

文章编号: 1005-0523(2005)05-0100-07

三相 V/V 接牵引变压器在工程设计中的应用

邱长文

(广州地铁总公司, 广东 广州 515700)

摘要: 根据三相 V/V 接牵引变压器的构成原理及其主要特点, 介绍了三相 V/V 接线牵引变压器在设计中的应用, 并提出了有关建议。

关键词: 三相 V/V 接牵引变压器; 设计; 应用

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A

当前, 在我国电气化铁道中采用的是单相工频交流制。由牵引变电所的主变压器将 110KV 等级电力系统或 110KV 以上等级电力系统与牵引网联系起来, 向最终用电设备电力机车供电, 从而构成一个完整的供电—用电环路。

由于电气化铁路牵引负荷的非对称性特征, 在单相工频交流制下, 非对称性会在电力系统引起负序。针对这个问题, 需要采取措施来解决这个问题。其方法可以通过轮换接线方式或采用特种变压器(如平衡变压器)来减小在电力系统产生的负序。三相 V/V 接牵引变压器作为一种新型变压器, 是一种非平衡变压器且两相容量不等, 因此存在着相序如何轮换接入? 短路电流如何计算? 容量如何计算? 三相 V/V 接牵引变压器电压损失计算如何计算? 电能损失如何计算? 等等。下面就结合该种变压器在国家重点建设项目阳平关至安康电气化铁路扩能改造中的应用, 分别进行说明。

阳平关至安康线为既有电气化铁路, 全长 354.05 公里, 于 1977 年全线开通, 主变接线形式主要为单相 V/V 接, 备用方式为移动备用。本次扩能改造, 将移动备用改为固定备用。变压器主变接线形式采用三相 V/V 接。

1 三相 v/v 接牵引变压器的基本原理

1.1 三相 v/v 接牵引变压器的结构型式

三相 V/V 接新型牵引变压器从其组装结构看, 是用两台单相变压器组合在一起, 置于同一油箱中, 高压侧接成固定的 V 接, 低压侧两相端子全部引出, 在外部既可接成正“V”也可接成反“V”, 以方便牵引网供电。由于是两台单相变压器的简单组合, 箱体内两台单相变压器, 其磁路相互独立, 两相容量可以相等, 也可以不相等。两单相绕组中的电流即是负荷电流, 因此其容量利用率可达 100%。对于电气化铁路来讲, 两供电臂的负荷常常是不相同的, 一臂重负荷, 一臂轻负荷。由于牵引网额定电压相同, 根据两臂负荷确定的两相容量, 一个单相绕组容量大和另一个单相绕组容量小。由于容量直接与铜材的消耗有关, 容量小铜材的消耗也小。因此, 使用三相 V/V 接牵引变压器从材料的利用上, 也是经济的, 可以根据实际的需要使用原材料。而且在

收稿日期: 2005-03-18

作者简介: 邱长文(1971-), 男, 广州地铁总公司。

将来的运营中,由于其容量能够充分利用,没有结构设计本身带来的容量冗裕,可以大幅度地降低运营成本.为电气化铁路牵引变压器的选型又提供了一个新形式.

1.2 三相 V/V 接牵引变压器的接线原理

三相 V/V 接牵引变压器外接线如图 1 所示. ABC 为一次侧接线, $x_2 a_2 x_1 a_1$ 为二次侧接线.

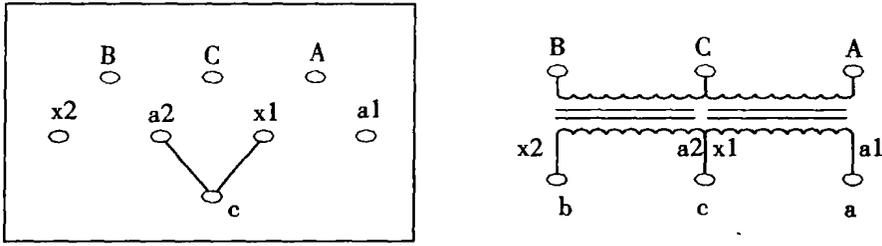


图 1 三相 V/V 接牵引变压外接线

从上图可以看出,其进线为三相三线,其出线为二相三线(其中工作接地端子共用).根据以上接线形式,其一次及二次向量图如下:

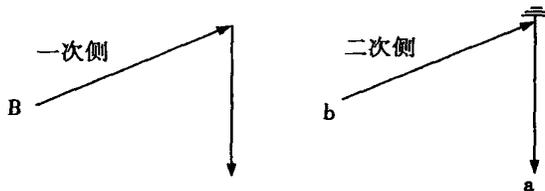


图 2 一次及二次向量图

根据其向量图,称这种接线形式为正“V”接(即目前在襄渝线花果牵引变电所现场试验的接线方式).这种方式是不是标准方式呢?是否可以象以前单相 V/V 接牵引变压器一样将其接线方式固定下来,作为标准接线方式.能否仅仅通过改变其一次侧引入系统的相序,从而与 YN, d11 接线一样,就可以实现我们所要求的所有二次侧相序要求呢?答案是否定的.现分析如下:

一次侧系统的接线,不外乎 A、B、C 三相,根据其现在的接线方式,将所有可能产生的二次侧的相序罗列出来,见下表:

一次侧三相引入系统的相序			二次侧馈出的相序		备注	
			一次侧共用相	二次侧接地相		
A	B	C	AB	-BC	B	B
A	C	B	-CA	BC	C	C
B	A	C	-AB	CA	A	A
B	C	A	BC	-CA	C	C
C	A	B	CA	-AB	A	A
C	B	A	-BC	AB	B	B

根据二次侧馈出的相序组合,可以看出,二次侧相序仅有三组相配,即 AB 与 -BC, CA 与 -AB, -CA 与 BC. 将这些电压向量与电力系统电压全相序向量图 3 联系起来.

可见,目前这种正“V”接线的三相牵引变压器,其二次侧不能馈出 AB 与 -CA, -BC 与 CA, -AB 与 BC 这三种相序组合.也就是说,如果要按照全相序向量图进行轮换接线时,且使区间两相邻供电臂相位相同时,牵引变电所的主接线不能仅使用正“V”一种接线方式.牵引变电所的主变的接线方式应该按照正“V”接与反“V”接交错进行.这是三相 V/V 接牵引变压器与单相 V/V 接牵引变压器在工程应用中有所不同的地方,希望各位同行在使用三相 V/V 接牵引变压时,对此予以注意.

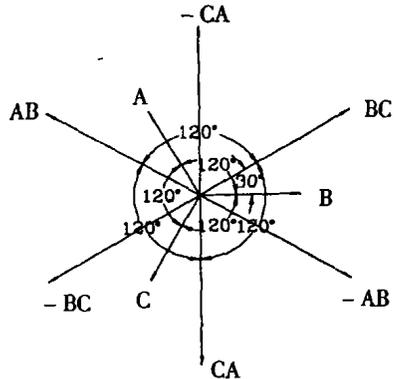


图 3 电压向量与电力系统电压全相序向量图

为便于使用,现将三相V/V接牵引变压器的所有接线方式(包括正“V”和反“V”接)的一次与二次的向量图(见图4),表示如下:

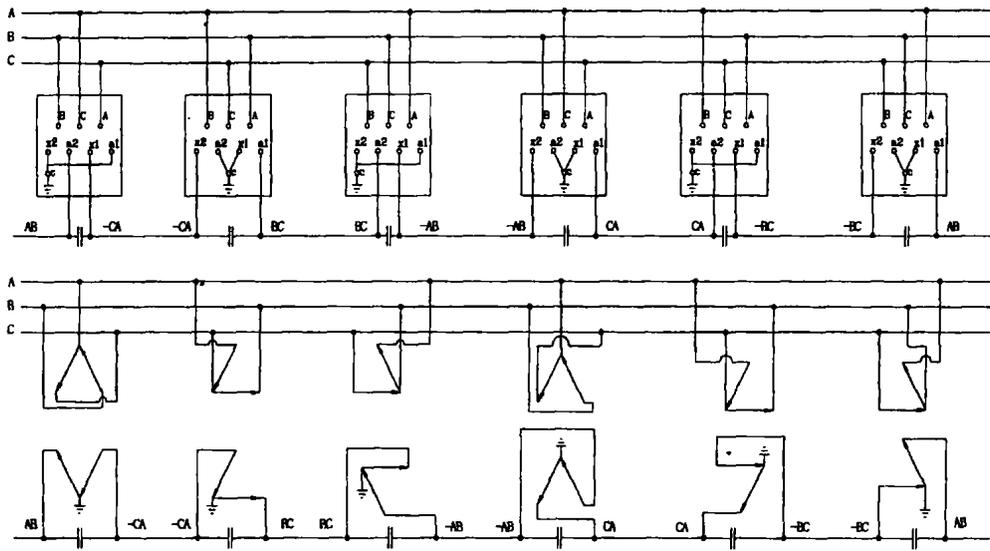


图4 接线方式

2 三相V/V接牵引变压器的供电计算

分析研究这一新型牵引变压器的电气计算特点,提出完整的计算方法,是牵引供电计算必须解决的紧迫课题.为便于阐述,分三相V/V接牵引变压器的牵引供电系统短路分析与计算;变压器容量计算、变压器电压损失计算、变压器电能损失计算等几个专题进行讨论.

2.1 三相V/V接牵引变压器的牵引供电系统短路分析与计算

如果抽象地看待三相V/V接线牵引变压器,原边为三相系统,次边(牵引侧)可视为两相系统(如图5所示).当地为公共参考点时,原边三相与参考点构成三端口,次边两相则构成二端口.由于原边三端子,可以引入A、B、C的任意组合,为通用起见,记原边三相(三端口)为p、q、r,次边二相(二端口)为α、β,并记 U_p 、 U_q 、 U_r 和 E_p 、 E_q 、 E_r 分别为端口p、q、r的电压和电势相量, I_p 、 I_q 、 I_r 为三端口的电流相量, U_α 、 U_β 和 E_α 、 E_β 分别为二端口电压和电势相量, I_α 、 I_β 则为二端口的电流相量.

对于三相V/V接牵引变压器,由于原边以及次边均不存在零序,故可以通过引入零序电流和零序电压或电势以及非零的变换系数,就可实现原、次边设的电气量的相互变换,来实现系统变换.设三相V/V接牵引变压器次边、原边每对绕组变比为K,根据磁势平衡,可得两侧的电流变换关系如下:

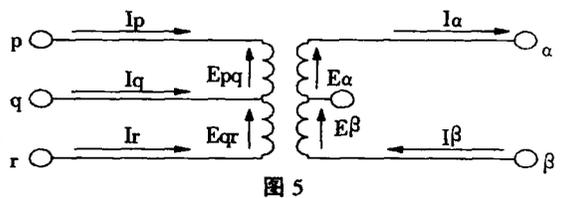


图5

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_p \\ \dot{I}_q \\ \dot{I}_r \end{bmatrix} = k \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \dot{I}_\alpha \\ \dot{I}_\beta \\ \dot{I}_0 \end{bmatrix}$$

简记

$$I_{pqr} = Ai * I_{0\alpha\beta} \tag{1}$$

其逆变换为:

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_0 \\ \dot{I}_\alpha \\ \dot{I}_\beta \end{bmatrix} = \frac{1}{3k} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \dot{I}_p \\ \dot{I}_q \\ \dot{I}_r \end{bmatrix}$$

简记
$$I_{0\alpha\beta} = A i^{-1} * I_{pqr} \tag{2}$$

根据功率守恒原理,由(2)式可以确定两侧端口间的电压变换关系,如下:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_p \\ \dot{U}_q \\ \dot{U}_r \end{bmatrix} = k \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \dot{U}_0 \\ \dot{U}_\alpha \\ \dot{U}_\beta \end{bmatrix} \tag{3}$$

简记
$$U_{pqr} = A u * U_{0\alpha\beta} \tag{3}$$

其逆变换为:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_0 \\ \dot{U}_\alpha \\ \dot{U}_\beta \end{bmatrix} = k \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \dot{U}_p \\ \dot{U}_q \\ \dot{U}_r \end{bmatrix}$$

简记
$$U_{0\alpha\beta} = A u^{-1} * U_{pqr} \tag{4}$$

借助于端口变换关系和变换阵,就可以把原边三相系统等效地变换成牵引侧的两侧系统.

三相系统等效转换成两相系统.首先要确定三相系统的电动势、电压、电流、阻抗间的关系,根据欧姆定律,可知:

$$\begin{bmatrix} \dot{E}_p \\ \dot{E}_q \\ \dot{E}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_p \\ \dot{U}_q \\ \dot{U}_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{pp} & Z_{pq} & Z_{pr} \\ Z_{qp} & Z_{qq} & Z_{qr} \\ Z_{rp} & Z_{rq} & Z_{rr} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \dot{I}_p \\ \dot{I}_q \\ \dot{I}_r \end{bmatrix} \tag{5}$$

简记
$$E_{pqr} = U_{pqr} + Z_{pqr} * I_{pqr} \tag{5}$$

其中: Z_{pp} — p 端子自阻抗 Z_{pq} — p, q 端子间互阻抗 Z_{pr} — p, r 端子间互阻抗
 Z_{qq} — q 端子自阻抗 Z_{qp} — q, p 端子间互阻抗 Z_{qr} — q, r 端子间互阻抗
 Z_{rr} — r 端子自阻抗 Z_{rp} — r, p 端子间互阻抗 Z_{rq} — r, q 端子间互阻抗

为了能直接采用系统提供的正序、负序阻抗,可以通过对称分量法,将三相系统分成正序、负序和零序系统.若用 E_0, E_1, E_2 表示三相系统零序、正序、负序电动势, U_0, U_1, U_2 表示三相系统零序、正序、负序电压, I_0, I_1, I_2 表示三相系统零序、正序、负序电流, Z_0, Z_1, Z_2 表示三相系统零序、正序、负序阻抗.

即 $E_{pqr} = A \cdot E_{012}; U_{pqr} = A \cdot U_{012}; I_{pqr} = A \cdot I_{012}$

或 $E_{012} = A^{-1} \cdot E_{pqr}; U_{012} = A^{-1} \cdot U_{pqr}; I_{012} = A^{-1} \cdot I_{pqr}$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \end{bmatrix}$$

其中: $\alpha = e^{j120^\circ}$

该矩阵的逆阵,记作 A^{-1} ,

$$A^{-1} = \frac{1}{3} * \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix}$$

在正序、负序、零序系统中,存在如下关系:

$$E_{012} = U_{012} + Z_{012} \cdot I_{012} \tag{6}$$

所以(6)式可写作:

$$A^{-1} \cdot E_{pqr} = A^{-1} \cdot U_{pqr} + Z_{012} \cdot A^{-1} \cdot I_{pqr} \tag{7}$$

将(1)式和(3)式带入(7)式可得:

$$A^{-1} \cdot A u \cdot E_{0\alpha\beta} = A^{-1} \cdot A u \cdot U_{0\alpha\beta} + Z_{012} \cdot A^{-1} \cdot A i \cdot I_{0\alpha\beta} \tag{8}$$

由(8)式可得:

$$E_{0\alpha\beta} = U_{0\alpha\beta} + Au^{-1} \cdot A \cdot Z_{012} \cdot A^{-1} \cdot Ai \cdot I_{0\alpha\beta} \tag{9}$$

根据 $E_{0\alpha\beta} = U_{0\alpha\beta} + Z_{0\alpha\beta} \cdot I_{0\alpha\beta}$ 可知:

$$Z_{0\alpha\beta} = Au^{-1} \cdot A \cdot Z_{012} \cdot A^{-1} \cdot Ai \tag{10}$$

即:

$$Z_{0\alpha\beta} = k \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \cdot k \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \tag{11}$$

将(11)式化简后得:

$$Z_{0\alpha\beta} = k^2 \cdot \begin{bmatrix} 3 \cdot Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 + Z_2 & \alpha \cdot Z_1 + \alpha^2 \cdot Z_2 \\ 0 & \alpha^2 \cdot Z_1 + \alpha \cdot Z_2 & Z_1 + Z_2 \end{bmatrix} \tag{12}$$

所以原边三相系统根据(12)及(9)式,就可以等效成次边两相系统,如下式所示:

$$\begin{bmatrix} \dot{E}_\alpha \\ \dot{E}_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_\alpha \\ \dot{U}_\beta \end{bmatrix} + k^2 \begin{bmatrix} Z_1 + Z_2 & \alpha \cdot Z_1 + \alpha^2 \cdot Z_2 \\ \alpha^2 \cdot Z_1 + \alpha \cdot Z_2 & Z_1 + Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_\alpha \\ \dot{I}_\beta \end{bmatrix} \tag{13}$$

如果三相系统正序阻抗、负序阻抗分别用折算到次边的值表示,并且在(13)式中,将三相 V/V 接短路阻抗考虑在内,设 Z_α 、 Z_β 为次边端口 α 、 β 绕组等值抗,(13)式则可另外表示如下:

$$\begin{bmatrix} \dot{E}_\alpha \\ \dot{E}_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_\alpha \\ \dot{U}_\beta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1 + Z_2 + Z_\alpha & \alpha \cdot Z_1 + \alpha^2 \cdot Z_2 \\ \alpha^2 \cdot Z_1 + \alpha \cdot Z_2 & Z_1 + Z_2 + Z_\beta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{I}_\alpha \\ \dot{I}_\beta \end{bmatrix} \tag{14}$$

(14)式称之为三相 V/V 接牵引变压器计算模型,将该模型绘制成图形表示如下:

根据(14)式三相 V/V 接牵引变电压计算模型,就可以解决不等容量三相 V/V 接牵引变压器次边的各种短路情况进行分析了,当然,如果令 $Z_\alpha = Z_\beta$,就是两相等容量时的计算公式了.

第一种短路情况:单相母线接地短路,可得:

当 α 相母线短路时,

$$I_\alpha = \frac{\sqrt{3}E}{Z_1 + Z_2 + Z_\alpha} \tag{15}$$

当 β 相母线短路时,

$$I_\beta = \frac{\sqrt{3}E}{Z_1 + Z_2 + Z_\beta} \tag{16}$$

注:其中 $\sqrt{3}E$ 为线电压,在次边为 27.5 kV.

第二种短路情况:异相母线间短路,可得:

$$|I_\alpha| = |I_\beta| = \frac{\sqrt{3}E}{Z_1 + Z_2 + Z_\alpha + Z_\beta} \tag{17}$$

第三种短路情况:异相母线间短路接地,可得:

$$|I_\alpha| = \frac{\sqrt{3}E \cdot \sqrt{Z_\beta^2 + 3 \cdot Z_1 \cdot Z_\beta + 3 \cdot Z_1^2}}{3 \cdot Z_1 \cdot Z_2 + (Z_1 + Z_2) \cdot (Z_\alpha + Z_\beta) + Z_\alpha \cdot Z_\beta} \tag{18}$$

$$|I_\beta| = \frac{\sqrt{3}E \cdot \sqrt{(1.5 \cdot Z_1 + Z_2 + Z_\alpha)^2 + (0.866 \cdot Z_1 + Z_2)^2}}{3 \cdot Z_1 \cdot Z_2 + (Z_1 + Z_2) \cdot (Z_\alpha + Z_\beta) + Z_\alpha \cdot Z_\beta} \tag{19}$$

公共相的短路电流(图5中的 p 相)为

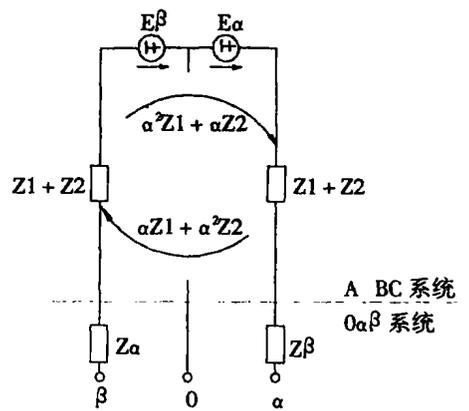


图 6

$$|I_p| = \frac{\sqrt{3}E \cdot \sqrt{(1.5 \cdot Z_1 + Z_2 + Z_\alpha + 0.5 \cdot Z_\beta)^2 + (0.866 \cdot Z_1 - Z_2 + 0.866 \cdot Z_\beta)^2}}{3 \cdot Z_1 \cdot Z_2 + (Z_1 + Z_2)(Z_\alpha + Z_\beta) + Z_\alpha \cdot Z_\beta} \quad (20)$$

2.2 三相V/V接牵引变压器容量计算

三相V/V接牵引变压器,由于其内部两相绕组磁路独立,容量应分别计算:

$$\alpha \text{相:} \quad S_\alpha = U \cdot I_{x1}$$

$$\beta \text{相:} \quad S_\beta = U \cdot I_{x2}$$

注:式中 I_{x1} 、 I_{x2} 分别 α 相或 β 相牵引母线上的有效电流.

2.3 三相V/V接牵引变压器电压损失计算

由于三相V/V牵引变电所两侧供电臂分别由变压器中各自独立绕组供电,因此供电臂负荷在变压器中产生的电压损失为:

$$\alpha \text{相:} \quad \text{当 } \cos \Phi = 0.8 \text{ 时} \quad \Delta U_{T_{\max}} = 0.6 \cdot Z_\alpha \cdot I_{\max}$$

$$\text{当 } \cos \Phi = 0.82 \text{ 时} \quad \Delta U_{T_{\max}} = 0.57 \cdot Z_\alpha \cdot I_{\max}$$

$$\beta \text{相:} \quad \text{当 } \cos \Phi = 0.8 \text{ 时} \quad \Delta U_{T_{\max}} = 0.6 \cdot Z_\beta \cdot I_{\max}$$

$$\text{当 } \cos \Phi = 0.82 \text{ 时} \quad \Delta U_{T_{\max}} = 0.57 \cdot Z_\beta \cdot I_{\max}$$

注:式中 I_{\max} 为 α 相或 β 相牵引母线上的最大短时电流.

2.4 三相V/V接牵引变压器电能损失计算

α 端和 β 端分别计算,设 α 端的额定铜耗为 $\Delta P_{t\alpha}$, β 端的额定铜耗为 $\Delta P_{t\beta}$,三相V/V接牵引变电压的额定铁耗为 ΔP_c .则该种变压器的全年能耗为:

$$\Delta A_T = 0.876 \cdot \left(\Delta P_{t\alpha} \cdot \frac{I_{\alpha}^2}{I_{\alpha H}^2} + \Delta P_{t\beta} \cdot \frac{I_{\beta}^2}{I_{\beta H}^2} + \Delta P_c \right)$$

注:式中 I_{α} 为 α 供电臂的有效电流, I_{β} 为 β 供电臂的有效电流;

$I_{\alpha H}$ 为 α 供电臂的额定电流, $I_{\beta H}$ 为 β 供电臂的额定电流.

3 结束语

综上所述,三相V/V接线牵引变压器以其自身所具有的结构新颖、能解决现行两台单台单相V/V接牵引变电所无固定备用问题,为既有单相V/V接牵引变电所大修和技术改造提供了有效途径,而且由于其自身的显著特点,一是在一次侧系统不产生零序,这个特点与平衡变压器相同;二是容量利用率高,这是其它类型变压器所不具备的;三是结构简单,使其在电气化铁道的发展中占有一席之地.当然,这种变压器的最大缺点是对于系统负序影响比较大,希望三相V/V接牵引变压器在今后的发展中,能将这一问题有所重视和克服.以上认识,难免有疏漏之处,还望同行多多指点.

参考文献:

- [1] 曹建猷. 电气化铁道供电系统[M]. 北京:中国铁道出版社.
- [2] 贺威俊,简克良. 电气化铁道供变电工程[M]. 北京:中国铁道出版社.
- [3] 长沙变压器厂,郑州铁路局,三相V/V接线牵引变压器鉴定文件.

The Application of Three-phase V/V Connected Traction Transformer in Engineering Design

QIU Chang-wen

(Guangzhou Subway Corporation, Guangzhou 515700, China)

Abstract: According to the structure principle and characteristics of three-phase V/V connected traction transformer, this paper introduces its application in engineering design, and proposes some suggestions.

Key words: three-phase V/V connected traction transformer; design; application

(上接第 87 页)行识别时,当每个输出节点的输出均小于 0.7 时,我们认为该目标无法识别。

将八幅标准手势图像进行缩放,旋转,移位得到 80 幅测试图像,并且通过多次重复实验,测试结果表明平均正确识别率为 98%。在实验中,我们对于手工绘制的另类图片也进行了测试,也得到了较好的识别效果。例如图 3(a)是一幅手工绘制的手势图像,通过我们的手势识别系统得出它与第一幅标准图像图 3(b)最相似。

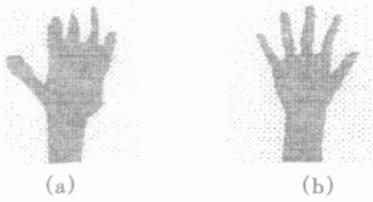


图 3 另类手势图像的识别

本文针对运用摄象机和计算机视觉技术捕获来的静态手势,提出了一种手势特征提取和基于神经网络分类的手势识别方法。实验表明该方法的正确识别率可以达到 98%,是一种非常有效的静态手势识别方法。

参考文献:

- [1] Kenneth Tolman. Multimodal communication. Proceedings of SPIE² The International Society for Optical Engineering, Soc. for Optical Engineering, WA, USA, v1785 1993, p 298—306.
- [2] Hong Bong. Object recognition of one of tools by a BP neural network. IEEE Trans Neural Networks, 1995, 6 (2): 484—487.
- [3] 殷勤业, 杨宗凯. 模式识别与神经网络[M]. 北京:机械工业出版社, 1992.

5 结论

A Hand Gestures Recognition Based on Neural Networks

DENG Zhi-guo

(School of Natural Sciences, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Hand gestures play a natural and intuitive communication mode for all human dialogs. This paper presents a hand gestures recognition algorithm that is based on neural networks. Experiment results show that recognition rate can reach to 98%.

Key words: contour-tracing; BP neural networks; hand gestures.