

现有设备的接地和屏蔽

如何在没有充分实践的情况下有效的减少电磁干扰 (EMI) 问题

接地和屏蔽过程往往捉摸不定。“太神奇了！”、“规律总在变化！”、“根本无法理解！”各种感慨并不鲜见。这些情绪化的表述不绝于耳，但事实却与之相反。它是一种过程，而且从不变化，人们对电磁耦合机制了解地越多，就越明白这纯粹是一项严谨的工程原理。绝不是幻觉 – 严谨的数学和逻辑过程可以消除或减少电磁干扰 (EMI) 问题，获得理想的机械性能。下面，让我们逐个审视此类论断，以便消除误区。

这太神奇了！

干扰信号主要通过四种途径来耦合至信号：磁（感应）耦合、电容（高速电压变化 (dV/dt)）耦合、直接耦合、射频 (Rf) 耦合。这些因素都有其科学依据。我们可能无法准确预测其路径，正如我们无法准确预测闪电的路径一样，但我们知道如何减小被闪电击中的可能性。闪电就是最强大的EMI事件之一。

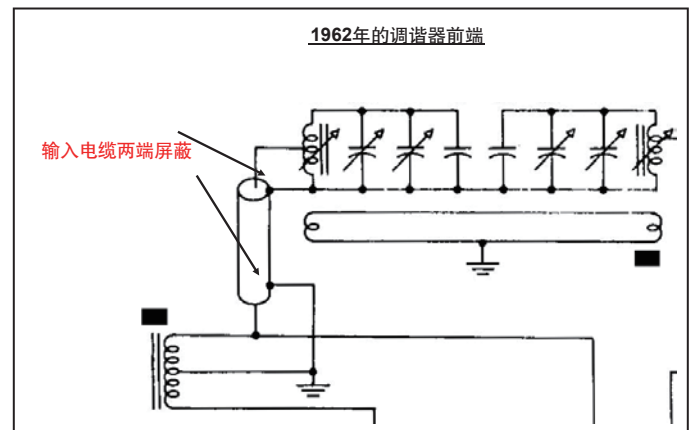
规律总在变化！

要真正理解这种说法，就需要认真回顾电磁干扰的历史，并理解频率响应问题。20世纪60年代，电子管接收机采用两端组合接地，音频部分一端接地。这都与频率响应和灵敏度有关。在调谐器部分（在美国，RF接收频率为87.5 MHz至108.1 MHz），主要问题是多余的高频干扰。两端接地并且屏蔽没有破损。同时采用磁性和电容耦合屏蔽（稍后详细介绍），但音频信号源一端接地。这就造成了混乱。

音频易受60 Hz噪音影响。这是一种低频率、单端和高增益信号，对接地差分敏感。接地差分和低频是关键因素。在今天的电路中，往往通过差分输入来消除接地差分导致的60 Hz噪音。所以，改变的并不是规则，而是技术。而对于高增益单端电路这类例外情况，则必须使用单一接地点，并将其与其他接地隔离。可以在源端进行内部屏蔽，而在两端进行次级屏蔽，从而完成对高频噪音的完整屏蔽。

根本无法理解！

许多书籍、文章和白皮书一直都在讨论电磁干扰问题。其中包括耦合机制相关信息，以及测量电感、电容、互感、电阻和场强的坚实数学原理。这些都是可测量的工程量。并且，对于如何正确连接驱动器以避免电磁干扰问题，科尔摩根等制造商都提供了相应的建议方法。



有时，源端和受损端本就混为一体！

使用反馈回路之后，就很难确定噪音源。对于电源或伺服驱动器来说，这往往非常棘手。这两种设备的电流和电压反馈增益都相对较高，如果不注意保持预期信号的完整性和对非预期信号的可靠抑制，可能就会自我反馈。

许多开关电源同时具有电流和电压反馈。通常，其工作频率较高（常常高达400 kHz），这可能引发问题。如果不注意电压感应的布局 and 屏蔽，则PWM泄漏导致的电压感应就可能产生干扰。在这种情况下，电源既是受损端，也是问题的源端。解决方案是通过改变布局和屏蔽来隔离信号。电压源应采用360°覆盖编织屏蔽；并可通过共模或差模电感器来大体上拉平脉冲调制 (PWM) 的边沿。

什么是屏蔽，有何作用？

大多数情况下，屏蔽如同伤口上的创可贴。虽然很有必要，但不应忽略下面出血的伤口。了解导致噪音的原因，以及能否解决，才是最重要的。屏蔽可视为隔离屏障。噪音源端布置一道障碍，接收机端布置一道屏障，才能构成最优的完整屏蔽。

尽量止血

许多与噪音有关的技术着重于分辨率，而不仅仅是降噪。对于高dV/dt信号，比如驱动器的PWM，只要将上升时间降至电抗以下，就可以阻断电容耦合的因素。

射频 (RF) 信号

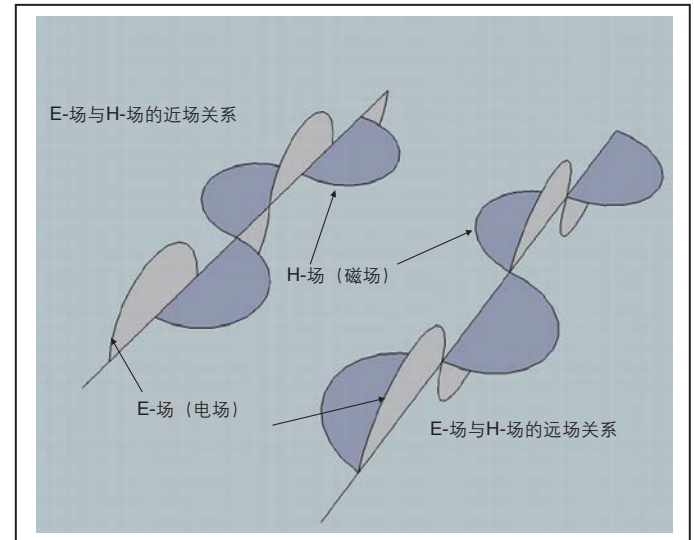
如果不加以注意，很容易产生射频 (RF) 信号。只要产生火花间隙（本文中继电器为常见原因），就可能产生RF信号。所产生的电压信号不太可能在用户端造成问题，因为距离小于1/2波长；但随后产生的磁场可能导致严重问题。另一个问题是，该信号处于传播途径中，可能干扰其他设备。

20世纪70年代，附近行驶的汽车会干扰无线电，这是因为火花塞在线圈磁场崩溃时产生了电弧。磁场坍塌因子为 $E = L \, di/dt$ 。副作用是：任何未回收的能量都会发热或传播，从而产生辐射信号。无线电信号具有磁分量和电分量，传输速率分别为 di/dt 和 dV/dt 。传输遵循欧姆定律。 $E = IR$ （涉及阻抗时为 Z ），代入电压和电流变化量，得到 $Z = dV/dt / di/dt$ 。只要信号电流和电压变化率达到377欧姆，就会传输信号。377欧姆为干燥空气的阻抗。那么，汽车行业如何解决这一问题呢？他们为火花塞串联了一个电阻。火花仍会产生，但与空气阻抗并不匹配，因此不会传输能量。

了解辐射信号的传输和接收机理，对有效避免与之相关的问题至关重要。传输或接收辐射信号离不开天线。天线并不单指有意设置的天线，而是任何器件都可以成为天线。天线产生两种场，E-场为电场，H-场为磁场。两者在天线上同相时，互相支持并保持谐振关系，有时称为共振。

下图所示为与信号的传输和接收有关的两种场。左图中，设备距离源端不足一个波长 (λ)（称为近场区域或感应区域）；右图中，设备距离传输端大于一个波长（称为远场或辐射场区域）。在近场区域监测信号时，两种辐射场的相位关系为反相，在此范围内对信号的真实表征是不可靠的。但是，磁场会影响器件，因此，必须使用磁屏蔽，以防止磁场外溢并被接收到。除此之外，在远场区域中，仍可使用电压天线来接收信号，并可看到信号特性。

这就是测量30 MHz信号时，EMC实验室与被测单元 (UUT) 之间的距离超过10 m的原因，因为这是30 MHz信号的波长，并且采用E-场（电场）。



辐射噪音的近场影响和远场影响

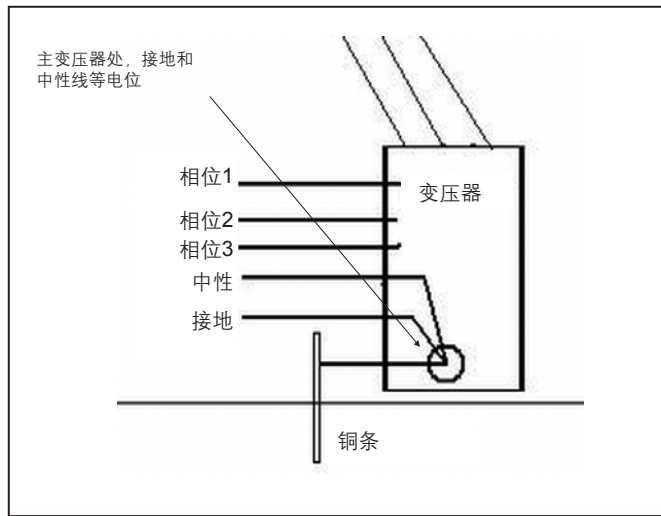
磁耦合

伺服驱动器和电源的PWM信号通常是导致信号进入不必要区域的罪魁祸首。其棘手之处在于其高能量，足以通过其场启动设备。例如，LED灯穿过高磁场会导致其点亮。发生这种情况时，配对晶体管可能会在错误时间部分导通。此外，PWM经长电缆传送到电机，在许多应用中，电机就是电气意义上的电感器，一旦电缆选择、接地、屏蔽和连接不当，后果会非常严重。

有办法解决吗？当然有！想象一个驱动器、电缆和电机组成的复杂模型，包含有电感、电阻、电容、电流、正向电压和BEMF电压。这些复杂的无功载荷可能不像人们想的那样发挥作用，但是，如果有人知道从何处着手，就可以解决问题。良好的系统模型可能会有所帮助。一旦确定是否存在问题，解决方法是限制振荡的影响，用磁屏蔽来屏蔽该电缆，并在源端（驱动器）和电机终端接地。

接地线不再接地

最常见的直接耦合噪音源之一是，作为参考或返回的接地未按预期参考接地。这在敏感的高增益电路中尤为普遍。使用中性线的电源系统就是一个例子。如图所示，在电源箱中，接地和中性线连接至相同电位。区别在于中性线为载流导体。如果在该点监测信号，则不太可能在中性线上看到电压波动，但在接地线（定义为非载流导体）上可以被监测到。如果无意将电源线连接至接地线而不是中性线，设备仍会运行，除可能发生危险之外，还可能在接地线上产生意外噪音，从而对接地线所连接的全部设备产生负面影响。



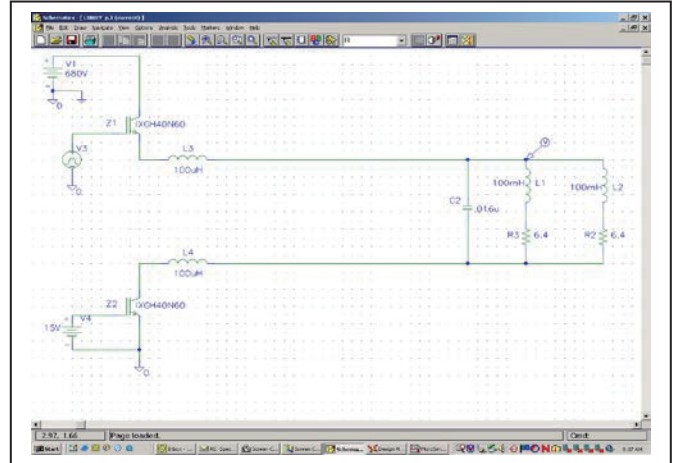
接地和中性线仅在配电系统的主变压器处具有相同电位

解决方案是正确连接系统，同时在敏感设备的输入端过滤此类电源干扰。这类电源干扰相当常见，Shaffner、APC或类似滤波器足以解决这个问题。

PWM仿真

产生EMI噪音的复杂条件涉及但不限于电机电感、电机电阻、电缆电容、绕组的屏蔽和电容效应。另外，还叠加了难以预测的PWM对BEMF电压施加的影响，并且这种影响越来越显著。下面，将通过电子仿真程序介绍PWM技术模型。

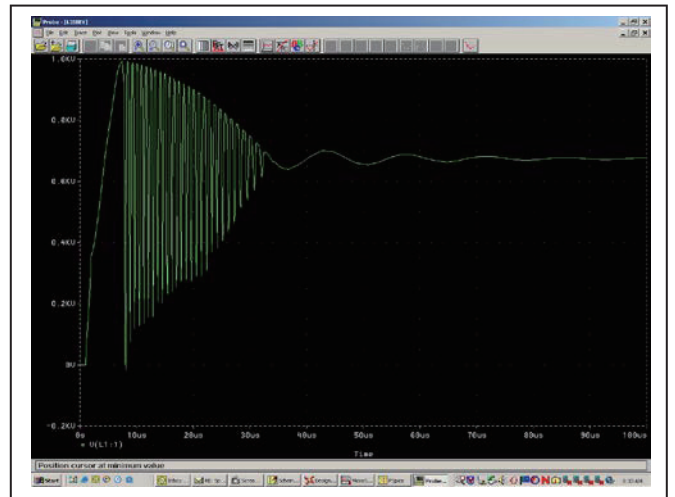
首先，将电机的复杂电气特性建模为与电机电阻串联的电感器。电机电容集中在电缆中，三分之一电桥采用IGBT而不是智能电源模块建模，因为两者具有相同电气特性，并且代表了驱动器的一相。



PWM驱动器、电缆和电机绕组原理图

标准仿真看起来像是在前边缘上振铃。其频率比PWM高得多，通常仅限于上升时间。鉴于这种振荡的倾向和每个晶体管都将发生这种情况，加载RLC特性不均匀的负载时，很容易感知其如何耦合入系统。共模噪音以及该dv/dt的电压尖峰会导致电机或驱动器发生电气故障，从而损坏绝缘。

这种振荡在桥内所有晶体管的PWM中都普遍存在。任何负载不平衡都会导致电流经该RLC电路从振荡源流入地面，本质上为接地。如果具有电感较低的接地路径，则通常会导致一些前沿泄漏至返回信号。至少需要三种手段才能避免这一问题。首先，减少发射。其次，屏蔽接收机，打破耦合。第三，强制电流经预期回路流入地面。



PWM振铃标准仿真

该驱动器模型添加了一个100uH的串联电感。PWM振荡表明，性能有所改进，但不足以视为解决方案。虽然比原始自然振荡更容易屏蔽，但仍有部分明显振荡可能耦合入系统。

应进一步减少振荡，这也是本文的目标。但是，虽然这种程度的噪音不会使驱动器发生问题，却仍然存在隐患。

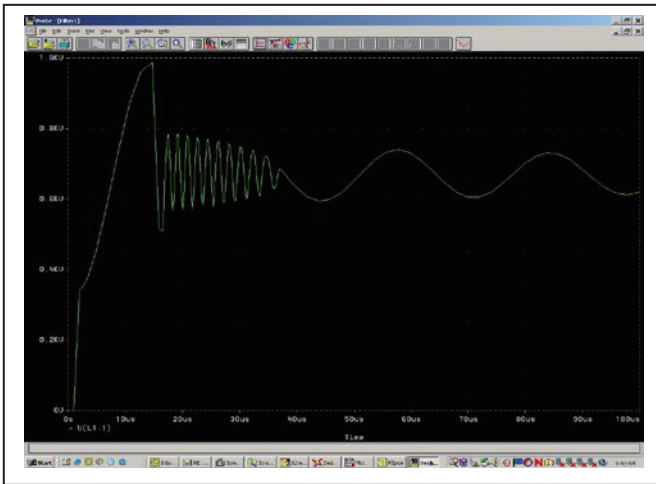
另一种解决方案也是使用缓冲电路。这将产生非常容易控制的PWM脉冲，而不会产生可能导致EMI噪音的剧烈振荡上升边沿。该模型既包括共模电感器，也包括与电缆电容相匹配的串联电感器。该PWM边沿的良性振荡在系统中为不可见噪音，足以视为解决方案。这之中遇到的问题是，这类电路会减慢驱动器中产生的PWM频率。

电缆也对振荡产生了深远影响。电缆电容与电机电感组合，可形成“储能电路”，能够以与PWM上升时间相关的频率谐振。这种意外可能导致灾难性后果。

如最终模型（右下）所示，可采用屏蔽、合适的电感和电容处理出血及“包扎伤口”。这是现有设计的卓越解决方案，最大程度减小对所交付声音产品的影响。

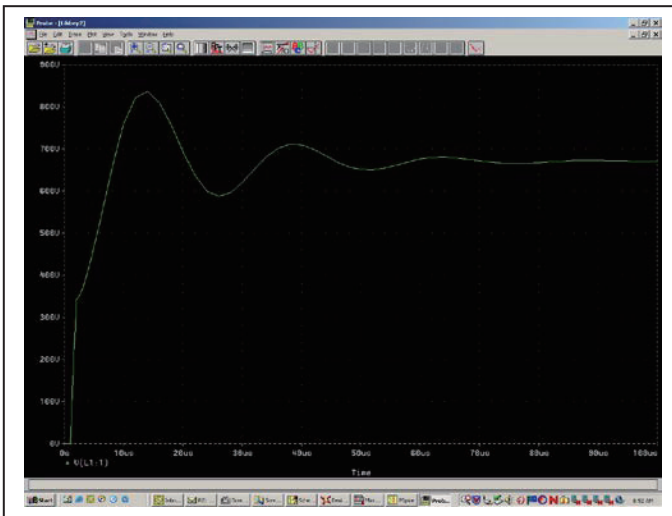
组件选择至关重要

首先，CE合规制造商应深入了解EMI和电磁兼容 (EMC) 合规性。其交付的驱动器应能提供信息，以保证兼容性并在特殊情况下为外部产品供电。



共模电感不足时的PWM吸收

现在，通过良好接地和降低振铃频率，可以很容易地消除噪音。可最大程度减少屏蔽和接地的工作量。就这一点而言，可最大程度减小噪音，而不会显著增加系统成本。



共模电感充足时的PWM吸收

结论

掌握耦合机理知识，再稍作思考，用户即可在不能采用好方法的情况下，最大程度减少EMI问题。制造电子设备时，必须了解产生电磁干扰 (EMI) 的电噪音的耦合机理。在设备制造期间预先规划降噪方法，要比在设备制造完毕之后尝试采用解决方案简单得多。

关于科尔摩根

科尔摩根是全球领先的运动系统和组件供应商，为机械制造商提供产品，拥有超过70年的运动控制设计和应用专业知识。

在连接和集成标准与定制产品方面，科尔摩根拥有卓越的运动控制知识、行业领先的质量和丰富的专业知识，所提供的突破性解决方案具有无与伦比的性能、可靠性和易用性，帮助机械制造商赢得了长期稳固的市场优势。

如需了解更多信息，请访问www.kollmorgen.com，发送电子邮件至support@kollmorgen.com，或致电1-540-633-3545。