

隔离变压器和双绕组变压器 在建筑电气中的应用

王厚余

(中国航空工业规划设计研究院,北京 100011)

摘 要: 介绍了隔离变压器的技术要求及其防电击原理,强调了用隔离变压器一个二次绕组供多台用电设备时设置不接地的等电位联结的必要性,并推荐了设置这一联结的简便方法。还介绍了双绕组变压器对信息技术设备保证人身安全和抗干扰的作用,以及它对限制 PE 线电流的效果。指出我国建筑电气工程忽视诸如限制 PE 线电流之类的基本安全要求,是电气灾害频频发生并居高不下的主要原因。应努力缩小与国际水平的差距。

关键词: 隔离变压器; 双绕组变压器; 防电击; 不接地的等电位联结; PE 线电流; 电气安全

中图分类号: TU 856 文献标识码: A 文章编号: 1001-5531(2004)09-0013-04



作者: 王厚余 (1925-), 男, 研究员, 从事工业与民用建筑电气设计及国家标准电气设计规范编制和国际电工 (IEC/TC64) 宣传、推广工作。

Application of Isolating Transformer and Double Winding Transformer to Electrical Installations of Buildings

WANG Houyu

(China Aeronautical Project and Design Institute, Beijing 100011, China)

Abstract: Technical requirements for isolating transformer and its principle of protection against electric shock were introduced. The necessity to provide the earth-free equipotential bonding protective measure for an isolating transformer with single secondary winding supplying more than one current using equipment was given emphasis to, and the simplified method to provide this measure was proposed. The safety functions of double winding transformer, such as protection of electric shock, mitigation of electromagnetic interference and limitation of PE conductor current were also introduced. It was pointed out that the under estimate of the importance of safety provision such as limitation of PE conductor current is the main cause of high frequency occurrence of electric accidents in China. It is the serious task for electrical installation engineers to improve the electrical safety situation in China in accordance with international standard.

Key words: isolating transformer; double winding transformer; protection against electric shock; earth-free equipotential bonding; PE conductor current; electrical safety

1 引言

在建筑物电气装置中,常因某些需要,采用变比为 1 的隔离变压器或双绕组变压器。所谓隔离变压器是指有一个或多个二次绕组的变压器,它在电气装置中用作电气分隔,即将一个电气回路的导体与其他电气回路的导体做完全的分隔,以起到防人身电击的作用。为此,要求绕组间具有高度的绝缘,需通过 3 750 V(单相)或 4 200 V(三相)持续 1 min 的耐压试验。在某些电击危险大

的场所,如医院中的胸腔手术室,须采用局部 IT 系统,这时也需采用隔离变压器将电源中性点接地的 TN 或 TT 系统转换为中性点不接地的 IT 系统,但它不属电气分隔安全措施范畴。双绕组变压器多用于信息技术设备某些电源干扰的消除和 PE 线过大泄漏电流引起的电气事故的防范,对其绕组间的绝缘无特殊要求。本文对这两种变压器的应用作一陈述。

2 采用隔离变压器作电气分隔防人身电击

2.1 电气分隔的防电击原理

当电气设备发生碰外壳接地故障时,很易导致间接接触电击事故。为此,常用剩余电流动作保护器(RCD)迅速切断电源来防范这类事故。在有些情况下,用隔离变压器作电气分隔来防这类事故更为合适。例如,在浴室内给 220 V 电剃刀供电或在游泳池旁给某些用电设备供电,其防电击原理如图 1 所示。图中隔离变压器 T 的一二次绕组和绕组与地间具有高度的绝缘,二次回路的两根带电导体则是与地绝缘的。用电设备 M 的金属外壳允许与“地”接触,但不允许与变压器一次侧的 PE 线连接或与单独的接地极连接而人为接地。这样就实现了完善的变压器一二次回路间的电气分隔。如图 1 所示,当 M 的带电导线 L_1 发生碰外壳短路时,故障电流 I_d 没有返回电源 T 的金属通路,它只能经非故障导线 L_2 对地的微量电容返回电源,这样, I_d 值几乎可忽略不计。设 M 与地面间的接触电阻为 R_E ,其值约数百欧姆,则 M 对地的故障电压也即人体的预期接触电压 $U_t = I_d \cdot R_E \ll U_L$ (其中, U_L 为接触电压限值,干燥场所为 50 V,潮湿场所为 25 V),电击事故将无从发生。

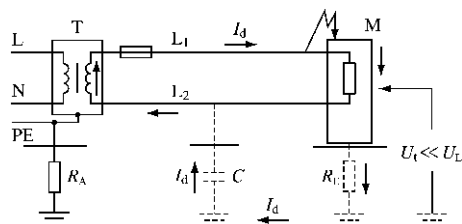


图 1 电气分隔措施的防电击原理

PE 线可能传导来自别处的危险故障电压而在用电设备处引发电击事故。但在图 1 所示的电气分隔回路中,由于 M 不接其他回路的 PE 线,这类电击事故也无从发生。如果图 1 所示 L_1 线碰外壳故障尚未排除,另一导线 L_2 又发生碰外壳故障,这时形成的两导线间的金属性短路将使回路首端的过流保护电器(如图示的熔断器)瞬间切断电源,其后果是设备停止工作而非电击事故。当发生碰外壳接地故障时,RCD 能瞬时切断电源,

使人免于死,但人体仍难免电击的痛楚。最经济、简便的防间接接触电击措施是在设备回路上安装 RCD,而采用电气分隔防电击措施,遇到这类故障,人体连麻电的感觉都没有,故它比装用 RCD 防电击更为安全、可靠。但该防电击措施花费较大,隔离变压器的容量又有限,所以其应用受到限制。

2.2 采用电气分隔防电击措施应注意的问题

用隔离变压器来防电击要求做到各电气回路间完全分隔。因此,最好一台隔离变压器只给一台用电设备供电,或一台隔离变压器的多个二次绕组都只给一台用电设备供电。但如果限于条件只能由一个二次绕组的隔离变压器供给多台设备时,则需补充其他措施来完善对电击事故的防范(见图 2)。图中:隔离变压器 T 的一个二次绕组供电给两台设备 M_1 及 M_2 。如果两台设备分别因 L_1 和 L_2 线绝缘损坏而发生碰外壳故障,则故障电流 I_d 将经两设备的对地接触电阻 R_{E1} 和 R_{E2} 返回电源。因 R_{E1} 和 R_{E2} 的阻值以百欧计, I_d 不足以使过流保护器动作,故障将持续存在。220 V 的电源电压将按阻值比例分配在 R_{E1} 和 R_{E2} 上(变压器和导线的阻抗可忽略不计)。假设 $R_{E1} = 2 R_{E2}$,则 M_1 和 M_2 外壳对地故障电压也即人体预期接触电压 U_{t1} 和 U_{t2} 分别为 73 V 和 147 V,都大于最大接触电压限值 50 V,当人体接触任一台设备时都有可能遭受电击的危险。

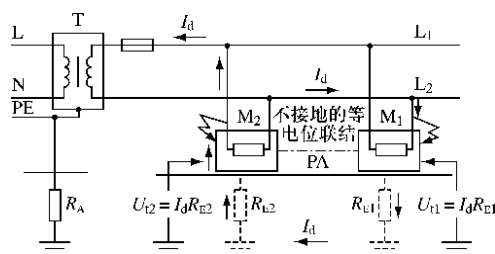


图 2 采用不接地的等电位联结来完善电气分隔防电击措施

消除这一危险的有效措施是把这些设备的金属外壳用绝缘的导线互相连通,它被称作不接地的等电位联结。如图 2 中点划线 PA 所示,做此联结后, I_d 将不经 R_{E1} 和 R_{E2} 而是经此联结线 PA 返回电源。由于 I_d 流经的通路全为金属通路, I_d 值

剧增,足以使过流保护器迅速切断电源,电击致人死的危险自然不复存在。

在实际安装中,可不必为这些设备另接单独的联结线,只要利用电源插头软线中原用作 PE 线的导线来作此联结线。如图 3 所示,隔离变压器的箱壳上原设置有接电用的多个插座,将其 PE 线插孔改作不接地的等电位联结线的插孔,并将其与壳体绝缘。再将设备电源插头线中的原 PE 线改用作不接地的等电位联结线 PA。这样稍做改动、不另设导线就可很简便地实现图 2 所示的不接地的等电位联结。

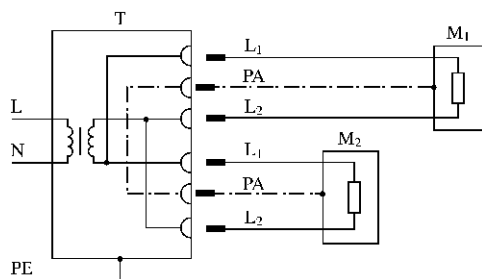


图 3 利用插座 PE 线插孔连接不接地的等电位联结线

3 采用双绕组变压器提高信息技术设备抗干扰和防电击的效果

3.1 用双绕组变压器消除 N-PE 线间过大的电位差导致的信息技术设备锁定事故

我国智能建筑的兴建如雨后春笋,但其智能化效果往往不尽人意,其原因是信息技术设备(IT 设备)的电磁干扰问题未妥善解决。有关设计规范对此也缺乏规定,设计时无章可循,在设计中就给日后留下许多电磁干扰的隐患。电磁干扰起因多种多样,十分复杂,其中之一就是信息设备电源回路中中性线(N 线)和保护地线(PE 线)间的电位差。当此电位差大于信号电压水平时,一些 IT 设备就被锁定而无法工作。装用双绕组变压器可有效解决这一问题。

为避免干扰,在智能建筑内必须采用 TN-S 系统(包括 TN-C-S 系统的 TN-S 部分)和 TT 系统,即在建筑物内 PE 线和 N 线全部分开,不得出现 PE 线和 N 线合一的 PEN 线。但 N 线因通过负载电流而产生电压降,而 PE 线因不通过负载电流而基本保持地电位。这样,N 线和 PE 线之间就出现电位差,回路越长,N-PE 线间的电位差越大,当电

位差大于 IT 设备的信息电压时,该 IT 设备将被锁定而不能工作。因此,在这类电气装置的设计中应注意限制该 N-PE 线间的电位差。

在大型智能建筑中,由于配电回路过长,N-PE 线间过大的电位差有时是难以避免的。有效的解决措施是,在适当位置,例如在计算机房内安装一双绕组变压器来减小该电位差,如图 4 所示。这种变压器通过电-磁-电的转换以及绕组的特殊接线方式(对三相变压器而言)可抑制一些由电源线路传导来的干扰信号,还可显著减小上述 N-PE 线间的电位差。图 4 所示建筑物内为一 TN-S 系统,在双绕组变压器前,由于电源回路过长,N-PE 线间的电位差 Δu 已超过 IT 设备的信号电压。由于双绕组变压器的作用,从变压器二次侧出口处起为一重新开始的 TN-S 系统(在美国它被称作 Separately derived system,意为“另起的系统”)。在变压器出口处 N-PE 线间的电位差为 0 V,也即从此点起电位差又从 0 V 开始算起,这样,就有效地解决了 N-PE 间电位差过大导致 IT 设备锁定的问题。

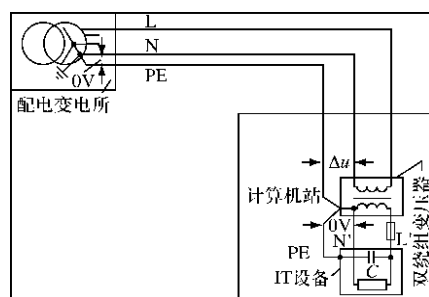


图 4 用双绕组变压器降低 N-PE 线间电位差

需要说明的是,双绕组变压器的一二次侧的 PE 线是相连通的,即两侧间在电气上并未实现完全的分隔,故它不属前述的电气分隔的范畴。

3.2 用双绕组变压器避免 IT 设备 PE 干线中断引起的人身电击事故

IT 设备内的电源进线一般都装设含有大容量的滤波电容,此大电容接于相线和 PE 线之间,故 IT 设备有较大的对地泄漏电流。接有大量 IT 设备的回路 PE 干线上,因若干大电容的并联而通过大幅值的对地电容电流 I_c ,如图 5 所示。正常时, I_c 通过 PE 线返回电源并不引起事端。但如果一旦 PE 干线因种种原因中断而人体又触及 IT 设备的金属外壳,则 220 V 相电压将施加于

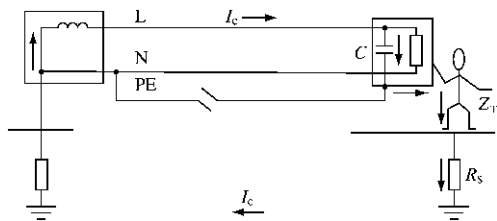


图5 大量 IT 设备的 PE 干线中断人体将遭受电击

串联的人体阻抗 Z_T 、地板及鞋袜电阻 R_s 和大量并联的容抗上。电压系按阻抗值的矢量分配,一般地板和鞋袜电阻约 $200 \sim 1\,000\,\Omega$,人体阻抗约数千欧姆,如果 IT 设备数量多,容抗不大,人体承受的预期接触电压 U_t 将超过接触电压限值 U_L ,从而招致电击危险。因此,应采取措施尽量防止 PE 干线的中断,例如放大 PE 干线截面,设置双接头的双 PE 干线、加强 PE 干线的机械保护和对 PE 干线勤加监视等。

如果在大量 IT 设备集中的地方设置有上述双绕组变压器,则可消除这类电击危险。为此,需按图 4 所示连接 PE 线。因双绕组变压器就在 IT 设备近旁,例如在计算机房内,其间的末端回路 PE 线甚短,故障时回路阻抗很小,可利用变压器出口的过流保护器作接地故障防护,在 IT 设备发生碰外壳短路时迅速切断电源。IT 设备工作时的正常大幅值对地泄漏电流只经这一小段 PE 线返回双绕组变压器,这样,双绕组变压器前面一段甚长的 PE 线任一处的中断,都不会因 IT 设备大幅值对地电容泄漏电流而引起电击事故。双绕组变压器后的 PE 线非但短,而且时时在 IT 设备使用和维护人员的直接监视之下,这段 PE 线中断引起电击事故的可能性几乎是不存在的。

4 采用隔离变压器和双绕组变压器限制过大的 PE 线电流

用电设备的 PE 线流过泄漏电流是正常现象,但如流过太大的泄漏电流则将影响电气安全和整个电气装置的正常工作,还会导致干线上 RCD 不应有的频繁动作。为此,国际电工委员会对用电设备的对地泄漏电流做出了如下限制:

32 A 及以下插座供电的单相或三相用电设备的最大电流如表1所示。永久性连接的用电设

备、固定的用电设备以及由 $> 32\text{ A}$ 插座供电的单相或三相用电设备的最大电流如表 2 所示。

表 1 32 A 及以下插座供电的用电设备的最大电流

电气设备额定电流 / A	PE 线最大电流
≤ 4	2 mA
> 4 但 ≤ 10	0.5 mA/A
> 10	5 mA

表 2 32 A 以上插座供电的用电设备 PE 线的最大电流

用电设备额定电流 / A	PE 线最大电流
≤ 7	3.5 mA
> 7 但 ≤ 20	0.5 mA/A
> 20	10 mA

从上述可知,国际上十分重视对 PE 线过大电流引起的电气灾害的防范,但在我国建筑电气的设计、安装、检验中却远未引起应有的重视。例如在我国电气检验中发现原以毫安计的 PE 干线电流达几十安培以至上百安培者占绝大多数,而 PE 线电流正常者只是少数。显然,如此大的 PE 线绝非正常的泄漏电流,而是中性线和 PE 线接反或线路绝缘破损引起的异常电流,它常是一些电气事故的起因。但这种情况十分普遍,在检验中往往只要求 PE 干线的异常大电流不超过其载流量就算合格通过,对事故隐患听之任之,这无异养虎贻患,为日后电气事故的发生留下祸根,这与我国以人为本的大原则是不相适应的。类似这种忽视 PE 线过大电流的电气安全问题在我国还很多,这正是我国电气灾害频频发生的一个重要原因,故有待电气同行在建筑电气的设计安装和检验工作中不断努力、提高水平、缩小与国际水平的差距,将我国建筑电气中的安全隐患减少到最低限度。

【参考文献】

[1] IEC 61140. Protection Against Electric Shock Common Spectrs for Installation and Equipment[S]. 2001.
[2] 王厚余. 低压电气装置的设计安装和检验[M]. 第 2 版. 北京:中国电力出版社,2003.

收稿日期:2004-05-24