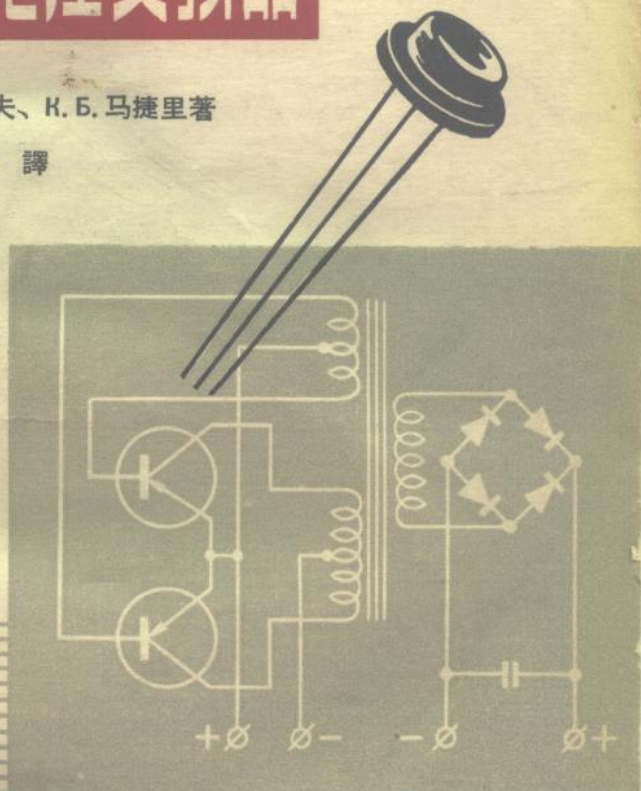


晶体
管直
流电
压变
换器

晶体管直流电压变换器

苏联 A. A. 茹拉甫列夫、K. B. 马捷里著

孙 琦 译



人民邮电出版社

晶体管直流电压变换器

苏联 A. A. 茹拉甫列夫、K. Б. 馬捷里著

孙 琦 译

人民邮电出版社

А. А. ЖУРАВЛЕВ, К. Б. МАЗЕЛЬ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО
НАПРЯЖЕНИЯ НА ТРАНЗИСТОРАХ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ 1960

内 容 提 要

这本小册子讨论了晶体管直流电压变换器几种最常用的线路，列出了这些线路的计算举例并介绍了晶体管电压变换器的一些特殊线路。

本书可供熟悉半导体器件的广大读者阅读。

晶体管直流电压变换器

著 者：苏联 А. А. 茹拉甫列夫、К. Б. 马捷里

译 者：孙 琦

出版者：人 民 邮 电 出 版 社

北京东四 6 条 13 号

(北京市书刊出版业营业许可证出字第〇四八号)

印刷者：南 京 人 民 印 刷 厂

发行者：新 华 书 店

开本 787×1092 1/32

1964 年 5 月南京第一版

印张 2 16/32 页数 40

1964 年 5 月南京第一次印刷

印刷字数 55,000 字

印数 1—14,750 册

统一书号：15045·总1389—无386

定价：(科 4) 0.28 元

序 言

半导体二极管和三极管，不仅在没有无线电接收和发射设备里，而且也在电源线路中，得到广泛的应用。近来，对晶体管直流电压变换器颇感兴趣。这些线路能够以很高的效率把某一直流电压变换为另一直流电压或交流电压。

但是，目前关于晶体管变换器的文献，只限于一些杂志上的文章。

在这本小册子里，讨论了与晶体管变换器几种最常用的线路的工作和设计有关的几个主要问题。这本小册子并不打算完整地叙述与这些线路的理论和设计有关的所有问题，它主要是向广大的读者介绍变换器某些线路工作的基本原理和实际设计的方法。

别看本小册子所提出的变换器和功率放大器的设计方法比较简单，但它给出的结果却能与实验符合。

在小册子里，列出了用于变换器线路中的许多半导体器件和某些电真空器件的数据。

第四章里所叙述的内容是介绍不仅能用于变换电压而且还可以用于其它目的的一些线路。在这章里，讨论了能使变换器工作可靠性提高的线路。

作者希望这本小册子能在某种程度上弥补有关上述问题的文献的不足。

第一章由 A. A. 茹拉甫列夫写成，第二、三、四章由 K. B. 马捷里写成。

作者

07180

目 录

序言

第一章 直流电压变换器	(1)
§ 1. 变换器的种类	(1)
§ 2. 晶体管变换器的主要类型	(3)
§ 3. 晶体管自激振荡器线路	(5)
§ 4. 整流器线路	(9)
§ 5. 晶体管变换器的设计和使用特点	(13)
第二章 自激推挽式变换器	(17)
§ 6. 线路的作用原理	(17)
§ 7. 主要的计算公式	(22)
§ 8. 变换器计算举例	(33)
第三章 有功率放大的直流电压变换器	(39)
§ 9. 有功率放大的变换器线路	(39)
§ 10. 在功率放大线路中晶体三极管的工作状态	(41)
§ 11. 有功率放大的变换器线路的主要计算公式	(45)
§ 12. 有功率放大的变换器线路计算举例	(52)
第四章 电压变换器的几种专门线路	(61)
§ 13. 变换器频率的稳定	(61)
§ 14. 变换器电压的稳定	(63)
§ 15. 作为多相供电电源的变换器	(69)
§ 16. 能在供电电压增高时工作的变换器和放大器线路	(72)
§ 17. 防止变换器线路中晶体三极管过压的方法	(73)
参考文献	(76)

00170

第一章 直流电压变换器

§ 1. 变换器的种类

把某一电压的直流电源变换为另一电压的直流或交流电源的方法，在近代电子设备中得到广泛的应用。

由于半导体器件在各种无线电设备里广泛使用，因此迫切需要为电子设备首先是携带式和便移式设备提供小型、经济、简单和使用可靠的电源。

在携带式和便移式无线电设备里，蓄电池和干电池作为主要的低压一次电源。高压电路通常是由笨重、容量小和存放寿命短的板极干电池或电机变换器（旋转变流器）供电。除旋转变流器外，冷阴极管变换器、闸流管变换器以及其它变换器也得到某些应用。最近10年到15年来，广泛地采用比旋转变流器有更多优点的振动变流器对小功率（几百瓦）携带式设备的板极和帘栅极电路供电。

但是，在这几种变换器中，没有一种变换器在变换小功率时有足够大的效率。这是由于极大部分的消耗能量（这部分能量受负载值的影响甚小）直接消耗在变换器本身上。比如，在旋转变流器里，能量消耗在克服摩擦力、铁损和铜损上；在振动变流器里，能量消耗在电磁铁的线圈上；在电子管电压变换器里，能量消耗在灯丝电路上。此外，上述变换器还有一系列其它严重的缺点，其中主要的是：使用期限不长，体积和重量很大，机械转换接点所造成的接收干扰；电子管变换器要求比较高的初级电压，等等。

利用晶体三极管可以很好地解决变换直流电压的问题，因

为半导体三极管的电特性使它们能完成最完善的低压断路器的作用。借助于晶体三极管在变压器初级线圈内中断直流，就可以在次级线圈的两端获得所需要的电压。

面结型晶体三极管设备能把1.5伏到30伏的直流电压变换为较高的或较低的矩形交流电压（必要时可以整流）。变换器的输出功率在几瓦到几百瓦之间。所获得的交流电压的频率在几十赫到几千赫之间，这使变压器和平滑滤波器的体积和重量大大减小。晶体管变换器比旋转变流器和振动变流器有更多的优点，应该提出的是：可靠性比较高，使用期限比较长（因没有转动部件），效率提高到70%—90%，对颠簸和振动的稳定性比较高，基本上排除了声音干扰。

晶体管变换器，不仅对携带式和便移式设备，而且对尚未电气化的地区和勘察探险用的固定设备，均有重要意义。在这些条件下，半导体温差发电器（由煤油灯供给能量）和蓄电池（由汽车发动机或风力发动机充电）就可以对各种小功率无线电设备正常供电。晶体管变换器可以用来为轻便接收机和发射机、闪光灯、电子射线示波器、带电粒子计数管等制成省电而轻巧的高压电源。

晶体管变换器的主要缺点是：温度受限制（通常半导体器件运用温度受限制）和初期产品的价格比振动变流器等要高。

但是，采用目前国内工厂正在生产的硅晶体三极管，温度的限制必将大大减小；在大量生产之后，晶体三极管的价格必将急剧下降。

旋转变流器、振动变流器和晶体管变换器的比较数据列于表1。

在表1上列出的数据里，没有考虑到使用期限、工作的温度状态和机械强度等指标。此外，由于整流电压和电流值不

各种变换器的比较数据

表 1

变 换 器 的 种 类	有效功率,瓦	输入电压,伏	效率, %	重量,公斤
PYH-10 型旋转变流器	10	12	29	2
PYH-45 A 型旋转变流器	45	24	43	3
PYH-75 型旋转变流器	75	12	47	2.85
PYH-300 型旋转变流器	300	24	62	16.5
БПР-6 型振动变流器	7.7	5	60	—
БП-1 型振动变流器	11	6	55	—
БП-8 型振动变流器	15	12.8	50	—
БП-21 型振动变流器	21	6	70	—
晶体管变换器	1.3	2.4	70	0.3
晶体管变换器	4.3	4.8	75	0.4
晶体管变换器	25	24	80	0.7
晶体管变换器	50	12	80	1.5
晶体管变换器	100	12	84	2.1
晶体管变换器	600	24	95	20

同, 晶体管变换器的这些数据可能与表中的不一致。因此, 最好用在具体给定的工作状态和工作条件下与其它变换器进行对比的方法, 最后评定采用晶体管变换器的优越性。

§ 2. 晶体管变换器的主要类型

晶体管变换器可分为两种主要类型: 没有功率放大的变换器和有功率放大的变换器。

第一种类型 (没有功率放大) 的变换器的方块图示于图 1。这种变换器由下列主要元件组成: 直流电源、输出矩形电压的自激振荡器、整流器、平滑滤波器和负载。

第二种类型 (有功率放大) 的变换器的方块图示于图 2。它与第一种类型的方块图不同之处是有一个用以提高自激振荡

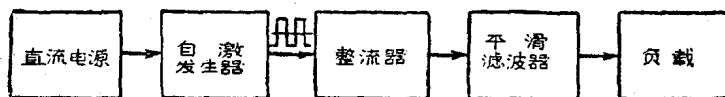


图 1 没有功率放大的晶体管变换器的方块图

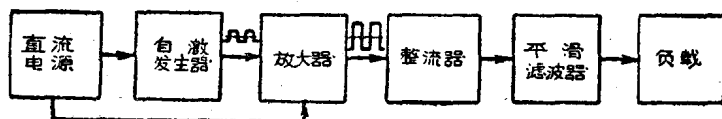


图 2 有功率放大的晶体管变换器的方块图

器振荡功率的放大器。自激振荡器和放大器由待变换的公共直流电源供电。

在第一种类型变换器里，自激振荡器线圈和整流器线圈装在同一变压器的铁心上。在第二种类型变换器里，自激振荡器是按小功率设计的并用单独的小型变压器装成。自激振荡器输出的电压，通常用由工作在开关状态的晶体三极管组成的放大器加以放大，而后整流。放大器的输出变压器同时也是变换器的输出变压器。自激振荡器（在这里为主控振荡器）应该输出足以向放大器输入电路供电的功率。

第一种类型变换器有许多严重的缺点。实验证明，在自激振荡器线圈和整流器线圈紧耦合的情况下，整流器负载的变化会影响自激振荡器的工作状态并使交流电压的频率和波形发生变化，这又会影响输出的整流电压值。变压器的装配方法和在许多情况下导磁体中必须有的空隙的大小对自激振荡器和整流器的状态也有显著的影响。

所有这些都会使第一种类型变换器的调试工作变得复杂，以致在成批生产时很难找到参量相同的变换器。当整流功率小且不宜在线路内增添附加变压器和作功率放大的晶体三极管

时，宜采用第一种类型的变换器。

第二种类型变换器没有上述缺点。主控振荡器的电压波形和频率基本上是不变的，因为它的负载就是晶体管放大器的输入电路（其电阻几乎不受放大器负载的影响）。由于放大器的内阻比较小，整流器负载变化对被整流的交流电压值和波形的影响很小。如果用半导体二极管作整流管，则整流器的负载特性为稍向电流座标轴倾斜的直线。

当要求输出功率高于 30 到 50 瓦时，采用第二种类型变换器是合适的。矩形交流电压放大器和整流器的效率很高，完全可以补偿由于采用单独的主控振荡器而产生的功率损耗。此外，有单独的主控振荡器就可以由它对几个放大器互不影响地供电。

下面讨论第一种类型和第二种类型变换器最常用的几种线路。

§ 3. 晶体管自激振荡器线路

在变压器初级线圈内中断直流的原则是多数直流电压变换器工作的基础。

为了使变换器在能量损耗最小的条件下工作，断续器应该在“断路”状态时具有无限大的电阻和在“接通”状态时具有无限小的电阻。

工作在开关状态的面结型晶体三极管具有这种类似的特性。晶体三极管在集电极电流截止时的电阻达几百千欧，相当于“断路”状态；晶体三极管工作在饱和区域时其电阻为几分之一欧，相当于“接通”状态。这样，当集电极电压值最大时，集电极电流接近等于零；而当流过晶体三极管的电流最大时，晶体三极管上的电压降却很小。因此，晶体三极管上的损耗在两

种情况下都是不大的。

为了使变换器的效率很高，需要设计一种使工作状态转换的过渡过程时间尽可能短的线路。要实现这一要求，应当使用矩形波发生器。

没有功率放大的、最简单的直流电压变换器线路示于图3。变换器由单端共发射极线路连成的自激张弛振荡器（自激振荡器）和输入负载为电容的半波整流器组成。当线路处在“接通”状态，即晶体三极管的电阻很小时，能量储存在变压器的磁场中；当线路处在“断路”状态，即晶体三极管的电阻很大时，储存的能量便输送给负载。面结型晶体三极管基极电路上的电阻 R 是用来调节变换器的输入功率的，因此也是调节输出功率的。但是，必须注意，随着这个电阻值的增加，变换器的效率便下降。为了提高变换器的效率和输出电压，电阻 R 与输入电

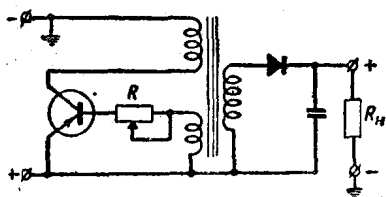


图3 具有单晶体管自激振荡器和半波整流器的变换器线路

压串联。应该指出，在单端自激振荡器线路里（图3），存在对变换器工作产生有害影响的变压器铁心的恒定磁化。因此，这种线路的用途有限，并且只能在变换功率不超过1—2瓦时，才能采用。

近来，变压器耦合的推挽式自激振荡器线路得到推广。这种线路能够比较容易地在自激振荡器的输出端上获得对称的且基本上是矩形的电压。自激振荡器中的晶体三极管可以连成共基极线路（图4, a）、共发射极线路（图4, b）和共集电极线路（图4, c）。在这些线路中，晶体三极管完成转换开关的作用，交替地通导和截止，类似于对称式多谐振荡器线路中的电子管。共发射极线路应用最广，因为这种线路可以在供电电压很

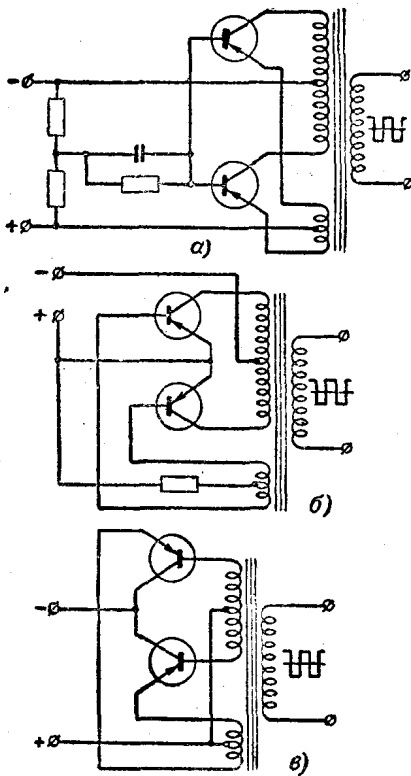


图 4 晶体管自激振荡器推挽式线路

低的情况下获得较高的效率。当电源电压很高(25—30伏)时,晶体三极管连成共基极线路较为合适,因为在这种线路里晶体三极管集电极的允许电压稍能增高。

推挽式自激振荡器工作的详细分析和线路的计算举例,在第二章里讲述。

当晶体三极管的型号给定时,最大的变换功率决定于集电极电流的最大允许值和集电极电压的最大允许值。

可以用于直流电压变换器线路中的 $p-n-p$ 面结型晶体三极管的主要参量列在表 2。所列

出的晶体三极管的电参量在环境温度为 $+15—+25^{\circ}\text{C}$ 的范围内是稳定可靠的。集电极和发射极间的电压最大允许值 $U_{K-E\text{max}}$ 、电流放大系数 β 、集电极和发射极间的电压降值 ΔU_{K-E} 以及共基极线路的输入阻抗 $r_{BX.6}$ 等是约值,因为这些参量受晶体三极管的工作状态的影响并且同型号晶体三极管各个样品的参量不同。

面結型晶体三极管的主要数据

表 2

晶体三极管 的 型 号	$I_{k, \text{max}}$ (安)	$U_{k-a, \text{max}}$ (伏)	$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$	ΔU_{k-a} (伏)	$r_{bx, \delta}$ (欧)	$P_{k, \text{max}}$ (瓦)		$T_{\text{конт. макс}}$ (°C)	$T_{\text{тр. макс}}$ (°C)	R_T (°C/瓦)	尺寸(毫米)		重量 (克)
						有附加 散热器	没有附加 散热器				高度	直径	
П3А	0.15	-50	10	0.5	4	3.5	1	+50	—	—	27	25	8
П3Б	0.25	-50	10	0.5	4	3.5	1	+50	—	—	27	25	8
П3В	0.45	-50	10	0.5	4	3.5	1	+50	—	—	27	25	8
П201	1.5	-30	20	0.5	2	10	1	—	+100	3.5	9.6	30	8
П201А	1.5	-30	40	0.5	2	10	1	—	+100	3.5	9.6	30	8
П202	1.5	-45	20	0.5	2	10	1	—	+100	3.5	9.6	30	8
П203	1.5	-60	20	0.5	2	10	1	—	+100	3.5	9.6	30	8
П4А	5	-60	5	0.5	1	20	2	—	+90	2	9.5	30	14
П4Б	5	-70	8-20	0.5	1	30	3	—	+90	2	9.5	30	14
П4В	5	-40	10	0.5	1	30	3	—	+90	2	9.5	30	14
П4Г	5	-60	10-20	0.5	1	30	3	—	+90	2	9.5	30	14
П4Д	5	-60	20	0.5	1	30	3	—	+90	2	9.5	30	14
П209, П209А	12	-40	15	0.5	0.4	60	1.5	—	+85	1	14	32	40
П210, П210А	12	-60	15	0.5	0.4	60	1.5	—	+85	1	14	32	40
П207, П207А	25	-40	15	0.5	0.2	100	4	—	+85	0.6	22	60	210
П208, П208А	25	-60	15	0.5	0.2	100	4	—	+85	0.6	22	60	210

§ 4. 整流器线路

为了获得直流电压，在晶体管变换器里最好采用不致引起变压器铁心恒定磁化的整流线路（恒定磁化会降低变换器的效率）。属于这类的线路有：桥式线路（图 5, a），全波整流线路（图 5, б），倍压线路（图 5, в）和对称式倍压线路。

半波整流线路（图 3）有铁心恒定磁化的缺点，用途很少，只能在变换小功率时采用。

在整流器线路里，可用硅二极管、锗二极管、硒整流柱以及二极管和闸流管作整流元件。

最适合用于晶体管变换器线路中的各种整流元件的主要参量列在表 3-7。所列出的 ДГ-И 型、Д7 型和 Д302-Д305 型锗二极管

的电参量在环境温度在 $+15$ — $+25^{\circ}\text{C}$ 的范围内是稳定可靠的；当温度高于 $+25^{\circ}\text{C}$ 时，表内的整流电流值和反向电压值需降低。

列在表 4、5、6 上的硒整流柱的内阻 ($r_{i \text{ табл}}$) 对应于该整流柱的整流电流最大允许值 $I_{0 \text{ доп}}$ 。

当整流电流 I_0 小于最大值时，整流柱的内阻 r_i 可由下列

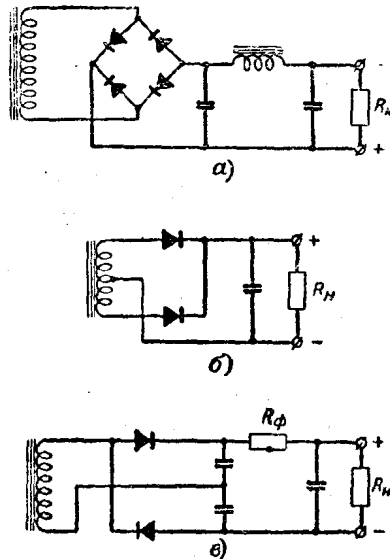


图 5 整流器线路

锗二极管和硅二极管的主要数据

表 3

二极管的 型 号	最大允许 整流电流 (安)	反向电压 最大允许 幅度 (伏)	整流电流 最大时的 正向电压 (伏)	反向电压 幅度最大 时的反向 电流幅度 (毫安)	尺 寸 (毫米)		重 量 (克)
					长 度	直 径	
ДГ-Ц 21	0.3	50	0.5	0.5	21	7.3	2
ДГ-Ц 22	0.3	100	0.5	0.5	21	7.3	2
ДГ-Ц 23	0.3	150	0.5	0.5	21	7.3	2
ДГ-Ц 24	0.3	200	0.5	0.5	21	7.3	2
ДГ-Ц 25	0.1	300	0.3	0.3	21	7.3	2
ДГ-Ц 26	0.1	350	0.3	0.3	21	7.3	2
ДГ-Ц 27	0.1	400	0.3	0.3	21	7.3	2
Д 7 А	0.3	50	0.5	0.3	17	11.5	2
Д 7 Б	0.3	100	0.5	0.3	17	11.5	2
Д 7 В	0.3	150	0.5	0.3	17	11.5	2
Д 7 Г	0.3	200	0.5	0.3	17	11.5	2
Д 7 Д	0.3	300	0.5	0.3	17	11.5	2
Д 7 Е	0.3	350	0.5	0.3	17	11.5	2
Д 7 Ж	0.3	400	0.5	0.3	17	11.5	2
Д 302	1	200	0.25	1	32	20	9.2
Д 303	3	150	0.3	1	32	20	9.2
Д 304	5	100	0.3	3	32	20	9.2
Д 305	10	50	0.35	3	32	20	9.2
Д 202	0.4	100	1.0	0.5	33	15	9
Д 203	0.4	200	1.0	0.5	33	15	9
Д 204	0.4	300	1.0	0.5	33	15	9
Д 205	0.4	400	1.0	0.5	33	15	9
Д 206	0.1	100	1.0	0.1	17	10	2
Д 207	0.1	200	1.0	0.1	17	10	2
Д 208	0.1	300	1.0	0.1	17	10	2
Д 209	0.1	400	1.0	0.1	17	10	2
Д 210	0.1	500	1.0	0.1	17	10	2
Д 211	0.1	600	1.0	0.1	17	10	2

表 4

直径为 5 毫米的圓片組成的 ABC 型硒整流柱的主要数据

整 流 柱 的 型 号	反向电压的最 大允許幅度 (伏)	整流柱 的内阻 (千欧)	尺 寸 (毫米)		重 量 (克)
			长 度	直 径	
ABC-1-30	42	0.5	20	6.8	3.5
ABC-1-60	85	1.0	23	6.8	3.8
ABC-1-90	125	1.5	26	6.8	4
ABC-1-120	170	2.0	29	6.8	4.3
ABC-1-150	210	2.5	32	6.8	4.5
ABC-1-210	295	3.5	38	6.8	5
ABC-1-270	380	4.5	44	6.8	5.5
ABC-1-330	465	5.5	50	6.8	6
ABC-1-420	590	7.0	59	6.8	7
ABC-1-510	720	8.5	67	6.8	8
ABC-1-600	850	10.0	76	6.8	9
ABC-1-720	1020	12.0	88	6.8	10.5
ABC-1-840	1190	14.0	100	6.8	12
ABC-1-1000	1410	17.0	116	6.8	14

最大允許整流电流为 1.2 毫安。

近似公式求出：

$$r_i = r_{\text{табл}} \sqrt{\frac{I_{0\text{доп}}}{I_0}}$$

为了减小整流电压的脉动，采用普通的平滑滤波器。滤波器綫路及其工作原理是人所熟知的，因此就不必詳細地討論这个问题了。但是，应该指出，利用面結型晶体三极管可以成功地代替滤波器綫路中的电阻和扼流圈。这种滤波器最简单的綫路示于图 6。晶体管滤波器的作用是建立在发射极-集电极間的电阻值对交流比对直流要大的基础上。

晶体管滤波器比电阻滤波器(图 5, a)和扼流圈滤波器(图

表 5

直径为 7.2 毫米的圓片組成的 ABC 型硒整流柱的主要数据

整 流 柱 的 型 号	反向电压的最 大 允 許 幅 度 (伏)	整流柱 的内阻 (千欧)	尺 寸 (毫米)		重 量 (克)
			长 度	直 径	
ABC-6-30	42	0.2	22	9.5	4
ABC-6-60	85	0.4	25	9.5	4.5
ABC-6-90	125	0.6	28	9.5	5
ABC-6-120	170	0.8	31	9.5	5.5
ABC-6-150	210	1.0	34	9.5	6
ABC-6-210	295	1.4	39	9.5	7
ABC-6-270	380	1.8	44	9.5	8
ABC-6-330	465	2.2	50	9.5	9
ABC-6-420	590	2.8	58	9.5	10.5
ABC-6-510	720	3.4	67	9.5	12
ABC-6-600	850	4.0	75	9.5	13.5
ABC-6-720	1020	4.8	86	9.5	15.5
ABC-6-840	1190	5.6	97	9.5	17.5
ABC-6-1000	1410	6.7	112	9.5	20

最大允許整流电流为 6 毫安。

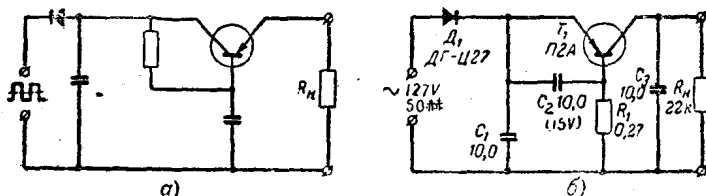


图 6 晶体管平滑滤波器线路

5, a) 优越之处是它能在許多情况下大大地改小体积、重量和提高效率。比如，图 6 上的滤波器可以保证 500 左右的脉动展平系数；如果要在扼流圈线路里获得同样大的脉动展平系数，就