

綫性網絡原理

苏联 Д. Б. 謝略赫 著

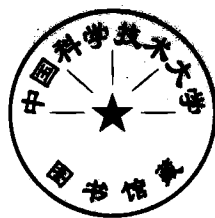
陸志剛 · 趙辰 譯

人民邮电出版社

線性網絡原理

蘇聯 Э. Б. 謝略赫著

陸志剛 趙辰譯



人民電訊出版社

Э. В. ЗЕЛЯХ
ОСНОВЫ
ОБЩЕЙ ТЕОРИИ
ЛИНЕЙНЫХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
СХЕМ

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА 1951

內 容 提 要

本書系統地闡明了綫性網絡的普遍分析方法。全書共分三部分：第一部分是網絡理論的開端；第二部分是多端網絡原理；第三部分是四端網絡原理。書末的附錄扼要地介紹了矩陣代數的基本知識。

本書可供科學研究工作者及工程技術人員的參考，亦可作工業大學電工基礎、電信理論等課程的參考書。

綫 性 網 絡 原 理

著 者：	蘇聯 Э. В. 謝 略 赫
譯 者：	陸 志 剛 趙 辰
審 校 者：	李 家 訓
出 版 者：	人 民 郵 電 出 版 社 北京東四區 6 條胡同 13 號
印 刷 者：	郵 電 部 供 應 局 南 京 印 刷 廠 南京太平路戶部街 15 號
發 行 者：	新 華 書 店

書號：有48 1956年3月南京第一版第一次印刷1——2,500冊
850×1168 1/32 207 頁 印張 $12\frac{2}{3}$ 字數295,000字 定價(9)3.17元

★北京市書刊出版業營業許可證出字第〇四八號★

原書編者序

近代綫性網絡理論，不但在電工方面，而且在其他的科學和技術領域內，也都有重大的意義。但是，有關這一理論的各種問題的研究，遠不是那麼完整，就已經知道的材料來說，也還不夠系統化和相互協調。

本書的作者給自己提出的任務就是：要建立一門獨立的學科，專門研究綫性網絡理論，並將它推廣，俾使這一理論能包括任何形式的綫性網絡：既包括無源綫性網絡，又包括有源綫性網絡。

本書由三部分組成。

第一部分對網絡的元件下了精確的定義，闡明了許多基本原理，並討論了網絡在拓撲學方面的特性。然後引入綫性網絡分析法的新穎而明晰的分類，此後又極其認真地分析了這些方法，並舉出了許多應用這些方法的例子。

第二部分內，作者建立了無源、有源多端網絡的推廣理論。尤其感到興趣的是作者舉出了許多能以說明他所研究出來的這些理論的實例。特別是作者提出了計算多相系統的新穎方法，這些方法在無綫電技術以及模型學方面的應用，也有廣闊的前途。

第三部分給出了綫性四端網絡的推廣理論，其中也包括任何類型的無源網絡和有源網絡。從作者所舉有關這一理論在放大器、各種測量網絡、天綫、以及壓電振子等方面的實用例子中，可以清楚地看出，它是很有成效的。

作者在本書內，得心應手地運用了高等代數中矩陣這一工具。

應當指出，本專著的作者是第一個（遠在1931年）在我們蘇維埃祖國的電工文獻中引用矩陣這一工具的人。

附錄很有用，在這裏邊，作者用扼要但很清楚的方式，把矩陣代數的基本知識介紹給讀者。

書中亦闡明了綫性回路理論的發展史，並清楚地指出俄羅斯和蘇聯學者在這方面起的主導作用。

敘述嚴整普遍，內容新穎，高深理論能與實際應用相配合——這一切使我們有理由肯定本專著是蘇聯學者的一部很重要很可貴的著作，它不僅能使電方面工作的人感到興趣，而且從事其他專業的人也會對它發生興趣。

毫無疑義，這部著作將會促進網絡理論的實際應用與更進一步的研究。

蘇聯科學院通信院士

В·И·郭瓦林柯夫

作 者 序

本書是作者過去在綫性網絡理論方面許多著作的發展與推廣。書中有很多章節，作者曾在許多實驗室的科學討論會上和以 M.A. 達奇-勃魯也維奇命名的列寧格勒電信學院的科學技術會議上作過報告，也曾由作者在上述學院對研究生的演講中敘述過。

作者深望貢獻給讀者的這本書將有助於科學工作者、工程師、研究生以及電工專業的高年級學生，也希望有助於其他技術部門對於網絡理論的應用感興趣的人們。

作者對幫助本書出版的蘇聯科學院研究有綫通信問題的實驗室的同事們，特別是對讀過本書手稿並提供很多寶貴意見的蘇聯科學院通訊院士 B.H. 郭瓦林柯夫與 I.B. 多勃魯伏烈斯基教授致以深切的謝意。作者感謝 A.H. 馬呂舍娃工程師和 X.H. 切爾涅副教授在本書付印時給予的大力幫助。

作者亦將非常感謝讀者由出版社轉寄來的任何意見。

列寧格勒 1950年

由生動的直覺到抽象的思維，並由思維到實踐——這是認識真理，認識客觀現實的辯證途徑。

(列寧“哲學筆記”1947年第146頁)

緒 言

在探討與計算由發電機、綫圈、電容器等組成的實際電氣回路時，我們要用電動勢、電阻、電感、電容等組成的某種回路來代替。這種能近似地表現實際電氣回路特性的回路，我們叫它做電氣網絡，或簡稱網絡。

如果在電氣回路的元件內，電壓與電流間的關係可以認為是綫性的話，那麼這種實際的電氣回路（以及與它相對應的網絡）就叫做綫性回路（綫性網絡）。

綫性網絡理論，即是指研究綫性網絡的普遍定律和普遍計算方法的理論。

並且，綫性網絡理論是撇開回路元件的具體內容不談，而祇抽象出某些特性加以研究，描寫這些元件的僅是決定它們之中電壓和電流間關係的幾個參數而已。

因此，從網絡理論的觀點來說，網絡中的元件實際上是怎樣實現的，一律不加區別。例如，網絡中的電感元件是由導綫繞成的綫圈，還是由電子管、電源、電容等組合成的所謂電抗管，這些不需加以區別。網絡理論中，這兩種裝置，在方程內都用同一個參數 L 來描寫（一次近似地）。

$$u(t) = L \frac{di(t)}{dt}$$

式中 $u(t)$ 為該裝置端子上的電壓，而 $i(t)$ 為流過端子的電流。

這一個特點，就將綫性網絡理論從普通的綫性電氣回路理論中區分出來。在普通的綫性電氣回路理論中，除了網絡理論外，尚涉及回路元件的具體內容（例如，根據綫圈的物理與幾何數據等去決定綫圈的電感等問題）。

綫性電氣回路理論發展的全部過程，證明了綫性網絡理論這樣區分出來的合理性。

在這發展中可追溯為三個階段。

第一階段（約在1800年至1880年之間），在俄國有科學院院士B·B·彼得羅夫、Э·X·楞次與B·C·雅柯比以及A·Γ·斯托列托夫、H·A·烏莫夫、H·Π·斯洛琴諾夫等的著作〔1—11〕，以及國外的歐姆、法拉第、克希荷夫等的著作〔6—8，12—17〕，在這些著作中確立了電氣回路理論的基本概念，並且也創造了許多計算回路的方法。

回路理論的發展是與該時期實用電工技術的萌芽有着密切的聯繫：首先是電報（最初發明電報的是俄國學者Π·Л·舒林格和B·C·雅柯比）、電鑄（也是科學院院士B·C·雅柯比發明的）與電氣照明技術（電氣照明的先驅者是卓越的俄國電氣工作者Π·H·雅勃洛契柯夫，A·H·洛狄琴和B·H·契柯列夫）。

當時所有這些電工技術部門，主要是與直流電發生關係〔11〕。所以當時的回路理論，主要致力於研究直流電源的回路。

這時電氣回路理論的內容，亦完全包括在電學及磁學的物理課程範圍內〔6—8，16〕。

下一階段的特點（約至1915年），在於交流電技術特別是高頻電流技術的蓬勃發展。

這時期有許多發明如：變壓器（ $\Pi \cdot H \cdot$ 雅勃洛契柯夫和 $H \cdot \Phi \cdot$ 烏捨金）、三相電流制（ $M \cdot O \cdot$ 多里伏——多勃魯伏烈斯基），以及無綫電（ $A \cdot C \cdot$ 波波夫）等等，於是基於上述這些發明而建立起來的新的電工技術便向理論提出一系列新的問題。

這些問題中，在電氣回路理論方面，首先是交流回路及其元件的計算方法，以及回路內穩態過程的分析方法。

這一時期，出現了許多關於計算回路元件的自感係數和互感係數的文獻〔6—8〕；舒坦因曼茲、 $B \cdot \Phi \cdot$ 米特凱維奇、海維賽特等在回路理論內應用了符號法和運算法〔19—22〕； $\mathcal{A} \cdot H \cdot$ 芒傑列什塔姆、 $H \cdot \mathcal{A} \cdot$ 巴巴列克西、 $A \cdot A \cdot$ 彼得羅夫斯基、維恩等人研究高頻振盪理論〔23—24〕； $\Pi \cdot \mathcal{A} \cdot$ 沃依納羅夫斯基、 $B \cdot H \cdot$ 郭瓦林柯夫、勃烈依齊格等人發展了交流電在綫路上傳輸的理論〔25—28〕等等。

至上述時期之末，電氣回路理論已經發展到如此程度，它已成為電工理論專業課程的重要組成部分〔24，28〕。

電氣回路理論發展的第三階段，是在電工技術由於用了電子管〔29—31〕、濾波器而獲得更大成就的標誌下過去的。

在蘇聯電工技術特別飛躍地發展着，這發展的重要因素，乃是我國（蘇聯）偉大的電氣化計劃，在斯大林五年計劃年代裏早就超額完成的ГОЭЛПО（全俄電氣化委員會）計劃。

實用電工技術的成就（這些成就在很大程度上應歸功於電氣回路理論）引導出愈來愈複雜的電氣工程裝置。因此，在回路理論內也加強了對複雜綫性網絡的研究：從綫路理論產生出鏈式網絡理論，而後產生了四端網絡理論，這也是多端網絡理論的開端。

相當短的時期內，在綫性網絡方面創作了許多的文獻〔32—

219) ①，其中蘇聯學者И·К·阿庫里興、Г·И·阿塔倍柯夫、Н·А·巴也夫、Н·Н·加爾諾夫斯基、А·А·戈烈夫、Г·В·多勃魯伏烈斯基、П·Л·卡蘭達羅夫、В·И·郭瓦林柯夫、К·А·克魯格、Н·Н·克里洛夫、А·В·米哈依洛夫、К·М·波利凡諾夫、В·И·西福羅夫、А·А·哈爾凱維奇、М·Г·齊姆巴利斯蒂等人的著作，佔着顯要的地位。

這時綫性網絡理論在電能傳輸技術、電信技術、無綫電技術、電聲技術等各種不同領域內得到了極其廣泛的應用。並且最近已開始利用綫性網絡理論來解決一向祇能用麥克斯韋電磁理論才能解決的問題〔71、98、170、208〕。應用綫性網絡理論也解決了許多有關非綫性回路的問題〔39、44、99〕。

宇宙間自然現象的統一，正如列寧所寫的《在關於各種現象領域的微分方程底“驚人類似”中顯示出來》②，這也在綫性網絡理論方面找到了鮮明的表現。

例如，由於蘇聯學者：科學院院士Н·Г·勃魯也維奇、М·В·基爾皮切夫、Г·М·克爾日讓諾夫斯基、А·Н·克里洛夫、Н·Н·巴甫洛夫斯基，以及Н·С·勃魯克、С·А·蓋爾什戈凌、Л·Н·谷金曼赫爾、Н·В·柯羅列柯夫等的工作，創立了機械數學的新領域，機械數學就是利用電氣回路來模擬物理現象為基礎的〔55、71、171〕。

同時，綫性網絡理論也很成功地用來解決《非電工範圍》的問題：例如，自動控制與跟蹤系統〔60、135、146—148、179、192〕、機械學及聲學〔36、59、60、107、116、143、180—182、207、

① 其中列舉的著作並不十分完備，但由此可清楚知道，關於綫性網絡文獻數量之多，以及利用綫性網絡理論所解決問題的多樣性。

② В·И·列寧，“唯物論與經驗批判論”，東北書店1949年再版第260頁。（В·И·Ленин, Материализм и Эмпириокритицизм, ОГИЗ, 1948, Стр.272）

216)、光學〔216, 第77頁〕,以及原子物理學等等〔209、213〕。

因此,綫性網絡理論以它的內容和性質來說,已經超出了理論電工這一課程的範圍。毫無疑義,將網絡理論作為一門獨立的學科來研究和發展的時候已經到來。

我們應該根據什麼原則來建立這門學科呢?

上面已經講過,網絡理論是應用了電動勢、電阻、電感、四端網絡等概念而由電氣回路元件的具體內容中抽象出來的。

在這樣的意義下,網絡理論與幾何學具有一定的相似點,《幾何學上的定理是把具體對象加以抽象化,把各種對象看成沒有具體性的物體,並在決定它們之間的相互關係的時候,不當成某些具體對象間的具體關係,而當成一般沒有任何具體性的物體間的相互關係》^①。

因而網絡理論可以而且也應該依照與幾何學同樣的原則來建立,即是根據用經驗選出的某些最根本的基本定義和假設來建立。

用這樣方式構成的網絡理論,既便於討論與作進一步研究,亦便於在實踐上,尤其是在《非電工》範圍內的應用。

雖然如此,但到目前為止,還沒有一本書能完全依據上述原則來敘述網絡理論。這個原則時常被忽略,這可拿克隆的《網絡的張量分析》〔215〕一書作為例子。該書的基本假設中,除了克希荷夫定律外竟列入了某些,歸根結底可以從這一定律中推導出來的理論。不僅如此,克隆所假設的原理中,有一個原理(網絡變換時功率的不變性)在一般情況下是完全不真實的〔50、218〕。

考慮到上述情況,作者打算本簡上述原則對綫性網絡的原理給

① 斯大林,“馬克思主義與語言學問題”,人民出版社第22頁,(И. Сталин. Марксизм и Вопросы Языкознания, Изд. «Правда», 1950, Стр. 20.)

以普遍的和有次序的說明，作為本書的第一個任務。

網絡理論的重要部分乃是綫性多端網絡理論〔104、121、129、173、182、209、210、214〕。這理論一方面可用來建立二端網絡、四端網絡等的理論；另一方面，亦可直接用來解決各種實際問題。特別是多端網絡理論，可用來設計變壓器〔106〕、濾波器〔210〕、電氣機械變換器〔182〕、振動桿件等。

雖然綫性多端網絡有着巨大的實用價值，但對此種網絡的研究，即以所謂無源多端網絡（即其內部沒有電源的）來說，也都遠遠不夠。至於對有源多端網絡，即其內部包含電源的多端網絡，以前則更是完全沒有研究過。

在多綫制綫路上傳輸電能，消除雜音，具有電子管的複雜電路的計算等等方面的很多問題的解決，尚需要對多端網絡理論作更深入的研究，並將它推廣到有源系統。

上述對綫性多端網絡理論的深入與推廣，是本書的第二個任務。

對於四端網絡理論的研究情況，則好得多〔35、38、39、53、58、61—64、70、73、75、80—85、87—91、93、105、114、119、123、125、130、168、181、183、184、187、189、190、196、197、205、209—212、216〕。

這些文獻中之所以對四端網絡理論予以注意的原因是：它是綫路理論〔35、65、73、74、93、115、116、〕、變壓器理論〔35、43、44、57、77、116〕、濾波器理論〔34、35、56、72、73、83、85、87、94、95、105、116、125、187、194、197、209—212、216〕、放大器理論〔39、42、44、53、82、90、91、168、205、211〕等的基礎；並也是用來直接計算複合網絡〔39、82、177、

184、200、202) 的基礎理論，它具有十分重大的實際意義。

但是四端網絡理論，以它的現代形式來說，也還是不夠普遍的。事實上，到目前為止，四端網絡理論多半是致力於研究無源系統和具有非獨立電源的有源系統。

而有獨立電源的有源四端網絡，現在剛剛開始研究其中的一種形式，即具有分佈參數與串聯電源的四端網絡。創立這種四端網絡理論的功績應歸於蘇聯科學院通信院士 $B \cdot H \cdot$ 郭瓦林柯夫。他成功地將此理論應用到分析磁路，天綫等上去〔116〕。最近，本書將 $B \cdot H \cdot$ 郭瓦林柯夫的理論作了一些發展，即將它推廣到具有並聯電源的系統和具有混聯（又串聯又並聯）的電源系統中〔93〕。

至於具有獨立電源和集中參數的有源四端網絡，則至今還沒有看到說明它們的普遍理論的著作；而對同時具有獨立電源和非獨立電源的有源四端網絡的普遍理論，也沒有專門研究的著作。

在解決極重要的電工問題時，會用到後兩種類型的四端網絡，譬如說，放大器中消除內部雜音的有害影響問題等，這問題在近代無綫電技術中是具有重大的意義。

因此本書的第三個任務，乃是建立綫性四端網絡的統一的理論，這統一的理論包括任何類型的綫性四端網絡：無源和有源的，具有非獨立電源和獨立電源的，具有分佈參數或集中參數的。

因此本書包括三個互有聯繫的部分。

第一部分敘述綫性網絡普遍理論的開端（基本定義和假設、網絡理論的基本定理與網絡的分析法）。

第二部分作為這些材料的發展，敘述綫性多端網絡的普遍理論。

最後，第三部分內，在以上的基礎上更詳細地敘述了綫性四端

網絡的普遍理論。

在上述的每一個部分內，都舉例說明理論在實際上的應用。還廣泛地採用了矩陣代數這一工具〔220—223〕；因而在書末的附錄中給出必要的，然而足夠用以通曉本書所述材料的部分矩陣代數知識。

目 錄

原書編者序

作 者 序

緒 言

第 一 部 分

網絡理論的開端

第一章 電氣網絡的基本知識

- 1.1 網絡的無源元件 (1)
- 1.2 網絡的有源元件 (9)
- 1.3 元件的組合 (11)
- 1.4 對偶原理及對偶網絡 (19)
- 1.5 網絡的幾何特性 (23)
- 1.6 網絡中功率的平衡 (30)
- 1.7 符號法 (33)

第二章 綫性網絡的直接分析法

- 2.1 綫性網絡分析法的分類 (42)
- 2.2 支路電流法 (45)
- 2.3 支路電壓法 (48)
- 2.4 迴路電流法 (51)
- 2.5 節點電壓法 (61)

第三章 綫性網絡的間接分析法

- 3.1 分支法 (73)
- 3.2 疊加法 (74)

3.3 補償法	(76)
3.4 互易法	(84)
3.5 等效電源法	(88)
3.6 星形網絡變換成多角形網絡以及多角形網絡變換成星形 網絡的方法	(94)
3.7 電感耦合化除法	(107)
3.8 多端網絡法	(112)

第 二 部 分

多端網絡原理

第四章 綫性 N 端網絡理論

4.1 多端網絡的分類	(114)
4.2 N 端網絡電流與電壓間的關係	(120)
4.3 N 端網絡的參數	(127)
4.4 N 端網絡的相互聯接法	(132)
4.5 二端網絡—— N 端網絡的特殊情形	(134)
4.6 N 端網絡與二端網絡的聯接	(136)
4.7 N 端網絡的矩陣	(138)
4.8 N 端網絡的代換網絡	(145)
4.9 N 端網絡理論的應用例子	(150)

第五章 綫性 $2n$ 端網絡理論

5.1 $2n$ 端網絡的基本方程	(153)
5.2 $2n$ 端網絡的參數	(155)
5.3 $2n$ 端網絡各種聯接法的計算公式	(157)
5.4 $2n$ 端網絡聯接的正規性	(159)
5.5 $2n$ 端網絡與二端網絡的聯接	(165)
5.6 $2n$ 端網絡的矩陣	(168)

5.7	2 n 端網絡的代換網絡	(176)
-----	----------------------	---------

5.8	2 n 端網絡理論的應用例子	(179)
-----	------------------------	---------

第六章 綫性 $p+1$ 端網絡理論

6.1	$P+1$ 端網絡的基本方程及參數	(187)
-----	-------------------------	---------

6.2	$P+1$ 端網絡的相互聯接法	(189)
-----	-----------------------	---------

6.3	$P+1$ 端網絡與二端網絡的聯接	(191)
-----	-------------------------	---------

6.4	$P+1$ 端網絡的矩陣	(192)
-----	--------------------	---------

6.5	$P+1$ 端網絡的代換網絡	(196)
-----	----------------------	---------

6.6	$P+1$ 端網絡理論的應用例子	(196)
-----	------------------------	---------

第七章 綫性 $2(p+1)$ 端網絡理論

7.1	$2(P+1)$ 端網絡的基本方程	(199)
-----	-------------------------	---------

7.2	$2(P+1)$ 端網絡的參數	(202)
-----	-----------------------	---------

7.3	$2(P+1)$ 端網絡各種聯接法的計算公式	(207)
-----	------------------------------	---------

7.4	$2(P+1)$ 端網絡聯接的正規性	(214)
-----	--------------------------	---------

7.5	$2(P+1)$ 端網絡與二端網絡及 $P+1$ 端網絡的聯接	(218)
-----	---------------------------------------	---------

7.6	$2(P+1)$ 端網絡的矩陣	(222)
-----	-----------------------	---------

7.7	$2(P+1)$ 端網絡的代換網絡	(229)
-----	-------------------------	---------

7.8	$2(P+1)$ 端網絡理論的應用例子	(230)
-----	---------------------------	---------

第三部分

四端網絡原理

第八章 四端網絡—— $2(p+1)$ 端網絡的特殊情形

8.1	《四端網絡》這一名詞的含義	(237)
-----	---------------------	---------

8.2	四端網絡的基本方程	(238)
-----	-----------------	---------

8.3	四端網絡的參數	(241)
-----	---------------	---------

8.4	四端網絡各種聯接法的計算公式	(248)
-----	----------------------	---------

8.5	四端網絡聯接的正規性	(253)
-----	------------------	---------