

第1章 微波技术简史

1.1 引言

许多有关微波技术的历史是从麦克斯韦尔(James Clerk Maxwell)以及他的方程组开始的,而这是有其根本原因的。在1873年,麦克斯韦尔发表了《论电学与磁学》一文,这是他长达十年的试图将两个现象统一起来的努力的巅峰。通过在描述所有先前知道的电磁行为的一组方程中添加一个看起来随意的项(“位移电流”),他跨越了已知的真理,而预言了以光速传播的电磁波的存在。反过来说,这个预言不可避免地导致这样一个灼见,即光本身必然是一个电磁现象。学电机工程的学生,或许是被散度、梯度与旋度这些数学运算算子搞晕了头脑,经常不意识到这个内在预言是如何的具有革命性^①。麦克斯韦尔并不想通过引入位移电流来解决当时没有解决的任何难题。特别是,他没有动机去纠正正在电流连续方程中存在的一个明显的电流不连续方程问题(这与许多教科书上给出的标准故事说法正好相反)。他看上去只是被一个美学的感觉而冲动:大自然就是应该让电磁波存在的。不管怎么说,天才这个词,尽管现在有些被滥用了,的确确实适用于麦克斯韦尔的情况。何况天才的英文是genius,而这与精灵(genie)是同出一源的。他所完成的实在是一个奇迹,无疑是19世纪最重要的智慧成就^②。

麦克斯韦尔,不管是被称为天才还是精灵,在1879年去世,才48岁,实在是太年轻了。那一年,赫尔姆·赫兹(Hermann von Helmholtz)设立了一个奖,看谁能率先在实验上证实麦克斯韦尔的预测。1886—1888年间在德国卡尔斯鲁厄工学院(Technische Hochschule in Karlsruhe)进行的一系列出色的实验中,赫尔姆赫兹先前的学生赫兹(Heinrich Hertz)证实了麦克斯韦尔的确是正确的。另一个在这场比赛中的竞争者是洛奇(Oliver Lodge,当时是英国利物浦大学的物理学教授),他在赫兹之后的一个月发表了对麦克斯韦尔理论的证明。在这之前,他刚中断了工作去度假。如果不是这个度假,我们或许今天要用频率单位为兆洛奇等的洛奇波。考虑到Hertz这个字在德语中是指心,而人的心跳大约是每秒一次,看来洛奇没有赢了竞赛倒是一件好事。

赫兹是如何设法用19世纪80年代的设备产生与检测电磁波的呢?实验上的挑战当然要比仅仅产生某种信号要来得大:还需要一个检测器。此外,为了验证波的行为,要求仪器的长度至少为几个波长。这个要求又隐含着另一个条件,即足够的实验室空间来容纳这么大

^① 数学表述的复杂度甚至会更糟糕。麦克斯韦尔在1873年发表的论文中用一组四元数(quaternion)来描述他的方程组。后来是Oliver Heaviside与Josiah Willard Gibbs(吉布斯,美国数学家,与吉布斯方程是同一人,译者注)抛弃了四元数的用法,而用矢量微积分的语言来重新表述麦克斯韦尔方程组。这样才得到现在这个为大多数现代工程师所熟悉的形式。

^② 已故的诺贝尔奖获得者,物理学家Richard Feynman(费曼)经常说未来的历史学家应该赞赏麦克斯韦尔的工作。这是因为与这一发现同一时期发生的另一事件——美国内战,现在看来只具有地区性的重要性。

的仪器(并且理想的情况是这个房间相对于波长而言是无穷大,这样,不想要的从墙壁或其他表面的反射可以忽略)。赫兹当时是一个级别低的教师,他设法搞了一间中等大小的实验室——内部面积大约是 $12\text{m} \times 8\text{m}$ 。^③ 赫兹明白这个实验条件的限制促使他必须寻求产生波长为米量级的信号。他通过实现爱尔兰物理学家 George Francis FitzGerald 的一个猜想,完成了这个任务。FitzGerald 在 1883 年提出了可能可以用当时已经知道的莱登瓶(Leyden jar)(即电容器)振荡火花塞放电来产生电磁波。赫兹意识到这些瓶的半屏蔽结构会妨碍辐射的有效性,他首先修改了 FitzGerald 的主意,将瓶中的圆桶形导体“展平”;然后他用直导线作为电感与这些平板导体连接起来。这样他就可以产生所想得到的频率为几百兆赫兹的谐振频率。在这个过程中,他也顺便发明了偶极子天线。最后,他用一个有缺口的环形天线解决了检测的问题。他的基本发射机—接收机装置见图 1.1。

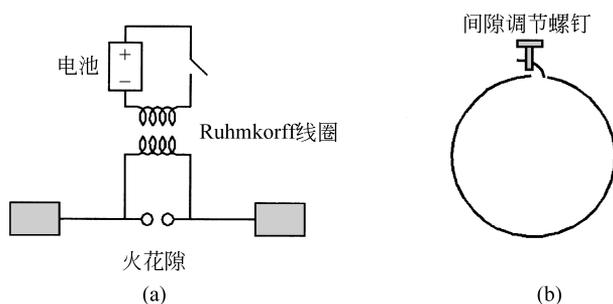


图 1.1 赫兹的火花隙发射机—接收机

当图中的开关合上时,电池给 Ruhmkorff 线圈(一个早期的变压器)的初级绕组充电。当这个开关打开时,磁场的快速消失在变压器的次级绕组上感生出一个高压,从而引发了火花隙的放电。伴随着放电电流的突然变化,激发天线产生辐射。检测过程则是依赖于在环形谐振器中感生出足够的电压来产生可见的火花。一个微米尺度的螺钉使得细微的调整成为可能。在黑暗的环境下观察可以进一步改善测量的灵敏度^④。赫兹用了这个装置(可以看作是一个光学干涉仪的非常长波长的翻版)演示了基本的波动现象,例如极化与反射^⑤。波长的测量,以及对电感与电容的解析计算,证实了传播速度足够接近光速。这样,几乎不容怀疑麦克斯韦是正确的^⑥。

我们再也不会知道赫兹是否会在研究这些现象的纯物理内容后,进一步考虑无线技术的实际应用,因为他在 1894 年因为血液中毒(源于感染了了的牙齿)去世,才刚 36 岁。看来,我们得在每顿饭后刷牙与用牙线,并且要定时去看牙医。

麦克斯韦方程组描述电场与磁场处于一个永不终止的产生、消亡与重生的循环。凑巧的是,麦克斯韦的去世激发了赫尔姆·赫兹去设立一个奖项,而这个奖又激发了赫兹。

^③ Hugh G. J. Aitken, *Syntax and Spark*, Princeton University Press, Princeton, NJ, 1985.

^④ 赫兹也是光电效应的发现人。他注意到在紫外线存在的情况下,火花更容易发生。爱因斯坦因为解释了这个效应而赢得了诺贝尔奖(而不是像通常猜测的那样是因为相对论)。

^⑤ 波的反射是比较容易发生的。这个事实激励了不同研究人员在相对一个短暂的时期内提出了导致雷达发明的雏形。

^⑥ 这并不是说每个人都是立即被信服了,不是这样子的。革命性的事件需要时间。

赫兹的去世引发了一篇纪念他的文章。这篇文章激发了一个叫做马可尼(Guglielmo Marconi)的年轻人去献身于无线技术的商业应用开发。马可尼是意大利博洛尼亚(Bologna)大学教授 Augusto Righi 的邻居与某个时期的学生。Righi 教授写了纪念赫兹的文章。马可尼出生在一个富裕的家庭,因此他有时间与财力来追求他的梦想^⑦。到了 1895 年初,他已经获取了足够多的仪器设备以开始在他们家的郊外住处里外的实验。他努力将通信距离增加。马可尼用了赫兹的发射器,但是不满意火花隙检测器本身的局限。最终他采用(并改造)了一个 Edouard Branly 在 1890 年开发的专门器件。如图 1.2 所示,这个器件,也被洛奇称为相干器(coherer),由一个充满了松散地填入的、可能也被轻微氧化了的金属末的玻璃容器。Branly 偶然发现当附近的电气装置工作时,这个结构的电阻值会发生剧烈的变化。必须强调,相干器工作所基于的详细原理依然不清楚,但是这个知识的缺乏并不妨碍我们来描述它们的电学行为^⑧。

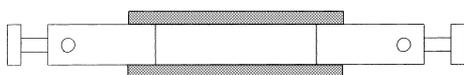


图 1.2 Branly 相干器

一个相干器的电阻在直流工作态下具有大的电阻值($M\Omega$),而在某个电磁(EM)活动激励下,电阻值会下降到千欧或更少。这一大的电阻值变化被用来触发一个螺线管以产生一个听得见的咔哒声,并打印一条纸带作为被接收信号的永久记录。为了使检波器准备好接收下一个电磁脉冲,必须摇晃它(或“搅拌”它)以恢复成“非相干”的高阻状态。图 1.3 显示了这个检波器是如何被用在一个接收器中的。显然这种相干器是一个数字器件,因而不适合除无线电报以外的应用。

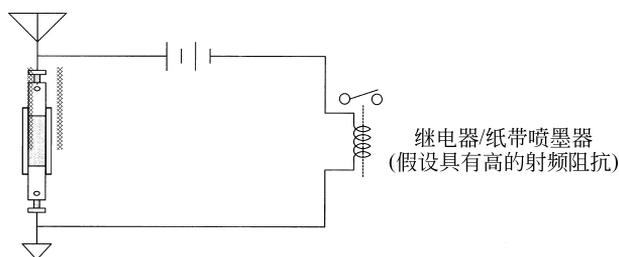


图 1.3 典型的带相干器的接收器

这种相干器从来没有发展成为一个好的检测器,随着时间的流逝,它只是经历了不起眼的改进。马可尼最终停留在如图 1.4 所示的结构。他大大减小了两端塞头之间的距离,在其间的空间充以一种专门的经仔细选择的颗粒大小的镍和银粉的混合物,并且在整个装置

^⑦ 马可尼的父亲是一个成功的商人,而他的母亲是 Jameson 爱尔兰威士忌酒庄的继承人。这种家族的联系后来证明是十分宝贵的,在意大利政府对他的发明没有足够兴趣后,它帮助马可尼转向大不列颠政府的关键官员。英国邮政局认可了马可尼的技术,并支持它的后续发展。

^⑧ 洛奇将这些器件命名为相干器,因为里面的填充物可以被观察到在某些条件下互相粘在一起。然而,这些器件即使在没有明显可见的物理运动条件下,依然可作为检测器。可以猜测,氧化物的击穿至少是可能的解释之一。但是缺乏对这个解释实验的证据,这是因为对这种器件的兴趣不大。

密封之前将管子抽成部分真空。这一接收器的另外一个改进是在每次接收到一个脉冲之后就自动拍打这个检测器使它回到初始的状态,在这一过程中,接收器中一个附加的螺线管提供了一个可以听得见的信号作为指示。

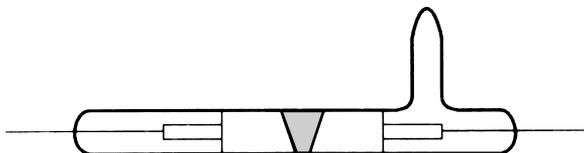


图 1.4 马可尼相干器

尽管所要接收的信号以外其他电磁波事件也能触发相干器,马可尼用这个不怎么理想的器件取得了足够的成功来增加通信距离,在 1896 年达到了大约 3km。当他不断增加功率时,他同时不断地采用更大的天线。这样做所不希望的一个附带效应是载波频率由起先的大约 100MHz 降到了低于 100kHz。这种载波频率的变化是十分幸运的,因为这个低的频率允许电波从电离层反射(当时还不知道有电离层的存在)从而将发射距离延伸至地平线之外。这使得他能在 1901 年 12 月 12 日宣布成功地进行了跨越大西洋的无线通信^⑨。作为一个结果,其后的无线技术在几乎整整二十年中都忽略了 1MHz 以上的频谱,就是因为相信通信距离在 100kHz 下是最大的。

随着无线电技术的发展,这个相干器的局限性变得越来越不能忍受了。这就引发了探求改进的相干器。没有一个理论来指导好的结构的设计,这种探索往往是无序的,有时甚至会出现荒唐的做法。曾经有人拿刚死的人尸体的脑子来作为检波器,实验者甚至声称他的装置有极好的灵敏度^⑩。

尽管有这种荒唐的实验,大多数有关相干器的研究是基于一种模糊的感觉,即相干器(或称金属粉末检波器,下称检波器)的工作取决于非理想接触的某种神秘的性质。基于这个直觉的、各种几乎同时进行的对各类点接触晶体检波器的试验都没有成功。这一类器件的第一个专利是在 1901 年由著名的 Jagadish Chandra Bose 申请的。这个专利是关于采用方铅矿(硫化铅)的检波器^⑪,见图 1.5 与图 1.6。这个检波器利用的是半导体的高电阻温度系数,而不是

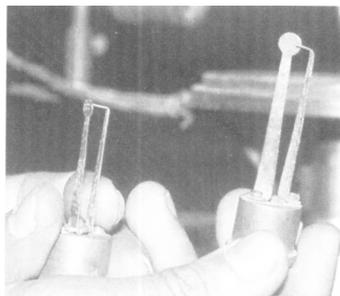


图 1.5 为 Bose 所用的实际的检波器
底座(方铅矿没有显示出)
(得到 David Emerson 授权)

^⑨ 马可尼宣布成功在当时是有争议的,即使在今天依然如此。那个实验本身不是收发双方都是被蒙上眼睛的,因为双方都预先知道发射的信号由字母 s 组成(即莫斯电报码中的三个点)。在他当时采用的长波段中,无处不在的大气噪声特别强。目前最精确的计算揭示出他当时接收到的三个点一定是噪声,而不是信号。然而,我们不必认为这是一个欺骗。不知情的(即不是故意的)实验者的偏执是一个普遍知道的现象,马可尼的情况也不例外。不管怎么说,马可尼的装置在不到一年内就被改进到足以实现可以被验证的横跨大西洋的通信。

^⑩ A. F. Collins, *Electrical World and Engineer*(电气世界与电机工程师), v. 39, 1902; 他从其他种类动物的脑子开始,一直工作到人的脑子。

^⑪ 美国专利# 755 840,于 1904 年 3 月 19 日批准授予。这个专利持有人的姓名给出的是 Jagadis Chunder Bose(而非 Jagadish Chandra Bose,译者注)。我们采用的译法是与印度加尔各答的那个用他的名字命名的学术研究所相同的。

No. 755,840.

PATENTED MAR. 29, 1904.

J. G. BOSE.

DETECTOR FOR ELECTRICAL DISTURBANCES.

APPLICATION FILED SEPT. 30, 1901.

NO MODEL.

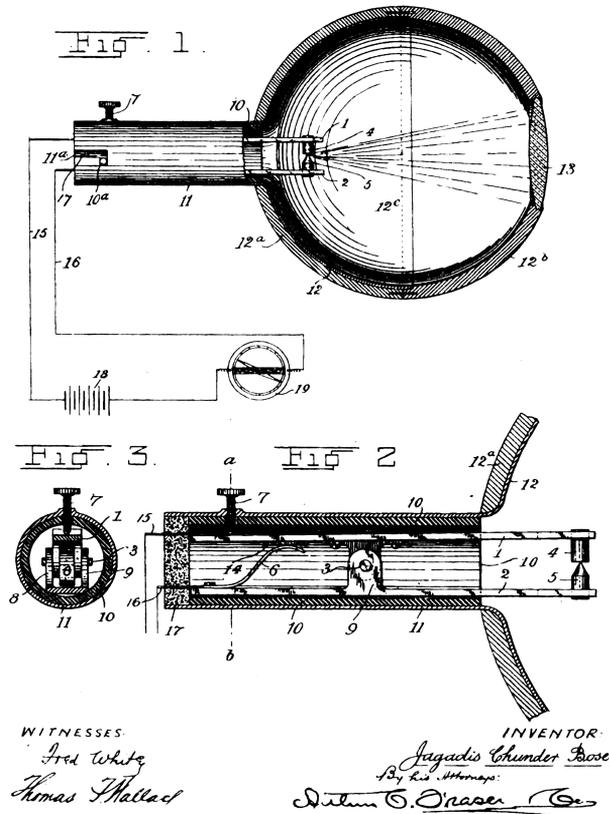


图 1.6 Bose 的热度计(bolometer)专利(第 1 页)

它的整流特性^⑫。可以从专利的手画图中看出,电磁辐射是聚焦在点接触上。而与这样产生的加热过程相伴随的电阻值的变化被记录成为流过外部电路的电流。这一类检波器被称为热测定器。经改进了的热测定器依然被用作测量功率的一种手段,特别是对那些频率如此之高的信号,以至于没有别的办法可以检测。Bose 用这种检波器将实验的频率推高至大约 60GHz。他在 1891 年的文章中首次发表了这个结果^⑬。他对微米波现象的研究领先了

^⑫ 许多关于 Bose 工作的描述将他的方铅矿热度计(bolometer)与后来发展起来的点接触(猫须状类)整流检测器混淆了,从而错误地将半导体二极管的发明归功于他。后者(即半导体二极管)当然有整流作用,因此不需要外加偏置。早在 1874 年, Ferdinand Braun 就报道了在方铅矿和黄铁矿(以及其他一些矿物质)上存在着不对称的导电特性(Ueber Stromleitung durch Schwefelmefelmetalle(论通过金属硫酸盐的电流), *Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie*, v. 153, pp. 556-63)。Braun 的其他一些在无线电技术上的重要贡献是将火花隙与变压器的初级线圈串联起来,而这个变压器的初级是连到天线的。他后来因为对无线电技术的贡献而与马可尼共享了 1909 年的诺贝尔物理学奖。

^⑬ J. C. Bose, "On the Determination of the Wavelength of Electric Radiation by a Diffraction Grating,"(论用衍射栅决定电辐射的波长), *Proc. Roy. Soc.*, v. 60, 1897, pp. 167-178.

他的时代几十年^⑭。Bose 在英国剑桥大学的老师，瑞利(Rayleigh)爵士，认识到中空的导体可以传递电磁能量，这同样是超前了他的同时代人几十年^⑮。通过波导来传递信号这样的做法在 19 世纪 90 年代之后的 40 年中都没有人提起过，但瑞利在 1897 年就解决了有关的大部分问题(包括截止频率的概念)。

这个专利似乎是授予半导体检测器的第一个，尽管当时还没有清楚地认识到这一点，因为半导体那时还没有被看作是专门一类材料(的确，“半导体”这个词当时还没有造出来)。沿着这个方向的工作依然在继续进行，Henry Harrison Chase Dunwoody 将军在 1906 年 3 月 23 日申请了第一个采用金刚砂(碳化硅)的整流检波器的专利。这个专利申请在当年的 12 月 4 日得到批准，专利号 # 837 616。一个在 Dunwoody 之后申请的专利，即 1906 年 8 月 30 日由 Greenleaf Whittier Pickard (一位 MIT 的研究生，他的祖父辈长辈是诗人 John Greenleaf Whittier)就一个硅(!)检波器提出的专利申请，却在 Dunwoody 之前得到批准：1906 年 11 月 20 日，专利号 # 836 531(见图 1.7)。

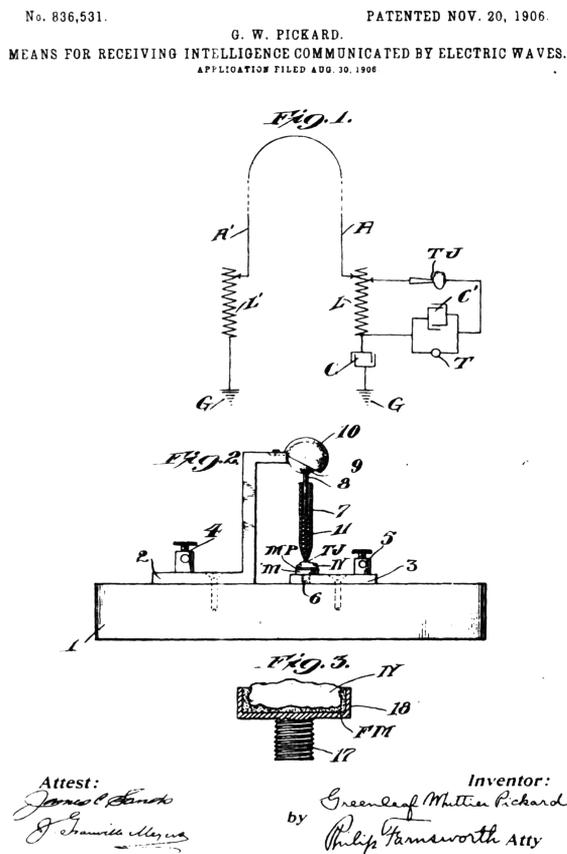


图 1.7 第一个硅二极管专利

^⑭ 对 Bose 的毫米波工作的一个极佳的回顾，见 David T. Emerson, “The Work of Jagadis Chandra Bose: 100 Years of MM-Wave Research,”(Jagadis Chandra Bose 的工作：毫米波研究的 100 年), *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, v. 45, no. 12, 1997, pp. 2267-2273.

^⑮ 大多数的科学家与工程师熟悉瑞利的关于声学的广泛著作，包括管道(声波波导)的分析。但很少有人知道他也奠定了电磁波导的基础。这是一个时代，当时没有人能想象可以利用这个现象，而且除了 Bose 也没有人甚至能产生频率足够高的波在尺寸那么小的波导中传播。

如图 1.8 所示,一端连接的是一根细导线(奇怪地被称“猫须”),它形成了到晶体表面的一个点接触;另一端连接的则是一个大面积的接触,由低熔点的合金形成(通常是铅、锡、铋和镉的混合物,被称为“Wood”金属,其熔点在 80°C 以下)。这个大面积接触包住了晶体^⑮。我们可以把这样构成的器件称为点接触式肖特基二极管,尽管测量设置并不总是那么容易地与这一描述相一致。不论怎样,我们可以看到现代的二极管符号是如何从这一实际装置的描述中演变而来的,二极管符号中的箭头代表触须的点接触。

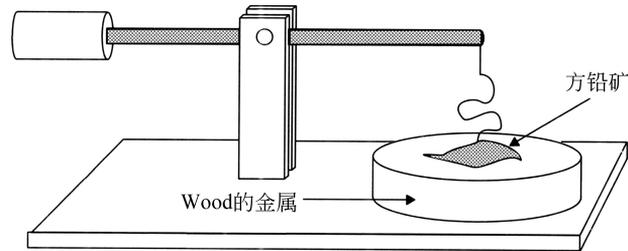


图 1.8 典型的晶体检波器

图 1.9 给出了用这些器件制作的简单的晶体收音机^⑰。一个 LC 电路调谐到所要接收的信号,然后晶体对此进行整流,只留下解调了的声波来驱动耳机。某些检波器(如方铅矿)无需直流偏置源,所以有可能制作一个“无需能量”的收音机^⑱。就像我们将会看到的,一个在还是小男孩时就被晶体无线电的魔力所迷住的人,长大后试图用点接触二极管来实现雷达的开发。晶体无线电依然是一群被这种接收器的魅力所吸引的无线电爱好者的强烈兴趣的焦点。

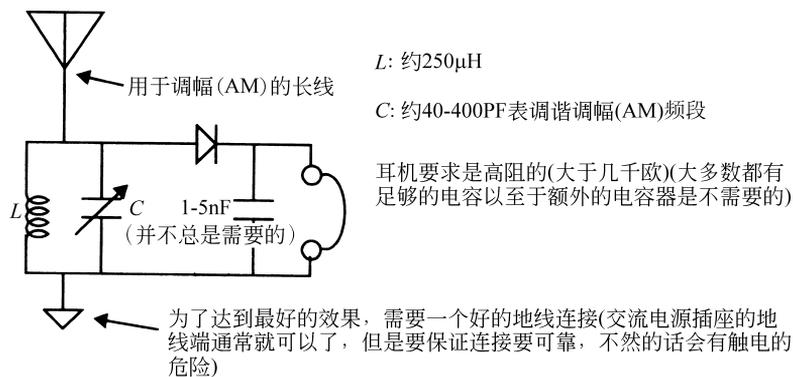


图 1.9 简单的晶体无线电收音机

^⑮ 尽管这么说,这种晶体被接触包住是不必要的。与晶体的体部的紧密压接通常就足够了。而这样做又可以避免使用带有毒性的金属。

^⑰ 今天,晶体通常是指用在诸如在振荡器中作为决定频率的元件的石英谐振器;这个称谓与用在晶体收音机中的晶体没有关系。一个方铅矿晶体可以用买得到的商用二极管(例如锗 1N34A)替代。但是理想主义者不会批准这样缺乏魅力的做法。一个普通的美国一分钱硬币(不早于 1983 年),在厨房的烘箱中 250°C 下烤 15 分钟以形成氧化铜(CuO),具有许多与方铅矿类似的特性(如完全不可预测的行为)。其他国家的用铜做的硬币也可能会工作(作者已经验证了韩国的 10 韩元硬币工作得特别出色)。读者被鼓励用世界各地的硬币做试验,然后告诉作者。

^⑱ 或许我们应当感谢人类的听觉系统:人类听觉的阈值相当于耳膜的一个氢原子直径那么大的位移!

Pickard 在开发晶体检波器时比任何其他人工工作得更努力,他最终试验了 30 000 种导线和晶体的组合。除了硅以外,还有黄铁矿石(傻子的金子)和生锈的剪刀。方铅矿检波器曾非常普及因为它们价格低廉且不需要任何偏置。遗憾的是,触须线接触的恰当调节很难被保持,因为只要在方铅矿上的压力稍微大一点就会破坏其整流性能。此外,还得先在晶体表面搜寻一个敏感点。另一方面,尽管金刚砂检波器需要有几伏的偏置,但它们在机械上比较稳定(较高的接触压力也毫无问题),因此广泛地应用在船上^①。

大约在这些原始的半导体初次使用的同时,无线电工程师们开始与由火花信号的宽频谱引起的干扰问题作斗争。这一信号的宽带特性倒是很好地适合相干器技术,因为反正相干器阻抗的剧烈变化已使得调谐电路的实现十分困难。然而火花隙技术不适合多路通信这一问题在 1901 年独显出来。当时三个独立的组(分别为马可尼、Lee de Forest 与 Pickard 所领导)试图去同时提供美洲杯赛艇比赛的无线实时报道。当这三个组同时发出火花信号时,没有人能收到能够理解的信号。结局是竞赛结果不得不用老办法,即信号机,来报告。气恼之极的 de Forest 把他的发射机扔到船外,而在岸上急着等新闻的中继台则不得不编造许多他们报告的内容。

作为对这一事件的回答,一些工程师寻求产生具有射频频率的连续正弦波方法。其中之一是极富天赋的丹麦工程师 Valdemar Poulsen^②(因为发明过一个早期的磁记录装置而出名)。他采用了与直流弧光放电关联的负电阻特性来保持一个 LC 电路不断地振荡^③。一个刚刚毕业的斯坦福研究生,Cyril Elwell,确保了 Poulsen 的电弧发射机的生产许可而在加州帕拉阿图市(Palo Alto,与斯坦福大学邻近,译者注)创建了 Federal Telegraph(联邦电报)公司。这家公司很快将这个技术扩展到能输出十分吃惊的功率水平:第一次世界大战之后没有多久,一个功率为 1MW 的电弧发射机就投入使用了。

Reginald Fessenden 要求通用电气公司(GE)的 Ernst F. W. Alexanderson 设法采用不同的技术途径,用巨大的交流发电机来产生大功率的射频正弦波(这个发电机其实与我们开车时给汽车电池充电的那个一样,只是非常大,速度非常高)。这样一个已经走到了头的技术在制造出一个频率为 100kHz、功率达 200kW 的交流发电机后,也算达到了顶峰。这个发电机在第一次世界大战结束时才完成,但在它开始要工作时,该技术已开始变得落后了^④。

^① 金刚砂探测器通常被封装在一个盒子里,并且它们的调节常常是通过一个十分小心地将其压在一个硬表面上的步骤实现的。

^② 有些资料总是把他的名字不正确地写成是“Vladimir”,这完全不是一个丹麦人的名字!

^③ 用于工业照明的弧光技术那时已是十分成熟了。需要有一个足够大的串联电阻来补偿电弧的负阻(因而能维持一个稳定的电流)是十分明白的。William Duddell 利用了负阻的特性来产生音频(以及可以听得到的)振荡。Duddell 的“能唱歌的弧光”或许能用来作娱乐用,但没有什么其他特别的用处。试图将振荡频率提高到音频范围之上的努力并不成功,直到 Poulsen 转用氢气,并且采用了一个强磁场在每个周期里将离子扫除出去(这个主意是 Elibu Thompson 在 1893 年提出来的)。Elwell 随后将这个装置的尺寸放大以取得更高的功率。这个方法足以将功率增至 30kW。但简单的通过这种按比例放大来增加输出功率的方法,只导致了越来越大的发射机。而输出功率依然被限制在 30kW 上。在 Leonard Fuller 的博士论文中(这是 Stanford 电机工程的第一篇博士论文),他做了理论上的改进。这个进步使得电弧功率能突破上面的壁垒,而实现了 1MW 的电弧发射机。在 1931 年,作为加州大学伯克利(Berkeley)分校电机工程系的系主任——而且那时候电弧技术已经变成历史了——Fuller 安排了 Federal Telegraph(联邦电报)公司将多余的绕线圈的机器与一个 80t 的磁铁捐赠出去以建造 Ernest O. Lawrence(劳伦斯)的第一个大型回旋加速器。劳伦斯用这个装置后来在 1939 年赢得了诺贝尔物理学奖。

^④ 这样一个先进的依赖于旋转子的机器已用尽了冶金技术所能提供的所有潜力,要进一步提高工作频率,比如高于 200kHz,是完全不可能了。

连续波比火花信号更有优势这一点立即就变得很明显,并由此刺激了开发更好的接收设备的努力。幸运的是,相干器逐渐为许多改进了的器件,包括前面描述的半导体器件,所替代。到了1910年时,相干器已注定是要被淘汰的了(尽管迟至50年代至少有一种无线电控制的玩具还在用相干器)。

到了1906年后期,已有足够多的整流检波器投入使用,以至于美国东海岸的船员们吃惊地发现他们能收听到 Fessenden(Reginald Fessenden, 无线电话的加拿大发明者,译者注)本人在圣诞节前夜的第一次调幅广播(尽管三天前,这已通过无线电报作了预告)。向高采烈的听众广播的节目包括亨德尔(Handel)的广板(Largo)(来自歌剧《赛尔斯》(Xerxes))、Fessenden用小提琴演奏的圣善夜(O Holy Night)(Fessenden自己还边拉小提琴边唱了最后一段歌词),以及他发自内心的对听众的圣诞节祝福。^③ 他用了一个水冷的碳精粉麦克风来调制一个5kW(大约的)、50kHz(也是大约的)载波。这个载波是由位于美国麻省 Brant Rock 这个地方的一个原型的 Alexanderson 交流发电机产生的。那些使用相干器的不幸运听众错过了这一历史事件。Fessenden 在一周之后,即在新年前夜又重复了他的广播,使得更多的人有机会通过参与得到乐趣。

1.2 真空管的诞生

1907年见证了 Lee de Forest 的第一个能起放大作用的电子器件的发明:真空三极管。遗憾的是,de Forest 并不明白他的发明是如何实际工作的。他是通过来回几次的机遇(有时甚至是缺乏职业道德的方式)才碰巧有这个发明的。

真空管要追溯它的祖先到爱迪生(Thomas Edison)的不那么高科技的白炽电灯泡。爱迪生的灯泡有一个问题,即由于烟垢(碳灯丝的蒸发所致)在灯泡内表面的积累而逐渐变黑。为了解决这个问题,他插入了一个金属电极,希望能把烟垢吸附到这个电极而不是玻璃上。他不愧是一位真正的实验家,对这一电极分别加了正电压和负电压(相对于灯丝的一个接头),在1883年注意到当这个电极是正电压时会有奇怪的电流流过,但当这个电极是负电压时则没有任何电流。同时流过的电流大小取决于灯丝的温度。他当时还没有任何理论可以解释这些观察到的现象(注意,“电子”这个词直到1891年才被 George Johnstone Stoney “造”出来,并且直到1897年汤姆逊(J. J. Thomason)的实验才没有疑义地确认了这个粒子),但爱迪生继续他的研究并在1884年获得了第一个电子(而不是电气)器件的专利。这一器件利用板极电流依赖于灯丝温度这个关系来间接测量上的线电压^④。这一装置从来没有被生产过,因为相比于标准的电压计其性能要差些;爱迪生就是想得到另一个专利,就此而已。这是他最终获得了1093个专利的一种方式。

大约就在同一时期,一个叫弗莱明(John Ambrose Fleming)的英国爱迪生公司的顾问碰巧去参加了一个在加拿大的会议。他在美国逗留期间去拜访了他在新泽西州的兄弟,以

^③ “An Unsung Hero: Reginald Fessenden, the Canadian Inventor of Radio Telephony,”(一个未被赞颂的英雄: Reginald Fessenden, 加拿大的无线电话发明家)(http://www.ewh.ieee.org/reg/7/millennium/radio/radio_unsung.html).

^④ 美国专利#307 031,1883年11月15日申请,1884年10月21日授权。

及爱迪生的实验室。他为这个“爱迪生效应”大受启发(远比爱迪生要感兴趣,而爱迪生本人很难理解为什么弗莱明会对这个没有任何实际应用希望的现象如此兴奋不已),并最终在1890—1896年间发表了有关这个效应的几篇论文。尽管弗莱明的实验最初引起了一些轰动,但伦琴(Röntgen)在1896年宣布发现了X射线——以及在同一年的后些时候发现了天然放射现象——之后,爱迪生效应很快便不被人注意了。

几年后,弗莱明成为了英国马可尼公司的顾问并开始寻求改进检波器性能的努力。他想起了爱迪生效应,经过一些灯泡的测试,发现了这些灯泡完全能用作射频频整流器。于是他在1905年申请了弗莱明真空阀(Fleming Valve,真空管因此在英国仍被称为阀)的专利(图1.10)^⑤。几乎完全耳聋的弗莱明采用了一个镜子电流计(mirror galvanometer)来使接收到的信号以可见的形式表示出来,并把这一特点作为他专利的一部分。

尽管并不是特别灵敏,但弗莱明阀至少能连续作出响应并且不需要任何机械的调整。马可尼公司安装的许多设备都采用它们(但多半是由于契约义务的关系)。其实弗莱明阀从来就没有被普遍接受过——这与某些历史的说法正好相反——因为它消耗太大的功率,灯丝的寿命很短,而且这一东西又很贵。当与制作精良的晶体检波器相比时,它的灵敏度又不高。

de Forest此时正忙着在美国悄悄地创建几家无线电公司来与马可尼竞争。他在1902年早期的杂志上充满希望地写道,“相信我们,很快就会有鱼儿上钩的”。的确,他的公司在美国很快就是仅次于马可尼无线通信公司的最大无线通信公司了。de Forest绝不是一个轻易让机会溜走的人,他剽窃了弗莱明二极管并甚至设法在1906年得到了专利授权(#836 070,5月19日申请,11月13日授权)。他只是将弗莱明的镜子电流计换成了一个耳机,然后加上一个极大的正向偏置(这样就将一个原本不灵敏的检波器变得更不灵敏)。证明de Forest直接偷窃了弗莱明的工作的结论性证据最终出现了,一位叫Gerald Tyne的历史学家得到了H. W. McCandless的商务记录,后者是de Forest所有第一批真空管(de Forest称它们为“电子三极管,audion”^⑥)的生产商。这些记录清楚地显示了de Forest在申请他专利的几个月前曾要求McCandless复制过一些弗莱明真空阀。因此根本不可能有善意的解释来说明de Forest独立发明了真空二极管。

然而他的下一个成就倒是他自己的,而且十分重要。他在灯丝和翼电极(后来称为板极)之间增加了一个用曲曲弯弯的导线做成的电极,de Forest把它称为栅电极,这样就诞生了真空三极管(见图1.11)。这一有三个部件的真空三极管有放大的能力,但de Forest直到若干年之后

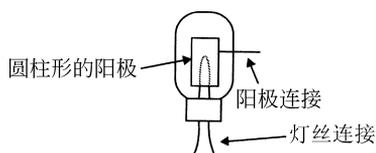


图 1.10 弗莱明阀(真空二极管)

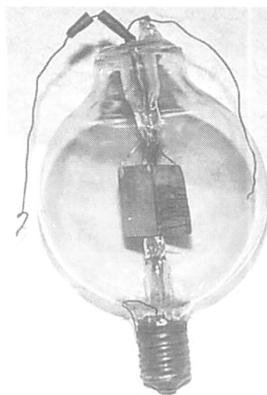


图 1.11 De Forest 的真空三极管
(为 Armstrong 用在他 1912 年的再生接收机的双阳极真空三极管(来自 Houck 收藏,经 Michael Katzdorn 许可))

^⑤ 美国专利#803 684,1905年4月19日申请,1905年11月7日授权。

^⑥ Gerald F. J. Tyne, *Saga of the Vacuum Tube*(真空管传奇), Howard W. Sams & Co(出版公司),1977.