

高等學校教學用書

動力系統自動化

蘇聯 伊·伊·索洛維葉夫著

燃料工業出版社

高等學校教學用書

動力系統自動化

蘇聯 伊·伊·索洛維葉夫教授著

朱物華譯 陳以鴻校

蘇聯高等教育部審定作為動力和電工院系的教材

燃料工業出版社

內 容 提 要

本書論述下列動力系統自動化問題：

電機和機組的起動和停止，儲備設備的接通，輸電線路的再接通，發電機的同步化，發電機電壓和無功功率的調整，發電機頻率和有功功率的調整，動力系統的故障減載和故障劃分。

書中附有相當多的實際例題。

本書對於希望研究本技術部門的人員，以及從事動力系統的自動技術和繼電器保護問題的工程技術工作人員，也有所幫助。

* * *

動力系統自動化

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

根據蘇聯國立動力出版社(ГОСЭНЕРГОИЗДАТ)

1950年莫斯科俄文第一版翻譯

蘇聯 И. И. СОЛОВЬЕВ 著

朱物華譯 陳以鴻校

燃料工業出版社出版

廠址：北京東長安街燃料工業部
北京市書刊出版營業許可證出字第012號

北京市印刷一廠印刷 新華書店發行

編輯：韓 維 校對：李三錫

書號274 電 119

787 × 1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 14 $\frac{1}{2}$ 印張 * 400千字 * 印8,201—10,250冊

一九五四年八月北京第一版第一次印刷

一九五五年六月北京第一版第三次印刷

定價二元五角四分

序

由於自動技術在蘇聯動力系統中的飛速發展和廣泛採用，在現時高等學校的有關係科中，已開始進一步重視[動力系統自動化]的課程。蘇聯的動力工作者，蘇聯共產主義建設的積極參加者，應該知道這一門技術的基本原理和最新成就。在蘇聯社會主義經濟的條件下，自動技術不僅是進一步提高工業設備運轉的可靠性和經濟性的手段，也是消滅腦力勞動與體力勞動的差別的手段之一。

按照現行的教學計劃，動力系統的自動化問題實際上是在[繼電器保護]和[動力系統自動化]這兩門相近的課程中研究的。前者的內容可認為已經相當肯定，而後者的內容卻還沒有取得一致。直到現在這課程還沒有系統化的教科書或參考書。本書是編寫這種參考書的初次嘗試。

應當指出，在編寫本書時，著者遇到了很多的困難，如材料範圍太廣，相關的問題太多，對於在運轉經驗中沒有得到證明的一些技術上的決定缺乏確定的觀點，等等。

編寫本書時，自然是以熟悉[電機]、[發電站和配電站]、[繼電器保護]、[電力系統穩定]等先修課程的基本知識的讀者為對象。

書中的很大一部份材料同樣可使開始在蘇聯動力系統中和設計機構中的自動技術方面工作的工程師們發生興趣。

為了便於利用書中的材料起見，我們必要地在所有各章中列入了習題，供自修之用。

著者對於審閱本書原稿並供給寶貴意見的伊·阿·守羅米雅特尼柯夫、姆·伊·察烈夫、普·克·費斯特、葉·德·捷里從、普·斯·日丹諾夫(第六、七和八章)、阿·勃·契爾寧(第三、四和五章)、耳·斯·高耳德法爾勃和佛·斯·斯密坦尼柯夫(第十章)，編寫第十一章時給予幫助的爾·耳·臘依聶斯，大力校閱原稿的恩·阿·密爾尼柯夫，以及幫助校對的斯·葉·斯杰普寧、符·符·柯契托夫和符·斯·馬洛夫表示衷心的感謝。

著者懇請把所有的批評和建議送到下列地址：莫斯科，開岸街 10 號，國立動力出版社，電工書籍編輯部。

著 者

譯名對照表

二 畫

人工同步化	ручная синхронизация
人工復原	ручной возврат
人工驅動	ручной привод

四 畫

中央電工試驗所	центральная научно-исследовательская электрическая лаборатория (ЦНИЭЛ)
中央電氣驅動及自動技術試驗所	центральная научно-исследовательская лаборатория электривода и автоматики (ЦНИЭА)
中央電機製造試驗所	центральная лаборатория электро-машиностроения (ЦЛЭМ)
分段開關器	секционный выключатель
分配法	распределительный метод
分配器	распределитель
不閉合系統	разомкнутая система
分隔變壓器	разделительный трансформатор
升壓配電站	повысительная подстанция

五 畫

正反饋	положительная обратная связь
功率缺額	дефицит мощности
正常運轉情況	нормальный режим работы
主導發電站	ведущая станция

六 畫

自由脫扣	свободное расцепление
自同步化	само синхронизация
同步	синхронизм
同步化	синхронизация
同步補償器	синхронный компенсатор
同步器	синхронизатор
自動化	автоматизация
自動再同步化	автоматическая ресинхронизация
自動同步化	автоматическая синхронизация
自動再接通	автоматическое повторное включение (АПВ)
自動技術	автоматика
自動起動	автоматический пуск
自動控制	автоматический контроль
自動復原	автоматический возврат
自動裝置	устройство автоматики
自動電壓調整器	автоматический регулятор напряжения
自動調整	автоматическое регулирование
自動操縱	автоматическое управление
自動驅動	автоматический привод
交換功率	обменная мощность
自耦變壓器	автотрансформатор

七 畫

改正器	корректор
步進分配器	шаговый распределитель
呆滯的	статический

目 錄

序

緒論 1

第一編 動力系統中的自動操縱

第一章 自動控制和操縱的電器 5

1-1. 自動裝置的元件圖例及接線圖作法 5

1-2. 自動操縱的電器 8

a) 開關器 8

b) 接觸器 12

B) 操縱離合器 19

1-3. 自動控制的電器 20

a) 控制非電氣量的繼電器 20

b) 轉動角度的傳送原理 22

1-4. 自修題 24

第二章 電動機和同步補償器起動的自動操縱 26

2-1. 概說 26

a) 電動機起動的自動操縱的用途和原理 26

b) 在電動機起動過程中電氣量與機械量間的主要關係 27

2-2. 感應電動機起動的自動操縱 30

a) 短路轉子式感應電動機的起動接線圖 30

b) 感應電動機根據時間關係的起動 32

B) 感應電動機根據電流關係的起動 35

2-3. 並激直流電動機根據反電動勢關係的起動 41

2-4. 同步電動機和補償器的起動 43

a) 主要特點 43

b) 同步電動機和補償器根據轉子電流頻率關係的起動 46

B) 高壓同步電動機或補償器根據頻率關係起動的接線圖 50

r) 同步電動機和補償器的自動再同步化 52

2-5. 自修題 54

第三章 儲備電源和儲備設備的自動接通 (ABP).....	57
3-1. ABP 的用途及其應用的經濟效果.....	57
3-2. ABP 動作的基本條件.....	62
3-3. 儲備線路自動接通的接線圖	65
a) 開關器用人工驅動時線路的ABP接線圖	65
b) 配電站具有操作直流和電氣驅動開關器時線路的ABP接線圖	69
B) 用交流操作的線路的ABP接線圖.....	71
3-4. 儲備變壓器自動接通的接線圖	72
3-5. 分段開關器自動接通的接線圖	77
3-6. 用來避免ABP裝置不正確動作的聯鎖機構	73
3-7. 自修題	80
第四章 輸電線路的自動再接通 (AIB).....	81
4-1. AIB 的應用.....	81
4-2. 人工接通的開關器所用的機械 AIB.....	85
4-3. 不檢查同步的三相電氣 AIB.....	86
a) 人工復原的 AIB 裝置	86
b) 自動復原的 AIB 裝置	90
B) 具有時間元件迴路的 AIB 接線圖	95
r) 人工接通開關器時 AIB 的轉到信號和停止動作	97
d) AIB 和繼電器保護動作的配合.....	97
e) 保護動作加速的 AIB 接線圖	101
4-4. 雙向供電線路的自動再接通.....	105
a) 雙向供電線路的 AIB 的特點	105
b) 選擇線路開斷端上電壓的方法.....	108
B) 對線路上電壓不存在加以控制的 AIB 接線圖	114
r) 檢查反向電壓同步的 AIB 接線圖	114
d) 用並聯線路負載電流控制同步的接線圖.....	118
e) 察出同步時的 AIB	122
4-5. 單相自動再接通.....	123
a) 單向 AIB 和三相 AIB 的比較	123
b) 故障相選擇器.....	126
B) 保護、選相器和 AIB 的動作的配合	132
r) 在一相發生穩定故障時,線路轉移成二相和中線接地的運轉	137
4-6. AIB 的最近發展途徑	139
4-7. 自修題.....	142

第五章 發電機的自動同步化	143
5-1. 概說	143
5-2. 已激磁同步發電機接入並聯運轉的條件	144
5-3. 同步器	149
a) 同步器的類別	149
b) 對同步器的一般要求	150
5-4. 同步器的重要型式	152
a) 哈爾柯夫機電工廠製造的具有恆定導前角的 KA-11/13 型機 電同步器	152
b) 哈爾柯夫機電工廠製造的具有恆定導前時間的電子管同步器	155
b) 蘇聯電氣工業部[電氣驅動]托拉斯的中央電氣驅動及自動技 術試驗所製造的具有恆定導前時間的 ACY-10 型同步器	162
5-5. 同步化的計算	165
a) 同步化參數的決定	165
b) 同步器調準參數的決定	169
5-6. 電壓和角轉速的均衡器	172
5-7. 發電機的自同步化	180
a) 自同步化的特點	189
b) 轉子拉入同步的條件	181
b) 接入時環流衡量的限制	186
5-8. 自修題	187

第二編 動力系統中的自動調整

第六章 自動調整的基本概念	188
6-1. 動力系統中自動調整的任務	188
6-2. 自動調整器的主要元件及其執行的任務	189
6-3. 調整特性的概念	190
6-4. 調整穩定性的概念	191
6-5. 調整方法的概念	191
第七章 電壓和無功功率的自動調整	196
7-1. 發電機激磁的自動調整	196
a) 問題的共同特性	196
b) 發電機自動激磁調整的原理圖	198
7-2. 機電調整器	201
a) 變阻器式電壓調整器	201

б) 振動式電壓調整器	203
в) 哈爾柯夫機電工廠製造的 CH-91 型脈衝變阻器調整器	207
г) 調整器不靈敏度的概念	211
д) 發電機負載的無功功率的自動調整	212
е) 電流穩定和電流補償裝置的應用	215
ж) 電流穩定和電流補償裝置的實際構造的原理	217
7-3. 電氣和電磁的電壓調整器	221
а) 電子離子電壓調整器	221
б) 電子離子調整器用作激磁機激磁繞組電路中的調整電阻	229
в) 發電機的複激	230
г) 用電子管改正器的複激	232
д) 用烏克蘭蘇維埃社會主義共和國科學院電工研究所的電磁改正器的複激	236
е) 利用激磁機附加差動激磁的電壓調整	239
ж) 高速激磁裝置	244
7-4. 自動電壓調整器調準參數的計算	245
а) 哈爾柯夫機電工廠製造的 CH-91 型調整器	245
б) 全蘇電工研究所擬製的電子離子調整器	248
в) 把電子離子調整器作為調整電阻的接入法	252
г) 複激裝置	254
7-5. 自修題	262
第八章 頻率和有功功率的自動調整	263
8-1. 基本情況	263
8-2. 渦輪機的轉速調整器	265
а) 呆滯的速度調整器的動作原理	265
б) 呆滯度等於零的速度調整器的動作原理	268
в) 用呆滯的速度調整器時並聯運轉的發電機間有功功率的分配	272
г) 用劃出主導電機的方法來調整渦輪機的轉速	273
8-3. 系統頻率的調整	275
а) 頻率調整的主要方法	275
б) 工程師普·普·奧斯特昆擬製的系統頻率調整器	275
в) 音叉頻率調整器的動作原理	279
г) 具有頻率四極網絡的頻率調整器 (區域發電站的組織化及合理化研究局——莫斯科動力學院)	282
д) 具有通帶濾波器和磁放大器的頻率調整器 (蘇聯電站部中央	

電工試驗所	287
e) 調整器的測量元件和放大元件的比較	292
x) 根據系統的積分角偏差的方法來調整頻率	293
3) 選擇頻率調整器的不靈敏區和比例動作範圍的討論	297
8-4. 複雜系統中的頻率調整	298
a) 利用主導電機的頻率調整	298
b) 根據理想呆滯特性曲線來調整頻率和發電機間負載的分配	301
B) 利用主導發電站和負載調度曲線來調整頻率和發電站間有功負載的分配	303
8-5. 聯合系統中頻率和交換功率的調整	304
8-6. 在系統的正常運轉情況下,有功功率的自動調整	309
a) 按照規定曲線調整發電站的功率	310
b) 按照水流調整水電站的負載功率	310
8-7. 自修題	317
第九章 動力系統的自動故障減載(AAF)	319
9-1. 問題的提出	319
9-2. 具有被動功率平衡的發電站的自動故障減載	326
9-3. 發電機退出同步時系統的自動故障劃分	328
9-4. 線路的自動故障減載	331
9-5. 自修題	332
第十章 調整系統穩定理論的要點	333
10-1. 基本情況	333
a) 問題的提出	333
b) 閉合和不閉合的調整系統的概念	335
B) 調整系統的元件	339
r) 調整系統的微分方程	342
10-2. 分析調整系統穩定性的方法	348
a) 古爾維茨的標準	348
b) 阿·符·米哈依洛夫的標準	351
B) 幅相特性曲線	354
10-3. 調整系統的特性	360
a) 調整的穩定性與準確度間的相互關係	360
b) 在保持調整穩定性的情況下提高系統放大係數的方法	361
B) 反饋裝置	362
10-4. 調整系統穩定性分析舉例	366

a) 具有電子離子調整器的發電機電壓調整系統穩定性的分析	366
6) 具有靜力離心調整器時汽輪機轉速調整系統穩定性的分析	369
10-5. 自修題	377
第十一章 動力系統自動化中遙遠自動裝置的使用 (動力裝置 的遙遠操縱)	378
11-1. 緒論	378
11-2. 遙遠操縱和遙遠信號	379
11-3. 遙遠測量和遙遠調整	385
11-4. 遙遠測量裝置和遙遠調整裝置的原理圖	388
11-5. 功率相加的方法	398
11-6. 自修題	401
附錄	
II-1. 能自由脫扣的驅動機構的簡化動作圖	402
II-2. 電動機的基本關係和特性曲線	403
a) 感應電動機. 基本公式	403
6) 感應電動機起動時間的決定	408
B) 並激直流電動機的基本公式	412
II-3. 計算起動參數的圖解解析法	413
a) 繞線轉子式感應電動機根據電流關係的單級加速起動的計算	413
6) 直流電動機根據反電動勢關係的單級加速起動的計算	417
II-4. [電器]工廠所供給的關於在 AИB 中適用油開關器問題的資料	420
II-5. 具有正反饋的磁放大器	424
II-6. 電機放大器	426
參考文獻	428
譯名對照表	434

緒 論

黨和政府非常重視社會主義經濟中生產過程的自動化，特別是在過渡到共產主義的時期。

天才遠見的人民領袖列寧和斯大林曾經指出，在建設社會主義的時期，蘇聯的工業化對於國民經濟技術建設的事業，具有領導的作用。偉大的斯大林指出在最短的歷史時期內從社會主義過渡到共產主義所必需的蘇聯社會生產力繼續發展的無限可能性。在生產力的這種飛速發展中，自動技術應當成為最重要的環節。

共產黨鼓舞着的蘇聯人民，在斯大林同志的領導下，利用新的技術，包括自動技術在內，正在逐步地消滅腦力勞動與體力勞動的差別，創立工業產品大量生產的基礎，提高人民物質和文化福利的一般水平。

蒸汽機發明者、俄國革新家伊·伊·波耳祖諾夫在 1764 年首先採用的自動技術現在已經深入到國民經濟的各部門中。自動控制和自動調整在生產操作過程中得到了廣泛的採用，各企業的機器場中流水作業的運用獲得了順利的發展，已經有了許多不需要經常值班工作人員的完全自動化的水力發電站等等。

正如在生產製造技術發展的初期所創造的第一部機器使得社會生產力的發展向前躍進一樣，正如最初幾個斯大林五年計劃時期中艱鉅繁重工作的大規模機械化促進蘇聯生產可能性的擴張和生產速度的提高一樣，在從社會主義過渡到共產主義的時期中，自動技術將引起規模空前的新的質變。

以少數人剝削多數人為基礎的資本主義生產關係的狹窄範疇不可能利用生產力這樣大力發展所開闢的可能性；資本主義社會結構在這

方面是不適用的，是一定要消滅的。祇有在社會主義的社會中，生產力的蓬勃發展完全和生產關係相適應，而沒有任何界限。

在目前，時常有必要找出一些技術方法，能夠保證機器的操縱不需要人參加。此外，又有必要對於不能直接由人來控制進行速度和性質的過程，探求並制定操縱的方法。這樣一來，就必需創造出一些器具及其使用方法，使機器和器具在沒有人經常參加的情形之下能夠完成本身的任務。

用來操縱機器和過程的裝置和器具叫做自動裝置，把生產過程和機器過渡到自動操縱叫做過程的自動化。

自動裝置的工作原理的基礎，對於國民經濟各部門，大部份是共同的。然而由於應用條件和地點、所執行任務的性質、以及所要達到的目的方面的種種特點，常要求發展特種自動裝置，這種裝置對於一個技術部門效力很大，而對於另一些部門則用處很少。例如動力系統中所採用的自動裝置，就是自成一類的。

在動力系統中，自動技術是比較[年青]的技術。但是儘管如此，它已獲得相當廣泛的發展，因此在一門課程的範圍內要討論它的全部類型是不可能的。

動力系統中所用的自動裝置，根據用途的不同，可分成下列幾個主要類別：

- 1) 完成不能直接由人執行的任務；
- 2) 代替人的工作，以免除執行生產任務時可能發生的不準確性；
- 3) 完成某些任務，以減輕人的勞動，有時是極繁重而危險的勞動；
- 4) 解除人的生產任務，以便提高勞動生產率和降低產品的成本。

應附帶說明，在後面兩種情形中，裝置不分成機械化和自動化兩類，一方面由於機械化和自動化具有共同的目的，另一方面由於它們祇根據本身發展程度的不同而有所區別。

前面兩類自動裝置屬於所謂反故障自動裝置，它們的任務是在動力系統的整個部份或其個別元件的部份中，防止動力系統正常運轉情況發生破壞或限制破壞的發展。故障過程的延續時間常用幾秒或幾分之一秒來決定。在這樣的時間範圍內，操縱發電站、配電站或整個系統

的運轉情況的人員不能決定發生故障的原因和地點，故障的性質及其後果的危險程度，他更不能直接改變過程的進行。同時，無論從破壞工業、運輸和日常生活的正常活動方面來看，或者從破壞貴重而難於恢復的設備方面來看，這些故障過程有時可能使國民經濟遭受莫大的物質損害。

到現時為止，繼電器保護是動力系統反故障自動裝置中研究最深和發展最大的一種。除了繼電器保護以外，屬於這一類別的還有儲備電源的自動接通裝置、自動再接通裝置、自動故障減載裝置、發電機的自動強行激磁裝置等。許多裝置配合起來使用，成為不可分的整體。但前面已經指出，在現時學校的範圍內，繼電器保護是獨立的課程。

發電機自動同步化裝置、大功率電動機和機組的自動起動和自動停止的裝置等，屬於反故障自動裝置的第二種類型。

燃料準備和燃料供應過程、灰的排除、燃燒過程的調整、在工作地點高溫度情況中鍋爐內給水水平的保持、電氣絕緣情況的控制等的自動化裝置，屬於第三類別。這些裝置所要達到的目的是經濟和減輕勞動，同時保護人的健康，因為執行上述任務需要大量在艱苦情況下進行勞動的人員。

最後，過程的調整、發電站和各車間運轉的自動操縱（主要是可進行遠距離操縱的小功率水力發電站）等裝置，屬於最後的類別。用了這些裝置，一方面可以提高發電的質量，另一方面可以省下許多人員，供國民經濟其他部門的需要。

動力系統中所用的很多自動裝置難以列入上述的任何一種類別，因為它們通常用來同時達到幾個目的。

本書中討論的不是現代動力系統中使用的自動裝置的所有類型。下列操作的自動化在本書中不予討論，如：發電站的熱工設備中熱力過程的調整，電氣絕緣情況的控制，調度操縱裝置和通信裝置的運轉等。

本書中討論下列幾類自動裝置：

電動機和機組的起動和停止的自動操縱；

儲備電源和設備的自動接通；

輸電線路的自動再接通；

發電機的自動同步化；

發電機的電壓和無功功率的自動調整；

發電機的頻率和有功功率的自動調整；

在突然出現有功功率的大量缺額和發電機有失去同步的危險時，
動力系統的自動故障減載和自動故障劃分。

第一編 動力系統中的自動操縱

第一章 自動控制和操縱的電器

1-1. 自動裝置的元件圖例及接線圖作法

很可惜,到現在為止,自動裝置各元件在繪製接線圖時的圖例還沒有統一。蘇聯各機構和外國公司用着不同的圖例。這樣當然使研究自動裝置和實際應用有關技術文件時發生困難。

表 1-1 中所列為本書中所用的主要圖例。

此外,本書中採用自動裝置各元件的下列數字和字母的記號。裝置的每一元件用數字或字母來表示,字母具有慣用意義或本義,例如:時間繼電器用 $PB^{\text{①}}$,開關器用 B 等。如果在裝置中具有幾個同名的電器或元件,其中每一個又是不可分的整體,則將對應的號數用順序數字來表示,有時在字母的前面,例如 $1B$ 、 $2B$ 等,有時在字母的右下角,例如 $P3_1$ 、 $P3_2$ 等(參閱書中的補充說明)。具有幾個零件的裝置用下列方法表示:裝置的號碼用字母前的數字表示,零件的號碼用字母右下角的數字表示,例如第三個中間繼電器的第二個觸頭的記號是 $3IIP_2$,等。

上述記號與說明本義的文字的順序並不相同,所以採取這種記號,是爲了便於瞭解廣泛應用這種制度的設計機構的技術文件。

自動裝置的接線圖有三種不同的作法(參考文獻12):原理圖、原理性展開圖(或簡稱展開圖)和裝配圖。

裝配圖表示自動裝置各元件及導線在控制板上和連接地點的精確位置。圖上指示出所有元件及其接頭的記號,以及控制電纜的導線及各心線的標記。這些接線圖在裝配設備、進行調準試驗以及在運轉過程中檢查時使用^②。

① 在俄文,時間繼電器是 реле времени, 開關器是 выключатель。

② 本書中不討論這些接線圖。