

数字容性隔离器的磁场抗扰度

作者：Thomas Kugelstadt, 德州仪器 (TI) 高级应用工程师

数字容性隔离器的应用环境通常包括一些大型电动马达、发电机以及其他产生强电磁场的设备。暴露在这些磁场中,可引起潜在的数据损坏问题,因为电势(EMF,即这些磁场形成的电压)会干扰数据信号传输。由于存在这种潜在威胁,因此许多数字隔离器用户都要求隔离器具备高磁场抗扰度 (MFI)。许多数字隔离器技术都声称具有高 MFI,但容性隔离器却因其设计和内部结构拥有几乎无穷大的 MFI。本文将对其设计进行详细的介绍。

一些基本物理定则

诸如电动机的电源线等带电导体,其周围便是一个由流经它的电流形成的磁场。应用右手定则(请参见图 1),我们很容易便可以确定该磁场的方向。该定则的内容如下:用右手握住导体,然后拇指指向电流的方向,这时环绕导体的手指便指向磁场的方向。因此,磁通线的平面始终与电流垂直。

图 1 显示了 DC 电流的磁通密度 B 。就 AC 电流而言,将右手定则用于两个方向,磁场和 AC 电流都随同一个频率 f 而变化: $B(f) \sim I(f)$ 。磁场(或者更加精确的说法是磁通密度及其相应磁场强度)随导体中心轴距离的增加而减弱。这些关系可以表示为:

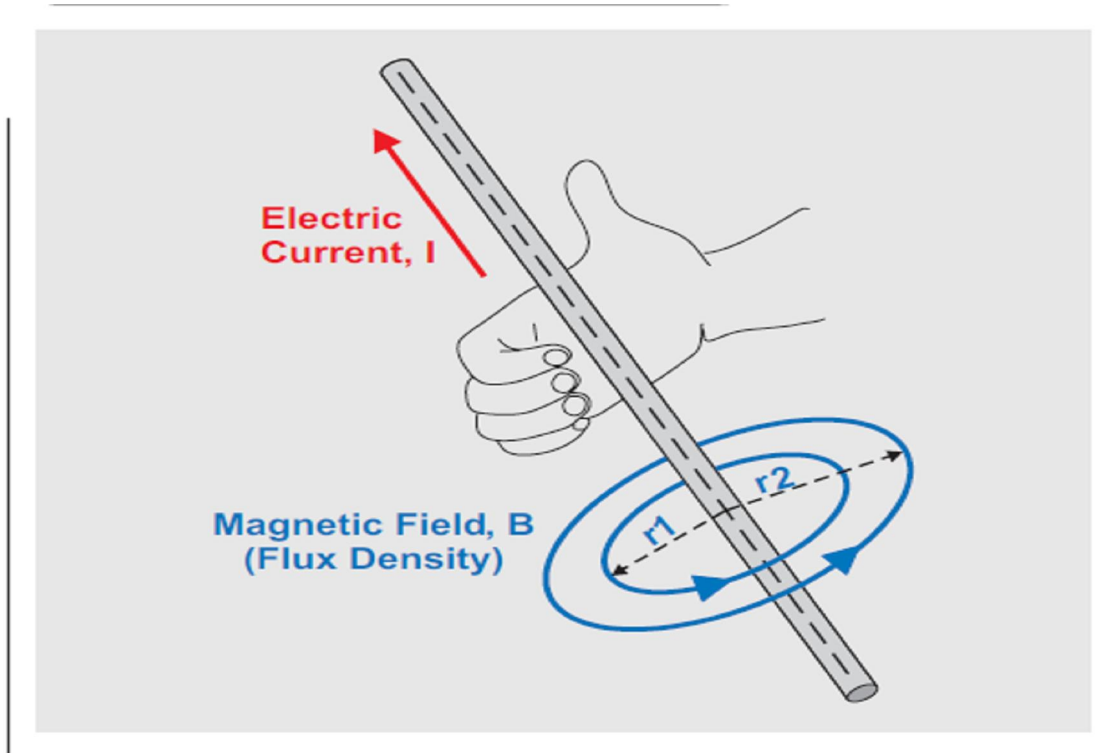
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (1)$$

以及

$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{I}{2\pi r}, \quad (2)$$

其中, B 为以第平方米伏秒 ($V \cdot s/m^2$) 表示的磁通密度, μ_0 为自由空间中的磁导率(计算方法为 $4\pi \times 10^{-7} V \cdot s/A \cdot m$), I 为以安培为单位的电流, r 为以米为单位的导体距离,而 H 为以安培每米 (A/m) 为单位的磁场强度。

图 1 右手定则



磁场线穿过附近导体环路时，它们会产生一个 EMF，其强度大小取决于环路面积和通量密度及磁场频率：

$$EMF(f) = B \times 2\pi f \times A, \quad (3)$$

EMF 为以伏特为单位的电势， f 为磁场频率，而 A 为以平方米 (m^2) 为单位的环路面积。

所有隔离器都有一定形状或者形式的导电环路，以让磁场线穿过并产生 EMF。如果强度足够大，则这种叠加到信号电压上的 EMF 就会导致错误数据传输。实际上，一些隔离技术对电磁干扰非常敏感。为了理解容性隔离器为什么不受磁场的影响，我们需要对其内部结构进行研究。

容性隔离器的结构

容性隔离器由两块硅芯片——一个发送器和一个接收机组成（请参见图 2）。数据传输在由两个电容构成的差动隔离层之间进行，在每个电容的二氧化硅 (SiO_2) 电介质两端都有一块铜顶片和一个导电硅底片。发送器芯片的驱动器输出通过一些接合线连接到接收机芯片上隔离电容的顶片。通过将电容的底片连接接收机输入构成了一个导电环路。图 3 显示了隔离层的等效电路结构图，并标示出了金接合线之间的环路区域。很明显，穿过该环路的磁场将会产生一个 EMF，其表示下面 RC 网络的输入电压噪声 V_{n1} 。我们常常碰到的第二种差动噪声部分 V_{n2} ，其产生原因是共模噪声到差动噪声的转换。两个噪声分量共同组成了综合噪声 V_n 。如果只考虑 EMF 的影响，则可以保守地将 V_n 一分为二：

$$EMF = \frac{V_n}{2} \quad (4)$$

图 2 容性隔离器内部结构的简化结构图

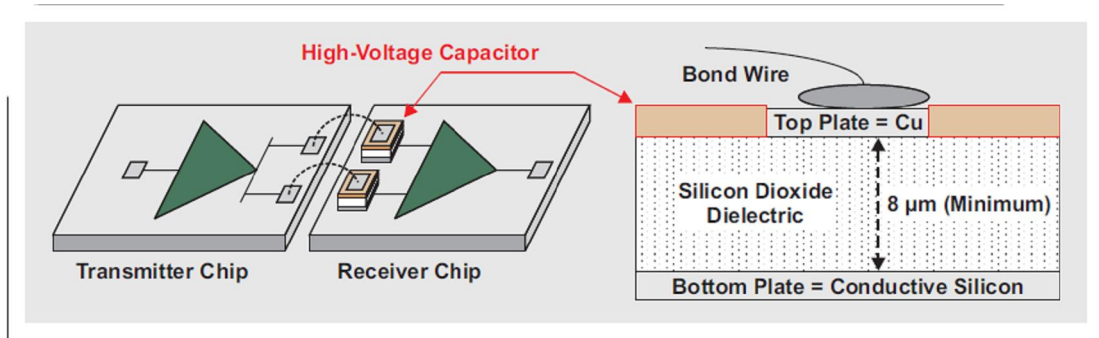
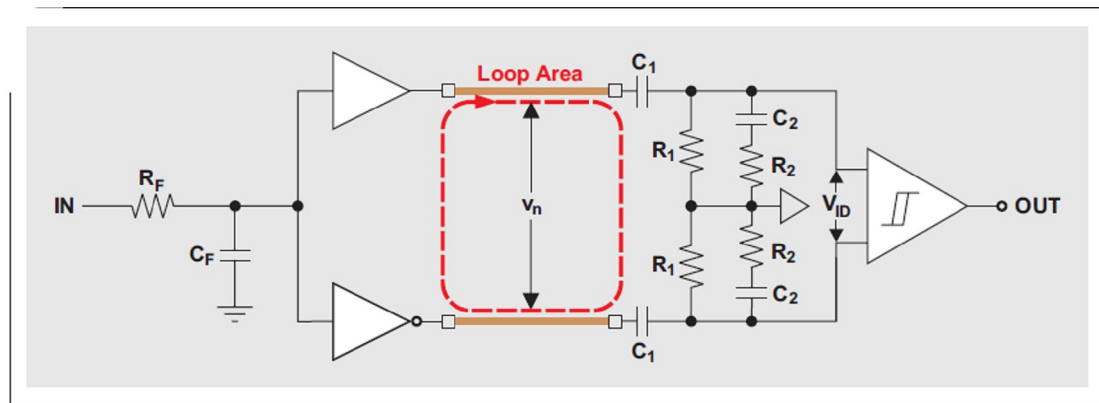


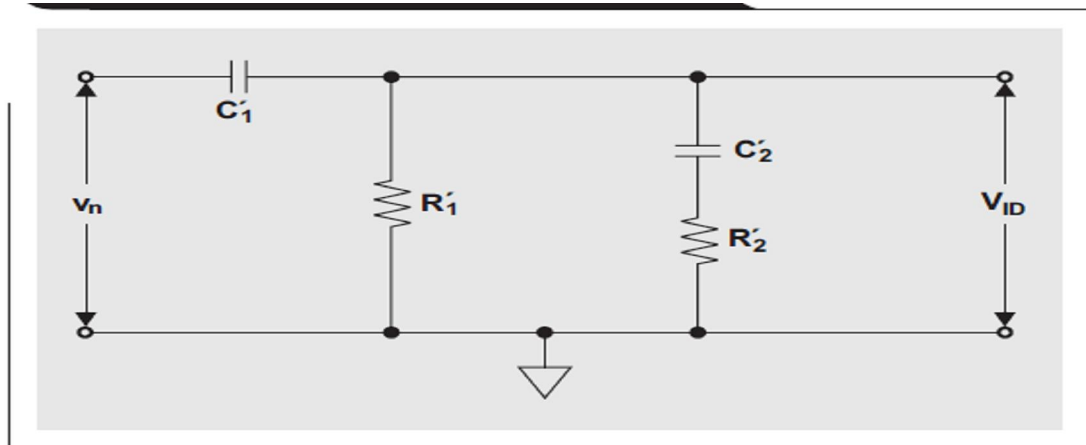
图 3 隔离层的等效电路结构图



若要触发接收机，RC 网络的输出必须提供一个差动输入电压 V_{ID} ，其超出了接收机输入阈值。是否出现伪触发，具体取决于 RC 网络的增益响应 $G(f)$ 。

将差动网络转换为单端网络（请参见图 4），简化了 $G(f)$ 的推导过程，但却要求 $C'_1 = 2C_1$ ， $R'_1 = R_1/2$ ， $C'_2 = 2C_2$ ，以及 $R'_2 = R_2/2$ 。

图 4 单端 RC 网络



一次电路仿真证实了 RC 网络为一个一阶高通滤波器，其 C'_1 和 R'_1 为主要组件，频率高达 100 MHz（参见图 5 中蓝色曲线）。超出这一频率以后，寄生组件 C'_2 和 R'_2 生效，从而引起稍稍偏离于线性的斜率。因此，频率达到 100 MHz 以后，增益响应可以表示为 V_{ID}/v_n 的比：

$$\frac{V_{ID}}{v_n}(f) = |G(f)| = \frac{2\pi f}{\sqrt{(2\pi f)^2 + \left(\frac{1}{R'_1 \times C'_1}\right)^2}} \quad (5)$$

确定不会引起伪接收机触发的最大允许噪声，要求对方程式 5 求解 v_n ：

$$v_n(f) < \frac{V_{ID} \sqrt{(2\pi f)^2 + \left(\frac{1}{R'_1 \times C'_1}\right)^2}}{2\pi f} \quad (6)$$

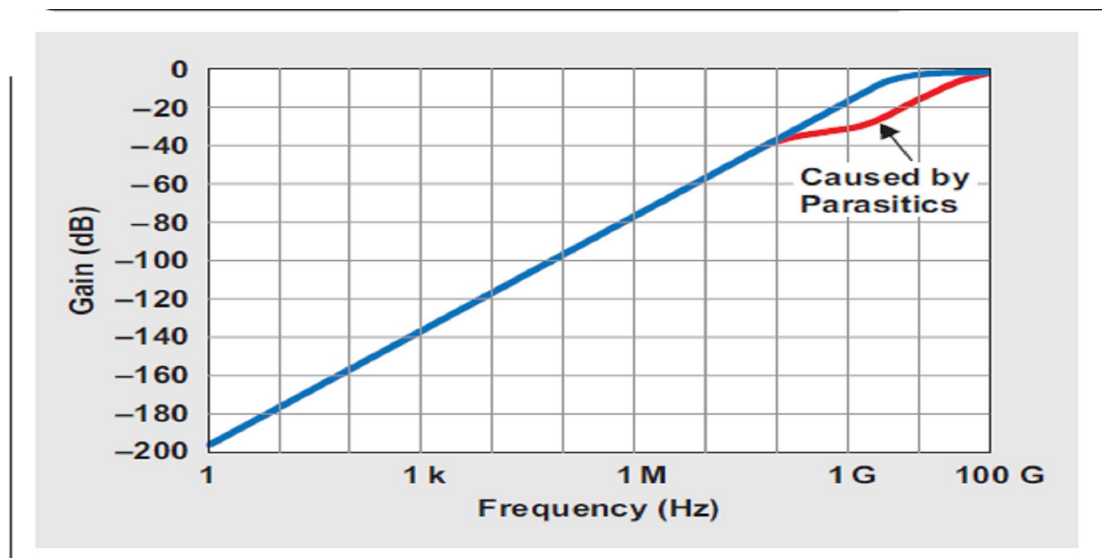
然后，将 v_n 代入方程式 4，得到以伏特为单位的最大容许 EMF：

$$EMF(f) < \frac{V_{ID} \sqrt{(2\pi f)^2 + \left(\frac{1}{R'_1 \times C'_1}\right)^2}}{4\pi f} \quad (7)$$

将 EMF 代入方程式 3，得到最大可能磁通密度：

$$B(f) < \frac{V_{ID} \sqrt{1 + \left(\frac{1}{2\pi f \times R'_1 \times C'_1}\right)^2}}{4\pi f \times A} \quad (8)$$

图 5 增益幅度频率响应 $|G(f)|$



通过将下列数值插入方程式 8 中，推导出表 1 所列磁通密度的频变值：

$V_{ID} = 10 \text{ mV}$ （接收机输入阈值的大小）

$R'_1 \times C'_1 = 25 \text{ ps}$ （有效时间常数）

$A = 944 \times 10^{-9} \text{ m}^2$ （有效环路面积）

$f = 1 \text{ kHz to } 100 \text{ MHz}$ （相关频率范围）

表 1 距离容性隔离器 0.1m 的导体的电流值和磁场值

FREQUENCY, f	MAGNETIC FLUX DENSITY, B (V·s/m ²)	EMF (V)	MAGNETIC-FIELD STRENGTH, H (A/m)	CURRENT, I (A)
1 kHz	1.07×10^7	63738.5	8.55×10^{12}	5.37×10^{12}
10 kHz	1.07×10^5	6373.8	8.55×10^{10}	5.37×10^{10}
100 kHz	1.07×10^3	637.4	8.55×10^8	5.37×10^8
1 MHz	1.07×10	63.7	8.55×10^6	5.37×10^6
10 MHz	1.07×10^{-1}	6.4	8.55×10^4	5.37×10^4
100 MHz	1.07×10^{-3}	0.6	8.55×10^2	5.37×10^2

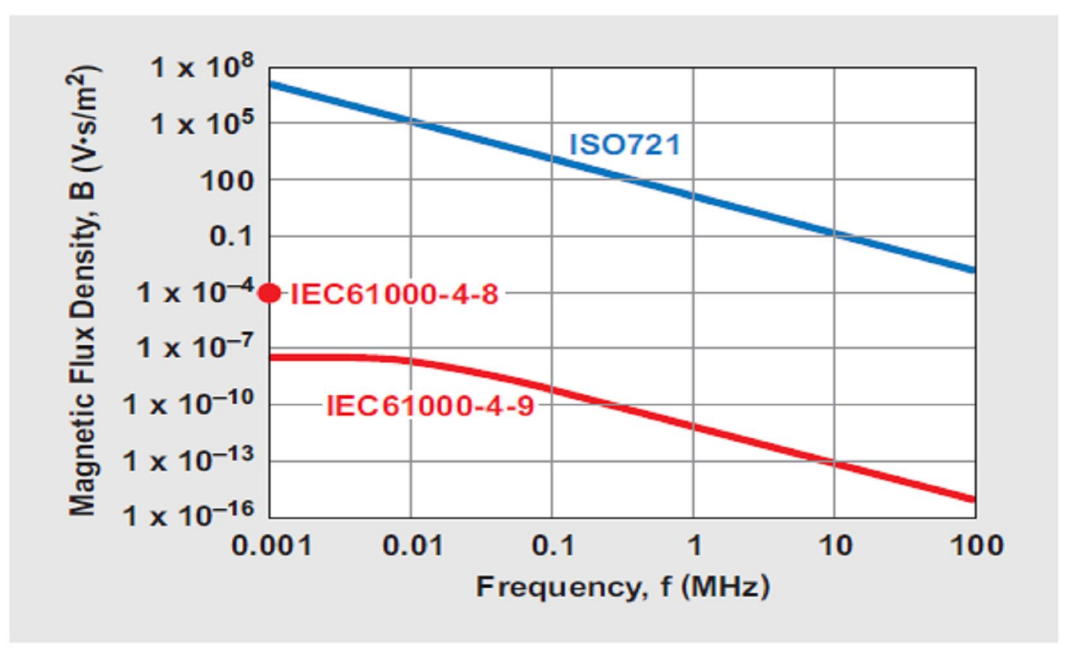
利用方程式 2 和 3 还得到 EMF、磁场强度 (H) 以及导体（此处假设将来的隔离器为 0.1 m）的相应电流 (I)。

由表 1 所列的一些极高值，清楚地表明 5 兆安低频电流和 100MHz 下 500A 电流都不能让这种隔离器停止正常工作。出现这种几乎无限 MFI 的原因是隔离电容的位置。如果这些电容位于发送器芯片上，则任何接合线中产生的 EMF 都能够影响到未受干扰的接收机输入。

很明显，这种高 MFI 值不可能进行实际的测试。容性隔离器的产品说明书说明了仅 1000 A/m 的适度值作为实际测试用。然而，无屏蔽容性隔离器可以轻松通过 IEC61000-4-8 和 IEC61000-4-9 标准的 5 级 MFI 要求。这些标准分别描述了高达 100 A/m 电源频率电磁场以及 1000 A/m 脉冲电磁场的应用。5 级规定了许多导体、总线或者中高压线路的恶劣工业环境，它们都携带有数万安的电流。另外还包括许多携带全部雷电电流的雷电保护系统和高层建筑结构（例如：电缆塔等）的接地导体。重型工业厂房和电站的室外配电装置也是这种环境的代表。

图 6 将容性隔离器的计算得 MFI 阈值同 IEC 61000-4-8 和 IEC 61000-4-9 的 5 级（最高）测试水平进行了对比。

图 6 MFI 测试阈值



重要声明

德州仪器 (TI) 及其下属子公司有权在不事先通知的情况下, 随时对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权随时中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的 TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的硬件产品的性能符合 TI 标准保修的适用规范。仅在 TI 保修的范围内, 且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非政府做出了硬性规定, 否则没有必要对每种产品的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 产品或服务的组合设备、机器、流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或隐含权限作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的数据手册或数据表, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。在复制信息的过程中对内容的篡改属于非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任。

在转售 TI 产品或服务时, 如果存在对产品或服务参数的虚假陈述, 则会失去相关 TI 产品或服务的明示或暗示授权, 且这是非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类虚假陈述不承担任何责任。

可访问以下 URL 地址以获取有关其它 TI 产品和应用解决方案的信息:

产品

放大器	http://www.ti.com.cn/amplifiers
数据转换器	http://www.ti.com.cn/dataconverters
DSP	http://www.ti.com.cn/dsp
接口	http://www.ti.com.cn/interface
逻辑	http://www.ti.com.cn/logic
电源管理	http://www.ti.com.cn/power
微控制器	http://www.ti.com.cn/microcontrollers

应用

音频	http://www.ti.com.cn/audio
汽车	http://www.ti.com.cn/automotive
宽带	http://www.ti.com.cn/broadband
数字控制	http://www.ti.com.cn/control
光纤网络	http://www.ti.com.cn/opticalnetwork
安全	http://www.ti.com.cn/security
电话	http://www.ti.com.cn/telecom
视频与成像	http://www.ti.com.cn/video
无线	http://www.ti.com.cn/wireless

邮寄地址: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2006, Texas Instruments Incorporated