

繼電器接点电路邏輯基础

陸益壽編著

32

3

科學技術出版社

繼電器接點電路 邏輯基礎

陸益壽 編著

科學技術出版社

內 容 提 要

本書討論繼電器接點網絡的原理，詳細分析繼電器接點網絡的內在規律和闡述運用邏輯代數以解除因襲經驗法則對繼電器電路的解析、合成、綜合上所感到困難的演算方法。

書中列舉了不少例子以說明新興學說的論證和演算法則的運用。本書可供具有一定繼電器控制技術實踐水平的工程技術人員和電氣自動化設備設計工程師作參考研究之用。

繼電器接點電路邏輯基礎

編 著 者 陸 益 壽

科 學 技 術 出 版 社 出 版

(上海南京西路 2004 號)

上海市書刊出版業營業許可証出 079 號

大東集成聯合廠印刷 新華書店上海發行所總經售

統一書號：15119·640

開本 850×1168 1/32· 印張 65/8· 插頁 1· 字數 160,000

1958 年 4 月第 1 版

1958 年 4 月第 1 次印刷·印數 1—1,200

定價：(10) 1.30 元

序

用繼電器來達到自动控制目的这一方法在各种技術部門应用得非常廣泛。在我國第一个五年計劃用現代化設備裝備起來的工厂和企業中,到处可以看到有由繼電器参与其中來控制的器械,象自动机械操縱台、自动電話交換机、鐵路信号化系統等等。我們固然能从使用这些設備的說明書中了解到这些具体設備的控制电路的結構和它們的功用;但是,这些僅以說明各該設備的使用和維護为主題的知識,对于帮助我們对繼電器电路的組成和分析作進一步地研究顯然是不夠的。在我們偉大的社会主义工業化建設中,一方面要求我們随着生產技術的進步不断改進現有的自动化控制設備,另一方面還要求我們更能創造日新月異的高級自动化設備。我們要勝任这个任务,就不能不從根本上去認識繼電器电路,从中去掌握它們的規律,因此研究繼電器电路乃是研究自动控制技術中極為重要的一个專題科目。

本書不以討論哪个具体設備中的繼電器电路為宗旨,主要的目的乃是為解決目前面對着結構愈來愈複雜、要求愈來愈提高的自动化設備設計中所感到因襲經驗為基礎的設計方法無濟于事的困難情況,而討論以理論為依据的新方法。

這種方法之所以可貴,是因為我們從此可以掌握嶄新的數學工具,進行有嚴格規律的演算,使我們得以把錯綜複雜的控制作用之間的关系从苦苦思索上的联系中解放出來。当然,要非常詳盡地推導这些方法的論据,就需要大量的篇幅,这样会使本書變成一本內容非常丰富的專題論著。丰富的專題論著是需要的,但是,想

到只討論对解决现实問題有价值的理論部分,在当前更为重要些,所以那些屬於純理論的推導和其發展方向,以及某些尙待深入研究以取得成熟的运用法則的論据,如矩陣法在繼电器接点網絡中的应用等就不列在本書討論範圍之內。本書目前的內容,估計对从事繼电器控制技術的工程技術人員是足夠而且非常有用的。

这一門技術科学离开它的發軔期为时还不算远,我國急起直追是可以追得上的,这自然有待于从事繼电器控制技術的同志一道來努力。作者本着这个願望,勉力編寫这本小册子,書中的內容,很可能由于編寫时参考文献的不夠廣泛而有所遺漏,希望讀者多多指示意見,以便充实修正,俾臻完善。

陸 益 寿

一九五七年二月于天津

目 錄

序

導言	1
第一章 繼電器接點電路邏輯基礎的基本概念	5
1. 概說	5
2. 數學工具	9
3. 記號	13
4. 繼電器電路結構公式的描述	14
5. 接點電路代數的基本定律和基本關係	20
6. 實現一個電路所需的繼電器數量	24
7. n 個繼電器的接點所能組成的回路數量	28
8. 組分的概念	28
第二章 繼電器電路的等效變換	36
9. 概念	36
10. 接點電路的變換	36
11. 變換接點電路的例子	37
12. 變換接點電路的一般公式	40
13. 反演定律在接點電路變換中的應用	50
14. 繼電器電路的等效變換	52
15. 用橋接元件簡化電路(橋接電路的合成)	56
16. 繼電器電路其他形式的變換	62
17. 最簡單電路的解析和合成	70
第三章 不使用狀態的計入和通解的求法	74
18. 不使用狀態和條件分量的概念	74
19. 同義式的變換	77
20. 鄰接組分在簡化電路時的作​​用	81

21. 通解的簡化	93
22. 為適應繼電器在電路中的規定工作次序而產生的輔助等效式	101
第四章 單步電路的合成	108
23. 概念	108
24. 接點塔	110
25. 組分圓圖與它的特性表	116
第五章 多步電路的合成	131
26. 概念	131
27. 繼電器接入指示表的形成	132
28. 個別回路的合成	136
29. 整個電路的合成(電路的綜合)	146
30. 繼電器電路的合成實例	148
第六章 繼電器電路的解析	175
31. 確定電路元件的工作條件	175
32. 分出通過起始元件的回路或通過終末元件的回路	181
33. 單步繼電器電路的解析	185
34. 確定電路中繼電器的作用次序和解析多步繼電器電路	189
附錄：基本公式一覽表	197
參考文獻	205

導 言

自动和遙远操縱技术是技术发展極為重要的方向之一。有了自动和遙远操縱技术就可以把控制、調整、檢查、測試等等作用轉移給相应的自动裝置,而使人类从繁复、緊張和單調的生產操作中解放出來。

在現代,几乎任何生產过程都有自动化和遙远操縱化的可能。各种形式的自动化都是建立在某某一个过程与另外一个被控制的过程之間的联系上,而这种联系乃是利用着一些特殊的、所謂自动的裝置來完成的。繼电器組成的电路,差不多都与管理生產过程的現代化自动裝置(自动机械、遙控机械、繼电器保护、集中信号化設備、电气閉塞設備、通信設備等等)有着非常密切的关系,几乎是它們不可缺少的一种成員。因此,研究自动和遙远操縱技术便与繼电器电路的研究分不开了。

在大型的自动裝置中,使用的繼电器数量是异常巨大的,譬如,一个供一万戶用戶通信用的都市區域制自动电话交換机設備,繼电器用到六万个之多。而且它們之間,为了完成各种各样的任务,有着極其錯綜复雜的联接。設計有繼电器参加控制的自动裝置的总工作量中,也要算設計繼电器电路占最重要的部分。这就是所以要把繼电器电路作为一門独立的学术來加研究的主要因素。

在过去的年代中,繼电器电路的設計,只能算是經驗性質的設計。它的設計过程基本上是这样的:闡明各个控制目的的作用,根据这些作用的性質比照各方面成熟的經驗所累積下來的基本电路

的作用原理，設計出符合我們具體要求的新電路來。最後把這些具有個別作用的單元電路綜合在一起，作經驗上的審查，整理成為總體電路。象這樣設計成的總體電路必須通過實驗來發現問題而後作必要的修正，才能成為滿足當時要求的最後設計方案。

這種以經驗為基礎所設計出來的最後方案，對於作用單純、結構簡單的自動裝置，也許的確是無可非議的優良設計，但是對於要完成大量有着互相牽制的作用的電路時，很可能在這種方案中，還隱藏着某些可以進一步加以改進以滿足某個願望的部分。這些部分之所以未能在設計過程中被發覺（即使輔之以實驗也難于被觀察到），或者已經被發現而卻未能提出有效的改進措施，主要是由於人的思維已經很難把所有具有連鎖性的機能結合人們對電路愈來愈嚴格的要求，構成一個完整思考系統的緣故。

任何一門科學技術都會經過這樣的階段，在經驗的知識解決現實問題感到苦惱時，就迫切地希望有完全可以依據的理論來作為踏步前進的工具。繼電器接點網絡原理就是為適應繼電器電路研究而推導出來的實用理論根據。儘管這門技術科學理論還很年青，但是，在實踐中卻已帶來了莫大的好處。特別是對總體電路的作用之解析、對個體電路的合成、對個體電路的合併（總體電路的綜合）、對電路工作條件的確定、對經濟使用電路元件的核算等等提供了用數學演算的法則，因而減輕了上面所述人類思維上總體觀念的負擔。

很早就有不少學者為尋求解析和合成繼電器電路的科學方法付出了不少的勞動，可惜幾乎所有這些研究的成果，都因為沒有能提出有效的數學工具，來指導實踐的應用，因此，就理論與實踐相結合的角度來評價，它們都是相當繁復的。現在所運用的繼電器接點網絡原理之所以能成熟到得心應手的地步，亦就在於在建立和研究電路的过程中，能利用嚴格的、能用以描述電路工作條件的數學方法，而且充分利用這個數學工具還可以對電路進行意義相

同的或机能相等的变换, 求出不同結構內容的变型方案和發現以及解答設計过程中所碰到的許多其它問題。

繼电器接点網絡原理中所持为利器的接点电路代数發源于邏輯代数, 現在已經成为邏輯代数中具有独立意义的一支学术了。追溯邏輯代数的起源, 迄今几乎有一个世紀之久[1847年英國数学家乔治·布尔(George Boole)發表了关于数学邏輯研究的論文], 但是它被应用到繼电器电路这一領域中, 从而奠定繼电器接点網絡原理的理論基礎, 只不过約20年的歷史[1935年苏联学者B. И. 舍斯塔科夫(Шестаков)才取得运用邏輯代数到接点網絡中去的可能性的精确論証], 至于接点电路代数發展成接点網絡实用中的通用理論, 則更是最近十数年的事。这里特別要指出的是, 1950年苏联科学院技术科学博士M. A. 加甫利洛夫(Гаврилов)發表了「繼电器接点網絡原理」这一权威著作后, 才把那些通用理論加以系統化起來, 这对指導理論的运用和闡明發展的方向都有極重大的意义。

由于節約是社会主义建設的基本原則之一, 繼电器电路的設計任务中, 使用最少数量的元件也是一个重要的条件。在建立以接点电路代数为研究繼电器电路的工具之前, 要为某一个龐大的自动裝置設計若干种不同的方案, 以作經濟性的評比, 簡直是件不可思議的工作。用接点电路代数为电路所作的描述(从电路立出对应于它的公式, 或反之), 不僅能表達出这个电路的作用, 而且还說明它的構造。因此, 这就为我們創造了条件, 完全借助于一定法則的演算, 來作一系列節約措施的驗證, 例如合併接点、合理分配接点、添加某些在原來电路中所不会碰到的工作狀態而使整体电路得到相当有益的簡化等等。当然还有不少法則, 至今研究得不夠全面, 有待我們从事这方面的工作者付出更多的劳动与腦力。

虽說, 今天对于繼电器电路的設計已經接近完全擺脫經驗設計的道路, 但是, 原先經由不知多少智慧所确定下來的設計步驟, 仍旧不失为今天运用技术理論來進行設計的准則, 于是設計繼电

器电路的过程,將有下列一些步驟:

(1) 闡明設計电路的目的和它所应当完成的工作。倘使电路中要完成大量工作,就把这些工作分解为有顯著独立性的局部电路,以減輕从整体电路進行設計的繁重性。

(2) 根据对个体电路或局部电路所应完成功用的解析,立出这些电路的工作条件的表達式。

(3) 从繼电器和其他元件的工作条件出發,确定繼电器和其他元件(如接点、閘門元件等)的数量。

(4) 以同样这么些繼电器和元件組織不同結構的电路方案(采用不同的联接方法),再从中選擇最經濟的一个或对总体电路最为有利的一个(最为有利的方案不一定是最經濟的那个方案,因为某些在局部电路中看來不符合經濟原則的方案,在总体电路的綜合时,会有助于总体电路的簡化)。

(5) 为滿足对电路所提出工作可靠性的要求,确定各元件瞬时的相互关系。

(6) 集所有有关的个体电路和局部电路在一起,綜合为整体电路,再作必要的和合理的簡化(这里也可能產生不同的方案,需要再度進行選擇)。

繼电器接点網絡原理虽然已經為我們研究繼电器电路打开了大門,而且已經奠定了它的科学基礎,但是还有不少繼电器电路实践上的問題,尚不能利用(或者还不够好)这些基礎理論來解决。本來,任何技术都是需要經驗与理論相結合,以理論來总结經驗,又以經驗來充实和發展理論而后共同推向前進的。那些还没有得到理論闡明的感性知識就為我們指出了深入研究的方向。

第一章 繼電器接點電路邏輯 基礎的基本概念

1. 概 說

凡是一個電氣系統，有繼電器參與其中，以達到某個或某一些控制的目的，都可以稱作為繼電器電路。繼電器電路除開繼電器的繞組和繼電器的接點外，還可以包含任何手動的或自動的轉換器如開關、按鈕、選擇器以及信號燈、電磁鐵等等。

每一個電路，一定能劃分出接收元件和執行元件。它們的數量隨電路的複雜性自一個至數個不等。我們稱那些接收外來作用的元件叫接收元件，而稱把作用傳遞給外界目的物上的元件叫執行元件。接收元件可能是繼電器，也可能是各式各樣的手動或自動轉換器。執行元件則可能是各種各樣的電磁鐵、信號設備（信號燈、警鈴等）、繼電器等等。

電路是電氣系統的總稱，每一個有既定功能的電路一定能依照規定的控制目的，組織電路中各種不同的元件構成一條或數條電流的通路。這些電流的通路統稱之為回路。比照上面的定義，我們稱接受外界作用送到接收元件上的那些回路叫接收回路，稱傳遞作用到別的元件去的回路叫執行回路。要保證執行元件能在給定的接收作用次序（也可以說是給定的外來作用的次序）下，按照預先規定好的次序來工作，一般都必須在接收元件和執行元件之間添加輔助的繼電器。這些繼電器在繼電器電路中稱作為中間元件（或中間繼電器）。

例如，一个以一定時間間隔、有節奏地使一个旋轉式選擇器循一定的方向，一步步前進的電路中（步進制自動電話交換機的第一預選機就是这个組織原理），当按鈕 T （圖 1）按下后，繼電器 L 就

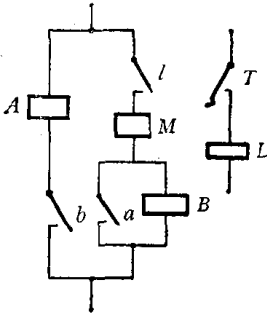


圖 1 電路的一例

吸合，促使接點 l 接通 $l-M-B$ 回路；繼電器 B 遂吸合（其時，選擇器的電磁石 M 因與繼電器 B 串聯，電流較小不足以激勵電磁石而推動選擇器），接點 b 因而閉合，接通繼電器 A 的回路使繼電器 A 吸合，接點 a 因而也閉合，短路了繼電器 B ，新的回路 $l-M-a$ 中電流較強，電磁鐵 M 遂吸合，推進選擇器前進一步。這瞬間，繼電器 B 因被接點 a 短路而釋放，接點 b 亦隨之斷開，繼電器 A 的供電回路遂斷開。與此同時，接點 a 斷開，繼電器 B 從新接入通電回路。這以後繼電器 A 和 B 反復進行如上的動作，使電磁石 M 按兩繼電器相間動作的節拍，一步一步循同一方向推進。

在這個電路中，接點 l 是接收元件，電磁石 M 是執行元件而繼電器 A 和 B 則是保證電磁石有規定動作次序的中間元件。

從電路中分出接收元件、中間元件和執行元件是有條件的，而且要看用什麼方式來分解電路為組件。譬如，一個電路組成部分的執行元件或中間元件可能是另外一個電路組成部分的接收元件。這樣，同一個元件究竟是作為什麼名稱的元件，應當由電路分解時就確定下來的條件來決定。在有些情形中，接收元件或執行元件本身並不處在所討論的電路中，那末研究接收回路或執行回路以代替討論接收元件或執行元件要有意義得多。

根據以上所述，我們可以知道，不管怎樣複雜的電路都可以分解為幾個有一定作用的簡單回路。同樣，我們可以把一些個別的電路綜合在一起，再加以合理的簡化而成一個新的系統。我們研究繼電器電路的目的，正就是討論怎樣來把複雜的電路分解為簡

單的回路，或者把複雜的電路作合理的簡化（電路的解析）和把個別電路（或回路）合併為整體的電路（電路的綜合）。不論是作電路的解析，或者作電路的綜合，都與研究電路的本質是分不開的。

繼電器電路，歸根到底都是耦合回路，這意思是說，兩個或很多個回路經由一種媒介物把它們互相聯繫起來，使得一個回路中的作用，能夠以一定的方式傳輸到另一個或另一些回路上去。當這種傳輸任務是由接點裝置來完成時，就稱作為接點耦合^①。以接點耦合的形式組成的電路我們就稱做為接點電路。

差不多所有近代化管理生產過程的方法，諸如自動機械、遙控機械、繼電器保護等等沒有不與繼電器電路發生關係的。在大型的自動化控制設備中往往有成千上萬個繼電器，它們之間有着極其複雜的相互連接關係。因此，用一般習用的直覺設計法來設計這樣大型的複雜電路往往是件不可思議的工作。單憑人的思維是很難做到保證所設計的電路能滿足所有提出來的條件。此外，我們也沒有確切可資遵循的辦法來檢查所設計的電路，是不是達到了最經濟的目的——使用最少的繼電器、配備最少的接點、合併某些連接綫等等，所有這些都關連到材料的節約、安裝的迅速、維護的方便等國民經濟的最根本原則。

很早就有很多學者根據這種要求，研究了簡單繼電器電路的規律，終於在晚近幾年中找出了所謂繼電器接點電路的理論。使用這個理論去解析或去綜合繼電器電路，就有可能在建立和研究電路過程中，利用嚴格的、完全可以描述出電路工作條件的數學方法來對電路進行等效的變換，或者求出在研究電路過程中所碰到其他許多問題的答案。

繼電器接點電路是什麼？上面我們已經說過，以接點耦合的

① 除接點耦合外，還有所謂電磁耦合、電離耦合等。不過它們都超出了本書專題討論的目標，因此就從略了。

形式組成的电路就是接点电路,但是繼電器电路中,除開繼電器自己的接点外,还含有大量其他各式各样的接点——各式轉換器、开关等电路元件的接点。以繼電器本身的接点为对象所構成的控制电路就是繼電器接点电路。从繼電器电路中把只含有自己的接点的那部分电路分出來,对我們研究繼電器电路有非常重大的利益,因为我們对接点电路已經掌握了論理的規律,而且总是能运用一定的数学工具來演算的緣故。这里所說的論理規律便是我們將要討論的繼電器接点电路的邏輯基礎。

在討論数学工具和它的运用法則之前,还有一些接点电路中使用的术语需要加以認識:

兩端網絡和多端網絡 凡是具备一个輸入端和一个輸出端的这样一种只有兩個端極結構的接点电路,叫作兩端網絡(圖2)。如果电路的輸入端和輸出端不止一个时,就叫作多端網絡(圖3),这里所示是并联的四端網絡。

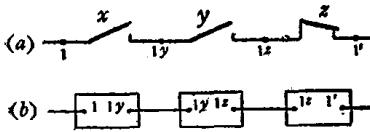
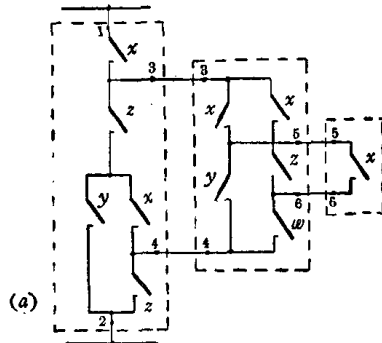
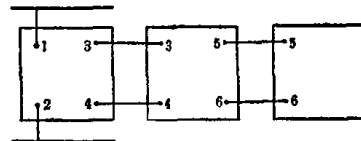


圖2 兩端網絡

(a) 实际形式 (b) 一般形式



(a)



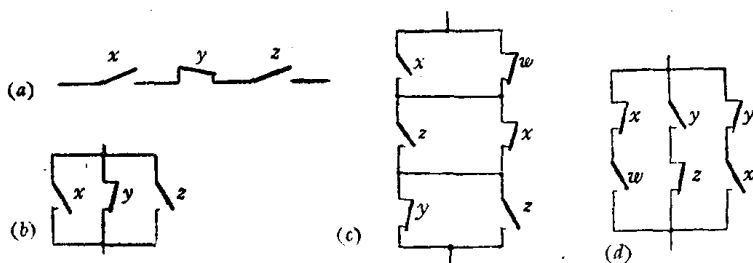
(b)

圖3 多端網絡

(a) 实际形式 (b) 一般形式

并联串联电路和桥接电路 根据繼電器电路的各个元件互相联接的方法來區分,凡是电路接点或个别接点回路互相作并联或互相作串联接續时(圖4),这种电路就屬於并联串联类。并联串联电路亦叫作P类电路^①。如果除串联和并联外,还有桥接接点共

① 苏联文献中相应地为Π类。

圖 4 P 类电路

- (a) 串联的元件 (b) 并联的元件
(c) 串联的并联回路 (d) 并联的串联回路

同構成桥式联接 (圖 5), 那末这种电路就屬於非并联串联类。非并联串联类电路又叫作 N 类电路^①, 沿用習慣的名称叫作桥接电路。

試以圖 4c 形式的 P 类电路与圖 5 的 N 类电路作比較, 我們就知道, 圖 4c 形式的 P 类电路之所以只能称做为串联的并联电路, 乃因电路中只有「跨接」着的联接綫, 而不具备「桥接」着的接点元件 (圖 5 的元件 e) 的緣故。这是一个很重要的識別特征^②。

在并联串联类电路中, 任何一工作瞬間, 电流只能夠循一定的方向流过电路元件中某个元件, 但是在 N 类电路中, 电流就有可能在电路接到同一电源上的情况下, 循两个相反的方向流过桥接元件 (当然, 先决条件是这两个方向的通道上都没有閘門元件, 否則就有一个方向不会有电流流过的)。

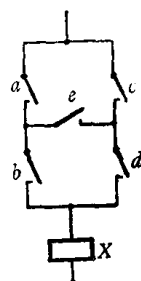


圖 5 桥接电路

2. 数学工具

在晚近几年中, 接点电路的理論研究都是从运用邏輯代数的基礎上發展开來的。邏輯代数也叫布倫代数, 是为紀念上世紀的

① 苏联文献中相应地为 H 类。

② 这个特征将在第 15 節 (第 102 頁) 中得到論証。

一位英國數學家喬治·布爾(George Boole)而以他的姓來命名的。邏輯代數乃是應用兩個量：「邏輯零」與「邏輯一」，再配合一些特殊的運算法則：「邏輯加法」、「邏輯乘法」與「否定法」的一種數量學說的總稱。這個代數起先是為數理邏輯的需要而研究出來的，它當時與電路學毫無關係。自從它在若干技術部門中得到了廣泛的應用之後，也就被引導到繼電器電路中；在繼電器接點網絡的領域中得到獨特的發展，演變為接點電路代數。所以「0」與「1」兩個量，以及「加」、「乘」與「否定」三個作用就成為當今研究接點網絡理論的基本數學工具了^①。

然而，我們必須一開始就有這樣的認識，就是邏輯代數（相應的也就是接點電路代數）能為我們求出使用最少組織元件的電路是沒有疑問的，但是，它並不一定能為我們導出「最佳」的電路來。大家知道，電路結構優劣的評定，要看用什麼標準來衡量，使用組織元件的多寡不過是衡量標準之一而已，如果別的標準比這更為重要時，使用組織元件最少的那個電路未必就恰好便是符合那評定標準的最佳電路。但是，無論如何，我們可以肯定，運用接點電路代數基本上可以做到代替經驗設計法中所用文字描述的電路解說來作為設計電路的工具，縱使所得結果可能不是最佳的，至少也可以是個優良的（我們可以根据這個初步設計，從繼電器電路的其他方面再作必要的修正）。此外，利用接點電路代數，不必象經驗設計法中那樣，必須配合着文字描述的解說繪出電路圖，以對所設計的電路作機能的鑑定。接點電路代數持其運算法則的正確性而保障電路變換的正確，因此，只要根據演算結果所得的具有代數方程式形式的電路結構表達式，就能繪出機能完全符合要求的電路圖了。運算的過程中，可能因採用不同的法則而產生不同的結果，

① 所有邏輯代數中的術語如「邏輯零」、「邏輯一」、「邏輯加法」、「邏輯乘法」都相應地可以讀作「布倫零」、「布倫一」、「布倫加法」、「布倫乘法」。為了簡便起見，本書中也像別的文獻中那樣，把各辭彙前的形容詞「邏輯的」或「布倫的」省掉，簡稱為「零」、「一」、「加」、「乘」。