

高等学校试用教材

电力牵引控制系统

西南交通大学 连级三 主编
上海铁道学院 邵丙衡 主审

中国铁道出版社

1994年·北京

前 言

在交通运输中采用电动机驱动的电气传动部分,称为电力牵引系统,它以牵引电动机为控制对象,通过开环或闭环控制系统对电机的牵引力和速度进行控制。因此其范围可包括干线电力机车、电传动内燃机车、矿山用电力机车、市郊电动车、市内轻轨或无轨电车中的电气传动及其控制部分。

由于交通运输在国民经济中的重要地位和电力牵引动力的一系列独特优点,所以电力牵引被视为牵引动力现代化改造的重要途径。一种不污染环境的净化交通运输工具,如磁悬浮列车和电动汽车可望在不久的将来问世。

本书着重介绍铁路干线交直型电力机车的电气传动与控制技术,而且以平滑无级调速的相控电力机车为主,因为它是我国目前普遍采用的车型。对于电传动内燃机车本书亦给予了充分的重视,从电气传动与控制原理来看,电传动内燃机车与电力机车有许多共同之处。以柴油机为原动机的内燃机车,对于保持机车恒功率运行要求严格,因此本书专门有一章介绍内燃机车恒功控制系统。

为了适应我国近年来电力牵引动力现代化改造的不断发展,本书作了以下几方面的努力:

1. 反映我国当前电传动机车的水平。为此作者收集了国内运行的各类电传动机车的资料,对它们的主电路和控制系统进行了分析比较,力求在理论上有一定的深度;

2. 结合实际。作为专业教材的内容必须紧密联系实际,因此本书中介绍的一些单元电路多数是机车中普遍采用的典型环节。部分单元电路虽然没有在机车上应用,但被一般电力拖动系统广泛应用。另外,为了使读者便于与实际机车线路和元件对上号,一些线路图中的符号都尽量与原来的相一致;

3. 处理好有级调速和无级调速机车的关系。这个问题涉及有触点和无触点控制系统。 SS_1 型电力机车为有级调压的有触点继电器控制系统,6G、 SS_4 、6K和8K等电力机车均采用无级调压的无触点电子控制系统,而 SS_3 型电力机车是既有调压开关又有级间晶闸管无级调压,是有触点与无触点并存的混合式控制系统。考虑到这些情况,以及有触点控制系统在我国电力拖动系统应用仍然十分广泛,所以本书对 SS_1 型电力机车的有触点控制系统作了介绍。但是本书的重点是晶闸管无级调压的无触点电子控制系统。 SS_3 型电力机车的控制系统不是典型的,本书仅作十分简单的介绍;

4. 力求反映先进性。采用交流牵引电动车的交直交型机车和微机控制系统是未来机车发展的方向,本书给予了充分的重视;

5. 教学内容选择的可能性。电力牵引与传动控制专业各校培养重点有所不同,在保证基本内容的基础上,各校可根据自己特点删选部分内容。为便于选用,在编写时,各章内容有一定程度的独立性。

本书由西南交通大学连级三教授主编,上海铁道学院邵丙衡教授主审。参加编写的有连级三(第一、二、三、四章)、江浩(第五章)、李治(第六章)、黄济荣(第八章)、谢维达(第九章)、江浩、袁维慈共同编写第七章。在编写过程中株洲电力机车工厂、株洲电力机车研究所和兄弟院校等单位给予了大力协助,在此谨致谢忱。

编 者

1992年6月

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书为高等学校电力牵引与传动控制专业的教材。全书共分九章,内容主要包括:交直型电力机车主电路和辅助电路、交直型电力机车的功率因数、机车控制系统单元电路、交直型电力机车控制系统、电力牵引闭环自动控制系统、电力机车微机控制系统、直流斩波控制系统以及交流传动机车控制系统等控制系统的基本结构和工作原理。同时,对电传动内燃机车的恒功控制也作了相应的介绍。

本书除作为高等学校专业教材外,还可供从事电力拖动的有关科技人员学习参考。

高等学校试用教材

电力牵引控制系统

西南交通大学 连级三 主编

上海铁道学院 邵丙衡 主审

*

中国铁道出版社出版、发行

(北京市东单三条 14 号)

责任编辑 方军 封面设计 翟达

中国铁道出版社印刷厂印

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:18.75 字数:456 千

1994 年 1 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 1—2000 册

ISBN7-113-01559-X/U · 468 定价:8.65 元

目 录

第一章 交直型电力机车主电路和辅助电路	1
第一节 概 述	1
第二节 交直型电力机车主电路	3
第三节 机车牵引负载电路	22
第四节 机车电气制动电路	31
第五节 机车主电路保护	39
第六节 机车辅助电路	44
第二章 交直型电力机车的功率因数	48
第一节 概 述	48
第二节 整流电路	49
第三节 脉冲宽度调制(PWM)	55
第四节 多段桥顺序控制	57
第五节 功率因数补偿器	60
第六节 LC 滤波器设计原则	64
第三章 机车控制系统单元电路	69
第一节 检测元件	69
第二节 控制元件	75
第三节 触发系统元件	93
第四章 交直型电力机车控制系统	101
第一节 6G 型机车控制系统	101
第二节 SS ₄ 型机车控制系统	103
第三节 8K 型机车控制系统	109
第四节 SS ₁ 型机车控制系统	122
第五节 SS ₃ 型机车控制系统	130
第五章 电力牵引闭环自动控制系统	134
第一节 概 述	134
第二节 电力牵引自动控制系统数学模型	135
第三节 调速系统性能指标	145
第四节 单闭环有静差自动调速系统	147

第五节 单闭环无静差自动调速系统.....	154
第六节 双闭环自动调速系统.....	157
第六章 电力机车微机控制系统	164
第一节 概 述.....	164
第二节 PHAI-16 微机控制系统基本结构及其工作原理	167
第三节 机车牵引/制动特性计算	183
第四节 故障检测与保护.....	193
第七章 直流斩波机车控制系统	201
第一节 概 述.....	201
第二节 直流斩波器的工作原理和换相电路分析.....	201
第三节 直流斩波调速控制系统.....	209
第四节 直流斩波调速的应用实例.....	219
第八章 交流传动机车控制系统	224
第一节 概 述.....	224
第二节 交—直—交传动机车主电路.....	225
第三节 交—直—交传动机车控制策略和基本方法.....	233
第四节 控制滑差频率 f_2 的交流传动系统	235
第五节 磁场定向控制的交流传动系统.....	238
第九章 电传动内燃机车恒功控制	245
第一节 概 述.....	245
第二节 牵引发电机在恒功率工况下的特性.....	248
第三节 恒功率励磁系统.....	252
第四节 联合调节器的基本原理.....	259
第五节 东风 ₄ 型机车恒功率励磁系统	262
第六节 ND ₅ 型机车恒功率励磁系统	267
第七节 微机控制的恒功率励磁系统.....	276
第八节 机车控制电路.....	280
附 录 调压开关的组成和工作原理.....	288

第一章 交直型电力机车主电路和 辅助电路

第一节 概 述

电力机车的电气线路按其作用的不同,可分为主电路、控制电路和辅助电路三大部分。

牵引电动机及其相联接的电气设备和导线组成了机车主电路。电传动设备主电路中流过的电流为牵引负载电流,主电路电压为牵引电动机的电压,或者是接触网的网压,故机车主电路是电力机车上的高电压、大电流的大功率动力回路。通过主电路的功率传递,将变电所的电能量转变成适用于列车牵引所需要的牵引力。由此可以看出主电路是电力机车最重要的组成部分。由于主电路的结构不同,例如调压方式不同,会在很大程度上决定着机车的基本性能。电力机车性能的好坏,技术上难易的程度,投资的多少,以及它的运行费用的高低和可靠性等重要技术经济指标,均与主电路的设计密切相关。

与一般电力拖动装置不同,机车主电路及其电气装备具有功率大、控制比较复杂、工作条件差和受机车空间尺寸限制等特点,这些特点在设计机车主电路时必须予以充分地考虑。

机车主电路应满足机车起动、调速及制动三个基本工作状态的要求。起动、调速及制动是列车运行的基本规律,它们是通过机车主电路、控制电路和辅助电路共同作用实现的。这三种工况是机车电传动系统必须达到的基本要求,尤其是机车的速度调节更是机车三种运行工况的共同基础,因为机车牵引列车时,司机要根据不同的运行条件来调节机车的速度。为了充分发挥机车的功率,实现多拉快跑,就要求机车不仅能在不同的线路和载荷条件下改变牵引力,而且还要求在相同的牵引力下得到不同的速度。由此可以看出,机车主电路必须保证牵引电动机的转矩和转速都可作独立的调节,而且要有宽广的调节范围。

机车在不断地运行着,其负载又在不断地变化,所以机车主电路工况大部分时间处于机电联合作用的瞬变过渡过程,而且主电路和控制电路发生的电磁现象总是互相影响。这些都应该在设计主电路和控制电路时给予考虑,以便确保机车能在任何正常工况下可靠地运行。

在设计主电路时所应考虑的一些主要因素有:牵引电动机的型式、供电方式、牵引电动机的数目及组合方式、整流线路、调速方式和电气制动方式。

一、牵引电动机联接和激磁方式

交直型电力机车采用脉流牵引电动机,而且多数采用串激励磁方式,因为串激电动机具有起动力矩大,恒功性能好和并联运行时负载分配比较均匀等许多优点。但是串激电机防空转性能较差,因此在有些电力机车上采用他激或复激励磁方式,例如 6K 机车采用复激励磁。牵引电机励磁方式不同,将会引起主电路的变化,例如 6K 机车采用复激电机,牵引电机的正反转是采用改变牵引电机电枢极性来实现的,而不是像串激电机用反向器改变串激绕组极性来实现。

一台电力机车采用牵引电动机的台数是取决于机车的动轴数目(组合式传动除外)。牵引

电动机之间的联接,对大功率机车一般多数采用并联联接,并联联接的优点是整台机车的轴重粘着重量利用较好,因为多台牵引电机并联运行,倘若其中有一台发生空转时,对其余牵引电机的运行影响较少,整台机车的牵引力损失不会太大,而且发生空转的牵引电机恢复正常运行也比较容易。并联联接的缺点是电气设备增多,各台电机之间负载分配较差,而且并联联接时,牵引电动机最佳额定电压和机车整流装置硅元件的最佳工作电压不相一致。为了充分利用硅整流元件高反压特性,希望整流装置输出电压高而负载电流较小,而交直型电力机车大功率直流或脉流牵引电动机最佳额定电压较低,大约等于以千瓦表示的电机额定功率值,例如800kW电机,最佳额定电压约为800V。因此,有些机车采用先串后并联联接,尤其对于高速电动车组,牵引电机功率相对较小,所有电机和电器设备要安装在电动车车箱底部,空间有限,故一般采用要求电器设备较少的先串后并的联接方式。我国大功率8K干线电力机车也采用了二串二并联联接方式,优点除电器设备较少外,动轴之间牵引力分配比较均匀(见本章第三节)。但是,由于单轴功率较大(800kW),空转的可能性增加,为此在8K机车上采用了灵敏度较高的空转保护系统。

二、供电方式

按照供电方式,机车主电路可分为集中的、独立的和部分集中(或称混合)的三类。如果电力机车牵引变压器副边绕组不分段,全部牵引电动机作并联联接或者先串后并,集中由一个整流电路供电,例如SS₁型电力机车主电路,这种供电方式称为集中供电。相反,如果变压器副边绕组分段,每一段绕组单独供电给一个整流硅机组和一台牵引电动机,则称为独立供电方式。

集中供电的优点是变压器结构较为简单,电动机可以全部并联。与牵引电动机串联联接相比较,防空转性能较好。而且由于每个整流臂中的硅元件并联数量较多,因此在发生故障短路时,硅元件所承受的短路电流被较多的并联支路所分配,对硅元件的短路保护要求可以低些。此外,硅元件全部集中有利于采用集中的通风冷却,简化通风设备。集中供电的缺点有二:一是一台牵引电机发生环火时,常常会引起另一台牵引电机的环火;二是牵引电动机具有硬特性时,牵引电动机之间负载均匀分配比较困难。

独立供电的优点是各整流电路相互独立性较强。在一台牵引电动机发生环火或一个整流装置发生故障时,对其余整流电路及其牵引电动机的影响较小。因而显著地限制了故障范围。但独立供电造价较高,而且发生短路时对硅元件、变压器绕组及其电机与电器设备烧损的可能性增加,因为独立供电时,每段副边绕组和硅整流装置的容量相对地较小。

由此可见,集中供电和独立供电各有优缺点,故经常采用两者相结合的部分集中供电方式。它是将各个转向架的牵引电动机并联联接,各自从独立的整流硅装置取得供电,而每个硅机组和变压器的一段副边绕组联接。例如6G型电力机车的主电路,六台牵引电动机按转向架分成两组,每组三台并联联接,分别从分段的副边绕组供电。部分集中供电可将故障的影响限制在同一转向架上的几台牵引电动机范围之内。

三、整流线路

我国干线电力机车采用50Hz工频单相整流线路。SS₁型电力机车为中抽式整流电路,这是由于SS₁型电力机车最初用引燃管整流,采用中抽式整流线路比较合理,六十年代改用硅整

流元件代替引燃管而主电路未作更改。此后生产的SS₁型电力机车均采用单相桥式整流线路,其优点是变压器的计算容量可比中抽式减少20%左右。单相整流线路整流电压的脉动较大,为了改善牵引电动机在脉动电压下工作的换向性能,在机车主电路中设有平波电抗器,此外,牵引电动机串励磁场绕组还用固定联接的欧姆电阻来分路,使流过串励绕组的电流基本为直流。

四、调速方式

机车起动和调速是列车牵引中最根本的任务。对于电力机车,可以有各种不同的方案来实现机车调速。不同的调速方案对机车的性能、功率因数和谐波干扰都有很大的影响。调速方案的基本要求是:不中断主电路的供电,并且尽可能地使牵引力变化平滑,冲击力小,要有尽可能多的速度运行级,均匀地分布在机车的工作速度范围内,平滑无级调速是较理想的调速方式。在电力机车上利用晶闸管进行平滑无级调速,不但可使机车功率平滑地变化,而且晶闸管具有反应速度快的优点。当机车动轴发生空转时,晶闸管调节系统可以迅速作出反应,调节电机负载电流,使牵引电动机空转不至于发展。

通过直流或脉流牵引电动机的磁场削弱可进一步提高机车速度,这是电力机车常用的方法,因为这种方法可以在机车高速时更好地发挥牵引电动机的功率,而并不需要增加牵引电动机的额定容量。增加一些削弱用的开关设备,要比为提高机车速度而增加牵引变压器和牵引电动机的容量经济得多。近年来,由于晶闸管的应用,有些机车采用他励或复励牵引电动机,它具有较好的防空转性能,并可实现平滑无级的磁场削弱。

五、电气制动方式

机车电气制动可分电阻制动和再生制动两种。从能量利用来看,电阻制动虽然不如再生制动,但是电阻制动的主电路工作比较可靠、稳定和制动的速度范围较广,技术也较简单,故在电力机车上得到广泛的使用。

电阻制动时通常将所有电动机串励绕组串联起来接成他励,由牵引变压器供电。

电力机车再生制动时反馈给电网的电能,可供运行于同一区段的电力机车使用,或者反馈给交流电网的一次侧线路,经济效益较大,同时可以取消制动电阻及其转换开关,使机车主电路得到简化。但是采用再生制动的机车必须采用全控整流线路,控制线路较为复杂。此外再生制动时,机车功率因数很低,电网电压和电流波动较大,对通讯和运行于同一区段的其它整流器电力机车工作有较大的干扰作用。

除机车主电路以外,机车辅助电路是保证机车正常运行不可缺少的部分,主电路中的各种大功率电器设备的冷却和各种气动机械装置的压缩机风源,都要用三相异步电动机来驱动。为了将车上的单相电源转换成三相,在机车辅助电路内设有旋转式的异步劈相机或静止式的晶闸管分相装置。本章对机车辅助电路工作原理亦作简要地介绍。

第二节 交直型电力机车主电路

机车性能与整流电路的选择有很大关系,从供电性能来说,机车最主要的指标有两个:一个是功率因数和谐波电流;另一个是机车的效率和节能。为了提高机车的功率因数,减少谐波

电流,可以有各种方法,这将在第二章进行介绍。而为了节能,应该采用可以再生的全控整流电路,但是,这些措施都带来一定的技术难度和制造费用的增加,所以实际机车整流电路是随着电子技术的不断发展而变化的,开始是不控整流电路,用高压侧或低压侧调压开关进行有级调压,然后是二段半控桥整流电路,进行无级平滑调压,近来采用经济四段半控整流电路。再生制动在 SS₁ 和 8K 机车上有应用。

一、SS₁ 型机车主电路

图 1-1 为 SS₁ 型电力机车主电路原理图,25kV 网压经受电弓(1 与 2)、主断路器(4)、电流互感器(7)、主变压器原边绕组 AX 接地。主变压器次边绕组有若干抽头,由组合调压开关 QKT-18 进行切换,实现逐级改变交流输出电压。整流电路采用中抽式线路,次边牵引绕组分为可调和不可调两部分,其中 a_1x_1 和 a_2x_2 为不可调绕组,每个额定电压为 1040V,1~ o_1 和 9~ o_2 为可调绕组,每个额定电压为 1000V,每个可调绕组等分成八段,每段电压为 125V。调压开关有 18 个接触元件(31~48)进行切换,组合调压开关 18 个接触元件和 33 个电压级位的闭合表如图 1-2 所示,从 0~17 位组合调压开关主轴将正转 340°,主轴每转 20°,变化一个电压级位,即调压开关的接触元件进行一次切换,闭合表中粗黑线表示相应电压级位上该接触元件闭合。

可调绕组与不可调绕组用两位置转换开关可以正反串联联接,共可获得 33 个电压级。0~17 位可调 and 不可调绕组为反接;17~33 位可调 and 不可调绕组为正接,此时图 1-1 中两位置转换开关 26 的常闭触头断开,而常开触头则闭合。在 17 位时,可调绕组和不可调绕组进行正反接转换。17~33 位组合调压开关主轴将反转 340°,当回到 1 位时,达到额定输出电压。从上述说明可以看出,利用绕组的正反接,在从零到额定电压的调节过程中,可调绕组的抽头和调压开关接触元件将重复使用两次,目的是用少量的抽头和接触元件得到 33 个电压级位。有级调压机车的调压级位愈多,机车在调节过程中牵引力冲击愈小,但级位过多,使调压开关接触元件和绕组抽头数增加,给制造上带来较大困难。

在机车牵引力调节的过程中,要求牵引力变化平稳,不允许有间断,所以对于电力机车来说必须有载调压,即在不中断负载电流情况下改变电压级位。为此,从一个电压级位转换到下一个电压级位的过渡过程中,必须要有有限流元件。目前存在两种限流方式:一种是采用线性限流电抗器,如 8G 电力机车,另一种是采用整流元件,如 SS₁ 型电力机车。60 年代的 SS₁ 型电力机车也曾采用电抗器来限流,由于在开断过程中,电抗器自感电势的作用,产生强烈的电弧,经常烧损调压开关接触元件的触头,工作不够可靠。改用整流元件作为限流元件,这个问题得到了解决。现将它的基本原理和具体的调压过程说明如下。

0→1 级(见图 1-1):

TK_{31} 与 TK_{39} 闭合, a_1x_1 绕组 1040V 电压与 1- o_1 绕组 1000V 电压的相位(或方向)相反, a_1-1 端合成电压 $U_{a_1-1} = U_{a_1x_1} - U_{o_1-1} = 1040 - 1000 = 40V$ 。同理 $U_{a_2-9} = U_{a_2x_2} - U_{o_2-9} = 1040 - 1000 = 40V$,故整流电压为 36V。正半周时, a_1 端为正, a_2 端为负,因此左半部导通而右半部截止。电流由 a_1 端流出,经整流臂 5-3 及 6-4→正极 N_1 →牵引电动机 $D_1 \sim D_8$ → N_7 →平波电抗器 55 及 56→负极 N_3 →整流调压臂 5-1 及 6-2→ TK_{31} →绕组 1- o_1 →两位置开关 26,最后回到 a_1x_1 绕组端 x_1 。右半部电路此时仅流过各硅元件很小的反向电流及均压电阻与均压电容的电流,而硅元件臂承受反向电压,其数值等于 a_1-1 与 9- a_2 的端电压之和,并按各硅元件的

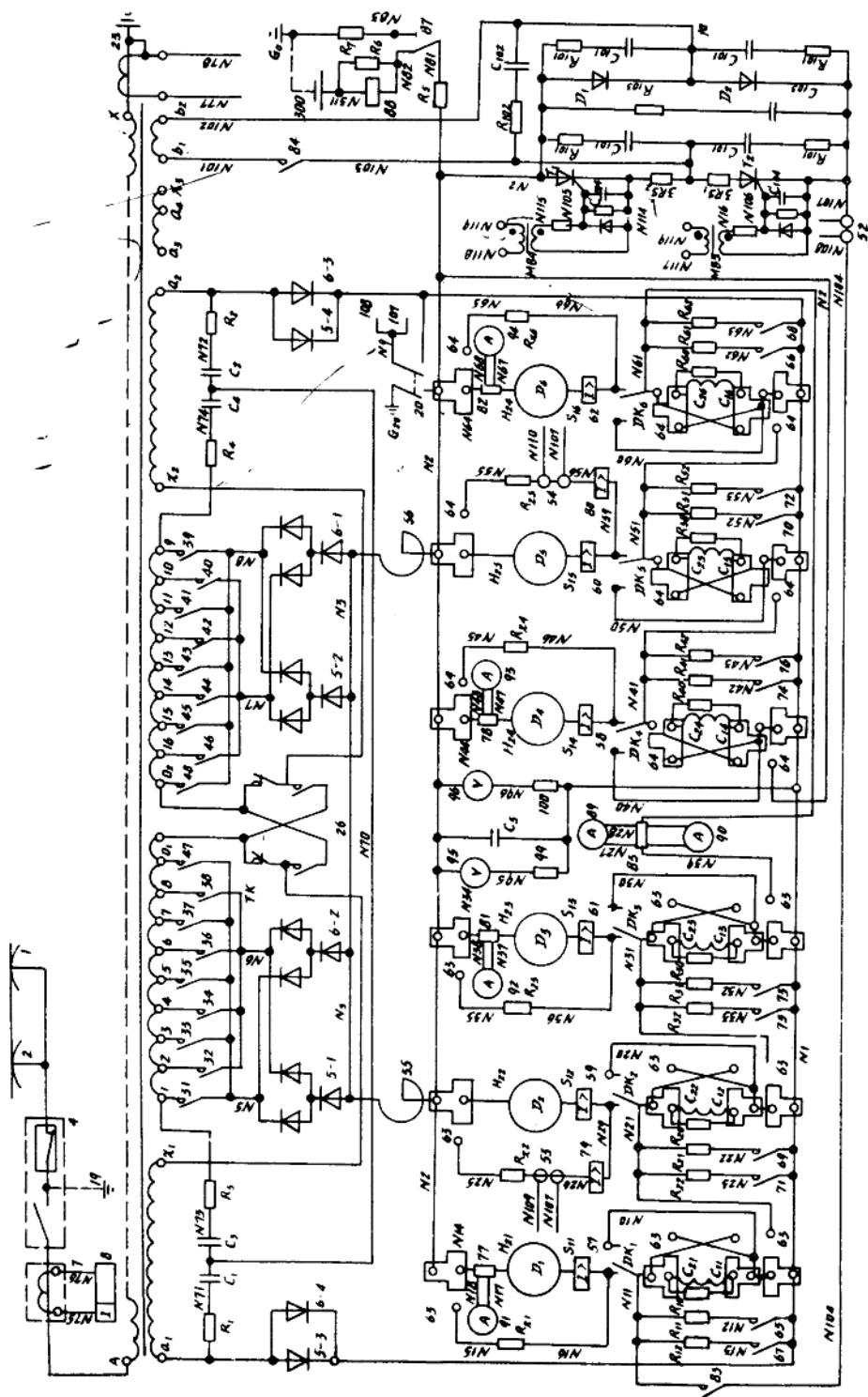


图 1-1 SS₁ 机车主电路原理图

阻抗均匀分配。负半周时, a_2 端为正, a_1 端为负, 电路右半部导通, 左半部截止。

由此可见, 此整流电路的一个特点是左右两组牵引绕组分别在正负半周轮流通电, 故可称为单拍式全波整流电路。

1→2 级:

首先 TK_{32} 闭合, 形成 TK_{31} 与 TK_{32} 同时闭合的局面, 正半周时, 1 端电位为正, 2 端电位为负, 与 N_5 点连接的二极管负极为正电位而截止, 与 N_6 点连接的二极管负极为负电位而自然导通, 于是整流电流从 TK_{31} 自然转向 TK_{32} 。接着 TK_{31} 基本无电弧打开。

由此, 左半部合成电压 $U_{a_1-2} = U_{a_1x_1} - U_{a_1-2} = 1040 - 7 \times 125 = 165V$ 。即正半周输出电压 165V, 而右半部负半周仍维持 40V。平均交流电压为 102.5V, 平均整流电压 92.25V, 比 1 级升高 56.25V。可见, 2 级时正负半周整流电压是不对称的。以后各级位依次类推, 直到 16 级。

16→17 级:

TK_{48} 闭合, TK_{46} 打开, $U_{a_1x_1} = U_{a_2x_2} = 1040V$, 平均整流电压 936V。

前已述及, 升至 17 级时, 实际上有一个从“17_反”经“17_{过渡}”到“17_正”的转换过程, 中间不会停留, 这是由调压开关的“26_{正、反}”二位置转换开关确定的。

17 级正接位:

当调压开关进入 17 位正接位后, 左侧绕组 a_1x_1 , 将通过“26_正”与右侧开关 TK_{48} 串联, 左右整流调压臂亦交换。

17→18, 18→19 级:

调压开关向反方向转换, TK_{46} 闭合, TK_{48} 打开; TK_{38} 闭合, TK_{47} 打开。绕组 a_1x_1 与 o_2-16 串联, 极性相同, 电压相加, $U_{a_1-16} = 1040 + 125 = 1165V$; 同理, $U_{a_2-8} = 1040 + 125 = 1165V$ 。整流电压 18 级为 992.25V, 19 级为 1048.25V。依次类推, 直到 33 级, 电压达到 1836V。

上述调压过程的特点如下:

1. 在两段固定绕组 a_1x_1 、 a_2x_2 与两大段具有七个抽头(分接)的八个小段调压绕组 o_1-1 与 o_2-9 之间, 用“26_正”与“26_反”开关进行正接与反接的方法及正半周与负半周电压不相等的方法, 可获得等差的 33 级电压, 除第一级为 40V 外, 每升高一级平均交流电压有效值的级差为 62.5V, 平均整流电压级差为 56.25V。

各级交流空载电压有效值可用以下公式计算:

$$U_2 = 40 + 62.5(n-1)(V) \quad (1-1)$$

各级整流空载电压平均值用以下公式计算:

$$\begin{aligned} U_{d0} &= 0.9U_2 \\ &= 36 + 56.25(n-1) \end{aligned} \quad (1-2)$$

式中 n —— 级位数, $n=1 \sim 33$ 。

2. 各相邻级间转换用硅整流管过渡, 起到了隔离作用, 消除了 SS_1 型电力机车 60 号以前采用过渡电抗器转换时的短路电流冲击及调压开关分级触头烧焊现象。硅整流管转换的办

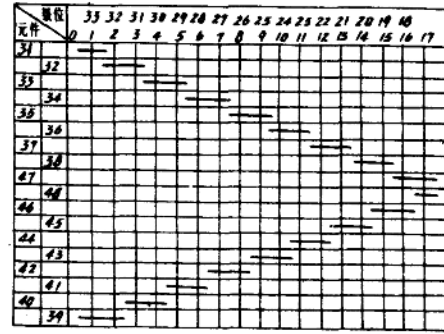


图 1-2 QKT-18 组合开关触头闭合表

法,在升位时电流从一个整流管到另一个整流管的换相(换流)是自然完成的,基本上无电弧;而降位时为强迫换相(换流),但由于断开的电流只相当于半波负载电流,开关灭弧较为容易。

3. 奇数级位,如1,3,5,……31,33各级,左右半波电路(或正负半波)的输出电压是对称的;而偶数级位,如2,4,6,……32各级的正负半波整流电压不对称,幅值不等。但实践证明,这种不对称对于电力机车的运用及主变压器的运行来说,并无多大影响。

二、8G 型机车主电路

图1—3为8G型电力机车主电路原理图。通过受电弓XA1将机车与接触网接通,后经扼流线圈 L_1 ,高压隔离开关QS1,主断路器QF₁和电流互感器T2与牵引变压器的原边绕组引出线A连接,原边绕组另一端X与车体相连,并经轮对与轨道电路接通。

接触网的单相电流转换成牵引供电的整流电流,是通过牵引变压器T1和两个整流装置U1和U2实现的。为减少电流脉动量,在整流电路中装有平波电抗器L5和L6,为了进行三级磁场削弱及减少励磁电流脉动量,在牵引电动励磁绕组两端并有分路电阻(R1、R2、R3、R4)。

牵引电机端电压的调整是通过调压开关Q1分段将调压绕组接入或断开来实现的。共有36级,级间采用过电抗器L3过渡,所以36个级位中只有9个运行级(4n, n=1、2、3……9),其余27个级位为非运行级(过渡级),为防止调压开关触头烧损,该调压开关32个接触元件中有4个带灭弧罩的元件(3K31~3K34),其余28个不带灭弧罩(3K1~3K28)。

以下分析一下升压过程。

电路起始位置调压开关处于零位。这时接触元件3K1、3K11、3K25~3K28、3K31~3K34闭合,但不形成闭合回路,无电流流过牵引电机。

由零位转一级时,接触元件3K31先断开,而后接触元件3K2闭合,接着接触元件3K31闭合,将调压绕组 a_3-1 接入,正半周(a_3 点高电位)电流回路为: $a_3 \rightarrow 3K25 \rightarrow 3K27 \rightarrow B11 \rightarrow QS3 \rightarrow B48 \rightarrow U1 \rightarrow B52 \rightarrow L5 \rightarrow MG1$ 和 $MG2 \rightarrow B51 \rightarrow U1 \rightarrow B44 \rightarrow QS3 \rightarrow KA3$ (过载继电器) $\rightarrow 0$ (L3的中间抽头) $\rightarrow A1 \rightarrow 3K31 \rightarrow 3K2 \rightarrow 1$ 回到 a_3 。负半周(a_3 点低电位)电流回路: $1 \rightarrow 3K2 \rightarrow 3K31 \rightarrow A1 \rightarrow 0 \rightarrow B41 \rightarrow KA4$ (过载继电器) $\rightarrow QS4 \rightarrow U2 \rightarrow B54 \rightarrow L6 \rightarrow MG3$ 和 $MG4 \rightarrow B53 \rightarrow U2 \rightarrow QS4 \rightarrow B11 \rightarrow 3K25 \rightarrow 3K27 \rightarrow a_3$ 回到1。由此可见,绕组 a_3-1 正半周给MG1和MG2供电,负半周给MG3和MG4供电。

图1—4~图1—7表示从第1电压级转换到第4电压级位时的调压原理,图1—4(a)表示二个各有四段可调绕组($a_3 \sim x_3$)和($a_4 \sim x_4$)、两个限流电抗器L31和L32的原理图。图中电机I和II分别代表每节机车转向架I和II的两台牵引电机,它们由两个整流桥(D1~D4)和(D5~D8)供电,在一个周期内正负半波的供电等效原理如图1—4(b)和(c)所示,即正半波时整流桥(D1~D4)向电机I供电,供电电压为一段绕组(a_3-1)电压的二分之一,因为电抗器L31跨接在该段电压 ΔU 上,电抗器中抽点电压等于 $\Delta U/2$,起着分压器的作用;整流桥(D5~D8)在正半波时向电机II供电,但电抗器L32点接在 a_4 上,电压等于零。所以从半个周期来看,电机I和II受电情况是不平衡的;在负半波时变压器电势 u 反向,两台电机供电电路如图1—4(c)所示。整流桥(D1~D4)向电机II供电,整流桥(D5~D8)向电机I供电,其结果是使得电机I和II在一个周期内供电是平衡对称的。从上述可知,在第1级位输出直流电压 $U_d = \frac{1}{4} \cdot 0.9\Delta U = 0.225\Delta U$ 。该级位为非经济运行级,原因是电抗器L31跨接在一段电压 ΔU 上,流过

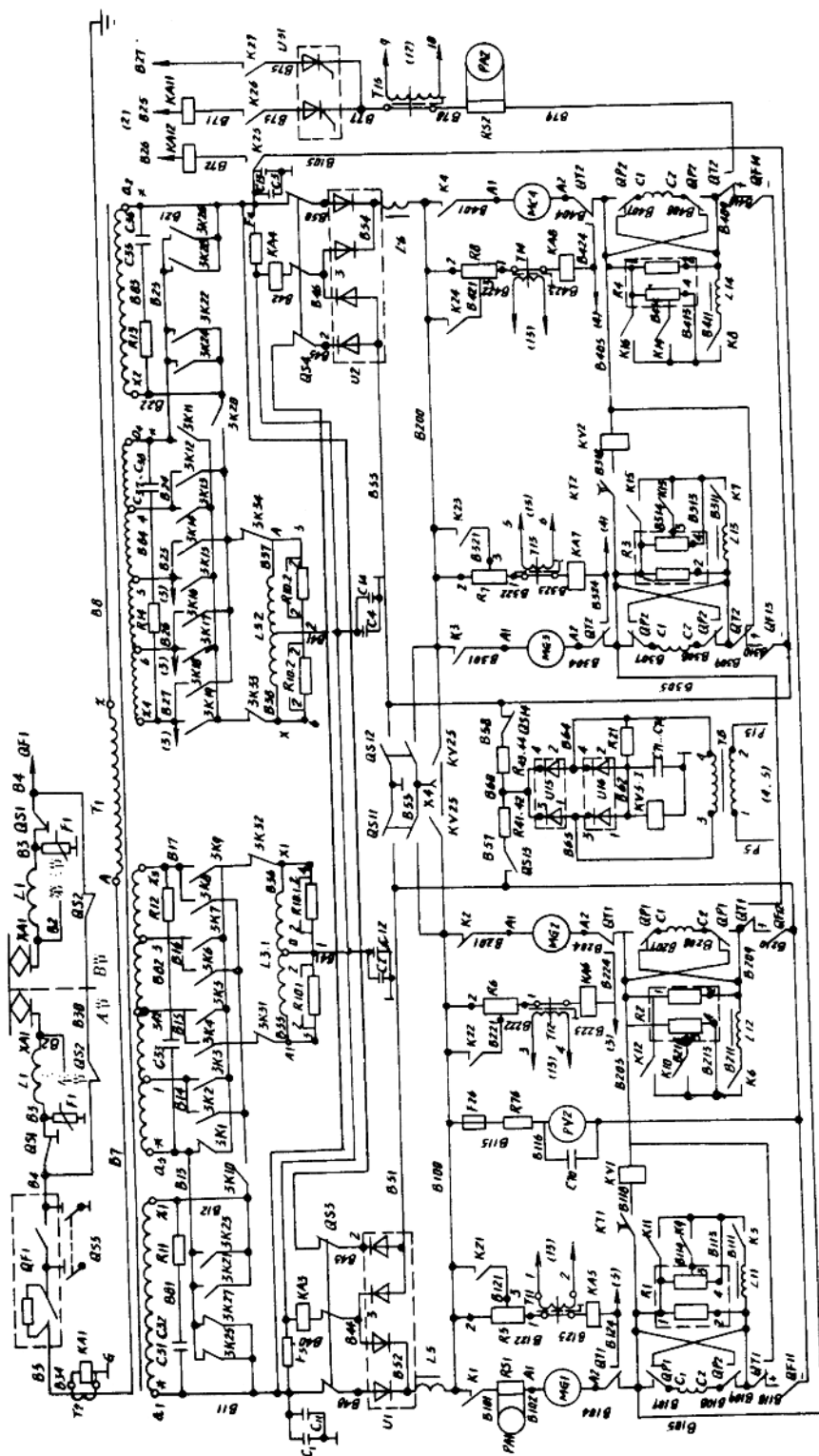


图 1-3 8C 型电力机车主电路

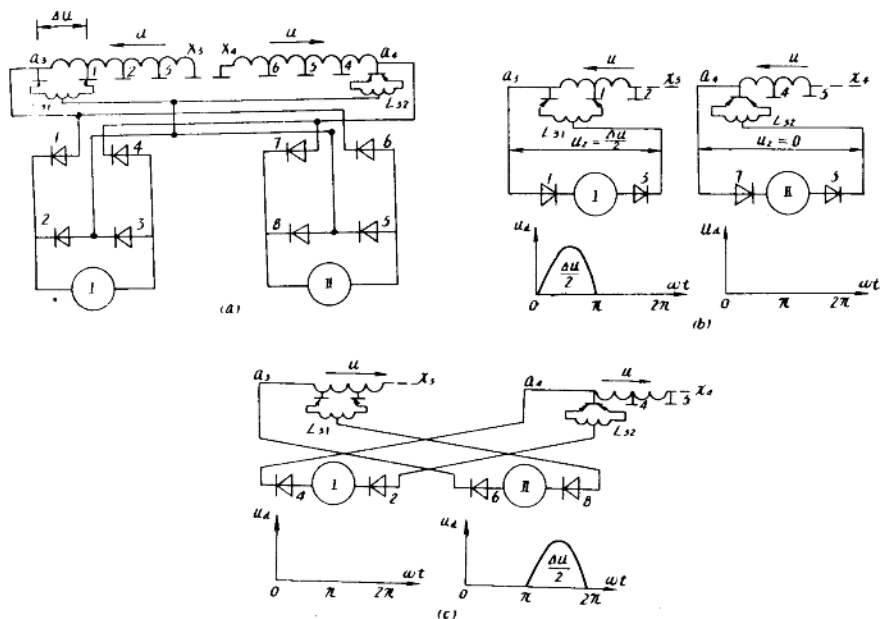


图 1—4 8G 机车 1 位时正负半波供电原理
(a)原理图；(b)正半波供电原理；(c)负半波供电原理。

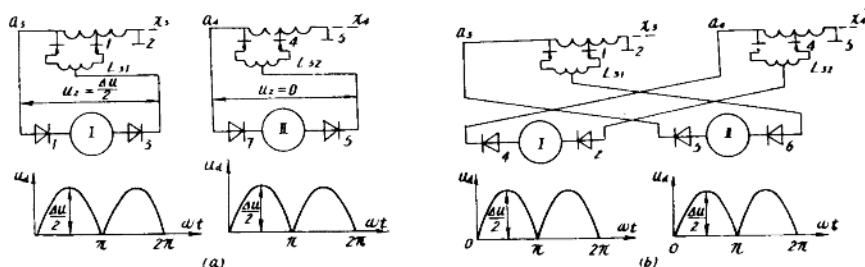


图 1—5 8G 机车 2 位时正负半波供电原理
(a)正半波供电；(b)负半波供电。

电抗器绕组的电流除了有负载电流外,还有较大的磁化电流,它滞后于网压 90° ,使机车功率因数有所降低,所以不希望长期地在该级位上运行。

图 1—5 表示第 2 位的正负半波供电电路,两个限流电抗器 L_{31} 和 L_{32} 分别跨接在可调绕组的一段电压(a_3-1)和(a_4-4),电机 I 和 II 在正负半波内供电平衡对称,各为 $\Delta U/2$,输出直流电压 $U_d = \frac{1}{2} 0.9 \Delta U = 0.45 \Delta U$,在该级位上两台限流电抗器均吸收磁化电流,机车功率因数更要降低,所以该级位为非经济运行级。

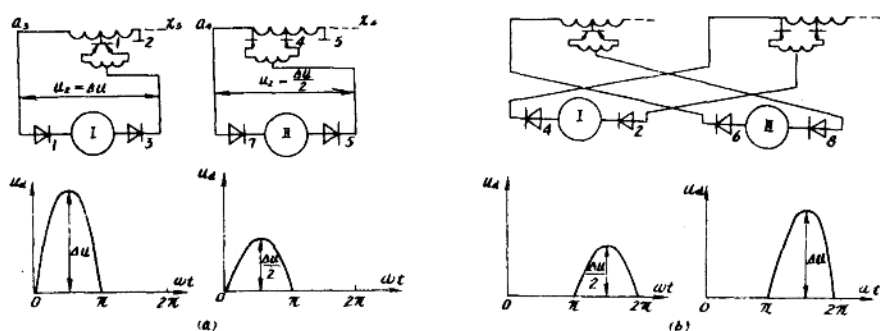


图 1-6 8G 机车 3 位时正负半波供电原理

(a) 正半波供电; (b) 负半波供电。

图 1-6 表示第 3 级位电路, 限流电抗器 L_{31} 点接在变压器可调绕组抽头 1 上, 此时电抗器对负载电流而言起着分流器的作用, 供电电压为 ΔU , 电抗器 L_{32} 仍为跨接, 供电电压为 $\frac{1}{2}\Delta U$, 正半波和负半波供电不对称, 但在一个周期波内电机 I 和 II 供电是平衡对称的, 该级位是非经济运行级, 输出直流电压等于 $U_d = 0.675\Delta U$ 。

图 1-7 表示等 4 级位供电电路, 两个限流电抗器分别点接在绕组抽头 1 和 4 点, 没有限流电抗器的磁化电流, 供电电压在正负半波均为 ΔU , 输出直流电压等于 $U_d = 0.9\Delta U$ 。该级位为经济运行级, 可长期运行。从上述可知, 投入一段绕组工作可得到 4 个电压级, 因此将四段绕组逐段投入工作, 可得到 16 个电压级, 其中 4、8、12 和 16 位为经济运行级。第 16~20 位的原理电路如图 1-8 所示。在 16 位时两个可调绕组 (a_3-x_3) 和 (a_4-x_4) 已全部投入工作, 17 位时可调绕组 (a_3-x_3) 经过限流电抗器与不可调绕组 (a_1-x_1) 并联, 不可调绕组额定电压为 $5\Delta U$, 所以电抗器 L_{31} 端电压为 ΔU , 与前述跨接工况完全相同。17 位输出直流电压为 $U_d = 0.9 \times 4\Delta U$ 。

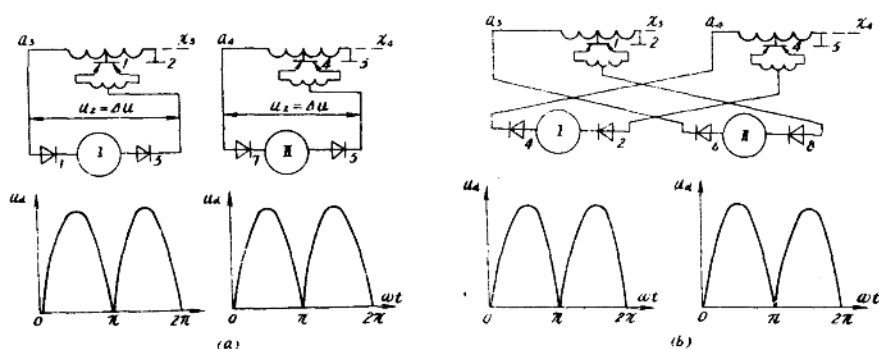


图 1-7 8G 机车 4 位时正负半波供电原理

(a) 正半波供电; (b) 负半波供电。

$+0.225\Delta U=3.825\Delta U$,该级位为非经济运行级。18~20 位工作原理与前述类似,20 位时可调绕组被切除,不可调绕组(a_1-x_1)和(a_2-x_2)对称平衡供电,输出直流电压 $U_d=0.9\times 5\Delta U=4.5\Delta U$ 。从 21 位到 36 位,可调绕组与不可调绕组正向串联,每段四个电压级的过渡原理与 1~16 位时相同。

8G 型机车采用电抗器作为过渡限流元件,缺点是有磁化电流,开关元件断开时有强烈电弧,易烧损触头。优点是利用电抗器的分压可用较少的变压器抽头数,获得较多的电压级数。

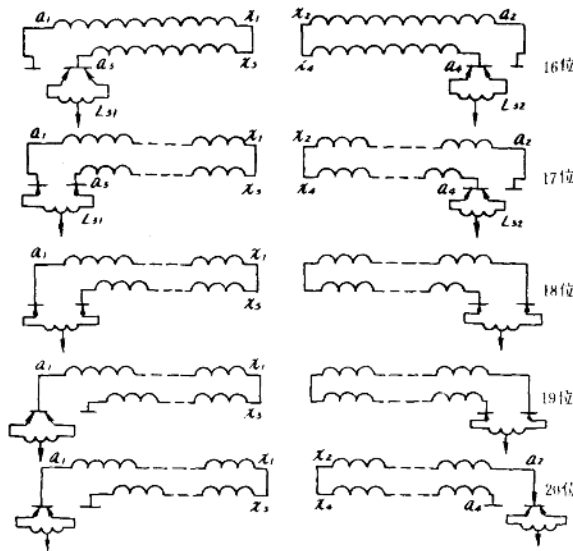


图 1—8 8G 型机车 16~20 位调压原理

三、6G 型机车主电路

6G 型电力机车为无级调压机车。采用二段半控桥顺序控制整流电路。主变压器次边有四个牵引绕组,每个额定电压为 500V,分别给四个半控整流电路供电,四个整流电路分成两组,每组两个半控整流电路串联连接,分别给转向架 I 或 II 的三台牵引电机供电。图 1—9 表示其中一组给一个转向架三台电机供电的原理图。图中 $TFQRM$ 为电流互感器,次边接有过载继电器 QRM ,当次边发生过载或短路时,通过 QRM 去开断原边的主断路器。半控桥 $RM1$ 和 $RM2$ 串联连接。调节分成第一和第二调节区。在第一调节区时, $RM2$ 桥闭锁,不参加工作,负载电流经 $RM2$ 桥的整流管 D_3 和 D_4 续流。此时控制 $RM1$ 桥的晶闸管 T_1 和 T_2 ,可使平均输出电压从零增加到 450V;在第二调节

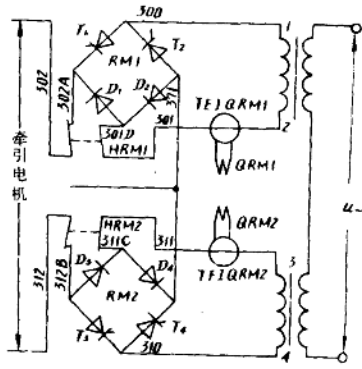


图 1—9 6G 型电力机车主电路

区时, $RM1$ 桥的晶闸管 T_1 和 T_2 保持满开放, 即 $\alpha=0$, 同时控制 $RM2$ 桥的晶闸管 T_3 和 T_4 , 可使平均输出电压从 $450V$ 增加到 $900V$ 。图中 HRM 为故障隔离开关, 当有一个半控整流桥有故障时, 用相应的 HRM 将其切除, 而另一半控整流桥可继续工作。

四、SS₄ 型机车主电路

SS₄ 型为八轴电力机车, 由两节组成, 每节的电气设备相同, 可以单独使用。每节有两个转向架, 每个转向架上有两台牵引电机。图 1—10 表示一节车的电气线路原理图。主变压器有四个牵引绕组, 二个组成一组, 分别给牵引电机 $1M$ 和 $2M$ 或 $3M$ 和 $4M$ 供电。牵引绕组 a_1x_1 和 a_3x_3 为中抽式, 绕组 $a_1b_1(a_3b_3)$ 和 $b_1x_1(b_3x_3)$ 的空载额定电压为 $335V$, 绕组 $a_2x_2(a_4x_4)$ 的空载额定电压为 $670V$ 。所以绕组 $a_1x_1(a_3x_3)$ 和 $a_2x_2(a_4x_4)$ 叠加电压为 $1340V$, 如用全电压的相对值来表示这样联接, 可组成 $1/4$ 、 $1/4$ 、 $1/2$ 三段不等分整流桥。

每节机车主整流器分成两组, 每组由二个整流桥串接而成, 如 11 与 13 、 12 与 14 。 $11(12)$ 为六臂桥, 由四臂晶闸管 $T_1\sim T_4$ 与两臂二极管 D_1 、 D_2 组成。每臂由五个元件并联。 $13(14)$ 为普通的四臂桥, 由 T_5 、 T_6 及 D_3 、 D_4 组成。三段不等分桥, 可通过 $T_1\sim T_6$ 之间的顺序移相与开关控制相结合的排列组合控制方式, 达到等分四段整流桥的效果, 如图 1—11 所示。

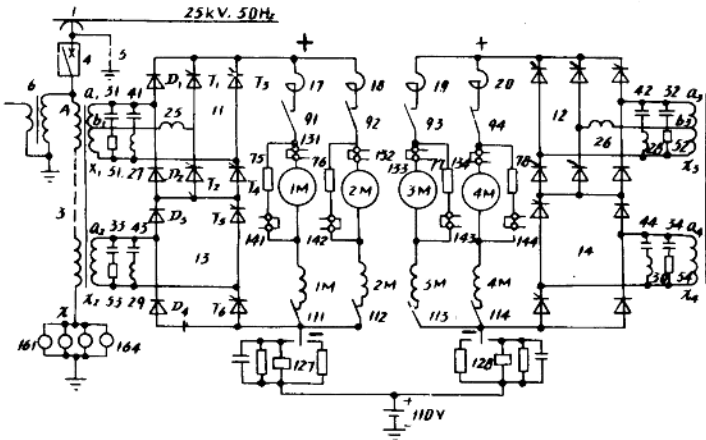


图 1—10 SS₄ 型机车牵引工况简化主电路

- 1—受电弓; 3—主变压器; 4—真空断路器; 5—主放电器;
- 6—高压电压互感器; 11~14—主整流器; 17~20—平波电抗器;
- 31~34—过压吸收电容; 51~54—过压吸收电阻; 75~78—限流电阻;
- 91~94—线路接触器; 111~114—牵引电机隔离开关; 127~128—主接地继电器;
- 131~134—换流电抗器; 141~144—直流电压互感器; 161~164—接地电刷; 1M~4M—牵引电动机;
- 25、26—换流电抗器; 27~30—滤波电感; 41~44—滤波电容; * 样机中均未接入