

現代应用数学丛书

网络理论

〔日〕喜安善市 大野克郎 池野信一 著

上海科学技术出版社

現代应用数学丛书

网 絡 理 論

喜安善市

〔日〕大野克郎 著

池野信一

陆 志 剛 譯

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本书是日本岩波书店出版的现代应用数学丛书之一的中译本,重点介绍网络的综合理论。共分两篇9章。第一篇7章,叙述网络的基础理论和传输四端网络的设计方法,对二端及四端网络的逼近问题、实现问题、等效问题作了系统扼要的讨论。第二篇2章介绍多端网络理论,主要属于本书作者大野克郎的工作。

本书可供数学工作者及有关的工程技术人员、科研工作者参考。

现代应用数学丛书

网 絡 理 論

原书名 回路網理論

原出版者 岩波书店, 1957

喜安善市

原著者〔日〕大野克郎

池野信一

譯 者 陆 志 剛

*

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

上海市书刊出版业营业许可证出 093 号

新华书店上海发行所发行,各地新华书店经售

商务印书馆上海厂印刷

*

开本 850×1168 1/32 印张 4 30/32 字数 114,000

1963年6月第1版 1963年6月第1次印刷

印数 1—5,000

统一书号: 13119·511

定 价: (十四) 0.84 元

出版說明

这一套书是根据日本岩波书店出版的“現代应用数学讲座”翻譯而成。日文原书共 15 卷 60 册, 分成 A、B 兩組, 各編有序号。現在把原来同一題目分成兩册或三册的加以合并, 整理成 42 种, 不另分組編号, 陸續翻譯出版。

这套书涉及的面很广, 其內容都和現代科学技术密切有关, 有一定参考价值。每一本书收集的資料都比較丰富, 而叙述扼要, 篇幅不多, 有利于讀者以較短時間掌握有关学科的主要內容。虽然, 这套书的某些观点不尽适合于我国的情况, 但其方法可供参考。因此, 翻譯出版这一套书, 对我国学术界是有所助益的。

由于日文原书是 1957 年起以讲座形式陸續出版的, 写作時間和篇幅的限制不可避免地会影响原作者对內容的处理, 为了尽可能地减少这种影响, 我們在每一譯本中, 特請譯者或校閱者撰写序或后記, 以介紹有关学科的最近发展状况, 并对全书內容作一些評價, 提出一些看法, 結合我国情况补充一些資料文献, 在文內过于簡略或不足的地方添加了必要的注釋和改正原书中存在的一些錯誤。希望这些工作能对讀者有所帮助。

承担翻譯和校閱的同志, 为提高书籍的质量付出了巨大劳动, 在此特致以誠摯的謝意。

欢迎讀者对本书提出批評和意見。

上海科学技术出版社

譯 者 - 序

各个元件所組成的一个系統都可看成为一个网络。网络理論就是研究网络的普遍定律及其計算方法的理論。近一百多年来,网络理論已經形成为一門独立的学科,并且在各个不同領域內得到了广泛的应用。

本书叙述了网络理論中,特別是綫性无源网络的綜合理論中,近数十年来的主要結果,国内这类书籍极少,确是值得介紹的一本。其优点是內容精练、編排妥善。当然,伴随而来的缺点是証明不严格,或者只能知道最后結果,看不到中間細節。此外,本书的內容还只是网络理論中一部分成果,远不是网络理論的全貌。

下面想对各个章节再作些补充說明。

第1章

近年来,网络理論的新兴学科分支很多,其中特別重要的,还有应用在微波范围的**微波网络**或**立体网络理論**,与近年来发展起来的参量放大器密切有关的**变参量网络理論**,以及从网络观点上研究信息傳輸的**信息网络理論**。

事实上,网络理論依靠近代数学工具开辟了各个方向,这些方向大致有

1. 拓扑学在网络理論上的应用——网络拓扑理論,
2. Boole 代数在网络理論上的应用——开关网络理論,
3. 矩陣及張量在网络理論上的应用——多端网络理論,
4. 場論在网络理論上的应用——微波网络理論,
5. 非綫性微分方程在网络理論上的应用——非綫性网络理

論,

6. 变系数微分方程在網絡理論上的应用——变参量網絡理論，

7. 函数論在網絡理論上的应用——網絡綜合理論，

8. 概率論和統計数学在網絡理論上的应用——信息網絡理論，

本书所述的網絡理論，主要是函数論的方向，亦就是近数十年来，主要的方向——網絡綜合。

網絡綜合理論主要包括三个方面，第一是逼近理論，第二是实现理論，第三是等效理論。逼近理論即是如何由实践給出的条件，近似地化成可实现網絡的必要和充分的条件。实现理論主要研究一个物理可实现網絡所必須滿足的条件和能够求出網絡結構及元件数值的充分条件。等效理論即是在保持某种对外关系下，由一种結構变换成另一种結構的普遍方法。本书在这三方面都談到一些，但重点是在实现理論。

第1章內，把实部和虛部的关系作为綫性網絡的性质放在最后，似乎另立一章更相宜。这里只列出了其間的关系，至于这些关系的詳細証明以及如何使用曲綫或数表近似地計算，請参閱 Bode^①，Tuttle^②，Thomas^③。

第2章

对于二端網絡的一些定理，这本书写得很好。讀者若要知道細节，可以参考 Tuttle^②。在二端網絡理論內，除了正实函数外，

① H. W. Bode: Network analysis and feedback amplifier design, D. Van Nostrand, New York, 1945.

② D. F. Tuttle, Jr.: Network Synthesis, John Wiley & Sons, New York, 1958.

③ D. E. Thomas, Tables of phase associated with a semi-infinite unit slope of attenuation, B. S. T. J., 26(1947), 870~899.

还可加入損耗函数的概念^①, 損耗函数或称閔乃大函数^②, 它的定义是满足下列条件的函数 $W(\lambda)$:

- (1) λ 为实数时 $W(\lambda)$ 为实数,
- (2) $W(\lambda)$ 在 λ 的右半閉平面上是正规的, 但 $\lambda \rightarrow \infty$ 时可能是例外, $W(\lambda)$ 在 $\lambda = \infty$ 允許有一个单阶极点,
- (3) 在 λ 的虚軸上, $\operatorname{Re} W(\lambda) > 0$, 但 $\lambda \rightarrow \infty$ 时可能是例外, $W(\lambda)$ 在 $\lambda = \infty$ 允許有一个单阶零点, 此时 $\operatorname{Re} W^{-1}(\lambda)$ 必須是正的实数。

損耗函数在处理帶損耗的电抗元件所构成的网络时很有用^③。此外, 近年来对于 Bott-Duffin 綜合法提出了許多种变形^④, 对于不是有理的正实函数亦有許多討論^⑤。这一章最后提到的宮田方法現在已被推广^⑥。

① 参看閔乃大: Verwirklichung von linearen Zweipolschaltungen vorgeschriebener Frequenzabhängigkeit unter Berücksichtigung der Verluste von Spulen und Kondensatoren, Arch. Elektrotech., 39(1949), 359~387.

② 参看 Б. В. Бугаков: Колебания, Москва, Техникотеоретической литературы, 1954.

③ 参看閔乃大: Verwirklichung von linearen Vierpolschaltungen vorgeschriebener Frequenzabhängigkeit unter Berücksichtigung übereinstimmender Verluste aller Spulen und Kondensatoren, Arch. Elektrotech., 39(1949), 452~471.

④ 参看 R. H. Pantell: New methods of driving-point and transfer-function synthesis, Stanford University Tech. Rept., 1954, Proc. IRE, 42(1954), 861, 及 J. E. Storer: Relationship between the Bott-Duffin and Pantell Impedance Synthesis, Proc. IRE, 42 (1954) 1451 和 F. M. Reza: A Bridge Equivalent for a Brune Cycle Terminated in a Resistor, Proc. IRE, 42(1954), 1321.

⑤ 参看 L. Weinberg, Progress in the United States During 1957~1960 on Circuit Theory, Jour. of Research of the National Bureau of Standards, 64D (1960), No. 6, 687~706.

⑥ 参看 E. A. Guillemin: New Methods of Driving-point and Transfer Impedance Synthesis, Proc. Symposium Modern Network Synthesis (1955), 119, 及 E. S. Kuh: Special Synthesis Techniques for Driving-point Impedance Functions, Trans. IRE, CT-2 (1955), 302.

第3章

這一章的內容是網絡理論的基本知識。§ 20 是 Cauer 的电抗四端網絡綜合方法，詳細的証明可參看他的原著^①。这里只讲了給定阻抗矩陣的綜合方法，应注意这种方法同样能用于电抗四端網絡的導納矩陣。此外，Piloty^② 还給出了电抗四端網絡鎖联矩陣

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}$$

的必要和充分条件为

(1) A, B, C 和 D 都是实系数的有理函数， A 和 D 是 λ 的偶函数， B 和 C 是 λ 的奇函数。

(2) $AD - BC \equiv 1$ 。

(3) $A + B + C + D$ 在 λ 的右半閉平面上沒有零点。

綜合的方法也是利用图 19.1, 图 20.4 和图 20.5 等網絡的鎖联。(20.9) 这些公式的推导，參看上列 Piloty 的論文，更容易理解。

第4章

这一章主要是 Zobel 和 Cauer 的結果，內容比較陈旧。按譯者管見，讀者不一定要在影象参数理論上化太多時間。

第5章

与影象参数理論比較，工作参数理論似乎更实用，理論更完

① W. Cauer: Theorie der linearen Wechselstromschaltungen, Bd I, 2te Auflage, Berlin, Akademic Verlag, 1954; Bd II, Berlin, Akademic Verlag, 1960.

② H. Piloty: Kanonische Kettenschaltungen für Reaktanzvierpole mit vorgeschriebenen Betriebseigenschaften, T.F.T., 29(1940), Heft 9, 10, 11; Über die Realisierbarkeitssätze der Kettenmatrix von Reaktanzvierpolen, T. F. T., 30 (1941), 217~223.

美。這一章內，讀者可以仔細体会 Cauer 如何由給定的電抗四端網絡的 S , M 或 N 求出阻抗矩陣或導納矩陣，從而用第 3 章的方法把網絡綜合出來。Cauer 又按濾波器的要求適當地規定了特性函數 φ ，得出了目前較完善的工作參數濾波器設計理論^①。

1955 年，閔乃大証明損耗四端網絡的工作傳輸函數總可以用無互感的損耗四端網絡實現出來^②，且給出了實現方法。對於任意的四端網絡，還需要繼續研究它們的實現方法。

第 6 章

網絡理論中，逼近問題是一個重要問題，同時又是數學領域內逼近理論的直接應用。網絡理論內，按照網絡的特性是用頻率函數還是用時間函數來描述的，就有頻率域的逼近和時間域的逼近之分。頻率域和時間域雖然以 Fourier 變換關聯起來，但是它們的逼近誤差之間的关系是一個中心問題。1954 年 Winkler 對於網絡的逼近理論作了綜述^③，讀者可以從他列出的 240 篇文獻中找到關於這方面的討論。在頻率域上，值得注意電位模擬的方法^④以及 Darlington 的 Tschebyscheff 多項式級數的方法^⑤；在時間

① 可參看上頁腳注中 W. Cauer 的書和 R. Saal and E. Ulbrich: On the Design of Filters by Synthesis, Trans. IRE, CT-5(1958), 284~327; 及 R. Saal: Der Entwurf von Filtern mit Hilfe des Kataloges normierter Tiefpässe, Frequenz, 15(1961) Nr. 4, 111~121 以及 V. Fetzner: Die numerische Berechnung von Filterschaltungen mit Tschebyscheffschem Verhalten der Betriebsdämpfung nach der Methode von W. Cauer, A. E. Ü., 6 (1952), 419~431.

② 閔乃大：線性網絡中預給工作傳輸函數由損耗網絡元素實現的理論，科學出版社，1957。

③ S. Winkler: The approximation problem of network synthesis, Trans. IRE, CT-1, 3(1954), 5~20.

④ 參看 A. R. Boothroyd: Design of Electric Wave Filters with the Aid of the Electrolytic Tank, Proc. IEE, IV, 98(1951). S. Darlington: The Potential analogue method of Network synthesis, B. S. T. J., 30(1951), 315~335.

⑤ 參看 S. Darlington: Network Synthesis using Tschebyscheff polynomial Series, B. S. T. J., 31 (1952), 613~665.

域上,应注意正交函数的方法^①。此外,即使有了逼近理論,实际应用时还是离不了精确的計算,所以电子数字計算机在網絡理論上的应用是不容忽視的^②。

第7章

这一章叙述的特殊四端網絡理論,虽然是一般四端網絡理論的特殊或推广情况,但由于存在它們独特的条件或限制,这些理論仍在網絡理論中占重要地位。

关于 RC 網絡,除了书內談的 Guillemin 和尾崎的工作外,譯者认为还可以注意 Fialkow 和 Gerst 的工作^③以及 Dasher 的工作^④。此外,林在旭曾对 RC 四端網絡的工作傳輸函数提出必要条件,且討論了 RC 網絡的影象参数理論和鎖联实现法。

本书作者池野曾在分布参数網絡,特别是书內所談的分布参数網絡上,进行过一些研究,他曾利用这种理論实际設計了超高频波段的滤波器^⑤。

第二篇

这一篇基本上是大野克郎本人工作的重写,請参看他的

① 参看李郁荣: Statistical Theory of Communication, John Wiley & Sons, Inc. 1960 及 Synthesis of electrical networks by means of the Fourier transforms of Laguerre's functions, J. M. P., 11(1932), 83~113.

② 参看 T. R. Bashkow and C. A. Desoer: Digital computers and Network theory, IRE WESCON Conv. Rec., 1957, pt. 2, 133~137 及 Trans. IRE, CT-8 Sept. 1961, 用計算机設計網絡专集。

③ A. D. Fialkow and I. Gerst: The Transfer Function of an RC Ladder Network, J. M. P., 30(1951), 49~72.

④ B. J. Dasher: Synthesis of RC Transfer functions as unbalanced two terminal-pair networks, Trans. IRE, PGCT-1(Dec. 1952), 20~34. 还可参看 E. A. Guillemin: Synthesis of passive Networks, John Wiley & Sons., New York, 1957.

⑤ 池野信一: 分布参数滤波器的一种設計理論, 电气通信学会杂志, 35(1952), 544~549 及分布参数網絡的合成, 电气通信学会杂志, 42(1959), 585~591.

原著^①。

最后,总觉得本书内沒有介紹网络拓扑方面以及有源网络綜合方面的成就是一个不足。有关这两方面以及网络理論其他方面的最近进展,讀者可參閱 Cauer 的书^②及 Weinberg 的綜合性文章^③。

① 大野克郎,安浦龟之助,按照 s 矩陣的一般多端网络的构成理論,电气通信学会杂志, 36(1953), 564~570; 大野克郎, Application of Scattering Matrices to the Synthesis of n Ports, Trans. IRE, CT-3 (1956), 111~120.

② Cauer, Synthesis of Linear Communication Networks, Vol. I, II, McGraw-Hill Co., 1958, 附录 5.

③ 見第 3 頁脚注⑤。

序

网络理论受到两方面的关心，一方面是直接处理网络本身的电工程、通信工程和控制工程，另一方面是数学，数学上感兴趣的是它的应用。无论从哪方面看，网络理论和其他应用数学有所不同。它不仅提供了机器设计的手段，且能把机器引导出来。网络的直观和网络的解释也象几何学的直观和几何学的解释一样，可以在数学研究上发挥重要的作用。

撰写本书时，考虑到网络理论的上述特点及其广泛的应用，所以重点在于阐明基础概念和系统讲述，同时亦收集了最近的成果，留意了发展的方向。第一篇讨论网络的基础概念和应用上最感兴趣的传输四端网络的函数论设计方法，第二篇作为网络理论核心，叙述多端网络综合理论和与此有关的等效网络理论。关于网络的问题，还有自动控制的网络和立体网络等等。前者在本丛书的另一本内讨论；后者由于篇幅的限制，只能割爱，对于这种网络，在它们本部门内说明，相信会足够理解的。

由于水平的限制，我们很担心本书能否满足读者的期望，希望批评指正。

作者 1957年3月

目 录

出版說明

譯者序

序

第一篇 基础理論和傳輸四端網絡的設計理論	1
第1章 緒論	1
§1 網絡理論的意義和發展	1
§2 網絡的基本概念	2
§3 網絡的分類	4
§4 綫性網絡的性質	6
第2章 二端網絡	14
§5 阻抗和導納	14
§6 基本元件	15
§7 集中參數網絡	17
§8 能量原理和正實函數	18
§9 倒量網絡和補量網絡	25
§10 電抗函數	26
§11 Hurwitz 多項式	28
§12 RL 和 RC 網絡	31
§13 二端網絡的綜合	32
第3章 四端網絡	40
§14 四端網絡	40
§15 四端網絡的表達方法	41
§16 傳輸系數	44
§17 影象參數	46
§18 四端網絡的結合	48

§ 19 简单的四端网络及其变换	49
§ 20 电抗四端网络	52
第4章 影象参数理论	57
§ 21 电抗四端网络的影象参数	57
§ 22 定 K 型和 m 诱导型方法	60
§ 23 对称和反对称滤波器	62
第5章 工作特性理论	66
§ 24 工作传输系数的性质	66
§ 25 电抗四端网络的传输系数	68
§ 26 在二端网络综合理论上的应用	73
第6章 逼近理论	74
§ 27 逼近的意义和方法	74
§ 28 Fourier 级数	74
§ 29 位论的应用	76
§ 30 滤波器	79
§ 31 频率变换	86
§ 32 延迟网络	87
§ 33 时间域上的逼近理论	89
第7章 特殊网络	94
§ 34 RC 网络	94
§ 35 分布参数网络	97
§ 36 非互易网络	103
第二篇 多端网络理论	107
第8章 基础理论	107
§ 37 绪论	107
§ 38 理想变压器网络和线性变换	112
§ 39 电阻多端网络的综合	114
§ 40 正实矩阵	115
§ 41 电抗 $2n$ 端网络的综合	120
§ 42 $2n$ 端网络综合的概要	120

第9章 多端网络和 S 矩阵	125
§ 43 有关 S 矩阵的基本定理	125
§ 44 滤波器和 S 矩阵	128
§ 45 全通网络	129
§ 46 利用 S 矩阵的 $2n$ 端网络综合法	130
§ 47 非互易 $2n$ 端网络	139
参考文献	141

第一篇^① 基礎理論和傳輸

四端網絡的設計理論

第1章 緒 論

§1 網絡理論的意義和發展

網絡理論，簡單地說，就是電網絡的響應特性的學問。它的數學內容，極少說只在電網絡中有意義。換言之，如果關於電流和電壓的語言各用力和速度或熱量和溫度等代替，則結果在形式上也是成立的。這相當於 D. Hilbert 在幾何學中把點、直線、平面代成桌子、椅子、黑板的構成。可是，溫度的情形另作別論，力和速度，特別是音壓和速度的情形，不僅在語言上有形式的對應，而且有物理實體的對應。因此，常採用機械系統的等效電網絡的概念，網絡理論不僅在電工程中，而且在極廣泛的應用領域中都在發展。這反映了網絡理論作為數學的一個分支有着廣闊的前途。

網絡理論是和電通信技術的發展一起成長起來的。電報或電話的通信距離愈益增長，結果使綫路費用大大增加，為了經濟地利用這種價格高昂的綫路，才開始對信號的傳輸進行了系統的研究，由於這一環，就建立了現在的網絡理論。歷史上，Kelvin 爵士關於海底電纜傳輸電報符號的研究，代表了一維連續體上波的傳播研究的開始，其後進入這種模型的集中參數網絡的研究，但到現在，卻把集中參數時間不變的網絡當作理論體系的基础。

另一方面，又從網絡分析發展到網絡綜合，從互易網絡發展到非互易網絡，從綫性網絡到非綫性網絡，從無源網絡到有源網絡以

① 第一篇由池野執筆。

及向更一般方向发展。

§2 网络的基础概念

給定了一个含有导体的物理系統内部的电磁情况,利用边界条件和初始条件进行計算,求出这导体上流动的电流分布,这是电磁学的问题。可是,这种系統可分成全用理想的导綫^①联接起来的若干部分,各部分除了有流过这种导綫的电流以外,假定沒有其他能量上的交换。在考虑这种系統的问题时,网络理論不涉及各部分的内部現象,只着重討論流过各导綫的电流的相互关系。这里已經不出現与空間坐标有关的偏微分方程,而只有時間的函数,至多是可数个变量之間的关系問題,这和力学中质点或剛体等问题有点相似。研究电流的相互关系时,单靠电流来描述网络的現象,实际上是极不方便的,在力学中,除速度以外,还有力的概念。同样,現在采用另一个量电压。它和电流的乘积即为功率,是表示单位時間內能量移动的一个量。

上述的部分系統叫作(网络)元件,它的内部不是网络理論的討論对象,它的性质仅通过和外面联接的导綫观测到的現象規定出来。例如,天綫可以考虑为在其内部包函电波輻射空間、反射体等具有两条接綫的元件。可是,对于普通的网络,不是指如此一般的东西,只限于象第2章所述的称为基本元件的几种元件。

为了使网络中的电流流动,必須具有电流之源。这称为电源^②。还有一种元件,它为了实际使用,能使加入的信号电流的能量变成其他形式,例如变成声波能量,这种元件通常称为負載。在

① 理想的导綫是从它的一端傳送电流至另一端时沒有能量損失也沒有延迟的导綫。

② 电源的名称是对电力关系的网络而言,此时有能量傳輸的問題;对于通信关系的网络,主要是电流的时间变化即波形問題,此时叫作信号源更为恰当。这种意义上的电源,必須和下节所述的作为能源的有源元件相区别。