

冶金企业的 电机自动控制

A.T. 布拉日金 著

馬成業 等譯

冶金工業出版社

冶金企業的 电机自动控制

A. T. 布拉日金 著

东北工学院 电力系 电力拖动 教研室
自动控制

李世卿 李正修 刘宗富 譯
楊在山 馬成業 楊自厚
馬成業 校

冶金工業出版社

本書闡述電力拖動裝置所用的電機自動控制系統的若干理論基礎；介紹一些電機和電器，並介紹下列的電機自動控制系統：開坯機、型鋼軋機和冷軋機的主傳動裝置，軋鋼機機械的拖動裝置和挖掘機的拖動裝置，以及電弧爐的自動調節等。

書中加入某些拖動裝置的計算、元件的選擇方法和一些關於調整電機自動控制系統的知識。

本書供冶金工業的科學工作者和工程技術人員之用，對於研究電力拖動的高等工業學校的學生也有所裨益。

А.Т.БЛАЖКИН: ЭЛЕКТРОМАШИНОЕ АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРИВОДАМИ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ
МЕТАЛЛУРГИЗДАТ (Свердловск—1954—Москва)

冶金企業的電機自動控制

馬成業 等譯

編輯：歐陽惠霖 設計：趙峇 責任校對：任理

1957年 6 月第一版 1957年 6 月北京第一次印刷 2638 冊

850×1168·1/32·300,000 字·印張 $11\frac{10}{32}$ ·定價(10) 1.90 元

冶金工業出版社印刷廠印

新華書店發行

書號 0861

冶金工業出版社出版（地址：北京燈市口甲 45 號）

北京市書刊出版業營業許可証出字第 093 號

目 录

序.....	8
緒論.....	10
第一章 电机控制的基本知識.....	14
§ 1 电机控制的电力拖动装置的概念.....	14
§ 2 电压反饋和电流反饋.....	18
不帶截止的反饋.....	18
帶有截止的反饋.....	20
§ 3 电机放大机的基本性能.....	23
§ 4 电力拖动工作穩定性的一般概念.....	25
§ 5 激磁电流变化的加快.....	27
§ 6 控制变压器.....	31
控制加速度和減速度的变压器.....	32
控制比較电压的变压器.....	33
按电流导数調节的变压器.....	35
按各量导数調节的变压器的应用.....	35
§ 7 电压調节和电流調节.....	36
电压調节.....	36
电流調节.....	37
§ 8 自消磁.....	37
§ 9 拖动系統的保护.....	38
§ 10 帶有三繞組发电机的拖动裝置.....	39
第二章 电机自动控制系統的电机和电器.....	41
§ 1 电机放大机.....	41
並联自激放大机.....	42
串联自激放大机.....	45
交磁放大机.....	46
补偿放大机.....	52
多級放大机.....	53

塊狀導磁體內渦流的影响·····	54
§ 2 控制變壓器·····	54
§ 3 固體整流器·····	60
第三章 研究電機自動控制系統中各種過程的方法 ·····	61
§ 1 關於列微分方程式方法的一般概念·····	61
§ 2 自動控制系統或自動調節系統工作穩定性的校驗·····	67
Ю. П. 聶馬克的 D-域劃分法 ·····	69
А. И. 米哈依洛夫準則·····	70
鑄斯—胡維茨準則·····	72
校驗穩定性的例子·····	73
§ 3 綫性微分方程式的求解·····	74
古典法·····	75
運算子法·····	76
求特性多項式的根·····	79
頻率特性（幅相特性）法·····	80
用運算子法解方程式的例子·····	82
§ 4 根據結構圖列微分方程式的方法·····	84
§ 5 靜特性曲綫·····	94
第四章 計算和選擇控制系統元件的知識 ·····	102
§ 1 選擇控制系統和控制綫路的一般方向·····	102
§ 2 電機和電器·····	105
發電機和電動機·····	105
激磁機·····	106
放大機·····	109
穩定變壓器和控制變壓器·····	110
固體整流器·····	112
§ 3 回路電阻的計算·····	113
主回路電阻·····	113
給定控制繞組回路的電阻·····	114
電流繞組回路的電阻·····	114
電壓繞組回路的電阻·····	116

分壓器和比較電壓的電阻	117
自激繞組回路電阻的	118
穩定回路的電阻	119
制動和停止時控制繞組回路的電阻	119
第五章 軋鋼機輔助機械的拖動裝置	122
§ 1 電機控制線路的構成原理	122
§ 2 電力拖動裝置的控制線路	124
電壓截止線路	124
電流截止線路	125
電力拖動托拉斯的線路	133
§ 3 靜態機械特性曲線	137
§ 4 拖動裝置元件的計算例	142
電氣設備的主要數據	142
拖動裝置元件的驗算	149
過渡過程的計算	153
計算數據與實驗數據的比較	164
第六章 開坯軋機和型鋼軋機的主傳動	166
§ 1 控制線路的構成原理	166
§ 2 電力拖動裝置的控制線路	170
§ 3 電力拖動裝置的計算例	178
拖動系統中的電機和變壓器的數據	177
電阻計算	182
發電機激磁回路的電阻	182
過渡過程的計算	199
§ 4 拖動裝置的某些靜態特性曲線	217
§ 5 過渡過程的示波照像圖數據	220
第七章 冷軋機的拖動裝置	222
§ 1 基本知識	222
§ 2 拖動裝置和調節線路的說明	226
§ 3 線路電阻的計算例	236

第八章 軋鋼機機械的拖动裝置	241
§ 1 液体滑率調節器.....	241
§ 2 同步电动机激磁电流的控制.....	245
§ 3 滑座式热鋸.....	251
§ 4 迴轉剪 (飞剪)	254
§ 5 压力式热剪.....	258
第九章 挖掘机的拖动裝置	260
§ 1 烏拉尔重型机器制造厂的步行式挖掘机.....	260
曳引機構的拖动裝置.....	261
旋轉機構的拖动裝置.....	265
§ 2 挖掘机旋轉拖动裝置控制系統元件的計算例.....	268
綫路元件的計算.....	275
特性方程式和穩定的計算.....	278
电力拖动裝置的起動过程.....	284
第十章 电弧爐的自动調節	289
第十一章 电机控制的电力拖动系統的調整	296
§ 1 是否符合設計的审查和电力装备情况的檢查.....	296
§ 2 电力装备元件的檢查和整定.....	299
特性曲綫的測取和电机及电器参数的确定.....	299
自动开关、接觸器及繼电器的檢查和整定.....	305
綫路中必需的电阻的校驗和整定.....	307
§ 3 綫路的檢查和拖动裝置的起動准备.....	311
檢查綫路.....	311
保护电器及功用电器的檢查和整定.....	312
系統元件联接得是否正确的檢查.....	312
§ 4 电力拖动裝置运轉的檢查.....	317
参考文献	319

附录 1	321
附录 2	324
附录 3 参考资料 (译自矿山机电论文集)	324
电机放大机	326
I 基本概念	326
1. 放大系数	326
2. 时间常数和迅速度	327
3. 块状导磁体内磁通的变化	331
4. 磁滞的影响	332
5. 放大机的简单、可靠性和价格	332
II 电机放大机的主要型式	332
1. 放大系数和时间常数的普遍表达式	332
2. 并联自激放大机	334
3. 串联自激放大机	337
4. 交磁放大机	340
5. 多级放大机	349
6. 各种放大机的评比	352
III 合理的电机放大机	353
附录 1—5	356
参考文献	361

序

各种机組拖动裝置的电机自动控制，在近年来获得了广泛的发展，但是关于电机控制系统的理論基础和計算方法，在文献中还闡述得不够。

为了提高自动化設備的生产率，广大工程技术界的工作者們必須掌握自动調节和自动控制的理論基础。

为此，本書对冶金工厂現有的电力拖动裝置的电机自动控制系统加以闡述，說明了这些系統的計算方法以及作者所提出的若干理論問題，这些理論問題用於控制系统工作情况的研究中很有成效。

在給讀者們写这本书时，作者認為以前出版的那本書^①所闡述的电机控制理論基础，在应用於冶金工業的电力拖动时有必要加以發展。对包含控制变压器的环节的計算問題以及其它許多問題，要特別加以討論。

苏联的技术不断地發展和臻於完善，湧現出許多磁放大器控制，磁放大器及电机放大机控制等等新的控制系统。

虽然如此，但是在目前，大多数連續控制的拖动系統还都是由电机控制構成的，本書也正是要研究这种控制系统。

本書的第一章到第四章闡述电机控制的基本知識。第五章到第八章研究軋鋼車間的电力拖动裝置。在研究軋鋼車間裝备的第八章里也研究同步电动机激磁电流的調节。

在已出版的那本書里，作者曾經足够詳尽地研究了矿山电力拖动裝置的电机自动控制，因此第九章只給出一种挖掘機綫路的說明和旋轉機構电力拖动裝置的計算。在第十章里介紹了一些關於电弧爐電極的电机調节的知識。

第十一章闡述調整帶有电机控制的拖动裝置的基本問題。

作者希望本書能够幫助冶金工業的工作者們更充分地利用自

① A. T. 布拉日金，矿山电力傳动中的电机自动裝置，苏联煤炭工業出版社 1953 版。（中譯本已出版）

动化电力装备。

作者認為應該向技术科学副博士 М.В. 別利亞也夫 (М.В. Беляев) 表示感謝，因為他在原稿准备付印时，提出了寶貴的意見和忠告。

作者請求將有关本書的一切批評和建議寄至：斯維爾德洛夫斯克城以 В.В. 瓦赫魯謝夫命名的斯維爾德洛夫矿业学院 (Г. Свердловск, Свердловский горный институт им В.В. Вахрушев)

作 者

緒 論

苏联共产党和苏联政府非常注重生产过程的机械化和自动化。根据恢复和发展国民经济的五年计划，要在战后的年代里，实现由电气化机械所构成的许多生产过程的自动化。

在具有历史意义的苏联共产党第十九次代表大会关于1951—1955年苏联发展第五个五年计划的指示中，规定大大地增加冶金生产，在第五个五年计划期间，使生铁的生产能力比第四个五年计划期间大约增加百分之三十二，钢的生产能力大约增加百分之四十二，钢材的生产能力至少增加一倍。

冶金设备及费力劳动的自动化和机械化，对于进一步提高生铁、钢和钢材的生产来说具有重大意义。

必须大力加强生产过程自动化的工作，增加自动控制系统的生产和更加深入地研究自动控制系统的工作情况。

在自动机械中，生产过程的顺序和生产过程的协调、给定性能的获得、一定操作循环的实现都由机械本身来保证，不需人来干预或者只需有限的干预。

各种机械和机器的近代自动化电力拖动装置，多半是依靠电气控制系统元件的作用来完成给定的工作循环，很少是依靠机械元件和电气元件的联合作用，至于仅仅依靠机械元件作用的那就更少了。因此在研究自动控制系统时，首先应该注意到电气自动控制系统和遥控系统。

断续自动调节和断续自动控制的继电器-接触器系统出现最早。拖动装置的继电器-接触器系统的缺点是：笨重，线路复杂，可靠性较小，不能完成某些个别职能，并且有时能量损耗很大。这些缺点就促使了应用放大器的连续自动调节和自动控制系统的出现。

许多自动调节或自动控制系统都有放大器，用以放大作用在系统上的脉冲。这种放大环节通常是系统的主要控制环节。自动

化系統中的放大器可以是电子放大器、离子放大器、电机放大机和磁放大器。根据自动調節或自动控制系统採用哪一种放大器，而把它們区分为电子或离子自动控制系统，电机自动控制系统等等。

採用这些放大器中的每一种放大器，都将賦与控制系统或調節系統以該放大器本身特有的性質。

电机放大机由於它本身的簡單和可靠而得到很大的推广。电机放大机的重要优点就是它的容量能够制成很大。帶电机放大机的綫路也比较簡單。

所有这些优点都促使电机自动調節或自动控制系统获得广泛的推广，这些系統中經常也还包含其它的放大器。但是电机放大机畢竟还是这样系統中的主要环节。

电机自动調節系統或自动控制系统乃是帶有电机放大机的連續作用的系統，它保証下列各点：調節某一参数或某些参数；滿足参数間給定的关系或实现給定的机械特性；使生产作業協調；机器或机械的快速控制等等。

近代电机放大机的前身是麦他金（Метадин）和交叉磁場發電机，麦他金是 К. И. 孙菲尔（Шенфер）院士在 1929 年提出的。

在本世紀的廿年代里，М. П. 柯士秦柯（Костенко）院士就已經研究了电力隨动系統。1937 年 Ф. И. 布塔叶夫（Бутаев）和 М. В. 馬尔梯諾夫（Мартынов）已經提出了帶有数个控制繞組的直流發電机的控制系統。

斯大林獎金获得者科学院士 М. П. 柯士秦柯，阿尔明尼亞苏維埃社会主义共和国科学院院士 А. Г. 約西菲揚（Иосифьян），Т. Г. 索洛克尔（Солокер），Я. С. 爱普斯契因（Эпштейн）和 Н. А. 雅福林斯基（Явленский）以及科学院士 В. П. 尼克勤（Никтин），Ф. А. 罗曼諾夫（Романов）Н. А. 毛諾斯孙（Монозон）和 Н. П. 庫尼茨基（Куницкий）等人的論著奠定了电机放大机理論的基础。

由於电机自动控制本身具有無可置疑的优点，所以它在冶金工業中便获得了广泛地应用。在1943年到1944年間出現了电机控制的电力拖动裝置。目前在我們最新的冶金工厂中的方坯初軋机，軋鋼車間的各种机械，高爐的自动裝料系統和电弧爐等都拥有电机自动控制的拖动裝置。

最早的电机自动控制的拖动裝置出現在烏拉爾，第一个电机控制的方坯初軋机也是在烏拉爾實現的。

苏联在冶金生产自动化的事業上起着主导的作用。1937年工程师 Н.А. 齐申柯 (Тищенко)，В.С. 阿列克山德罗夫 (Александров) 和 В.А. 馬林素柯 (Маринченко) 最先在瑪开夫斯基 (Макевский) 冶金工厂进行了方坯初軋机压下裝置綜合自动化的工作。現在苏联大多数冶金工厂都已經實現了生产过程的全部自动化或局部自动化。

在苏联的科学研究机关、實驗室和設計部門中，都遵照党和政府的指示，进行更完备的生产过程自动化的工作，正在研究和實現冶金工厂的綜合自动化。

由於創建自动化电力拖动裝置的工作，电力拖动托拉斯、黑色冶金工業部和重型机器制造工業部的許多工作人員荣获斯大林獎金获得者的崇高称号，这些人：А.И. 采利柯夫 (Целиков)，В.С. 杜林 (Тулин)，Н.А. 齐申柯，Н.М. 費林 (Филин)，А.Б. 切留斯金 (Челюсткин) 等。

我們祖國的學者們在自动控制理論的發展上起了先驅的作用。И.А. 維什聶格拉茨基 (Вышнеградский) 教授远在1876年就最早提出並解决了關於調节系統工作穩定性的問題。

苏联学者 Н. И. 茹柯夫斯基 (Жуковский) 教授、科学院士 В. С. 庫列巴金 (Кулебакин)、科学院士 А. А. 安德罗諾夫 (Андронов)，苏联科学院通訊院士 И. Н. 沃茲聶申斯基 (Вознесенский)，阿尔明尼亞蘇維埃社会主义共和国科学院院士 А. Г. 約西菲揚，В. К. 波波夫 (Попов) 教授，Ю. И. 聶馬克 (Неймак)，А. В. 米哈依洛夫 (Михайлов) 等人的著作奠定

了自动調節理論的基础。

冶金工業是社会主义国民經济的主要部門之一，因此提高冶金工厂自动化設備的生产率是極其重要的任务。

在冶金企業中电机自动控制广泛地应用於各工厂軋鋼車間的拖动裝置上。在冶金工厂的其它車間和矿山里，採用电机控制的較少。在軋鋼車間里，巨型同步电动机激磁电流的电机控制和在煉鋼車間里电弧爐电極的电机控制都获得了極广泛的推广。在矿山上巨型提升机械和挖掘機（ЭС—3, ЭШ—14/65, ЭШ—10/75, ЭГЛ—15）都拥有电机控制；高爐裝料系統的拖动裝置以及煉鋼車間的一些拖动裝置也可以採用电机控制。

所有这些情况便决定了本書的內容。



第一章

电机控制的基本知識

§ 1 电机控制的电力拖动装置的概念

对电机控制作一般性的熟悉，应该从分析一个拖动装置的电机控制线路开始。研究这样的线路，能够阐明控制系统的工作原理和各个环节的作用。

讓我們研究一下在圖 1 上所列出的比較簡單而帶有电机控制的、軋鋼机工作軋道电力拖动裝置的线路。

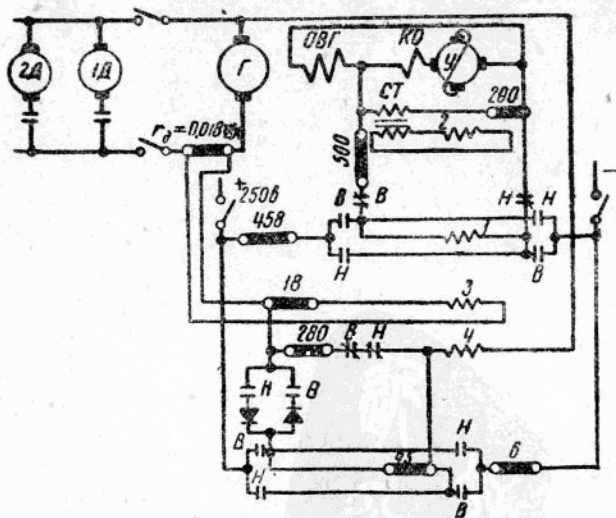


圖 1 工作軋道电力拖动裝置原理圖

發電机 Г 供电給許多并联的电动机 1Д, 2Д 等等。發電机的激磁繞組 OBГ 由交磁放大机 У 供电。各直流电动机的激磁繞組接到独立的电源上。交磁放大机由單独的感应电动机拖动。

电机放大机是一个具有横轴磁场的直流发电机，它有很大的放大能力，并且对控制脉冲能够迅速地反应。

在圖 2 上示出交磁放大机的线路圖。在磁極上沿縱軸方向纏繞数个控制繞組 OY ，一般是在四个以下。这些繞組有时叫作訊号繞組。

各繞組磁势相加的結果，沿縱軸方向产生一个数值不大的磁通。当电樞在这个比較弱的磁场內轉动时，在电樞里便感生了电势，这个电势作用在电樞的横軸电刷間。

把串联繞組 ΠO （也可以沒有这个繞組）接成与电樞繞組同向，流经横軸回路和这个串联繞組的电流沿着横軸的方向产生很大的磁势，和很大的磁通。当电樞在这个很大的磁通內旋轉时，在电樞繞組內便

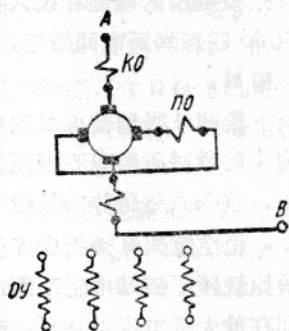


圖 2 交磁电机放大机

感生一个电势，它作用於縱軸方向的 A 及 B 兩端点之間。 A 及 B 兩個端点中間的电樞回路是工作回路，也就是供电給接到這兩個端点上的电机激磁繞組或者电动机。

为了减少电压降，必須补偿电樞电流沿縱軸方向的磁势，因而沿縱軸方向联接一个补偿繞組 KO ，它的磁势与电樞沿縱軸的磁势相反，並且补偿的准确程度通常达到 2—3 %。

在圖 1 上的电机放大机有四个控制繞組。

控制繞組 1 是給定繞組，利用接触器 B 和 H 的接点把它接成这个或那个方向，就确定了放大机和发电机的極性，接触器的控制回路沒有标明在圖上。

电流繞組 3 以去磁的方向接到主回路的电阻 r_0 上。这个繞組的作用乃是限制起动、制动和反轉时的主回路电流。很明显，当繞組 3 的磁势几乎全部抵消放大机的磁势时，便延緩了发电机电压的变化，並急驟地減小了主回路的电流。

繞組 4 接到發電机电压与分压器部分电阻的电压的电压差上，並且接成去磁的方向，而分压器則接在独立的电源上。

只有当發電机电压超过这段电阻上的电压时，在繞組 4 里才开始有去磁电流流通，因为在發電机电压比較小的情况下，电流的通路將被相应的固体整流器封閉起来。

当軌道电动机反轉时，也就是改变發電机的極性时，需要改变这段电压的極性和接入相应的固体整流器，这就决定了要把电阻 45 联接到反向回路里，並且引入与固体整流器串联的接点 B 和 H。

繞組 4 限制發電机的电压。如果这个繞組的去磁磁势与繞組 1 的激磁磁势差不多完全相等时，則建立一个一定的發電机电压，这个去磁磁势与發電机电压和 45 段上电压的电压差成正比。

稳定繞組 2 接到稳定变压器 CT 的付級回路里，稳定变压器的原級繞組經過电阻接到放大机的电压上。这个繞組接成这样，即在放大机电压增加时，繞組的电流給放大机去磁。繞組 2 減緩了放大机电压的变化，从而保證了拖动裝置的稳定运轉。这个繞組的作用和测量仪器里的减小可动部份运动速度的緩冲器相类似。

这样的控制系统保證了拖动裝置获得挖掘机特性曲綫（圖 3 的特性曲綫 acb ），在負載轉矩超过一定的給定值时，在这种特性曲綫下的电动机速度便开始急驟地下降。

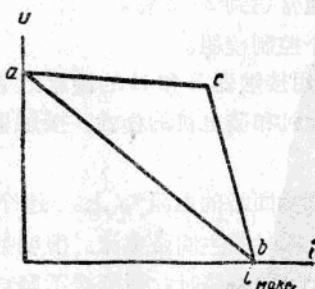


圖 3 發電机的特性曲綫

事实上，在負載轉矩增加和發電机电压有某些下降的情形下，与电流繞組 3 的去磁作用增長的同时，繞組 4 的去磁作用也減小，因而發電机电压減少得很少。在發電机电压繼續減少的情況下，当它的电压等於 45 段上的电压时，繞組 4 的去磁电流將等於零，於是繞