

网络变压器

汪源浚 编著

非外借



科学出版社

网络变压器

汪源浚 编著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书以问答形式介绍网络变压器方面 50 多个问题, 内容包括网络变压器的作用、工作原理、结构、制造工艺、指标测试、测试仪器的使用方法和技巧, 各个问答都给出物理概念清晰、计算简便的答案。书中的内容是作者在 20 多年中给多家网络变压器公司做技术顾问期间所遇到, 并解决了的各种问题的总结。实践表明按书中介绍的方法操作, 可帮助公司提高产品的合格率、节省材料、减少工时、提高生产效率, 能给公司带来效益。作者还以书中内容作为教材为各个公司培训出一批技术人员。

本书可供从事网络变压器、有线局域网行业的技术人员阅读, 可帮助磁性材料行业的厂家了解网络变压器用户对磁产品的性能需求, 也可供从事其他用途变压器的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

网络变压器/汪源浚编著. —北京: 科学出版社, 2017.11
ISBN 978-7-03-054623-4

I. ①网… II. ①汪… III. ①网络—变压器 IV. ①TM4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 239231 号

责任编辑: 闫 悦 / 责任校对: 郭瑞芝

责任印制: 张 伟 / 封面设计: 迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 11 月第 一 版 开本: 720×1 000 1/16

2017 年 11 月第一次印刷 印张: 19

字数: 370 000

定价: 108.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

随着有线局域网的普及与发展,网络变压器行业也应运而生。在一个单位建立一个有线局域网,可以实现领导与各个部门以及各个部门之间的互相通信,工作效率可以大为提高。

在有线局域网中服务器、路由器、集线器、计算机等设备之间的互相通信是用连接它们的电缆或双绞线来实现的。但是由于连接电缆或双绞线很长,最长的可达 100m,直接将处在两地的电子设备连接起来会带来许多问题。首先,两地的地电位不同,在连接线两端会形成频率极低的缓变电压。缓变电压将直接加在处在两地的设备内部网卡的集成电路芯片上,导致集成电路芯片可能被烧坏。其次,近百米的长线相当于一根很长的天线,外界的电磁干扰(包括幅度高达数千伏的雷电干扰)会通过长线进入网卡,可能会使被传送的数据信号产生误码,甚至击穿集成电路芯片。再次,服务器等设备内部的开关电源、时钟信号发生器等产生的电磁噪声将通过长线向周围空间发射,形成对其他电子仪器的干扰源。最后还有阻抗匹配问题,电缆或双绞线的特性阻抗都是固定的,要求与它连接的数据信号源内阻和负载电阻与长线的特性阻抗相匹配。否则在长线两端将因阻抗失配产生反射干扰信号,也会使被传送的数据信号产生误码。近年来,人们又对网线提出了一项额外的任务:要求利用长线将甲地多余直流电源向处在乙地的电子设备供电。显然,采用直接连线的方法这些问题都解决不了,更无法完成新加的任务。

如果在连接线两端与半导体集成电路、负载电阻连接处各加上一个变压器,则上述问题可得到解决。因为变压器能让数据信号顺畅通过,又能阻断内、外的电磁干扰和低频电压在网线中的传播。改变变压器初级线圈与次级线圈的匝数比,就能实现阻抗匹配。由于变压器初级线圈与次级线圈之间的绝缘层隔断了初级线圈与次级线圈的直流联系,次级线圈可用来传送直流电源,所以在连接线两端加变压器的方案,在有线局域网中得到广泛的应用。

与电力系统的变压器相比,有线局域网中的变压器具有功率小、频带宽等特点,目前人们普遍把用在有线局域网中的变压器称为网络变压器。

现在的网络变压器由两个或三个绕在磁环上的线圈组成。用漆包线在磁环上绕十多匝后,就可获得一个磁环线圈。磁环的直径约为 3mm,漆包线的直径约为 1mm。网络变压器是一个体积很小的器件。

一台计算机的网卡上至少安装有两个网络变压器,一台路由器的印刷电路板上并排焊接的网络变压器多达几十个,服务器、集线器中网络变压器就更多了。因此,一

个有线局域网中所用网络变压器的数量十分惊人。由于用量特别大，生产网络变压器的公司也很多，每个公司的日产量也很高。

从工作原理和结构上看，网络变压器不算很复杂的器件。但由于产量高、工序多，加上有线局域网快速发展提出的新要求，在研发、生产、加工网络变压器过程中会出现许多意想不到的技术问题。

本书作者从 1996 年开始，先后被几家网络变压器生产公司聘为技术顾问。在顾问期间主要解决网络变压器研发、生产过程中出现的各种技术问题。在 20 多年的顾问期间里遇到过数千个问题。在某种意义上讲，本书也是解决其中部分技术问题的总结。希望本书能对正在从事网络变压器和有线局域网行业的技术人员有所帮助。

也希望本书能引起更多的科技人员和新参加工作的年轻朋友对网络变压器行业的关注和兴趣，让我们共同努力把我国网络变压器行业的水平提升到新的高度。

中国工程物理研究院陶益之高级工程师阅读了全部书稿，并提出不少宝贵意见，在此致谢。

限于作者的实践范围和理论水平，书中不足之处在所难免，希望读者批评指正。

汪源浚

2017 年 4 月

目 录

前言

第 1 章	网络变压器在有线局域网中的作用	1
1.1	网络变压器在有线局域网中的作用是什么?	1
1.2	有线局域网中有哪些电流通过? 这些电流通过的路径是怎样的?	7
1.3	在有线局域网中通过网络变压器的数据脉冲电压信号的波形是什么样的?	12
1.4	如何计算阻抗从变压器的一个线圈转换到另一个线圈间的等效值?	14
1.5	如何检测组合变压器中各线圈的电感?	19
1.6	用以太网传送直流电压应注意哪些问题?	25
1.7	如何利用网络变压器中多单元电路提高 POE 电流?	30
1.8	用电容代替变压器的接口器件能否代替传统磁环线圈变压器?	38
第 2 章	网络变压器的频率特性	44
2.1	网络变压器有哪些主要频率特性? 如何检测这些频率特性?	44
2.2	变压器的通频带与矩形脉冲失真的关系是怎样的?	51
2.3	网络变压器频率特性不合格对数据信号有何不良影响?	57
2.4	如何计算平衡滤波器插入损耗和输入阻抗?	63
2.5	如何利用信号发生器和示波器组成检测低通滤波器插入损耗的组合电路?	68
2.6	什么是滤波器群延迟? 如何用网络分析仪对它进行检测?	74
2.7	用网络分析仪检测网络变压器 IL、RL、CT 等频率特性时为什么要加 50Ω/100Ω 非平衡↔平衡阻抗转换器?	80
2.8	如何用电阻、扼流圈组成 50Ω/100Ω 非平衡↔平衡阻抗转换器?	84
2.9	要在信号源内阻和负载电阻为任意值情况下实现双向阻抗匹配, 匹配电阻 R_1 、 R_2 的表达式是怎样的?	91
2.10	网络变压器的插入损耗和回波损耗与其 S 参数有何关系?	92
第 3 章	网络变压器的制造工艺	94
3.1	网络变压器的绕线方法对其插入损耗有何影响?	94
3.2	焊点位置、连线长短、线圈间的涂料等制造工艺对网络变压器的插入损耗有何影响?	102
3.3	如何设计网络变压器的扼流圈?	109

3.4	如何计算绕在磁环上线圈的匝数? 如何提高圈比为 1:2 变压器的合格率?	116
第 4 章	磁环的性能及其对网络变压器的影响	118
4.1	如何用示波器和信号发生器检测磁环的 $B-H$ 磁滞回线?	118
4.2	为什么磁环线圈中的直流偏流会使其电感减小?	124
4.3	如何用示波器、信号发生器观测直流偏流使磁环线圈电感减少的现象?	130
4.4	磁环的几何形状对磁环线圈的电感有何影响?	136
4.5	为什么要引入磁环复数磁导率概念?	141
4.6	为什么耐压检测后滤波器的频率特性会改变? 如何修复滤波器的频率特性?	147
4.7	采用什么样的耐压检测方法可减少变压器内部磁环的剩磁?	151
第 5 章	网络变压器的指标及其检测方法	163
5.1	什么是变压器的漏感, 如何对它进行检测?	163
5.2	网络变压器中有哪些线间电容? 它们对数据脉冲电压信号和 EMI 的传播有何影响?	167
5.3	如何减少变压器的线间电容?	172
5.4	网络变压器中有哪些直流电阻? 它们对数据脉冲电压信号和 POE 电流的传播有何影响?	174
5.5	为什么要检测网络变压器线圈的圈比和极性?	180
5.6	什么是网络变压器对称性? 如何对它进行检测?	186
第 6 章	检测网络变压器的设备及其使用方法	193
6.1	LCR 测量仪的工作原理是怎样的? 使用中应注意哪些问题?	193
6.2	检测元器件和变压器圈比时, LCR 测量仪是怎样与它们连接的?	198
6.3	为什么要对 LCR 测量仪做短路、开路和负载校正? 如何进行校正?	201
6.4	如何利用 HP4263B 型 LCR 测量仪检测特大电感?	205
6.5	如何利用 8712 ET 型网络分析仪检测网络变压器阻抗?	210
6.6	什么是检测非 1:1 圈比变压器插入损耗的双产品法?	215
6.7	耐压强度/绝缘电阻检测仪的工作原理是怎样的? 使用中应注意哪些问题?	220
6.8	检测元件阻抗的方法有几种? 各种方法有何特点?	226
第 7 章	对焊在 PCB 上或接有元件的网络变压器的检测方法	228
7.1	如何检测 Pin 脚串有电容网络变压器与各 Pin 脚的连线中是否有断线、虚焊等现象?	228

7.2	如何检测焊在路由器上网络变压器绝缘层耐压强度?	233
7.3	如何检测网络变压器中限幅器的焊接状态?	238
7.4	怎样对网络变压器做浪涌冲击抗扰度(surge)测试比较接近 实际工作情况?	244
第 8 章	传输线特性阻抗	250
8.1	如何用示波器和信号发生器检测电缆、两平行导线(如双绞线、 扁平线等)的特性阻抗?	250
8.2	如何用 LCR 测量仪检测电缆、两平行导线的特性阻抗?	251
8.3	如何计算扁平线和同轴电缆的特性阻抗?	254
8.4	传输线阻抗失配对脉冲波形有何影响?	258
8.5	为什么说 UTP 的插入损耗与其长度成正比?	264
8.6	100m 长的非屏蔽双绞线(UTP)的插入损耗曲线是什么样的?	266
第 9 章	其他相关仪器和电路	268
9.1	为什么数字存储示波器具有负延迟功能?	268
9.2	如何利用隧道二极管振荡器(成形电路)检测阶跃脉冲通过 网络变压器后的上升时间?	273
9.3	直流-直流电压转换器的工作原理是怎样的?	280
9.4	如何根据光电倍增管的输出特性的特点设计其阳极与记录 设备的连接电路?	286
9.5	为什么图 9.5.1 所示光电倍增管输出脉冲电压的响应时间不是 5ns 而是 200ns?	291

第 1 章 网络变压器在有线局域网中的作用

1.1 网络变压器在有线局域网中的作用是什么？

在有线局域网中，计算机与服务器之间、计算机与路由器之间都是采用特性阻抗接近 100Ω 的非屏蔽双绞线（unshielded twisted paired, UTP）来连接的。由于服务器、计算机、路由器可能安装在同一栋大楼的不同楼层，也可能安装在不同大楼的不同楼层，它们之间连线的长度可能达到数十米。如果相距数十米的计算机、服务器（或路由器）直接用 UTP 连接起来，在它们之间互相传送数据信号是没有问题的，但是，由于各个地方的地电位不同，在 UTP 两端形成频率极低的缓变电压将直接加在网卡的集成电路芯片（chip）上，可能会损坏 chip。UTP 上感应到的外界电磁干扰（electro magnetic interference, EMI）可能会使被传送的数据信号产生误码。服务器、计算机内部开关电源和时钟信号发生器等产生的电磁噪声也将通过 UTP 向周围空间发射，形成对其他电子仪器的干扰源。

为了保证网卡上 chip 的安全、减小外界 EMI 造成的误码和抑制计算机内部的电磁噪声向空中发射的能量，就需要在网卡与 UTP 连接处加一个既能使被传送的数据信号畅通无阻，又能阻断低频地电压和高频 EMI 相互传播的器件，这个器件就是目前在有线局域网中广泛采用的网络变压器。

网络变压器除了具有上述阻断各种 EMI 的功能，还是一个很好的阻抗转换器。如果网卡上的 chip 中相关电路的输入、输出阻抗不等于 100Ω ，则它们与 UTP 的连接处将处在阻抗失配状态。此时，用改变网络变压器初级、次级圈比的方法，很容易使 chip 与 UTP 之间实现阻抗匹配。

下面以目前在有线局域网中广泛采用的几种网络变压器为例来介绍网络变压器的工作原理和作用。

1. 绕在同一磁环上带中间抽头的两线圈组成的网络变压器

图 1.1.1 所示为由带中间抽头的两个线圈组成的网络变压器（transformer，书中用 T 件表示）。图 1.1.2 所示为由单个 T 件组成网络变压器在实际使用时与 UTP 连接的示意图。图中空心箭头表示数据信号（用矩形脉冲表示）传送方向，实心箭头表示数据信号电流的方向。 Pin_1 通过 R_1 (75Ω) 和 C_1 (1000pF) 组成的串联电路交流接地， Pin_2 通过 C_2 ($0.1\mu\text{F}$) 交流接地。

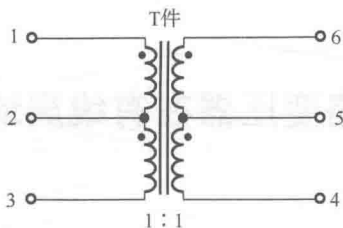


图 1.1.1 带中间抽头的网络变压器

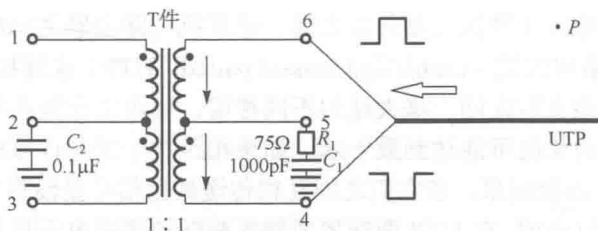


图 1.1.2 带中间抽头网络变压器与 UTP 的连接图

在计算机内部主机板和网卡上的数据电压信号都是非平衡信号。所谓非平衡信号是所有电压信号的极性和幅度的参考点都是公共地线。网卡向对方发送的数据电压信号在进入网络变压器、UTP 之前，由网卡上的芯片将它们转换成平衡信号。平衡信号的特点是两根信号线上电压的参考点仍然为地线，但每根信号线上电压幅度相等，极性相反。接收方网卡上的芯片从 UTP、网络变压器上收到发送方传输来的平衡信号之后，将它们转换成非平衡信号，再送回到接收方计算机的主机板上。这种互相传送数据信号的方式，除了能消除传送系统对外界电子设备的干扰和外界 EMI 对传送系统的干扰，还能阻断 EMI 在其初级-次级线圈之间互相传播。下面对此分别说明。

假定 UTP 上叠加有来自计算机内部开关电源、时钟发生器等电路的 EMI 信号，并通过 UTP 向空中发射。有一台电子设备处在图 1.1.2 中的 P 点。以 V_P 表示 UTP 中一根线对 P 点形成的干扰电压，则另一根线对 P 点形成的干扰电压为 $-V_P$ 。因为 UTP 中两根导线是绞在一起的，它们到 P 点距离相同。 P 点同时接受到幅度相等、极性相反的两个干扰电压，干扰信号互相抵消了，等于没有受到干扰。

反过来，如果图 1.1.2 中的 P 点是个干扰信号源，UTP 上将感应到来自 P 点的共模干扰信号，但此共模干扰信号不会影响数据电压信号的传送。图 1.1.3 所示为数据传输系统自动消除共模干扰过程的示意图。图 1.1.3(a)所示为计算机内部待传送的非平衡数据电压信号的波形，图 1.1.3(b)所示为发送端网卡上芯片将非平衡电压信号转变为平衡电压信号后的波形，图 1.1.3(c)所示为平衡电压信号上叠加有共模干扰的波形，图 1.1.3(d)所示为接收端网卡上芯片将图 1.1.3(c)中下部的 $-V/2$ 倒相成 $+V/2$ 后的波形，图 1.1.3(e)所示为接收端网卡上芯片将图 1.1.3(d)中两路电压信号相加后得到的波形。

由于图 1.1.3(d)中两路电压信号上叠加的 EMI 的极性相反,在相加过程中自动被消除,因而最后送到接收端计算机的将是消除 EMI 后的数据电压信号。

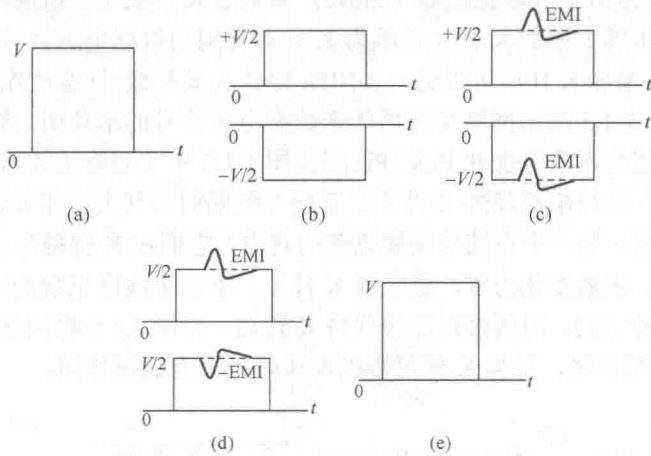


图 1.1.3 数据传送系统自动消除共模干扰过程的示意图

下面再介绍图 1.1.1 所示网络变压器阻断 EMI 在其初级-次级线圈之间互相传播的作用。图 1.1.4 所示为网络变压器阻断来自 UTP 的 EMI 向网卡方向传播的示意图。从图中可以看出,在 Pin₆ 和 Pin₄ 上 EMI 电压的波形完全相同,它们在次级上、下两个线圈中引起的电流大小相等,方向相反。两电流在磁环内引起的磁通变化互相抵消了。磁通变化为零,意味着次级上、下两个线圈呈现的感抗为零,可以用两根短路线代替它们。EMI 通过两根短路线、中间抽头、 R_1 - C_1 串联电路将 UTP 上感应到的 EMI 泄放到地线上,因而减少了由 UTP 传送到网卡上 EMI 的幅度。

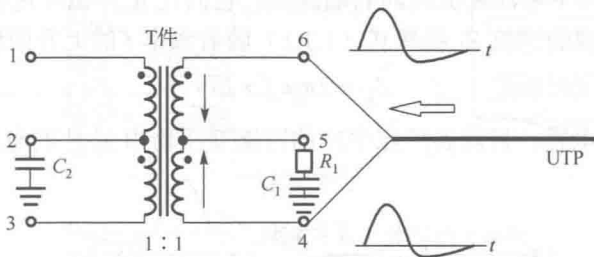


图 1.1.4 T 件阻断 UTP 的 EMI 传向网卡的示意图

同样的道理,来自网卡的计算机内部开关电源、时钟发生器等电路的 EMI 将通过初级线圈的中间抽头和 C_2 泄放到地线上,可减少计算机内部的 EMI 通过 UTP 向空中发射的幅度。

可见带中间抽头的网络变压器具有阻断 EMI 在其初级-次级线圈之间互相传播的作用。

2. T件和扼流圈组成的网络变压器

图 1.1.5 所示为由 T 件和扼流圈 (choke, 书中用 K 件表示) 组成网络变压器的原理图。在网络变压器中增加 K 件, 是因为 K 件对有用的数据电压信号没有衰减作用, 但可以衰减 EMI。增加 K 件后可以进一步阻断 EMI 在其初级-次级线圈之间互相传播。

图 1.1.6 是图 1.1.5 所示网络变压器传送数据电压信号的示意图。来自 UTP 的由对方传来的平衡数据电压信号加在 Pin₆、Pin₄ 上。图 1.1.6 中实心箭头为信号电流的流向, 从图中可以看出, 信号电流经过 K 件上、下两个线圈时, 其大小相等, 方向相反: 一个流向同名端黑点, 另一个自同名端黑点流向对方。它们在 K 件磁环内部引起的磁通变化互相抵消了。磁通变化为零, 意味着 K 件上、下两个线圈呈现的感抗为零, 可以用两根短导线代替它们。用两根短导线代替 K 件后, 则图 1.1.6 将回到图 1.1.1 所示的没有 K 件的网络变压器, 可见 K 件对数据电压信号没有衰减作用。

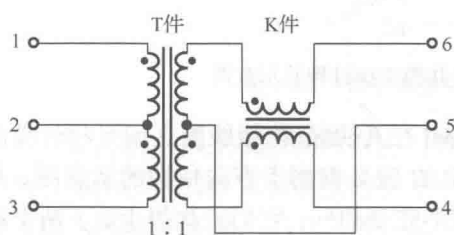


图 1.1.5 T件和K件组成的网络变压器

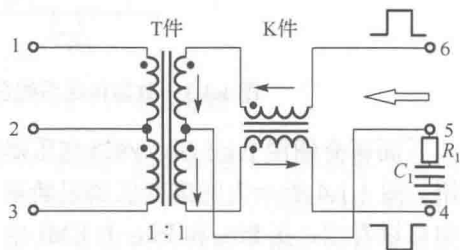


图 1.1.6 K件不衰减数据信号传送的示意图

图 1.1.7 所示为 K 件衰减 EMI 的示意图。来自 UTP 的 EMI 加在 Pin₆、Pin₄ 之间, 实心箭头为 EMI 电流的流向。从图中可以看出, EMI 电流经过 K 件上、下两个线圈时, 其方向相同: 两个电流都流向同名端黑点。它们在 K 件磁环内部引起的磁通变化互相叠加。K 件呈现的感抗 Z_L 将按式 (1.1.1) 随着频率 f 的上升而线性增加。

$$Z_L = 2\pi \times f \times L \quad (1.1.1)$$

式中, L 是 K 件的电感。目前各厂家生产的网络变压器中 K 件的电感量约为 $10\mu\text{H}$ 。

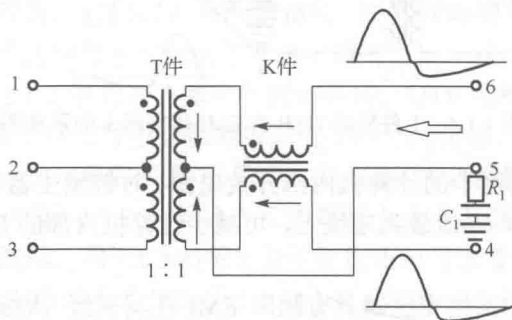


图 1.1.7 K件衰减EMI的示意图

K 件是串联在 EMI 回路中的，因为来自 UTP 的 EMI 在到达 T 件次级线圈之前，有相当一部分要降在 K 件两端，所以扼流圈起到阻断 EMI 的作用。K 件对 EMI 中高频成分的阻断效果更好，因为频率越高 Z_L 越大，降在 K 件两端的 EMI 越大。

同样的道理，K 件还可以阻断计算机内部产生的 EMI 传送到 UTP 上。

3. T 件和三线穿环 K 件组成的网络变压器

近来在有些网络变压器生产厂家的产品目录中，出现了如图 1.1.8 所示的由 T 件和三线穿环的 K 件组成的网络变压器。这种网络变压器的 K 件是由次级线圈的两个端点和中间抽头的三根引线一起并行在 K 件磁环上穿绕同样匝数而得到的。

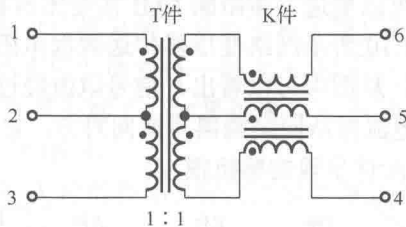


图 1.1.8 T 件和三线穿环 K 件组成的网络变压器

这样绕制的 K 件，对 EMI 电流通过的路径，它呈现的感抗接近零。图 1.1.9 所示为按照 EMI 电流通过的路径检测三线穿环 K 件电感的电路图。在电路中画出了来自电桥检测信号电流的路径和方向。从图中可以看出，K 件磁环上两个端点引线上的电流之和与中间抽头引线上电流的大小相等，方向相反。三个电流在 K 件磁环内引起的磁通变化互相抵消了。磁通变化为零，意味着三组线圈呈现的电感为零，可以用三根短路线代替它们。按式 (1.1.1) 可知 K 件呈现的感抗为零。

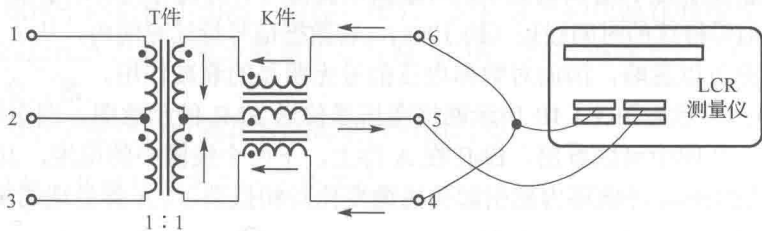


图 1.1.9 检测三线穿环 K 件电感的电路图

因而，图 1.1.9 中电桥测到的实际上只是引线的分布电感，其电感量约为 $0.1\mu\text{H}$ 。三线穿环 K 件对 EMI 的阻断作用远低于用次级线圈的两个端点引线穿环的 K 件。因此，不提倡在网络变压器中增加这样的 K 件。

4. T 件、K 件和自耦变压器组成的网络变压器

图 1.1.10 所示为由 T 件、K 件和自耦变压器（书中用 A 件表示）组成的网络变压器的原理图。图中新增加 A 件的电感量比较大，通常在 $1.5\sim 2.0\text{mH}$ 。

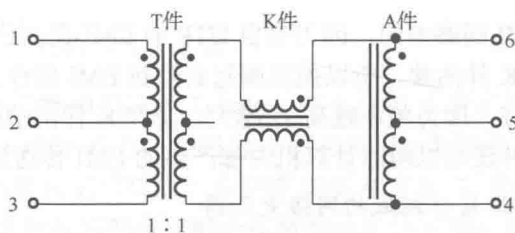


图 1.1.10 由 T 件、K 件和 A 件组成的网络变压器的原理图

在网络变压器中再增加 A 件,是因为增加了电感量很大的 A 件对有用的数据电压信号没有明显的衰减,但可以更进一步阻断 EMI 在变压器初-次级之间传播。

图 1.1.11 所示为图 1.1.10 所示网络变压器传送数据电压信号的示意图。在图中标出了数据信号的电流方向。从图中可以看出,信号电流经过自耦变压器上、下两个线圈时,其方向相同,两个电流都从同名端黑点流向对方,它们在 A 件磁环内部引起的磁通变化互相叠加,因此 A 件呈现的感抗很大。

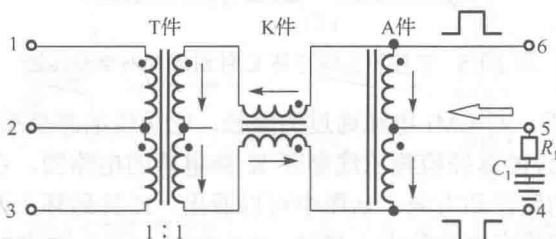


图 1.1.11 A 件分流数据电压信号的示意图

A 件并联在 Pin₆-Pin₄ 两端点上,对数据电流信号有分流作用。由于 A 件的感抗特别大和数据信号持续的时间极短(约 10ns),在数据信号持续时间内,从 A 件上分流的数据信号电流可以忽略,因而对数据电压信号无明显的衰减作用。

图 1.1.12 所示为图 1.1.10 所示网络变压器传送 EMI 的示意图。图中标出了 EMI 电流的流向。从图中可以看出,EMI 在 A 件上、下两个线圈中的电流,其大小相等,方向相反,它们在 A 件磁环内部引起的磁通变化互相抵消了。A 件呈现的感抗接近零,

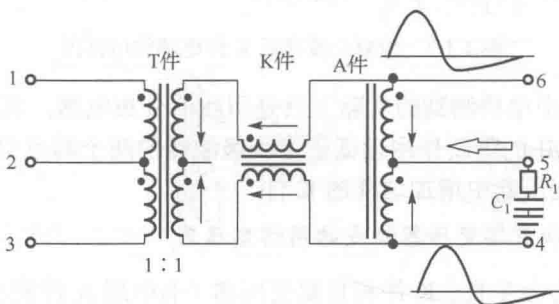


图 1.1.12 A 件衰减 EMI 的示意图

可用两根短导线代替其上、下两个线圈。UTP 上感应到的 EMI 电流将通过中心抽头、 R_1-C_1 串联电路泄放到地线上, 因而减少了由 UTP 传送到网卡上的 EMI 幅度。A 件泄放 EMI 的作用与图 1.1.7 中 T 件次级线圈相同。

5. K 件和 A 件的负面作用

网络变压器中的 K 件和 A 件能阻断 EMI 在 UTP 与网卡之间互相传播, 但是它们对数据电压信号也有一定的负面作用, 因为 K 件和 A 件都具有寄生和分布参数。例如, K 件和 A 件各自两个线圈之间都有线间电容, 这些电容都是并联在 Pin_6 - Pin_4 两端点的。在网络变压器输出或输入端并联电容, 必定会压缩其高频端的频带。网络变压器的频带变窄, 将使通过它的数据电压信号的上升前沿和下降后沿变慢, 其结果是数据传送的速率降低。因此, 在网络变压器中安排一个 K 件和一个 A 件, 或者在其 T 件初级侧、次级侧各安排一个 K 件就足够了。如果再增加 K 件或 A 件的数目, 不仅增加生产成本, 还会降低数据传送的速率。

由于 T 件次级线圈起到 A 件的作用, 所以目前用得最多的是由 T 件、K 件组成的网络变压器。

1.2 有线局域网中有哪些电流通过? 这些电流通过的路径是怎样的?

有线局域网中主要传输的是脉冲电压数据信号产生的电流, 附带传输的是以太网电流 (power over ethernet, POE)。另外, 还传输着寄生的、来自计算机内部和外界的 EMI 电流。前两种电流是需要传送的, 而有害的 EMI 电流是必须要阻断的。这三种电流在有线局域网中的路径不相同。因而, 研究、分析这三种电流在有线局域网中的路径, 可帮助我们设计出脉冲电压数据信号传输效率高、POE 电流大、阻断 EMI 传输能力强的网络变压器。

下面分别介绍这三种电流在有线局域网中的路径。

1. 脉冲电压数据信号产生电流的路径

图 1.2.1 所示为加有 POE 的单口 (single port) 脉冲电压数据信号传输系统的电路图。图中甲乙两地的距离可达数十米, 连接两地计算机的是两对特性阻抗为 100Ω 的 UTP。图 1.2.1 中, 双线绞在一起的 UTP 用粗黑线表示, 两端分开的 UTP 用细黑线表示。UTP 一般都固定在墙壁或地板上, 而墙壁、地板又是大地的一部分, 因而 UTP 附近总伴随有地线。图 1.2.1 中标出了地线在脉冲电压数据信号传输系统中的位置。

单口中有两个传送通道。上面通道中, 甲地计算机内网卡里面 chip_1 发送的平衡电压脉冲数据信号通过 T 件₁、K 件₁、UTP₁、T 件₂、K 件₂ 传送到乙地计算机内网卡中的 chip_2 。

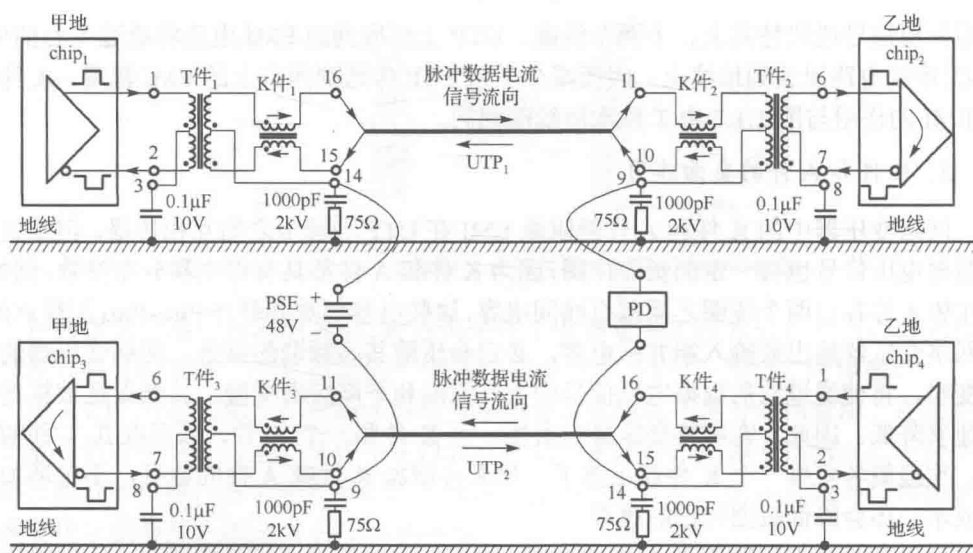


图 1.2.1 加有 POE 单口脉冲电压数据信号传输系统的电路图

下面通道中，乙地计算机内网卡里面 chip_3 发送的平衡电压脉冲数据信号通过 $T\text{件}_4$ 、 $K\text{件}_4$ 、 UTP_2 、 $T\text{件}_3$ 、 $K\text{件}_3$ 传送到甲地计算机内网卡中的 chip_3 。

在 chip_1 发送的幅度相等、极性相反的平衡脉冲数据电压信号的作用下，上面通道中产生的数据电流信号从 $T\text{件}_1$ 的 Pin_1 进入，经过 $K\text{件}_1$ 上方线圈、 UTP_1 中的一根导线、 $K\text{件}_2$ 上方线圈、 $T\text{件}_2$ 到达乙地的 chip_2 。然后再从乙地 chip_2 的另一端出来，进入 $T\text{件}_2$ 的 Pin_7 ，经过 $K\text{件}_2$ 下方线圈、 UTP_1 中的另一根导线、 $K\text{件}_1$ 的下方线圈、 $T\text{件}_1$ 回到甲地的 chip_1 另一端。此通道中的数据电流信号的路径和流向都用箭头标示。

下面通道中数据电流信号的路径、流向与上面通道中的相似，差别只是数据电流信号传送的方向相反而已。

从图 1.2.1 可以看出，甲乙两地 $T\text{件}_1$ 、 $T\text{件}_2$ 、 $T\text{件}_3$ 、 $T\text{件}_4$ 初级线圈的中心抽头通过 $0.1\mu\text{F}$ 电容支路连接到地线上，次级线圈中心抽头通过 1000pF 电容与 75Ω 串联支路也连接到地线上，但数据电流信号的路径与支路、地线不构成回路，因而数据电流与支路、地线无关。

从图 1.2.1 还可以看出， $T\text{件}_1$ 、 $T\text{件}_2$ 、 $T\text{件}_3$ 、 $T\text{件}_4$ 次级线圈中心抽头还与 POE 电源引线连接在一起，但 POE 电源引线 with 数据电流信号的路径也不构成回路，所以数据电流也与 POE 电源引线无关。

2. POE 电流的路径

图 1.2.2 所示为附加在脉冲电压数据信号传输系统中 POE 电源的电路图。图中的 PSE (power sourcing equipment) 表示直流 48V 的供电设备，PD (power device) 表示用电设备。

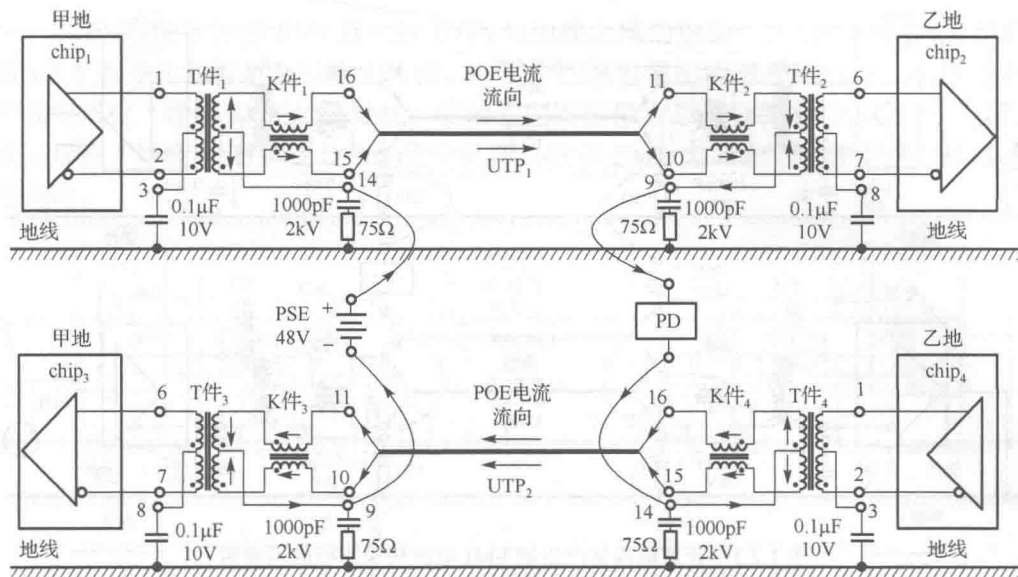


图 1.2.2 附加在脉冲电压数据信号传输系统中 POE 电源的电路图

从图 1.2.2 可以看出, POE 电流的路径是: 从 PSE 正极出发, 经 T_1 次级的上下两个线圈、 K_1 的上下两个线圈、 UTP_1 、 K_2 的上下两个线圈、 T_2 的次级上下两个线圈送到 PD 的正极, 再从 PD 的负极出发, 经 T_4 次级的上下两个线圈、 K_4 的上下两个线圈、 UTP_2 、 K_3 的上下两个线圈、 T_3 的次级上下两个线圈回到 PSE 的负极。

从图 1.2.2 还可以看出, POE 电流路径自成回路。由于 POE 是直流电流, 不可能通过网络变压器的耦合作用传送到网络变压器初级线圈上, 也不可能通过含有电容的支路流入地线, 所以 POE 电流与网络变压器初级线圈、地线都无关。

3. EMI 电流的传送路径

(1) 计算机内部产生的 EMI 电流传送路径。图 1.2.3 所示为计算机内部产生的 EMI 电流传送路径的示意图。图 1.2.3 中有上、下两个通道: 上面通道介绍的是甲地计算机内部产生的 EMI 电流向乙地传送的路径, 下面通道介绍的是乙地计算机内部产生的 EMI 电流向甲地传送的路径。

以 EMI_1 表示上面通道中甲地计算机内部产生的电磁干扰源。 EMI_1 电流把上部虚线长矩形框内的电路当作一根“导线”, 把附近的大地当作另一根“导线”, 并在这两根“导线”组成的回路中传送。

从图 1.2.3 可以看出, 虚线长矩形框内部的电路、连线上的 EMI 都是共模信号。因为网络变压器两输入端、两输出端、UTP 中两根导线上的 EMI 电压的信号相对于地线都是一样的。