

[GIS]

探索中压C-GIS三位开关机构的新一轮研发

文/平高集团有限公司 钱 凯 何大伟 邓 渊 刘 宇 陈富国

目前，气体充气柜（C-GIS）三位开关机构大都由传统的机械运动组成，其机构单一，分合速度，动作位置调试复杂；伺服驱动器和伺服电动机运用于高压电器行业，在新产品的研发及批试中，可灵活调试各种技术参数，从而快速达到产品技术要求，为产品的智能化奠定基础。

科技创新，乃企业发展强大必经之路，作为中压电器产品，经历了从空气绝缘的开关柜，到气体绝缘式的封闭电器，技术创新，才有广阔的市场，目前，中压充气柜C-GIS产品，正在我国兴起的一种中压成套电器设备，它具有体积小、可靠性高的特点，可适应多样性及多变环境条件。随着中国智能电网的发展，如何创新发展中压充气柜（C-GIS），已成为科技工作者需要思考的问题之一，据有关专家指出：开关柜智能化沿着两条路线发展：一是把设备状态通过遥控的方法反应到电站主控计算机，实现开工关乃至整个系统的智能化，这是电站层面的智能化，二是开关本体的智能化，其中，后者更为国内外制造厂家所接受，因为元件智能化才是最根本最可靠的智能化。随着智能化的电子元件逐步形成，传统式的机械操动正在向数字式的方向发展。从伺服控制机构及控制技术来探讨中压充气柜（C-GIS）的机构设计，包括3方面内容。其一是中压充气柜C-GIS传统的三位开关电动机构在使用和应用上的不足之处，其二是中压充气柜C-GIS产品新一轮创新：用伺服驱动器及伺服电动机实现三位开关隔离分，隔离合，接地分，接地合，其三是C-GIS产品机构智能化的必要性探讨。

中压C-GIS三位开关的驱动机构

1. 传统的中压C-GIS三位开关电动机构

目前所用的C-GIS中的三位开关电动机构，以及用PLC可编程控制器来进行C-GIS的控制，是当今国内外主要的操作方式，其结构如图1所示。

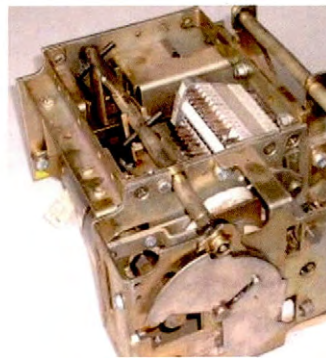


图1 GIS三位开关电动机构（纯机械式）

图1为我集团公司在1999年成功研发出的目前较先进的ZFN13-40.5 kV三位开关电动机构，它主要由电动机、齿轮轴、凸轮板和拐臂轴和控制装置组成。电动机通过过渡齿轮带动主轴齿轮转动，主轴齿轮端部的拨轴拨动凸轮板作直线运动，凸轮板的另一面上拨轴又带动拐臂轴转动，拐臂轴上的双拐臂中，与连杆和转动轴上的拐臂共同构成四连杆机构，将动力传给传动轴，从而完成动力输出。电动机构的控制装置实现自身三位控制操动和断路器联锁控制。

图2为我公司为了适应PLC可编程控制器而研制的三位开关电动机构，它主要由电动机、传动齿轮和位置传感器组成，通过齿轮传动及位置传感器实现三位开关的准确定位。通过电动机的正反转实现三位开关的联通，隔离，和接地操作。

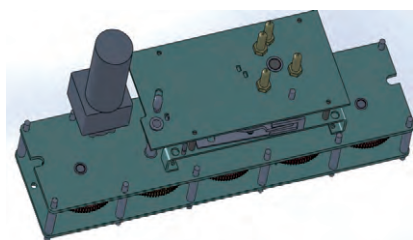


图2 GIS三位开关电动机构（满足PLC）

上面将目前C-GIS三位开关电动机构作一简单介绍,虽然此两种机构目前仍然是开关柜上的主要机构,但是,二者各有千秋,ZFN13-40.5的三位开关机构,庞大的零部件结构让人眼花缭乱,此产品与国内大多产品原理雷同,目前,国内外中低压三位开关的机构产品,大都是使用传统的机械运动操动机构,每一驱动操作机构都由连杆、锁扣以及能量供应系统等几部分组成,每一种电压等级的高压电器产品在研制时,都进行了大量的模拟计算,且传统的机构运动零部件多,累计误差大,一旦某一种零部件发生误差变形,导致整个产品在分合闸过程中不能精确到位,从而导致三位开关在隔离接地合闸位置,其动热稳定性发生变化,在接地开关合闸状态,其短路关合能力及动热稳定性发生变化,在隔离接地分闸状态,端口绝缘特性发生改变。用PLC控制技术来实现三位开关的隔离接地的分合闸,为产品的智能化方向,提供可靠的物质基础保障,新型传感器及PLC控制技术,在强大的电磁场环境中得到了验证。PLC控制技术是在传统的顺序控制器的基础上引入了微电子技术、计算机技术、自动控制技术和通讯技术而形成的一代新型工业控制装置,目的是用来取代继电器、执行逻辑、记时和计数等顺序控制功能,建立柔性的程控系统,专为在工业环境下的应用而设计的一种新型计算机。目前,PLC可编程控制器在高压电器领域正成为新型智能亮点,但是,目前的机构设计,也存在一定的局限性,一方面,为了满足PLC控制的三位开关机构在隔离接地开关触头到位后,机构立即停止,防止动静触头到位出现过冲击,其机构必须进行制动回路的设计。另一方面,一旦三位开关装配完毕,如果出现尺寸链的误差,将导致产品调试非常困难。

2. 中压C-GIS三位开关伺服驱动机构的研发

随着工业化效率的提升,高中低压产品的必须进行科技创新。其一是结构应该更为简

单,其二是发展适合市场的创新型产品。由于国内竞争更为加剧,特别是许多大用户采取集中招标之后,市场企业由原来的分散变得集中,企业要在市场竞争中发展,必须进行科技创新,随着计算机技术、光电技术和信号处理技术的发展,精简产品机构,用智能技术实现对机构的运作和监控,已摆在每位设计者的面前,电力系统多年运行的实际数据表明,操动机构的动作可靠性决定了高压开关的工作可靠性。据国内外资料统计,高压开关机械故障占总故障的60%。因此,设计出适应智能控制且结构简单的操动机构迫在眉睫,同时对市场的运作具有重要的经济意义。

那么,伺服驱动机构与目前的控制机构有什么显著特点,传统机构一旦设计完毕,产品特性就已定型,如果,需要修改某些参数,就必须对整个产品进行重新设计,而采用伺服驱动机构,就可以通过程序的修改,参数的重新设置,来达到高压电器的特性要求,特别是为产品的系列化提供可靠的技术保证;将此技术应用于C-GIS三位开关机构中,可以保证隔离接地三位开关的电力特性和分合闸的精确到位,从而避免隔离开关在导电过程中,触头发热烧毁开关等故障的发生,特别是为产品的智能操作和智能保护,提供可靠的技术支持,保证三位开关的正常运行。同时,用伺服驱动机构,能减少机构的零部件设计,为产品的装配调试,减轻劳动强度,提高生产力提供可靠的保证。

中压C-GIS三位开关伺服驱动机构的设计

目前,除了国外几家公司在全球有少许产品在挂网运行外,国内还没有一家单位将伺服驱动机构应用于高压电器产品的设计工作中,那么,如何将这一高新技术应用在高压电器这一行业中呢?首先,必须掌握伺服驱动机构的结构及工作原理,其次,要设计满足电力行业的伺服驱动器及伺服电动机。

1. 伺服驱动机构在C-GIS充气柜产品上的设计

伺服驱动机构在中压C-GIS充气柜产品创新设计如图3所示,其结构由充气单元,断路器机构,伺服驱动机构(三位开关机构),汇控柜组成,其中,伺服驱动机构是此产品的新一轮创新,它实现了三位开关(隔离,接地)的柔性操

作,即通过伺服驱动器的速度控制和位移控制,实现了隔离开关,接地开关的分合闸的精确定位及速度控制要求,为C-GIS智能化产品奠定了坚实的基础,其伺服驱动机构由图4所示,由伺服驱动器、伺服电动机和液晶控制器组成。

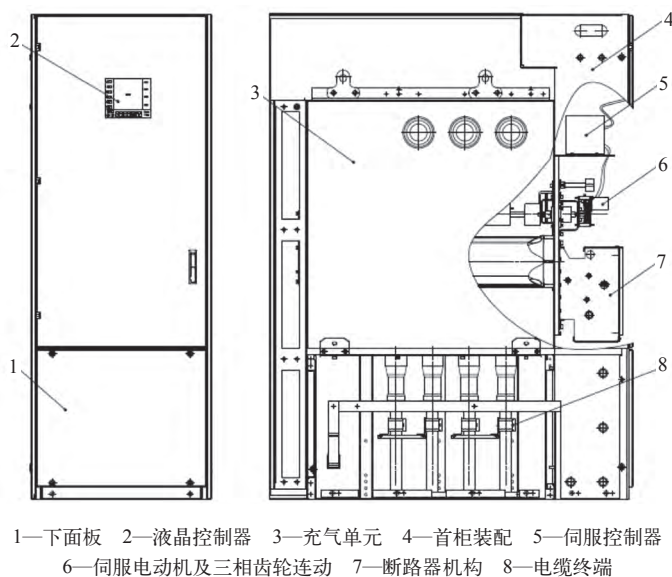


图3 伺服驱动机构在C-GIS装配设计

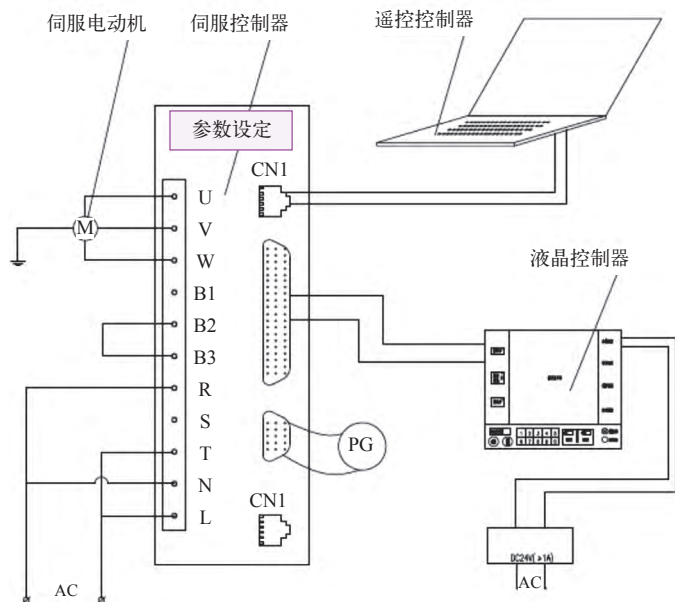


图4 伺服驱动机构结构简图

2. 伺服驱动机构的结构及动作原理

上面已绘出伺服驱动机构在C-GIS三位开关的结构设计,在设计之前,必须了解和掌握伺服驱动机构的结构及工作原理。那么,什么是伺服驱动器呢?所谓伺服驱动器亦称随动控制器,属

于自动控制系统中的一种,它用来控制被控对象的转角(或位移),使其能自动地、连续地且精确地完成输入指令的变化规律。所谓伺服电动机又称执行电动机,在自动控制系统中,用作执行元件,伺服电动机最大特点是可控,在有控制信号时,伺服电动机就转动,且转速大小正比于控制电压,去掉控制电压,电动机就立即停止。下面,对二者的结构及工作原理加以概述。

(1) 交流伺服电动机的结构及工作原理

目前,在控制领域中所采用的交流伺服电动机一般为同步电动机(无刷直流电动机),下面以Alpha系列的电动机结构加以说明,其结构如图5所示。此电动机主要由3部分组成,即:定子、转子和检测元件构成,其中定子与交流感应电动机基本相同,主要有定子冲片、三相绕组线圈、支撑转子前后端盖和轴承等组成,伺服电动机的转子主要由多对极的磁钢即永磁体、定子冲片和电动机轴构成,检测元件由安装在电动机尾端的位置编码器构成,其编码器使用的是串行脉冲编码器,由于电动机的激磁必须和转子的磁极位置垂直,所以电动机的位置反馈要能够把电动机的磁极位置反馈给伺服系统,用以产生交流伺服电动机的激磁的矢量控制。

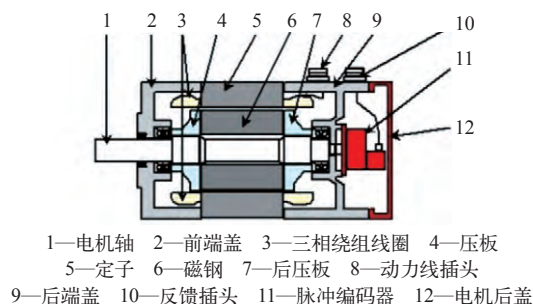


图5 伺服电动机结构

交流伺服电动机的工作原理实际上与电磁式的同步电动机类似,只不过磁场不是由转子中的激磁绕组产生,而是由作为转子的永久磁铁产生,当定子三相绕组通上交流电源后,电动机中就会产生一个旋转的磁场,该磁场将以同步转速 N_s 旋转。根据磁场的特性,定子的旋转磁极总是要和转子的旋转磁极相互吸引,并带着转子一同地转动,使定子磁场的轴心线与转子磁场的轴心线保持一致,形成电动机的旋转扭矩。一旦由于负载的扭矩发生变化,就会造成磁场的轴线和转子的轴线发生变化,但总是不超过一定的限度,如果电动机旋转一圈所需脉冲数为 n ,其脉冲频率为

f , 那么电动机的转速为 $N_s = 60f/n$ 。

(2) 伺服驱动器的结构及工作原理

伺服驱动器结构如图6所示: 主要包括控制系统和驱动系统。

1) 控制系统。主要由DSP组成, 利用它采集电流反馈值闭合电流环, 采集编码器信号算出速度闭环速度环, 产生驱动驱动系统的6个开关管的PWM开关信号。

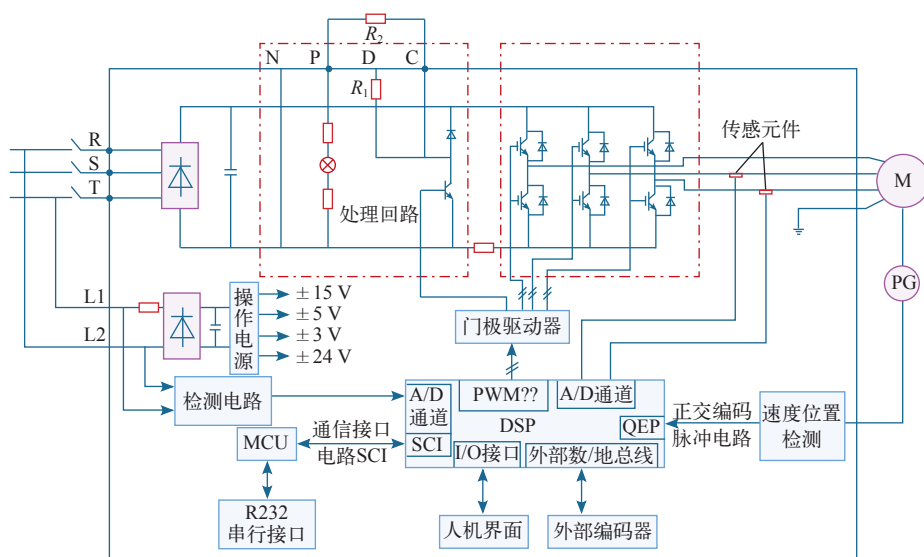


图6 伺服驱动器的组成（外接伺服电动机）

2) 驱动系统。主要由如下几部分组成: ①整流滤波电路, 主要提供两部分电源, 一是提供各操作模块的操作电源, 如: $\pm 15\text{ V}$ 、 $\pm 5\text{ V}$ 、 $\pm 3\text{ V}$ 、 $\pm 24\text{ V}$, 另一部分为智能控制模块 (IPM) 提供DC 220 V动力电源, 也就是AC-DC转换。②智能功率模块 (IPM), 内部是三相门极驱动电路。每相的上下门极驱动电路的中间点接输出U、V、W三相电源, 实现了DC-AC的转换。通过6个开关管IGBT的开闭, 控制UVW三相每个伺服瞬间, 是与地连通还是与直流高电压连通, 实现伺服电动机的起停。③电流采样电路, 就是使用霍尔电流传感器, 采集驱动器给伺服电动机的各相电流, 其电流值反馈到伺服驱动器的AD接口。为伺服电动机的扭矩控制, 提供瞬时电流值。④编码器的外围电路, 它的输出与DSP的事件管理器相连。将检测的位置脉冲反馈到伺服驱动器脉冲接口, 与输入的控制脉冲信号作比较, 实现所需的正常脉冲, 实现电动机的正反转及精确定位。

(3) 如何用伺服机构进行三位开关的分合操作

上面简单分析了伺服驱动器的结构及工作原理, 将此机构应用于C-GIS充气柜上, 它们是如何实现隔离开关, 接地开关的分合闸呢? 将伺服电动机作为执行元件, 将伺服驱动器作为控制元

件, 通过技术参数的修改, 实现电动机转速及方向的控制来实现三位开关的分合闸。目前, 伺服驱动器里有固化程序, 通过上位机 (PLC) 直观的输入参数, 控制伺服驱动器发出指令。不过, 有的伺服驱动器将PLC集成在里面, 它上面有控制面板, 如果只进行简单的伺服电动机的控制, 只依靠伺服驱动器就能实现电动机转速及转向的控制。

那么, 此技术是如何实现三位置开关来实现隔离开关的正常动作呢? 伺服驱动器控制的伺服电动机, 一般由3个环控制, 每个环都有其闭环反馈到伺服控制器上, 最内的环是电流环, 中间是速度环, 最外是位置环, 对于C-GIS产品, 三位开关最关键技术是速度和分合闸位置的控制, 而只有位置环的伺服控制模式才能实现三位置开关的精确定位, 才能保证电动机的扭矩及速度的技术参数要求。电动机转速与脉冲频率有关, 电动机转动的角度与脉冲个数有关, 伺服驱动器接受上位机 (如工控机或数控等装置) 发出的位置指令信号 (脉冲/方向), 送入脉冲列形态, 经电子分频后, 在伺服驱动器中与反馈脉冲信号比较后形成位置偏差信号, 位置偏差信号经位置环的复合前馈控制器调节后, 形成速度指令信号。

(下转第67页)



图 现场模拟试验接线图

(2) 更换屏蔽环

厂家提供合格的屏蔽环，对所有出线套管屏蔽环进行更换。通过回收气体、吊出套管、更换屏蔽环、清洁、回装套管、抽真空和充气至额定压力等步骤，完成了屏蔽环的更换工作。

更换完成后，检测SF₆微水合格，均小于标准值150 μL/L，SF₆压力正常，法兰密封良好，无漏气现象。静置24 h后，对500 kV GIL进行耐压试验，局部放电检测正常，无击穿、闪络现象。

例2：GIL气隔漏气

1. 问题

通过巡检发现GIL西锦Ⅲ线B相4#气隔SF₆气体压力逐渐下降，确定存在漏气点，SF₆气体压力值如下表所示。

表 GIL西锦Ⅲ线B相4#气隔SF₆气体压力

时间	SF ₆ 压力/MPa
2013.09.26	0.607
2013.09.29	0.605
2013.10.03	0.604
2013.10.20	0.596

(上接第61页)

速度指令信号与速度反馈信号(与位置检测装置相同)比较后的偏差信号经速度环比比例积分控制器调节后产生电流指令，在电流环中经矢量变换后，由SPWM输出转矩电流，控制伺服交流电动机的运行。

结束语

中压C-GIS三位开关机构研发设计，借助于集成电路，电力电子技术的发展，通过柔性的数字控制技术，实现C-GIS三位开关的正常分合，

利用压降法计算年漏气率 F_y ，即 $F_y = (0.607 - 0.596) / 24 \times 365 \times 100\% = 16.7\%$ 。超过DL/T 978—2005《气体绝缘金属封闭输电线路技术条件》规定的单个隔室最大年漏气率不大于0.5%。

2. 漏气点查找

现场进行漏气点查找，利用SF₆气体检测仪，发现压力表靠出线侧10 m左右的管道上存在漏气点，并用肥皂泡沫进一步确定具体的漏气点。

3. 问题处理

1) 将漏气的气室气压降低到0.1 bar，保持微正压。

2) 拆除临时修复用的铝质补丁，将漏气点边缘及铝质补丁彻底清洁干净。使用Tectyl留下的痕迹必须完全清除。

3) 打磨漏气点边缘以及补丁内壁直到平滑。

4) 制作一块合适大小的铝质补丁(50 × 130 mm)，补丁边缘打磨平滑，用一根扎带将铝质补丁紧紧压在GIL管道上，并用电焊将其固定住(与临时修复相反，不需要使用密封圈)。

5) 拆除扎带，再将铝质补丁完全焊在GIL管道上。

6) 将气室气压恢复到正常值0.600 MPa，重新恢复送电。

设备运行期间，加强红外测温技术的运用，及时发现电气联接的温度异常。EA

(收稿日期：2016.09.11)

(编辑：白文亭)

为三位开关的分合速度，精确定位通过了可靠的技术支撑，同时，为产品的系列化设计开辟了一种崭新的思路。

从以下几个方面探索了伺服驱动机构在三位开关机构的制造和创新提供了可能。伺服驱动机构与以往传统的机构作了分析类别；伺服驱动机构在目前C-GIS研发设计；伺服驱动电动机的原理分析设计；伺服驱动机构的原理分析设计；用伺服驱动机构实现三位开关的分合操作。EA

(收稿日期：2016.09.06)

(编辑：白文亭)