



(12) 发明专利



(10) 授权公告号 CN 113614552 B

(45) 授权公告日 2024. 10. 18

(21) 申请号 202080019055.0

(22) 申请日 2020.02.19

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 113614552 A

(43) 申请公布日 2021.11.05

(30) 优先权数据  
16/367,675 2019.03.28 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2021.09.06

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/US2020/018784 2020.02.19

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02020/197664 EN 2020.10.01

(73) 专利权人 泰瑞达公司

地址 美国马萨诸塞州

(72) 发明人 詹森·A·梅西耶 布赖斯·M·温  
厄尼斯托·迪米克

(74) 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限  
责任公司 11219  
专利代理师 赵晓祚 戚传江

(51) Int.Cl.  
G01R 31/317 (2006.01)  
G11C 29/12 (2006.01)  
H03F 3/20 (2006.01)

(56) 对比文件  
US 2013181736 A1, 2013.07.18  
审查员 刘多纳

权利要求书4页 说明书10页 附图9页

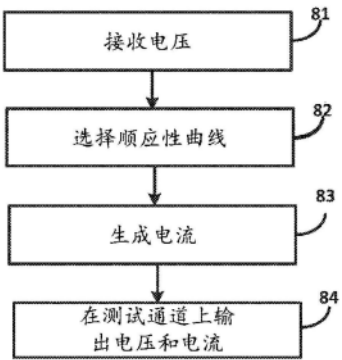
(54) 发明名称

支持反向顺应性的测试系统

(57) 摘要

一种示例性测试系统包括：功率放大器电路，该功率放大器电路用于将电压或电流强加到测试通道；以及一个或多个处理设备，该一个或多个处理设备被配置为控制功率放大器电路以符合顺应性曲线。顺应性曲线使电压的输出与电流的输出相关。根据顺应性曲线，最大电流输出随着电压输出的绝对值的增大而增大。

80



1. 一种测试系统,包括:

输出级,所述输出级包括功率放大器电路,所述功率放大器电路用于将电压或电流强加到测试通道;和

一个或多个处理设备,所述一个或多个处理设备从都用于所述输出级的第一顺应性曲线和第二顺应性曲线当中选择顺应性曲线,其中所述顺应性曲线使所述输出级的所述电压的输出与所述电流的输出相关,其中根据所述第一顺应性曲线,电压随着电流的增大而增大,并且其中根据所述第二顺应性曲线,电压随着电流的减小而增大,所述一个或多个处理设备用于控制所述功率放大器电路以符合所选择的顺应性曲线,其中所选择的顺应性曲线是所述第一顺应性曲线或所述第二顺应性曲线。

2. 根据权利要求1所述的测试系统,其中,所述电压为直流(DC)电压,并且所述电流为DC电流。

3. 根据权利要求1所述的测试系统,还包括:补偿回路,所述补偿回路包括:

电压传感器,所述电压传感器用于感测所述测试通道上的所述电压;

电流传感器,所述电流传感器用于感测所述测试通道上的所述电流;和

所述一个或多个处理设备,所述一个或多个处理设备用于基于在所述测试通道上感测的所述电压和在所述测试通道上感测的所述电流来控制所述功率放大器电路。

4. 根据权利要求3所述的测试系统,还包括:

电流钳,所述电流钳用于在所述测试通道上感测的所述电流超过预定义的最大值的情况下限制所述测试通道上的所述电流。

5. 根据权利要求1所述的测试系统,其中,所述顺应性曲线是基于所述输出级能够耗散的功率量。

6. 根据权利要求1所述的测试系统,其中存储器存储所述第一顺应性曲线和所述第二顺应性曲线或用于产生所述第二顺应性曲线的信息;并且

其中所述一个或多个处理设备被配置为基于用户或编程输入来选择所述顺应性曲线。

7. 根据权利要求1所述的测试系统,其中,所述第一顺应性曲线或所述第二顺应性曲线中的至少一者包括阶梯函数。

8. 根据权利要求6所述的测试系统,其中,所述第一顺应性曲线包括阶梯函数,并且所述第二顺应性曲线包括阶梯函数。

9. 根据权利要求1所述的测试系统,其中,所述一个或多个处理设备被配置为实现控制器,所述控制器包括用于控制所述功率放大器电路的比例积分微分控制器。

10. 根据权利要求1所述的测试系统,还包括:

显示设备,所述显示设备用于向用户显示基于所述顺应性曲线的函数;和

输入设备,所述输入设备用于基于所述函数对所述电压进行编程。

11. 根据权利要求10所述的测试系统,其中,所述函数为所述顺应性曲线。

12. 根据权利要求10所述的测试系统,其中,所述函数为在所述顺应性曲线的界限内下降的阶梯函数。

13. 根据权利要求1所述的测试系统,其中,控制所述功率放大器电路以符合所选择的顺应性曲线包括:设定所述电流;并且

其中设定所述电流是基于所述输出级能够耗散的功率量、最大电压和已编程到所述测

试系统中的所述电压。

14. 根据权利要求13所述的测试系统, 其中, 设定所述电流基于已编程到所述测试系统中的所述电压小于或等于所述最大电压与开销电压之间的差值来调整。

15. 根据权利要求1所述的测试系统, 其中, 所述输出级连接到参考电压和返回导体, 所述参考电压高于所述返回导体的电压, 并且所述返回导体的所述电压为非零的。

16. 根据权利要求1所述的测试系统, 其中, 其中控制所述功率放大器电路以符合所述第一顺应性曲线包括: 基于已编程到所述测试系统中的所述电压来设定所述电流; 并且

其中所述第一顺应性曲线实现的测试通道密度大于所述第二顺应性曲线将实现的测试通道密度。

17. 根据权利要求16所述的测试系统, 其中, 所述输出级具有对应于所述输出级的功率耗散的物理大小。

18. 根据权利要求1所述的测试系统, 其中, 所述输出级连接到第一参考电压和第二参考电压, 所述第一参考电压高于所述第二参考电压;

其中所述测试系统还包括用于感测所述测试通道上的所述电压的电压传感器; 并且

其中所述一个或多个处理设备被配置为基于所述测试通道上的所述电压来控制所述第一参考电压或所述第二参考电压中的至少一者, 以便控制到所述测试通道的功率输出。

19. 根据权利要求1所述的测试系统, 其中, 所述输出级连接到第一参考电压和第二参考电压, 所述第一参考电压高于所述第二参考电压; 并且

其中所述第一参考电压或所述第二参考电压中的至少一者是能编程的。

20. 根据权利要求1所述的系统, 还包括:

存储器, 所述存储器存储所述第一顺应性曲线或用于产生所述第二顺应性曲线的函数。

21. 根据权利要求1所述的系统, 其中, 所述第一顺应性曲线包括曲线, 其中电流随着增大的电压而增大最多至一点; 并且

其中, 在所述点之后, 所述电流对于一定范围的增大的电压保持恒定。

22. 根据权利要求1所述的测试系统, 其中, 所述电压为交流 (AC) 电压, 并且所述电流为 AC 电流。

23. 一种测试方法, 包括:

接收电压的值作为测试系统的输入;

从都用于将电压或电流强加到测试系统的测试通道的同一输出级的第一顺应性曲线和第二顺应性曲线当中选择顺应性曲线, 其中被选择的顺应性曲线使所述输出级的所述电压的输出与所述电流的输出相关, 其中根据所述第一顺应性曲线, 电压随着电流的增大而增大, 并且其中根据所述第二顺应性曲线, 电压随着电流的减小而增大, 被选择的顺应性曲线是所述第一顺应性曲线或所述第二顺应性曲线并且基于被输入的所述电压的值;

基于所述电压输入和被选择的顺应性曲线生成电流输出; 以及

将所述电压和所述电流强加到所述测试通道。

24. 一种测试系统, 包括:

输出级, 所述输出级包括将电压或电流强加到测试通道的功率放大器电路, 所述测试通道是到待测设备 DUT 的连接的一部分;

电流钳,所述电流钳用于限制所述测试通道上的所述电流;和

一个或多个处理设备,所述一个或多个处理设备被配置为从都用于所述输出级的第一顺应性曲线和第二顺应性曲线当中选择顺应性曲线,其中所述顺应性曲线使所述输出级的所述电压的输出与所述电流的输出相关,其中根据所述第一顺应性曲线,电压随着电流的增大而增大,并且其中根据所述第二顺应性曲线,电压随着电流的减小而增大,所述一个或多个处理设备用于控制所述功率放大器电路以符合所选择的顺应性曲线,所选择的顺应性曲线是所述第一顺应性曲线或所述第二顺应性曲线,并且所述一个或多个处理设备被配置为基于跨所述DUT的电压动态地控制所述电流钳以便控制所选择的顺应性曲线的曲率。

25. 根据权利要求24所述的测试系统,其中,通过所述输出级的功率耗散是基于通过所述DUT的电流和跨所述输出级的电压与跨所述DUT的电压之间的差值的乘积。

26. 根据权利要求24所述的测试系统,其中,动态地控制所述电流钳包括:控制所述测试通道上的所述电流的极限。

27. 根据权利要求24所述的测试系统,其中,控制所述电流钳包括:对所述电流钳进行编程。

28. 根据权利要求24所述的测试系统,其中,所述一个或多个处理设备被配置为控制所述功率放大器电路以符合所选择的顺应性曲线。

29. 一种测试系统,包括:

输出级,所述输出级被配置为将电压或电流中的至少一个强加到测试通道以在所述测试通道上产生通道电压,所述输出级被配置为接收电源电压,其中所述输出级的功率耗散基于所述通道电压和所述电源电压之间的差值,并且所述输出级能够支持的最大功率耗散基于所述输出级的物理大小;和

稳压器,所述稳压器用于向所述输出级提供所述电源电压,所述稳压器能够被编程为改变所述电源电压以便基于所述输出级的物理大小以及基于所述输出级是根据第一顺应性曲线还是根据第二顺应性曲线被控制的来控制所述功率耗散,所述第一顺应性曲线或所述第二顺应性曲线都用于所述输出级,其中每个顺应性曲线将所述输出级的所述电压的输出与所述电流的输出相关,其中根据所述第一顺应性曲线,电压随着电流的增大而增大,并且根据所述第二顺应性曲线,电压随着电流的减小而增大。

30. 根据权利要求29所述的测试系统,其中所述稳压器能够被编程以将所述功率耗散改变为小于所述最大功率耗散的值。

31. 根据权利要求29所述的测试系统,其中所述输出级包括功率放大器电路。

32. 根据权利要求29所述的测试系统,其中对于来自所述输出级的电流,所述电源电压和所述通道电压之间的差值的减小实现所述输出级的所述物理大小的减小。

33. 根据权利要求29所述的测试系统,其中所述输出级的所述物理大小与通过所述输出级的最大电流时的所述电源电压和所述通道电压之间的差值成比例。

34. 根据权利要求29所述的测试系统,还包括:

控制器,所述控制器用于基于在所述测试通道上感测的电压和电流来控制所述稳压器。

35. 根据权利要求34所述的测试系统,其中所述控制器包括专用于所述测试通道的一个或多个处理设备。

36. 根据权利要求29所述的测试系统,还包括:  
控制器,所述控制器用于基于在所述测试通道上感测的电压和电流来控制所述输出级。
37. 根据权利要求36所述的测试系统,其中所述控制器包括专用于所述测试通道的一个或多个处理设备。

## 支持反向顺应性的测试系统

### 技术领域

[0001] 本说明书描述了支持顺应性曲线的测试系统的示例性具体实施,其中测试通道上的电流随着测试通道上的电压的增大而增大。

### 背景技术

[0002] 测试系统被配置为测试电子设备诸如微处理器和存储器芯片的操作。测试可包括向设备发送信号以及基于其响应来确定设备对这些信号作何反应。例如,测试可包括将电压和电流强加到测试通道上,以及基于所强加的电压和电流从设备接收信号。设备的反应将决定设备通过测试还是测试失败。

### 发明内容

[0003] 一种示例性测试系统包括:功率放大器电路,该功率放大器电路用于将电压或电流强加到测试通道;以及一个或多个处理设备,该一个或多个处理设备被配置为控制功率放大器电路以符合顺应性曲线。顺应性曲线使电压的输出与电流的输出相关。根据顺应性曲线,最大电流输出随着电压输出的绝对值的增大而增大。示例性测试系统可包括下列特征中的一个或多个(单独地或组合地)。

[0004] 电压可为直流(DC)电压,并且电流可为DC电流。该示例性测试系统可包括补偿回路。该补偿回路可包括:电压传感器,该电压传感器用于感测测试通道上的电压;电流传感器,该电流传感器用于感测测试通道上的电流;以及一个或多个处理设备,该一个或多个处理设备基于在测试通道上感测的电压和在测试通道上感测的电流来控制功率放大器电路。该示例性测试系统可包括电流钳,该电流钳用于在测试通道上感测的电流超过预定义的最大值的情况下限制测试通道上的电流。

[0005] 顺应性曲线可基于测试通道能够耗散的功率量。顺应性曲线是第一顺应性曲线,并且存储器存储使电压的输出与电流的输出相关的第二顺应性曲线或用于产生第二顺应性曲线的信息。根据第二顺应性曲线,最大电流输出随着电压输出的绝对值的增大而减小。一个或多个处理设备被配置为基于第一顺应性曲线或第二顺应性曲线中的一者来控制功率放大器电路。第一顺应性曲线或第二顺应性曲线中的至少一者包括阶梯函数。第一顺应性曲线可包括阶梯函数,并且第二顺应性曲线包括阶梯函数。

[0006] 一个或多个处理设备可被配置为实现控制器,该控制器包括用于控制功率放大器电路的比例积分微分控制器。该示例性测试系统可包括:显示设备,该显示设备用于向用户显示基于顺应性曲线的函数;以及输入设备,该输入设备用于基于函数对电压进行编程。函数可为顺应性曲线。函数可为随顺应性曲线的界限下降的阶梯函数。

[0007] 控制功率放大器电路以符合顺应性曲线可包括:设定电流。设定电流可基于测试通道能够耗散的功率量、最大电压和已编程到测试系统中的电压。设定电流可基于已编程到测试系统中的电压小于或等于最大电压与开销电压之间的差值来调整。

[0008] 该功率放大器电路可包括测试通道的输出级,该输出级连接到参考电压和返回导

体。参考电压可高于返回导体的电压。该返回导体的电压可以是非零的。顺应性曲线可以是第一顺应性曲线,并且控制功率放大器电路以符合第一顺应性曲线可包括:基于已编程到测试系统中的电压来设定电流。第一顺应性曲线可实现的测试通道密度大于第二顺应性曲线将实现的测试通道密度,根据第二顺应性曲线,最大电流输出随着电压输出的增大而减小。功率放大器电路可包括输出级。输出级可具有对应于输出级的功率耗散的物理大小。使用第二顺应性曲线可导致的到待测设备(DUT)的功率输出大于使用第一顺应性曲线所导致的功率输出,使得通过使用第一顺应性曲线实现输出级的物理大小的减小。

[0009] 该功率放大器电路可包括测试通道的输出级,该输出级连接到第一参考电压和第二参考电压。该第一参考电压可高于该第二参考电压。该测试系统可包括用于感测测试通道上的电压的电压传感器。一个或多个处理设备可被配置为基于测试通道上的电压来控制第一参考电压或第二参考电压中的至少一者,以便控制到测试通道的功率输出。第一参考电压或第二参考电压中的至少一者是能编程的。

[0010] 该示例性测试系统可包括存储器,该存储器存储顺应性曲线或用于产生第二顺应性曲线的函数。第一顺应性曲线可包括曲线,其中电流随着增大的电压而增大最多至一点。在该点之后,电流可对于一定范围的增大的电压保持恒定。电压可为交流(AC)电压,并且电流可为AC电流。

[0011] 一种示例性方法包括:接收电压作为测试系统的输入;基于电压选择顺应性曲线,其中根据顺应性曲线,最大电流输出随着电压输出的绝对值的增大而增大;基于电压输入和顺应性曲线生成电流输出;以及将电压和电流输出到测试系统的测试通道。

[0012] 一种示例性测试系统包括:输出级,该输出级具有将电压或电流强加到测试通道的功率放大器电路,测试通道是到DUT的连接的一部分;电流钳,该电流钳用于限制测试通道上的电流;以及一个或多个处理设备,该一个或多个处理设备被配置为基于跨DUT的电压动态地控制电流钳。示例性测试系统可包括下列特征中的一个或多个(单独地或组合地)。

[0013] 通过输出级的功率耗散是基于通过DUT的电流和跨输出级的电压与跨DUT的电压之间的差值的乘积。动态地控制电流可包括:控制测试通道上的电流的极限。控制电流钳可包括:对电流钳进行编程。一个或多个处理设备可被配置为控制功率放大器电路以符合顺应性曲线。顺应性曲线可使电压的输出与电流的输出相关。

[0014] 根据顺应性曲线,最大电流输出随着电压输出的绝对值的增大而增大。

[0015] 本说明书(包括本发明内容部分)中所描述的特征中的任何两者或更多者可组合以形成本说明书中未具体描述的具体实施。

[0016] 本说明书中所描述的测试系统和过程的至少一部分可通过在一个或多个处理设备上执行存储在一个或多个非暂态机器可读存储介质上的指令来配置或控制。非暂态机器可读存储介质的示例包括只读存储器、光盘驱动器、存储器磁盘驱动器和随机存取存储器。本说明书中所描述的测试系统和过程的至少一部分可使用由一个或多个处理设备和存储指令的存储器组成的计算系统来配置或控制,这些指令可由一个或多个处理设备执行以进行各种控制操作。

[0017] 附图和以下具体实施方式中阐述了一个或多个具体实施的详细信息。通过具体实施和附图以及通过权利要求书,其他特征和优点将显而易见。

## 附图说明

- [0018] 图1是示例性测试系统的框图。
- [0019] 图2是示出示例性传统顺应性曲线的呈现版本和实际版本两者的曲线图。
- [0020] 图3是示出示例性传统顺应性曲线的呈现版本的曲线图。
- [0021] 图4是示出相同测试通道的相同输出级的传统顺应性曲线和反向顺应性曲线的曲线图。
- [0022] 图5是示出示例性反向顺应性曲线的呈现版本和实际版本两者的曲线图。
- [0023] 图6是示出示例性反向顺应性曲线的呈现版本和实际版本两者的曲线图。
- [0024] 图7是示出包含电流平台的示例性反向顺应性曲线的曲线图。
- [0025] 图8是示出测试通道的示例性输出级的示例性部件的框图。
- [0026] 图9是示出用于使用一个或多个顺应性曲线生成电压和电流的示例性过程的流程图。
- [0027] 不同图中的类似附图标记指示类似元件。

## 具体实施方式

[0028] 在一些示例中,顺应性曲线指定待测设备(DUT)处的测试通道的功率耗散。在一些情况下,测试通道包括一种或多种物理介质,通过该一种或多种物理介质,从测试系统向DUT发送信号,以及从DUT接收信号。在这些情况下,测试通道是测试系统与DUT之间的电连接和/或光学连接的一部分。

[0029] 每个示例性测试通道具有输出级,该输出级耗散输入电压的固定功率量。在一些具体实施中,输入电压可以是可编程的,在这种情况下,输出级的功率耗散量将基于电压的变化而变化。每个测试通道可受顺应性曲线支配,该顺应性曲线指定在给定电压下可穿过测试通道的电流。例如,用户可指定要在测试通道上提供的电压。针对该电压,顺应性曲线指定测试通道可支持的一个或多个电流值(例如,电流范围)。在一些传统顺应性曲线中,随着电压的增大,电流减小。在反向顺应性曲线中,随着电压的绝对值的增大,电流也增大。本文描述了支持反向顺应性曲线和传统顺应性曲线两者的测试系统的示例性具体实施。测试系统的示例性部件在下面所描述的图1中示出。

[0030] 在一些具体实施中,测试系统的每个测试通道包括输出级,该输出级包括将电压和电流强加到测试通道的功率放大器电路(在本文中也称为“功率放大器”)。一个或多个处理设备被配置为基于顺应性曲线来控制功率放大器电路以向DUT提供功率。如所解释的,顺应性曲线使测试通道上的电压的输出与电流的输出(例如,递送到DUT的电压和电流)相关。在一个示例中,顺应性曲线是反向顺应性曲线,其中最大电流输出随着电压输出的绝对值的增大而增大。然而,测试系统还可支持传统顺应性曲线,其中最大电流输出随着电压输出的增大而减小。多个测试通道(例如,每个测试通道)可包括功率放大器电路的实例、专用于该测试通道的一个或多个处理设备、或功率放大器电路的实例和一个或多个专用处理设备两者。

[0031] 顺应性曲线可在操作曲线图的一个或多个象限中限定测试通道中的功率耗散。例如,顺应性曲线可在曲线图的多达四个象限中限定测试通道的功率耗散;即,正电压和正电流、正电压和负电流、负电压和正电流、或负电压和负电流。因此,尽管本文呈现的示例通常



限于一个或两个象限,但本说明书中所描述的特征可与在任何数量的象限中限定测试通道的功率耗散的顺应性曲线一起使用。

[0032] 图2示出传统顺应性曲线25的示例,其在第一象限26(即,正电压(+V)、正电流(+I))中限定测试通道的功率耗散(例如,DUT处的功率耗散)。如图2所示,在该示例中,在第一象限26中,随着电压的量值的增大,电流的量值减小。每个测试通道输出级耗散一定功率量。可通过将在输出级功率耗散内的任何适当范围的电流和电压施加到测试通道,来输出到DUT的功率。在一些示例中,超出顺应性曲线所限定的功率(例如,由于电压轨短接到地)的在测试通道中耗散的功率可致使测试通道不能正确地操作、致使测试通道被物理地损坏、或两者。

[0033] 在一些情况下,顺应性曲线仅包括呈现给用户的测试通道的操作范围,而不是测试通道的整个操作范围。用户可从所呈现的顺应性曲线中选择电压和电流,以确保测试通道的安全且准确的操作范围。然而,测试通道的实际顺应性曲线延伸超出呈现给用户的顺应性曲线。例如,在图2中,所呈现的顺应性曲线25是在实际顺应性曲线28界限内的阶梯函数。实际顺应性曲线28是非线性的,并且如图所示,涵盖所呈现的顺应性曲线25全部,并且延伸超出所呈现的顺应性曲线。所呈现的顺应性曲线并不跟踪实际顺应性曲线28的边界,因此降低了测试通道在超出测试通道可支持功率的功率电平下的功率耗散的风险。在本说明书中,术语“顺应性曲线”可以是指诸如28的实际顺应性曲线或诸如25的所呈现的顺应性曲线。

[0034] 与输出级的功率耗散相比,递送到DUT的瞬时功率由顺应性曲线内的点处的电压和电流的乘积限定。在图2中,此功率由顺应性曲线内的所选择的电压和电流的乘积限定。在示例性顺应性曲线25中,在点22、23和24处,到DUT的此功率通常近似相同。即,随着电压的增大,电流减小,但两者的乘积保持相同。例如,图8示出示例性输出级的部件。在下面更详细描述图8中,输出级中的功率耗散等于以下在该图中所示的电压和电流或与其成比例。

[0035] 功率耗散  $\sim ((V+) - (V_d)) * (I_d)$ ,

[0036] 其中 $V_d$ 是跨DUT的电压, $I_d$ 是DUT消耗的电流,并且 $V+$ 是稳压器的电压输出。在图8中,到DUT的瞬时功率等于以下在该图中所示的电压和电流或与其成比例。

[0037] 到DUT的功率  $\sim (V_d) * (I_d)$ 。

[0038] 在一些示例中,传统顺应性曲线和反向顺应性曲线使 $V_d$ 和 $I_d$ 相关。

[0039] 图3示出在两个象限:正电压(+V)、正电流(+I)和负电压(-V)、正电流(+I)中限定测试通道的功率耗散的传统顺应性曲线29的另一个示例。如图所示,在该示例中,在第一象限30中,随着电压的量值的增大,电流的量值减小。在该示例中,在第二象限31中,随着电压的增大,电流保持恒定并且不增大。

[0040] 如所指出的,在反向顺应性曲线中,随着电压的绝对值的增大,电流增大。然而,对于固定大小的测试通道输出级,其功率耗散对于传统顺应性曲线和反向顺应性曲线的全部或部分保持相同。例如,图4示出测试通道的相同固定大小的输出级的反向顺应性曲线32和传统顺应性曲线33的示例。在传统顺应性曲线33中,针对区段包络36发生10瓦特(W)功率耗散;在该示例中,  $(10V) * (1A)$  等于10W。在相同测试通道同样支持的反向顺应性曲线32中,在区段包络37处发生相同的10W功率耗散;在该实例中,  $(50V - 40V) * (1A)$  等于10W。因此,功率

耗散在传统顺应性曲线和反向顺应性曲线的不同部分处是相同的。然而,在传统顺应性曲线上的点27处,递送到DUT的瞬时功率为10W;即 $(10V) \times (1A)$  等于10W。相比之下,在反向顺应性曲线上的点34处,递送到DUT的瞬时功率为50W;即 $(50V) \times (1A)$  等于50W。因此,通过使用反向顺应性,可以使用测试通道的相同输出级提供更大功率量。换句话说讲,可以在不增大该输出级的大小的情况下提供更大功率量。然而,测试通道可支持使用传统顺应性曲线和反向顺应性曲线两者的操作。

[0041] 在一些情况下,反向顺应性曲线仅包括呈现给用户的测试通道的操作范围,而不是测试通道的整个操作范围。用户可从所呈现的反向顺应性曲线中选择电压和电流,以确保测试通道的安全且准确的操作。然而,测试通道的实际反向顺应性曲线延伸超出呈现给用户的所呈现的反向顺应性曲线。例如,在图5中,所呈现的反向顺应性曲线38是在实际顺应性曲线39界限内的阶梯函数。如图所示,实际反向顺应性曲线39涵盖所呈现的反向顺应性曲线38全部,并且延伸超出所呈现的反向顺应性曲线。所呈现的反向顺应性曲线38并不跟踪实际反向顺应性曲线39的边界,因此降低了测试通道在超出测试通道所支持功率的功率电平下操作的风险。在本说明书中,术语“反向顺应性曲线”可以是指诸如39的实际反向顺应性曲线或诸如38的所呈现的反向顺应性曲线。

[0042] 图6示出在两个象限:正电压(+V)、正电流(+I) 43和正电压(+V)、负电流(-I) 44中限定两个测试通道的操作范围的两条反向顺应性曲线40和41的另一个示例。在该示例中,在第四象限44中,随着电压的绝对值的增大(+V),电流(-I) 增大到最大值。在该值之后,电流迅速归零。在第四象限44中,较小负电流构成电流增大。例如,-500毫安(mA) 是超过-2安培(A) 的电流增大。

[0043] 图6还以虚线示出实际顺应性曲线40的所呈现的顺应性曲线46,并且以虚线示出实际顺应性曲线41的所呈现的顺应性曲线47。

[0044] 图7示出在第一象限49中限定测试通道的操作范围的反向顺应性曲线48的另一个示例。在该示例中,电流随着电压的增大而非线性地增大最多至点51。在那里,电流达到平台或对于增大的电压范围保持恒定,然后快速降到零。平台51与峰53之间的区域对应于开销电压( $V_{oh}$ )。在一个示例中,支持平台的电流电平的开销电压是顺应性曲线下降到0安培(A) 的地方(以伏特为单位,在平台的右侧) 与平台的右侧(以伏特为单位) 之间的差值。随着电流的增大,所需的开销电压也增大,这是在弯曲的顺应性曲线中产生峰的原因。在一个示例中,开销电压包括由测试系统的电压轨所支持的电压,但该电压为高于用户可选择用于操作测试通道的电压的某个固定电压。在一些示例中,开销电压是5伏特(V)、10V、15V、20V等等。开销电压可编程到测试系统中,并且在一些系统中,可改变。可向用户呈现与图7的顺应性曲线类似但示出平台而不示出峰的顺应性曲线。

[0045] 重新参考图1,该图示出可支持传统顺应性曲线和本文所述类型的反向顺应性曲线两者的示例性自动测试装备(ATE) 10的部件。然而,值得注意的是,传统顺应性曲线和反向顺应性曲线不限于与图1的ATE一起使用或与本文所述的DUT一起使用,而是可在任何适当的技术环境中使用。在图1中,虚线指示设备之间的潜在信号路径。

[0046] ATE 10包括测试头11和测试计算机12。测试头11与在其上执行测试的DUT(未示出) 交接。测试计算机12与测试头11通信以控制测试。例如,测试计算机可将测试程序集下载到测试头上的测试仪器,然后运行测试程序集以测试与测试头通信的DUT。计算机12还可

(例如,以图形方式)向用户呈现传统顺应性曲线和反向顺应性曲线,以向用户展示ATE 10中的测试通道的能力。

[0047] ATE 10包括测试仪器13A至13N。在该示例中,测试仪器中的一个或多个测试仪器为VI(电压-电流)测试仪器,这些VI测试仪器被配置为将直流(DC)电压并且将DC电流强加到测试通道上并且基于所强加的DC电压和所强加的DC电流从设备接收信号。然而,可使用其他类型的测试仪器代替VI测试仪器或作为VI测试仪器的补充。

[0048] 例如,可使用被配置为产生具有大于1千赫(KHZ)的频率的交流(AC)电压和/或AC电流信号的测试仪器。每个测试仪器可被配置为输出测试信号以测试DUT,并且从DUT接收信号。所接收的信号可包括基于测试信号的响应信号和/或源自DUT的未被(例如,未响应于)测试信号提示的信号。

[0049] 信号通过多个测试通道发送到DUT以及从DUT接收。在一些示例中,测试通道可包括一种或多种物理传输介质,通过该一种或多种物理传输介质,从测试仪器向DUT发送信号,以及从DUT接收信号。物理传输介质可包括但不限于单独的电导体或电导体与光导体的组合、无线传输介质、或光导体和无线传输介质两者。在一些示例中,测试通道可包括通过一种或多种物理传输介质在其内传输信号的频率范围。

[0050] 在一些具体实施中,ATE 10的不同测试通道可全部支持相同的顺应性曲线,或者ATE 10的不同测试通道可支持不同的顺应性曲线。例如,不同测试通道的输出级可耗散不同功率量,或者不同测试通道的输出级可耗散相同功率量。在一些具体实施中,一些测试通道可仅支持传统顺应性曲线,一些测试通道可仅支持反向顺应性曲线,一些测试通道可支持传统顺应性曲线和反向顺应性曲线两者,或者所有测试通道可支持传统顺应性曲线和反向顺应性曲线两者。ATE 10包括将测试仪器测试通道15连接到DIB 16的连接接口14。连接接口14可包括连接器20或用于在测试仪器与DIB 16之间路由信号的其他器件。例如,连接接口可包括其上安装有此类连接器的一个或多个电路板或其他基板。限定仪器测试通道的导体可被引导穿过连接接口和DIB。

[0051] 在图1的示例中,DIB 16电连接和机械连接到测试头11。DIB包括位点21,这些位点可包括引脚、传导迹线或DUT可连接到的其他电连接和机械连接点。测试信号、响应信号和其他信号经由测试通道通过位点在DUT与测试仪器之间传递。DIB 16还包括连接器、传导迹线以及用于在测试仪器、连接到位点21的DUT以及其他电路之间路由信号的电路等等。

[0052] 图8示出可包括在示例性测试通道60的输出级中的部件的示例,示例性测试通道诸如测试仪器13A的测试通道。如图8所示,测试通道60的输出级包括功率放大器电路61。功率放大器电路可包括功率放大器,该功率放大器被配置为将电压和电流强加到测试通道的传输介质部分64。测试通道还包括一个或多个处理设备65,该一个或多个处理设备被配置为控制功率放大器电路以符合一个或多个顺应性曲线。例如,处理设备可实现控制器,诸如用于控制功率放大器电路的比例积分微分(PID)控制器。在一些具体实施中,控制器可包括前馈部件,这些前馈部件使得控制器不仅仅是PID控制器。在一个示例中,顺应性曲线可以是诸如图2、图3和图4所示的传统顺应性曲线或诸如图4至图7所示的反向顺应性曲线。可在处理设备65内部或外部的计算机存储器可存储顺应性曲线。

[0053] 顺应性曲线可由(图1的)测试计算机12从存储器检索,以在作为测试计算机的一部分的显示屏上显示给用户。在一些具体实施中,存储器可存储限定顺应性曲线并且可根

据其确定顺应性曲线的信息或函数。在一些具体实施中,用户随后可在顺应性曲线上选择要在测试通道上输出(例如,输出到DUT)的电压和/或电流,该电压和/或电流在测试仪器的操作范围内。在一些具体实施中,用户可选择或编程顺应性曲线所支持的电压,并且系统可基于该电压自动确定电流。而且,在一些具体实施中,用户可选择电流并且系统可自动确定电压。处理设备然后可控制功率放大器、稳压器67或两者以将电压和电流强加到测试通道。

[0054] 本文描述了可使用的处理设备的类型的示例。

[0055] 如先前所解释,在图8中,输出级中的功率耗散等于以下在该图中所示的电压和电流或与其成比例。

[0056] 功率耗散  $\sim ((V+) - (Vd)) * (Id)$ ,

[0057] 其中Vd是跨DUT的电压,Id是DUT消耗的电流,并且V+是稳压器的电压输出。在一些具体实施中,V+可通过编程来改变,这将导致输出级的功率耗散的改变。同样如先前所解释,在图8中,DUT的瞬时功率等于以下在该图中所示的电压和电流或与其成比例。

[0058] 到DUT的功率  $\sim (Vd) * (Id)$ 。

[0059] 在一些示例中,根据反向顺应性曲线和/或传统顺应性曲线控制功率放大器电路以将电压和电流强加到测试通道并因此强加到DUT包括:处理设备确定电流。例如,处理设备可基于通道可支持的功率量(即,测试通道耗散)、最大电压以及已由用户编程到测试系统中的电压来确定最大电流。例如,处理设备可基于通道可支持的功率量(即,测试通道耗散)、最大电压以及已由用户编程到测试系统中的电流来确定最大电压。

[0060] 在一些示例中,用户编程电压( $V_{prog}$ )或电流( $I_p$ ),而不是编程两者。这些通常分别称为“强加电压”模式和“强加电流”模式。DUT的电负载确定未明确强加的变量。如果考虑到DUT是简单电阻器的情况,则可清楚地看到这一点—系统可跨电阻器(具有电阻R)强加电压,并且系统可获得由V/R限定的电流(其中V是跨电阻器的电压),或者系统可强加电流,并且可获得由I\*R限定的电压(其中I是穿过电阻器的电流)。在一些示例中,不能同时强加电压和电流两者。因此,系统强加电压或电流,并且非强加变量由呈现给通道的负载确定。此处的另一个考虑是,非强加变量可具有用户可编程“钳”,该用户可编程“钳”防止该变量超出该编程值。例如,可通过编程来设定要钳位的变量的值。例如,可基于以下关系动态地设定电流钳值。在一个示例中,可基于跨DUT的电压(即Vd)动态地设定电流钳值,以便限制测试通道上的电流。

[0061] 功率耗散  $\sim ((V+) - (Vd)) * (Id)$

[0062] 通过基于跨DUT的电压(即Vd)动态地控制电流钳,得到反向顺应性曲线的初始曲率。例如,在图4的示例中,得到40V之前的曲率。在仅采用传统顺应性曲线的系统中,如果使用电流钳,则测试通道上的最大电流与Vd无关或独立于Vd,而是预设的。

[0063] 当负载使得非强加变量将超过钳位值时,VI通道动态地改变状态(经由处理设备)以替代地强加“非强加”变量,使得不超过其钳。因此,概括地说,示例性通道可强加电压或电流,但并不同时强加两者。在该示例中,通道可被设置为动态切换,在动态切换之间,通道根据负载进行强加,但其仍然总是且仅一次强加一个,另一个由负载确定。

[0064] 在下面使测试通道上的功率、电压和电流相关的公式中,“P”为测试通道的最大功率耗散(其为已知量),并且 $V_{HS}$ 或V高端为测试系统可通过其电压轨以所选择的顺应性曲线提供的最大电压。

[0065] 在下面的公式中,在强加电压的情况下,除了 $I_p$ 之外,所有变量都是已知的,并且P为 $(V_{HS}-V_{prog})$ 和 $(I_p)$ 的乘积。在以下公式中,在强加电流的情况下,除了 $V_{prog}$ 之外,所有变量都是已知的,并且P为 $(V_{HS}-V_{prog})$ 和 $(I_p)$ 的乘积:

$$[0066] \quad P = (V_{HS} - V_{prog}) \times (I_p)$$

[0067] 电流的准确设置可基于已编程到测试系统中的电压 $(V_{prog})$ 小于或等于最大电压 $(V_{HS})$ 和开销电压 $(V_{OH})$ 之间的差值来调整。即,

$$[0068] \quad V_{prog} \leq V_{HS} - V_{OH}$$

[0069] 如果 $V_{prog}$ 大于 $V_{HS} - V_{OH}$ ,则测试通道在接近电压轨所提供的最大电压下操作并且可能易受过电压状况或与在超额电压下操作相关联的其他问题的影响。

[0070] 处理设备可以是补偿回路的一部分,该补偿回路包括稳压器、功率放大器电路、电压传感器和电流传感器。

[0071] 例如,稳压器可以是向功率放大器61输出一定范围电压的可编程稳压器。功率放大器被配置用于由处理设备65控制,以向测试通道的传输介质部分64输出来源于由稳压器提供的电压的电流和电压。电压传感器70感测测试通道的传输介质部分64上的电压,并且将所感测电压的电平提供给处理设备65。电流传感器71感测测试通道的传输介质部分64上(在该示例中,穿过电阻器72)的电流,并且将所感测电流的电平提供给处理设备65。模拟-数字转换器(未示出)或数字化仪生成所感测电压和所感测电流的数字值。处理设备基于所感测电压和所感测电流的数字值,例如通过确定所感测电压和所感测电流的乘积,来确定在测试通道上供应的功率量。在一些具体实施中,可使用模拟补偿器代替数字补偿器。模拟补偿器在模拟域而不是数字域中执行处理。

[0072] 如果测试通道的传输介质部分64上并且因此穿过DUT的功率耗散量超过测试通道的顺应性曲线(例如,传统顺应性曲线、反向顺应性曲线或传统顺应性曲线和反向顺应性曲线两者)的功率电平,则处理设备控制电流钳74以限制测试通道上的电流量并因此限制测试通道上的功率量。电流钳可以是在供应过多功率的情况下切断或减小电流的快速动态钳。例如,钳可操作大约数十微秒( $\mu s$ )。当DIB/DUT负载瞬态导致将所供应的电压和电流置于如顺应性曲线所限定的过功率状态的大电压变化时,钳限制电流消耗。该电流钳可被配置为在例如50 $\mu s$ 内将输出级功率耗散降低到可持续的极限,并且在若干毫秒(ms)时间框内脱离以允许来自顺应性曲线的用户限定电压接管。钳可被实现为处理设备的一部分,在功率放大器中实现,或者钳可为或可包括能够由处理设备控制的硬件。在该示例中,钳能够(例如由一个或多个处理设备)基于跨DUT的电压( $V_d$ )进行动态控制,如先前所述。

[0073] 在一些具体实施中,包括功率放大器电路的输出级连接到参考电压76( $V_+$ )和返回导体75( $V_-$ )。参考电压高于返回导体的电压,并且可以是用于在测试通道的传输介质部分64上产生电流和电压输出的电压。例如,参考电压可以是5V、10V、50V、100V、300V等。在一些示例中,返回导体的电压被设定为非零电压。例如,返回导体的电压不处于接地电平。例如,返回导体的电压可设定为1V、2V、3V、5V、10V等等。输出级的返回导体要高于0V(“接地”)的根本原因是减小跨输出级的电压-电流( $V \times I$ )乘积。

[0074] 如所解释的,在一些具体实施中,控制功率放大器电路以符合顺应性曲线可包括:基于已编程到测试系统中的电压来设定电流输出。使用反向顺应性曲线可实现的通道密度大于传统顺应性曲线(根据传统顺应性曲线,电流输出随着电压输出的增大而减小)将实现

的通道密度。就这一点而言,包括功率放大器电路的输出级具有对应于其功率耗散的物理大小。通过使用反向顺应性曲线,输出级的物理大小可相对于在使用传统顺应性曲线的情况下将需要的输出级的物理大小减小。更具体地,如相对于图4所解释的,使用反向顺应性,测试通道的输出级可向DUT提供50V。针对固定大小的输出级使用传统顺应性曲线,仅向DUT提供10W。因此,为了使用传统顺应性曲线产生与使用反向顺应性曲线产生的到DUT的功率输出类似的到DUT的功率输出,将需要增大输出级的大小。

[0075] 因此,使用反向顺应性,可使用较小输出级来输出到DUT的较大瞬时功率。

[0076] 例如,使用图3的传统顺应性30以便在单个测试通道中实现电流输出12A,输出级的功率耗散确定如下:

[0077]  $P = (96V - (-30V)) \times 12A \approx 1.5 \text{ 千瓦 (kW)}$

[0078] 例如,使用反向顺应性曲线,输出级的功率耗散确定如下:

[0079]  $(5V + 2V) \times 2A = 14 \text{ 瓦特 (W)}$

[0080] 为了实现12A总输出,使用六个通道,这产生  $14W \times 6 = 84W$  的功率输出。如所指出的,输出级的物理大小随功率缩放—例如,随着功率的增大,产生该功率输出所需的电路的大小也增大。通过需要较少的功率(84W对1512W)来输出相同量的电流(12A),可减小基于反向顺应性曲线控制的测试通道中的电路的大小。而且,由于电路的大小更小,可在同一空间中布置更大数量的测试通道,从而增大测试通道的密度。

[0081] 在一些具体实施中,当使用VI测试仪器作为设备电源(DPS)从而允许输出级的上电源随电压和电流输出斜变时,强加电压(FV)斜变实现DPS电压斜变期间的满额定电流。在一些具体实施中,一个或多个输出级电压轨可跟踪实时DUT电压。包括这些特征的测试通道的具体实施主动地测量强加路径和返回路径中的电阻,并且基于该信息自动地调节输出级电压。例如,可调节输出级电压以控制功率输出,以便将功率输出保持在所选择的顺应性曲线的范围内。

[0082] 参考图9,用于控制测试通道的过程80包括但不限于以下操作。该过程包括:接收电压作为测试系统的输入(81)。例如,电压可由用户诸如测试工程师编程到测试计算机中。电压是用于在感兴趣的测试通道上输出的目标强加电压。该过程包括:基于该电压选择顺应性曲线(82)。该选择可由用户或由控制测试系统诸如ATE 10的处理设备来执行。该过程包括:基于电压输入和顺应性曲线生成电流输出(83),如先前所述。作为测试过程的一部分,将电压和电流输出到测试通道(84)。如先前所述,在一些具体实施中,电流可由用户诸如测试工程师编程到测试计算机中,并且电压可为所确定的未知电压。

[0083] 本文描述的示例性系统和过程可与任何适当的测试系统一起使用。例如,这些系统和过程可与高电压、低电流VI仪器一起使用,其中示例性高电压为100V或更高,并且其中示例性低电流为200毫安(mA)或更低。例如,这些系统和过程可与高电压、低电流非浮动仪器或高电压、高电流浮动测试仪器一起使用。

[0084] 本说明书中描述的测试系统和过程的全部或部分以及它们的各种修改可至少部分地由一个或多个计算机使用一个或多个计算机程序来配置或控制,该一个或多个计算机程序有形地体现在一个或多个信息载体中,诸如在一个或多个非暂态机器可读存储介质中。计算机程序可采用任何形式的编程语言编写,包括编译或解释语言,并且其可以任何形式部署,包括作为独立程序或作为模块、零件、子程序或适用于计算环境中的其他单元。计

算机程序可被部署成在一台计算机上或者在一个站点处或分布在多个站点并且通过网络互连的多台计算机上执行。

[0085] 与配置或控制测试系统和过程相关联的动作可由执行一个或多个计算机程序的一个或多个可编程处理器来执行,以控制此前描述的阱形成操作中的全部或一些。测试系统和过程的全部或部分可由专用逻辑电路(诸如FPGA(现场可编程门阵列)和/或ASIC(专用集成电路))来配置或控制。

[0086] 适用于计算机程序执行的处理器包括(举例来说)通用和专用微处理器两者,以及任何种类数字计算机的任何一个或多个处理器。通常,处理器将从只读存储区或随机存取存储区或这二者接收指令和数据。计算机的元件包括用于执行指令的一个或多个处理器以及用于存储指令和数据的一个或多个存储区设备。通常,计算机还将包括(或者操作地耦合以从其接收数据或向其传输数据或这二者)一个或多个机器可读存储介质,诸如用于存储数据的大容量存储设备,诸如磁盘、磁光盘或光盘。适于体现计算机程序指令和数据的非暂态机器可读存储介质包括所有形式的非易失性存储区,包括(以举例的方式)半导体存储区设备,诸如EPROM(可擦除可编程只读存储器)、EEPROM(电可擦除可编程只读存储器)和快闪存储区设备;磁盘,诸如内部硬盘或可移动磁盘;磁光盘;以及CD-ROM(光盘只读存储器)和DVD-ROM(数字通用光盘只读存储器)。

[0087] 所描述的不同具体实施的元件可组合在一起以形成未在前面具体阐明的其他具体实施。元件可从先前所描述的系统中省去,而通常不会不利影响其操作或系统的操作。此外,各单独元件可组合为一个或多个单个元件来执行本说明书所述的功能。

[0088] 未在本说明书中具体描述的其他具体实施同样在以下权利要求书的范围内。

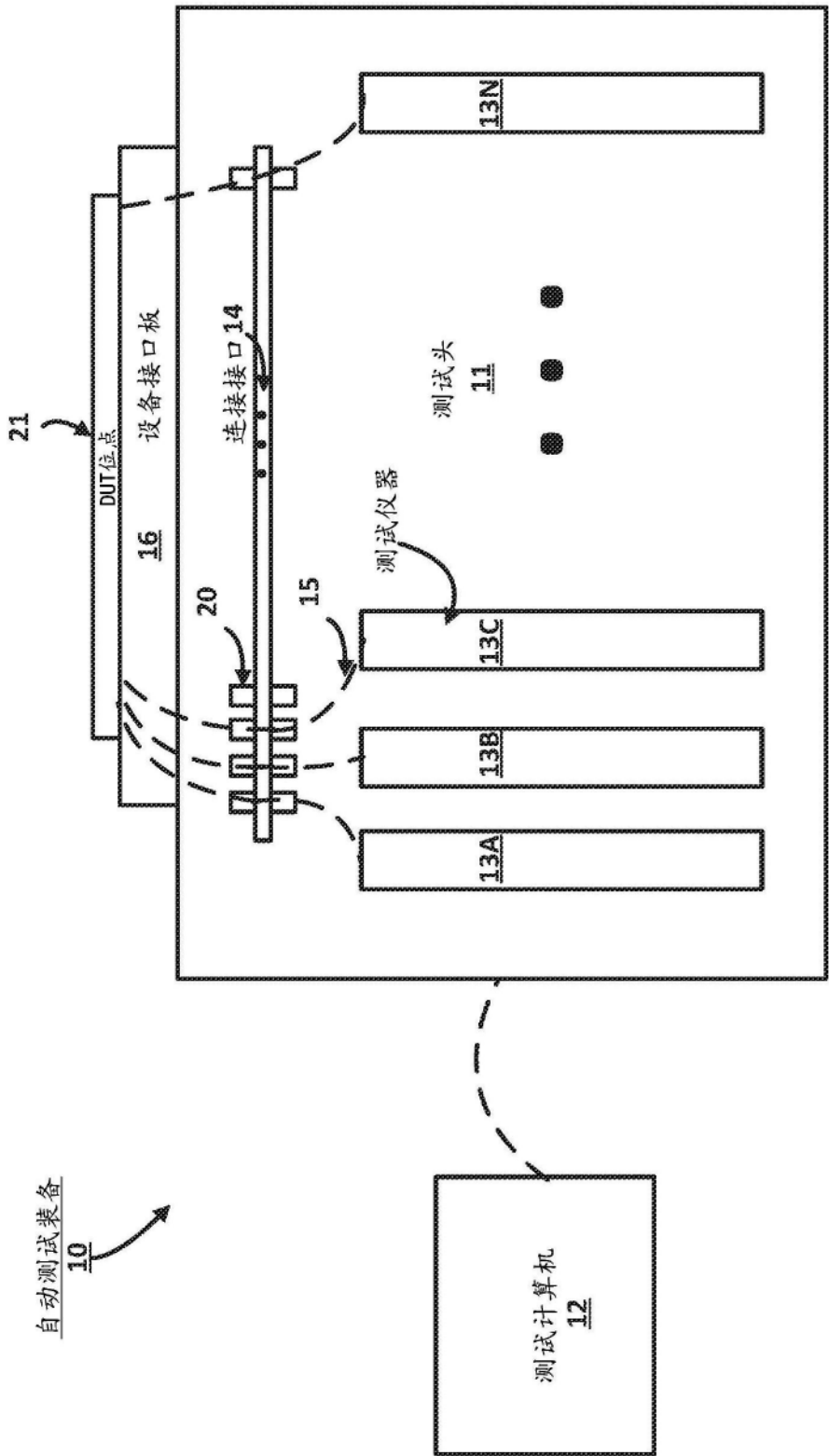


图1



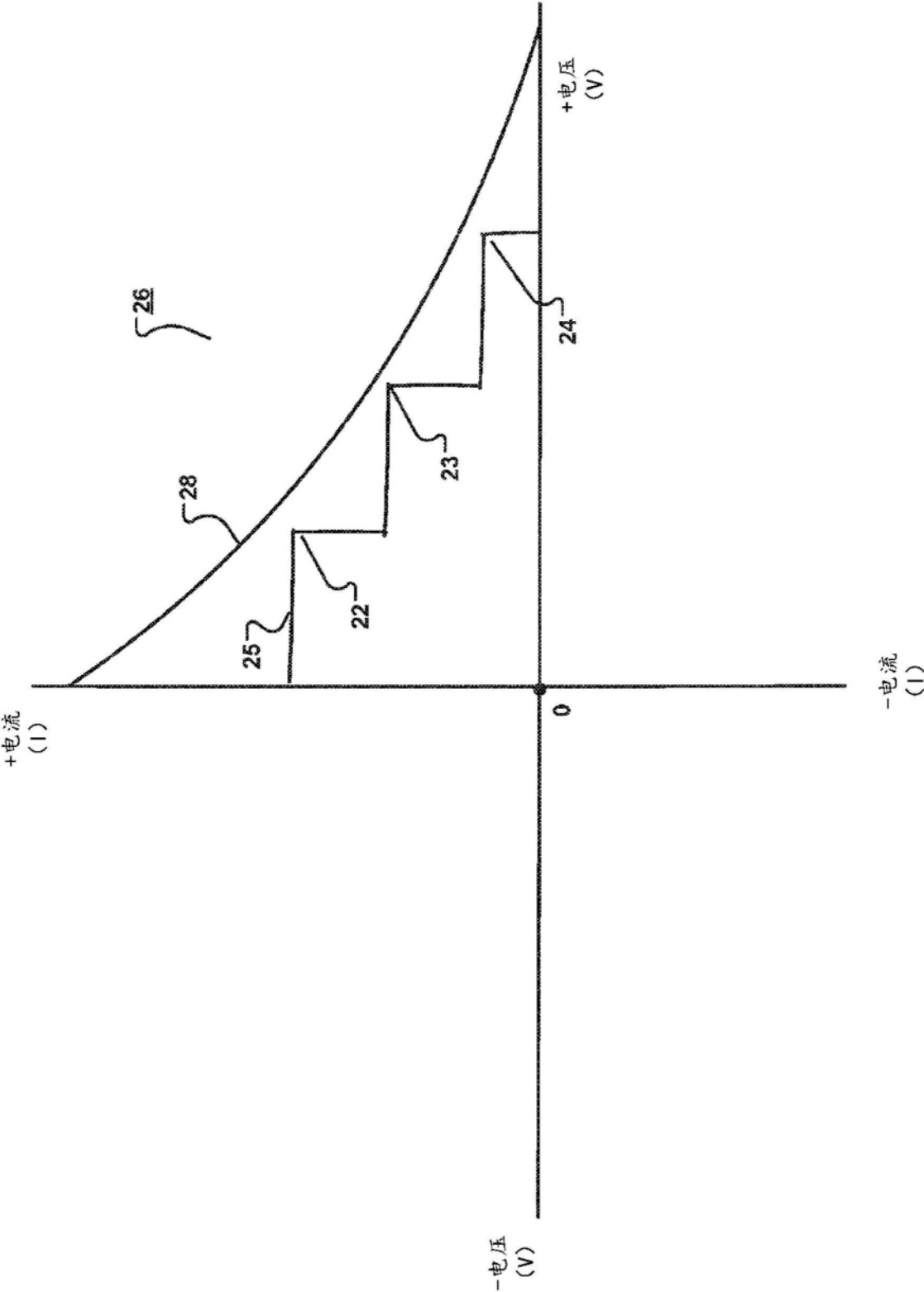


图2

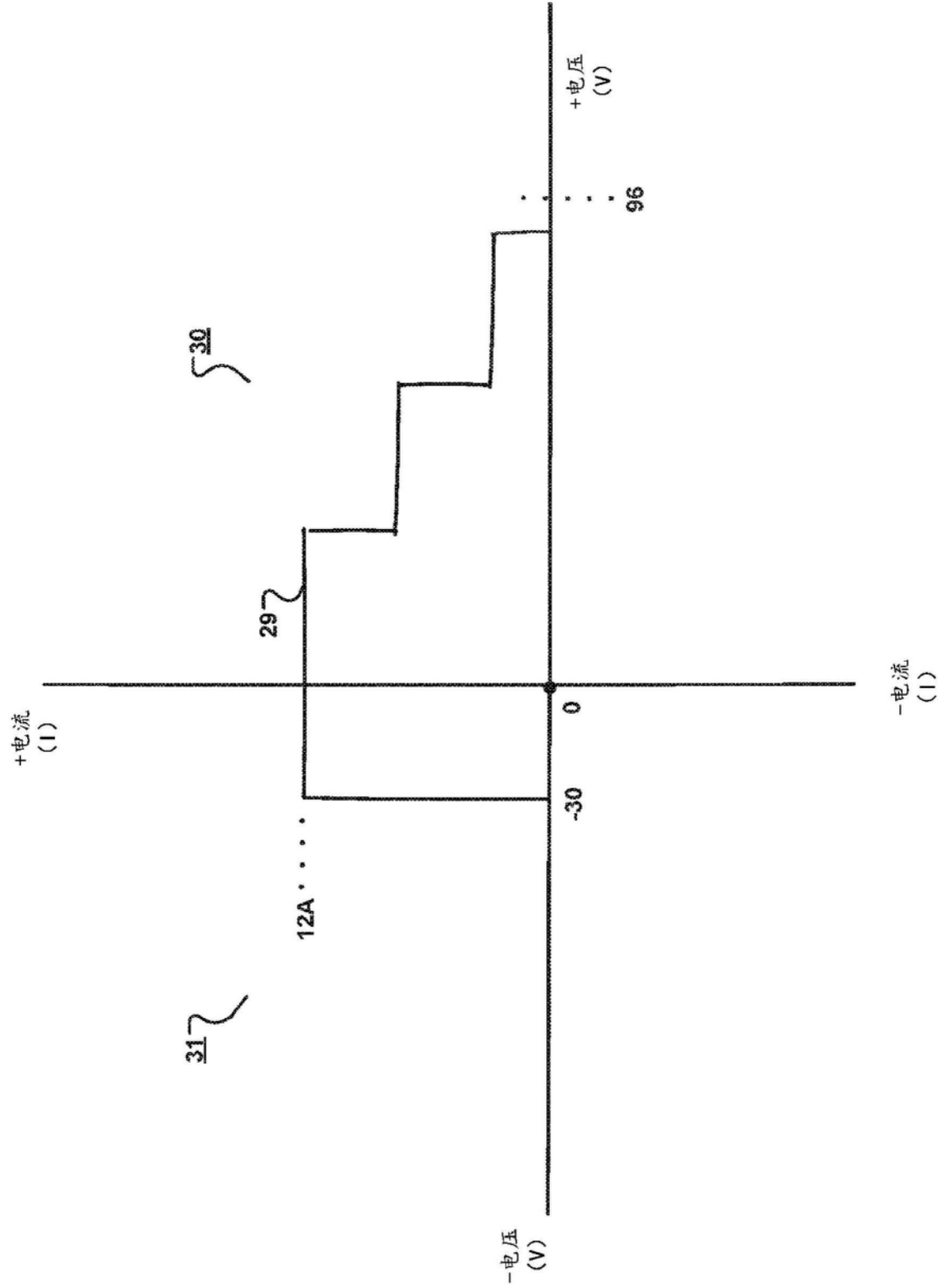


图3

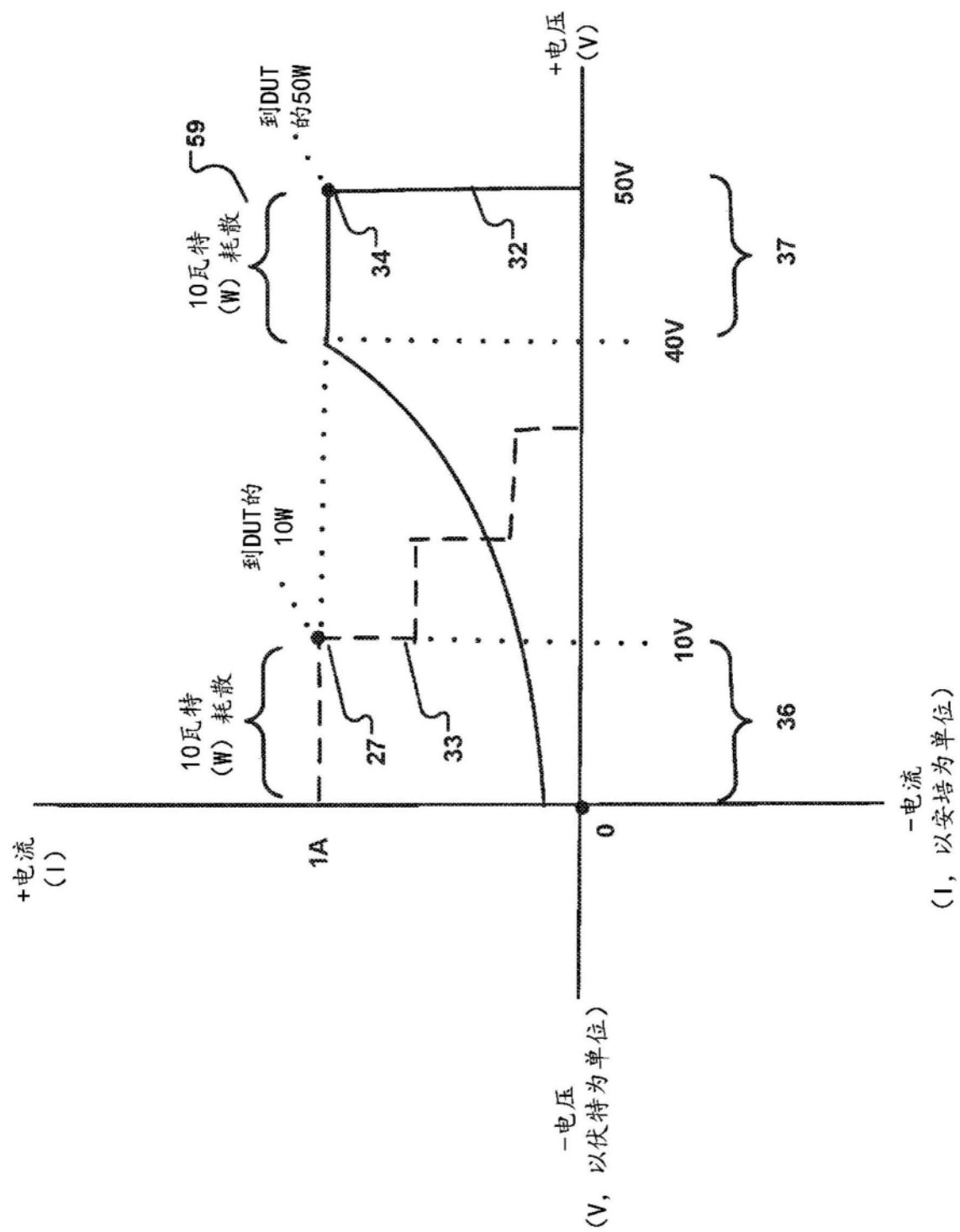


图4

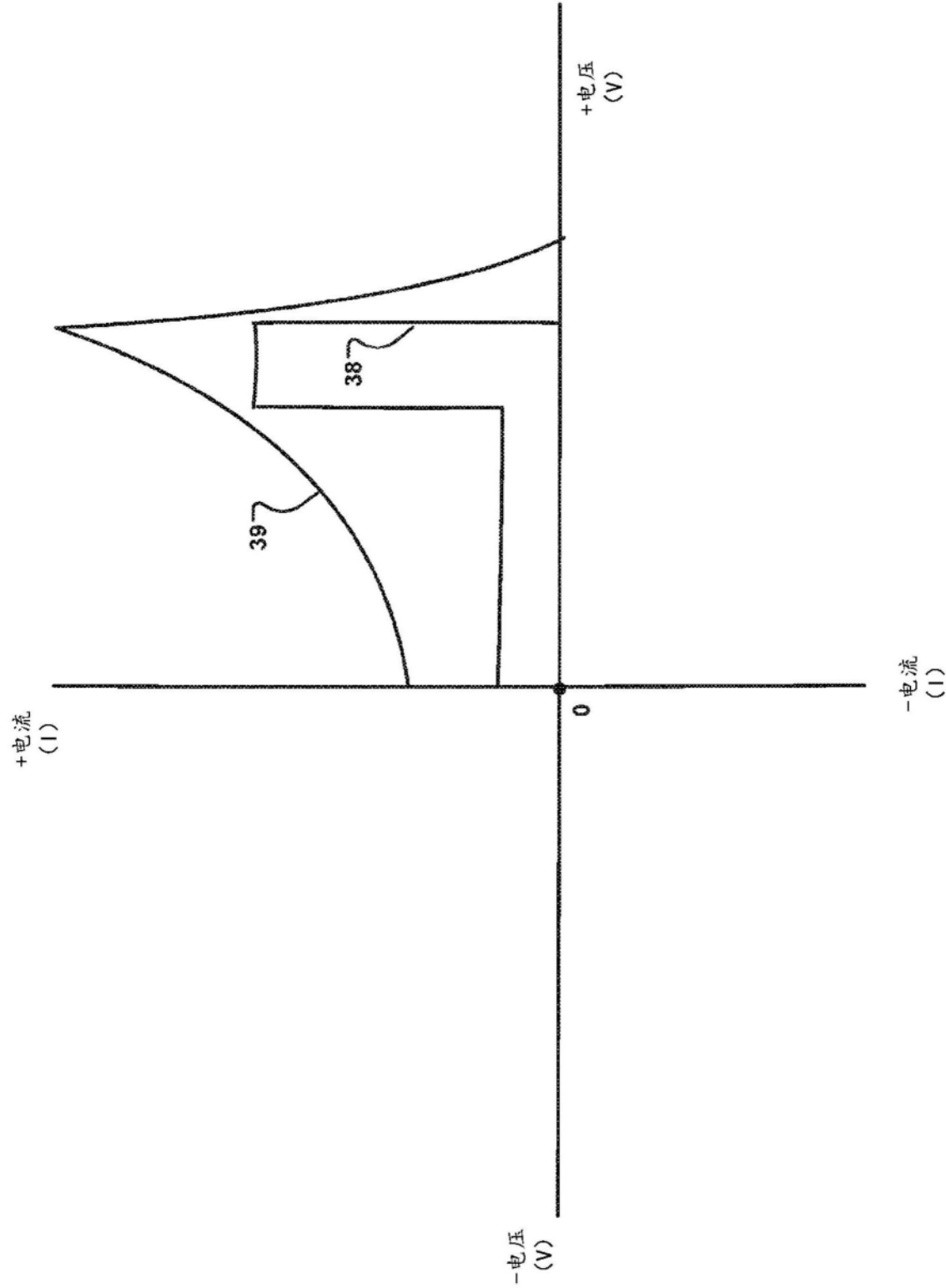


图5

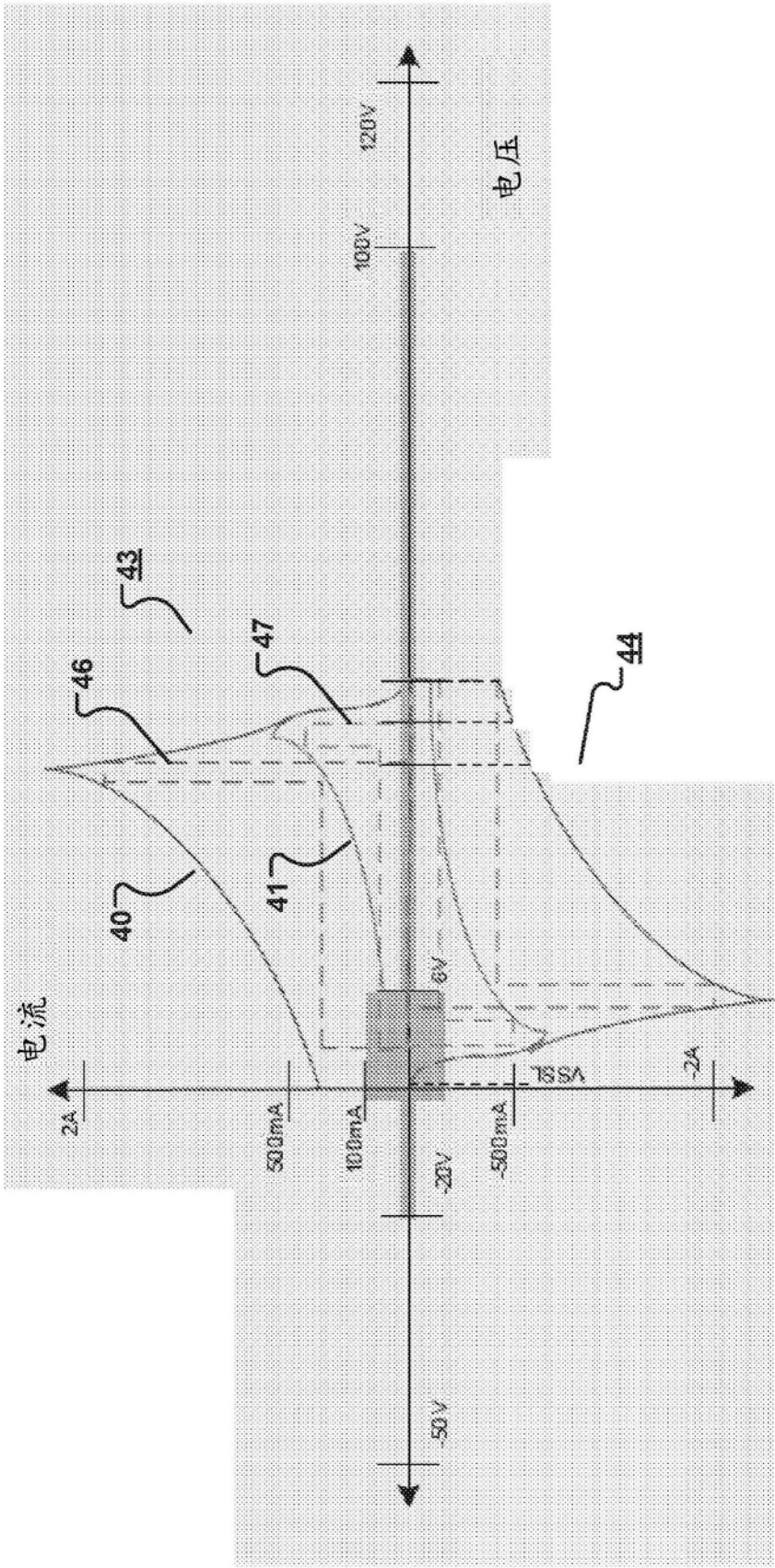


图6

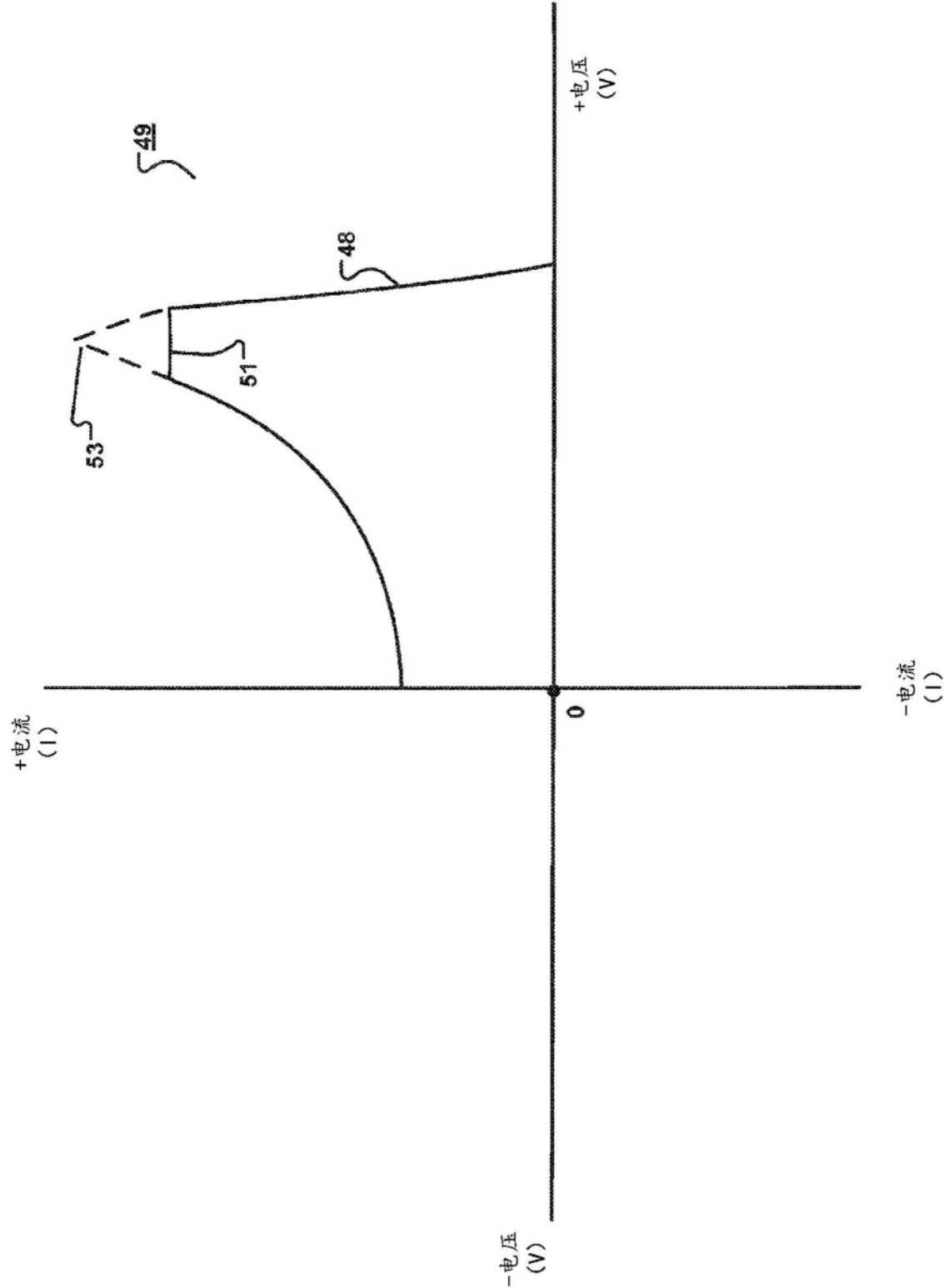


图7

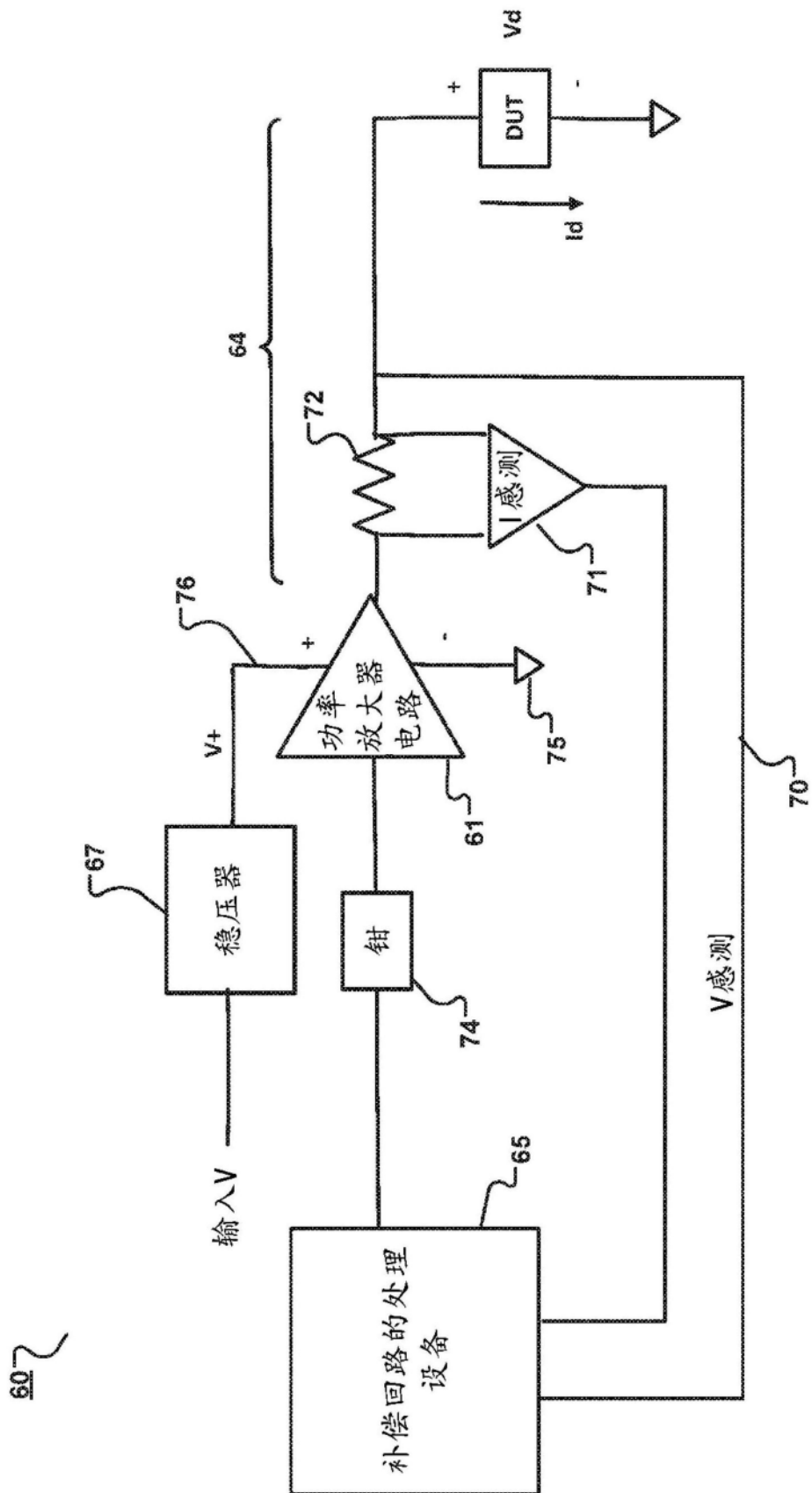


图8

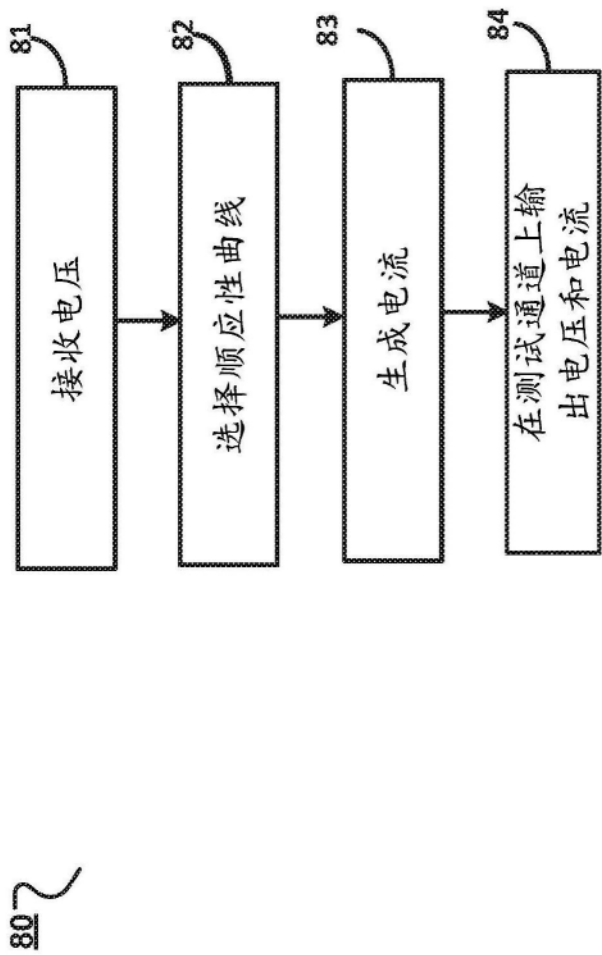


图9