

电缆的阻抗

本文准备解释清楚传输线和电缆感应的一些细节，只是此课题的摘要介绍。如果您希望很好地使用传输线，如同轴电缆什么的，就是时候买一本相关课题的书籍。什么是理想的书籍取决于您物理学或机电工程，当然还少不了数学方面的底蕴。

什么是电缆的阻抗，什么时候用到它？

首先要知道的是某个导体在射频频率下的工作特性和低频下大相径庭。当导体的长度接近承载信号的 $1/10$ 波长的时候，good ol 风格的电路分析法则就不能在使用了。这时该轮到电缆阻抗和传输线理论粉墨登场了。传输线理论中的一个重要的原则是源阻抗必须和负载阻抗相同，以使功率转移达到最大化，并使目的设备端的信号反射最小化。在现实中这通常意味源阻抗和电缆阻抗相同，而且在电缆终端的接收设备的阻抗也相同。

电缆阻抗是如何定义的？

电缆的特性阻抗是电缆中传送波的电场强度和磁场强度之比。（伏特/米）/（安培/米）=欧姆
欧姆定律表明，如果在一对端子上施加电压（E），此电路中测量到电流（I），则可以用下列等式确定阻抗的大小，这个公式总是成立：

$$Z = E / I$$

无论是直流或者是交流的情况下，这个关系都保持成立。

特性阻抗一般写作 Z_0 （Z 零）。如果电缆承载的是射频信号，并非正弦波， Z_0 还是等于电缆上的电压和导线中的电流比。所以特性阻抗由下面的公式定义：

$$Z_0 = E / I$$

电压和电流是有电缆中的感抗和容抗共同决定的。所以特性阻抗公式可以被写成后面这个形式：

$$Z_0 = \sqrt{(R + j2\pi fL) / (G + j2\pi fc)}$$

其中

R=该导体材质（在直流情况下）一个单位长度的电阻率，欧姆

G=单位长度的旁路电导系数（绝缘层的导电系数），欧姆

j=只是个符号，指明本项有一个+90°的相位角（虚数）

$\pi = 3.1416$

L=单位长度电缆的电感量

c=单位长度电缆的电容量

注：线圈的感抗等于 $X_L = 2\pi fL$ ，电容的容抗等于 $X_C = 1/2\pi fL$ 。从公式看出，特性阻抗正比于电缆的感抗和容抗的平方根。

对于电缆一般所使用的绝缘材料来说，和 $2\pi fc$ 相比，G 微不足道可以忽略。在低频情况，和 R 相比 $2\pi fL$ 微不足道可以忽略，所以在低频时，可以使用下面的等式：

$$Z_0 = \sqrt{R / j2\pi fc}$$

注：原文这里是 $Z_0 = \sqrt{R / (j * 2 * \pi * f * L)}$

应该有个笔误。阻抗不应该是反比于感抗。实际上低频时应该是电阻和容抗占主导地位。

如果电容不跟随频率变化，则 Z_0 和频率的平方根成反比关系，在接近直流的状态下有一个-45°的相位角，当频率增加相位角逐渐减少到 0°。当频率上升时，聚氯乙烯和橡胶材料会稍微降低电容，但聚乙烯，聚丙烯，特氟纶（聚四氟乙烯）的变化不大。

当频率提高到一定程度（f 足够大），公式中包含 f 的两项变的很大，这时候 R 和 G 可能可以被忽略。等式成为

$$Z_0 = \sqrt{(j \cdot 2\pi f L) / (j \cdot 2\pi f C)}$$

简化成

$$Z_0 = \sqrt{L / C}$$

高频下的电缆性质

在高频下您不能把电缆视作一条简单的电缆。在此时它是波导。特性阻抗是为电磁波而设立的电阻系数。故此阻抗负责描述高频下电缆的状态。高频通常用 100kHz 以上的频率传输（当然能否高频传输取决于电缆）。

如果您在电缆一端输入合适频率的正弦交流信号，信号以电波的形式传播过电缆。

如果电缆的长度和该交流信号频率的波长相比是个很大的数字的话（注：即电缆长度是波长的很多倍），在传送过程中可以测量 AC 的电压和电流比，这个比值叫做这条电缆的特性阻抗。

实际上电缆的特性阻抗由电缆的几何形状和绝缘部分决定的。电缆的长度不影响电缆的特性阻抗。

注：就是说使用多数绝缘材料电容不会起变化。而电感量 L 的定义公式为

$$L = \mu (N^2 / l) S$$

μ = 介质磁导率

N = 线圈匝数

l = 线圈长度

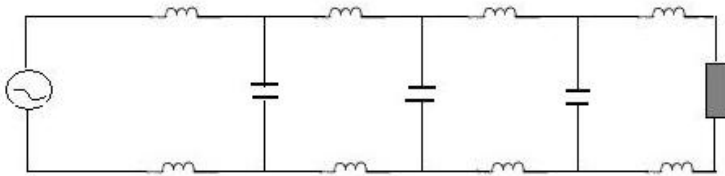
S = 线圈横截面积

可以看出，电感量只和材质及几何形状有关，和频率无关。所以在 f 足够高的情况下，特性阻抗和频率没有关系了。频率再高，特性阻抗都等于电感量除以电容量的平方根。（实际上特性阻抗等于感抗容抗乘积的平方根，由于在乘积中约除了有关频率部分，所以有些资料中说特性阻抗和频率无关，实际上应该是在足够高频的情况下，特性阻抗和频率无关）

同轴电缆的模型是怎么样的？

同轴电缆可以表示为分布的串联电感和分布的并联电容，一种不对称的过滤装置排列起来，特定的电缆有唯一的值。如果给定某个频率，而且这个频率合适，这套过滤装置可以最大化地传递信号；如果频率再提高的话，这套装置会削弱信号。

注：这段信息很有意思，考虑一下，特性阻抗没有变化，而信号却减弱了！为什么会这样？唯一的合理解释，就是在电缆的接收端电压和电流都减弱了，而且是按照相同的比例减弱的。下面画出一张传输线分布参数的草图，这个理论是无线电工业的工程工具之一，在这个理论中线长可以变动，可以使用复数源，和复数的终端阻抗。实际上阻抗这个词代表有实部和虚部



简单的传输线分布参数图

如何用同轴电缆本身的性质计算特性阻抗?

电缆的长度和它的特性阻抗无关。特性阻抗是由导体的大小和间隔,还有就是导体之间的绝缘体的种类决定的。通常的同轴电缆在常规的频率下使用,特性阻抗由内导体和外(屏蔽)导体的尺寸决定的,当然内导体和外导体之间的绝缘体也起着决定作用。

下列方程可以用来计算同轴电缆的特性阻抗:(摘自 Reference Data for Radio Engineers book published by Howard W. Sams & Co. 1975, page 24-21)

$$Z_0 = (138 / \sqrt{e}) * \lg(D/d)$$

同轴电缆的特性阻抗计算

其中:

lg = 以 10 为底的对数

d = 中心导体的直径

D = 电缆屏蔽层的内径

e = 介电常数(空气为 1)

简单地说,同轴电缆的特性阻抗就是一个商的平方根(这个商是单位长度的电感除以单位长度的电容)同轴电缆的特性阻抗典型值在 20-150 欧姆之间。电缆的长度无论如何都无法影响特性阻抗。

如果同轴电缆使用的传输频率过高,则波会以我们不期望的方式传播,(就是说会产生非预期的电场和磁场图)电缆这时不能正常工作是由多方面原因造成的。

如何计算平衡传输线(对称传输线)的特性阻抗?

特性阻抗是由导体的大小和导体间的间隔,以及导体之间使用的绝缘体决定的。平衡传输线或双绞线的阻抗 Z_0 ,由线距和线径比决定,前面提到的绝缘体种类一样起决定作用。现实中的 Z_0 在高频下相当接近纯电阻,但并不完全相等。

下列公式可以用来计算接近地面的平衡传输线的特性阻抗(摘自 Reference Data for Radio Engineers book published by Howard W. Sams & Co. 1975, page 24-22)

$$Z_0 = (276 / \sqrt{e}) * \lg \sqrt{(2D/d) * (1 + (D/2h)^2)}$$

其中

lg = 以 10 为底的对数

d = 传输线线径

D = 线对之间的距离

e = 介电常数(空气为 1)

h = 线对和地面之间的距离

这个公式不只是适用于非屏蔽平衡传输线,当 D 比 d 大,而 h 比 d 更大的时候(带屏蔽的平行传输线也适用)。如果双绞线离地面非常远(h 接近无穷大)则地面的影响可以忽略不计,线缆的阻抗可以由一个简化的公式近似:(原文作者本人推演上面的公式得出的)

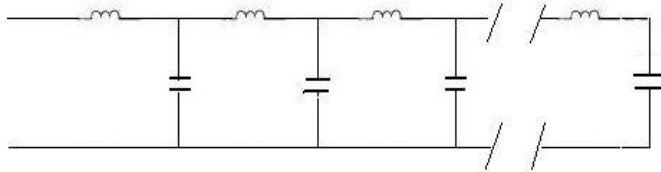
$$Z_0 = (276 / \sqrt{e}) * \lg(2D/d)$$

注：将对数中真数部分少做改动对结果影响不大，因为结果是真数的指数，可以这个简化接受。但原来的公式有个开方，这个相当于结果 1/2！

对双绞线来说，典型的特性阻抗在 75 欧姆到 1000 欧姆之间，可以满足各种应用的需要。典型旧式电话线对，架在电线杆间的空中，其特性阻抗大约是 600 欧姆左右。现在使用的电话和电讯电缆典型的特性阻抗为 100 或 120 欧姆。

我可以使用的哪种电路模型来描述长线的同轴电缆？

如果您知道一定长度的电缆的电感量和电容量的话，可以使用下面的电路模型描述长线同轴电缆：



简单的传输线分布参数图

这个模型对理解描述阻抗，电容，电感之间关系的阻抗等式非常有帮助：

$$Z_0 = \sqrt{L / C}$$

我能否使用万用表来测量电缆的阻抗？

电缆的特性阻抗只描述了电缆在高频信号下的的工作性质。万用表是用直流电流来测量电阻值的，所以不能用万用表或其他简单的测量设备来测量电缆的阻抗。通常最好的方法是检查电缆的类型（一般印刷在电缆外面）查阅相关的信息手册，而不要试图实际测量。

我如何测量电缆的阻抗呢？

使用一个关系式来确定 Z_0 比使用设备测量要简单很多。在给定的频率，可以这样来推算电缆的阻抗：测量一段电缆在远端开路情况下的阻抗 Z_{oc} ，再测量该段电缆在远端短路的情况下的阻抗 Z_{sc} ，用下面的等式来确定 Z_0 ：

$$Z_0 = \sqrt{Z_{oc} * Z_{sc}}$$

其中

Z_{oc} = 某一电缆在远端开路的情况下测量出的阻抗

Z_{sc} = 该电缆在远端短路的情况下测量出的阻抗

注意：对 Z_{oc} 和 Z_{sc} 的测量包含了幅值和相位，所以 Z_0 也会有幅值和相位。

阻抗高频测量法是先确定电缆的传播速度和电容，或者使用反射计。

什么情况下电缆的阻抗会影响到信号？

为了使电缆的特性阻抗能够对传输的信号产生不同的影响，电缆的长度必须至少是实际载频波长的数分之一。（注：表达的意思应该是电缆长度和波长必须是可比的，使信号可以在传输线上传送出波形的一部分，如 1/4 或更多）

大多数的金属丝可以用光速 60~70%来传递交流电，换个说法就是每秒传递 19.5 万公里。一个频率为 20000Hz 的音频信号的波长为 9750 米 (195/0.02MHz=9750m)，所以电缆起码要有 4~5 公里长

才开始影响音频信号。所以音频连接电缆的特性阻抗和其他困扰我们的问题相比，算不上什么。标准的视频信号很少有超过 10MHz 的，其大概波长大概是 20 米。这样高的频率足以使特性阻抗开始对信号产生影响。高分辨率的电脑显示信号和高速的数据信号经常超过 100MHz，所以即便是很短的电缆传输，也要考虑到正确的阻抗匹配问题。

如何进行阻抗匹配？

首先驱动电缆电源的输出阻抗，必须和电缆的特性阻抗相等，这样才能使所有输出的功率进入传输电缆，避免从电缆的输入端反射回入源。其次，应该使电缆输出端负荷设备的输入阻抗和电缆的特性阻抗相同，这样所有功率进入了负载设备，而不会被负载反射回电缆。

这个正常的驱动方法有很多的例外，但一般是用来做其他用途的。可以选一个特性阻抗匹配使低频带宽的传输功率最大化，或者使阻抗失配改善更宽广频宽下的响应。这是工程师的抉择，视其需求而决定。

为什么需要阻抗匹配？

如果您的源输出阻抗，电缆特性阻抗，和负载输入阻抗之间存在失配的话，将存在反射，并完全由电缆长度决定（反射的状态）。此外如果电缆被非正常使用，如挤压，打结，或者连接器的安装不正确，会产生反射，造成功率损失。更有甚者，如果是大功率向电缆输出（比如无线广播台），反射功率可能会损坏功率源设备。所以您必须小心防范阻抗失配问题。

并非所有的教科书中都说明了这个不寻常的情况：当天线把功率送回（没有正确终止），功率可以从同轴电缆的内芯直接穿透到电缆的外芯屏蔽网，这时天线的功率是最低下的。这意味着射频可以传送到同轴电缆的外部，关于同轴电缆最难理解的概念是当电缆被终结时，（对源来说，）感抗和容抗则不存在了。

注：这句话的意思不太明白。是否在说加一个合适的终端电阻之后，由于源的平稳的输出电压和电流，电缆上电压电流不会产生变化，一个正确终止的电缆在源看来是无限长的。

列出电缆阻抗的最大理由是其可靠的电学特征，或者说只是要表明其阻抗。同轴电缆一般承载一些离散的低振幅高频率信号。离散信号的信号衰减是非常严重的-即便是最理想的阻抗匹配也会有半数的信号损失，少许的失配更会造成更大的损失，在天线发送信号的过程中尤为严重。需要仔细匹配传输部分，如同轴电缆，以使信号保真并减少噪音。

所谓的电容在电缆性能或传输能力上有什么影响吗？

如果同轴电缆被终止了则电缆上的电容没有什么影响。对源来说，电缆上完全没有电容和电感。这种传输线的特性被应用在 PCB 上隐藏高频线路的电容。工程人员可以设计出具有恰当的电容和电感值的 PCB 线路，则对源来说除了一条具有恰当阻抗的传输线，什么都觉察不到。

在数据传输中为什么特性阻抗如此重要？

如果电缆被和本身特性阻抗等值的电阻终止的话，您不能从源端区分电缆是否是无穷长的-所有馈入电缆的信号都被电缆和负载吸收了。

如果阻抗不匹配的话，电缆中的部分波会从电缆失配处反射，当这些反射波碰撞到信号发生器（源）的时候，它们再次反射并和正在发射的正常信号混合，很难区分出哪些是原始信号，哪些是再次反射波。

同样地在将信号脉冲送出电缆时也是如此-当遇到和本电缆特性阻抗不匹配的阻抗时，部分能量被反射回源端。如果信号脉冲到达了电缆的开路或短路端，所有的能量都被反射回去（除了衰减损失部分-这是另一个话题了）。如果是其他不匹配的终止情况，则有部分能量会反射。

反射能量会使信号失真，而且如果信号发生器的阻抗和电缆的阻抗不同的话，能量会被再次反射向电缆终端，形成多余的脉冲信号。

我能否不加阻抗匹配地使用同轴电缆？

如果电缆非常短，电缆的阻抗对信号的影响不大。通常使用同轴电缆的最佳传送方法是做阻抗匹配。虽然有些应用中线缆的两端并为做正常的阻抗匹配工作。有些特殊的应用则应该在电缆的一

端进行匹配，或者故意使两端失配。这些只是些专用的场合，实际上已经仔细考虑过电缆的阻抗，使电缆及缆端终止在组合后形成的整个系统产生预期的传输效果。在此类应用中电缆不再是一条被动的传输线，而成为电路中的信号调整元件。

什么是传播速度比？

传播速度百分比是以真空光速为基数的。这个百分比指出电缆中的信号速度和真空光速之比率。在合理的条件下，同轴电缆中的传播速度由绝缘体决定。

为什么频率增大时衰减曲线也趋向增大？

这主要归结于内外导体间有限的电流穿透能力（趋肤效应）。随着频率增大，电流透入导体的深度会随之减小，从而电流被封闭在金属表面更浅薄的区域。因此电阻和衰减就更大。同时在绝缘体的内部也会有部分的能量损失，也是造成衰减的原因。

如何将同轴电缆中的衰减降到最低？

对一条外导体直径固定的导线来说，如果外导体和内导体的电阻率相同，并且假设绝缘体没有损失（至少要类似聚乙烯或聚四氟乙烯在高频下的表现），将下列表达式的值控制到最小，此时同轴电缆中的损失最小。

$$(1/d+1)/\ln(1/d)$$

其中 d 是内导体的直径和外导体的直径之比（原文有笔误，根据下文可以断定是内外导体之比率。本文中笔误不少）。使用一个简式或算子可以快速地找到答案。 $D/d=3.5911$ 相当接近。这个公式据说源自两个公式，一个是同轴电缆阻抗和 D/d 的关系比公式，另一个是有关损失的公式，可以在 Howard Sams 出版的“Reference Data for Engineers”第七版中的页 29-13 找到。

一个有趣的事情要注意，最小衰减并不直接决定导线的阻抗：导线的阻抗是由绝缘体的介电常数决定的。对一条用空气作绝缘层的导线来说，对应的阻抗（只 D/d 为 3.5911 时，最小衰减点）大概为 76.71 欧姆，但如果使用固体聚乙烯作绝缘层的话，最小衰减点对应的阻抗大约是 50.6 欧姆。所以，不管我们将 RG-58 做什么用途，不管是做天线馈电用还是做连接测试设备用，都很接近上述给出的最小衰减的条件，而且绝缘体为聚乙烯。

但是如果导线使用了传导速度因子为 0.8 的发泡绝缘体，对应最小衰减的阻抗变成了 61 欧姆。但无论如何，最小衰减是一个很重要指标，而且您的阻抗匹配如果没有偏离最佳阻抗 50% 以上，（失配造成的反射）不会造成太大的损失。

注意，发泡绝缘体导线如果和固体绝缘体导线的阻抗并外径相同的话，发泡绝缘体导线的衰减更低。这是因为，为了使两者的阻抗相同，发泡导线必须使用更粗的内导体，粗导体有更小的 RF 电阻，故此有更小的损耗。

典型的电缆阻抗

什么是典型的电缆阻抗？

同轴电缆使用的最典型阻抗值为 50 欧姆和 75 欧姆。50 欧姆同轴电缆大概是最使用中常见的，一般使用在无线电发射接收器，实验室设备，以太等环境下。

另一种常用的电缆类型是 75 欧姆的同轴电缆，一般用在视频传输，有限电视网络，天线馈线，长途电讯应用等场合。

电报和电话使用的裸露平行导线也是典型的阻抗为 600 欧姆。一对线径标准 22 的双绞线，使用合适的绝缘体，因为机械加工的限制，平均阻抗大约在 120 欧姆左右，这是另一种具有自己特有特性阻抗的传输线。

某些天线系统中使用 300 欧姆的双引线，以匹配折合半波阵子在自由空间阻抗。（但当折合阵子处于八木天线中的时候，阻抗通常会下降很多，一般在 100-200 欧姆左右）

（注：加反射板也会改变阵子的阻抗值，一般会降低，而且反射板越近则阻抗降低越多。）

为什么是 50 欧姆的同轴电缆？

在美国，用作射频功率传输的标准同轴电缆的阻抗几乎无一例外地都是 50 欧姆。为什么选用这个数值，在伯德电子公司出示的一篇文章中有解释。

不同的参数都对应一个最佳的阻抗值。内外导体直径比为 1.65 时导线有最大功率传输能力，对应阻抗为 30 欧姆（注： $\lg 1.65 \times 138 = 30$ 欧姆，要使用空气为绝缘介质，因为这个时候介电常数最小，如果使用介电常数为 2.3 的固体聚乙烯，则阻抗只有不到 20 欧姆）。最合适电压渗透的直径比为 2.7，对应阻抗大约是 60 欧姆。（顺带一提，这个是很多欧洲国家使用的标准阻抗）当发生击穿时，对功率传输能力的考量是忽略了渗透电流的，而在阻抗很低，30 欧姆时，渗透电流会很高。衰减只源自导体的损失，此时的衰减大约比最小衰减阻抗（直径比 3.5911）77 欧姆的时候上升了 50%，而在这个比率下（ $D/d=3.5911$ ），最大功率的上限为 30 欧姆电缆最大功率的一半。

以前，很少使用微波功率，电缆也无法应付大容量传输。因此减少衰减是最重要的因素，导致了选择 77（75 欧姆）为标准。同时也确立了硬件的规格。当低耗的绝缘材料在实际中应用到柔性电缆上，电缆的尺寸规格必须保持不变，才能和现存的设备接口吻合。

聚乙烯的介电常数为 2.3，以空气（介电常数为 1）为绝缘层的导线的阻抗为 77 欧姆，如果以聚乙烯来填充绝缘空间的话，阻抗将减少为 51 欧姆。虽然精确的标准是 50 欧姆，51 欧姆的电缆在今天仍然在使用。

在 77 欧姆点的衰减最小，60 欧姆点的击穿电压为最大，而 30 欧姆点的功率输送量是最大的。

（注：洋人的思维也如此混乱，这些性能指标明明不是由阻抗决定的。前面说过，这些由 D/d 比决定的。闲扯这些只让人产生误解）

另外一个可以导致 50 欧姆同轴电缆的事情，如果您使用一个合适直径的中心导体，并将绝缘体注入中心倒替周围，再在外围装上屏蔽层，选好所有的尺寸以便别人使用并顾及到外观的美观，结果其阻抗都落在 50 欧姆左右。如果想提高阻抗，中心导体的直径和导线的总径相比的话太细了；如果想降低阻抗，则内外导体之间的绝缘体厚度要做的很薄。几乎任何同轴电缆由于机械美观度的原因，都会接近 50 欧姆，这使 50 欧姆成为标准化的一种自然趋向。

电缆的电容和特性阻抗

取一条短粗的同轴电缆，不连接任何东西，中心导体和屏蔽层就形成了一个电容器。如果一直为电容充电直至压差为 100V，然后将屏蔽层和中心导体短路，电流有多大？

电流不象普通电容那样无穷大（由寄生电阻和电抗决定的），而是由导线的特性阻抗决定的。如果是 50 欧姆电缆充电到 100V，电流会是 2 安培（ $100/50$ ）。电流形成一个方波，时宽（持续时间，脉冲宽度，选哪个称呼都一样）由电缆长度决定（大约 1.5ns/英尺，因导线的速度因子不同而变化）。

这个例子可以用来产生电流脉冲到半导体激光器，如果想要比此类电缆产生的波长更长的脉冲，可以使用集总阻抗之类的东西。

应用同轴电缆

如果在需要 75 欧姆的视频应用中使用了 50 欧姆的电缆会怎样？

如果 50 欧姆的电缆连接了 75 欧姆的负载（接收器），会有相当一部分的信号反射向发射设备。因为发射设备也是 75 欧姆的，这个反射信号会有部分再反射向接受设备。因为信号比正常信号有所延迟，在显示时表现为鬼影一样的图象，大量此类的鬼影象回声一样反复。同时，反射在某些频率引起部分信号损失。

我如何转换电缆的阻抗值？

阻抗本身是不能转换的，除非您更换整一条具有其他阻抗的电缆，如果您必须要使用现存的电缆，那有一个方法可行：进行阻抗转换。由于有转换转换器可以使用，两端都安装该转换器的电缆好象具有了不同阻抗。

有些地方是可以用电阻转接器来转换电缆阻抗的，转接器比转换器简单，但使用中一般有很显著的信号损失。（75 欧姆转换到 50 欧姆典型的损失有 6dB 左右）

电路板上印刷电路的阻抗

电路板上的线路能够发送高速信号，前提条件是要仔细地调整线路的阻抗，使其和源驱动元件（芯片）的阻抗及目的地元件阻抗想匹配。如果可以控制好板面上线路的线厚，线宽，线高，微带线可以表现为某个阻值的特性阻抗。

特性阻抗公式

$$Z = (87 / \sqrt{Er + 1.41}) * \ln[(5.98 * h) / (0.8 * w + t)]$$

其中

Er=介电常数（典型的玻璃纤维板为 4.8）

h =绝缘体的高度（电路线和玻璃纤维板底面之间的距离）

t =铜质线路的厚度

w =铜质线路的宽度

介电常数 Er 对于常规 0.0062" (0.062 英寸=1.57mm)的玻璃纤维来说是 4.8。使线路的厚度保持为 0.00134"，宽度保持 0.109"，则其微带线的阻抗控制为 50 欧姆。

当为电路板安排线路的时候，差分线路对应该保持相同的长度，同时这些线路应该尽可能地短。

不同阻抗之间的阻抗匹配

如果两条具有不同阻抗的电缆连接在一起，或者电缆连接到具有不同阻抗的信号源时，则需要做阻抗匹配工作以避免连接处发生信号反射。

使用转换器进行阻抗匹配

异阻抗匹配的最正统方法是使用具有正确阻抗转换率的匹配转换器。转换器的阻抗转换率有下面的公式计算：

$$Za / Na^2 = Zb / Nb^2$$

其中

Za=输入阻抗

Na=输入线圈的匝数

Zb=输出阻抗

Nb=输出线圈的匝数

等式可以转化为另一种形式

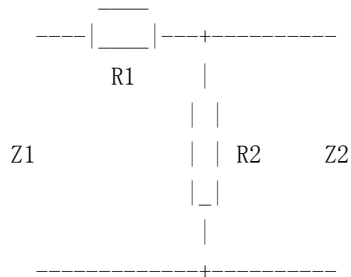
$$Zb = Za * (Nb / Na)^2$$

从这个等式可以看出，匝数比和两级线圈间的电压转换比相等。这意味可以使用电压比套入公式，而不必知道确切的匝数比。

（注：这种异阻抗匹配实际上是使用变压器进行的，由于翻译的通顺使用了转换器一词，实际上 transformer 的中文意思之一就是变压器）

使用电阻打造阻抗匹配网

下图所示的匹配网络可以用来进行异阻抗间的匹配，假定 Z1 的电阻大于 Z2 的电阻



(注：图中是两个平行传输网的匹配。)
电路中的电阻可以用下面等式计算

$$R1 = Z1 - \frac{Z2 * R2}{Z2 + R2}$$

$$R2 = \frac{Z2 * \sqrt{Z1}}{Z1 - Z2}$$

下表预算出了几个常用接口数值：

Z1 (ohm)	Z2 (ohm)	R1 (ohm)	R2 (ohm)	衰减 (dB)
75	50	42,3	82,5	5,7
150	50	121	61,9	9,9
300	50	274	51,1	13,4
150	75	110	110	7,6
300	75	243	82.5	11,4

可以看到表中所列简单电阻基础上的阻抗匹配，会在转换过程中产生相当大的信号衰减。