

軋鋼機之自動控制

上 冊

А. Б. Челюстнин
Е. А. Розенман 合 著
吳 昊 主 譯

重 工 業 出 版 社

1000000000

軋鋼機之自動控制

上 冊

著者: А. Б. Челюстин
Е. А. Розенман

譯者: 吳 昊
歐 乃 成



鞍鋼工程技術編委會編印

本書提要

本書對熱軋和冷軋軋鋼機的自動控制原理和系統圖作了詳盡的討論，並且介紹了蘇聯在軋鋼機自動化和生產過程的綜合自動化方面技術上的成就。

本書乃供專門從事於軋鋼機電氣設備的設計、運轉和調整工作的科學工作者、工程師、研究生和大學四年級學生之用。

本書乃根據蘇聯國立黑色及有色冶金科學技術文獻出版社 1950 年版譯出。中譯本分三冊出版：第一冊為自動控制之基本原理；第二冊為熱軋機之自動控制；第三冊為冷軋機及輔助機械之自動控制。

軋鋼機之自動控制

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОКАТНЫМИ СТАНАМИ

原 著 者

А. Б. ЧЕЛЮСТКИН И Е. А. РОЗЕНМАН

原 出 版 者

Государственное научно-техническое издательство литературы
по черной и цветной металлургии

МОСКВА 1950

譯者：吳 昊 歐乃成

重工業出版社（北京西直門內三官廟11號）出版
鞍鋼工程技術編委會編印 新華書店總經售

25開本・共 101 面・定價 6,900 元・印數 2,000 冊

一九五四年八月旅大人民日報印刷廠印

序

現代整個工業技術部門之發展，與廣泛地應用自動裝置有着密切的聯系。生產機械由手動控制轉變為自動控制，產品加工的性質及其速度便發生了根本的變化。自動化的結果，促使產品加工的速度，得以急驟地上昇；因之，使機組的生產率，得以很快地增加；產品的質量和規格，得以提高以及創製高度生產率的完善的新型機械，得以成功。

生產機械的自動化，萌芽於十九世紀，而至近年益形普及，並且進入一新的階段，標幟着控制技術的高度發展。新的發展方向，乃是將單體機械的自動控制過渡到全部生產機組的綜合的自動控制以及生產過程中各單體機械工作的自動協調。

這種向自動化的過渡，首先由冶金工業開始，在斯大林五年計劃的年代裡，冶金工業作為國民經濟的主要部門而業以先進技術裝備起來。

一個生產過程中的諸單體機械間工作的自動協調是：完成各機械間必要的聯系，以保證某一機械的工作制或過程的變化相應於另一機械的工作制或過程的改變以及消除其間有害的聯系。例如：連續軋鋼機的自動控制系統，應保持一種聯系，使諸主驅動電動機的速度自動協調；同時，還應自動消除某一驅動電動機的負載對同一電力網上的另一驅動電動機端電壓的影響。

因而，綜合的自動化控制系統，不但需要有控制的裝置，並且還要有自動穩定過程中參數的裝置。

為此，在綜合的自動裝置系統中，必須應用各式各樣的自動裝置：繼電器——接觸器的控制系統和聯鎖裝置、跟蹤系統、自動調整器、同步傳遞器以及程序裝置等等。但是，由於舊有的自動裝置（繼電器——接觸器）已經不能滿足需要，因此創製了許多新設備，諸如電機的和磁的放大機、電子器械、離子整流器以及同步——跟蹤系統等。

所有這些新的自動化設備及其應用的方法，均要求運轉和安裝軋鋼設備的工作人員以及設計軋鋼控制系統的工程師們相應地提高這方面的智識。

本書所討論的乃是讀者所關心的一般問題，而未涉及軋鋼的生產技術問

註：重讀是符號譯者加的，並非表示意義之重要，而是表示須重讀或慢讀。下同此。

題。

特別指出的是：自動調整的封閉系統和軋鋼生產過程的綜合自動化，無疑是生產機械自動控制技術上的一項重大改進。

封閉的自動調整系統和相互聯系的自動控制系統，在綜合自動化的生產過程中，起着決定性的作用。所謂綜合自動化的生產過程，即將各單體的機械聯系成一整體，成為自動地進行生產的機組、工序、車間或工廠。

本書最珍貴的特色是作者親自參加了創建軋鋼機新的自動控制系統的巨大工作。書中介紹了他們在冶金企業的實際工作中所取得的最寶貴的經驗。

А. Я. Лернер.

著 者 序

在所有的國民經濟部門中，廣泛地實行自動化，是斯大林同志向科學工作者所提出的主要任務之一。

在冶金工業中，特別是在軋鋼廠中，自動化有着重大的意義。現代的軋鋼機是一個技術複雜的電氣機械的機組。正確合理地使用這一機組，主要地要依靠一套完善的控制系統。

合理而有效的控制系統，應使產品在品質優良的前提下，獲得最高的生產率。它的主要任務在於減輕操作人員的體力勞動以及將繁重的生產過程機械化。

祇有以先進的技術為基礎，在生產過程中廣泛地實行自動化，才能解決上述的問題。

單體的軋鋼機械與電力驅動裝置的自動控制，是走向全部軋鋼過程自動化道路的第一步。

自動控制和調整系統的合理應用與正確整定，能獲得巨大的技術經濟效果。機械設備的自動控制，可縮短過渡過程的時間，使廢品減少到最小。當實現自動化的控制時，操作人員的工作大為減輕，通常僅為執行最簡單的操作（按電鈕）和監察生產技術過程的進行而已。同時，電動機及機械設備的遠方控制，使集中操作成為可能，因之，使工作人數也可減少。此外，自動控制增加了生產機組的可靠性，避免了由於操作人員的不熟練或疏忽所造成的錯誤，因而減少了事故。

自動化控制已使軋鋼機及輔助機械發生了一系列的根本變化，並使軋鋼的生產技術日臻完善。

僅僅由於自動化電力驅動裝置的發展以及完善的自動控制和調整系統的建立，方能產生近代的鋼胚軋鋼機——初軋機與軋板機——以及高速冷軋機。

單體的電力驅動裝置和機械設備的自動控制，為生產技術過程的自動化開闢了寬廣的道路。

在實行軋鋼生產的廣泛自動化的事業中，蘇聯具有卓越的成就而居於領導地位。現在，蘇聯所有生產着的軋鋼機，都裝置了自動控制的和遠方控制的電

力驅動設備。早在1937年，由蘇聯工程師 Н. А. Тищенко, В. С. Александров, 和 В. А. Маринченко, 在 Макеевск 冶金工廠，勝利地進行了初軋機壓下裝置的全部自動化的試驗。迄今，這方面的工作仍在繼續發展。

於1948年，在 Магнитогорск 冶金工廠，誕生了世界上第一台完全自動化的軋鋼機。在這一經驗的基礎上，現在仍繼續改善複雜的自動裝置系統以及進行其他大型軋鋼機的自動化。

初期的軋鋼機驅動裝置的自動控制系統，照例是按着開路循環原則而建立的。在我們的電工業開始大量生產電機放大機之後，軋鋼機自動控制系統已廣泛地應用較完善的封閉的自動控制系統。這種系統，是近代控制系統的基本型式。

軋鋼機自動控制技術的發展，是與蘇聯學者和工程師 В. К. Попов, Г. П. Лев, Н. А. Тищенко, А. И. Целиков, Л. Б. Гейлер, В. С. Александров, А. И. Шейнман, Н. Н. Стефанович, Ю. М. Файнберг, С. П. Вешеневск, Н. М. Филин, А. И. Нарышкин 等的名字分不開的。

在先進原理的基礎上，才可能創製完善的自動控制系統，而俄羅斯和蘇聯的學者與工程師們是創製這些原理的領導者。俄羅斯學者 И. А. Вышнеградск 是自動調整原理的創始者，他首先完整地研究了自動調整系統，確定它的穩定條件，並推薦了關於系統基本參數的選擇。由於科學院院士 А. А. Андронов 和 В. С. Кулебакин 領導着蘇聯專家們的努力，在最近十年來，自動調整原理取得了顯著的發展。蘇聯學者 А. К. Михайлов, М. А. Айзerman, Я. З. Цыпкин, В. В. Солодовников, Ю. И. Неймарк 以及其他人員在這方面也有着巨大的貢獻。除了一般的原理問題之外，在軋鋼機電力驅動裝置的設計和運轉中，實際上所發生的自動控制與自動調整的特殊問題，也獲得了蘇聯學者和工程師們的深湛研究。這些研究工作，在頗大程度上，促進了近代的完善的軋鋼機自動控制系統的創造。

軋鋼機的自動化中，所必須解決的問題，不但是種類甚多，而且是範圍寬廣。對可逆軋鋼機的自動控制，特別重要的，是保證發電機和軋鋼電動機的最大加快激磁和均勻激磁。由此，便產生了主驅動電機負載的自動限制和自動調整的問題。

可逆軋鋼機的生產率，在許多方面，決定於輔助機械的工作速度，其中當首推壓下裝置。壓下裝置的自動控制系統，除了應有極快的動作之外，還應該

保證其位移的高度準確性。而這個問題，應當藉助位置調整器——跟踪系統來解決。

連續軋鋼機中的主驅動電機的加快激磁，與可逆軋鋼機中的不同。連續軋鋼機，特別重要的是須保證所有機械的轉動協調。而這些機械是通過所軋延的鋼材而聯系着的。應用保持母線電壓恒定的電壓調整器，便很容易解決這轉動協調的問題。為此目的，速度自動調整器也獲得了廣泛的應用。

冷軋機自動控制所涉及的問題，範圍非常寬廣而且也非常複雜。

因為，要儘可能地縮短冷軋機自動控制過渡過程的時間，便須創立具有與可逆軋鋼機同樣特性的主驅動電機的激磁控制系統。可是，另一方面，它又要求在全部的工作制中，各單體機械設備的轉動要協調。僅當機架與捲筒之間有拉力，而該拉力保持足夠準確的不變值時，冷軋機才能正常工作。軋延時，必須不斷地控制着鋼材的厚度，並當軋製品與規定值有偏差時，對機床的工作予以矯正。在完善的控制系統中，這些過程也應該是自動化的。

軋鋼過程的全部自動化和單體軋鋼機組的自動化，都必須保證符合生產技術過程所要求的驅動工作的順序。此問題可在控制系統中引入特殊的裝置來解決。此特殊裝置控制着生產技術操作，同時聯鎖着各單體控制系統。

軋鋼機自動控制的裝置，按其用途和結構的不同，主要地可分為兩大類：

第一類為狹義的自動控制裝置。即在電力驅動系統的回路中，實現自動切換的裝置。而切換之目的，在於使機械起動、制動、逆轉、變速以及在指定位置上停止等等，也就是為了保證生產技術所規定的操作順序。

第二類為自動調整裝置。其用途在於保證工作過程的一定條件，令外界因素，無從影響。例如：恒定的或按既定規律而變化的軋鋼機母線電壓；連續軋鋼機中恒定的速度或速度比以及在冷軋機中電動機的一定的負載、軋鋼機間的一定的拉力等等。軋鋼機自動控制系統，除了上述二種外，尤其是在軋鋼生產過程完全自動化時，還有操作、保護和信號等的自動裝置。但是，這些問題，都屬專門性質，本書不予討論。

本書介紹軋鋼機自動控制系統的理論與實踐。對於自動控制和調整的基本原理，涉及控制軋鋼機的工作制的理論問題以及實驗的結果等予以研討。同時也分析和敘述了完善的自動控制和調整系統。

本書第3、4、5、7、10、11、章是斯大林獎金獲得者А. Б. Челюстин工程師所著，第1、2、8、9章為技術科學碩士 Е. А. Розенман 所作，而第3、6章由兩人合寫。

目 錄

序

著者序

第 一 章 電力驅動自動控制原理	1
1 控制方法的特徵	1
2 起動過程的自動控制	2
3 藉電流作用的控制	4
4 藉速度作用的控制	6
5 藉時間作用的控制	8
6 藉加速度作用的控制	10
7 制動過程的自動控制	11
8 自動控制方法的選擇	15
第 二 章 自動調整的基本原理	25
1 基本概念	25
2 調整系統的結構	28
3 調整系統的基本環節	32
4 調整系統的運動方程式	43
5 調整系統過渡過程的穩定性	49
6 振幅——相位特性	60
7 調整的穩定性與精確度 補助聯系	66
8 頻率特性的概念	69
第 三 章 電機自動裝置的元件	72
1 電機放大機	72
2 動力電容機	84
3 穩定變壓器	91
參考文獻 (一)	95

第一章

電力驅動自動控制原理

本章討論電力驅動裝置自動控制的基本原理，此驅動裝置乃由恒定電壓電力網供電，包括大部份輔助機械的驅動裝置和小型軋鋼機的主驅動裝置等。

此類驅動裝置的控制，是以適當地改接電動機的電力回路和激磁回路而實現的。

1. 控制方法的特徵

小型鼠籠式感應電動機與小型直流電動機的起動，是用接觸器或電磁起動器將電動機直接接於電力網而進行的。這種場合，就電動機的控制而言，其操作甚為簡單，僅使電動機接電或斷電而已*。如同樣型式的電動機，用於可逆電力驅動裝置中，其控制也並不複雜。

假使對驅動裝置有些特殊的要求，例如：要在指定地點停止，要與另外的電力驅動裝置相互聯系等，則其控制系統便比較複雜了。

對於中型和大型的直流電動機或滑環式的感應電動機的控制，在它們的電樞或轉子的回路中，插接着變阻器，用以進行起動、制動或調整驅動裝置的速度。

藉磁場作用來改變所調整的直流電動機的轉速，是用電動機激磁回路中的調速變阻器而進行的。

各種過渡過程中電流的大小，即過渡期間的電動機負載的大小，取決於變阻器中的電阻變化的規律。

為了最有效地利用電動機和免去起動時過度的過負載，應按一定的速度來變化電阻。

註：(*)表示為譯者註，此外均為著者註。

* 原文之意為：僅給一控制脈衝使電動機接電或斷電而已。為簡便計，略去[給一控制脈衝]，下同此。關於控制脈衝可參考 Д. П. Петров 著 Схемы контактного управления электроприводами (中譯本有[電力驅動裝置的控制線路圖]軋鋼工程技術編委會編印)第七章

手動控制時，過渡過程的特性，有賴於操作者技術的熟練和注意力的貫注。當控制每小時接電次數很多的機械時，其操作速度，常受操作者體力之限制。但是，自動控制，不但能最有效地控制電力驅動裝置，而且大大地減輕了操作者的工作。

爲了自動控制電力驅動裝置，必須控制驅動裝置的工作制，即必須在驅動裝置和機械有最好的工作條件的瞬間，適當地變換其工作制。而電力驅動裝置的工作制的控制，乃根據測量任何一種參數的結果。這些參數，係指控制過程中變化的參數，可能是機械的量（如通過的歷程、速度、加速度等）；也可能是電氣的量（如電流、電動機的應電勢、頻率等）。時間也是這些參數之一。

接在電動機電力回路中的電阻，採用液體的或金屬的變阻器。前者的電阻變化是均勻的；後者，由於變阻器中的電阻段數有限制，因此，用接觸器來控制的電阻變化是躍進的。

2. 起動過程的自動控制

圖 1 即用接觸器起動的並激直流電動機。在激磁不變的情況下，被加速的起動過程。滑環式感應電動機的起動過程也與此圖相類似。

起動電流 (I_1) 開始的衝擊，取決於電力網上的電壓和所加的起動電阻值。選擇該電阻值，應考慮所用電動機的允許電流值與必需的起動轉矩。

隨着電動機的起動，其所消耗的電流與起動轉矩逐漸減少。如果轉子回路中的電阻仍舊不變，則電動機將達到某一速度 n_x 。在此速度下，電動機所產生的轉矩，等於負載轉矩，此後，電動機便停止加速。

爲了正確地通過加速過程，部份起動電阻必須及時地予以短路。這樣使起動電流與轉矩幾乎瞬時地增大起來，電動機便繼續加速，加速結果又重新促使起動電流的減少。因而必須將電阻器的下一段起動電阻，予以短路。

如適當地選擇起動電阻的段數，並及時地切換它們，可使起動過程中的各個加速級段的起動電流之最大值 I_1 和最小值 I_2 均相同。當電流 I_1 不變時，電流 I_2 的值愈大，則平均起動轉矩就愈大，因而電動機的起動也愈快。可是增加了 I_2 ，則所需的起動級段也增加，將使控制系統變爲複雜。

所以在選擇切換時的電流值 I_2 時，應該考慮：以最少的起動級段而使帶有既定負載的電動機能有效地起動。並且還應該注意：切換電流值 I_2 ，不應接近於負載電流值，以免過度地延長起動過程。

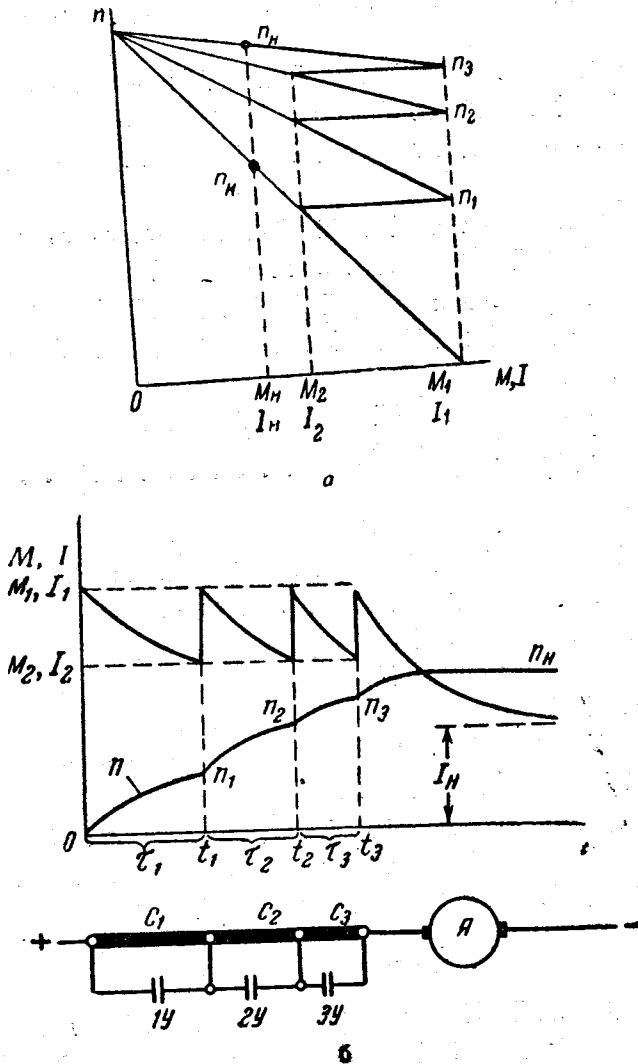


圖 1 直流並激電動機起動圖

a—機械特性；б—加速過程中的轉矩，電流及轉速的變化； I_1, M_1 —電流及轉矩之最大值； I_2, M_2 —電流及轉矩之最小值； I_H, M_H —電流及轉矩之額定值。

當不特別要求電力驅動裝置平滑地起動時，則起動級段，可以採取2段或者3段。

參看起動圖可知：電力驅動裝置起動的自動控制，可用之方法為：控制起動電流，在起動電流已減弱到 I_2 的瞬間，切換電阻的級段。如在驅動速度依次達到 n_1, n_2, n_3 的瞬間進行切換起動級段，則也可得到同樣的起動過程的特性。

顯然，如果在切換上一起動級段後，相對應地經過了 τ_1, τ_2, τ_3 的延時，才自動切換下一起動級段，那末也可以得到一樣的起動過程的特性。

參看起動圖，又可得知：根據起動轉矩的變化，驅動裝置的加速度也在某一最大值和最小值間變化。因此靠控制驅動裝置的加速度，也可獲得起動的自動控制系統。

前述諸原理，均可應用於驅動裝置制動的自動控制。

因此驅動裝置起動過程的自動控制，可建築在下列諸基本原則上：

- a) 藉起動電流的大小來控制；
- b) 藉電力驅動裝置的速度來控制；
- b) 延時的控制，其原則為：完成了前一級段的操作後，要經過一定的時間，才完成後一級段的操作（又名定延時的原則）；
- r) 藉加速度的大小來控制；
- A) 根據所通過的歷程來控制。

在這些控制原則中，有幾個又具有幾種變態。（*變態之意，為外表看來確有不同，而其原理則一）。選擇控制的方法，可由過渡過程的特性、操作系統的情況以及所應用的設備型式等來決定。所以在一控制系統中，為了控制不同的過程，往往運用各種不同的原則。例如：直流電動機的控制系統已獲得了廣泛的應用，其加速的控制是建立在延時的原則上的，而其制動的控制，却利用電動機應電勢的作用（是藉速度控制原則的變態之一）。

3. 藉電流作用的控制

藉電流作用來自動控制的電力驅動裝置，在起動電流已降至 I_2 值時的瞬間，切換它的起動級段應用一個或幾個電流繼電器即可。將電流繼電器整定為：當起動電流小於 I_1 時（*包括等於 I_1 時），它們就吸上自己的銜鐵，而在電流等於 I_2 時，它們就還原到原來的位置。這樣每當電流繼電器還原時，就依次地使該段起動電阻短路。同樣地，利用整定在當電流為 I_1 時，即行還原

的電流繼電器，可以控制電力驅動的制動過程。如圖 2a 所示，便是採用控制起動電流的原則來構成控制系統的可能方法之一。

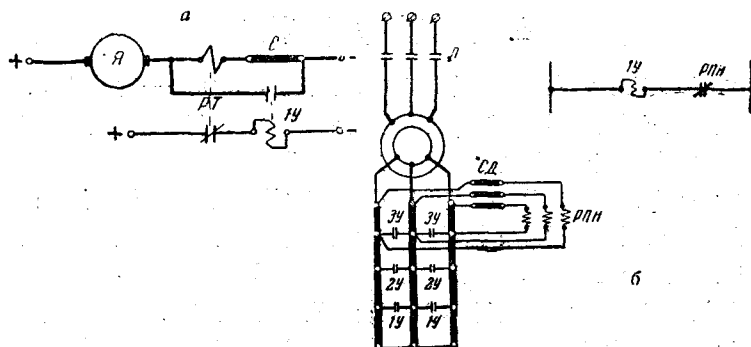


圖 2 藉電流作用來控制的系統之構成原理圖

a—在直流電動機中應用電流繼電器的系統圖； б—在交流感應電動機中應用電壓降繼電器系統圖； PT—電流繼電器； 1Y—3Y—加速接觸器； C—起動電阻； PИИ—電壓降繼電器； CZ—補助電阻； x—線路接觸器。

用電壓降來控制，是藉電流來控制的原則的一種變態，在圖 2б 中，聯結在電動機轉子回路中電阻端子上的電壓繼電器，使加速接觸器閉合。電阻的端電壓，無疑問的是與流經該電阻的電流成正比。所以該系統的作用，在原理上與電流繼電器控制系統的作用並無二致。在感應電動機控制過程的自動化中，藉電壓降來控制的原則，有許多特殊的用途。

這種電壓降繼電器，具有三個並聯在轉子變阻器的最後一級段上的線捲，（如圖 2б 所示），以及三個用不導磁的框架將三個銜鐵機械地聯鎖起來的獨立的磁路。因之，繼電器的合成吸引力的大小，便正比於有效電流值，而不取決於每相的瞬時電流值。這種控制原則的特點為：隨電動機轉速變化而變化的轉子電流的頻率，對繼電器的整定值有影響。事實上，隨着驅動速度的增大，轉子電流的頻率便減低，相對地也減少了繼電器線捲的阻抗。為此，在繼電器線捲回路中的電流，較轉子電流減少得慢些。所以當轉子電流已達 I_2 值時，繼電器回路裡的電流還是滿能吸住已被吸着的銜鐵。

僅在電動機轉子回路的電流降低到某一小於 I_2 之值時，繼電器才釋放銜鐵。當負載相當大時，電流不能降低到繼電器能釋放銜鐵，這便使加速過程停

止在某一級段上。

為了將轉子電流頻率的影響減低到最小，所以必須在繼電器的線捲回路中加入足夠的有效電阻。

4. 藉速度作用的控制

自圖 1 可知：如在電力驅動裝置的速度到達 $n_1, n_2, n_3, \dots$ 的瞬間，切換起動級段，就可得到所要求的過渡過程的特性。為此，控制系統內，應具有繼電器，用以測量速度，並於適當的瞬間內，使起動接觸器閉合。

對於控制過程的自動化，却很少使用直接測量速度的繼電器（例如：離心繼電器）。它們僅可作為保護設備，在危險性的高速時，切斷電動機。因為它們不但構造複雜而且動作也不夠精確。

但是，藉速度作用的控制，可用測量其他參數的方法來進行。這種參數是單值地（*在一定速度時，這參數只有一個值。）與驅動速度相關聯。例如：電動機的應電勢，便是這種參數，它的 $E_1, E_2, \dots$ 等值，正比於速度 $n_1, n_2, \dots$ 等值。

因此可能應用一種繼電器，測量電動機的應電勢，並當在應電勢到達某一既定值時，使其相對應的接觸器接電。關於它的控制原理如圖 3a 所示。

關於交流電動機的控制，可應用電動機二次電流的頻率來控制的原理，這也就是以速度來控制的原則的一種變態。

衆所週知，轉子電流的頻率，是取決於轉差率的：即

$$f_2 = f_1 s, \quad (1)$$

式中： s ——轉差率

f_1 ——電力網的頻率。

一定的頻率 f_2 ，是對應於一定的轉速 n_2 的，在此轉速下，必須切換起動級段。這時，整定在頻率 f_2 的繼電器，將完成在既定轉速時所需要的操作。

起動同步電動機時，對其激磁的自動供給，我們廣泛地採用着這種控制方法。

以轉子電流頻率作用來控制同步電動機的激磁供給的原理，如圖 36 所示。當控制轉子電流頻率的封鎖線捲 PQ（*PQ 原文誤為 PY，此線捲即為頻率繼電器的線捲。）失效時（*意即 PQ 釋放時），擺式時間繼電器（*擺式時間繼電器，在圖 36 內未繪出，其作用為當 PQ 釋放時，作適當的延時，使轉子更接近於同步速度時，才使 M 動作而供給激磁。）即使激磁接觸器閉合。在

高頻率時，線捲內的電抗值大於電阻值甚多。伴隨電動機轉速的增加，轉子的應電勢與頻率則成比例地減低。因此，該線捲內的電流，在實際上保持不變。但當低頻率時，由於有效電阻的影響，則線捲的電流便陡形降下，而使繼電器釋放銜鐵。

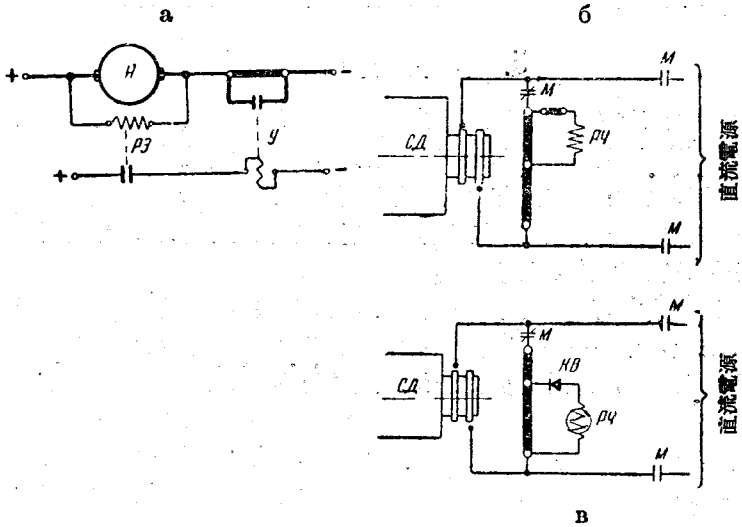


圖 3 藉速度作用來控制的系統之構成原理圖。

a—用應電勢繼電器；б—用頻率繼電器；в—用極化頻率繼電器；PЭ—應電勢繼電器；Y—加速接觸器；CД—同步電動機；PЧ—頻率繼電器；M—激磁接觸器；KB—氧化銅整流器

圖 3b 所示，為藉助於極化頻率繼電器的作用，來控制同步電動機激磁的控制系统圖。

在頻率繼電器線捲回路裡，用有氧化銅整流器，藉以保證在轉子磁場位置與定子磁場位置相對一致的瞬間，給與激磁。

藉頻率來控制同步電動機激磁的方法（當同步與再同步時）之所以被廣泛應用，是由於它可以直接測量轉差率的緣故。因為甚小的轉差率（小於 5 %），是同步的有利條件，而甚小的誤差，在同步的瞬間，會招致轉差率對其既定值相當顯著的偏差。這甚小的誤差，是直接測量速度的繼電器（* 即速度繼電器）在其工作中所能發生的。但是，用來直接測量轉子與迴轉磁場的速度

差的繼電器（* 即頻率繼電器），却沒有此種缺點；所以，這具有測量轉差率的繼電器的系統，能保證在嚴格規定的轉差率下供給激磁。

以轉差率來控制的原則，也可應用到滑環式感應電動機的控制系統中去。在此情況下，該感應電動機的轉子回路中，接有用來測量應電勢或者是頻率的繼電器。這些繼電器的接點，乃用為控制驅動裝置的起動與制動的。

5. 藉時間作用的控制

如果回路的參數和驅動裝置的負載不變，而皆等於額定值，那末，通過一定的間隔時間，切換起動級段，也可獲得圖 1 所示的起動圖。

由圖 1 可知：在 t_1 ，即當電動機接電後，經過時間 τ_1 的瞬間，應該短路第一級段的電阻，自從第一級段電阻短路後，再經過時間 τ_2 的 t_2 瞬間，應該短路第二級段的電阻。其餘類推。

此種操作，可藉助於時間繼電器來進行。這些時間繼電器的延時，對應地整定為： $\tau_1, \tau_2, \dots$ 等，其中每一繼電器的動作，均為完成前一級段操作的器械所促使。應用電磁時間繼電器而構成的控制系統的原理，如圖 4 所示。

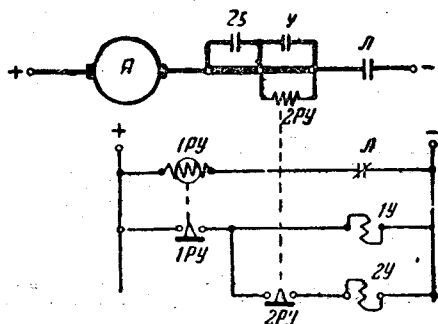


圖 4 藉時間來控制的系統之構成原理圖。

1Y—線路接觸器；1Y, 2Y—加速接觸器；1PY, 2PY—電磁時間繼電器。

吸住了它的銜鐵。當加速第一級段終了時，繼電器 2PY 線圈被接觸器 1Y 短路，經過它已整定的延時，其銜鐵便落下而閉合了接觸器 2Y 的回路。

擺式時間繼電器，在某些舊系統中是應用着的。當相應的接觸器或螺管線圈接電時，它藉機械的作用來延時。現在它們幾乎完全被那些簡單而牢固的

帶有衰減套的電磁繼電器 1PY 建立第一級段的延時。這繼電器，從它的線圈被斷路的瞬間開始動作，經過它所整定的延時，而後閉合接觸器 1Y 的線圈回路。

第二加速級段，如圖以無衰減套的電磁時間繼電器來控制，繼電器 2PY 線圈與起動電阻器的第一級段並聯。當電動機接電時，在它上面所受的電壓，相等於第一級段起動電阻上的電壓降。由於這電壓的作用，繼電器