

## 浅谈隔离变压器的使用

彭钰<sup>1</sup> 魏巍<sup>2</sup>

(1. 中国矿业大学(北京), 北京 100083; 2. 华龙国际核电技术有限公司, 北京 100037)

**[摘要]** 基于隔离变压器的结构和防电击原理, 比较了隔离变压器和普通变压器的差异。由于初级绕组、次级绕组不同心布置, 或绕组同心设置, 但绕组间设有静电屏蔽层, 以及绕组间具有双重绝缘或加强绝缘, 隔离变压器具有优秀的隔离和抗干扰能力。本文介绍了隔离变压器用作电气分隔、在电击防护要求较高的场合将 TN 或 TT 系统转换为 IT 系统、为安全特低压系统供电、抑制高频干扰等实际应用的原理和要点, 并结合 3 个实际案例, 分析隔离变压器的使用误区, 强调采用隔离变压器时应注意隔离变压器的设置要求, 避免其功能失效, 同时不要盲目选择隔离变压器, 以免加大投资, 造成资源浪费。

**[关键词]** 隔离变压器; 电气分隔; TN 系统; TT 系统; IT 系统; 高频干扰; 加强绝缘; 防电击

**[中图分类号]** TM4      **[文献标志码]** B      **[文章编号]** 1008-5122(2021)03-0070-05

**DOI:** 10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2021.03.018

## Analysis of the Use of Isolation Transformer

PENG Yu, WEI Wei

**Abstract:** Based on the structure and anti-shock principle of isolation transformer, the differences between isolation transformer and ordinary transformer were compared. The isolation transformer had excellent isolation and anti-interference ability because the primary winding and secondary winding were arranged in different centers, or the windings were concentric, but the electrostatic shielding layers were set between the windings, and there were double insulation or enhanced insulation between the windings. This paper introduced the principle and key points of practical application of isolation transformer as electrical isolation, converting TN or TT system to IT system in the occasion of high requirements of electric shock protection, power supply for safe special low voltage system, and suppression of high frequency interference. In addition, three practical cases were cited to analyze the misuse of isolating transformer, and emphasize that the setting requirements of isolating transformer should be paid attention to when adopting isolating transformer, so as to avoid its functional failure, and it was not necessary to blindly select isolating transformer, so as to avoid increasing investment and causing waste of resources.

**Key words:** isolation transformer; electrical isolation; TN system; TT system; IT system; high-frequency interference; reinforced insulation; electric shock protection

**[收稿日期]** 2021-04-23

**[作者简介]** 彭钰(1989—), 男, 新疆乌鲁木齐人, 工程师, 本科, 主要从事有色金属行业电气设计工作。

**[引用格式]** 彭钰, 魏巍. 浅谈隔离变压器的使用[J]. 有色冶金节能, 2021, 37(3): 70-74.

## 0 前言

随着人身安全和设备安全越来越被重视, 隔离变压器供电作为一种电击防护或抗干扰的方法被广泛使用, 但是因设置接线错误造成隔离变压器功能

失效或过度使用的现象也很严重。本文以隔离变压器的结构及防电击原理为基础,对其正确使用提出了一些见解。

## 1 隔离变压器的原理及用途

### 1.1 隔离变压器的原理

根据《电源电压为1 100 V及以下的变压器、电抗器、电源装置和类似产品的安全 第5部分:隔离变压器和内装隔离变压器的电源装置的特殊要求和试验》(GB/T 19212.5—2011)规范定义,隔离变压器是指输入(初级)绕组与输出(次级)绕组在电气上彼此隔离的变压器。在结构上,隔离变压器应使两个绕组之间不存在任何连接的可能(不论是直接连接还是通过其他金属件间接相连),以避免偶然同时触及带电体(或因绝缘损坏而可能带电的金属部件)和地所带来的危险。在此基础上,为安全特低电压电路供电的隔离变压器被称为安全隔离变压器。

### 1.2 隔离变压器与普通变压器的差异

隔离变压器的原理同普通变压器一样,初级绕组中通过交流电流时,铁心中会产生交流磁通,并在次级绕组中感应出电压。

不同的是,我国生产的普通电力变压器基本采用同心绕组,即初级绕组、次级绕组套在同一铁心柱上,绕组之间留有一定的绝缘间隙和散热通道,具有一定的隔离电路的作用。绕组间的绝缘水平需满足GB 1094系列规范的要求。对于380 V变压器,参照《电力变压器 第11部分:干式变压器》(GB 1094.11—2007),需通过3 000 V(三相)、持续1 min的耐压试验。隔离变压器的初级绕组和次级绕组一般分置于不同的芯柱上,以减小两者之间的电容,也有隔离变压器采用初级绕组和次级绕组同心放置布置的方式,但在绕组之间增加接地的金属静电屏蔽层,绕组之间的绝缘采用双重绝缘或加强绝缘。其中,双重绝缘是指同时具有基本绝缘和附加绝缘的绝缘;加强绝缘是指作用相当于双重绝缘保护的单独绝缘结构,需通过3 750 V(单相)或4 200 V(三相)、持续1 min的耐压试验。

普通变压器绕组之间的绝缘水平低于隔离变压器,在运行中遇到电压谐振等情况时,其绝缘相较于隔离变压器的绝缘更容易被击穿,从而将危险电压引入次级绕组。此外,普通变压器初级绕组通过高频干扰信号时,由于绕组线圈在高频干扰信号下呈

高阻状态,高频干扰信号不能耦合至次级绕组,而是通过两绕组之间的分布电容直接传递至次级绕组,在次级绕组上产生干扰;而隔离变压器通过增加绕组间的距离,或在绕组间设置屏蔽层的方法,有效地减少这种干扰。

### 1.3 隔离变压器的作用

在实际使用中,隔离变压器和普通变压器一样,除按用电负荷的需求改变用电电压外,还有如下功能:

1) 隔离变压器可增加系统阻抗,使保护装置更容易配合;当负荷侧发生短路事故时,隔离变压器可以限制向系统提供的短路电流,不会造成变压器一次侧及以上系统发生故障。

2) 若电源系统的三次谐波和干扰信号比较严重,采用 $\Delta/Y$ 接线变压器,可以除去三次谐波及其整数倍谐波,减少干扰信号。

3) 若非线性负载的电流畸变(如三次谐波)比较严重,采用 $Y/\Delta$ 接线变压器,可以防止谐波电流返回电源系统产生污染,起到净化电源系统的作用;同时在变压器输入端采样,使非线性负载电流的畸变不会影响采样的准确性,得到能反应实际情况的采样数据。

4) 采用 $\Delta/Y$ 接线变压器建立新的独立于电源系统的中性线,避免因电源系统中性线不良造成的设备运行不正常;建立新的中性线的中性点接地可解除电源系统中共模干扰的困扰,有效降低N-PE导体间的电压。

5) 变压器能完全隔离三相电源线路中同相位的雷击电磁脉冲,通过磁饱和原理消除浪涌。

隔离变压器不仅能实现以上所有的功能,还因其优于普通变压器的绝缘性能及抗干扰性能,广泛应用于需要隔离危险电压或抑制高频干扰的场合。

## 2 隔离变压器在实际中的应用

### 2.1 电气分隔

作电气分隔用以防人身电击时,隔离变压器变比一般选择1:1,其二次侧回路的带电导体对地绝缘,变压器的金属外壳与一次回路的PE线相连并接地,根据《低压电气装置 第4-41部分:安全防护 电击防护》(GB 16895.21—2011)要求,用电设备的外露可导电部分不应接地,即不应与一次回路的PE线相连,也不能与一次回路的等电位联结相连。

### 2.1.1 一台隔离变压器给一台用电设备供电的防电击原理

采用一台隔离变压器给一台用电设备供电的预防电击原理如图 1 所示。用电设备 M 通过隔离变压器供电,其金属外壳(外露可导电部分)与地接触,接触电阻与地面电阻之和为  $R_E$  (数值约为数百欧姆)。若设备绝缘损坏,发生 C 相带电导体碰外壳事故,接地故障电流没有可流经的金属性通路返回电源,只能通过非故障相 A、B 相对地的分布电容  $X_{CA}$ 、 $X_{CB}$  返回电源,  $X_{CA}$ 、 $X_{CB}$  远大于  $R_E$ , 所以故障电流  $I_d$  的值极小,可以忽略;用电设备金属外壳对地的故障电压即人体的预期接触电压  $U_f = I_d R_E$ , 其值也很小,远低于规范要求的接触电压限值,因此不会危害人身安全。但如果用电设备的金属外壳与一次回路的 PE 线相连接,电源处的其他设备发生单相接地故障且未在规定时间内切除时,此故障电压  $U_{fs}$  可以通过 PE 线传导至用电设备金属外壳,一旦故障电压超过接触电压限值 50 V, 人触碰后就会发生电击事故。

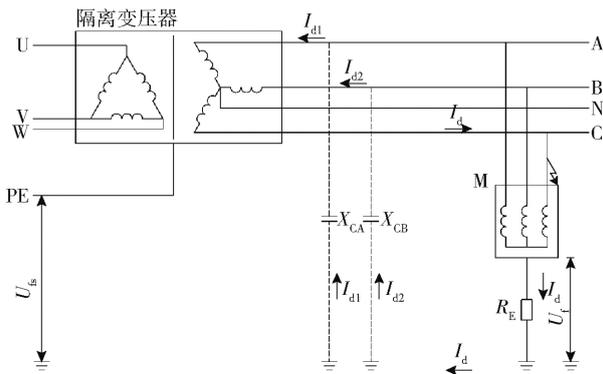


图 1 一台隔离变压器给一台用电设备供电的防电击原理

### 2.1.2 一台隔离变压器给多台用电设备供电的防电击原理

如果采用一台隔离变压器给多台用电设备供电,各用电设备的外壳需要做不接地(不与一次侧 PE 线连接或不与一次侧设备共用接地装置)的等电位联结,其预防电击原理如图 2 所示。用电设备 M1、M2 金属外壳与地接触,接触电阻与地面电阻之和分别为  $R_{E1}$  和  $R_{E2}$ 。若 M1 设备绝缘损坏,发生 C 相带电导体碰外壳事故,接地故障电流没有可流经的金属性通路返回电源,只能通过非故障相 A、B 相对地的分布电容  $X_{CA}$ 、 $X_{CB}$  返回电源。此时,和隔离变压器给单台设备供电分析一样,虽不会发生危害人身安全的电击事故,但由于故障电流极小,不会使过电流保护器动作,故障持续存在。在此期间,若

M2 设备绝缘损坏,发生 A 相带电导体碰外壳事故,故障电流  $I_d$  将经过  $R_{E1}$  和  $R_{E2}$  返回电源,  $I_d$  极小,不会使过电流保护器动作,故障持续存在,但 380 V 电源电压将按  $R_{E1}$  和  $R_{E2}$  的阻值比例分配,即用电设备金属外壳对地的故障电压也就是人体的预期接触电压  $U_{f1} + U_{f2} = 380 V$ ,  $U_{f1}$  和  $U_{f2}$  中肯定有大于接触电压限值 50 V 的存在,将会危害人身安全,所以多台设备的金属外壳需做等电位联结<sup>[1-2]</sup>, 如图 2 中虚线所示,但此等电位联结不能接地(不与一次侧 PE 线连接或不与一次侧设备共用接地装置), 以防引入电源侧的故障电压。

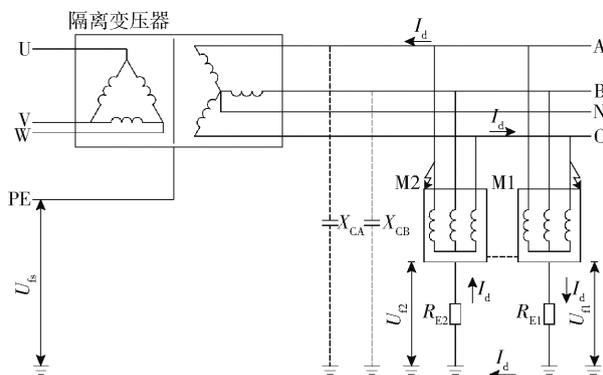


图 2 一台隔离变压器给多台用电设备供电的防电击原理

采用隔离变压器作电气分隔用以防人身电击时,允许设备单相接地故障一直存在而不发生电击事故。此时隔离变压器适合作为安全电源,为金属外壳没有特意接地的设备(如各手持式检修设备等)供电。

### 2.2 将 TN 或 TT 系统转换为 IT 系统

采用隔离变压器将 TN 或 TT 系统转换为 IT 系统时,隔离变压器变比一般选择 1:1, 此时隔离变压器不作电气分隔使用,用电设备的外露可导电部分应单独、成组或集中接地。

如图 3 所示,用电设备 M1、M2 由隔离变压器供电,其金属外壳接地,接地电阻为  $R_{A1}$  和  $R_{A2}$  (数值均约为数欧姆)。若 M1 设备绝缘损坏,发生 C 相带电导体碰外壳事故,接地故障电流没有可流经的金属性通路返回电源,只能通过非故障相 A、B 相对地的分布电容  $X_{CA}$ 、 $X_{CB}$  返回电源,故障电流极小,不会使过电流保护器动作,故障持续存在,但与隔离变压器作为电气分隔的防电击要求不同,此时需要满足 IT 系统  $R_A \times I_d \leq 50 V$  的要求,才不会发生危害人身安全的电击事故,同时也需要有绝缘监测器发出报警信号。在此期间,若 M2 设备绝缘损坏,发生 A 相带

电导体碰外壳事故,隔离变压器将根据设备接地的不同型式(单独或集中),分别按 TT 或 TN 系统要求设置电击防护。

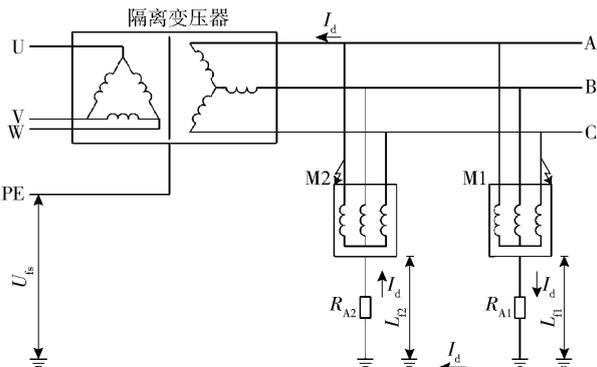


图3 隔离变压器将 TN 系统转换为 IT 系统

采用隔离变压器将 TN 或 TT 系统转换为 IT 系统时,隔离变压器的使用已经不属于电气分隔安全措施范畴,需要按照 IT 系统要求设置故障防护。因隔离变压器具有优于普通变压器的绝缘性能,能防止变压器一次侧的危险电压传入二次侧,所以安全可靠性能更高。此时隔离变压器适用于对防电击要求较高的场所,如医院手术室等。

### 2.3 为安全特低电压系统供电

利用安全隔离变压器为安全特低电压系统供电时,设备安装接线要求与隔离变压器作电气分隔用以防人身电击时相同,区别是此时不使用 1:1 变比的隔离变压器,而是使用输出电压为安全特低电压的安全隔离变压器。安全隔离变压器适用于游泳池、喷水池等易发生危险性比较大的电气事故的特殊场所。

### 2.4 抑制高频共模干扰

采用隔离变压器抑制高频共模干扰时,必须选用带有屏蔽层的隔离变压器,且屏蔽层需要通过变压器接地端子可靠接地,否则就无法抑制共模干扰。

屏蔽层就是在原绕组和副绕组之间设置一片不闭合的铜片或非磁性导电纸,铜片或非磁性导电纸用导线连接于外壳接地端子。有时为了取得更好的屏蔽效果,整个变压器还罩一个屏蔽外壳,对绕组的引出线端子也加屏蔽,以防止其他外来的电磁干扰,使原绕组和副绕组之间只有剩磁的耦合,而其间的等值分布电容可小于 0.01 pF,从而大大减小原绕组和副绕组间的电容电流,有效地抑制来自电源以及其他电路的各种干扰。

如图 4 所示,来自电源系统的干扰信号首先进

入带有屏蔽层的隔离变压器的初级绕组,通过初级绕组与屏蔽层间的分布电容  $X_{C1}$  耦合至屏蔽层,并导入大地,只有少数干扰信号经过初级绕组与次级绕组间的分布电容  $X_{C2}$  耦合至次级绕组。这有效地抑制了来自电源系统侧的共模干扰。

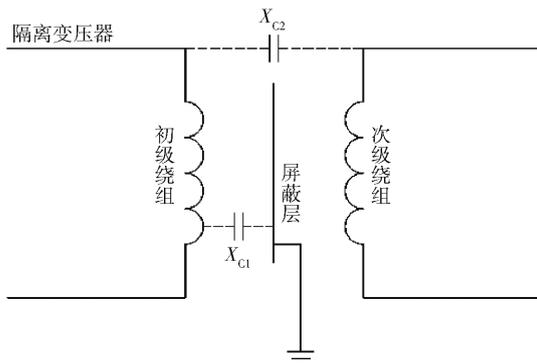


图4 隔离变压器抑制高频共模干扰原理

此时的隔离变压器适用于对电源系统要求较高的数字化设备,或对功放质量要求较高的音响广播系统等。

## 3 隔离变压器的使用误区

隔离变压器因优异的绝缘性能及抗干扰性能被广泛使用,但许多工程实际使用时往往因为错误的接地设置而没有发挥隔离变压器的电气分隔作用,同时也有许多工程在只使用普通双绕组变压器就能满足需求的情况下,错误地选择隔离变压器,加大了投资,造成了资源不必要的浪费。以下就几个典型案例简单分析。

### 3.1 案例一

某工厂电源系统三次谐波和干扰信号比较严重,采用  $\Delta/Y$  接线隔离变压器,以除去三次谐波和减少干扰信号,同时防止电流畸变比较严重的非线性负载产生的谐波电流返回电源系统造成污染。

在此案例中,只需采用普通的双绕组变压器就能解决问题。相较于普通变压器,隔离变压器除了具有普通变压器的功能外,其突出的特点绕组绝缘性能优异,更适合用于电气分隔防止人身电击的场所。

### 3.2 案例二

某电厂为了避免因电源系统中性线不良造成照明设备运行不正常,以及照明设备发生单相接地故障时影响到整个电源系统,其电源系统采用三相三线制供电,照明系统由  $\Delta/Y$  接线隔离变压器供电,二次侧中性点直接接地并且配出中性线,照明设备的金属外壳通过总等电位联结连接到厂区接地网上。

在此案例中,因为由隔离变压器供电的照明设备的金属外壳与厂区其他电气装置的外露可导电部分进行等电位联结,相当于接地,所以隔离变压器已经失去了电气分隔的作用,并不能实现设备侧的电击防护。如果此案例安装变压器的主要目的是设置电气分隔作电击防护,则应设置隔离变压器,且二次回路的带电导体不能与其他回路的带电部分、地以及保护接地导体相连接,同时隔离回路应与其他回路分开敷设;如果此案例安装变压器的主要目的是引出新的中性线,避免电源系统中性线不良对照明设备产生影响,并隔绝单相接地故障,则采用普通的双绕组变压器即可。

### 3.3 案例三

某工厂为保护人身安全,避免电击,在为 IT 系统设备供电的不间断电源的输出端装设隔离变压器,同时为了使 IT 系统设备能正常工作,隔离变压器次级绕组中性点接 PE 线,以降低 N-PE 导体间的电位差,且此 PE 线与隔离变压器一次侧 PE 线相通。

在此案例中,由于 PE 线贯通,隔离变压器已经失去了电气分隔的作用,不能实现设备侧的电击防护。如果此案例装设变压器的主要目的是设置电气分隔作电击防护,则应设置隔离变压器,同时供电设备外壳不应接地,且不应引入电源系统的 PE 线;如

果此案例装设变压器的主要目的是满足供电设备要求降低 N-PE 导体间的电位差,则只需设置普通的双绕组变压器即可,同时设备侧应做等电位联结,且过电流保护器按 TN 系统故障防护要求设置。

## 4 结束语

从变压器结构来看,由于绕组间具有双重绝缘或加强绝缘,且初级绕组、次级绕组不同心布置或绕组间设有静电屏蔽层,隔离变压器除了具有普通变压器的功能外,还具有优秀的隔离和抗干扰能力,但同时造价更高,体积受限,容量有限。实际选择时,应重点应用其优势功能,作为电气分隔使用,或在电击防护要求较高的场合应用其将 TN 或 TT 系统转换为 IT 系统,抑或用其抑制高频干扰。同时需要注意隔离变压器的设置要求,避免其功能失效。在其他普通双绕组变压器就能满足使用需求的场合,不要盲目地选择隔离变压器,以免加大投资,造成资源浪费。

### [参考文献]

- [1] 王厚余. 隔离变压器和双绕组变压器在建筑电气中的应用[J]. 低压电器, 2004(9):13-16.
- [2] 中国航空工业规划设计研究院. 工业与民用配电设计手册(第四版)[M]. 北京:中国电力出版社,2016.

## 期刊投稿系统和微信公众号上线通知

为了加快稿件处理速度,缩短稿件出版周期,方便广大作者投稿及查询稿件处理情况,本刊已开通“腾云”期刊全流程采编系统,网址为 <https://yjnn.cbpt.cnki.net/>。

同时,2021年1月1日起,期刊杂志社正式开通“恩菲期刊”微信公众号,着力打造全天候的媒体服务平台,定期更新期刊动态;分享写作、投稿技巧;及时为读者、作者、审稿专家、编委带来新鲜、生动、有价值的信息资讯。欢迎扫码关注!

