

晶体管在 长途通信机械中 的应用

A. Г. 姆拉江 B.M. 沙穆中
苏联 著

A. И. 包利索夫 Г. М. 米基尔契昌

贺岳陵译 李乐民校

人民邮电出版社

前 言

近几年来，半导体器件在通信技术中应用范围更加扩大，它的制造工艺更趋完善，創制了类型更完善的晶体二极管和晶体三极管。近代通信机械中，晶体管用于电信号的放大、振荡、調制、遙测、遙控和遙信設備中，以及設備的供电电路与保护設備免受危險电压和干扰电压影响的防护电路中，它比同类的电子管設備更加經濟。

本书討論晶体管在无人維護增音站机械中的应用問題，同时也列举了晶体管在国内外生产的載波机械、音頻电报机等其他部件中，在供电設備和脉冲技术中的应用。

本书供电话电报通信工程技术人員参考。

苏联邮电部技术司

目 录

前言

概述	1
1. 晶体管在通信机械中的应用	3
1-1 放大设备	3
1-2 脉冲电路元件	12
1-3 音频电报设备	15
1-4 供电设备	16
1-5 振荡器和遥控设备	20
2. 无人维护增音站晶体管放大器的计算	26
2-1 影响选择增音段长度的因素	26
2-2 放大器方框图	29
2-3 群放大器中的反馈电路	31
2-4 μ 电路	41
2-5 温度稳定电路	52

概 述

現代的長途通信機械包括：被傳輸信號的放大、振蕩和調制設備，遙測、遙控和遙信設備，電路的自動調節與轉換設備等等。不久以前，在這些部件中都是使用電子管。雖然近代電子管是用作振蕩、放大、調制電信號的很完善的器件，但它仍不可能完全滿足科學技術迅速發展的要求。所以，在許多情況下，電真空器件逐漸地被其他元件所代替。

早在幾十年前，長途多路通信蓬勃發展的時期，當出現了長途架空明綫和電纜綫路寬頻帶復用的可能性時，在分路和群路變頻器中，電子管就已被小型的、更加經濟的氧化銅整流器所代替。此外，也開始廣泛採用硒整流器、鎘化鉍光電管、熱敏電阻、鍺檢波器和其他器件。

近幾十年來，對於半導體導電機構的理論和實驗研究，導致生產出具有電子-空穴結的根本新型器件。

利用具有電子導電性和空穴導電性半導體之間的接觸這一概念，應歸功於蘇聯卓越的物理學家、科學院院士 A. Ф. 約飛。還在 1938 年，他就發現，如果把由外部電源產生的電壓加到一側為空穴導電，另一側為電子導電的半導體上，並使電池的負極加於空穴區，而使電池的正極加於電子區的話，則移動的載流子（電子和空穴）在外電場的作用下，離開邊界，並在邊界上形成一個沒有這些載流子的薄層。換句話說，在邊界附近形成高阻層。當電池極性改變時，電子和空穴開始通過邊界區域，彼此對向移動。所以晶體導電性增加，高阻層消失。這類器件應當是單方向導電的元件，即整流器。這些概念只是在第二次世界大戰期間才實際上成為現實，當時研究錯（後來才研

究硅)的特性,得到純淨的单晶体,并生产了供超高频雷达設備用的点接触式检波器。

在物理和技术方面对半导体的进一步研究,促使創制了大量的半导体器件,目前已应用到科学和技术的各个领域中去。

半导体放大器件的发明具有特別重要的意义。1948年,美国学者巴尔亨(Bardeen)和布瑞登(Brattain)在利用探針研究二极管触点附近的电位分布时发现,当电流通过探針时,会改变二极管的反向电流。进一步的研究表明,二极管的反向电流可以由加在探針上的信号来控制,并且发生电流和功率放大。这些研究的結果导致发明了晶体三极管—具有放大特性的三电极半导体器件。这些研究大大地推动了半导体特性的理論和实验研究,并且制造了許多新型的半导体器件供无线电电子設備使用。

1949年,美国物理学家蕭克莱(Shockley)发展了具有两个电子-空穴結的面結合型晶体管理論。这类晶体管比最初点接触型晶体管有許多优点。半导体电子学方面的进一步研究,使得半导体器件成为电子管的主要竞争者。

苏联在制造能实现放大、热电、光电与其他半导体性能的元件方面,进行了許多工作。組織生产了各种鍺晶体管、温差电池、大量各种型式的高频和强电流二极管。

应当指出,工厂生产的晶体管會有許多重大的缺点,这些缺点主要是由于生产工艺不够完善所致。参量的散差大、噪声电平高、密封不良和由此造成的参量不稳定与可靠性低、功率小与有限的頻带宽度,所有这些都給在大批机械中采用晶体管造成很大困难。

目前,我們工厂正生产完善的半导体器件,能应用于各种科学和技术领域中。

在 50 年代初期，当开始明显地看到了在通信机械，尤其是长途干綫无人维护綫路放大器中，采用晶体管的远大前途时，科研院所和学校以及工业机构中开始了半导体通信机械的研制。

在长途通信終端机和增音机中，在音頻电报机中，在电路的交換、遙測、遙控、遙信設備中，目前都广泛采用了半导体器件。半导体代替电子管的結果，大大地减少了設備所消耗的功率，提高了設備的可靠性和特性稳定性，縮小了它的尺寸。因此为制造无人维护的自动化机械开辟了嶄新的可能性。

毫無疑問，通信技术的进展很大程度上取决于半导体电子学的发展，并在不久的将来，通信技术将建立在使用更为經濟和可靠的半导体設備的基础上。

1. 晶体管在通信机械中的应用

1.1 放大設備

通信机械中采用了大量不同类型的放大器。晶体管的应用大大地改善了放大器和整个通信系統的技术經濟指标。例如，在載波机械分路設備^①的低頻放大器和音頻振鈴接收放大器中，用晶体管代替电子管以后，电能損耗减少約 25 倍，而放大器的尺寸减小到可以在一个机架上安装 60 个分路設備。

自动電話局之間中继綫容量的增加，尤其是同远离市中心的或位于大城市郊区的自动局的通信組織，是发展市内電話网的最为复杂的問題。占市内電話通信机构全部費用三分之一的

① CHO 即分路架——譯者注

電纜中繼綫設備，在採用了簡單、廉價和經濟的載波機械後，成本大為降低。但是，即便是用最完善的電子管制成的最簡單的市內或市郊中繼綫載波機，也只有在較長的綫路上才顯得出經濟效果。

目前，市內電話網所用的載波機械 KPP-30/60 的個別部件是用晶體管制成的。此機在聚苯乙烯扭繩絕緣的高頻電纜綫路上，以單電纜雙頻帶制工作。直向傳輸^①所用頻帶為 312—552 千赫，而反向為 12—252 千赫。在一個傳輸方向上，每個通路所占用的頻帶寬度為 8 千赫。因而沿着每一對電纜心綫，利用 KPP-30/60 系統可以組成 30 個電話通路。

KPP-30/60 系統的音頻放大器和控制信號接收器的電路如圖 1 所示。放大器包括兩級按共發射極電路連接的晶體管 T_1 和 T_2 放大級，晶體管 T_1 和 T_2 的型號為 П 13 Б 和 П 14。級間為變壓器耦合。

在 300—3400 赫頻帶內，音頻放大器的增益為 4.5 奈（具有 ±0.5 奈的可調範圍）。第一級反饋電路中所連接的網絡 L_1 、 C_1 和 L_2 、 C_2 ，可分別校正通路的高頻和低頻頻率特性。採用小型匹配變壓器 T_P 使放大級與負載相耦合。

控制信號接收器同音頻放大器輸出電路串聯。它包括兩級——接於窄帶濾波器（由元件 $L_5 \sim L_9$ ^②， $C_4 \sim C_7$ 構成）後面的晶體管前置放大級 T_3 ，和末級放大整流級 T_4 ，其晶體管型

① 原書 Прямое направление 一語是說：該機分路調制用載頻為 312、…、544 千赫，成為一個 312—552 千赫的 30 路基礎群；A 端並用 560 千赫載頻進行一次群調制，得出 12—252 千赫的低頻群。沿電纜傳輸時，A 端向 B 端傳輸低頻群，B 端向 A 端則直接傳輸 312—552 千赫的 30 路基礎群。

② 原書圖 1 內 L_8 、 L_9 兩個綫圈漏注字。

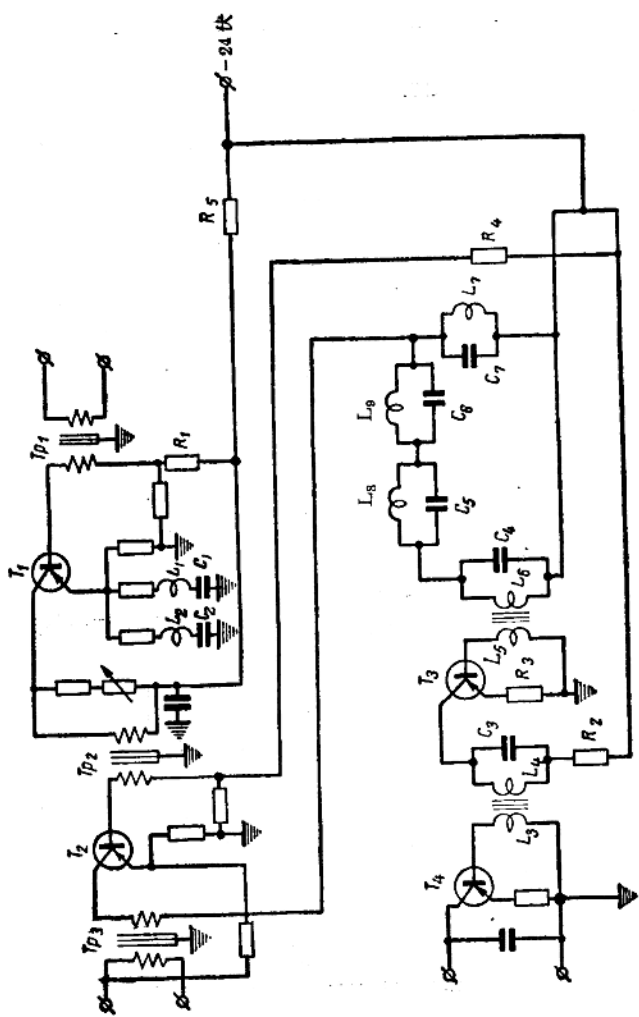


图 1 KPP-30/60 系统音频放大器和控制信号接收器原理图

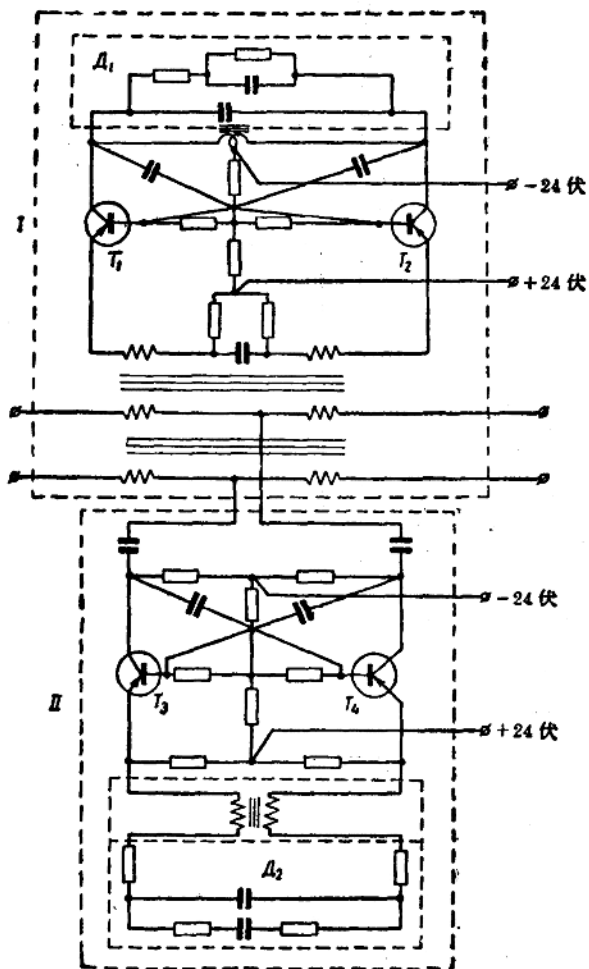


图 2 双向桥型增音机原理图

号为 ПЗВ，末級輸出信号直接加到扁平型电话继电器上。在工作状态，通过继电器的电流为 45—50 毫安。当电源电压为 24 伏时，放大器和接收器消耗电流小于 10 毫安。

在音频设备中，晶体管用在音频增音机 (ИТВ)、各种类型的业务通信放大器和双向负阻抗音频增音机中。双向负阻抗音频增音机的概念很早以前就曾提出过。这些放大器只是在采用了半导体以后，才大量使用，它大大地降低所消耗的电能。双向桥型增音机的原理图示于图 2：增音机是一个具有负特性阻抗的四端网络。

电桥是由差动变量器组成。在电桥的串联和并联支路中所连接的阻抗变换器 I 和 II 保证了负衰减。每个变换器都是一个具有正反馈的推挽平衡放大器，其负载为二端网络 Z_1 或 Z_2 。这种放大器的输入阻抗等于

$$Z_{\text{输入}} \approx -(2\alpha - 1)Z,$$

其中： α 为每一个晶体管的电流放大系数，

Z 为二端网络负载的阻抗。

因而，放大器是把二端网络的“习惯的”正阻抗变为负阻抗的变换器。

负阻抗存在的可能性决定于能源的存在，这个能源是阻抗变换电路中晶体管的供电电池。为了不使沿着装有增音机的电路所传送的拨号脉冲或其他电话通信信号发生畸变，在本电路中规定线路变压器初级线圈应具有较小的电感和较小的有效电阻。

由于在群放大器、业务通信放大器、增益随土壤温度自动调节的设备、遥测和遙信设备中，在遙供的电压稳定器以及防止外界电势干扰和危险影响的防护设备中采用了晶体二极管、晶体三极管和热敏电阻，已使无人维护增音站的电能损耗减少

到这种程度，即可以相隔 220—240 公里的距离設置 供电 增音站和有人維護增音站。此外，无人維護增音站設備的尺寸小，可以設計新型的地下或半地下无人維護增音站，它比具有电子管設備的无人維護增音站便宜許多倍。

图 3 表示 K-24 П、K-24 П-2 和 K-60 П 載波系統作为放大設備用的无人維護增音站的总体外形。无人維護增音站的上部（地上部分）为金属外壳，里面装有引入部分、綫路和幻象綫路的变压器、电纜引入換接設備、保安設備等等。群放大器和业务通信放大器，遙測設備和其他要求周围环境溫度較稳定的

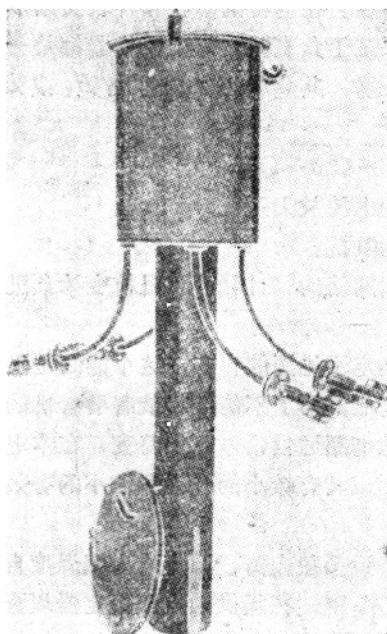


图 3 晶体管通信系統无人維護增音站的总体外形

的設備，放在玻璃管內，构成无人維護增音站的下部（地下部分）。利用与外壳相連接的金属管将电纜引入。

K-24 П 系統的增音机（图 4）包括高通滤波器 K-12、綫路均衡器 $ЛБ$ 、两个放大部分 $УБ_1$ 和 $УБ_2$ ，在两个放大部分之間接有固定均衡器 $КПН$ 、地溫自动增益調节网络 $КГА$ 和增益調节衰耗器 $Удл$ 。放大部分采用合金型晶体管 П 14、П 15，并且有平的增益頻率特性。

K-24 Π 系統的綫路頻譜为 12—108 千赫，增音段长度为 20—22 公里，額定的发送电平（功率电平）为 -1 奈，在頻带为 3100 赫时折算到放大器輸入端的固有杂音电平为 -15.0 奈，当輸出电平（功率电平）为零奈时，二次諧波非綫性衰耗为 8.5 奈，三次諧波衰耗为 10.2 奈。无人維護增音站設備的供电电压为 30 伏，而消耗的电流不超过 60 毫安。

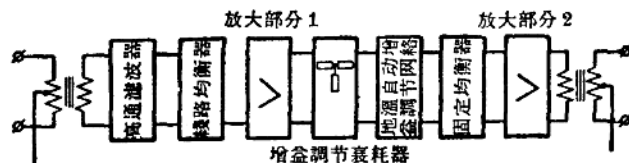


图 4 K-24 Π 增音机方框图

K-24 Π -2 系統的无人維護增音站放大器采用 Π 402 晶体管，其方框图和 K-24 Π 增音站相似，区别只在于 K-24 Π -2 增音机中，均衡器和固定均衡器接在放大部分的反馈电路中，所以低频处的非线性衰耗比 K-24 Π 增音机高。

图 5 表示 K-24 Π -2 系統增音机放大部分原理图。末级采用晶体管 T_2 和 T_3 (Π 402)，按共基极电路并联连接；这种连接的电路保证负载所必需的功率和较小的非线性失真。

在第一级中，晶体管 T_1 (Π 402) 按共发射极连接。串联反馈电路中的网络 Z_1 和并联反馈电路中的网络 Z_2 互为倒量二端网络，以保证给定斜率的频率特性，并使放大器的输入和输出阻抗的反射系数小。

增音机的供电电压为 24 伏，而消耗的电 流 不 超 过 30 毫安。

K-60 Π 无人維護增音站的放大設備也采用 Π 402 晶体管。

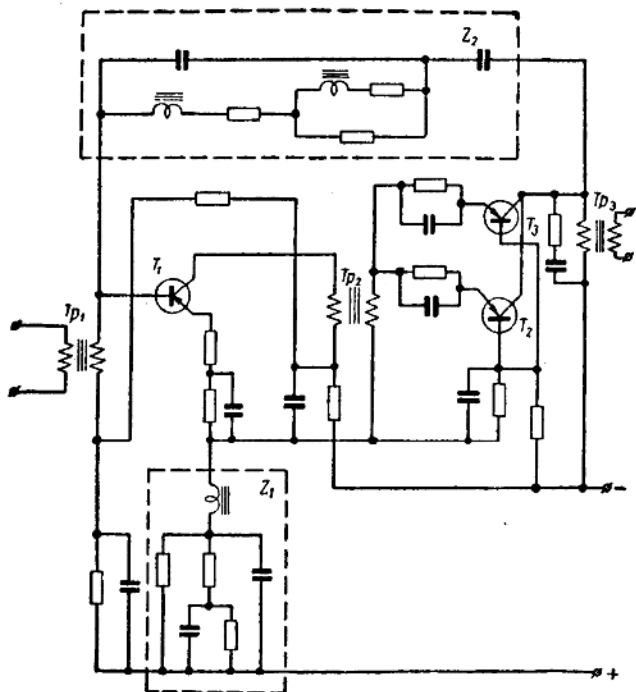


图 5 K-24 n-2 系统放大器原理图

这种增音机的线路频谱为 12—252 千赫，增音段长度为 9—11 公里，额定发送电平不超过 2 奈，当频带为 3100 赫时折算到放大器输入端的固有杂音电平为 -14.8 奈。当输出（功率）电平为零电平时，二次谐波非线性衰耗为 8 奈，三次谐波非线性衰耗为 10 奈。供电电压为 10 伏，消耗电流为 70 毫安。

K-24 n 机械中晶体管线路放大器的维护经验表明，它除了有高度的经济性以外，还有高度的工作稳定性和可靠性。事实

表明，从 1958 年实验安装的放大器至今未有任何损坏。当重新测量时，看不出放大器的参量与开始安装时有显著的差别。

平衡电缆可以在更宽的频带（高于 250 千赫）内复用。在这种情况下，增音段长度的缩短不会产生什么困难。

但是为了得到更多的通路群，采用细直径的同轴电缆，即小型同轴电缆更为合理。

小同轴电缆通信系统，由于采用了晶体管增音站，从而大大地降低基本投资费用和有色金属的消耗。经济核算表明，采用小同轴电缆供 300 路通信系统(K-300) 复用时，其线路建筑基本投资和铜的消耗，比采用平衡电缆而得到同样的路数时，分别减少 1.7—2 倍和 2.8—4 倍。在苏联和东欧的一些人民民主国家，以及法国、英国、西德、意大利、日本等国家里，正在进行小同轴电缆多路通信系统的研制。

目前，在掌握 300 路机械的工业生产方面正在进行工作，它的样机正在线路上进行试验。这种载波机械，线路频谱规定为 60—1300 千赫，而通路的电气特性应满足对于通信距离长度为 2500 公里的标准通路的規定。在苏联和某些其他国家中，增音段的额定衰减在最高频率时为 4.2 奈，这相当于增音段的长度为 6 公里。在其他国家里，增音段长度要从利用现有线路建筑条件出发来选择。例如，在英国，增音段长度约为 3.7 公里，这样可以把增音机安装在现有的加感入孔中。

无人维护增音站的设备有两种方案：其一为半地下的，这种可以很快地更换设备的部件；其二为地下的，它的设备有很高的可靠性，并且是按能长期工作而设计的。

新型更大功率的高频晶体管(如变换型^①)的工业生产，

① 原书为Конверсионный тип。

可以导向研制 900 路或更多通路的小同轴电缆载波机和通信系统以及传输电视的通信系统。

1.2 脉冲电路元件

晶体管为在多路复用机械中采用信号的时间分割方法，开辟了广阔的前景。这种机械在采用脉冲编码调制(PCM)时，有很高的抗干扰性，这是因为再生增音机几乎完全重现原来的信号，并且沿着线路没有杂音和失真的累积，这种累积在采用信号的频率分割的机械中却是存在的。由于抗干扰性高，脉冲编码调制机械可以工作于现有的串音衰耗不大的低频电缆线对上，采用频带将近达到 1.5 兆赫（24 路系统）。所以，这种机械对于市内和市郊自动电话局的中继线，以及县内和农村通信线路的复用来讲，是很有成效的。

在脉冲编码调制终端机的发送部分中，原来的音频信号变成二进制制的单向（或双向）脉冲序列。

在再生增音机中，增音段引起的失真可以得到校正，并且线路信号的幅度和时间参量可以得到还原。图 6 表示某种再生增音机的方框图。已失真的信号经线路变压器(ЛТр)后，被前置放大器(ПУс)放大，再经校正网络(KK)校正后加到求和电路(CC)上。同时，在求和电路的第二个输入端加入同步信号，它是从时间间隔还原电路(ВВН)中取出的。时间间隔还原电路可由输入信号、输出（已还原的）信号来推动，或者由单独的同步通路中所形成的信号来推动。如果求和电路输出端的总和电压超过给定的界限值，则形成设备 ΦV 通过变压器把脉冲送到线路上。如果总和电压低于界限值，则形成设备输出端没有脉冲。因此，再生增音机中传输的信号不仅被放大和被校正，而且前一增音段所产生的干扰几乎全部被“清除”，这就是整个

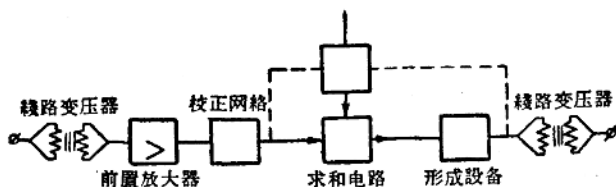


图 6 再生增音机方框图

系统抗干扰性高的原因。

脉冲编码调制终端机和增音机中采用了大量的不同类型的晶体管元件和部件。图 7 表示对称触发器——双稳态设备的原理图，在某一稳态中，一个晶体管例如 T_1 截止，此时另一个晶体管 T_2 导通。利用触发脉冲使触发器从一个稳态变到另一个稳态。这类部件广泛用于脉冲系统中。

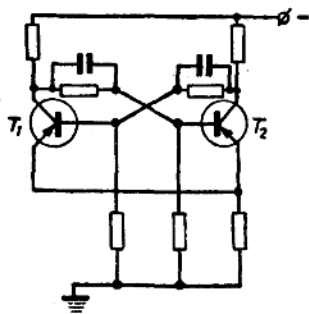


图 7 对称触发器原理图

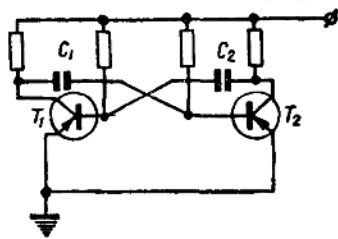


图 8 多谐振荡器原理图

图 8 表示多谐振荡器——张弛信号的自激振荡器的原理图。多谐振荡器包括两个放大级，一个放大级的输出端借助电容器 C_1 或 C_2 同另一个放大级的输入端相连接。由于电路中深度正反馈的结果，发生了晶体管 T_1 和 T_2 轮流导通和截止的雪崩

式过程。所产生的信号的持续时间主要决定于电容器 C_1 和 C_2 的充电和放电电路的时间常数。

在某些情况下，采用单稳态多谐振荡器（图9），它有一个稳定状态，并且在每一个外加脉冲的作用下产生一个脉冲，脉冲的持续时间决定于电路的参量。

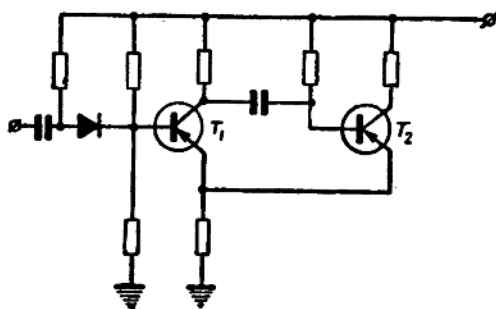


图 9 单稳态多谐振荡器原理图

图10表示
间歇振荡器电
路。当有脉冲
产生时，晶体
管 T 导通，电
容器 C 的充电
电流通过它的
基极。随着电
容器的充电，
基极电流减小，

当晶体管脱离饱和状态时，集电极电流开始减小。由于变容器正反馈的作用，开始了集电极电流减小的雪崩式过程，直

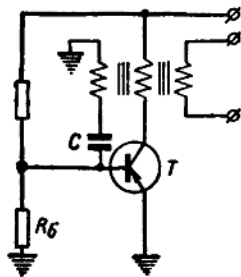


图 10 间歇振荡器原理图

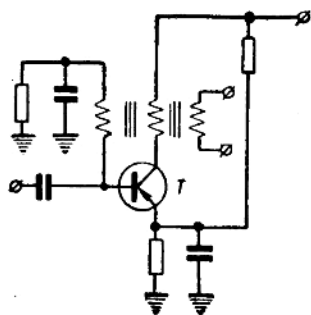


图 11 触发式间歇振荡器原理图