

高等学校教学用书

无线电技术设备的 电源供给

WUXIANDIAN JISHU SHEBEI
DE DIANYUAN GONGJI

B. И. 罗金斯基著

顧德仁等譯

人民教育出版社

本书是根据苏联国立动力出版社（Госэнергоиздат）出版的罗金斯基（В. Ю. Рогинский）所著“无线电技术设备的电源供给”（Электрическое питание радиотехнических устройств）1957年版译出的。原书是按苏联电工类高等工业学校同名课程的教学大纲编写而成的。书中包含有关整流阀、整流设备、电流的一次电源，以及电流和电压的调整与稳定设备的一些基本知识。关于电流的转换和高压小功率电源供应的应用等问题，在本书中也作了阐明。书中并编入了计算例子和援引了参考数据。

本书可供电工类高等工业学校的学生，以及从事无线电技术设备电源的研究、设计、生产和维护的工程技术人员参考。

本书由成都电讯工程学院顾德仁、徐秉铮、吴文华、黄嵩如、杨国雄、张世箕、肖先赐、蔡寿辉、徐向群等同志译校，最后由黄嵩如同志对全稿进行校读。

无线电技术设备的电源供给

В. Ю. 罗金斯基著

顾德仁、黄嵩如、杨国雄等译

北京市书刊出版业营业许可证出字第2号

人民教育出版社出版（北京景山东街）

京 华 印 书 局 印 装

新华书店北京发行所发行

各 地 新 华 书 店 经 售

统一书号 K15010·987 开本 850×1168 1/32 印张 15 11/16

字数 419,000 印数 0,001—2,000 定价 (7) ¥1.70

1962年11月第1版 1962年11月北京第1次印刷

序

近年来出版了许多关于无线电技术设备以及有线电通讯设备电源供给的单独问题的书籍。但是到目前为止，我们还没有一本研究这一技术部门中所有问题的书籍。当然，在篇幅不大的专题小册子中难以同样的详尽程度来阐明从小功率设备到大功率设备的各种不同电源设备的所有特点。例如，不可能一方面既完全满足读者对于阐明大功率无线电台电源设备特点的要求，而另一方面又完全满足对于无线电广播接收机或电视接收机整流器电源设备特点的要求。由于在现代的技术中广泛地采用了半导体器件来作为电流的整流器及稳定器，作为将低压直流转换为高压直流的器件，也作为把日光能和热能转变为电能的器件，因而要完全阐明这些问题就更为复杂的了。不仅如此，由于无线电接收机、电视接收机、小功率收发送机和无线电爱好者电台的更广泛流行，以及无线电技术方法与工具在国民经济各个不同部门中更广泛的应用，使得在这一本来只简单地讲述电源供应的综述性问题的书籍中，有必要除了包括理论性质上和描述性质的材料外，还要包括计算与参考数据。

作者企图根据上述的见解来编写本书。为了不使这本书的篇幅太大，不得不去掉了对上述设备的许多特点的研究。由于这个原因，在书中几乎没有写到各个方块和整个设备的结构，也没有写到辅助设备或启动-调整设备。由于同一原因，书中对于几种典型设备和装置的运转特性也没有足够的阐明。

在编写过程中，作者利用了国内和国外的文献，其目录列入书后的参考书目中。

作者认为有义务向 С. И. 潘斐洛夫 (Панфилов) 教授、В. Ю 高略英

諾夫(Горяинов)教授、М. А. 史比次恩(Спицын)副教授以及以弗·依·烏里揚諾夫(列寧)命名的列寧格勒電工學院無線電發送設備教研組的同人們，還有校閱者 Л. И. 克拉依茲墨爾(Крайзмер)副教授和 В. С. 史比特涅夫(Сбитнев)副教授致以謝意。所有以上的同志都參加了手稿的討論並提出了寶貴的意見，從而提高了本書的質量。

作者將以感謝的心情來接受讀者的意見。來信請徑寄下述地址：列寧格勒，Д-41，馬爾索夫廣場，1 號，國立動力出版社列寧格勒分社(Ленинград, Д-41, Марсово поле, 1, Л/О Госэнергоиздата)。

作者

目 录

序.....	viii
第一章 无线技术设备及电讯工具的电源供给	1
1. 电能的能源和消耗器	1
2. 无线电设备及通讯工具电源供给的技术发展史	5
第二章 电整流阀及其特性	10
1. 电整流阀的特性和分类	10
2. 机械作用的整流阀	12
3. 电气作用整流阀	15
4. 二极整流管	19
5. 热阴极气体放电整流阀	27
6. 具有液体阴极的气体放电整流阀	43
7. 半导体整流阀	50
第三章 整流电路及其一些关系式	77
1. 整流设备概说	77
2. 具有电阻性负载的无损耗的单相半波整流器的电路	79
3. 具有电阻性负载无损耗的 m 相半波整流器	81
4. 具有电阻性负载无损耗的全波整流器	85
5. 变压器初级绕组的电流	88
6. 整流设备中的功率关系	91
7. 整流器中的反电压	93
8. 整流电压的脉动	94
9. 整流器在感性负载上的工作	96
10. 板极变压器的绕组漏感对整流器工作状态的影响	98
11. 变压器绕组的电阻和整流阀的内阻对整流设备工作状态的影响	106
12. 变压器的受迫磁化	107
13. 整流器在电容性负载上的工作	109
14. 倍压整流器	126
15. 整流器的效率	137
16. 整流器电路及其工作状态的评比	142
第四章 平滑滤波器	143
1. 概说	143
2. 滤波器的平滑作用	146

3. 有平滑滤波器的电路中的过渡历程	161
4. 平滑滤波器对无线电设备工作的影响	167
5. 电子平滑滤波器	177
6. 平滑滤波器的元件	181
第五章 化学电源和能量直接变换器	188
1. 电化学原电池	188
2. 蓄电池	199
3. 直接的能量变换器	216
第六章 发电机和变流机	222
1. 直流发电机	222
2. 交流发电机	235
3. 发电机的拖动与机组	250
4. 振簧式变流器	255
第七章 电源供给的电压和电流调整	268
1. 概說	268
2. 机械的与电磁的电压和电流调整器	269
3. 变压器电压调整器	276
4. 可控閘流管整流器	291
5. 电子管作为电压与电流的调整器	305
第八章 电源电流和电压的稳定	308
1. 概說	308
2. 充气管稳压器	310
3. 用鎮流管稳定电流	323
4. 利用热变电阻的电压和电流稳定器	331
5. 电磁的电压稳定器	336
6. 具有饱和扼流圈的稳压器与电压自动调整器	347
7. 电压与电流的电子稳定器	350
第九章 小功率高频及脉冲整流器	370
1. 小功率高频整流器	370
2. 小功率脉冲整流器	376
第十章 电源供给中的干扰防护设备	382
1. 概說	382
2. 利用滤波器防止无线电干扰	387
3. 抑制干扰的电路	397
第十一章 整流设备的計算	402
1. 整流设备的計算方法	402

2. 整流器計算举例.....	412
第十二章 变压器及扼流圈的結構計算	438
1. 磁性材料.....	438
2. 电源变压器的結構計算.....	443
3. 平滑滤波器的扼流圈的結構計算.....	465
4. 磁化扼流圈的計算.....	471
5. 鉄磁諧振稳定器的計算.....	478
参考書刊	486

第一章 无綫电技术設備及电訊 工具的电源供給

1. 电能的能源和消耗器

大多数现代的发电站都在生产交流电能。交流动力系统所以被广泛采用，是由于它与直流系統相比較有許多优点。交流电最主要的一个优点是它易于从一个电压变换到另一个較高或較低的电压。为了减少在綫路上的損失，发电站到用戶的电能远距离传送广泛采用着高压电能。

近年来，由于建立了一些超大功率的包含有离用戶地点很远的一些电站的动力系統，因而出现了一种采用很高电压的直流传送綫路的傾向。这些綫路与交流綫路比較具有一系列的优点，但是，即使在这种情况下，在用戶之間配电的电网还将是交流的。

在苏联最广泛流行的要算在用戶处电压为 127、220 及 380 伏的交流电网。电网电流的頻率规定为 50 赫，而电流曲綫的形状实际上与正弦曲綫无差別。一般都应用三相交流电网。

除了大功率交流发电站以外，还有由交流发电机和发动机（通常是內燃机）所組成的小功率的，一般是移动式的电源。在这些小功率交流电源中，頻率可与 50 赫稍有不同，它所产生的交流电电压也不一定标准的（127、220 或 380 伏），但是，照例总是傾向于使它如此。这样，如果可能而又合适，我們就可以用交流电网来代替移动式电站。

自給式电站被广泛地应用于舰船上，而且这里都采用可携式的交流电源，它的頻率为 16.33 和 32.66 赫，即只有一般电力系统頻率的 $\frac{1}{3}$ 或 $\frac{2}{3}$ 。在許多情况下，也装置有較高頻率，400 至 800 赫的交流携带式电源。这些电源在运输飞机、飞船、移动式无綫电台以及其他类似

设备中都可以遇見。

在那些不大的城市、市鎮、以及輪船和移动式无綫电台所广泛应用的小功率直流电力系統中，电压是多种多样的：36、50、110、120、220 和 500 伏。

无綫电设备及电訊设备的电能供給是直接由交流电网通过相应的变压器来实现的。这些变压器只是專門为了供电給单个电路而設的。基本上，被消費的电能是預先变成了直流电能的，为此应用了整流设备、电机变流器和其他变流器。

除了从交流和直流电网取得电能外，对于无綫电设备及通訊设备的电源供給广泛地应用着一次电流电源。属于这一类的有电化元件和电池、蓄电池、热偶发电机、变原子能为电能的元件以及其他。但是，用一次电源和小功率（自給式）电站来供电給无綫电设备和电訊设备并不合算，因为它使设备大大昂貴、复杂和笨重了，而且要求經常的有經驗的維護。与此相反，利用整流设备从大功率电力系統中取得电流能够保証设备有較高工作稳定性，而且簡化了全部供电系統。当所消費的功率很大时，交流市电的利用显得尤其重要。当需要得到很多不同样的电压与电流数值的时候，从交流市电供电給设备也具有十分重大的意义。通常即使为了最簡單的无綫电设备的正常工作，也需要 2 至 3 个具有不同电流的不同电压，这就迫使我們要有好几种直流电源。这种要求是很难由安装一种类型的蓄电池或电化电池所能滿足的。从电源供应的观点来看，表 1.1 显示出，对各种类型的无綫电设备和通訊设备提出了多么不同的要求。

可以指出以下最常遇到的无綫电设备及通訊工具电源供給的一些类型，以作为表 1.1 的补充資料。

通常，装有功率为一千瓦或一千瓦以上的发射机的无綫电台都是用 220/380 伏电压的三相市电供給的，并且用好几个整流器来分別供电給不同的直流电路。在大多数情况下，大功率电子管的灯絲是用交

表 1-1. 各种无线电技术设备和通讯工具所消耗的电功率

电 能 消 耗 器	电流的类型	电压, 伏	电流, 安	电压(电流)的容許脉动 %	最常用的电流供給 (变流器)
由交流市电供給的家用的無線电接收設備; 無線电广播設備	直 流 交 流	200—450 2—6.3	至 0.2 至 5.0	小于 0.5 —	二极管整流器 交流市电, 应用降压变压器
电视接收机	直 流 交 流	200—450 至 1500 2—11	至 0.2 0.01 10.0	小于 0.5 同 上 —	二极管整流器 交流市电, 应用降压变压器
应用直流电源供給的(電池)的家用無線电广播接收机	直 流	至 160 1.2—2	至 0.01 至 0.2	小于 0.05 同 上	电化元素電池組 蓄電池或盛水電池 具有振簾式整流子的电耦合发电机
5 瓦以下的小功率音頻放大器	直 流 交 流	至 450 4—6.3	至 0.1 至 5.0	小于 0.05 —	二极管整流器, 較少用充气管整流器 可用硒整流器 交流市电, 应用降压变压器
携带式(可移动式)小功率音頻放大器	直 流	至 450 2—4	至 0.1 至 5.0	小于 0.05 —	由蓄電池供給的电动机
小功率轉播用扩音机	直 流	至 450 2—6.3	至 0.1 至 5.0	小于 0.5 —	机动发电机及原动机(內燃机, 风力发电机), 蓄電池, 各种类型的交流整流器
小功率直流电动机	直 流	至 220	至 5	小于 0.5	机动发电机及变流器蓄電池
小功率携带式無線电台	直 流	80—380 2—4	至 0.1 至 2.0	小于 0.5 —	电化元素電池組, 具有蓄電池的振簾式变流器 手搖发电机, 碱性蓄電池
中等功率移动式無線电台	直 流	160—750 4—1	至 0.2 至 6.0	小于 0.5 —	具有蓄電池的电动机, 机动发电机
大功率移动式無線电台	直 流	700—4500 至 24	至 1.5 至 100	小于 0.5 —	具有內燃机或柴油机的机动发动机, 电动机, 蓄電池
各种功率的固定無線电台	直 流 交 流	100—1500 2—52	至 10.0 至 1000	小于 0.5 —	三相交流市电連同各种类型整流器(二极管整流器, 充气管整流器, 水銀整流器, 硒整流器), 还有不同用途的机动发电机
不同用途的無線电局	直 流 交 流	至 60 至 24	至 1.0 至 15.0	小于 0.5 —	不同类型的整流器, 蓄電池, 机动发电机和电动机
不同用途的固定小功率電話局	直 流 交 流	至 60 至 24	至 10.0 至 10.0	— —	不同类型的整流器, 蓄電池, 机动发电机
不同用途的輕量, 小体积設備	高頻交流	至 500	至 10.0	—	不同类型的机动变流器

流供电的,但是有时也用硒整流器来为灯絲电路供电,移动式和船舶用無線电台是例外,它們經常是由机动直流发电机供电的。

装有功率为几百瓦的发射机的無線电台,是由交流市电或直流市电,也有由机动发电机来供电的。在后一种情况下,可以利用內燃机或交流或直流电动机,通常机动发电机是設計好可以連續工作 1—2 小时。

功率在 100 瓦以下的無線電設備,它的电源供給是取自交流市电,同时应用一个或几个整流器。此外,也可以应用蓄电池以及与之相应的电机或振簧式变流器,以获得高压直流。当应用 6—12 伏电池时,它們的容量选择为 100—120 安时左右,如無線電設備(放大器、無線电台等等)需要在昼夜內大部分時間工作的話,那么就必須預先考虑到蓄电池有周期性充电的可能性。功率小于 15 瓦的無線電設備,它的电源供給的选择决定于运用的特点。例如,功率这样大小的移动式無線电台可以由脚踏或者手摇发电机来供电。但是这一种类型的电台要不間断的工作就有很大的困难(經常要換搖機器的人,所产生的电压很不穩定,难于保持发电机电枢轉数为恒定等等)。

功率为 2 至 3 瓦的移动式無線电台通常由电池或小容量的蓄电池来供电。这些电台的工作期限受到供电电源容量的限制。

有綫电通訊設備(電話、电报)需要电压为 24、40、60 以至 200 伏的直流电源供給。这时所消耗的功率同决定于通訊站的类型及用途。属于区与区之間電話站这一类型的電話局,以及共电式人工電話局(РТСЦВ),应用額定电压为 24 伏的直流供电。它們的主要供电电源是蓄电池。这些蓄电池通常是不断地从交流市电通过 БСК2—36/60 型硒整流器充电的。在沒有交流中心市电时,蓄电池可以从交流发电机与直流发电机进行充电。为了驅動发电机,采用內燃机、柴油机、小功率蒸汽透平以及风力发动机。在不間断充电的情况下,这些蓄电池是作为維持电压为常数之用,即是說,工作于緩冲状态。

大型的十進位步進制自動電話局(ATC)的電源設備，當負荷功率達到10至20千瓦時，通常設計於60伏的電壓。在這些情況下，一般應用機動發電機。

在簡單地列舉了一些保證無線電設備及有線電通訊工具的電源供給設備之後，可以看到，它們之中那些是最適宜的。選擇這一種或者那一種合適的電源設備決定於運用條件。最廣泛地應用着的是用交流市電保證全部電源供給的整流設備。這就引起了在電工學及無線電工學課程中深入研究整流器的必要性。在這本書中，全部問題的敘述也是從整流設備開始的，同時，在這本書中描述了一系列其他類型的電源供給，而這些在現代技術中是具有很重大的意義的。

2. 無線電設備及通訊工具 電源供給的技術發展史

電氣通訊工具及無線電設備的發展是與電源供給技術的發展，與電流電源以及從一種型式的能變為另一種型式的能的變換器的整個發展過程分不開的。在這些變換器中包括從熱能和機械能變為電能的變換器。

從很早開始，許多國家的學者們對於天電感到了很大的興趣，他們探求着如何就能利用它來作為電能來源。在這一方面，М. В. 羅蒙諾索夫(Ломоносов, 1711—1765年)、Г. В. 利赫曼(Рихман, 1711—1753年)、Б. 富蘭克林(Франклин, 1706—1790年)、Т. 艾比努斯(Эпинус, 1724—1803年)以及其他一些人的研究起了很大的作用。但是這些工作並沒有使天電得到實際的應用，只是到了1800年，亞歷山大·伏打(Alessandro Volta, 1745—1827年)在重複凱爾文(Galvani)的實驗時，發見了一種經久的電流電源，這種電源可以把化學反應的能量轉換為電流能量，他所製成的器件是由銅盤和鋅盤所組成的，在它們之間放置了用酸浸濕的呢絨片。每一組金屬乃是電流元件的電極，而全部串

接在一起的元件就称为“伏打电堆”。在1802年俄罗斯院士B. B. 彼得罗夫(Петров, 1761—1834年)在彼得堡造成了一个由4200对铜盘和锌盘所组成的“巨大的电池堆”，这一巨大的“伏打电堆”使得彼得罗夫有可能进行电弧试验。

从丹尼尔(Daniell, 1838年)电化电池的发明开始，实际上利用电能就成为可能了，这不但对于通讯设备的发展，而且对于各种不同设备的电源供给技术之进一步发展起了巨大的推动作用，例如，俄罗斯学者电报的发明者П. Л. 希林克(Шиллинг)就在他自己的设备中利用了化学电源。

电化电源给出在十九世纪前中叶进行一系列重要研究工作的可能性，Э. X. 楞次(Ленц)在1833年证明了电机的可逆性，即是直流电机可以利用为电动机或者发电机，B. C. 雅可比(Якоби)于1834年实现了用电化作用元件的电池来为他所发明的电动机供电。在他寻求创造新型的宜于用来供电给电动机并且具有大的电流容量的电化元件的时候，他发现了电铸术，雅可比以后的工作以及他对电流通过硫酸的水溶液现象的研究导致了铅板蓄电池的产生。

B. H. 齐可廖夫(Чиколев)研究出了一种箱形的电化电池组，他在1871年应用了他这种电池来供电给驱动缝纫机的改良了的电动机。

除了电化电源的发展，还应该指出电机的非常迅速的发展。从法拉第(Faraday, 1821年)、亨利(Henry, 1831年)开始，一直到格拉姆(Gramm, 1870年)，全世界一系列的学者们曾从事于电机的改善与发展。只是到了1873年，在海夫纳尔-阿尔特尼克(Hefner-Alteneck)把电机的电枢制成鼓形以后，电机才制造成具有旋转的转子的形式。这就比往复运动要进步得多，这是对于从根本上改进电机的一个推动力。在促使创造现代电机方面进行了工作的学者有П. Н. 雅勃洛基柯夫(Яблочков)、M. O. 杜里夫-杜勃洛伏尔斯基(Долив-Добровольский)、T. 爱迪生(Edison)、费拉里斯(Ferraris)、H. 台斯拉(Tesla)和其他一些

人。

与电机发展和交流电源系统被采用的同时,发展了变压器,各种不同类型和用途的变流器,但是,电化电源仍旧很广泛被采用着。

在由于 A. C. 波波夫(Попов)发明了无线电所引起的无线电技术发展的初期,电化电源是用来作为无线电设备供电的,波波夫的第一个火花发报机是由直流电流通过水银断续器而获得供电的。甚至在以后,蓄电池组类型的直流电源仍继续被用来作为无线电台的电源。在 1914 年,当时世界上最大的无线电台之一——在莫斯科的霍迪斯基无线电台——还是由蓄电池组供电的,它的电压为 12,000 伏,容量为 54 安培小时,那是一个很大的装置,在以后这样大规模的电化电源是不再使用了,但是为了小功率无线电台的供电,电化电源到现在还常常被应用着。

随着电工学及直流、交流机动发电机的发展,电化电源的应用变得大大减少了。当有必要保证无线电台电源设备足够大的功率的时候,电化电源的缺点变得尤其突出。举例来说,当采用电弧来作为无线电台的高频振荡发生器的时候,由蓄电池来供电就显得有缺点了。尤其困难的是实现那些采用非衰减电振荡的无线电台的电源供给。这一点可以用来解释,大概从 1909 年开始,很多电台都是采用高频机动发电机的。这样,В. П. 伏洛格金(Вологдин)的高频机动发电机曾工作于十月革命无线电台一直到 20 年代。这些机器直到现在还有得应用,主要是在工业高频设备方面用来炼火钢制品,烘干并胶合木材以及一系列其他的工艺过程。

除了机电发电机以外,在实际应用上也还采用各种不同类型的整流器作为无线电设备以及通讯工具电源。

第一个关于研究汞弧整流特性的著作是在 1882 年由热緬(Жемен)和馬涅夫利(Манёвриэ)所发表的。在 1890 年所发表阿隆(Арон)的著作对汞弧整流器的发展起了极大的影响。在 90 年代初庫別尔-尤

依脫 (Купер-Юитт) 的工作促使汞弧整流器得到实际应用。在所有的国家里,汞弧整流器都得到了发展。但是,难于在实际上达到高的整流电压却阻碍了汞弧整流器的应用。

适用于为无线电台供电的高压汞弧整流器是于 1919 年在伏洛格金的领导下作出来的。这是一个具有玻璃泡的汞弧整流器,这些首批整流器中的一个曾于 1922 年装置在沙尔塔施斯基 (Шарташский) 无线电台,〔接近斯維尔德洛夫斯克城 (Свердловск)〕,在这以后,汞弧整流器开始在我国 (指苏联) 及国外被广泛采用着。在尼日城 (Нижегородский) 实验室在伏洛格金的领导下从理论上奠定了汞弧整流器中“假真空”现象的基础,并且作出了与此现象作斗争的最简单的方法,这种方法保证了具有玻璃泡的汞弧整流器不间断的工作。

除了具有玻璃泡的汞弧整流器之发展以外,金属容器的汞弧整流器也被广泛地应用着。在 1924 年在列宁格勒“电力”工厂,在 В. К. 克拉比文 (Крапивин) 的领导下,开始生产大功率金属汞弧整流器。到 1935 年时已能生产电流为 500 安,电压为 800—1000 伏的金属泡整流器。

各种不同类型离子整流阀 (充气管、闸流管及引燃管) 的运用促进了汞弧整流器的发展与完善。早在 1935 年,第一批引燃管就在苏联得到了应用。

各种不同类型的半导体整流器的应用具有长久的历史。硒元件的非线性特性,早在 1876 年就已经为阿达姆斯 (Адамс) 和杰以姆 (Дейм) 所发现。在 1883 年,菲律脱斯 (Фриттс) 描述了一个硒元件的结构,这个硒元件已经具有现代整流器的很多特征,只是在细节上有些差异而已。在 1909 年伯启季诺 (Почетин) 首先描述了硒整流器的应用,但是工业生产的硒整流器只是到了 1924 年才出现,而且在 30 年代以前它们的应用还是很少的。

现代氧化铜整流器的发现应归功于格隆达尔 (Грондаль, 1926

年)。从30年代初开始,它们得到了大规模的应用。在建立半导体理论和广泛使用半导体整流器的事业中,包括现代锗及硅整流阀的研究,由А. Ф. 约飞(Иоффе)院士所领导的一批苏联学者们作了巨大的贡献。

第一个二极管在1904年由富列明克(Флеминг)造成的,而第一个三极管则是在1907年由李德-弗列斯脱(Лид-Форест)造成。在俄国,第一批电子管是由В. И. 科瓦林科夫(Коваленков)于1913年和М. Д. 巴巴列克西(Папалекси)于1914年制造出来。他们利用了这些二极管作为小功率整流器,在这以后,研究出了很多种不同形式的二极管整流管,而它们作为整流器的应用直到最近还是十分普遍的。

以上对于电流供应技术的一些主要发展阶段的简单综述,表明了在这一种或那一种无线电技术发展的同时,电源供应设备也得到完善。这一事实证明了我们在上面所作假定的正确性,即是说各种类型的电源和它们的消耗器,包括无线电接收和无线电发送设备,高频电流放大器发生器、量测仪器以及其他设备,是同时平行发展的。可以用一些具体例子来说明这一点,例如,在1901年,米脱凯维奇(В. Ф. Миткевич)研究出了二相和三相整流线路,在1923年,А. Н. 拉里奥诺夫(Ларионов)获得了他所提出的三相桥式电路的作者证书,以后伏洛格金研究出了串级整流电路。拉多尔(Латур)提出了他自己的倍压整流器线路。这样的例子还可以继续举出,它们说明了,在电源供给的发展事业中全世界的学者付出了多大的劳动,其中,大部分是我们祖国的学者。