

[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H03F 3/04

H03F 1/00

[12] 发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 95101119.7

[45]授权公告日 2000 年 1 月 5 日

[11]授权公告号 CN 1048125C

[22]申请日 1995.1.10 [24]颁证日 1999.10.30

[21]申请号 95101119.7

[30]优先权

[32]1994.1.10 [33]US [31]08/179,546

[32]1994.9.2 [33]US [31]08/299,104

[73]专利权人 皮维电子有限公司

地址 美国密西西比州

[72]发明人 杰克·C·桑德迈耶

老吉姆斯·W·布朗

[56]参考文献

US4,890,331 1989.12.26 H03F1/34

审查员 郭 雯

[74]专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

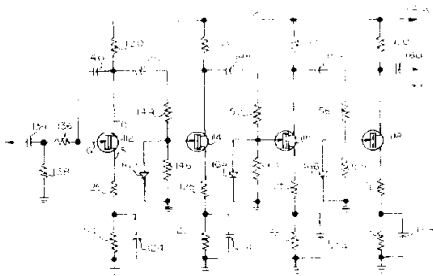
代理人 蹇 炜

权利要求书 3 页 说明书 12 页 附图页数 4 页

[54]发明名称 模仿真空管失真的多级固态放大器

[57]摘要

一种多级固态放大器利用连接在每个互相串连的放大级之间的电路中的削波装置,模仿与多级真空管放大器中的栅极电流相关连的失真。在一个特定的实施例中,每一级都含有一个场效应晶体管(FET),而且削波装置是一个二极管。在另一个实施例中,每一级都含有一对以达林顿方式连接的晶体管。一个输入二极管和一个多级偏置电路模仿真空管电路的输入端。



ISSN 1000-8427 4

权 利 要 求 书

1、一种固态放大器，它用来模仿与高输入信号电平下被超载驱动的多级真空管放大器的栅极电流相关联的失真，以获得所希望的输入削波特性，该固态放大器包括：

多个互相串连连接的固态放大级，每个固态放大级都含有一个输入电路和一个具有一定输出信号能力的输出电路，各个后一级的输入电路都与其前一级的输出电路相连接；以及

位在每一级间的输入电路中的削波装置，用来建立相应级间的削波电平，从而在这种固态放大器中模仿所希望的真空管放大器的输入削波特性，其中输出信号能力和级间输入削波电平的比值足以造成适当的二次谐波失真。

2、根据权利要求1的放大器，其中的每个固态放大级都包括一个场效应晶体管。

3、根据权利要求1的放大器，其中的每个固态放大级都包括一个晶体管。

4、根据权利要求1的放大器，其中的每个固态放大级都包括一个达林顿晶体管。

5、根据权利要求4的放大器，其中的达林顿晶体管是集成式的。

6、根据权利要求4的放大器，其中的达林顿晶体管包括一些分立的元件。

7、根据权利要求6的放大器，其中的达林顿晶体管含有一个基极-发射极电路和一个连接在基极-发射极电路和地之间的偏置电阻。

19、根据权利要求1的放大器，它进一步包括连接在第一级器件的输入端和参考电压源之间的输入二极管装置。

20、根据权利要求19的放大器，它进一步包括用于二极管的前级偏置装置。

21、根据权利要求1的放大器，它进一步包括一个用来建立二极管电路偏置电平的二极管电路偏置装置、一个用来建立基极电路偏置电平的基极电路偏置装置和一个用来建立后级偏置电平的后级偏置装置，其中二极管电路偏置电平高于基极电路偏置电平，而后者又高于后级偏置电平。

22、根据权利要求1的放大器，它进一步包括用来提高高频频率响应的、连接在每一级中的装置。

说明书

模仿真空管失真的多级固态放大器

本申请相应的美国申请是1994年1月10日递交的美国专利申请08 / 179,546号的部分继续申请。

本发明涉及乐器的放大器。特别地，本发明涉及一种固态多级放大器，它所具有的失真使得它听起来象是一个超载驱动的真空管放大器。

音乐艺术家常常比较喜欢真空管放大器，这是因为真空管所产生的失真输出声响听起来比较熟悉，并且觉得是最令人愉快的。另一方面，通常比较喜欢固态放大器的原因是它们比较轻便，并且生产成本常常较为低廉，又比较耐用而且耗电较少。要想使固态放大器产生与真空管放大器相似的失真声响是困难的。此外，可得到的用于放大器的真空管供货已经变得稀少而且较为昂贵。

图1示出了一种已知的真空管放大器10。为了表明装置的工作特性，采用各元件的典型值来说明该放大器。图1所示的放大器是一个含有四个相同真空管区12、14、16和18（例如四个12Ax7真空管区）的前置放大器，每个真空管区都有一个相应的板极电阻20（100KΩ）和阴极电阻22（1.5KΩ）。每个阴极电阻22都并联了一个旁路电容24（2.2μF）。当一个典型的12Ax7真空管区具有这样的板极和阴极电阻值时，则对+300V的电源来说它的静态板流约为1mA，阴极电压约为1.5V，板极电压约为+200V。当栅极电压的正向摆动峰值为1.

5 V 时将使栅级导通。正常的吉他输入通过耦合电容3 4 和栅极电阻3 6 耦合到第一真空管级1 2 的栅极上。在电容3 4 和栅极电阻3 6 的连接点上接有一个电阻3 8 , 它为真空管1 2 的输入提供了参考地。在真空管1 2 的板极和栅极之间连接了反馈电容4 0 (1 0 p F) , 它提供了称之为密勒 (M i l l e r) 效应的高频衰减控制, 这有助于在输入开路情形下保持放大器的稳定。放大器1 2 的板极信号通过电容4 2 和栅极电阻4 4 被耦合到放大级1 4 的输入端。电阻4 4 和4 6 起着分压器的作用。类似地, 放大级1 4 的信号通过电容4 8 和栅极电阻5 0 耦合到放大级1 6 , 那里的电阻5 2 给输入提供参考地和电压分压。最后, 放大级1 6 的信号通过电容5 4 、栅极电阻5 6 和参考电阻5 8 耦合到放大级1 8 , 其中参考电阻5 8 也起到提供参考地和分压的作用。放大级1 8 的输出通过输出电容6 0 耦合到前置放大器1 0 的输出端。

耦合电容4 2 、4 8 和5 4 的值以及分压电阻4 4 / 4 6 、5 0 / 5 2 和5 6 / 5 8 的值都按照已知的方法来选择, 以提供良好的失真声响。尽管对于高电平吉他来说在第一级1 2 中也会不时地出现削波现象, 但典型地说, 对于施加吉他电平的输入信号的情形, 第一级1 2 是无噪声和不失真的。第一级输出信号的电平高到足以在第二级1 4 中引起输入削波, 这是因为第二级1 4 的栅极被相对于阴极正向驱动, 从而它在输入周期中有很很大一部分是导通的。放大级1 4 中的输入削波造成栅极的平均电压为负, 使第二级1 4 的工作点发生很大的偏移, 结果产生了大量的二次谐波失真。第二级1 4 板极上的信号变得象一个方波, 并且大约有2 / 3 的周

期处在正半周。第二级1 4 的板极的信号电平高得足以在第三级1 6 中产生很大的输入削波。那里的栅极电平也相对于阴极摆向正的方向。这样，输入削波使第三级1 6 的工作点偏移。这种过程又一次被重复，造成第四级1 8 的输入削波和工作点偏移。第四级板极上的输出已经经历了几次不同程度的输入和输出端削波以及几次工作点偏移，因此具有丰富的谐波成份。所有这些是造成所谓良好真空管音响的主要原因。

在图1 所示的典型前置放大器1 0 中，任何一级的最大板极正向峰值摆动大约是1 0 0 V（即约为板极电压的一半）。此外，每个栅极都在正向峰值摆动约为1 . 5 V 时导通。这个1 0 0 : 1 . 5 的比值或6 6 . 7 是一个很大的数字，而这个比值对于使各个级的工作点偏移到足以产生适当数量的二次谐波失真来说是重要的。分压器电阻4 4 / 4 6 、5 0 / 5 2 和5 6 / 5 8 的值也是关键的，所以它们需要仔细选取以给出恰如其分的输入削波量，造成能产生令人愉快的二次谐波失真。

这里指出在所谓失真真空管声响中的两个关键要素。第一，真空管具有1 0 0 V 的输出能力但只有1 . 5 V 的输入削波能力这一特性是独特的，而这一特性对于成功地产生二次谐波失真和所谓的真空管声响来说是需要的。第二，为了在音乐师弹拨吉他之后吉他输出电平下降时能够保持失真的声响，多个放大级是必要的。尽管所采用的级数可多可少，但为了得到大多数音乐家所希望的失真声响，需要最少三级，最好四级放大级。

因此，存在着对固态放大器的需要，它能够代替多级前置放大器中的各个真空管放大级，并且能够被超载驱动以模仿由上述已知真空管放大器产生的真空管声响。

本发明是建立在下述发现的基础上的，该发现是，与流过工作在高输入电平条件下的真空管放大器的栅极的电流相关联的失真可以借助于级间耦合电路中的削波装置，在多级固态放大器中被模仿出来。

本发明包括一个用来模仿与超载驱动下的真空管放大器相关联的失真的多级固态放大器。本发明含有多个串级连接的具有输入电路和输出电路的固态放大级。每个后一级的输入电路都与前一级的输出电路相连接。一个削波装置，例如一个二极管，连接在级间的输入电路上。

在一个特定的实施例中，每个固态放大级都含有一个场效应晶体管（FET），它的输出端连接到下一级的输入端上，二极管位在输入电路中以模仿所需的真空管放大器的输入削波特性，其中级间的输出电平与输入削波电平之比足以造成适当的二次谐波失真。

在另一个实施例中，每个固态放大级含有一个晶体管。另一种结构采用了一个达林顿（Darlington）晶体管。当分立的晶体管以达林顿方式连接时，可以采用一个接地的内部基极电阻来改善各级的截止特性。

在又一个实施例中，采用了带有多级偏置电路的输入二极管，以模仿真空管放大器的输入特性。

附图的简单说明：

图1 是能给出所需失真输出的已知真空管放大器的原理图；

图2 是根据本发明的多级固态放大器的原理图，其中采用了FET器件，它能模仿由已知的真空管放大器所产生的失真和声响；

图3 是根据本发明的多级固态放大器的一个特定实施例的原理图；以及

图4 是类似于图2 所示结构的本发明另一个实施例的原理图，其中图2 的各个F E T 都被一对按达林顿方式连接的晶体管和带有多级偏置电平的偏置电路及一个输入二极管所代替。

如图2 所示的本发明可通过使用了与图1 的已知装置有相似结构的元件的固态多级放大器1 1 0 来说明。在图2 中，各元件的代号与图1 中的代号相对应，只是采用了1 0 0 系列，并且已知装置中的真空管区被四个固态放大级1 1 2 、1 1 4 、1 1 6 和1 1 8 所代替。所画出的器件是场效应晶体管 (F E T)，它们有时也叫做J -F E T 器件，由4 0 V 的电源供电。如图所示，每个放大器1 1 2 -1 1 8 都有一个源极S，一个漏极D 和一个栅极G。漏极D 对应于器件的输出端，栅极G 对应于器件的输入端。1 1 2 -1 1 8 中的每一级都含有一个漏极电阻1 2 0，它的值与图1 中的板极电阻值相近 (1 0 0 K Ω)。此外，每一级都使用了一个偏置电路，它包括相并联的一个电阻1 2 2 (3 3 K Ω) 和一个旁路电容1 2 4 (2 . 2 μ F)。如图所示，源极S 以自偏置方式通过源极电阻1 2 5 和偏置电路接地。再有，每个源极S 都利用源极电阻1 2 5 (1 K Ω) 使增益通常为1 0 0，这和大多数真空管级是相似的。漏极电阻和源极电阻的值调节得使夹断电压约为6 V 的各个F E T 级1 1 2 、1 1 4 、1 1 6 和1 1 8 在静态下的源极电流约为1 8 0 μ A。各级F E T 的漏极D 的电压约为+2 2 V，源极S 的电压约为+6 V。

在图2 中，放大级1 1 2 的漏极D 或输出端通过耦

合电容1 4 2 和栅极电阻1 4 4 耦合到放大级1 1 4 的栅极G 或输入端上。电阻1 4 6 给放大级1 1 4 的栅极G 提供参考地。电阻1 4 4 和1 4 6 也起着分压器的作用。与图1 中的情形相似，后面的级1 1 6 和1 1 8 分别由相应的耦合电容、栅极电阻和参考电阻1 4 8 、1 5 0 和1 5 2 以及1 5 4 、1 5 6 和1 5 8 耦合。最后一级1 1 8 通过耦合电容1 6 0 耦合到输出端。如图所示，输入级1 1 2 的漏极D 和栅极G 之间有一个密勒电容1 4 0 。

在图2 中，如果没有削波装置，任何一级的最大峰值漏极信号输出能力或正向摆动约为1.8 V，这就是漏极D 和源极S 之间的电压差。每个放大级1 1 2 -1 1 8 中的栅极G 的工作象一个二极管，它在正向峰值电压约为7 V 时导通。这样，漏极输出能力（1.8 V）与栅极摆动量（7 V）的比值约为2.57。这个比值不足以产生适当的二次谐波失真。

在本发明中，在各级之间提供了削波装置。在所公开的实施例中，削波是利用在各放大级1 1 4、1 1 6 和1 1 8 中分别与相应的参考电阻1 4 6、1 5 2 和1 5 8 相并联的二极管1 6 2、1 6 4 和1 6 6 来实现的。各二极管1 6 2、1 6 4 和1 6 6 的负极都接地，而它们的正极则分别连接在各放大级的两个分压电阻1 4 4 / 1 4 6、1 5 0 / 1 5 2 和1 5 6 / 1 5 8 之间的连接点上。各个二极管1 6 2、1 6 4 和1 6 6 都会发生前向导通，从而建立了栅极电压摆动变化约为+0.5 V 的削波电平，以模仿真空管放大器中与栅极导通相关联的失真。漏极信号输出能力或摆动大小（+1.8 V）与栅极削波电平（+0.5 V）的比值为1.8 ÷ (0.5

5) = 36, 这没有真空管电路的比值那么大。然而, 尽管希望有更大的比值, 但在固态电路中大约等于30的比值就是以在各放大级中产生适当的二次谐波失真。这样, 本发明的固态多级前置放大器110 通过利用例如二极管162、164 和166 那样的低电平输入削波装置, 产生了十分类似于图1 中真空管电路的失真性能。

需要指出, 除了上面所说的J - F E T 型器件和二极管之外, 也可以采用其他的固态器件。并且, 通过改变各个元件的值, 可以调节增益、耦合和高频特性。但是, 提供在各放大级之间的削波装置对于使固态放大器产生能引起相似于真空管声响的二次谐波失真来说总是有效的。

图3 示出根据本发明的多级固态放大器210 的另一个实施例。与图2 中相似的元件采用了200 系列的相似代号。不过在图3 中用电位器213 代替了放大级112 和114 之间的固定分压电阻144 和146。电位器的动刷连接到放大级214 的输入端, 当动刷沿C W方向移动到使施加给放大级214 的信号达到极大时, 该电位器213 给出了最大的失真。

在输出端, 有一个电位器261 连接在耦合电容260 上。其动刷起着输出端的作用。当动刷沿C W方向移动到端头时输出电平为最大。这种能够独立地改变失真量和输出电平的功能增添了电路的灵活性, 并使艺术家可以随意地调节失真的声响和音量。

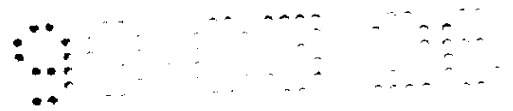
图4 示出了根据本发明的含有放大级312、314、316 和318 的多级固态放大器310 的又一个实施例。与图2 中相似的元件采用了300 系列的相似

代号。不过，在图4 中分别用一对以达林顿方式连接的晶体管3 1 2 A - 3 1 2 B、3 1 4 A - 3 1 4 B、3 1 6 A - 3 1 6 B 和3 1 8 A - 3 1 8 B 代替了相应的场效应晶体管1 1 2、1 1 4、1 1 6 和1 1 8。此外还提供了带有输入二极管3 7 4 的多级偏置系统。还可以在每一个放大级中采用一个内部基极电阻3 7 0 来改善截止特性。

图4 电路的功能与图2 中的相类似。不过，采用以达林顿方式连接的晶体管对具有成本和性能上的优势。前述的F E T 器件要求有严格的夹断电压，这将大为增加成本。而对于晶体管器件，其输入特性基本上象是两个二极管，其性能是可以预测的。

图4 中的放大器3 1 0 的各级都采用了N P N 型达林顿连接晶体管：3 1 2 A - 3 1 2 B，3 1 4 A - 3 1 4 B，3 1 6 A - 3 1 6 B 和3 1 8 A - 3 1 8 B。选择N P N 型的原因是因为电源是正4 0 V。如果使用负电源，则可以采用相反类型的器件。另外，在这里所讨论的实施例中若采用单个晶体管也是可行的。不过，单个晶体管不能提供与真空管或F E T 相当的增益或输入阻抗。所以最好使用成对的晶体管。也可以使用集成式达林顿N P N 晶体管。不过，由于分立的晶体管对有可能作内部基极接线，所以在高频下能够呈现稍好的性能。再有，分立晶体管较为价廉。

图4 的设计要求一个能偏置晶体管的电路。于是，提供了一个独立的偏置电源V C C。第一级3 1 2 的偏置电压调节在第一电平上，而其余三级3 1 4 - 3 1 8 则使用一个共同的偏置电压。在该典型的实施例中，各放大级3 1 2 - 3 1 8 所分别使用的偏压供电电阻3 3



8、3 4 6、3 5 6 和3 5 8 都是4 7 0 K Ω ，集电极电阻3 2 0 都是1 5 0 K Ω 。每一个级间都有一个相应的输入二极管3 6 2、3 6 4 和3 6 6，使工作点偏移。再有，在每一级晶体管对之间的基极-发射极电路中都有一个4 7 0 K Ω 的基极电阻3 7 0 连接在内部基极和地之间，以改善截止特性。如下面将说明的那样，输入级3 1 2 含有一个输入二极管3 7 4，以便更好地模仿真空管的输入电路。

许多较新的或较现代的吉他给出比较高的输出电压，例如3 至5 V。因此具有良好的前置放大器输入超载性能是重要的。从而，通过提供一个多级偏置电路使第一级3 1 2 的偏置能模仿典型的1 2 A x 7 真空管栅极的输入超载特性。

在该偏置电路3 8 0 的结构中含有一个带有电阻3 8 2、3 8 4、3 8 6 和3 8 8 以及滤波电容3 9 1 的分压器网络。电阻3 8 2 连接在输入二极管3 7 4 的负极上，为放大级3 1 2 建立一个二极管偏置电压（例如直流3 . 5 V）。电阻3 8 4 连接在基极电阻3 3 8 上，为放大级3 1 2 建立一个基极偏压（例如直流2 . 5 V）。电阻3 8 6 和二极管电阻3 8 8 为后面的放大级3 1 4 -3 1 8 建立公共的偏置电压（例如直流1 . 5 V），如图所示。

如在该典型实施例中所说明的那样，V C C 经分压后用来建立2 . 5 V 的基极偏压、3 . 5 V 的二极管偏压供电和公共的1 . 5 V 供电。在放大级3 1 4 -3 1 8 中，各个相应的削波二极管3 6 2、3 6 4 和3 6 6 也都连接在公共的1 . 5 V 供电电源上。

在该典型实施例中，当第一级的输入晶体管3 1 2

A 偏置在 2.5 V 时，其输出晶体管 3 1 2 B 的发射极将大约为 1.5 V（两个 0.5 V 的二极管压降），这和前述的真空管电路（图 1）中的阴极的电压值相同。这意味着该放大级 3 1 2 输入端处的负向 1.5 V 峰值摆动将使集电极工作电流趋于零（负削波）。这情形和图 1 真空管电路的情形一样。这样，图 4 的电路具有好象是真空管电路的输入特性。

第一级的输入二极管 3 7 4 在 0.5 V 时导通。3.5 V 的供电比基极供电电压高 1 V。3.5 V 的二极管偏置电压加上 0.5 V 的二极管压降等于 4 V，它比 2.5 V 的基极偏置电压高 1.5 V。这意味着该级输入端处的正向 1.5 V 峰值摆动将使输入二极管 3 7 4 导通，从而造成工作点偏移（正向削波）。这样，图 4 电路的输入动态范围与真空管电路相当。

如对图 2 所作的说明那样，电容 3 4 0 提供某种受控制的高频衰减（密勒效应），3 1 2 B 的发射极通过串联的电阻 3 2 2 和 3 2 5 接地，电阻 3 2 2 上并联了旁路电容 3 2 4。该电路结构所提供的静态电流和增益能形成相当于典型真空管第一级的超载条件。在发射极电路上还跨接了电阻 3 9 0 和电容 3 9 2 的串联电路，以获得高频提升。

第一级的输出信号以与图 2 结构相似的方式通过电容 3 4 2 和电阻 3 4 4 耦合到第二级 3 1 4 的输入端。尽管为了产生令人愉快的超载声响，各元件的值可以改变以获得所需的削波量、工作点偏移量和频率响应，但是其余三级 3 1 4、3 1 6 和 3 1 8 的结构还是与第一级相类似的。例如，级间耦合由电容 3 4 2、3 4 8 和 3 5 4 以及电阻 3 4 4、3 5 0 和 3 5 6 实现。在各个

后面级3 1 4 - 3 1 8 中，发射极都通过两个串连的电阻3 2 2 和3 2 5 接地，并且接地电阻3 2 2 被电容3 2 4 旁路。还有，每一级也还都采用了串连的电阻3 9 0 和电容3 9 2 接地，以获得高频提升。输出是通过电容3 6 0 提供的。

任一级可达到的集电极正向峰值摆动约为2 0 V。三个级间削波二极管3 6 2、3 6 4 和3 6 6 都在约正向0.5 V 时导通。这样，输入摆动电压与削波电压的比值为 $2.0 / 0.5 = 4.0$ ，是适合于引起每一级的工作点偏移的，因此其失真性能与真空管电路的十分相似。

应该指出，在图2 或图3 的结构中，也可以使用输入二极管3 7 4 和一个适当的偏置电路。该偏置电路可以使放大器电路与真空管电路有相同的输入特性。

在图4 的结构中，可以在电容3 4 2 后面的电路中插入一个类似于电位器2 1 3 的音量电位器，而在电容3 6 0 后面可以连接一个类似于电位器2 6 1 的主音量电位器。

应该注意，本发明并不简单的只是一个二极管削波装置和一个工作点偏移器。有几个美国专利也讨论了利用二极管的工作点偏移造成二次谐波失真的方法。本发明给出了一个重要的发现，即当一个仅有0.5 V 正向电压削波值的二极管被具有约2.0 至3.0 V 的输出能力的典型固态装置驱动时，将得到一个十分接近于现有真空管电路的特定的输出/ 输入比值，从而得以逼真地模仿真空管声响。本发明还指出，由多个放大级产生的多个工作点偏移将在宽广的输入信号电平范围内产生多种二次谐波失真的电平和大小。本发明还进一步指出了一种利用固态器件模仿典型的真空管电路的第一级的输入

超载特性的方法。其结果是，利用固态器件可以产生几乎是准确的所谓真空管失真声响。

尽管这里所说明的只是本发明的目前认为是优选的实施例，但是对于熟悉本领域的人们来说，显然可以在不偏离本发明的前提下对此做出各种变化和修改，在后面所附的权利要求中将试图涵括这种属于本发明的精神和范畴的变化和修改。

说明书附图

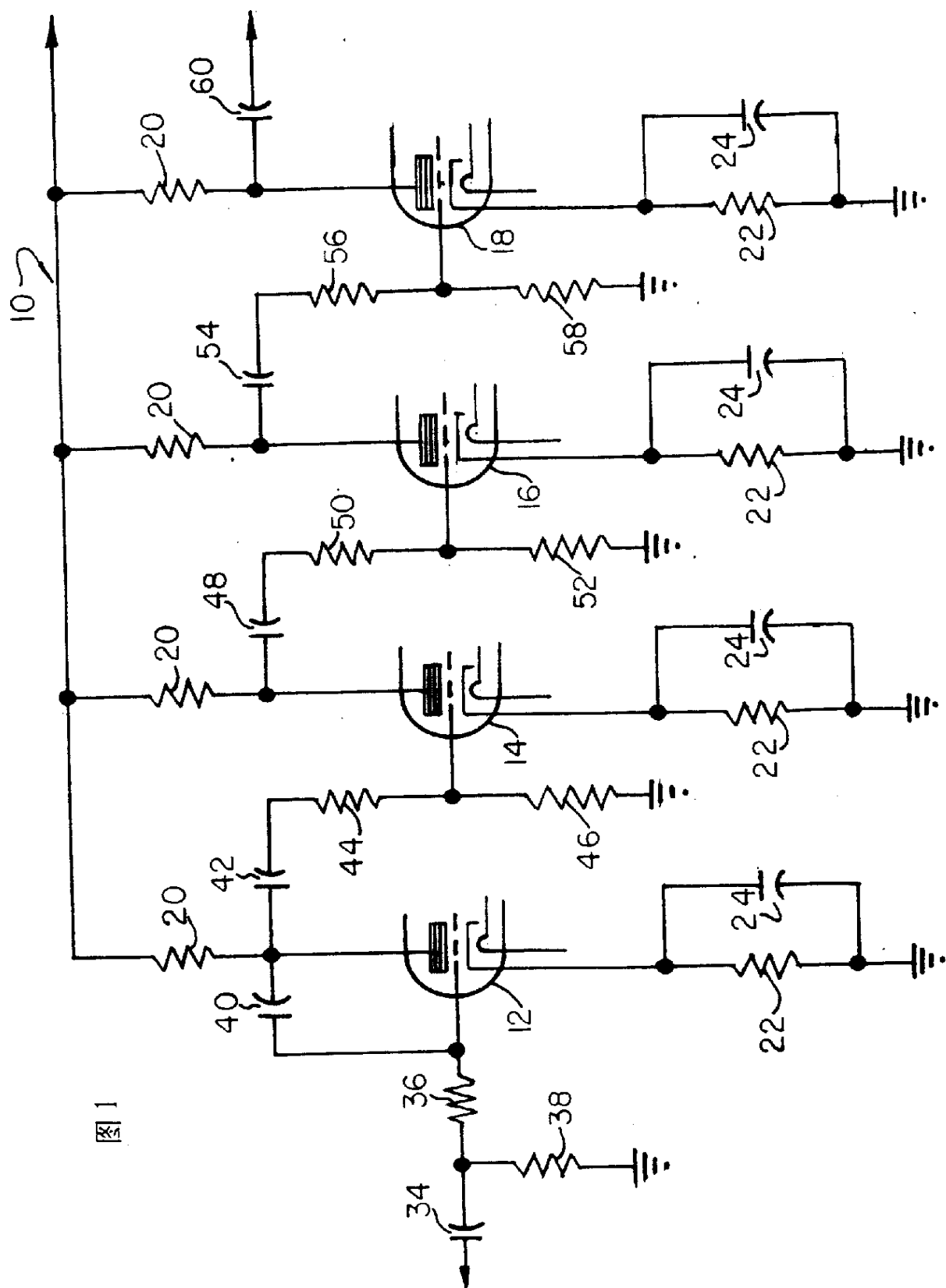
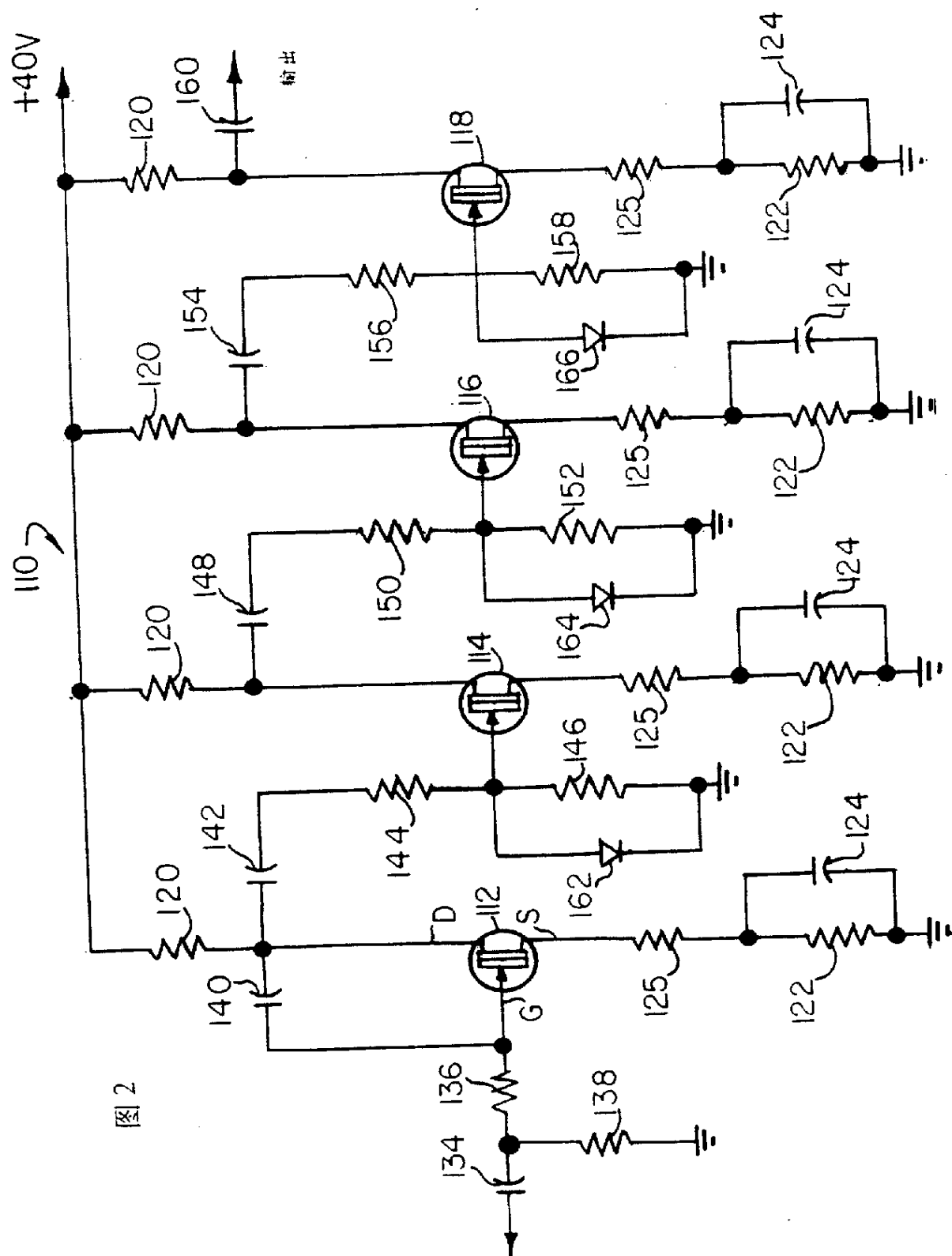


图 1



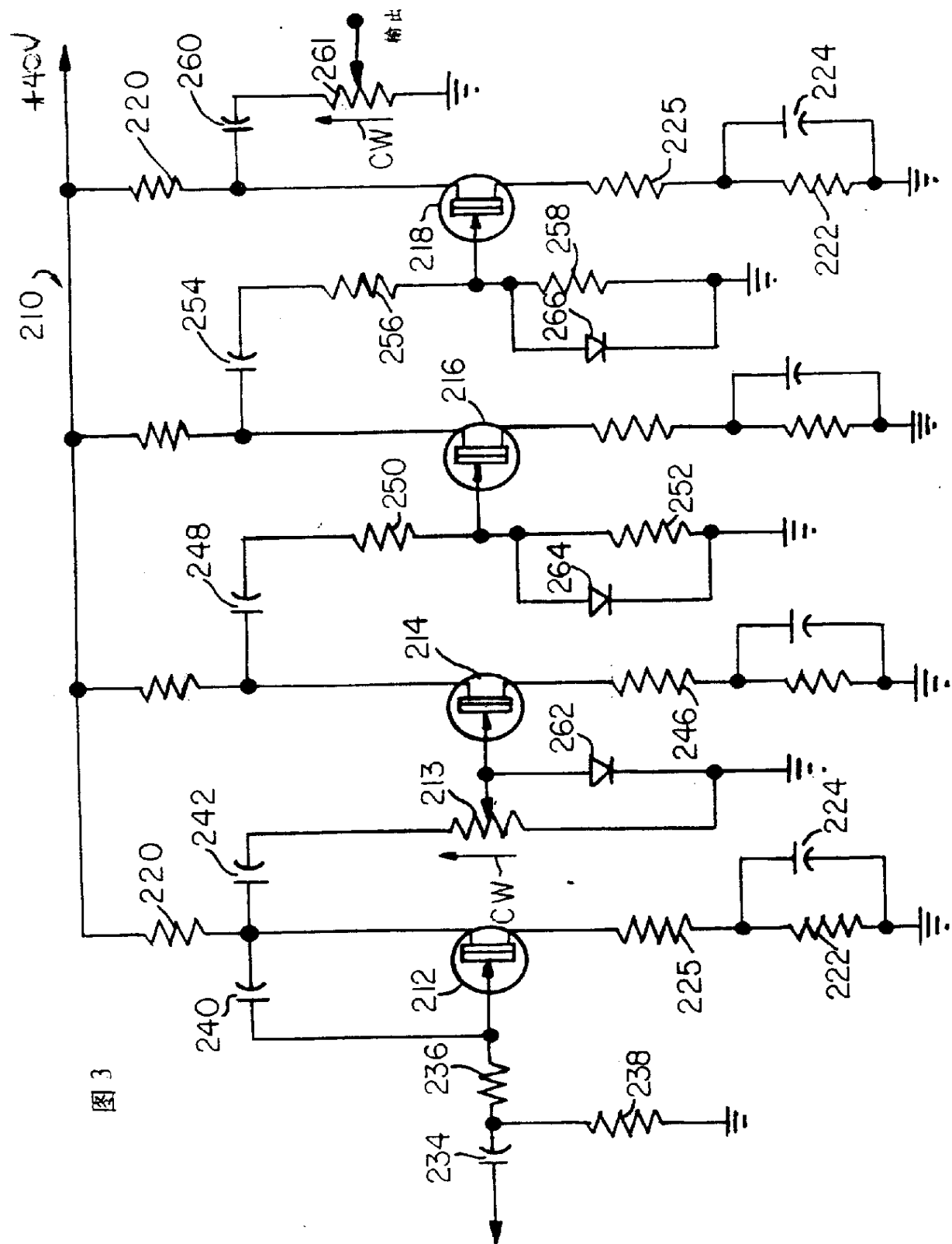


图 3

图 4

