

作者：机电工程系 姜娜

适用课程：电力电子技术

《电动机能耗制动电路分析》

摘要：电动机能耗制动是随着转子的减速，其旋转动能被转换成电能，并通过制动电阻以热能的形式消耗掉。能耗制动电路主要由主电路和控制电路两部分组成，主电路包括三相异步电动机、直流电源、接触器（或晶闸管等电力电子器件）、制动电阻等。其中，直流电源是提供制动时所需的恒定磁场，接触器（或晶闸管等）用于控制直流电源的通断，制动电阻则用于消耗制动时产生的能量；控制电路用于控制主电路中直流电源的通断，通常由按钮、继电器、时间继电器等组成。当按下制动按钮时，控制电路会发出信号，使晶闸管闭合，从而接通直流电源，开始制动。能耗制动技术在机床上的电机、电梯电机和电动汽车电机等领域都得到了广泛应用，这种技术可以减少电机的能耗和维护成本，提高电机的效率和可靠性。

关键词：电动机；能耗制动；电路分析

一、背景介绍

在现代工业控制系统中，电动机作为驱动设备的核心，其制动性能的好坏直接影响到整个系统的稳定性和效率，电动机能耗制动适用于直流电动机和交流电动机，电动机能耗制动作为一种常见的制动方式，能耗制动电路利用晶闸管作为开关，将交流电转换为直流电，为电动机的能耗制动提供所需的直流电源，将电机的转动惯量转化为热能，从而实现电机制动的一种方式。

二、项目案例

（一）项目案例内容

本项目来源于齐三机床，单相桥式可控整流电路是一种常见的电力电子电路，其工作原理是利用可控硅器件控制电流的通断，实现交流电到直流电的转换。能耗制动的工作原理是当三相异步电动机在正常运行时，其定子绕组中通入的是三相交流电，形成旋转磁场，驱动转子转动。而当需要制动时，切断电动机的三相交流电源，同时立即在定子绕组中通入直流电源，形成一个恒定的磁场。此时，由于惯性，转子仍然会继续旋转，并切割这个恒定的磁场，根据电磁感应原理，转子中会产生感应电流。这个感应电流与恒定的磁场相互作用，就会产生一个与转子转动方向相反的电磁转矩，即制动转矩。这个制动转矩会使电动机的转速迅速下降，从而达到制动的目的。利用电力电子器件将直流电源接入电动机的定子绕组，在电动机脱离三相交流电源后，通过直流电流在定子内产生静止的直流磁场。转子因惯性在磁场内旋转，切割磁通产生感应电势和感应电流，与恒定磁场相互作用产生制动力矩，使电动机迅速减速并最终停止转动。

（二）关键点

★K6：理解电力二极管的结构和工作原理

★K7：掌握电力二极管的主要参数及类型

★K8：掌握电力二极管静态和动态特性

★K9：理解晶闸管的内部结构、电气图形符号

★K10：掌握晶闸管工作条件的实验电路

★K11: 掌握晶闸管的静态特性

★K12: 掌握晶闸管的动态特性

★K13: 掌握晶闸管的主要参数

★K14: 掌握典型全控型器件的结构和工作原理

★K15: 掌握典型全控型器件的动态特性和主要参数

★K16: 理解其他新型电力电子器件的组成和特点

☆K17: 了解功率集成电路的组成和特点

★K18: 掌握电力电子器件 SCR、GTO、MOSFET、GTR、IGBT 等电路符号

★K19: 掌握电力电子器件 SCR、GTO、MOSFET、GTR、IGBT 等的特性

★S2: 能够分析电力二极管的动态工作过程

★S3: 能够分析晶闸管的双晶体管模型的电路

★S4: 能够分析晶闸管的动态过程

★S5: 能够正确识别典型全控型器件

★S6: 能够正确操作实训台，能够正确选择和使用常用的电路元件

★S7: 能够正确使用示波器和万用表测量物理量，根据得到的具体数据，绘出各器件的输出特性

★A1: 爱国情怀

★A2: 精益求精的工匠精神

(三) 教学使用

本项目共有 8 个课点：课点 3 电力二极管的结构与工作原理；课点 4 电力二极管的特性与主要参数；课点 5 晶闸管的结构与工作原理；课点 6 晶闸管的特性与主要参数；课点 7 典型全控型器件；课点 8 其他新型电力电子器件；课点 9 电力电子电路连接；课点 10 电力电子器件的工作特性，教学过程中课前预习、现场教学、团队合作、完成线上学习通测试，课堂教学的预期效果为学生能够完成项目作业，首先下发项目指导书，学生根据指导书任务要求，到齐三机床进行学习，课上围绕电路的组成和工作原理进行讲解，课程中重点讲解电路的分析和物理量的计算，同时学生在实验室和齐三机床进行实际操作，根据评分表对学生的态度、电路图分析、实际操作和项目报告进行给分。

（四）其他相关说明和附件

《电力电子技术企业实操》评分表

班级	学生姓名				
评价 指标	评 价 标 准				评 分
	优秀	良好	中等	及格	
态度 (10 分)	态度认真，具有良好的团队合作精神，能根据任务安排对资源进行较好的分配。	态度较认真，具有良好的团队合作精神，能根据任务安排对资源进行合理分配。	态度一般，具有团队合作精神，能根据任务对资源进行分配。	态度一般，具有团队合作精神，基本能够根据任务对资源进行分配。	
电路图分析 (20 分)	能正确回答所提出的问题，概念清楚，对相关知识有深入的理解，有理论根据，有独立见解。	能正确回答所提出的问题，概念清楚，对相关知识有较深入的理解。	回答问题基本正确，概念基本清楚，无原则性错误。	回答问题基本正确，概念基本清楚。	

操作技能 (60 分)	能正确熟练地调节使用工具、仪表、仪器；实际操作符合规范要求；能自行设计或按正确的步骤循序测量及记录；对操作中的现象能自行进行分析判断，并提出合理的解释；对操作中的故障能自行进行检查、分析、判断并排除。	基本上能正确调节使用工具、仪表、仪器；实际操作基本符合规范；能按照正确的步骤循序测量及记录；对操作中的现象能进行一般的分析推断；能在教师提示下，对操作中的故障自行进行检查、分析、判断并排除。	工具、仪表、仪器的调节使用不够熟练；实际操作中偶有不规范操作；能在教师指导下按正确的步骤循序测量及记录；在教师引导下，能操作现象进行分析和判断；能在教师指导下或在同学协助下，对实验中的故障进行检查、与排除。	要在教师指导下才能正确调节使用工具、仪表、仪器；实际操作明显不符合规范要求；必须在教师指导下才能按正确步骤测量和记录；不能对操作中的现象进行分析和判断；需要教师或同学帮助检查，排除操作中出现故障。	
项目报告 (10 分)	任务明确，设计方案合理，设计思路非常清晰，有新意，格式完全符合规范化要求，电路图分析正确。	任务明确，设计方案合理，设计思路清晰，格式符合规范化要求，电路图分析正确。	任务明确，设计方案合理，设计思路比较清晰，格式比较符合规范化要求，电路图分析合理。	任务明确，设计方案合理，格式基本符合规范化要求，电路图分析基本合理。	
总 分					
指导教师签名：					