DogTimer 不会溢出。一旦程序进入一个不含 FeedDog 语句的死循环, DogTimer 将溢出,导致单片机复位,跳出这个死循环。本文称这种看门狗为典型看门狗,典型看门狗已被集成化,如 MAX706, MAX791 等^[1];还有许多单片机本身集成了这种看门狗,如 PIC16C57、MC68HC705 等,具体电路可参阅这些芯片的技术资料^[2]。

有一个错误观点:加了看门狗,单片机就不会死机。实际上,看门狗有时会完全失效。当程序进入某个死循环,而这个死循环中又包含 FeedDog 语句,这时 DogTimer 始终不会溢出,单片机始终得不到复位信号,程序也就始终跳不出这个死循环。针对这一弊端,笔者设计了双时限看门狗和定时复位看门狗。

双时限看门狗有两个定时器:一个为短定时器,一个为长定时器。短定时器定时为 T_1 ,长定时器定时为 T_2 , $0 < T_1 \ll T_2$;长、短定时器的 FeedDog 是各自独立的。短定时器象典型看门狗那样工作,它保证一般情况下看门狗有快的反应速度;长定时器的定时 T_2 大于 CPU 执行一个主循环程序的时间,并且每一个主循环才 FeedDog 一次,用来防止看门狗失效。

这样,当程序进入某个死循环,如果这个死循环包含短定时器 FeedDog 语句而不包含长定时器 FeedDog 语句,那么长定时器终将溢出,使单片机复位。巧妙安排长定时器 FeedDog 语句的位置,可保证出现死机的概率极低。在水轮发电机组微机控制装置中的对比应用证明了这一点^[3]。

目前几乎所有的看门狗都是依赖于 CPU (依赖于 CPU FeedDog)。这可以比作:一个保险设备能否起到保险作用还依赖于被它保护的对象的行为。显然,依赖于 CPU 的看门狗是不能保证单片机百分之百不死机的。

在绝对不允许死机的装置中,笔者设计了一种完全不依赖于 CPU 的看门狗——定时复位看门狗。定时复位看门狗的主体也是一个定时器,到预定时间就发出溢出脉冲,此溢出脉冲使单片机强行复位。定时复位看门狗不需要 CPU FeedDog。

简言之,定时复位看门狗就是定时地让单片机强行复位。这样,即使装置死机,其最大死机时间也不会大于定时器的定时时间。显然,只要硬件完好,这种看门狗百分之百地保证了单片机不会长时间死机。在智能电表(包括 IC 卡电能表、复费率电能表、多功能电能表^[4])中采用了定时复位看门狗,每 1 秒让 CPU 强行复位,迄今数十万电表运行了近五年,无一例死机报告。

必须指出,采用这种看门狗, CPU 的编程要适应定时复位的环境,保证定时复位不中断那些不能中断的程序,不造成任何误动作。

2 误区之二:加电源滤波器能提高 EMC 性能

在单片机系统中,为了抑制电磁干扰(EMI),常常在交流电源进线与电源变压器之间加电源滤波器。常用的电源滤波器如图 1。

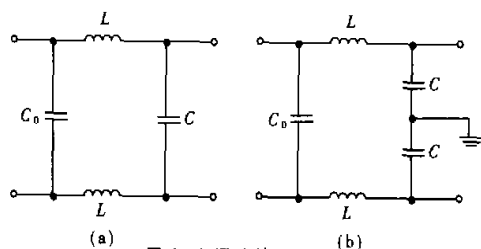


图 1 电源滤波器

图 1 都是双 Π 型 LC 滤波器,其中 C_0 专用于旁路差模干扰。两者的不同之处在于:图 1(b)两个电容接地。设电感的电阻为 R ,它们的幅频特性分别是:

$$A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{(2\omega RC)^2 + (1 - 2\omega^2 LC)^2}}$$

$$A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{(\omega RC)^2 + (1 - \omega^2 LC)^2}}$$

当 R 很小时,上述两个滤波器的谐振频率分别为:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{2LC}}, \quad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

可见,它们的幅频特性相似,谐振频率不同。从滤波效果来看,两者对于降低来自交流电的差模干扰效果差不多,但是后者对于降低共模干扰效果更好。不过,对于采用浮地方式的装置,由于电容不可能直接接地,所以只能用前者。

设计滤波器时必须注意让谐振频率远小于干扰频率,处理不好不仅不能衰减干扰,反而放大干扰。以图 1(a)的双 Π 型滤波器为例,如果取 $L=1\text{mH}$, $R=1\Omega$, $C=0.47\mu\text{F}$ (这是许多资料推荐的参数),可计算出 $f_0=5.2\text{kHz}$ 。而 EMC 测试中的快速脉冲群频率是 5.0kHz (2kV) 或 2.5kHz (4kV); 5.0kHz 刚好谐振, 2.5kHz 也不会被衰减,如图 2 虚线所示。可见,不是所有的电源滤波器都能提高 EMC 性能。工程中,许多装置尽管采用了成本不菲的滤波器,但 EMC 测试仍难通过,原因大多在此。

实际上,如果取 $L=30\text{mH}$, $R=5\Omega$, $C=0.47\mu\text{F}$,可计算出 $f_0=0.95\text{kHz}$, 5.0kHz 脉冲群幅值衰减为 3.73%, 2.5kHz 脉冲群幅值衰减为 16.78%。这时,电源滤波器确实提高了系统的 EMC 性能。图 2 实线是相应的幅频特性。

3 误区之三:光偶器件隔离干扰很彻底

光偶器件是最常用的隔离干扰器件。例如现场的开关量引到测控装置后都要加光隔,以切断来自现场

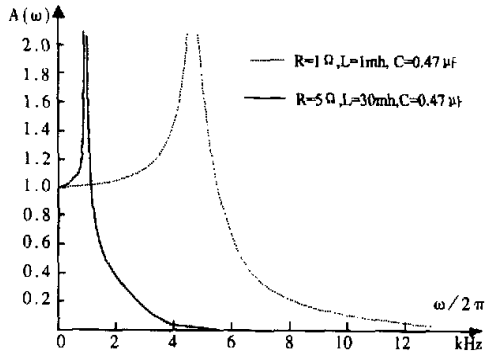


图2 双π型滤波器的幅频特性

的传导干扰；RS485 通讯口经光隔再与外部通讯线连接，防止来自外部通讯线的传导干扰。

有不少人认为：光偶器件隔离干扰很彻底，用了光偶隔离干扰就过不去了。其实，光电隔离并非万全之策。

首先，光偶器件本身只能隔离传导干扰，它隔离不断幅射、感应干扰。幅射来自空间，感应来自相邻的导体。最常见的败笔是：设计 PCB 时将光偶器件的输入和输出电路布在了一起，这时干扰从光偶器件是过不去了，但却很容易经输入电路感应到输出电路。

其次，光偶器件隔离传导干扰的能力也只有 1kV 左右，1kV 以上的干扰或浪涌一般是力所不能及的。比如 EMC 的快速脉冲群测试，施加的干扰信号幅值是 2kV、4kV、8kV，光偶器件是无法隔离的。

4 误区之四：PCB 布线要横平竖直

提起 PCB 布线，许多工程技术人员都知道一个传统的经验：正面横向走线、反面纵向走线，横平竖直，既美观又短捷；还有一个传统经验是：只要空间允许，走线越粗越好。可以明确地说，这些经验在注重 EMC 的今天已经过时。

要使单片机系统有良好的 EMC 性能，PCB 设计十分关键。一个具有良好的 EMC 性能的 PCB，必须按高频电路来设计——这是反传统的。单片机系统按高频电路来设计 PCB 的理由在于：尽管单片机系统大部分电路的工作频率并不高，但是 EMI 的频率是高的，EMC 测试的模拟干扰频率也是高的^[5]。要有效抑制 EMI，顺利通过 EMC 测试，PCB 的设计必须考虑高频电路的特点。PCB 按高频电路设计的要点是：

(1) 要有良好的地线层。良好的地线层处处等电位，不会产生共模电阻耦合，也不会经地线形成环路产生天线效应；良好的地线层能使 EMI 以最短的路径进入地线而消失。建立良好的地线层最好的办法是采用多层板，一层专门用作地线层；如果只能用双面板，应当尽量从正面走线，反面用作地线层，不得已才从

反面过线。

(2) 保持足够的距离。对于可能出现有害耦合或幅射的两根线或两组线要保持足够的距离，如滤波器的输入与输出、光偶的输入与输出、交流电源线与弱信号线等。

(3) 长线加低通滤波器。走线尽量短捷，不得已走的长线应当在合理的位置插入 C、RC 或 LC 低通滤波器。

(4) 除了地线，能用细线的不要用粗线。因为 PCB 上的每一根走线既是有用信号的载体，又是接收幅射干扰的天线，走线越长、越粗，天线效应越强。

5 误区之五：IC 芯片的封装形式不影响性能

众所周知，IC 芯片的封装有贴片式和双列直插式之分。一般认为：贴片式和双列直插式的区别主要是体积不同和焊接方法不同，对系统性能影响不大。其实不然。

前面说到，PCB 上的每一根走线都存在天线效应。现在要说，PCB 上的每一个元件也存在天线效应，元件的导电部分越大，天线效应越强。所以，同一型号芯片，封装尺寸小的比封装尺寸大的天线效应弱。这就解释了许多工程师已经注意到的一个现象：同一装置，采用贴片元件比采用双列直插元件更易通过 EMC 测试。

此外，天线效应还跟每个芯片的工作电流环路有关。要削弱天线效应，除了减小封装尺寸，还应尽量减小工作电流环路尺寸、降低工作频率和 di/dt 。留意最新型号的 IC 芯片（尤其是单片机）的管脚布局会发现：它们大多抛弃了传统方式——左下角为 GND 右上角为 VCC，而将 VCC 和 GND 安排在相邻位置，就是为了减小工作电流环路尺寸。

实际上，不仅是 IC 芯片，电阻、电容封装也与 EMC 有关。用 0805 封装比 1206 封装有更好的 EMC 性能，用 0603 封装又比 0805 封装有更好的 EMC 性能：目前国际上流行的是 0603 封装。

参考文献

- 1 美信集成产品公司北京办事处.产品资料全集,2000.
- 2 Microchip Technology Inc. Microchip Technical Library CD-ROM,2000.
- 3 王柏林.水轮发电机组的模型参考自适应控制.自动化学报,1989;(6)
- 4 王柏林.一种用于配电自动化系统的多功能电能表.电力系统自动化,2000;(24)
- 5 陈淑凤.电磁兼容试验技术.北京:北京邮电大学出版社,2001.

(收稿日期:2001-08-14)