

面結型晶体管脉冲电路

P. A. 尼特遜 著

查振亞 譯

人民邮电出版社

P. A. NEETESON
JUNCTION TRANSISTORS
IN PULSE CIRCUITS
PHILIPS' TECHNICAL LIBRARY

1959

內 容 提 要

本书专门研究面结型晶体管的各种基本脉冲电路及其在电子计算机、核物理电子仪器等方面的应用。作者把面结型晶体管看成是“电荷控制器件”，用“电荷控制法”来分析晶体管双稳态多谐振荡器等电路的暂态特性。书中有理论分析、实际电路以及验证理论的实验数据等。

本书可供大专学校无线电、计算技术、核物理电子学等专业师生以及有关的科技工作人员参考和阅读。

面结型晶体管脉冲电路

著 者：（荷 兰） P. A. 尼 特 逊

译 者：查 振 亚

出版者：人 民 邮 电 出 版 社

北京东四六条19号

（北京市书刊出版业营业许可证出字第〇四八号）

印刷者：北 京 市 印 刷 一 厂

发行者：新 华 书 店 北 京 发 行 所

经售者：各 地 新 华 书 店

开本 787×1092 1/32

1966年3月北京第一版

印张 5 12/32 页数 86

1966年3月北京第一次印刷

印刷字数 122,000 字

册数 1—5,350 册

统一书号：15045·总1543—无453

定价：（科5）0.65元

序 言

脉冲技术的迅速发展，要求大量增加一批能够了解、设计和制造有关脉冲设备的人。他们应能应用电子脉冲电路设计的技巧去制造实际设备。做这种工作不应依靠“试凑”的方法，而应对脉冲电路设计的基本原理具有足够的知识。和以前对脉冲电路中的电子管^①所做的一样，把面结型晶体管用在脉冲电路方面的经验总结，以专著形式发表将是有益的。

但是，由于两个明显的理由，本书介绍晶体管应用的方法与一般对电子管所采用的方法不同。

第一，因为把面结型晶体管用于一般电子电路，特别是用于脉冲电路的技术，与用电子管相比，是新近发展起来的。因此我们认为，最好不过于深入进行数学分析、电路分析，并且完全不去讨论晶体管工作的物理基础，以使尽可能多的读者能看清新的半导体器件的潜在威力。好在关于晶体管工作的物理基础，在本丛书另一专著^②中有极为深广的论述。

第二，晶体管的固有特性使它比电子管更接近于理想开关，因而面结型晶体管脉冲电路的分析讨论比电子管脉冲电路在形式上要简单得多。

我们希望，把艾恩特侯文N. V. Philips' Gloeilampenfabrieken（电子管厂名）中央应用实验室所取得的、将面结型晶

① P. A. Neeteson: VACUUM Valves in Pulse Technique, Philips Technical Library, 2nd edition 1959.

② Le Can, Fundamental Switching Properties of Junction Diodes and Transistors.

体管用于脉冲电路的一些經驗作这样的交流，将使电子学专家们注意这个极有意义的脉冲技术领域，这样将有助于晶体管脉冲技术在巩固的知識基础上发展。

P. A. 尼特遜 1959 年 9 月

目 录

序言

第一章 引言

§ 1.1. 理想开关	1
§ 1.2. 有内阻的开关	2
§ 1.3. 有内阻和漏阻的开关	3
§ 1.4. 有惯性的开关	4
§ 1.5. 实际开关	6
§ 1.5.1. 机械开关	6
§ 1.5.2. 电子开关	6
§ 1.6. 网络中启闭开关的效应	8

第二章 基本脉冲电路的概述

第三章 脉冲发生器

§ 3.1. 自激多谐振荡器	12
§ 3.1.1. 引言	12
§ 3.1.2. 一般电路的分析	12
§ 3.1.3. 饱和条件	22
§ 3.1.4. 集电极和基极中的能量损耗	25
§ 3.1.5. 获得矩形集电极电压波形的特殊电路	28
§ 3.1.6. 验证理论的一些实验	31
§ 3.2. 自激间歇振荡器	33
§ 3.2.1. 引言	33
§ 3.2.2. RC 电路接在基极电路中	34
§ 3.2.3. RC 电路接在发射极电路中	36
§ 3.2.4. 没有 RC 定时电路的自激间歇振荡器电路	38
§ 3.2.5. 验证理论的一些实验	41

第四章 脉冲形成器

§ 4.1. 触发间歇振荡器	42
§ 4.1.1. 引言	42
§ 4.1.2. 从集电极到基极的反馈	43
§ 4.1.3. 其它的反饋形式	51
§ 4.1.4. 一般表示式	53
§ 4.1.5. 饱和磁心的间歇振荡器	55
§ 4.1.6. 与理論比較的实验結果	56
§ 4.1.7. 触发间歇振荡器的一般情况	58
§ 4.2. 单稳态多諧振荡器	65
§ 4.2.1. 引言	65
§ 4.2.2. 第 I 种反饋 图 4.15 的单稳态多諧振荡器	66
§ 4.2.3. 第 II 种反饋 图 4.25 的单稳态多諧振荡器	74
§ 4.2.4. 实验举例	82

第五章 分頻器和电压电平开关

§ 5.1. 双稳态多諧振荡器的稳定状态	83
§ 5.1.1. 引言	83
§ 5.1.2. 概述	84
§ 5.1.3. 为便于設計所做的簡化	87
§ 5.1.4. 稳态設計	90
§ 5.1.5. 稳定状态的图解表示	93
§ 5.1.6. 双稳态多諧振荡器的輸入特性	94
§ 5.1.7. 双稳态多諧振荡器的直流稳定性	109
§ 5.2. 双稳态多諧振荡器的暫态特性	111
§ 5.2.1. 引言	111
§ 5.2.2. 把面結型晶体管看成是“电荷控制器件”	112
§ 5.2.3. 双稳态多諧振荡器的触发	123

第六章 一些輔助的脉冲电路

§ 6.1. 引言	143
§ 6.2. 門电路	144
§ 6.3. 发射极輸出器	145

第七章 几种邏輯电路

§ 7.1. 引言	148
§ 7.2. 双穩态多諧振蕩器的应用	149
§ 7.3. 所有三种类型的多諧振蕩器在“脉碼发生器”中的应用	156
§ 7.4. 問歇振蕩器在輻射探测器中的应用	161

参考文献

符号一覽表

第一章 引 言

脉冲技术最常用的基本操作是开关的突然启闭，其目的在于得到电流的跳变或电压的跳变或两者兼有。一个脉冲实际上是两个跳变的迭加，这两个跳变在时间上互相错开，并且极性相反。

不连续的跳变是脉冲技术中最基本的函数(阶跃函数)。运算法的创始人 O. 赫维赛德巧妙地引入这种阶跃函数去计算电网络对电压或电流跳变的响应。因为此函数在本书后面要用到，所以现在给出它的数学表示式和定义。我们用符号 $U(t)$ 代表“单位阶跃函数”，它在 $t < 0$ 时为零，而 $t > 0$ 时为 1。因此，在 $t = 0$ 瞬时，函数值由零跳到 1。若这跳变发生在任意瞬时 $t = t_0$ ，则用符号 $U(t - t_0)$ 表示单位阶跃函数。网络对函数 $U(t - t_0)$ 的响应，自然和对函数 $U(t)$ 的响应相同，但在时间上要延迟 t_0 秒。

§ 1.1. 理想开关

借助于理想开关，可以实现(单位)阶跃函数(如电压跳变或电流跳变)。图 1.1 是产生阶跃函数的一种可能电路，其中 S 代表“理想开关”，即 S 闭合时， A, B 两点间的电阻为零(开关与 A, B 两点相连)，而 S 断开时，开关的电阻为无穷大。这就意

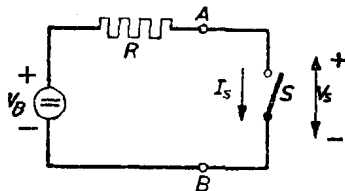


图 1.1

味着，图 1.1 电路中 S 断开时，全部电池电压 V_B 出现在 A, B 两点间 ($V_S = V_B$)，而没有电流通过开关。开关的这种运用情况，由图 1.2 中水平轴上的 V_B 来表示。 S 闭合时， A, B 两点间没有电位差，而电流 $I_S = V_B/R$ 流过开关。这种运用情况由图 1.2 中垂直轴上的 I_{S1} 点来表示。

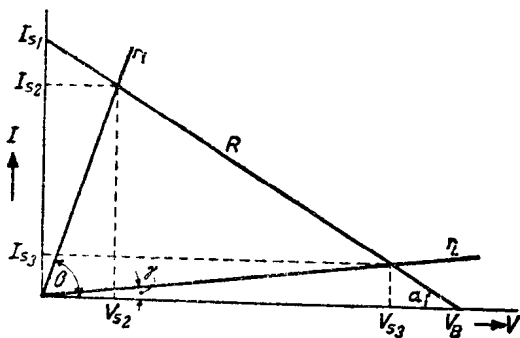


图 1.2

开关的伏安特性曲线，与图 1.2 的两个坐标轴重合。一旦给出电池电压 V_B 和串联电阻或负载电阻 $R (= \cot \alpha)$ ，开关启闭状态的运用点就决定了(分别为 $V_S = V_B$, $I_S = 0$ 及 $V_S = 0$, $I_S = I_{S1} = V_B/R$)。

A, B 两点间的有效电压跳变等于全部电池电压 V_B ，但电流跳变还与外部负载电阻 R 有关(这电阻还包括电池的内阻在内)。不论在闭合或断开状态，理想开关本身都不消耗能量。

§ 1.2. 有内阻的开关

实际上，理想开关是不可能实现的。实际的开关有几点与理想开关不同，其中之一是有内阻 r_i (见图 1.3)。这内阻会减小 A, B 两点间的有效电压跳变和流过开关的电流跳变。于是开关闭合时的特性曲线不再与图 1.2 中的垂直轴重合，而是斜

率为 $\cot \beta = r_i$ 的直线了。由计算不难证明, r_i 直线与“负载” R 的交点就是开关闭合时的运用点 ($I_S = I_{S2}, V_S = V_{S2}$)。启闭开关时, 电压跳变值由理想开关的 V_B 减小为有内阻 r_i 的开关的 $V_B - V_{S2}$ 。

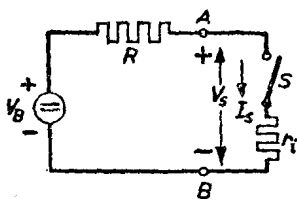


图 1.3

$$V_B - V_{S2} = \frac{R}{r_i + R} V_B. \quad (1.1)$$

电流跳变将为 I_{S2} 而不是 I_{S1} 。

$$I_{S2} = \frac{V_B}{r_i + R}. \quad (1.2)$$

开关断开时, 没有能量消耗。但开关闭合时, 开关消耗的功率为:

$$P_S = I_{S2} V_{S2} = V_B^2 \frac{r_i}{(r_i + R)^2}.$$

§ 1.3. 有内阻和漏阻的开关

实际开关与理想开关的另一不同点是实际开关在“断开”时, A, B 两点间总不是完全绝缘的, 仍传导一定大小的电流(此电流称为“漏”电流)。这可用 A, B 两点间与开关并联的“漏阻” r_L 来表示(见图 1.4)。

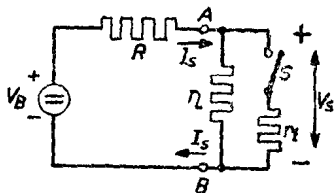


图 1.4

这意味着, 在开关特性曲线(图 1.2)中, 开关断开时的特性曲线由水平轴变为直线 $r_L (= \cot \gamma)$ 。同时, 开关闭合时的

直線斜率也变为 $\cot\beta = \frac{r_i r_L}{r_i + r_L}$ 。

一般 r_L 值比 r_i 大得多，开关閉合时特性曲線斜率的改变可以忽略。如果不是这样，就不能算一个有用的开关！

漏阻效应会更进一步减小有效电压跳变和电流跳变。它們分别为：

$$V_{S3} - V_{S2} = \left(\frac{r_L}{r_L + R} - \frac{r_i}{r_i + R} \right) V_B, \quad (1.3)$$

和

$$I_{S2} - I_{S3} = \left(\frac{1}{r_i + R} - \frac{1}{r_L + R} \right) V_B. \quad (1.4)$$

现在开关在两种状态都消耗能量，在閉合状态，开关消耗的功率为： $I_{S2} V_{S2} = V_B^2 \frac{r_i}{(r_i + R)^2}$ （若 $r_i \ll R$ ，则近似为 $V_B^2 \frac{r_i}{R^2}$ ）。

在断开状态，开关消耗的功率为： $I_{S3} V_{S3} = V_B^2 \frac{r_L}{(r_L + R)^2} \approx V_B^2 \frac{1}{r_L}$ （若 $R \ll r_L$ ）。

§ 1.4. 有慣性的开关

开关的内阻和漏阻影响有效电压跳变和电流跳变的幅度，

但并不影响跳变沿的斜率。然而实际开关总是有某种慣性的，例如由于存在着与开关并联的杂散电容而引起的慣性（见图1.5）。如果 A, B 两点間沒有电容 C ，则

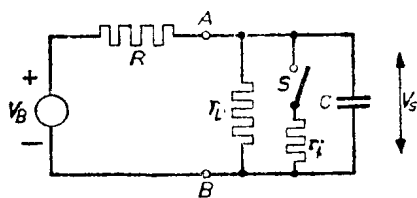


图 1.5

启閉开关 S 时，电压 V_S 的波形如图 1.6 中虛線所示。若有 C ，

則 V_S 波形就是图 1.6 中的实綫了。电容交替地充电与放电，充电、放电都是随時間作指数变化的，充电時間常数为 T_L ，放电時間常数为 T_0 。

$$T_L = CR_L, \quad (1.5)$$

$$T_0 = CR_S. \quad (1.6)$$



图 1.6

式(1.5)中 R_L 表示两个电阻 R 和 r_L 的并联值，而式(1.6)中 R_S 表示三个电阻 R 、 r_L 和 r_i 的并联值。显然在任何情况下，

$$T_0 < T_L. \quad (1.7)$$

因此，并联电容对跳变的斜率起减小作用。可以指出，閉合开关比断开开关产生的跳变要更陡些。

在开关的伏安特性曲綫图中，运用点在图 1.7 的虚綫路径上变动，箭头代表变动方向。

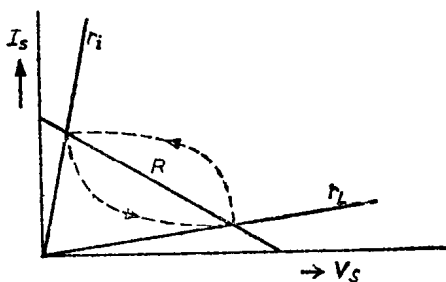


图 1.7

因此有可能暂时超

过开关的最大允許損耗功率（特別在开关闭合时）。当設計这些电路时，应当記住此点。

除由寄生电容或負載电容引起的慣性外，开关本身的固有

特性也可能引起慣性，这将在下面簡單叙述一些实际开关的章节中进一步討論。

§ 1.5. 实际开关

§ 1.5.1. 机械开关

机械开关可以近似看成是很好的理想开关。它的內阻很低，漏阻很高，电容比較小。在大多数情况下，电容并不重要，因为机械的或机电的(继电器)开关动作本来就是緩慢的。同时显然看出，应用机械开关是有限制的，机械开关不宜用作高频、快速开关。机械开关的另一缺点往往是接触时的颤动效应，它使开关动作不可靠、不确定。

§ 1.5.2. 电子开关

当机械操作的开关不能达到所要求的开关速度时，就必须考虑其它的开关方式了。一般用电子开关作高速开关。按开关中所用的电子器件，电子开关可分为三类：

- 1) 电子管作电子开关；
- 2) 离子管作电子开关；
- 3) 晶体管作电子开关。

本书的目的是詳述第三类电子开关(用晶体管的)。但是因为对第三类与其它两类电子开关的关系有一概念是有益的，下面就概述所有三种类型的电子开关的优缺点。

1) 电子管作电子开关

电子管的漏阻 r_L 很大，实际上是无穷大，因为使电子管截止到实际上沒有漏电流流过的程度是可能的。电子管的內阻 r_i 是相当高的。这里給出一个典型例子，比較好的双三极管 E

88 CG^①充分导电时的内阻约为 2.5 千欧。电子管的杂散电容較低, 约为几个微微法。电子管的内在慣性是很小的, 它是由电子在电子管电极之间的渡越时间引起的。到目前为止, 电子的渡越时间对脉冲技术中的开关速度来说并不是实际上的限制, 达到每秒一千万次开关操作是没有困难的。

电子管作开关用时, 是将电压跳变加到控制栅极或任何其他合适的电极上。若要闭合开关, 这跳变电压必须是正极性的; 而断开开关时, 则跳变电压应是负极性的。如果跳变电压不致使电子管栅流太大, 则这种控制操作不要很多能量。

在“断开”(截止)情况, 开关中没有能量消耗; 但在“闭合”(充分导电)情况, 开关中能量的消耗却相当大, 可以出现约为 1 瓦的板极损耗功率。热阴极电子管作开关用的缺点是連續消耗大量的热絲能量(例如, E 88 CG 管的灯絲损耗功率就接近 2 瓦)。

2) 离子管作电子开关

离子管的漏阻 r_L 很高, 其内阻 r_i 也相当大(冷阴极管 Z 70 U 的内阻为 25 千欧或更大些)。

并联电容的影响較小, 约为几个微微法。但内在慣性与电子管相比是很大的。这是由电离及消电离效应引起的, 它使开关操作速度受到限制, 约为每秒数千次。

开关操作时, 一般是将适当的电压脉冲加到所谓触发电极上。触发离子管所需的功率不大也不小。离子管开关的能量消耗, 在“断开”(截止)时为零, 在“闭合”时較小(对于 Z 70 U 管, 小于 0.4 瓦)。对热阴极管来说, 冷阴极管的一个巨大优点是沒有热絲, 这就大大节省了能量。

① 与我国生产的双三极管 6 N 1 相似——譯註。

3) 晶体管作电子开关

晶体管的漏阻 r_L 比较大, 约为 100 千欧或更大些, 其内阻很小, 约为几欧。它的并联电容小, 但由于“扩散效应”(如“扩散电容”和“空穴蓄储效应”), 其内在惯性往往比较大。

开关操作时, 将电压或电流跳变加到发射极或基极上。晶体管的低阻抗输入电路对触发设备的设计提出了一些特殊要求。

晶体管的能量消耗是很小的, 在“闭合”(饱和)与“断开”(截止)两种情况下消耗的功率均为几毫瓦。与冷阴极管一样, 晶体管不需要热丝能量。

总之可以说, 在能量消耗方面, 晶体管是最好的器件。目前, 在开关速度方面, 晶体管还不能完全与电子管竞争。但高频晶体管正处于向前发展状态, 无疑可以预期, 在不久的将来, 高频晶体管会有巨大的改进。

近几年来, 电子脉冲技术领域已大大扩大, 在发展这领域的设备方面, 特别是在那些需用大量电子开关的地方, 晶体管将起显著的作用。在这些应用中如果用电子管, 就需要巨大的能源, 从而会产生许多热量, 需要强迫空气冷却系统。而用晶体管时, 需要供给的能量大大减少, 故强迫空气冷却就成为多余的了。此外, 用晶体管时, 设备的尺寸和重量也大大减小, 这对计算机及空间探索装置等等是特别有利的。

§ 1.6. 网络中启闭开关的效应

当研究电子管作开关用的问题时, 我们特别注意网络中开关突然断开或闭合的效应的数学分析。参考作者以前的著作^{①②}

① P. A. Neeteson: “Vacuum Valves in pulse Technique” Book IX of Philips’ Technical Library (1st Edition 1955, 2nd Edition 1959)。此书有 1960 年的俄译本——译註。

就足以看到这点，那里对此已作充分的討論，并且簡短考察了这些現象的实际应用。

网络对启閉开关的响应，可用下面的方法来决定。設在 $t=0$ 瞬时閉合（或断开）开关，从这时起，可假想被短路（或被断开）的两点間有一电压源（或电流源），此电压源（或电流源）的大小必須等于开关未閉合（或未断开）时該两点間的电压（或电流），但符号相反。計算网络对上述电压源（或电流源）的响应，然后把如此算出的暫态与网络的稳定状态^③相叠加。

第二章 基本脉冲电路的概述

看到脉冲技术所用的电路变化多端，初学者往往容易丧失信心，不知道如何去掌握所有这些設計的变化。然而，并不象所想象的那样坏，如果具有几种基本电路的知識，那么就有可能了解大多数实际設備的工作原理，因为实际設備一般都是这些基本电路的邏輯組合，都是由这些基本电路导出的。

基本脉冲电路可按以下方法来分类：

1) 脉冲发生器

这名称本身就說明了它的用途，这类电路的例子是自激多諧振蕩器和間歇振蕩器。

2) 脉冲形成电路或脉冲再生电路

脉冲通过某一网络时，总有些变坏（不是脉冲的幅度就是

② P. A. Neeteson: "Analysis of Bistable Multivibrator Operation" Book X of Philips' Technical Library (1956)。

③ 即开关未閉合（或未断开）情况下网络的状态——譯註。

脉冲沿的陡度，或在一般情况下两者都有)。如果这种变形过大，那么就可能使脉冲不能再起我們所期望的作用（一般是开关作用）。于是有必要利用脉冲形成电路（如单稳态多諧振荡器及“触发間歇振荡器”等）去“重新形成”脉冲。

3) 脉冲分頻器和电平开关

主要用在二进位制中的分頻器是双稳态触发电路或双稳态多諧振荡器。級联这种基本电路后，可以得到2的任何次幂的分頻。如在級联的各級电路間引入适当的反饋，則有可能在任一数字系統中，如常用的十进位制中进行分頻。

同时，双稳态多諧振荡器可当作电平开关去操纵門电路或其它类似的装置。

用面結型晶体管作为有源元件的上述基本脉冲电路将在下面各章中研究。这些电路均有相应的电子管电路（可参考第一章末脚注所提到的书）。我們已經提过，目前电子管电路在高速运用方面比較好，但因为晶体管有这么多的优点，特别是用在庞大設備上的时候，所以毫无疑问，在此領域中晶体管将逐步取代电子管^①。本书将极简单地論述晶体管化的脉冲电路，不研究高速运用的要求，因此可忽略晶管中的慣性現象^②。因为晶体管在饱和区运用时內阻极小，而在截止时它的漏阻很高，与外电阻比較可以忽略，所以可以十分简单地分析晶体管脉冲电路的工作情况。

① 本书手稿完成后不久，使用OC 170型高频晶体管的双稳态多諧振荡器电路已經設計出来，它在高达30兆赫的输入触发脉冲频率下工作得很好（它是建立在电流开关原理上的电路）。这样的性能甚至在用一般設計的电子管时也是不容易得到的。

② 討論双稳态多諧振荡器的触发时除外。