



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101218722 B

(45) 授权公告日 2011. 11. 30

(21) 申请号 200680022002. 4

(22) 申请日 2006. 04. 19

(30) 优先权数据

60/672, 892 2005. 04. 19 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2007. 12. 19

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2006/014840 2006. 04. 19

(87) PCT申请的公布数据

W02006/113850 EN 2006. 10. 26

(73) 专利权人 奈特公司

地址 美国新泽西州

(72) 发明人 阿图尔·苏克韦尔 希蒙·苏克韦尔

弗雷德里克·H·塞尔蒙三世

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司

11227

代理人 李德山 杨林森

(51) Int. Cl.

F02P 9/00 (2006. 01)

H01T 13/50 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 6321733 B1, 2001. 11. 27, 说明书全文.

CN 1222956 A, 1999. 07. 14, 说明书全文.

JP 平 5-36463 A, 1993. 02. 12, 说明书全文.

US 6474321 B1, 2002. 11. 05, 说明书全文.

审查员 魏辛欣

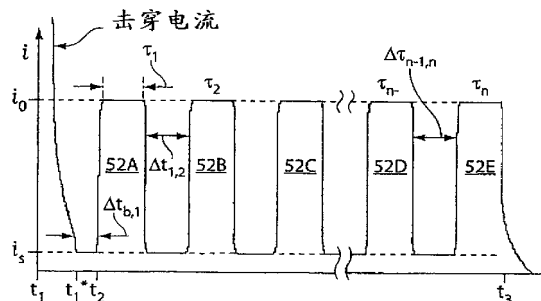
权利要求书 4 页 说明书 14 页 附图 6 页

(54) 发明名称

用于在高压下操作移动式火花点火器的方法和装置

(57) 摘要

一种操作包括高压发动机的内燃机中的点火器（优选地为移动式火花点火器）的点火电路和方法。高电压被施加到点火器的电极，其足以使击穿在电极之间发生，导致在电极之间的隔离器的表面之上，在点火器中大电流放电，以及所述表面附近的燃料空气混合物中的等离子体核的形成。在击穿之后，序列的一个或多个较低电压和较低电流的脉冲被施加到所述电极，在脉冲之间低的“预燃”电流被维持通过等离子体，防止总的等离子体复合，并且允许等离子体核随着每个脉冲朝向电极的自由端移动。



1. 一种产生等离子体的方法,包括:
 - a. 将高电压施加到点火器,所述高电压具有的幅值足以使击穿在电极之间发生,导致在点火器中激发区域中的大电流放电,和所述激发区域附近的等离子体核的形成;以及
 - b. 在击穿之后,向所述电极施加包括至少两个后续脉冲的序列,所述后续脉冲具有相对于所述高电压较低的电压,
由此通过所述后续脉冲迫使等离子体核朝向所述电极的自由端移动。
2. 一种产生等离子体的方法,包括:
 - a. 将高电压施加到点火器,所述高电压具有的幅值足以使击穿在电极之间发生,导致在点火器中激发区域中的大电流放电,和所述激发区域附近的等离子体核的形成;以及
 - b. 在击穿之后,向所述电极施加一个后续脉冲或包括多个后续脉冲的序列,所述后续脉冲具有相对于所述高电压较低的电压,所述后续脉冲的电流足够低,以维持电流电弧向电极的扩散附着,
由此等离子体核在所述后续脉冲的影响下被迫朝向所述电极的自由端移动。
3. 根据权利要求1或权利要求2所述的方法,其中,所述激发区域是在布置在所述电极之间的隔离器的表面上或其附近。
4. 根据权利要求3所述的方法,其中,对于内燃机,所述后续脉冲中的每个具有在3和450安培之间的幅值。
5. 根据权利要求1或权利要求2所述的方法,进一步包括:防止在至少一个后续脉冲之前等离子体核总复合。
6. 根据权利要求5所述的方法,其中,防止等离子体核总复合包括:在序列的脉冲之间,在点火器电极之间维持足以防止等离子体核的总复合的预燃电流。
7. 根据权利要求5所述的方法,其中,防止等离子体核总复合包括:在后续脉冲之间的间隔中,在所述间隔的至少一部分,维持跨越点火器电极的电压,所述电压低于击穿电压,但是足以维持足够的电流来防止在间隔结束之前进行总复合。
8. 根据权利要求1、2、4、6或7中任何一项所述的方法,其中,所述点火器是移动式火花点火器。
9. 根据权利要求1或权利要求2所述的方法,其中,所述序列中的连续脉冲由2-600微秒的间隔隔开。
10. 根据权利要求1或权利要求2所述的方法,其中,所述序列中的连续脉冲由20-250微秒的间隔隔开。
11. 根据权利要求9所述的方法,其中,所述后续脉冲中的每个具有3-450安培的幅值。
12. 根据权利要求11所述的方法,其中,所述幅值不是一致的。
13. 根据权利要求11所述的方法,其中,所述后续脉冲中的每一个具有20-120安培的幅值。
14. 根据权利要求13所述的方法,其中,所述幅值不是一致的。
15. 根据权利要求9所述的方法,其中,所述后续脉冲中的每个具有小于200微秒的持续时间。
16. 根据权利要求9所述的方法,其中,所述间隔不是一致的。
17. 根据权利要求10所述的方法,其中,所述间隔不是一致的。

18. 根据权利要求 1 或权利要求 2 所述的方法,其中,所述序列中的连续脉冲由 50-100 微秒的间隔隔开。

19. 根据权利要求 18 所述的方法,其中,所述间隔不是一致的。

20. 根据权利要求 1 或权利要求 2 所述的方法,其中,所述后续脉冲的每一个具有 10-5000 伏的幅值。

21. 根据权利要求 1 或权利要求 2 所述的方法,其中,所述后续脉冲中的每个具有 20-275 伏的幅值。

22. 根据权利要求 1 或权利要求 2 所述的方法,其中,所述后续脉冲并不全都具有相同极性的电压和电流。

23. 根据权利要求 1 或权利要求 2 所述的方法,其中,所述后续脉冲的电流不是恒定的。

24. 一种燃料点火方法,包括:

a. 将高电压施加到存在可燃燃料的点火器,所述高电压具有的幅值足以使击穿在点火器的电极之间发生,导致在点火器中激发区域中的大电流放电,和所述激发区域附近的等离子体核的形成;以及

b. 在击穿之后,向所述电极施加包括两个或更多个后续脉冲的序列,所述后续脉冲具有相对于所述高电压较低的电压,

由此通过所述后续脉冲迫使等离子体核朝向所述电极的自由端移动。

25. 根据权利要求 24 所述的方法,其中,所述激发区域是在布置在所述电极之间的隔离器的表面上或其附近。

26. 根据权利要求 24 所述的方法,其中,所述点火器是在内燃机中。

27. 根据权利要求 26 所述的方法,其中,对于以汽油为燃料的内燃机,所述后续脉冲中的每个具有在 3 和 450 安培之间的幅值。

28. 根据权利要求 24-27 中任何一项所述的方法,进一步包括:在后续脉冲之前防止等离子体核总复合。

29. 根据权利要求 28 所述的方法,其中,防止等离子体核总复合包括,在序列的脉冲之间,维持通过等离子体核的足以防止等离子体核总复合的预燃电流。

30. 根据权利要求 28 所述的方法,其中,防止等离子体核总复合包括:在后续脉冲的间隔中,在所述间隔的至少一部分,维持跨越点火器电极的电压,所述电压低于击穿电压,但是足以维持足够的通过等离子体的电流来防止在间隔结束之前进行总复合。

31. 根据权利要求 24-27 中任何一项所述的方法,其中,所述点火器是移动式火花点火器。

32. 根据权利要求 24 所述的方法,其中,所述序列中的连续脉冲由小于 600 微秒的间隔隔开。

33. 根据权利要求 32 所述的方法,其中,所述间隔为从 20 到 250 微秒。

34. 根据权利要求 32 所述的方法,其中,所述后续脉冲中的每个具有 3-450 安培的幅值。

35. 根据权利要求 34 所述的方法,其中,所述后续脉冲中的每一个具有 20-120 安培的幅值。

36. 根据权利要求 34 或 35 所述的方法,其中,所述幅值不是一致的。

37. 根据权利要求 34 所述的方法,其中,所述后续电流脉冲中的每个具有小于 200 微秒的持续时间。

38. 根据权利要求 24 所述的方法,其中,所述序列中的连续脉冲由 10-500 微秒的间隔隔开。

39. 根据权利要求 32 所述的方法,其中,所述间隔不是一致的。

40. 根据权利要求 24 所述的方法,其中,所述序列中的连续脉冲由 50-100 微秒的间隔隔开。

41. 根据权利要求 40 所述的方法,其中,所述间隔不是一致的。

42. 根据权利要求 24 所述的方法,其中,所述后续脉冲的每一个具有 50-5000 伏的幅值。

43. 根据权利要求 24 所述的方法,其中,所述后续脉冲中的每个具有 20-275 伏的幅值。

44. 根据权利要求 24 所述的方法,其中,所述后续脉冲并不都具有相同极性的电压和电流。

45. 根据权利要求 24 所述的方法,其中,所述后续脉冲的电流不是恒定的。

46. 根据权利要求 24 所述的方法,其中,所述点火器是在内燃机中,在点火时所述内燃机中有高于 120psi 的压力。

47. 根据权利要求 1、2 和 24 中的任何一项所述的方法,进一步包括:在后续脉冲之后,每当等离子体核的离子化水平已经降低到所期望的水平之下时,以足以使等离子体核在总复合发生之前生长的电流和相对于所述高电压较低的电压,再触发或重燃等离子体核,继之以下一个后续脉冲。

48. 根据权利要求 47 所述的方法,进一步包括:在连续的后续脉冲之间的至少一些间隔中预燃等离子体核。

49. 一种用于驱动内燃机中的点火器的点火电路,包括:

a. 用于提供能够造成击穿放电的高电压的装置,所述电压能够在点火器布置在发动机的燃料空气混和物中时,在所述点火器的电极之间的激发区域中,在所述电极之间,以大电流造成击穿放电,由此等离子体核通过所述放电形成在所述区域中;以及

b. 用于提供一个后续脉冲或包括多个后续脉冲的序列的装置,所述后续脉冲具有相对较低电压和相对较低电流,所述相对较低电压和相对较低电流的脉冲具有的电压和电流幅值以及时序足以通过所述较低电压较低电流的脉冲迫使等离子体核朝向所述电极的自由端移动。

50. 根据权利要求 49 所述的点火电路,其中,所述用于提供能够造成击穿放电的高电压的装置包括高电压低电感点火线圈,所述线圈具有初级绕组和次级绕组,所述次级绕组具有:引线,用于连接到点火器的一个电极;以及电路,用于在初级绕组中触发信号以在次级绕组中诱发高电压脉冲。

51. 根据权利要求 50 所述的点火电路,其中,所述用于提供一个后续脉冲或包括多个后续脉冲的序列的装置包括相对较低的电压源,以及针对每个所述脉冲由相对较低的电压源充电的电容器,以及脉冲变压器,所述脉冲变压器具有:次级绕组,其连接到所述引线;以及初级绕组,电容器通过所述初级绕组响应触发信号而被放电,在所述引线中诱发所述相对较低电压和相对较低电流的脉冲。

52. 根据权利要求 49-51 中的任何一项所述的点火电路,进一步包括用于在击穿放电和击穿放电之后的第一个后续脉冲之间的间隔中向点火器提供预燃电流的装置,该预燃电流足以防止等离子体核在所述间隔中总复合。

53. 根据权利要求 52 所述的点火电路,进一步包括用于在连续的后续脉冲的每个间隔中向点火器提供预燃电流的装置,该预燃电流足以防止等离子体核在所述间隔中总复合。

54. 根据权利要求 50-51 中的任何一项所述的点火电路,其中,所述高电压低电感点火线圈包括饱和芯,所述高电压低电感点火线圈的初级绕组和所述高电压低电感点火线圈的次级绕组在所述饱和芯上形成,并且当所述电击穿发生时,所述芯饱和,由此所述高电压低电感点火线圈的次级绕组此后具有减小的电感。

55. 一种用于驱动内燃机中的点火器的点火电路,包括:

a. 用于提供能够造成击穿放电的高电压的高电压脉冲发生器,其在用于连接到点火器的输出线上生成脉冲,所述脉冲当被传送到该点火器时,其最大电压能够在点火器布置在燃料空气混合物中时,在所述点火器的电极之间的激发区域中,在所述电极之间,造成击穿放电和随之而来的大电流,由此等离子体核通过所述放电形成在分开所述电极的隔离器的表面附近;以及

b. 低电压脉冲发生器,其在所述输出线上产生一个后续脉冲或包括多个后续脉冲的序列,所述后续脉冲具有相对较低电压和较低电流,所述相对较低电压和较低电流后续脉冲具有的电压和电流幅值以及时序足以通过所述较低电压较低电流脉冲迫使等离子体核朝向所述电极的自由端移动。

56. 根据权利要求 55 所述的点火电路,进一步包括预燃电流源,其在击穿放电和第一后续脉冲之间的间隔中,在所述输出线上供应预燃电流,该预燃电流足以防止等离子体核在所述间隔中总复合。

57. 根据权利要求 55 所述的点火电路,进一步包括电压源,其在后续脉冲之间,在所述后续脉冲之间的间隔的至少一部分,维持点火器电极上的电压,所述电压低于击穿电压,但是足以防止在所述间隔期间等离子体核总复合。

58. 根据权利要求 49-51 和 55-57 中的任何一项所述的点火电路,包括可在后续脉冲之后操作的装置,用于每当等离子体核的离子化水平已经降低到所期望的水平之下时,以足以使等离子体核在总复合发生之前生长的电流和相对于所述高电压较低的电压,再触发或重燃等离子体核,继之以下一个后续脉冲。

用于在高压下操作移动式火花点火器的方法和装置

[0001] 相关申请

[0002] 本申请基于 35 USC 119(e), 要求 2005 年 4 月 19 日提交的、具有相同发明名称和受让人的序列号为 60/672892 的在前美国临时专利申请的权益, 其内容通过引用结合于此。

技术领域

[0003] 本发明涉及等离子体产生、点火和内燃 (IC) 机的领域。具体地, 本发明涉及但不限于在此使用的点火方法和点火器; 并且特别涉及用于各种应用的点火方法和设备, 所述各种应用包括但不限于高压力发动机。更具体地, 一些方面涉及放电电流向移动式火花点火器的传送, 以便使它们的性能和寿命最大化, 特别是在以高压力操作的内燃机中。

背景技术

[0004] 因为各种原因, 现今对增加内燃机和类似的燃烧环境中的压力的关注增加, 随之而来的是需要能够在这些环境中工作的点火源。例如, 内燃机的汽车公司和制造厂商希望能够提供具有这种 IC 发动机的车辆, 所述 IC 发动机在比传统内燃机高得多的压力下工作。然而, 到目前为止, 还没有用于这种发动机的有效且实用的点火系统。格外关注的是点火器 (火花塞) 的寿命和点火器点火的可靠性。

[0005] 移动式火花点火器 (TSI) 是这样的一种装置, 该装置已作为有前景的用于内燃机的火花塞替代而被讨论, 但是先前并不用于高压力发动机。例如, TSI 已经在若干在先专利中示出, 所述在先专利例如包括美国专利 No. 6, 321, 733 和 No. 6, 474, 321, 这两个专利都被转让给与本专利相同的受让人, 它们对于 TSI 装置和点火系统说明的全部内容通过引用结合于此。

[0006] 简要地说, 基于 TSI 的点火系统提供大的等离子体核, 该等离子体核通过洛伦兹 (Lorentz) 力 (在较少程度上与热力一起) 沿着点火器的电极传播并推进到燃烧室中。作用于点火核 (即等离子体) 的洛伦兹力经由等离子体中的放电电流与该同一电流在点火器的电极中造成的磁场相互作用而产生。洛伦兹力的大小与该电流的平方成比例。在以正常压力 (即大约 120psi 的最大值) 工作的发动机中, 移动式火花点火器提供了优于传统火花塞的显著优点, 这归因于它们产生的大的等离子体体积, 对于可比较的放电能量, 典型地为传统火花塞中的 100 至 200 倍左右。可实现增加效率并减少排放。

[0007] 然而, 对于较高的发动机工作压力而言, 与以常规压力工作的发动机中相比, 在点火器的电极之间启动放电所需的击穿电压显著较高。这对于 TSI 产生了问题, 如对于任何火花塞那样。TSI 中的电极, 如传统火花塞中的那样, 通过被称为隔离器的部件以隔开的关系保持, 所述隔离器由绝缘材料如陶瓷形成。较高的击穿电压对于隔离器和电极两者都造成问题。

[0008] 沿着在电极之间布设的隔离器的表面, 与进一步沿着 TSI 中的或者在电极之间具有类似间隙的任何传统火花塞中的电极相比, 击穿电压较低。实际上, 击穿电压方面的这种

差异直接随着燃烧室中的压力增加而变化。因此,虽然沿着隔离器表面的击穿电压随着压力而增加,但是该增加小于远离隔离器表面的电极暴露部分之间的击穿电压的增加。当击穿发生时(其结果是,通过等离子体的电阻迅速下降),电流迅速上升,并且非常大的电流沿着隔离器表面在形成的等离子体中传导,因而产生作用于等离子体的洛伦兹力。然而,这种迅速上升的电流不仅产生很高温度的等离子体,而且在隔离器表面的附近产生强大的冲击波(shock wave)。电流越大,等离子体膨胀和引起的冲击波越快。这些综合效应会引起隔离器的变形和/或破损。

[0009] 另外,大电流对隔离器表面附近的电极产生了非常快的侵蚀,在那里它们受到大电流、热量加热和由此导致的热离子发射的侵袭。

[0010] 使用基于德克萨斯大学“railplug”设计的点火器已出现类似的问题,该设计在沿着高纵横比的放电间隙行进的等离子体中产生洛伦兹力(与具有低纵横比的放电间隙的TSI形成对照)。

[0011] 虽然railplug和TSI两者在相对低的压力下都产生显著的等离子体运动,但是当燃烧室压力增加到高压时,等离子体表现不同,并且就是这种行为的差异导致了令人不满意的结果。在低压环境中,压力施加在等离子体上的力相对小。作为对洛伦兹力的响应,等离子体沿着电极容易地移动。然而,随着点火室压力增加,该压力提供了相当量值的力,这个力对抗洛伦兹力并从而对抗等离子体运动。因此,等离子体趋向于变得更加集中,并且趋于自动坍塌;在一定的电流阈值之下,在电极之间,形成非常局部化的等离子体-电弧,而不是具有扩散的等离子体云。与低压情况下的等离子体云相比,这个电弧虽然占据了小得多的体积,但是容纳类似的能量。结果,电流密度更高,并且在电弧存在的电极处,在电弧与电极的界面处存在较高的局部温度和较多的功率密度。即,电流密度在那些界面处相当高,与低压环境中相比产生了电极的更多局部化的发热。电极的局部发热依次产生了电子和离子的热离子发射。观测结果是,电弧看起来似乎自己“附着”在电极上的相对固定的位置,随着整个放电能量蓄积在“附着点”处而产生电极的侵蚀;这与低压环境形成对照,在低压环境中,较低密度、扩散区域的等离子体接触沿着电极移动而没有显著损坏它们。

[0012] 同时,受洛伦兹力和热力影响的等离子体从电弧附着点退出。这使磁场线不再与电极之间的电流正交,减小了给定电流所产生的洛伦兹力的量值。所以,除了其它问题以外,施加到等离子体的动力(motive force)也有损失。

[0013] 总的来说,与较低压力环境相比,等离子体运动减少,并且在电弧附着点处的电极磨损显著增加。

[0014] 因此,存在各种需要,一般来说包括:对等离子体发生器的需要;对改进的点火系统的需要;对供内燃机使用的点火系统的需要;以及对点火系统和方法的需要,所述点火系统和方法产生大的点火核,可用于高压力的发动机,并且商业上实用。

[0015] 如果移动式火花点火器用于高压燃烧环境中,还需要克服上述对点火器的隔离器材料和电极的副作用。参见例如通过引用结合于此的美国专利 No. 5704321、6131542、6321733、6474321、6662793 和 6553981。即,存在对供高压燃烧发动机使用的点火器和点火系统的需要,其中隔离器和电极呈现出相当的寿命(优选地可与低压发动机中的传统火花塞相比),而没有被放电过程破坏。希望的是,这样的移动式火花点火器和点火系统将

会可用于既以高压力和极高压（即几百 psi）工作又以较低的传统压力工作的内燃机中。

发明内容

[0016] 使用新的方法和相应的设备，解决了上述以及其它需要，并且提供了优点，所述新的方法和相应的设备用于产生并维持等离子体，操作移动式火花点火器，并且为内燃机和其它发动机提供点火，特别是为高压力的内燃机提供点火。典型地，高初始击穿电压被施加到点火器，以在点火器的等离子体激发区域中激发等离子体核，但优选地是在比以前用 TSI 点火所使用的电流低的电流下，因为击穿电流不需要产生大的洛伦兹力。在击穿电流脉冲之后，可以使用各种机制以在复合发生时延长等离子体，并且允许等离子体变得易于从激发区域（典型地在点火器电极之间的隔离器的表面上或其附近）分离（或可分离）。在等离子体有机会完全复合之前，电流被再次接通以提供短的后续脉冲的能量（优选地在比击穿脉冲的电流显著小的电流下）。后续电流脉冲产生相应脉冲的洛伦兹力，以使等离子体进一步沿着点火器的电极离开其先前位置。若干这样的后续脉冲可以被提供，在连续的脉冲之间具有“断开”间隔，在所述间隔期间，一个或多个机制延长等离子体并只允许等离子体部分地复合。这被称为“预燃”。在等离子体的总复合之前，电流的下一个后续脉冲甚至进一步沿着电极“踢”所述等离子体；并且最终的后续脉冲将等离子体从电极逐出。用于产生预燃的一个机制是将通过点火器的电流减少到相对低（但是非零）的水平，其被称为“预燃电流”。可替代地，如果不施加预燃电流，则可以通过使用用于延长复合和防止等离子体核在下一个后续脉冲到达之前进行“总”复合的若干其它技术中的任一个来获得类似的效果。例如，后续脉冲可以被定时并且甚至可以被确定波形的形状，以使彼此更加紧密地跟随，使得在脉冲之间只发生部分复合；或者可以将高的亚击穿电压放在每个后续脉冲之前；或者等离子体可以由 RF 或者激光能量来激发。即，考虑多种方式来防止总的等离子体复合。与复合相关的“总”，意味着等离子体已被有效地熄灭，并且需要高的能量对其重新点火。

[0017] 本发明以几种方式或方面显现，并且下面提供例子实现。实施本发明的其它方式将会对本领域技术人员变得明显。各个方面可以单独实施，或者以许多组合中的任何一个来实施，它们中的全部不能在此适度地列举。打算的是，各种实施例的特征以除了图示的那些之外的组合来实施，为了简便起见，不是全部的特征都结合全部的实施例示出。

[0018] 本发明的方面至少包括以下：

[0019] 一种产生等离子体的方法，包括：将高电压施加到点火器，所述高电压具有的幅值足以使击穿在电极之间发生，导致在点火器中激发区域中的大电流放电，和所述激发区域附近的等离子体核的形成；以及在击穿之后，向所述电极施加序列的至少两个相对较低电压的后续脉冲，由此通过所述后续脉冲迫使等离子体核朝向所述电极的自由端移动。

[0020] 一种产生等离子体的方法，包括：将高电压施加到点火器，所述高电压具有的幅值足以使击穿在电极之间发生，导致在点火器中激发区域中的大电流放电，和所述激发区域附近的等离子体核的形成；以及在击穿之后，向所述电极施加序列的一个或多个相对较低电压的后续脉冲，其电流足够低，以维持电流电弧向电极的扩散附着，由此等离子体核在所述后续脉冲的影响下被迫并且可以朝向所述电极的自由端移动。

[0021] 激发区域可以是在布置在所述电极之间的隔离器的表面上或其附近。用于内燃机的后续脉冲的电流可以是在大约 3 和 450 安培之间。该方法可以包括防止在至少一个后续

脉冲之前等离子体总核复合。这可以以各种方式进行,包括在序列的脉冲之间,在点火器电极之间维持预燃电流,其足以防止等离子体核的总复合。其还可以包括在后续脉冲之间的间隔中,在所述间隔的至少一部分,维持跨越点火器电极的电压,所述电压低于击穿电压,但是足以维持足够的电流来防止在间隔结束之前进行总复合。点火器可以是移动式火花点火器。所述序列中的连续脉冲由大约 2-600 微秒的间隔隔开,并且优选地由大约 20-250 微秒的间隔隔开,最优选地由 50-100 微秒的间隔隔开。所述后续脉冲中的每个可以具有大约 3-450 安培的最大幅值。该幅值可以不是一致的。后续脉冲可以具有大约 20-120 安培的最大幅值,其可以不是一致的。所述后续电流脉冲中的每个优选地可以具有小于大约 200 微秒的平均持续时间,其可以不是一致的。后续脉冲可以具有大约 10-5000 伏的幅值,并且优选地具有大约 20-275 伏的幅值。后续脉冲不需要都具有相同极性的电压和电流,并且后续脉冲的电流不需要是恒定的。

[0022] 一种燃料点火方法,包括:将高电压施加到存在可燃燃料的点火器,所述高电压具有的幅值足以使击穿在点火器的电极之间发生,导致在点火器中激发区域中的大电流放电,和所述激发区域附近的等离子体核的形成;以及在击穿之后,向所述电极施加序列的两个或更多个相对较低电压的后续脉冲,由此通过所述后续脉冲迫使等离子体核朝向所述电极的自由端移动。激发区域可以是在布置在所述电极之间的隔离器的表面上或其附近。点火器可以是在内燃机中。对于以汽油为燃料的内燃机,后续脉冲的电流可以在大约 3 和 450 安培之间。优选地,所述方法包括在后续脉冲之前防止等离子体总核复合。

[0023] 防止总复合可以包括,在序列的脉冲之间,包括维持通过等离子体核的电流(被称为预燃电流),其足以防止等离子体核总复合。防止等离子体核总复合还可以包括,在后续脉冲的间隔中,在所述间隔的至少一部分,维持跨越点火器电极的电压,所述电压低于击穿电压,但是足以维持足够的通过等离子体的电流来防止在间隔结束之前进行总复合。

[0024] 后续脉冲不需要都具有相同极性的电压和电流,其不需要是恒定的。

[0025] 点火器可以是在内燃机中,在点火时内燃机中有相对高的压力。

[0026] 所述方法可以进一步包括,在后续脉冲之后,每当等离子体核的离子化水平已经降低到所期望的水平之下时,以足以使等离子体核在总复合发生之前生长的电流和相对低的电压,再触发或重燃等离子体核,继之以下一个后续脉冲。

[0027] 所述方法还可以包括在至少一些后续脉冲对之间预燃等离子体核。

[0028] 一种用于驱动内燃机中的点火器的点火电路,包括:用于提供高电压的装置,所述电压能够在点火器布置在发动机的燃料空气混和物中时,在所述点火器的电极之间的激发区域中,在所述电极之间,以大电流造成击穿放电,由此等离子体核通过所述放电形成在所述区域中;以及用于提供序列的一个或多个相对较低电压和相对较低电流的脉冲的装置,所述相对较低电压和相对较低电流的脉冲具有的电压和电流幅值以及时序足以通过所述较低电压较低电流的脉冲迫使等离子体核朝向所述电极的自由端移动。所述用于提供能够造成击穿放电的高电压的装置可以包括高电压低电感点火线圈,所述线圈具有初级绕组和次级绕组,所述次级绕组具有:引线,用于连接到点火器的一个电极;以及电路,用于在初级绕组中触发信号以在次级绕组中诱发高电压脉冲。所述用于提供序列的相对低电压脉冲的装置可以包括相对低的电压源,以及针对每个所述脉冲由相对低的电压源充电的电容器,以及脉冲变压器,所述脉冲变压器具有:次级绕组,其连接到所述引线;以及初级绕组,

电容器通过所述初级绕组响应触发信号而被放电,在所述引线中诱发所述脉冲。所述点火电路可以进一步包括用于在击穿放电和第一后续脉冲之间的间隔中向点火器提供预燃电流的装置,该预燃电流足以防止等离子体核在所述间隔中总复合。它还可以包括用于在后续脉冲的每个连续对之间的间隔中向点火器提供预燃电流的装置,该预燃电流足以防止等离子体核在所述间隔中总复合。点火线圈优选地包括饱和芯,初级绕组和次级绕组在所述饱和芯上形成,并且当所述击穿发生时,所述芯基本饱和,由此次级绕组此后具有显著减小的电感。

[0029] 一种用于驱动内燃机中的点火器的点火电路,包括:高电压脉冲发生器,其在用于连接到点火器的输出端上生成脉冲,所述脉冲当被传送到该点火器时,其最大电压能够在点火器布置在燃料空气混合物中时,在所述点火器的电极之间的激发区域中,在所述电极之间,造成击穿放电和随之而来的大电流,由此等离子体核通过所述放电形成在所述表面附近;以及低电压脉冲发生器,其在输出端上产生序列的一个或多个较低电压和较低电流后续脉冲,所述较低电压和较低电流后续脉冲具有的电压和电流幅值以及时序足以通过所述较低电压较低电流脉冲迫使等离子体核朝向所述电极的自由端移动。该点火电路可以进一步包括预燃电流源,其在击穿放电和第一后续脉冲之间的间隔中,在输出线上供应预燃电流,其足以防止等离子体核在所述间隔中总复合。同样地,还可以有电压源,其在后续脉冲之间,在所述后续脉冲之间的间隔的至少一部分,维持点火器电极上的电压,所述电压低于击穿电压,但是足以防止在所述间隔期间等离子体核总复合。

[0030] 点火电路基本上如附图中示出和描述的那样,尤其是图 8-10 中的任何一个。

[0031] 点火电路还可以包括可在后续脉冲之后操作的装置,用于每当等离子体核的离子化水平已经降低到所期望的水平之下时,以足以使等离子体核在总复合发生之前生长的电流和相对低的电压,再触发或重燃等离子体核,继之以下一个后续脉冲。

附图说明

[0032] 附图并非有意按比例绘制。在附图中,不同的图中图示的每个相同或几乎相同的部件用相同的附图标记表示。为了清楚起见,不是每个部件都在每个附图中标注。在附图中:

[0033] 图 1 是现有技术的移动式火花点火器的横截面示意图,图示了它的工作原理;

[0034] 图 2 是用于图 1 的 TSI 的典型的现有技术点火电路的部分示意部分框图;

[0035] 图 3 是如图 1 所示的点火器的电极之间电压的概括表示,使用了图 2 所示类型的点火电路;

[0036] 图 4 示意性图示了在工作于高压环境中的 TSI 中,通过 TSI 中的电流脉冲产生等离子体云,以及随后的等离子体的坍塌;

[0037] 图 5 是根据本发明的教导的向 TSI 施加的驱动电流的例子的波形;

[0038] 图 6 和 7 示意性图示了 TSI 中图 4 的等离子体云的运动,所述 TSI 是根据图 5 的波形中所示范的原理工作的;

[0039] 图 8 是用于点火驱动电路的例子的简化示意电路图,所述点火驱动电路可用于产生用于如在此教导的那样的 TSI 的电流驱动波形,例如包括图 5 的波形或驱动信号;

[0040] 图 9 是用于向如在此教导的那样的 TSI 产生点火驱动的点火电路的另一实施例的

简化的部分框图部分示意电路图；

[0041] 图 10 是用于向如在此教导的那样的 TSI 产生点火驱动的点火电路的又一实施例的简化的部分框图部分示意电路图；以及

[0042] 图 11 是用于向如在此教导的那样的 TSI 产生点火驱动的点火电路的又一实施例的简化的部分框图部分示意电路图。

具体实施方式

[0043] 在此说明的是：更详细地说明本发明的众多方面；比上面更详细地说明本发明所解决的问题；以及用于实施本发明方面的点火电路例子的个别实施例。

[0044] 根据第一方面，将示出操作内燃机中的点火器的方法，其包括：将高电压施加到点火器的电极，所述高电压具有的幅值足以使放电击穿在电极之间、在电极之间的激发区域中（例如在隔离器的表面之上）发生，导致点火器中的大电流放电，以及邻近所述表面的空气或燃料空气混合物中的等离子体核的形成；以及在击穿之后，向所述电极施加（优选地为预燃电流）和序列的一个或多个较低电压和较低电流脉冲，由此通过所述较低电压较低电流脉冲迫使等离子体核朝向所述电极的自由端移动。

[0045] 在击穿和序列的第一脉冲之间，以及在序列的脉冲之间，电流希望地维持通过等离子体核，足以防止等离子体的总复合。可替选地，如果击穿和序列的第一脉冲之间的间隔以及序列的另外后续脉冲之间的间隔足够短，使得在这样的脉冲开始之前不发生总复合，则这样的电流就不需要维持。（如果总复合发生，则需要高击穿电压以重新开始等离子体形成过程。）如果在后续脉冲的开始之前总复合被避免（无论如何），则后续脉冲可以是相对低的电流脉冲（与若干以前的方法相比，但仍然可观），并且其将仍然提供适当的洛伦兹力以推进等离子体，并且其本身将产生可以沿着电极移动的电流电弧。作为另一可替选方案，可以通过在后续脉冲开始之前在电极上施加相对高（但是小于击穿）的电压来使复合减慢。全部三种机制都便于建立移动的等离子体核，而不需要重新产生高能量击穿条件，减少了电流路径在固定的位置处“再附着”到电极的趋势。后续脉冲的数目根据设计要求和/或操作条件而变化。

[0046] 点火器优选地为移动式火花点火器。

[0047] 希望的是，序列的第一脉冲以从大约 2 到大约 100 微秒、优选地为从大约 10 到大约 20 微秒的间隔跟随在击穿放电之后，但是这将取决于所使用的具体种类的燃料混合物中的等离子体的复合时间。希望的是，所述后续脉冲中的每个具有大约 5-200 安培的最大幅值。但是幅值不需要是一致的。优选地，所述较低电压较低电流脉冲具有大约 25-105 安培的最大幅值，并且更加优选地为大约 40-80 安培。该脉冲可以具有从大约 2 至大约 200 微秒的持续时间。所述序列中的连续脉冲优选地由大约 10-500 微秒、并且甚至更加优选地由 40-120 微秒的间隔隔开，但是所述间隔可以不是一致的。在电压方面，所述脉冲中的每个典型地可以具有大约 50-5000 伏的幅值，并且更加优选地为大约 300-500 伏。所有脉冲不需要具有相同极性的电压或电流；并且脉冲的电压或电流不需要是恒定的。前述数字都仅仅是代表性的，而不打算反映对本发明的任何内在限制。在合适的实施例中可以使用其它范围。然而，作为辨别与其它点火系统和方法的不同之处的辅助，这些数字可能是有用的。

[0048] 本发明打算用于高压发动机中，但是不限于此。

[0049] 根据相关方面,点火电路被提供用于驱动内燃机中的点火器,该电路包括:这样的装置,所述装置用于当点火器布置在燃料空气混和物中时,在所述点火器的电极之间,并且在激发区域中(例如在分开电极的隔离器的表面上或上方),以相对大的电流(但优选地低于已使用的在先 TSI 点火),提供能够造成击穿放电的高电压,由此等离子体核通过所述放电形成在所述表面附近;以及这样的装置,所述装置用于提供序列的一个或多个相对较低电压和较低电流的后续脉冲,所述脉冲具有足以产生洛伦兹力脉冲的电压和电流幅值以及时序,所述洛伦兹力脉冲通过所述后续脉冲使等离子体核朝向所述电极的自由端移动。所述用于提供能够造成击穿的高电压的装置可以包括高电压低电感点火线圈,其具有初级绕组和次级绕组,所述次级绕组具有:引线,用于连接到点火器的一个电极;以及电路,用于触发初级绕组中的信号以诱发次级绕组中的高电压脉冲。

[0050] 所述用于提供序列的相对较低电压(即亚击穿电压)脉冲的装置可以包括低电压源,以及针对每个所述脉冲由低电压源充电的电容器,以及脉冲变压器,所述脉冲变压器具有:第一绕组,其连接到所述引线;以及第二绕组,电容器通过所述第二绕组响应触发信号而被放电,在所述引线中诱发所述脉冲。所述点火电路可以进一步包括这样的装置,所述装置用于在击穿放电和第一较低电压脉冲之间的间隔中,向点火器提供预燃电流,该预燃电流足以防止等离子体核在所述间隔中总复合。它还可以包括这样的装置,所述装置用于在连续的后续脉冲之间的间隔中,向点火器提供预燃电流,该预燃电流足以防止等离子体核在所述间隔中总复合。可替代地,所述用于提供序列的相对低电压脉冲的装置包括这样的装置,所述装置用于提供由足够短的间隔在时间上隔开的脉冲,所述间隔短得足以在所述间隔中不发生等离子体核的总复合。作为另一可替代方案,所述用于提供序列的相对低电压脉冲的装置包括这样的装置,所述装置用于将高的亚击穿电压放在每个这样的后续脉冲之前。

[0051] 根据另外一方面,点火电路被示出用于驱动内燃机中的点火器,该电路包括:高电压脉冲发生器,其当点火器布置在燃料空气混合物中时,在所述点火器的电极之间的激发区域中(例如,分开电极的隔离器的表面附近),以大电流在用于连接到所述点火器的输出端上生成脉冲,所述脉冲当被传送到该点火器时,其最大电压能够造成击穿放电,由此等离子体核通过所述放电形成在所述表面附近;以及低电压脉冲发生器,其在输出端上产生序列的一个或多个较低电压和较低电流脉冲,所述较低电压和较低电流脉冲具有的电压和电流幅值以及时序足以通过所述较低电压较低电流脉冲迫使等离子体核朝向所述电极的自由端移动。该点火电路可以进一步包括预燃电流源,其在击穿放电和第一较低电压脉冲之间的间隔中,在输出端上供应预燃电流,其足以防止等离子体核在所述间隔中总复合。可替代地,该电路可以包括后续脉冲发生器,其在输出端上供应后续脉冲,所述后续脉冲彼此跟随如此紧密(即由足够短的间隔分开),使得在这样的脉冲之间的间隔中不发生等离子体的总复合。作为另一替代方案,该电路可以包括:脉冲源,其提供序列的相对低电压脉冲;以及高电压源,其在每个这样的后续脉冲之前,提供亚击穿高电压,其足以延迟总复合,使得当相对低电压脉冲开始时不会发生总复合。

[0052] 因而,本发明没有在它的应用中被限制到后面描述中所阐述的或者附图中所图示的构造细节和部件布置。本发明能够有其它实施例,并且能够以各种方式实施或执行。任何实施例都仅作为例子而被展示。而且,在此所使用的措辞和术语是为了说明的目的,而不

应该认为是限制。“包括”、“包含”或“具有”以及它们的变形的使用,意味着包括其后列出的项目及其等效物以及附加的项目。

[0053] 现在打算更好地理解当试图操作高压发动机中的点火器时所遇到的问题,这是有用的。移动式火花点火器(TSI)是具有小等离子体枪性质的点火装置。典型的TSI示出于图1中,其取自于美国专利No. 6, 321, 733。隔离器(例如陶瓷)材料14保持电极分开。沿着隔离器的表面产生等离子体16,这归因于那里发生的高电压击穿过程。随着放电电流穿过等离子体,等离子体的温度和体积增加,导致等离子体的电阻率和电阻进一步减小。这增加了等离子体中的电流,该电流主要由产生供应给点火器的电流的放电电路的阻抗来限制。

[0054] 用于操作TSI的典型的点火电路示出在图2中,其也是取自于美国专利No. 6, 321, 733。该点火电路由两个主要部分组成:(1)传统的点火系统42;以及(2)后续电流发生器,其包括电容器如46和48、低电压电源44和二极管50。传统的点火系统42提供高电压,所述高电压用于沿着电极18和20之间的隔离器表面56在火花间隙中(以大电流)产生击穿,以在该表面附近的气态燃烧混合物中形成初始等离子体。在击穿放电之后,后续电流发生器在火花间隙中提供通过初始等离子体的电流,形成了大得多的等离子体体积。电阻器54可以(但不需要)用于限制来自电容器48的最大电流。典型的电压放电轮廓图(不是按比例绘制)示出在图3中,其取自于美国专利No. 6, 474, 321。

[0055] 在时间 $t = t_0$ 处,传统的点火系统42开始在放电间隙中放电。结果,其中的高电压(HV)点火变压器中的次级线圈中的电压升高,直到在 $t = t_1$ 处,该电压在火花间隙中达到击穿电压。在 $t = t_1$ 处发生击穿之后,跨越放电间隙的电压在 $t = t_2$ 处迅速下降到大约500伏或更少的值,其对应于低的等离子体电阻率。该电压基本上是恒定的,直到时间 $t = t_3$ 为止,这时候几乎所有的来自电容器46和48的能量都被转移,这之后电压和电流在 $t = t_4$ 处迅速减少到接近零值。为了简化,我们将假设从 t_3 到 t_4 的间隔短得可以忽略。间隔 $\Delta t = t_3 - t_2$ 与存储在电容器46和48中的能量和在击穿发生后通过放电间隙的后续电流的电压相关。下面的能量平衡方程将变量联系起来:

$$[0056] \quad \frac{1}{2}C(V_{t_2}^2 - V_{t_4}^2) = \int_{t_2}^{t_4} V(t)i(t)dt$$

[0057] 其中 $V(t)$ 是限定放电间隙的电极之间的作为时间函数的电压,该电压在时间 t_2 处具有初始值 V_{t_2} ,并且在 $t > t_4$ 处具有终值 $V_{t_4} \approx 0$, $i(t)$ 是作为时间函数的火花间隙中的电流,而 C 则是放电电容之和(在这里是电容器46和48的电容之和)。在时间间隔 $\Delta t = t_3 - t_2$ 中,作为第一近似,可以假设 $V(t) \approx V_0$,并且大致是恒定的,因此, $V_{t_2}^2 - V_{t_4}^2 \approx V_0^2$ 。如果进一步假设等离子体电阻率是恒定的,则可以作出假设 $i(t) \approx i_0$ 。可以使用这些简化假设来获得 Δt (因为 $t_4 - t_3 \ll \Delta t$,所以 $\Delta t \approx t_4 - t_2$)和由 C 、 V_0 和 i_0 所描述的电路参数之间的基本关系:

$$[0058] \quad \Delta t = CV_0/2i_0$$

[0059] 这个简单的关系提供了对于电容器上的给定工作(相对低的)电压 V_0 ,作为放电期间的电容和平均电流 i_0 的函数的脉冲持续时间的信息。对于给定的提供给点火器的能量(因而给定 V_0 和 C),这个关系表明为了增加电流 i_0 ,脉冲持续时间 Δt 不得不减小。然而,增加电流 i_0 还增加了洛伦兹力 F_L 。增加的洛伦兹力使等离子体更快的离开隔离器表面

而向电极的末端移动,进入到发动机的燃烧室中。然而,燃烧室中的压力在点火器中提供补偿压力 F_p 。力 F_p 反抗洛伦兹力,防止等离子体的速度增加超出某个限制值,与电极的长度 l 无关(亦即, l 是隔离器的表面和电极的面朝燃烧室中的自由端之间的距离)。

[0060] 可用于移动等离子体的净力是洛伦兹力 F_L 和压力 F_p 之间的差(假设可以忽略等离子体上的热力,因为它仅在等离子体传播的较早阶段显著,随着等离子体离开隔离器表面而迅速减少)。开发力的模型以便理解如何克服压力是有用的。洛伦兹力 F_L 可以被表示为:等离子体上的磁压力 p_B ,其由众所周知的关系 $p_B = B^2/8\pi$ 给定,乘以有效等离子体表面积 S_{pl} :

$$[0061] \quad F_L = \frac{B^2}{8\pi} S_{pl}$$

[0062] 气体压力 F_p 能够以 $F_p = pS_{pl}$ 的形式来表示,其中 p 是来自燃烧混合物(在它移动期间面向等离子体)的有效气体压力。因而,能够为控制等离子体移动的净力写出方程,其能够被表示为:

$$[0063] \quad (F_L - F_p) = m_{pl} \cdot dv_{pl}/dt,$$

[0064] 其中 v_{pl} 是等离子体速率而 m_{pl} 则是等离子体质量。依次地,等离子体质量能够被表示为等离子体质量密度 ρ_{pl} 和等离子体体积 $V_{pl} = S_{pl} \Delta l_{pl}$, 的乘积,其中 Δl_{pl} 是表示等离子体瞬时占据电极长度的部分的分度。

[0065] 通过一些粗略的假设可以简化净力方程,并且可以从中导出有用的关系。可以假设在等离子体形成之后,随着等离子体沿着电极传播,等离子体体积是恒定的;因而, S_{pl} 、 Δl_{pl} 和 ρ_{pl} 是恒定的,力 F_L 和 F_p 也是恒定的。于是通过求积分可得:

$$[0066] \quad (F_L - F_p) \Delta t \approx \rho_{pl} \Delta l_{pl} S_{pl} v_{pl} \quad \text{其中假设初始等离子体速率 } v_{t2} \text{ 远小于其最终速率 } v_{pl}。$$

[0067] 用 B^2 代替 F_L , 其中 $B = \sqrt{8\pi\alpha i}$, 并且 α 是恒定系数,并且 F_p 如上所述,我们得到:

$$[0068] \quad (\alpha i_0^2 - p) \Delta t = \rho_{pl} \Delta \ell_{pl} v_{pl}$$

[0069] 因为 $\Delta t v_{pl} \approx 1$, 所以我们可以写出:

$$[0070] \quad \Delta t = \frac{1}{i_0} \left(\frac{2\ell \rho_{pl} \Delta \ell_{pl} / \alpha}{1 - p / \alpha i_0^2} \right)^{1/2}$$

[0071] 从这个方程中可以看到,对于相对小的压力(即, $p \ll \alpha i_0^2$), $\Delta t i_0 \approx$ 常数;并且在参数的这个范围中,增加 i_0 导致 Δt 减小。于是从上述关系中可以看到,等离子体可以随着增加 i_0 来更快速地移动,而不用真正增加放电能量(当然,这仅对于 $\rho_{pl} \Delta l_{pl} \approx$ 常数为真;随着 i_0 增加, $\rho_{pl} \Delta l_{pl}$ 也可能增加,所以可能需要一些额外的能量)。

[0072] 然而,当 $p \ll \alpha i_0^2$ 不为真(即,假设不成立)时,那么增加压力 P 会导致 $p / \alpha i^2 \geq 1$ 并且等离子体会完全停止移动。在这种情况下,必须将 $i > i_0$ 增加到使 $p / \alpha i^2 < 1$ 的点。然而,由于 Δt 和 i 增加,这需要显著增加能量。

[0073] 等离子体中的复合过程引起了进一步的障碍。热等离子体与相对冷的燃烧混合物相接触的前面部分迅速冷却。高压下的等离子体复合速率是等离子体温度 T 的函数,其

随着 $1/T^{3/2}$ 而变化。因而,在低温下,在等离子体与冷的气态混合物相互作用的传播前部,等离子体复合发生得非常快。在高压下,这样的复合速率能够与等离子体传播速率一样快,这意味着洛伦兹力引发的移动将会被复合的速度完全抵消,有效地使等离子体静止不动。在这种情形下,沿着电极的净等离子体速率基本上为零,并且等离子体在整个放电期间似乎保持在隔离器的表面附近。当然,等离子体还以慢得多的速率在隔离器的表面附近复合,因为那里的气体比等离子体前沿处的热得多。因而,隔离器表面附近的等离子体电阻率比等离子体的前沿处低,并且大多数的放电电流将会集中在那个区域中,防止隔离器附近的进一步的等离子体复合。

[0074] 如上所示,增加操作燃烧室压力降低了等离子体上的净动力,所以其移动得更慢,并且等离子体移动到燃烧室所花费的时间从而增加。因此,对于足够大的压力,等离子体可能永远不会到达点火器的末端。

[0075] 为了防止等离子体放慢太多,必须提高放电电流,以便增加馈送到等离子体中的能量。然而,增加的能量输入集中在隔离器附近。这是很成问题的。会有热应力施加到隔离器上,并且产生能够损坏隔离器的冲击波。在隔离器附近的电极的部分上还存在大的热效应。假设点火电路供应足够的能量以产生有效地移动等离子体的净力,那么燃烧室中的压力越高,对隔离器和电极的副作用就越严重。这些条件降低了高压环境中的隔离器和电极的寿命,除非做点什么来防止这些负面影响。

[0076] 至少部分地通过减小等离子体前部(面向燃烧室)和等离子体后部(面向隔离器)的复合速率之间的差,随着增加气体(即燃烧混合物)压力而降低移动式火花点火器寿命的问题显著下降,或者甚至被消除。通过使等离子体复合更加对称,使等离子体上的显著净力指向燃烧室中。

[0077] 图 4 示意性地示出了该问题。相对短的第一电流脉冲形成了等离子体 42 的体积,如虚线所示。在洛伦兹力的影响下,在第一脉冲期间,等离子体的中心向右边移动,离开隔离器 14。因为该脉冲具有相对短的持续时间,所以隔离器表面或该表面附近的气体都不被显著地加热。因此,在第一电流脉冲结束之后,等离子体在其后(左)侧处和其前(右)侧处相当对称地复合,留下相对窄的等离子体核 44。如上所述,窄的等离子体核仍然可以支持电弧。

[0078] 本发明通过使用不同的方法来给予点火器能量以改进等离子体复合的对称性。在时间 t_2 和 t_3 之间,在击穿脉冲之后施加几个短电流放电脉冲(后续脉冲)。后续脉冲具有中等高的峰值电流幅值,但是显著小于击穿脉冲。在击穿脉冲和第一后续脉冲之间以及在后续脉冲之间,(预燃)电流优选地保持在低的非零值,以防止总复合。

[0079] 在图 5 中,其中波形被示出用于点火器电流的一个例子,所述点火器电流可以用于激发如上所述的 TSI,击穿发生在时间 t_1 处(峰值电压,继之以最大电流),并在时间 t_1^* 处完成。在时间 t_2 处开始,在点火器的电极之间提供一系列(一个或多个)较低幅值的电流脉冲 52A-52E(即,在这个例子中为五个脉冲,然而脉冲的数目是可改变的)。放电间隔在时间 t_3 处结束,此时等离子体到达电极的末端。等离子体在时间 t_1 处开始于隔离器。各个脉冲 52 的持续时间 $\tau_1, \tau_2 \dots \tau_n$ 和它们的峰值电流幅值 i_0 应该根据点火器的设计和气体压力 p 来选择。在移动式火花点火器中,优选地根据电极的长度和它们之间的间隙来选择脉冲持续时间和幅值。实验法是令人满意的方式,并且对于给定的点火器设计及其操作的

最大压力,目前优选地为设置那些参数值的最好方式。

[0080] 脉冲之间的时间还取决于点火器设计和压力。当在 t_1^* 处达到接近于零的水平时的击穿电流和第一后续脉冲 52A 之间的时间,其被指示为 $\Delta t_{b,1}$,取决于击穿电压以及电极之间的隔离器的特性。预燃电流 i_s 是非零的,并且同样帮助避免总的等离子体复合;否则,需要大的电压(可与击穿电压相比)以便开始下一个脉冲。所以,电流 i_s 使每个后续脉冲便利,并且允许其形成而不需要另外的击穿脉冲。下面的表格提供了参数值,对于以 400psi 的压力工作在模拟燃烧室中的 TSI 点火器,所述参数值已被发现是有用的:

[0081] 电极长度: $l = 2.5\text{mm}$,

[0082] 峰值脉冲电流: $i_0 \approx 20\text{--}40$ 安培,

[0083] k - 脉冲的持续时间: $\tau_k \approx 10\text{--}20$ 微秒,

[0084] 两个连续脉冲 k 和 $k+1$ 之间的时间: $\Delta t_{k,k+1} \approx 50\text{--}100$ 微秒,

[0085] n (即,脉冲的数目) ≈ 3 至 4 ,

[0086] 预燃电流: $i_s \approx 1\text{--}3$ 安培,

[0087] 击穿结束和第一后续脉冲之间的时间: $\Delta t_{b,1} \approx 5\text{--}20$ 微秒。

[0088] 对于不同的火花塞设计或压力值 p ,这些参数可以是显著不同的。例如,对于与前面例子中的 TSI 类似的并且以压力 $p = 900\text{psi}$ 工作的 TSI,已被发现有用的合适参数是:

[0089] $i_0 \approx 60\text{--}80$ 安培

[0090] $\tau_k \approx 20\text{--}40$ 微秒

[0091] $\Delta t_{k,k+1} \approx 30\text{--}40$ 微秒

[0092] $n \approx 7$ to 10 个脉冲

[0093] $i_s \approx 3\text{--}5$ 安培,以及

[0094] $\Delta t_{b,1} \approx 3\text{--}10$ 微秒。

[0095] 虽然已将峰值脉冲值 i_0 、脉冲持续时间 τ_k 和各个脉冲之间的时间 $\Delta t_{k,k+1}$ 示出为常数,但是它们不需要是一致的或者是恒定的。例如,它们实际上会作为时间的函数而增加或减少。

[0096] 图 6 和 7 示意性地示出了通过这个脉冲驱动方案所产生的操作。假设击穿脉冲已经发生,并且第一后续脉冲位于离开隔离器表面的位置 Δl_1 ,如图 4 中的那样。在跟随第一脉冲的时间间隔 $\Delta t_{1,2}$ 之后,下一个脉冲 τ_2 发生,在这之后等离子体位于离开隔离器表面的新位置 Δl_2 。使用每个后续脉冲,等离子体核向右边移动,然后在脉冲的结束处,被允许复合(图 6 示出两个脉冲后的等离子体的位置),直到最终(图 7)等离子体在 n 个电流脉冲之后到达电极的末端,并且被喷射到燃烧室中。后续脉冲的数目 n 将取决于室中的压力 p 、点火器参数(例如电极的长度、电极之间的间隙和电极的形状)和电流放电参数(例如脉冲的峰值、它们的持续时间、脉冲间的间隔和脉冲之间的最小电流值)。可能需要某种实验法来找到合适的值。

[0097] 虽然电流脉冲在图 5 中被示为正脉冲,但是应该认识到还可以使用负脉冲,或者交替脉冲或者某种其它模式的多个脉冲。洛伦兹力 FL 与电流的平方成比例,并因此与电流的极性无关。另外,在图 5 中被示为矩形的放电电流脉冲可以具有任何合适的波形,如三角形或正弦形状。

[0098] 如上所述,随着工作压力增加,沿着隔离器表面的击穿电压也增加。击穿电压的

增加对隔离器和电极的寿命有副作用。通过限制击穿电流可以避免或显著减小这种副作用。例如,将电阻器引入到高电压电路中,如下所述,就限制了击穿电流而没有显著地浪费能量,此时,与后续放电脉冲的总间隔相比,击穿放电具有短的持续时间。限制电流使工作的模式基本上与先前 TSI 系统的工作模式不同。在先前的 TSI 系统中,如美国专利 No. 6, 321, 733 和 No. 6, 474, 321 中示出的那些,希望大击穿电流立即继之以来自电容器的大电流,以产生最大的加速度和等离子体速度。目的是要使等离子体以单个放电脉冲到达电极的末端并移动到燃烧室中。与此形成对照,在高压力的环境中,等离子体运动在击穿之后是很小的。因而,可接受的是限制击穿电流,因为击穿电流仅用于在隔离器表面附近产生等离子体,而不是实际产生显著的等离子体运动。

[0099] 击穿电流脉冲的结束和第一后续电流脉冲之间的间隔 $\Delta t_{b, t1}$ 取决于放电电流的峰值。假设电阻器 R_b 用于实现这个电流限制效果,则延迟时间取决于该电阻器的值,取决于所施加的击穿电压,其依次取决于压力 p 。因而可以选择电阻器的值 R_b 以使隔离器上的应力和电极磨损最小化。

[0100] 图 8 示出了用于产生如图 5 所描绘的击穿脉冲和后续脉冲的电子电路的例子的部分示意电路图。在图 8 中,电路被示出用于仅产生击穿脉冲和一个后续脉冲。对于所期望的每个另外的后续脉冲,被围在虚线中的电路 110 可以被复制,并且所有的这种电路可以与它们的升压变压器 102 的次级绕组串联连接,使得每个这样的电路将会依次将序列脉冲中的一个传递到点火器。(注意并联设置也是可以的)。

[0101] 用于提供击穿放电的高电压由高能点火线圈 100 产生,由施加在 104 处的信号触发,以引起 SCR 104A 的切换。线圈 100 可以是任何合适的点火线圈,诸如但不限于由 EI Paso, Texas 的 Autotronic Controls Corporation 销售的线圈型号 8261、d/b/a MSD Ignition 之类。虽然通常在工业中称为“点火线圈”,但是元件 100 实际上是变压器。前述型号为 8261 的点火线圈具有低电感初级,并且当初级线圈被供给能量时,从其次级线圈提供 42-43 千伏的输出。变压器 100 的次级线圈(通过升压变压器 102 的次级线圈 102B)直接连接到点火器 101 的一个或多个电极,其另一个电极接地。

[0102] 每个都通过高电阻并联的二极管的串 106,将点火线圈 100 的输出电压限制到单极并防止振荡。

[0103] 在击穿脉冲之后,触发信号被施加在 105 处以使后续脉冲产生。使用由放电电容器 103 所诱发的电流脉冲,升压变压器 102 将高电压线(HVL)馈送到点火器 101。电容器 103 被充电至相对低的电压像例如大约 500 伏,然后通过变压器 102 的初级线圈 102A 放电,以通过 SCR 105A 接地。

[0104] 触发信号可以通过任何合适的电路来产生,其可以提供固定的或可编程的参数。

[0105] 连接到高电压线的(一个或多个)点火器电极还通过二极管 107 的串和 RC 网络连接到低电压源,如所指出的 500 伏电源。设置网络 111 中的电阻器值以传送预燃电流 i_s 。

[0106] 将会意识到的是,图 8 的点火电路仅仅表示了一种方式,用于产生击穿电压,并且用于传递所期望的初始电流和电流的后续脉冲。可以使用产生相似脉冲的任何其它合适的机制。例如,可以提供振荡电流脉冲如正弦电流脉冲的谐振电流电路可以用于代替所指示的多个子电路(sub-circuit),所述子电路中的每个产生单个的脉冲。而且,通过适当倒置电压和二极管的极性,图 8 的电路可以用于产生代替正脉冲的负脉冲。

[0107] 点火电路结构（以简化的形式）的另一例子以 130 在图 9 中示出。只示出基本电路部件，应该理解实际的执行可能需要其它惯用部件。电源 132 供应电压（仅仅是为了区分而将其称为“高”电压）。该电压足够高，使得它在被变压器 134 提升时，可以产生足以在点火器（未示出）处产生等离子体的击穿电压。电源通过二极管 136 连接到初级绕组 134A 的第一端，以对连接在初级绕组的另一端和地之间的电容器 138 充电。脉冲发生器 142 提供脉冲的串或序列。在第一脉冲上，来自脉冲发生器 142 的输出信号闭合电子控制的开关 144。这个动作使二极管 136 的正极接地，有效地断开电源 132，使得其不被短路，并且允许电容器 138 通过初级绕组放电。变压器 134 是饱和芯升压变压器。HV 电源 132 典型地具有几百伏的输出电压。开关 144 的闭合产生跨越变压器初级的大电压摆动。典型地，在变压器中可以使用大约 1 : 35-1 : 40 的匝数比，并且这会将初级上的几百伏摆动一直提升到跨越次级绕组 134B 的几万伏的范围。后者电压在被施加到点火器（连接到次级绕组的一端，但是未示出）时足以产生击穿。

[0108] 上述脉冲优选地还使变压器 134 的芯饱和。

[0109] 由于芯饱和，如果下一个脉冲在饱和完全衰退前由脉冲发生器 142 来供应，则这样的脉冲将不在输出线 152 上产生击穿级别的输出电压。

[0110] 初级绕组 134B 的另一端，在 154 处，和电容器的一端，在 156 处，经由二极管 158 连接到地。电容器 156 由“低电压”（LV）电源通过保护二极管 164 来充电。当来自脉冲发生器 142 的脉冲被电子开关 166 接收时，节点 168 被接地，并且电容器 156 通过串联连接的二极管 172、电阻器 174 和开关 168 被接地。

[0111] 低电压电源 162 典型地可以供应 0-1000 伏范围内的电压。电容器 156 在典型的点火系统中是大电容，并且电阻器 174 可以被订好大小，以将放电电流（通过变压器的次级绕组 134 牵引）限制到大约 50 安培（如果较低的电流将会在后续脉冲中足够，则更小）。

[0112] 二极管 182 和 184 仅仅保护它们各自的开关免受会破坏它们的反极性尖峰。

[0113] 电源 132 和 162 被示为分开的，但是在一些应用中可以使用单个的电源。而且，术语低电压和高电压不打算要求电源 132 的输出是比电源 162 的输出高的电压，尽管这是最典型的。

[0114] 因为与二极管 136 相同的原因，二极管 164 被包括，以便当相关的开关闭合时，保护其相关的电源免于具有短路输出。

[0115] 取决于电源 132 和 162 的确切结构，还可以期望在适当的时候，在电源中的一个或两个和相应的开关 144 或 166 之间串联放置电阻，以限制电源的输出电流和相应电容器的充电时间。

[0116] 使用各种半导体如 SCR、IGBT（特别用于开关 144）、MCT 以及现在或将来可能存在的其它高电压开关元件，可以实现开关 144、166。

[0117] 小电容器 159 可以给二极管 158 设旁路，为快速电压变化提供到接地的低阻抗路径，并且保护二极管 158 免于大的反尖峰。

[0118] 其它变形也是可以的。例如，代替单个脉冲发生器激励开关 144 和 166，每个开关可以由不同的脉冲发生器激励，或者可以以不同的输出或不同条件的输出信号（可能从共同信号导出）驱动开关的方式使用一个脉冲发生器。或者，可以使用一个开关，而不是两个开关，如图 10 所示，参考开关元件（例如 MCT）186。（在图 10 中，电阻器 R 被明显地示出，

尽管取决于电源详情可能不需要它们。) 如果不同的脉冲发生器驱动开关中的每一个, 则它们可以被独立控制, 并且这将允许接纳多种工作模式。

[0119] 在图 9 中, 电阻器 174 示出在虚线框中, 以指出其是可选的。不考虑电源 162 可以结合电容器 156 被设置以控制后续电流脉冲的希望幅值的事实, 存储在电容器 156 中的能量的全部不能被传送给电弧。为了在每个脉冲的间隔之上维持后续脉冲中的电流, 电容器 156 必须以控制的速率放电。这样做的一种方法是, 通过电阻器如电阻器 174 使电容器放电。遗憾的是, 使用电阻器 174 导致许多存储的能量以热的形式消耗。事实上, 与在等离子体的移动中所消耗的相比, 更多能量可能在电阻器 156 中以热的形式损失。因而, 这种电路蒙受了能量的低效使用。

[0120] 通过使开关 166 成为受控电流排泄路径, 可以改善电路的效率并且减少热消耗。然后, 代替使用电阻 174 来限制电容器 156 的电流排放, 开关晶体管 (或类似的元件) 照管该需要, 提供受控的放电。更具体地, 如图 11 所示, 有源开关元件 (这里被指示为 MOSFET 166'), 从节点 168 通过电阻器 192 连接到地。跨越电阻器的电压被感测, 作为对测量通过晶体管 166' 的实际电流的代替。插入在脉冲发生器和晶体管 166' 的栅极之间的栅极驱动逻辑 194, 响应电阻器 192 上的电压, 以可变的占空比和最后所得到的比使用电阻器 174 所引起的功耗低的功耗, 操作作为开关调节器的晶体管。驱动逻辑 194 可以以各种方式实现, 并且可以包括固定逻辑, 或者它可以包括可编程逻辑, 可能包括微控制器来操作该逻辑。使用微控制器的优点在于, 该逻辑然后可以被配置用来操作该电路, 以便以在此讨论的各种模式来执行——例如具有或不具有预燃电流。

[0121] 注意, 虽然正极性脉冲的产生将由点火电路的图示例子引起, 但是电子领域中的技术人员将能够容易地从中导出将产生负极性脉冲乃至变化极性的脉冲的点火电路, 如果希望有这样的点火电路的话。还可能希望的是, 一些或全部触发脉冲具有不同于输出脉冲的极性。

[0122] 驱动逻辑的细节设计和用于击穿电压、后续脉冲、点火器等参数, 将全都取决于点火系统需要满足的具体发动机规范。这些要求和诸如成本、部件可用性等的考虑将同样影响部件的选择。这些参数中的一些的确定, 可能要求对点火系统或电路打算用于其上的 (一个或多个) 发动机的模型进行一定程度的实验。

[0123] 虽然仅使用一种形式的 TSI 讨论了问题和它们的解决方案, 但是使用平行电极和同轴电极两者, 两者同样适用于其它 TSI 设计。

[0124] 尽管在此讨论了供以高和极高压工作的内燃机使用的特定方法和设备, 但是将会理解的是, 这种技术还可以供以较低的传统压力工作的内燃机中的移动式火花点火器使用, 乃至供传统的火花塞使用。然而, 使用移动式火花点火器优点可能最大。

[0125] 此外, 应该理解的是, 虽然已经提出了操作的理论, 但是存在若干简化假设, 其可能极大地限制了本理论的应用。尽管如此, 本发明, 如要求保护的那样, 确实产生了模拟高压发动机环境中的运转的点火系统, 并且分析中的任何简化或误差都会被理解并不有损于本发明的价值。

[0126] 已如此描述了本发明的至少一个实施例的几个方面, 将会意识到的是, 各种改变、修改和改进对于本领域技术人员而言很容易发生。这样的改变、修改和改进旨在成为本公开的一部分, 并且旨在处于在本发明的精神和范围内。因此, 前述说明和附图只是作为例子而已。

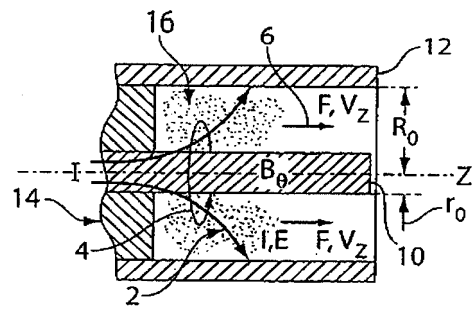


图 1 (现有技术)

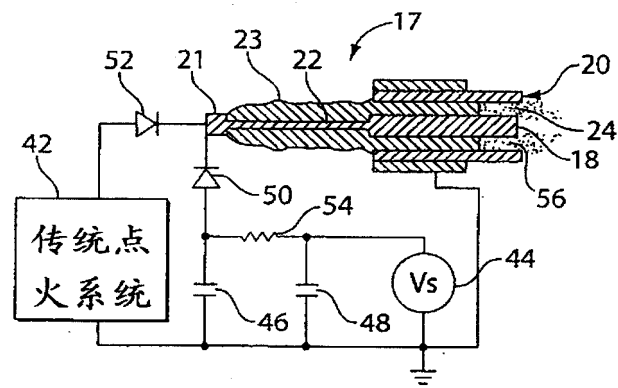


图 2 (现有技术)

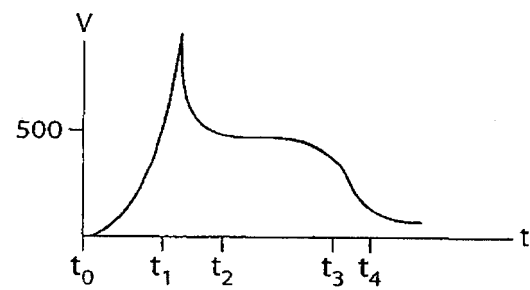


图 3 (现有技术)

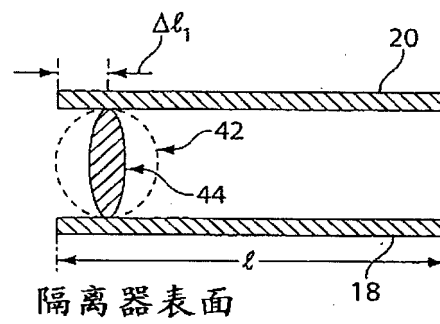


图 4

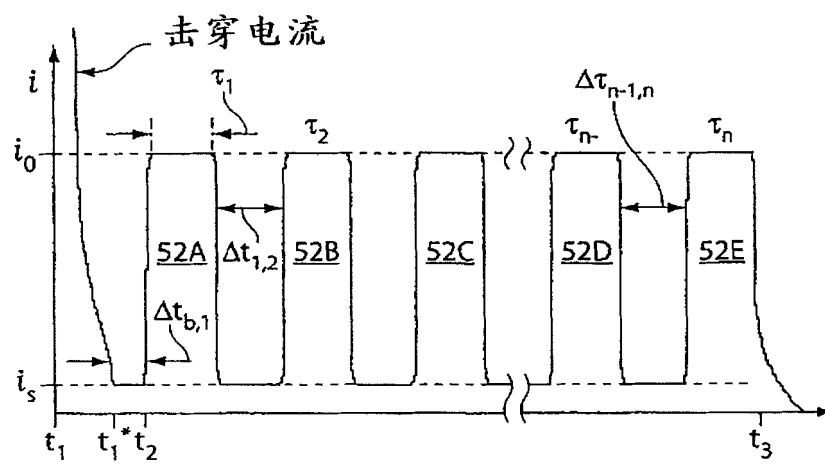


图 5

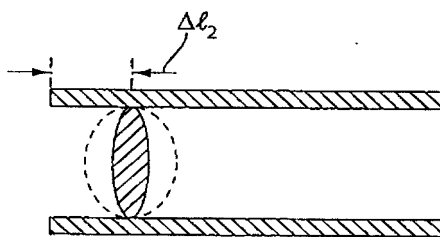


图 6

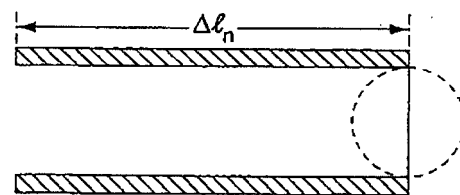


图 7

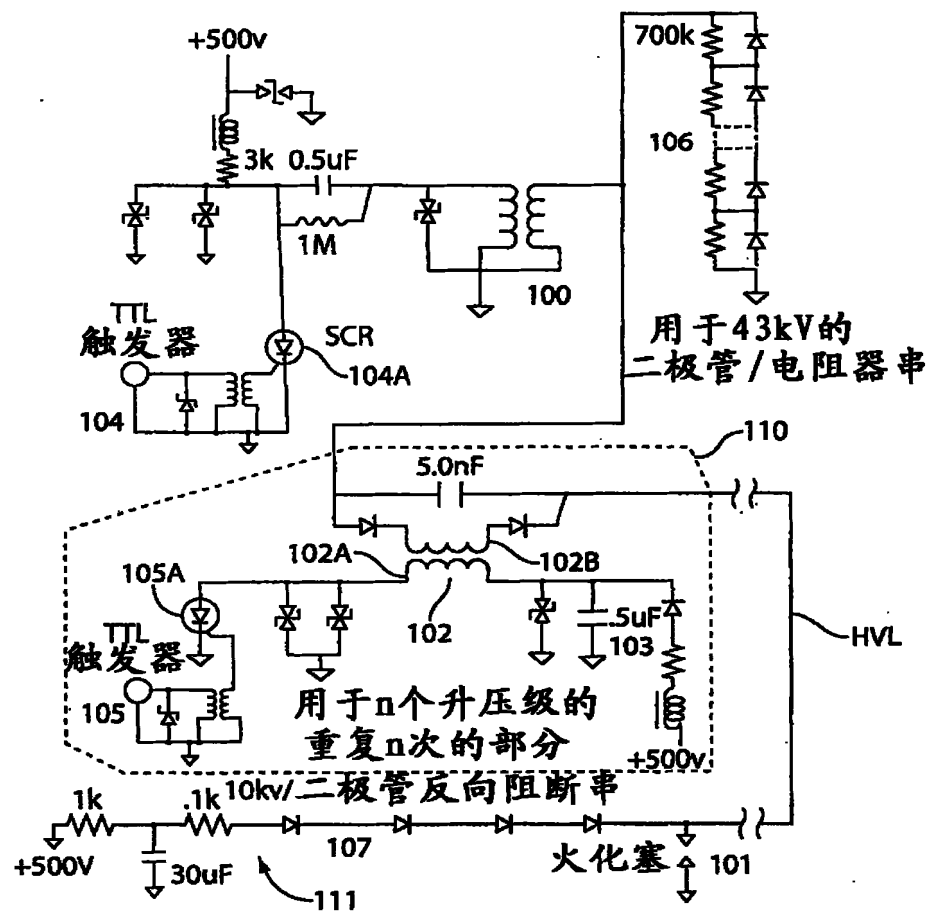


图 8

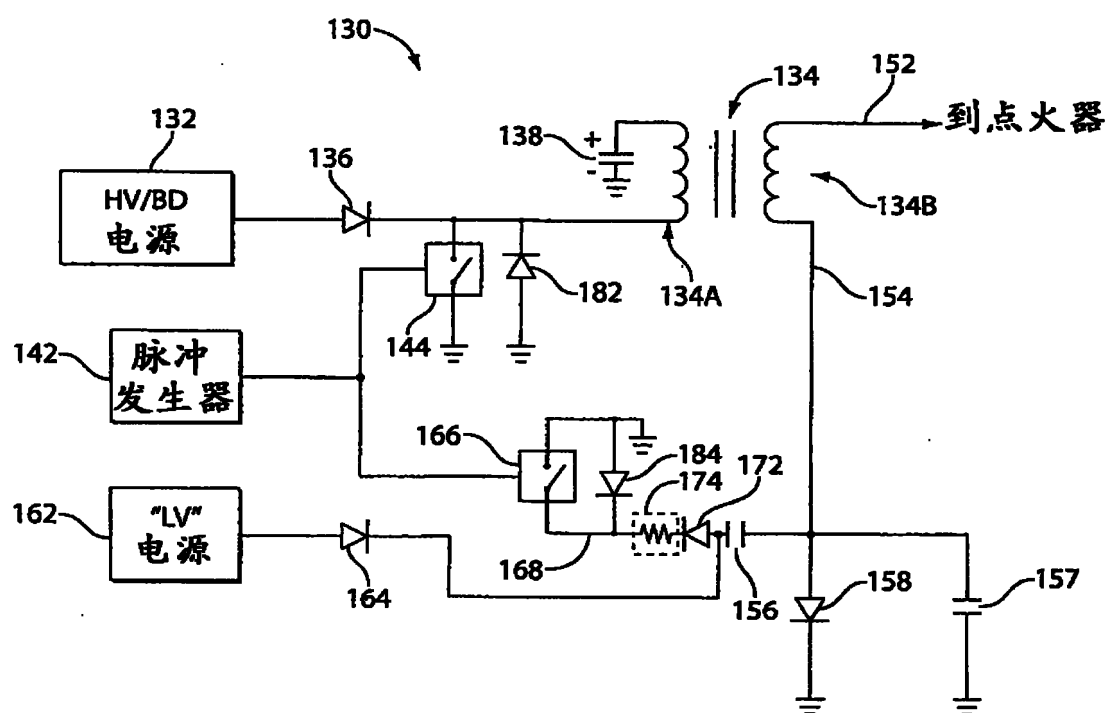


图 9

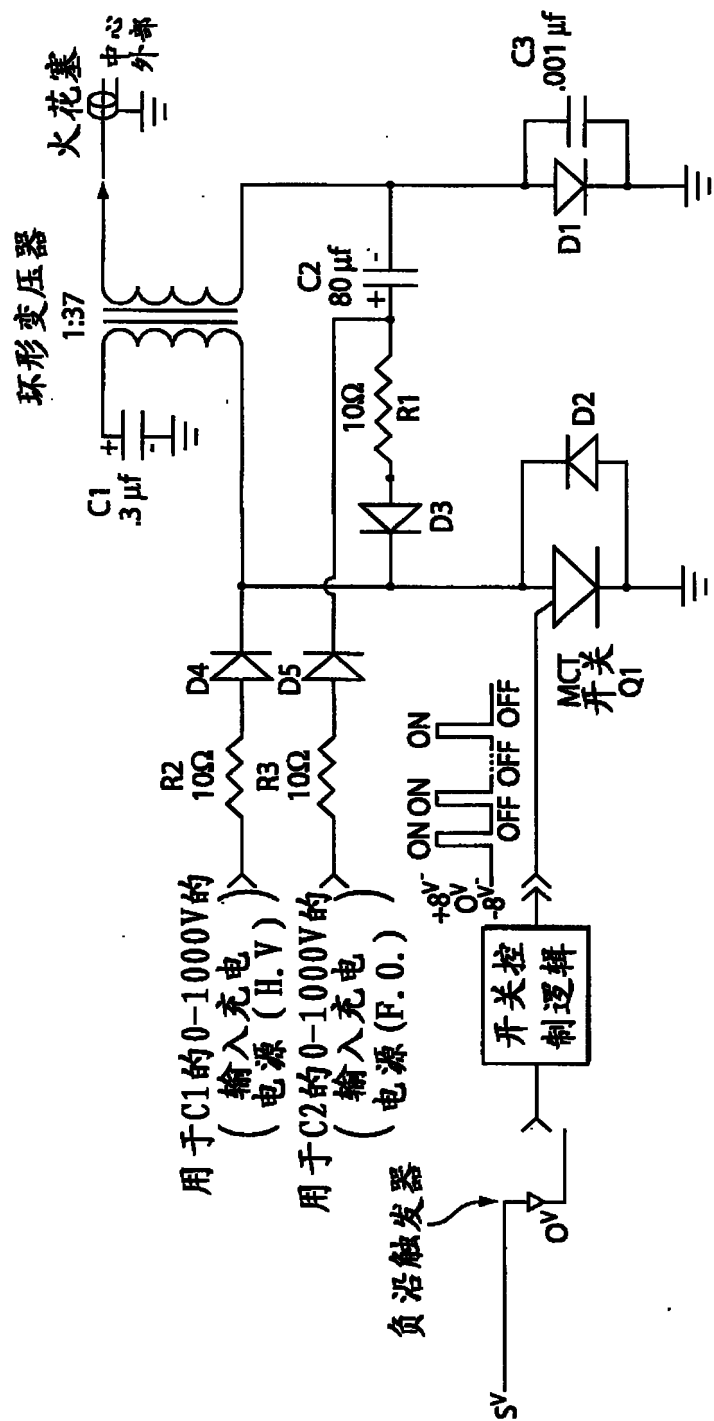


图10

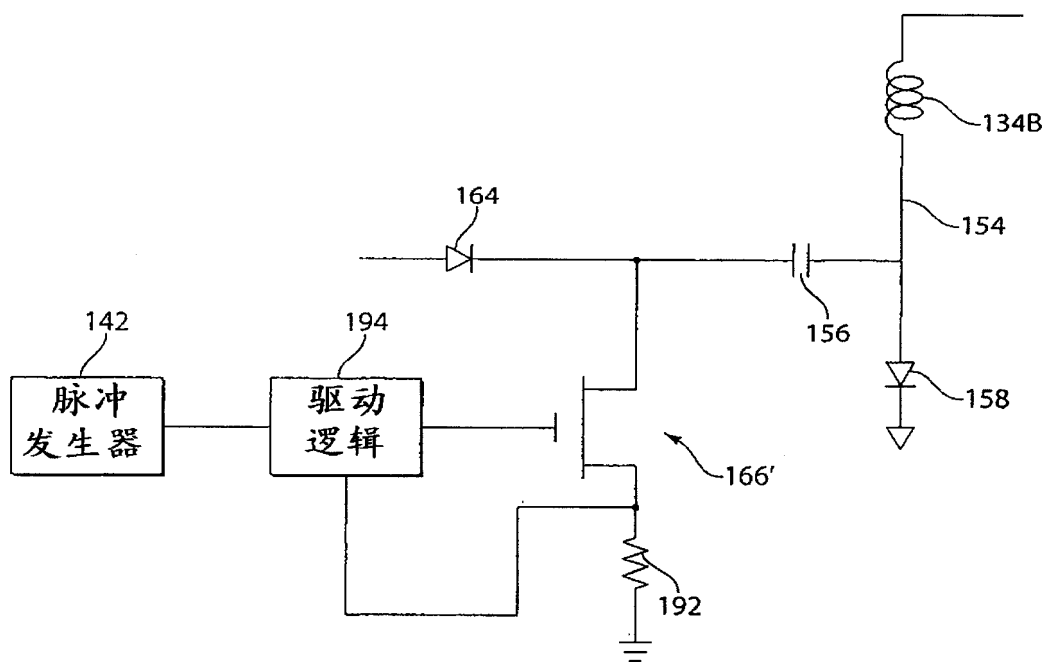


图 11