

摘要

以太网广泛应用于工业领域，会受到诸多恶劣条件的影响。一种特别恶劣的条件是 IEC 61000-4-5 中强调的瞬态浪涌。此浪涌脉冲施加在以太网物理层的发送和接收线路上，可能会损坏以太网控制器或 Phy。本次讨论中难免会出现一条语句，即系统中的变压器应将敏感 Phy 与连接器上的脉冲隔离开来。但是，如本应用报告所示，瞬态脉冲会通过变压器进行耦合，并可能损坏以太网 Phy。这意味着在会受到瞬态浪涌影响的恶劣工业环境中，必须在变压器和 Phy 之间增加保护。

内容

1 引言.....	2
2 以太网协议.....	2
3 变压器上的浪涌脉冲.....	2
4 结论.....	5
5 修订历史记录.....	6

插图清单

图 2-1. 以太网物理层.....	2
图 2-2. 包含寄生效应的变压器原理图.....	2
图 3-1. 差模浪涌.....	3
图 3-2. 共模浪涌.....	3
图 3-3. 变压器上的差模浪涌波形.....	3
图 3-4. 使用变压器和以太网 Phy 的浪涌脉冲设置.....	4
图 3-5. Phy 断开前的差模浪涌脉冲.....	4
图 3-6. Phy 断开后的差模浪涌脉冲.....	4
图 3-7. 使用以太网物理层和 ESDS314 的浪涌设置.....	4
图 3-8. 使用 ESDS314 和 Phy 的差模浪涌波形.....	4
图 3-9. ESDS314 在 160A 下保护 Phy 免受差模浪涌脉冲的影响.....	5

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

以太网提供可靠的信号传输，已在工业市场中广泛应用。在这些工业市场中，以太网系统的物理层受到可能对整个系统造成压力的恶劣环境的影响。浪涌瞬变对这些系统特别危险，因为这代表有较大功率耦合到以太网物理层的发送和接收电路。本文档介绍了以太网应用中浪涌脉冲的危险，说明了为何需要保护以及需要何种保护来确保以太网控制器能够承受这些瞬变。

2 以太网协议

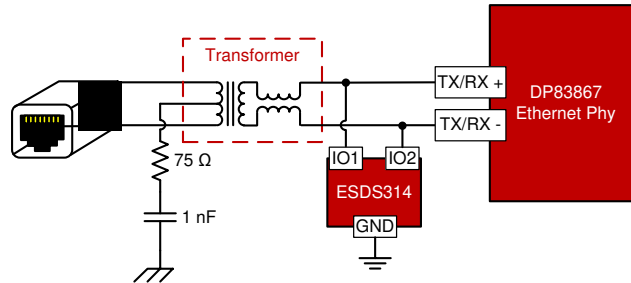


图 2-1. 以太网物理层

2.1 物理层

以太网物理层包括以太网 Phy (或控制器)、变压器和 RJ-45 连接器，如图 2-1 所示。此外，在 Phy 侧放置了并联电容器，而在朝向连接器侧的变压器的中心抽头上放置了一个 RC 滤波器。在原理图中放置浪涌保护二极管时，可以选择将其放置在变压器之前或之后。在变压器的连接器侧，共模电压不受控制。在典型应用中，电压会很低，但在以太网供电 (PoE) 或高压线耦合到从连接器延伸出来的电线上可能意味着该线路会受到非常高的共模电压的影响。因此，浪涌保护二极管的选型极其有限，仅限于具有足够高的击穿电压从而在高共模电压期间不会导通但能吸收瞬变的二极管。此外，放置浪涌保护器件意味着它们必须承受整个浪涌脉冲。这极易发生问题，因为浪涌事件可以高达 6kV，电流达到 100A。极少数浪涌二极管能够处理如此多的能量，并且具有如此大的电容，以至于无法发送高速信号。

2.2 隔离变压器

系统中有变压器则意味着以太网线 (如 CAT-5 或 CAT-6) 与以太网控制器或 Phy 之间存在隔离。但是，变压器确实具有与之相关的寄生元件。图 2-2 显示了变压器中存在的不同寄生元件，特别强调了变压器没有完全隔离的原因。变压器的初级和次级侧都有寄生电容、电阻和电感，这些在所有现实世界的小信号分析中都存在。这是由于材料的性质及其彼此靠近。但是，初级绕组和次级绕组彼此相邻，因此会引入绕组电容。

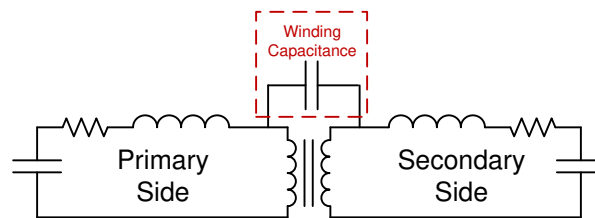


图 2-2. 包含寄生效应的变压器原理图

$$I = C \cdot dV/dt$$

(1)

方程式 1 是用于计算通过电容器的电流的公式。浪涌脉冲在初级侧提供了较大的 dV/dt ，因此电容器中有电流从初级侧流向次级侧，但不会完全隔离两侧。在次级侧看到的这个脉冲是初级侧的百分比，在高电平时很容易损坏连接的 IC。因此，必须测量该脉冲并对其进行保护。

3 变压器上的浪涌脉冲

因此会提出以下问题：在变压器未暴露于恶劣环境的一侧实施浪涌保护的必要性有多大？线路上可能发生两种类型的浪涌脉冲：差模浪涌和共模浪涌。当高能脉冲以电容方式耦合到所有线路上时，共模浪涌就会发生，同时提

高共模电压。这可能在雷击或其他事件期间发生，但有趣的是，变压器可以轻松地将这种能量消散到大地。这也意味着变压器中心抽头上的 RC 滤波器起到了保护作用。查看变压器的隔离侧，可以看出没有多少脉冲通过，这意味着 Phy 受到保护，直到变压器本身发生故障。

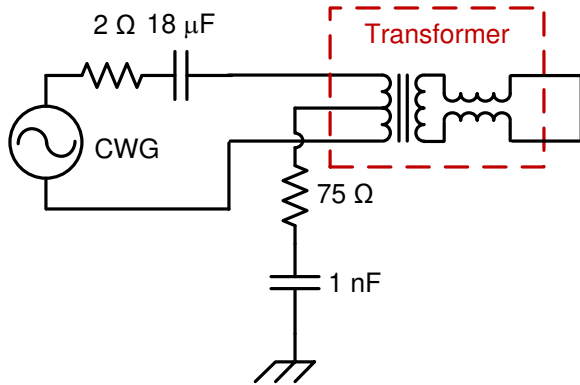


图 3-1. 差模浪涌

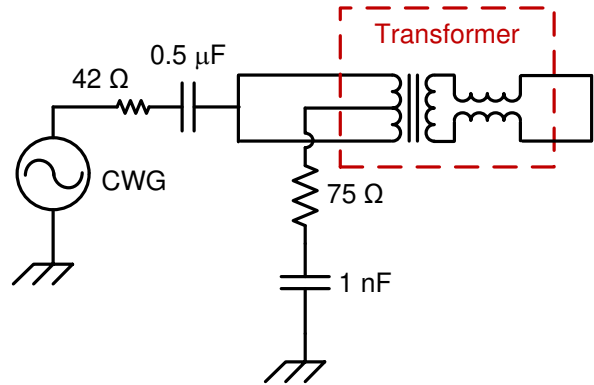


图 3-2. 共模浪涌

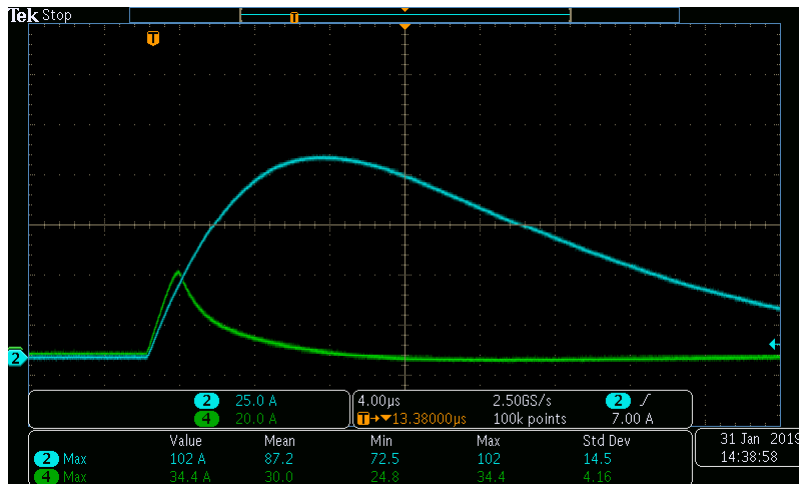


图 3-3. 变压器上的差模浪涌波形

但是，差模浪涌则完全不同。差模浪涌是指浪涌脉冲直接耦合在信号线上并在另一条信号线上返回。这种类型的浪涌脉冲对以太网控制器来说非常危险，因为一部分浪涌脉冲实际上会通过变压器的寄生电容并导致电流尖峰。这种脉冲可以在图 3-3 中看到。需要注意的是，变压器次级侧不存在电压的原因是它被短接在一起了。

3.1 变压器次级侧的浪涌保护二极管

因此，可以看出，虽然通过变压器传输的脉冲的峰值和宽度减小了，但它仍然可能损坏 Phy。使用相同的浪涌设置并添加以太网 Phy，下图显示了它使器件断开之前和之后的点。请注意，在次级侧测量的电压相对较高。这是 Phy 的内部 ESD 保护机制的高钳位电压所致。下面的波形是在测量初级侧的电流（用蓝色表示）、次级侧的电流（用绿色表示）和次级侧的电压（用黄色表示）时采集的。

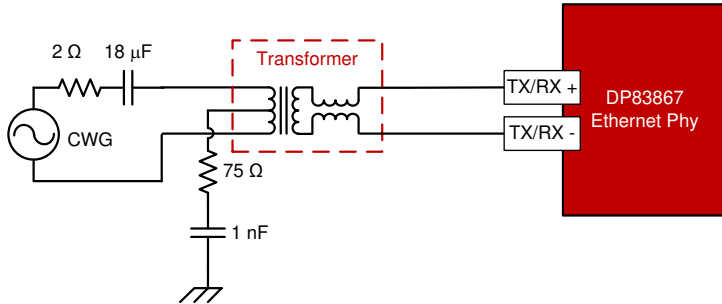


图 3-4. 使用变压器和以太网 Phy 的浪涌脉冲设置

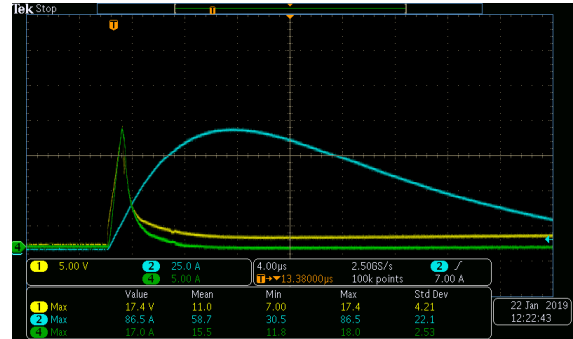


图 3-5. Phy 断开前的差模浪涌脉冲

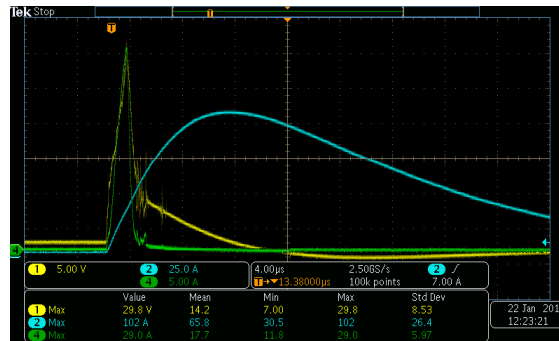


图 3-6. Phy 断开后的差模浪涌脉冲

重新运行相同的测试，但将 ESDS314 添加到施加浪涌的信号线上，从该测试中可以看出该器件受到保护，不受此事件的影响。

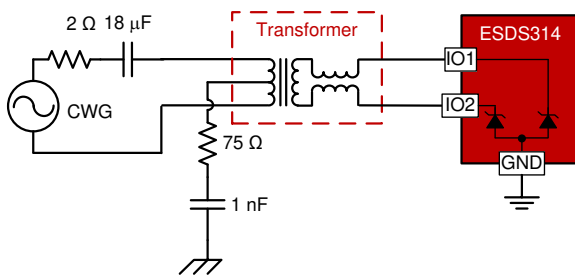


图 3-7. 使用以太网物理层和 ESDS314 的浪涌设置

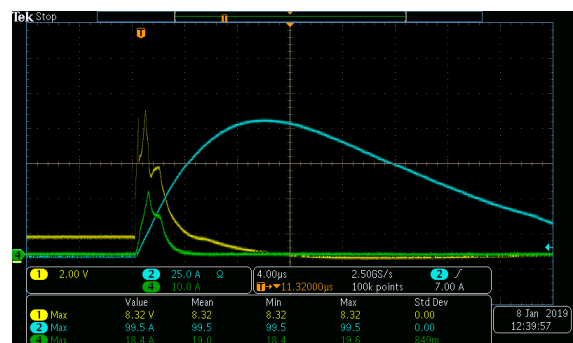


图 3-8. 使用 ESDS314 和 Phy 的差模浪涌波形

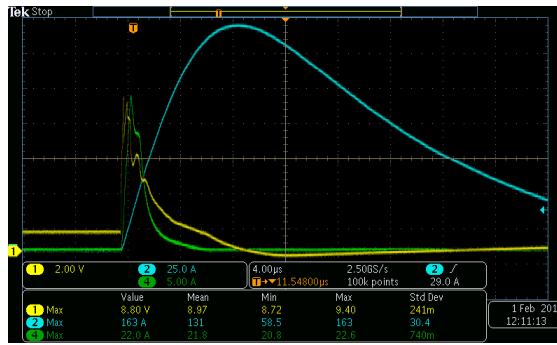


图 3-9. ESDS314 在 160A 下保护 Phy 免受差模浪涌脉冲的影响

4 结论

以太网广泛用于一系列工业终端设备。以太网协议由变压器（用于隔离外部世界）和以太网控制器组成。然而，由于实际变压器的寄生特性，初级侧和次级侧并未实现真正的隔离。当脉冲通过寄生电容耦合时，这会发生问题，此时以太网物理层会受到浪涌事件的影响，并可能损坏次级侧的控制器。因此，有必要在变压器的次级侧提供保护，以能够处理所产生的大电流。TI 的 ESDS3XX 器件具有高浪涌电流额定值，允许它们耗散该能量并保护以太网控制器。

5 修订历史记录

Changes from Revision * (February 2019) to Revision A (April 2022)	Page
• 更新了 <i>Phy</i> 断开后的差模浪涌脉冲和 <i>ESDS314</i> 在 <i>160A</i> 下保护 <i>Phy</i> 免受差模浪涌脉冲的影响的图像.....	4

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2022，德州仪器 (TI) 公司