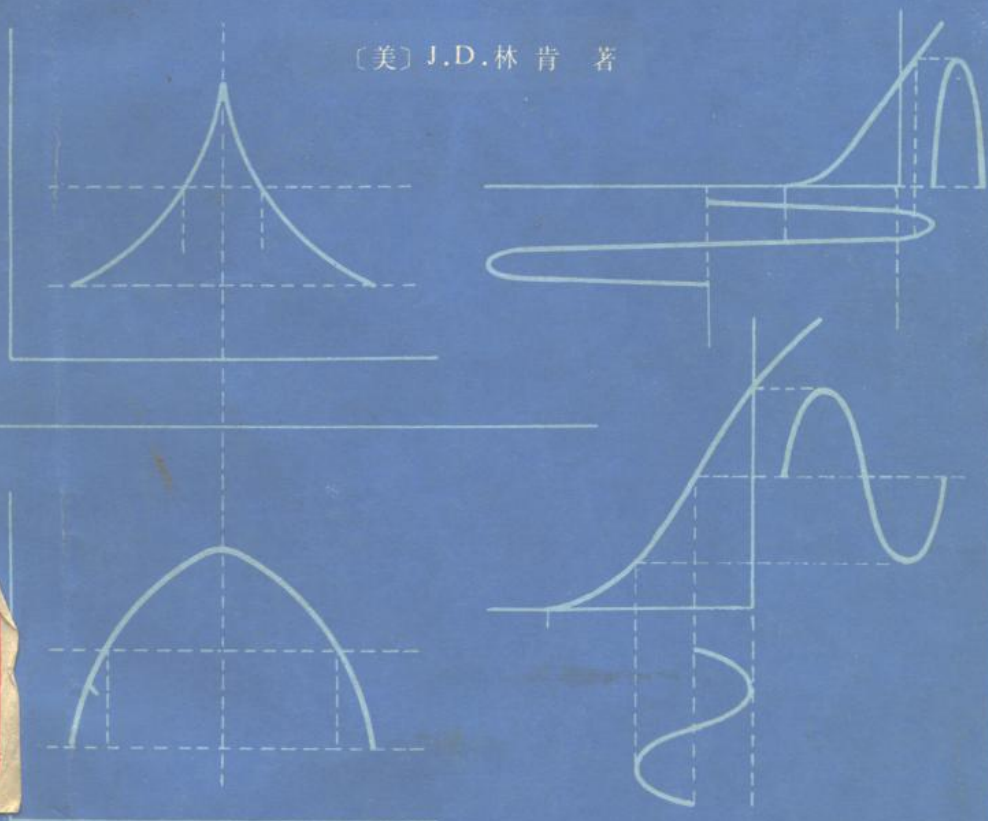


电子电路设计手册

[美] J.D. 林肯 著



科学普及出版社

电子电路设计手册

〔美〕 J.D. 林肯 著

王增福 译
曲学基

杨龙生 等 校

科学普及出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了滤波器、衰减器、音频放大器、射频放大器、波形产生电路、振荡器等各种晶体管电路的设计；给出了从设计开始，直到一些典型的实例，阐述了电路的各种实际用途和电路选择的准则。

该书的特点是尽量避免繁琐的数学推导和理论分析，力求用浅而易懂的语言、巧妙的方法表达成一些用简单的算式便可求解的基本方程，对于初中级技术人员有较大的实用价值。

本书可供具有中等以上文化水平的技术人员、工人及业余爱好者使用，也可供从事电子线路的技术人员和高等院校有关专业的师生参考。

*

Handbook of Electronic Circuit Designs

John D. Lenk

Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 1976

*

电子电路设计手册

〔美〕J.D. 林肯 著

王增福 曲学基 译

杨龙生 等 校

封面设计：王序德

科学普及出版社出版（北京白石桥紫竹院公园内）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

河北省唐山地区印刷厂印刷

开本：787×1092毫米 1/32 印张：12 字数：265千字

1981年10月第1版 1981年10月第1次印刷

印数：1—36,000册 定价：1.00元

统一书号：13051·1191 本社书号：0232

11/60

序 言

作者的电子电路设计方法最早出现在他的畅销书《固体电路简化设计手册》中，这种设计方法是在假设一个特定的设计目标和给定一组条件下，并在实验的基础上提供选择电路元件值的近似方法和准则。本手册遵循同样的设计途径，并着重于电子电路设计的简单、实用方法，而不着重于电路分析，仅在实际设计需要时才涉及到理论问题。

任何电子电路都可应用某些准则来选择其元件的数值。这些准则用基本方程来阐明，而方程之解仅需简单运算就可。元件的数值取决于晶体管的特性、可提供的电源所希望的性能（电压放大率、稳定度等）和外电路条件（输入-输出阻抗匹配、输入信号幅度等）。

晶体管特性是从制造厂家技术数据表和其他文献中得到的。在恰当要求晶体管特性基础上就能决定电子线路的特性。往往最后得到的电路是所要求的性能和可得到的特性之间多次折衷的结果。本手册从简单、实用观点出发讨论了有关折衷的问题。

假定读者已精通作者的《晶体管手册》中讲述的晶体管基础（包括双结型晶体管、场效应管、单结管）。特别重要的是读者能解释晶体管的各种数据表。因而，为了理解和使用本书，不必参考作者以前出版的任何书籍。

本手册包括广泛的电子电路设计。目录中列出了详细的编录。简单说来，本书包括滤波器、衰减器、放大器（音频

和射频)、波形发生器、光敏电路、开关电路和振荡器电路设计。

因为本书不要使用高深数学或理论研究,所以它对实验人员是很理想的。另一方面,这本手册适用于以电路分析为基本教学方法并以实际设计为主的学校。

作者在写这本书时得到了各界人士和单位的大力协助,谨对下述单位致以深切谢意:通用电气公司半导体产品部;莫托洛拉(Motorola)公司半导体产品部;德克萨斯(Texas)仪器公司元件组和美国无线电协会固体电路部。作者还要感谢洛杉矶瓦利学院的J.A.罗伯特先生。

J.D.林 肯

36411

译 者 的 话

本书用通俗易懂的方法深入浅出地对滤波器、衰减器、音频放大器、射频放大器、光敏电路、波形产生电路、开关电路、振荡器等电子线路作了介绍，从设计开始，直到一些典型实例，并且介绍了电子线路的实际用途及实现它们的手段，给出了电路选择的准则。

该书的特点是尽量避免了繁琐的数学推导和理论分析，力求用浅而易懂的语言、巧妙的方法表达成简单的算术方式便可求解的基本方程，简单明了，有较大的实用价值。

本书1975年在美国初版，1976年再版。在内容上它反映了美国七十年代的电子技术水平，而且是美国某些电子公司、工厂的实际生产的理论基础。书中很多电路、图表、曲线、数据及公式和经验，都是由上述单位提供而且在美国是享有声誉的。

当前，我国正为实现四个现代化而努力，电子技术是实现四个现代化的一门重要学科，普及和提高这方面的科学技术知识是当前一项重要任务，本书在这方面能起到借鉴和促进作用。它对于从事电子技术的人员和业余爱好者都是一本较好的参考书。

由于我们水平有限，在翻译过程中可能有不妥甚至错误之处，希望读者批评指正。

中国科学院电子研究所研究员杨龙生及汤德芳、杨康泰等同志对我们的工作给予了大力支持和帮助，并对译稿作了精细的校正，俞天麟工程师对本书的编辑工作大力支持，在此一并表示谢意。

目 录

第一章 滤波器和衰减器的电路设计·····	(1)
1-1 RC 滤波器	
1-2 LC 滤波器	
1-3 有源滤波器	
1-4 衰减器	
第二章 射频 (RF) 电路设计考虑·····	(30)
2-1 射频放大器的谐振电路	
2-2 基本型射频放大器的设计方法	
2-3 射频 (RF) 放大器调谐网络的类型	
2-4 使用压变电容器的射频 (RF) 网络的设计	
第三章 波形发生电路设计·····	(73)
3-1 锯齿波振荡器	
3-2 多谐振荡器	
3-3 施密特触发器	
第四章 光敏晶体管电路·····	(98)
4-1 光敏晶体管原理	
4-2 光敏晶体管静态特性	
4-3 辐射和照射源	
4-4 光敏晶体管的低频与稳态设计方法	
4-5 光敏晶体管的高频设计方法	
第五章 音频(AF) 放大器设计举例·····	(130)
5-1 放大器元件对频率的影响	
5-2 放大器耦合电路设计	
5-3 放大器设计分类	

5-4	单结型晶体管 (UJT) 正反馈放大器	
5-5	基本型双结晶体管放大级	
5-6	基本型场效应晶体管 (FET) 放大级	
5-7	多级晶体管放大器	
5-8	直接耦合晶体管放大器	
5-9	变压器耦合的多级双结晶体管放大器	
5-10	塑料晶体管小功率音频放大器的设计	
第六章	射频 (RF) 放大器设计 举 例	(210)
6-1	射频 (RF) 电压放大器设计要求	
6-2	射频混频器和变频器	
6-3	放大器的自动音量控制——自动增益控制电路	
6-4	射频功率放大器和倍频器的设计要求	
6-5	用数据图表曲线设计射频放大器	
6-6	射频电压放大器设计	
第七章	晶体管开关电路	(257)
7-1	基本型斩波器电路	
7-2	双结晶体管斩波器	
7-3	场效应晶体管 (FET) 斩波器和开关电路	
7-4	晶体管变流器和换流器	
第八章	振荡器电路设计	(329)
8-1	LC 和晶体可控振荡器	
8-2	RC 振荡器	
8-3	阻塞振荡器	
8-4	基本型单结晶体管张弛振荡器	

第一章 滤波器和衰减器的电路设计

滤波器的主要用途是阻止某些频率分量通过，而同时又让某些频率分量或频谱通过。尽管滤波器电路种类很多，有的电路非常简单，有的电路非常复杂，但归纳起来仅有两种基本类型：有源滤波器和无源滤波器。本书所论述的有源滤波器实质上是一固体选频放大器级。无源滤波器有 RC（电阻-电容）滤波器和 LC（电感-电容）滤波器。前者主要用于低频或音频，而后者主要用于高频。滤波器还可以根据设计欲予通过或欲予抑制的频率来分类。四种最基本的滤波器分类如下：

1. 低通滤波器 它能通过低于某选定频率值的所有频率，而衰减高于此选定频率值的所有频率。低通滤波器也叫做高频截止滤波器。

2. 高通滤波器 它能通过高于某选定频率值的所有频率而衰减低于此选定值的所有频率。高通滤波器也叫做低频截止滤波器。

3. 带阻滤波器 也叫做频带阻止滤波器、频带抑制滤波器或频带遏止滤波器。它能抑制某一选定的频带，而通过低于此频带和高于此频带的所有频率。

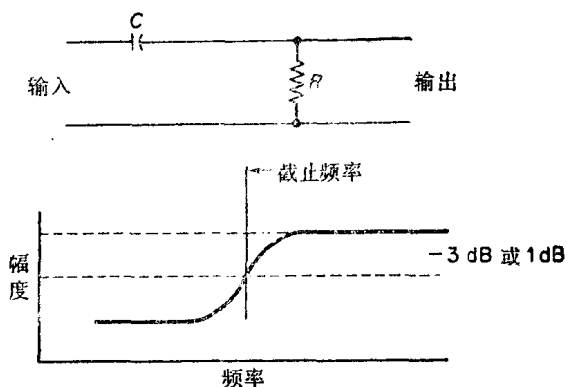
4. 带通滤波器 它能通过一个选定的频带而抑制低于和高于它的所有频率。

与滤波器相似，衰减器的功能是减弱信号强度，但它不是利用选频原理。本书所描述的衰减器，是电阻性网络，用以减弱信号强度并且匹配不同的阻抗。英文中的“attenuater”

(衰减器)和“pad”(缓冲器)是同义词,然而“pad”(缓冲器)可以提供也可以不提供某些衰减,但“attenuater”(衰减器)总是要提供某些衰减的。

本书所讨论的衰减器和缓冲器是用固定电阻组成,它可以分为两类:不对称型的和对称型的。不对称型的输入阻抗和输出阻抗是不相等的,而对称型则有相等的输入和输出阻抗。一般来说,不对称型的缓冲器用于阻抗匹配,但也可以提供某些衰减。对称型的缓冲器主要是作为衰减器,被放在两个具有相等阻抗的器件之间。

1-1 RC 滤波器



$$3\text{ dB 截止频率} \approx \frac{1}{6.28RC}$$

$$3\text{ dB } R(\text{欧姆}) \approx \frac{1}{6.28FC}$$

$$3\text{ dB } C(\text{法拉}) \approx \frac{1}{6.28FR}$$

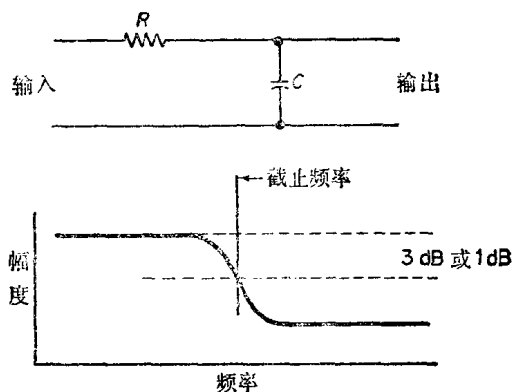
$$1\text{ dB 截止频率} \approx \frac{1}{3.2RC}$$

$$1\text{ dB } R(\text{欧姆}) \approx \frac{1}{3.2FC}$$

$$1\text{ dB } C(\text{法拉}) \approx \frac{1}{3.2FR}$$

图 1-1 基本的高通(低阻)RC滤波器

阻容(RC)滤波器是滤除音频信号的一种最简单的方法。低频是通过一个串联电容和并联电阻(图1-1)滤除的,互换电阻和电容的位置便可滤掉高频(图1-2)。图1-1和图1-2的滤波器实质上是具有如下三要素的RC电路:电阻、电抗和阻抗。RC滤波器产生的衰减量取决于电阻或者电抗与阻抗之比值。



$$3\text{ dB截止频率} \approx \frac{1}{6.28RC}$$

$$3\text{ dB } R(\text{欧姆}) \approx \frac{1}{6.28FC}$$

$$3\text{ dB } C(\text{法拉}) \approx \frac{1}{6.28FR}$$

$$1\text{ dB截止频率} \approx \frac{1}{3.2RC}$$

$$1\text{ dB } R(\text{欧姆}) \approx \frac{1}{3.2FC}$$

$$1\text{ dB } C(\text{法拉}) \approx \frac{1}{3.2FR}$$

图 1-2 基本的低通(高阻)RC滤波器

在图1-1高通(低频衰减)电路内,输入电压既加在电阻上又加在电容器上,输出电压出现在电阻两端。随着频率降低,电抗增大,阻抗亦增大。因为输入电压保持恒定,通过电路的电流($I=E/Z$)随着阻抗增大而减小。因此,通过电阻的电流减小,于是输出电压降低。在高通R-C电路中,衰

减按下式计算：

$$\text{输出电压} = \text{输入电压} \times R/Z$$

因为，在实际应用中， R 的值是固定的，而 Z 的值随频率反向变化，则输出电压随频率正向变化（随着频率的降低，输出电压亦降低）。

在图1-2低通（高频衰减）电路中，输入电压是加在电容和电阻上，输出电压取自于电容器。随着频率的增高，电抗减小，阻抗亦减小。然而，因为阻抗是由电抗和固定电阻两部分组成，阻抗不能象电抗减少的那么多。因此电抗（相对于阻抗）的减小引起输出电压降低。在低通RC滤波器电路内，衰减由下式计算：

$$\text{输出电压} = \text{输入电压} \times X_c/Z$$

因为电抗的变化率大于阻抗的变化率，输出电压随频率反向变化^①（随频率增高，输出电压降低）。

1-1.1 RC滤波器设计考虑

滤波器的衰减量是按给定频率上所降低的分贝数来计算。通常，RC滤波器被设计成在所选定的截止频率上，约有3 dB（分贝）的跌落（降为输入的0.707）。然而，有些滤波器被设计成在截止频率上有1 dB跌落。图1-1和图1-2给出了1 dB和3 dB跌落的方程式。

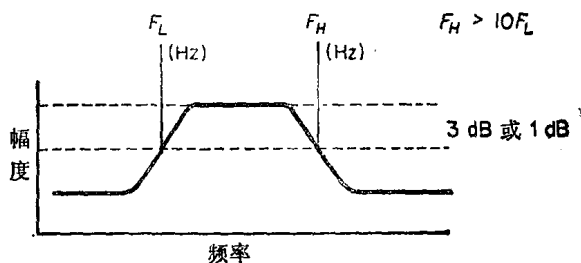
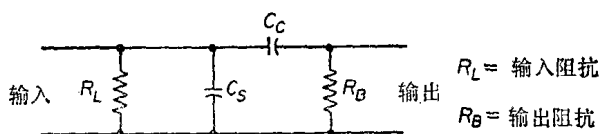
任何RC滤波器中，可以首先假定电容或电阻两元件中任一值，于是就可在给定的截止频率上求出另一个元件的数值。在实际设计中往往假定电阻值，以便所选择的电阻来满足其他电路的要求。例如，高通滤波器中的电阻也可以组成

① 原书误为“输出电压随频率正向变化”。——译注

电路的输入或输出阻抗。

1-1.2 带通RC滤波器

也可以把高通（低阻）和低通（高阻）滤波器组合在一起以构成一个带通滤波器，如图1-3所示。对于这类带通电路来说，高频端（ F_H ）要为低频端（ F_L ）的十倍，才是有效的，这可作为一项设计准则。若高频端和低频端之比不大于10比1，则所组合电路之间将有显著的干扰。甚至对10比1的比值时，也可能出现某些干扰。所以图1-3的各方程是近似的。

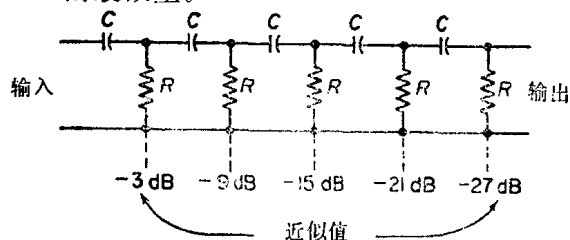


$$\left. \begin{aligned}
 F_L &\approx \frac{1}{6.28 C_C (R_L + R_B)} \quad (\text{在 } 3 \text{ dB 时}) \\
 F_H &\approx \frac{R_L + R_B}{6.28 C_S R_L R_B} \quad (\text{在 } 3 \text{ dB 时}) \\
 C_S (\text{法拉}) &\approx \frac{R_L + R_B}{6.28 F_H R_L R_B} \quad (\text{在 } 3 \text{ dB 时}) \\
 C_C (\text{法拉}) &\approx \frac{1}{6.28 F_L (R_L + R_B)} \quad (\text{在 } 3 \text{ dB 时})
 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{在 } 1 \text{ dB 时用 } 3.2 \text{ 代替 } 6.28 \end{array}$$

图 1-3 基本的带通RC滤波器

1-1.3 多级RC滤波器

对单级RC滤波器来说,从通带到阻带的过渡是缓慢的。若要求设计快速过渡,可象图1-4所示那样,将二级或更多级RC滤波器组合在一起。图1-5表示了一个两级高通滤波器,在截止频率以及低于截止频率时衰减量增加^①。图1-6表示了与图1-5相似的两级低通滤波器的曲线。可将单级RC滤波器迭加成任意级数。作为一项准则,在截止频率上每增加一级将增加 6 dB的衰减量。



$$\text{截止频率} \approx \frac{1}{6.28RC}$$

$$R(\text{单位欧姆}) \approx \frac{1}{6.28FC}$$

$$C(\text{单位法拉}) \approx \frac{1}{6.28FR}$$

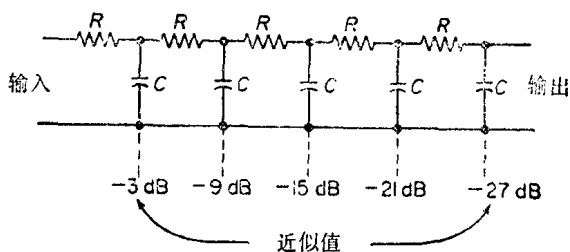


图 1-4 基本的多级RC滤波器

① 原书误为“在截止频率上和高于截止频率以及低于截止频率时衰减量增加”。——译注

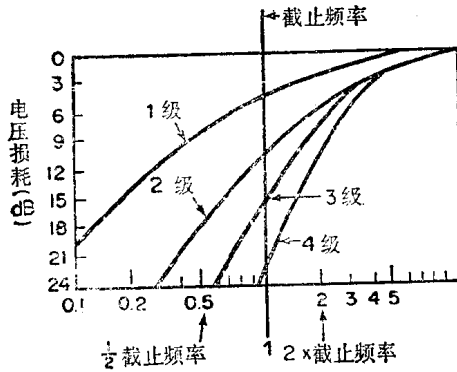


图 1-5 高通RC滤波器级的电压损耗曲线

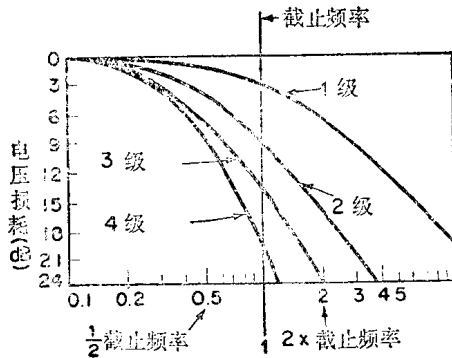


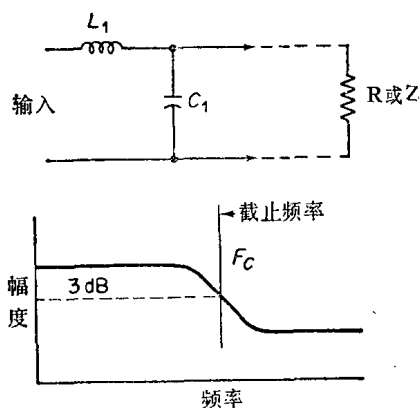
图 1-6 低通RC滤波器级的电压损耗曲线

1-2 LC 滤波器

大部分精密滤波器是由电感（线圈）和电容组成的。LC滤波器也可以包含电阻。大多数LC滤波器的输入和输出是连接在信号源和负载电阻之间，或者是端接在和滤波器阻抗相等的阻抗上。除了特殊的应用之外，音频频率使用LC滤波器是不现实的。因为在低频上要求非常大的电感，因此是

很笨重的。

1-2.1 低通LC滤波器



$$L \approx \frac{R}{3.14 F_c} \quad F_c \approx \frac{1}{3.14 \sqrt{LC}}$$

$$C \approx \frac{1}{3.14 F_c R} \quad R \text{ 或 } Z \approx \sqrt{\frac{L}{C}}$$

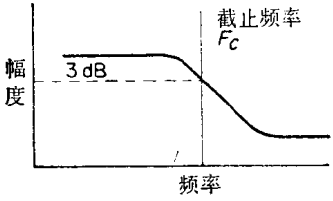
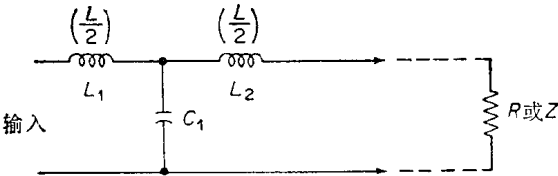
图1-7 常数为K的基本型L型低通滤波器

图1-7表示了一个L型结构的、最简单型式的典型LC低通滤波器。所有的LC滤波器都利用了电容和线圈在交流时有完全相反的效应。也就是说，感抗随着频率增高而增大，而容抗是随着频率增高而减小。于是在低通LC滤波器中，并联部分即跨接在线路两端的电容器随频率增高而电抗减小，因此起了旁路高频作用，但随着频率降低电感增加。串联部分（即为电路中的线圈）在高频时电抗增加，但可以通过低频。

在绝大多数LC滤波器中，由电容和电感所呈现的阻抗

的乘积在频率变化时保持恒定（因为电抗变化相反）。例如，给定一频率增量，容抗降低时，而感抗即提高相应的数量。滤波器的特性阻抗保持恒定——因此称为定 K 式滤波器。

采用基本型 L 型滤波器的问题之一是它不能提供陡峭的截止频率 (F_c)。为了增加截止频率的陡度，在基本型 L 组合上可以附加另外一个线圈，如图 1-8 所示。这种滤波器外形象“T”，故称之为 T 型滤波器。在一 T 型滤波器中电容 C 的电容量与基本型 L 组合中的电容值相同，于是基本的方程也相同， L_1 和 L_2 总电感必须等效于基本型 L 组合中单个线圈的电感。通常所要求的总电感由两个线圈平分，所以 T 型低通滤波器的每个线圈的电感是所要求的总电感的一半。



$$\begin{aligned} \text{总的 } L &\approx \frac{R}{3.14 F_c} & F_c &\approx \frac{1}{3.14 \sqrt{LC}} \\ C_1 &\approx \frac{1}{3.14 F_c R} & R \text{ 或 } Z &\approx \sqrt{\frac{L}{C}} \end{aligned}$$

图 1-8 T 型低通常数 K 型滤波器