



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 97197019.X

[45] 授权公告日 2003 年 9 月 24 日

[11] 授权公告号 CN 1122361C

[22] 申请日 1997.6.11 [21] 申请号 97197019.X

[30] 优先权

[32] 1996.6.13 [33] US [31] 08/662,886

[86] 国际申请 PCT/US97/10291 1997.6.11

[87] 国际公布 WO97/48183 英 1997.12.18

[85] 进入国家阶段日期 1999.2.3

[71] 专利权人 射频功率产品公司

地址 美国新泽西州

[72] 发明人 A·马弗雷蒂 A·西斯泽克

J·施塔赫

审查员 段成云

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

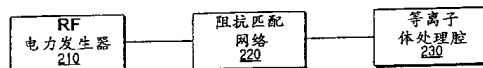
代理人 邹光新 陈景峻

权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 6 页

[54] 发明名称 使可变负载阻抗与 RF 能量发生器阻抗相匹配的方法和装置

[57] 摘要

一种用来使一负载的可变阻抗与一射频(RF)能量发生器的固定阻抗相匹配以提供最大能量输送的方法和装置。该阻抗匹配网络还使一 RF 能量发生器能改变施加到一负载如一等离子体腔上的电压频率,该等离子体腔可用于一半导体或平板等离子体显示装置生产过程中。该阻抗匹配网络还利用固定的固态元件来调整所带负载的阻抗,以便在发生器与负载之间提供最大的能量输送。一并联开关电容器受一电气开关装置如 PIN 二极管的控制,以使固定电容器开通或关断。把一用来改变外加电压的装置用来在几毫秒的时间内使负载的阻抗与 RF 能量发生器的阻抗相匹配。



- 5 1. 一种将一射频能量发生器 (RFPG) 耦合到一负载上的阻抗匹配网络, 包括:
- 一相位检测器, 耦合到所述 RFPG 上, 所述相位检测器检测所述 RFPG 所供电压和电流中的位移;
 - 一频率合成电路, 耦合到所述相位检测器上, 所述频率合成电路根据所述相位检测器检测到的所述传输线上所述电压与所述电流中的相移, 改变所述电压的频率;
 - 10 一幅值检测器, 耦合到所述 RFPG 上, 所述幅值检测器检测所述负载阻抗的幅值;
 - 第一电容, 并联耦合到所述负载上;
 - 一电感, 与所述负载串联耦合;
 - 15 第二电容, 与所述负载串联耦合;
 - 一开关电路, 耦合到所述幅值检测器上, 用来根据所述幅值检测器所检测到的所述负载的所述阻抗的所述幅值, 将所述第一电容与地耦合或解耦;
 - 一控制器, 耦合到所述幅值检测器和所述开关电路上, 用以根据所述传输线上所述阻抗的所述幅值控制所述开关电路。
 - 20
2. 根据权利要求 1 的阻抗匹配网络, 其中所述第一电容还包括并联耦合到所述负载上的多个电容器。
3. 根据权利要求 2 的阻抗匹配网络, 其中所述多个电容器等于至少 8 个电容器。
- 25 4. 根据权利要求 2 的阻抗匹配网络, 其中所述多个电容器等于至少 16 个电容器。
5. 根据权利要求 2 的阻抗匹配网络, 其中所述多个电容器中的每个都有一个固定电容值。
6. 根据权利要求 5 的阻抗匹配网络, 其中所述多个电容器中的每个都有通常为所述多个电容器中前一电容器电容值一半的电容值。
- 30 7. 根据权利要求 2 的阻抗匹配网络, 其中所述开关电路包括多

个二极管，所述多个二极管中的每一个都耦合到所述多个电容器的一个上，用以将所述多个电容器的所述一个耦合到地或与地解耦。

5 8. 根据权利要求7的阻抗匹配网络，其中所述多个二极管中的每一个都有在一 p 掺杂半导体区和一 n 掺杂半导体区之间的一个大的本征区。

9. 根据权利要求2的阻抗匹配网络，其中所述开关电路包括多个射频继电器，每个继电器耦合到所述多个电容器的一个上，用以将所述多个电容器的所述一个耦合到地和与地解耦。

使可变负载阻抗与 RF 能量 发生器阻抗相匹配的方法和装置

5 本发明涉及阻抗匹配网络领域。具体地说，本发明涉及用来使一负载的阻抗与一射频（RF）能量发生器（RFPG）的内部阻抗相匹配以提供最大能量输送的方法和装置，其中由 RF 能量发生器所产生的外加电压的频率和负载阻抗可各自独立地变化。

10 联邦通信委员会（FCC）规定，工业、科技和医学（ISM）频率分别为 13.56MHz、27.12MHz 和 40.68MHz。ISM 频率可以由设备发射到大气环境中，而不必担心使射频干扰影响其他设备。等离子体蚀刻和淀积设备生产商通常用 13.56MHz 频率来使一等离子体腔工作，用以生产集成电路和等离子体显示器。但是，尤其在减小集成电路尺寸的情况下，ISM 频率并不总提供可使等离子体腔工作以实现关键的加工步骤的最佳频率。
15 因此，设备生产商已开发出能工作于一定频率波段内的等离子体腔。

但是，一般把以 ISM 为基础的 RF 能量发生器设计成确保偏离设定 ISM 频率如 13.56MHz 最小。相反，可以将一变频 RF 能量发生器（“发生器”）耦合到一负载如一等离子体腔上，从而控制施加到负载上电压的频率以使负载可以工作于一电压频率波段内。不过，在一交流（AC）
20 电路中，阻抗受外加电压频率的影响，而该阻抗又影响发生器与负载之间的能量输送。此外，等离子体腔的阻抗可根据象腔压强、气体组分和等离子体点火装置这样的变量变化，而与外加电压频率无关。因此，需要一阻抗匹配网络，它能使外加电压的频率变化，而同时相对于发生器即发生器的输入阻抗保持负载阻抗。

25 如相关技术领域那些普通技术人员所公知的那样，给定电路的阻抗可以由一有功元件和一无功元件两部分组成，后者可以是感性的或容性的。当所带负载的电阻等于发生器的内电阻并且该负载与发生器之间的净电抗为零时，在发生器和该负载间实现最大的能量输送。这样，利于均衡发生器与负载间的电抗以实现净电抗为零。当负载的阻抗是发生器内部阻抗的共轭值时，在发生器与负载之间产生的净电抗为零。这样，
30 若发生器有一感性电抗，则有一等幅反相容性电抗的负载会对含发生器和该负载的电路产生为零的净电抗，反之亦然。阻抗匹配网络可用来保

持一输入阻抗，在发生器施加到负载上电压的频率变化时，并且/或者在负载阻抗变化时，该输入阻抗是发生器内部阻抗的共轭值，从而在发生器与该负载间实现最大的能量输送。

参见图 1，示出已有技术的阻抗匹配网络 100。可将 RF 能量发生器耦合到 RF 输入装置 120 上。可将象等离子体腔这样的负载耦合到 RF 输出装置 130 上。该阻抗匹配网络 100 (“网络”) 包括相位检测器 101，它对在固定阻抗如 50 欧姆的传输线 108 采样，产生一信号，经线 112 送至控制板 110。然后例如当在等离子体腔中点燃等离子体条件的情况下时，控制板 110 根据输入 RF 电压和负载中的非线性阻抗所产生电流之间相移的极性使伺服电机 107 将可变电容器 106 变向。

幅值检测器 109 还对传输线 108 上例如 50 欧姆阻抗的偏差进行采样，产生一信号，经线 111 送至以此为基础的控制板 110。然后，控制板 110 使伺服电机 103 调节可变电容器 102。电容器 102 所具备的电容值在更小程度上也取决于 RF 电压与电流之间的相移极性。幅值检测器 109 检测例如 50 欧姆特征阻抗的偏差。若线 108 中的阻抗大于 50 欧姆，则经线 111 所传输的信号为正；若线 108 中的阻抗小于 50 欧姆，则经线 111 所传输的信号为负。正如所能了解的那样，为使发生器阻抗与负载阻抗相匹配，由于伺服电机 103 和 107 分别用来调节电容器 102 和 106 所需时间的缘故，已有技术阻抗匹配网络 100 较慢。此外，网络 100 并不能根据负载象所希望的那样使发生器改变外加电压的频率。

今天，半导体和平板等离子体显示设备生产过程时间正在缩短，从而使所需用来在 RF 能量发生器与等离子体腔（其工作频率和阻抗变化）之间建立匹配阻抗的时间量成为影响生产线上生产量的限制因素。需要一个将一发生器耦合到一负载如一等离子体腔上的阻抗匹配网络，它使发生器能改变施加到负载上的电压频率，并用固定的固态元件迅速而准确地调整所带负载的输入阻抗，以保持供给负载最大的能量输送。

本发明涉及阻抗匹配网络的领域。具体地说，本发明涉及一种用来将一负载的可变阻抗与一射频 (RF) 能量发生器 (“发生器”) 的固定内部阻抗相匹配以向负载提供最大能量输送的方法和装置，其中由 RF 能量发生器所产生的外加电压频率和负载的阻抗可以各自独立地变化。该阻抗匹配网络使一发生器能改变施加到一负载如一等离子体腔上的电压的频率，该等离子体腔可用于半导体或平板等离子体显示装置生产过程

中。该阻抗匹配网络还利用固定的固态元件在几毫秒内调整所带负载的输入阻抗以向负载提供最大的能量输送。利用了一种用来改变外加电压频率的装置和一用来极迅速地使负载的输入阻抗与发生器的阻抗相匹配的并联开关电容器网络。

5 作为可由本发明采用的阻抗匹配网络，其一个目的在于：通过减小阻抗匹配收敛时间、减小阻抗匹配网络大小以更易安装在腔内以及实现阻抗负载的独立性，改善已有技术阻抗匹配网络的性能。

本发明的另一目的在于，通过省去机械活动部件如可变的真空型电容器和利于含固态元件的电控阻抗匹配网络的伺服电机，由此省去与已有技术阻抗匹配网络相关的维护与校准要求，从而提高了阻抗匹配网络的可靠性。

借助以下图中的实例和非限制性描述来说明本发明。类似的参考标记表示类似的部件，其中：

15 图 1 表示已有技术阻抗匹配网络的一个实施例，它可由 RF 能量发生器用来匹配发生器阻抗和一所需的负载；

图 2 是本发明一实施例的方框图；

图 3 是一示意图，它提供本发明一实施例的电气表示；

图 4 表示图 3 电路的输入阻抗和变化的负载阻抗之间关系的模拟曲线分析；

20 图 5 通过曲线说明改变施加到一负载上的电压频率；

图 6 表示本发明一优选实施例。

图 7 是图 6 中 PIN 二极管驱动电路的电路图。

25 本文所述的是一种使一负载的可变阻抗与一射频（RF）能量发生器（“发生器”）的固定阻抗相匹配的方法和装置，它能从发生器向负载提供最大的能量输送，其中发生器改变施加到负载上电压的频率。在以下的描述中，列出许多具体的细节与实例，以便为彻底理解本发明提供条件。但是，很显然，对于本领域的普通技术人员来说，无需该具体的信息也可在本领域或相关领域中实施本发明。在其他的例子中，并未示出公知的电路、元件和技术，以便不给本发明设置不必要的障碍。

30 本发明的一个实施例概述

当代和未来一代等离子体加工要求的不断增长的复杂性极大地冲击了对用于本领域的射频（RF）能量发生器和相关阻抗匹配网络的性能要

求。等离子体加工设备生产商不断地缩短加工时间、修正等离子体腔压强与气体组分，并减少等离子体腔清洁周期时间，以便提高产量，提供一致的产品和可靠的性能。为此，已有技术电动机驱动的阻抗匹配网络正由更快的电子控制阻抗匹配网络所替代。如图 2 中方框图所示，本发

5 明的一个实施例提供一种固态阻抗匹配网络 220 (“网络 220”)，它未采用活动的电气或机械部件以保持例如为 50 欧姆的输入阻抗，并使 RF 能量发生器 210 (“发生器 210”) 能围绕基频改变外加电压频率，从而达到其中包括在等离子体加工腔 230 (“等离子体腔”) 中的等离子体点燃的效果。

10 图 3 是一电气原理图，它表示 RF 能量发生器 210、阻抗匹配网络 220、将发生器 210 接到网络 220 上的连接装置 215、和耦合到网络 220 上的等离子体加工腔 230。发生器 210 由交流电源 301 和内部阻抗 302 组成。发生器 210 所提供的能量可从 0 瓦变到 5 千瓦。发生器基频为任意值。但是，在半导体工业中通常采用 13.56MHz 的 ISM 频率。发生器的

15 的内部阻抗 302 通常为 50 欧姆，但是，只要将能量输送给网络 220 的电缆 303 具有同样的特征阻抗，该阻抗也可以为任意值。

在阻抗匹配网络 220 内部，可使用也可不用 RF 变压器 305。变压器 305 的目的在于进一步将输入阻抗从 50 欧姆转换到更低的值如 12.5 欧姆，以使阻抗匹配网络在变压器 305 右侧的部分工作于更低的阻抗水平。

20

电容 306 包括至少一个固定值电容器 312。在一个实施例中，如电容器 313 所示，可将另外一些电容器并联耦合到电容器 312 上。可以将足够多的电容器并联耦合到电容器 312 上，以提供例如 8、16 或更离散的值。这些电容各自由开关电路 304 中各个开关进行开关。在一个实施

25 例中，在 p 和 n 掺杂半导体区之间有一较大本征区的二极管可用来提供开关功能，下文将这些二极管称作 PIN 二极管。在第二实施例中，开关电路 304 包括 RF 继电器。电感 307 同样也是一固定值。选择电阻 309 的值，以保持在无等离子体点燃的条件下放电的电容 306。包括电容 306、电感 307 和电容 308 的网络 220 的这部分是一典型的 L 型阻抗匹配网络

30 结构。考虑到等离子体腔 230，容性元件 310 和阻性元件 311 是表示点燃时等离子体腔的等效电容和电阻。

图 4 对图 3 中电路的输入阻抗与变化的负载阻抗之间的关系进行了模拟曲线分析, 其中证明: 一恒输入阻抗, 即, 由发生器 210 从负载端看到的阻抗被网络 220 保持在 1-100 欧姆的负载阻抗范围之内 (用于一等离子体腔中点燃的等离子体条件的典型有功负载为从 1~100 欧姆)。纵轴 401 表示输入阻抗, 而横轴表示外加电压的频率。在该模拟曲线中, 外加电压的频率和阻性负载元件 311 都变化。容性负载元件 310 保持恒定。

不考虑阻性负载值, 图 4 中所有的曲线都经过点 403, 点 403 处的输入阻抗为 50 欧姆, 而外加电压的频率为 13.56MHz。在负载是一等离子体腔的情况下, 利于选择阻抗匹配网络 220 中电容 306、电感 307 和电容 308 的值, 以使这些阻抗和频率条件得到满足。但是, 对相关技术领域中的普通技术人员来说很容易理解的是, 根据耦合到阻抗匹配网络 220 上的负载类型, 可以选择其他电感值和电容值。

图 5 通过图线说明一等离子体腔中等离子体点燃的模拟曲线, 该等离子体腔耦合到图 3 的阻抗匹配网络 220 上, 图 5 中外加电压的频率增加到比 13.56MHz 稍大的值, 然后在几微秒时间内的加工周期过程中返回到 13.56MHz。纵轴 501 表示施加在图 3 中容性负载元件和阻性负载元件上的电压, 而横轴 502 表示外加电压的频率。

该分析表明, 如所期望的那样, 外加电压升高至稍大于 13.56MHz 的足以激发等离子体的水平处。显然, 使外加电压的频率在超过 13.56MHz 处达电压峰值, 在外加电压的频率自动返回 13.56MHz 之前, 等离子体于该峰值点处受到激发。

该图线表示各种等离子体腔阻抗的一系列曲线。图 3 中的阻性负载元件 311 是等离子体腔化学过程的特征阻抗。尽管不必为理解本发明而彻底描述各种等离子体腔, 不过通常这种改变外加电压频率的方法对所有的等离子体腔来说都是有效的。应指出的是, 阻抗匹配网络 220 在等离子体工艺周期之初产生一高压。如图 5 中电压幅值所示, 该高压需要用来启动电离过程并由此进行等离子体点燃。等离子体工艺周期是点燃等离子体所耗费的时间, 一般时间是几秒钟, 不过在某些情况下也可更长。如以下将详细描述的那样, 图 3 中网络 220 的阻抗匹配能力是通过改变外加电压的频率和借助固态元件改变响应于此的阻抗匹配网络 220 的电容来完成的。

本发明一个实施例详述

作为可由本发明实施的阻抗匹配网络在一 RF 能量发生器和一负载如一等离子体腔之间提供最大的能量输送。阻抗匹配网络提供与 RF 能量发生器的内部阻抗相匹配的输入阻抗，它一般为 50 欧姆，同时为等
5 离子体腔提供一阻抗，它与等离子体腔的变化阻抗相匹配。

等离子体腔的阻抗根据其工作的阶段而变化。例如，在等离子体点燃之前，等离子体腔的阻抗高达 10 兆欧，而点燃之后的阻抗约为 2 欧姆。当等离子体仍未点燃时，等离子体腔基本上是一真空腔，需要用高压来使等离子体点燃，由此有一高阻抗。工作期间，阻抗还因许多因素
10 而变化，这些因素包括等离子体腔的大小、气体化学性质和气压。在加工周期中的某个点将化学气体混和物推入等离子体腔。这些气体可以用来在等离子体腔内蚀刻、淀积或清洁目标材料。等离子体腔内部的电离气体对正向等离子体腔输送 RF 功率的阻抗匹配网络 220 表现出低阻抗。为使发生器与等离子体腔之间的能量输送最大，阻抗匹配网络需要响应
15 最短合理可能的时间内、例如 100 毫秒或更短时间内等离子体腔中的阻抗变化。

阻抗匹配网络 220 的输出是一串联谐振电路，为进行阻抗匹配，它表现为负载的共轭阻抗。本发明采用低通结构的 L 型阻抗匹配网络。参见图 6，该网络包括一并联电容 306 和一串联电感 307。电容 306 减小
20 了负载 230 中的任意感性阻抗，而电感 307 与出现于负载中的任意容性无功元件相谐振，即消除了任意容性无功元件。在一个实施例中，每当输入阻抗的幅值偏离能量发生器 210 的内部阻抗 50 欧姆时，电容 306（亦称作负载电容）通过 PIN 二极管受控开关电路 304 而电控可变。在第二实施例中，开关电路 304 可由 RF 继电器（图中未示）控制。

幅值检测器 602 对如 50 欧姆的传输线 603 上的阻抗进行采样，并根据随负载而变化的输入阻抗幅值产生一信号 604，该信号 604 经一排一个或更多并联电容器的各自的 PIN 二极管开关这排电容器，这排电容器构成电容 306。该信号的极性决定并联电容 306 是增大还是减小。无论
25 在哪种情况下，由串联电感 307 所提供的电感值保持不变。

尽管图示电容 306 具有两个固定的并联电容器 C1 和 C2，不过可以采用任意个并联电容器。电容器的数目越多，在使输入阻抗与负载阻抗相匹配方面可能进行的调整越准确。但是，从实际的观点看，没有理由
30

增加电容器的数目超出某一数目如 8 或 16 以得到全波段的离散值。每个被开关的电容器如 C1 和 C2 都是前一电容器电容值的一半。例如，若 C1 = 400pF，则 C2 = 200pF，而电容器 C(n) 是电容器 C(n-1) 电容值的一半等。

- 5 将相位和幅值检测器耦合到定向耦合器 607 上。定向耦合器 607 输出两个信号 609 和 610，它们代表注入功率和反射功率。将这些信号耦合到控制器 608。控制器 608 含公知器件如一乘法器/除法器芯片、一比较器、一模数转换器和一缓冲器。控制器 608 估算如此输入的信号，将它们与一参考信号作比较，产生控制电压以驱动一 PIN 二极管驱动电
- 10 路 611。PIN 二极管驱动电路 611 经线 612 和 613 启动开关电路 304 中的开关器件即 PIN 二极管。根据从 PIN 二极管启动电路 611 接收的信号使 PIN 二极管导通，PIN 二极管启动电路 611 又受到控制器 608 控制。若 PIN 二极管未接收到信号，则使他们偏置到截止状态，即不导通状态。为 RF 发生器 210 和负载 230 之间最佳的阻抗匹配而选择开通的电容器
- 15 组合。

- 图 7 中，示出 PIN 二极管驱动电路，在该电路中，例如使 PIN 二极管 623 导通，这样经一低电阻 PIN 二极管将电容器 624 接地。为使 PIN 二极管 623 导通，由控制器 608 驱动的控制线 620 传输零电压或一逻辑零。因此，用电流（在该优选实施例中为 0.5 安培直流）使晶体管 621
- 20 导通，正向偏置 PIN 二极管 623。电阻 622 控制 DC 偏置电流。在正向方向上如此高的 DC 电流的情况下，PIN 二极管 623 表现出极低的动态电阻（在优选实施例中约为 0.1 欧姆），由此使电容 624 短接至地。当用控制器 608 驱动控制线 620 高达如 5 伏时，晶体管 621 处于截止状态 - 无 DC 电流沿正向流动。同时，负电压（在优选实施例中为 -500 伏）
- 25 出现于 PIN 二极管 623 的 p 侧，使 PIN 二极管处于截止状态。LC 网络 625 和 626 作为在 RF 频率如 13.56MHz 时谐振的滤波器工作，使 RF 信号无法到达电源 614。

- 图 6 还表示出相位检测器 601。尽管在图 1 所示的已有技术中，相位检测器用来控制电容，可是本发明的优选实施例只用相位检测器来控制外加电压的频率。相位检测器 601 对 50 欧姆的传输线 603 上的阻抗
- 30 采样并产生控制一频率合成电路 606 的信号 605。为匹配负载的阻抗，频率合成电路 606 根据相位检测信号 605 调整 RF 发生器 210 所提供外加

电压的频率。正常等离子体腔工作期间外加电压中频率的变化通常小于 1MHz。这样，可以将 RF 能量发生器的频率变化限定到一同等上下限。最好是如此限定频率，因为为了该特定的频率范围而使阻抗匹配网络中的滤波器和其他电路最佳。此外，可以保持在 1MHz 限度内，并具有全量

5 程的合理阻抗负载变化。

当然，在相关技术领域普通技术人员可理解范围内的所述实施例是可变换的。本发明仅由以下所列的权利要求书限定。

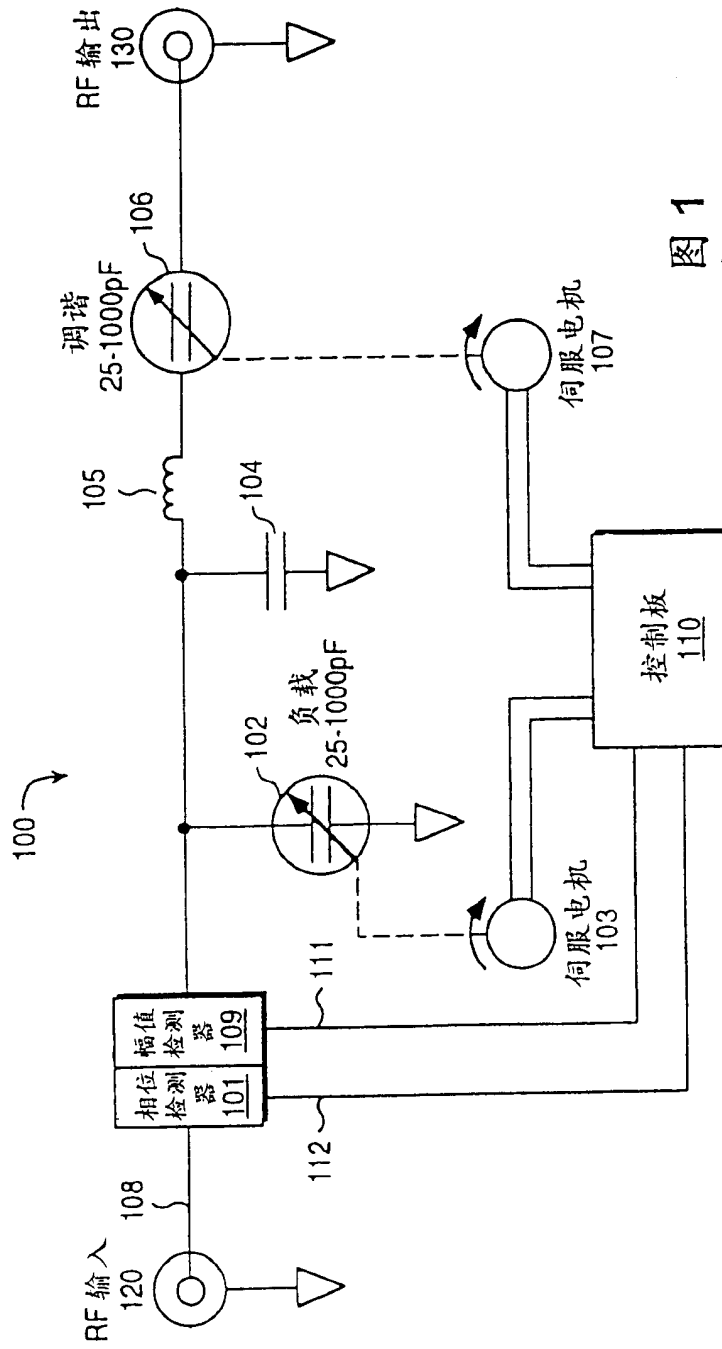


图1
现有技术

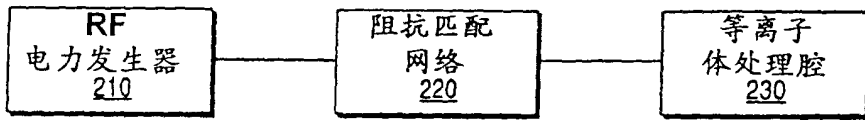


图 2

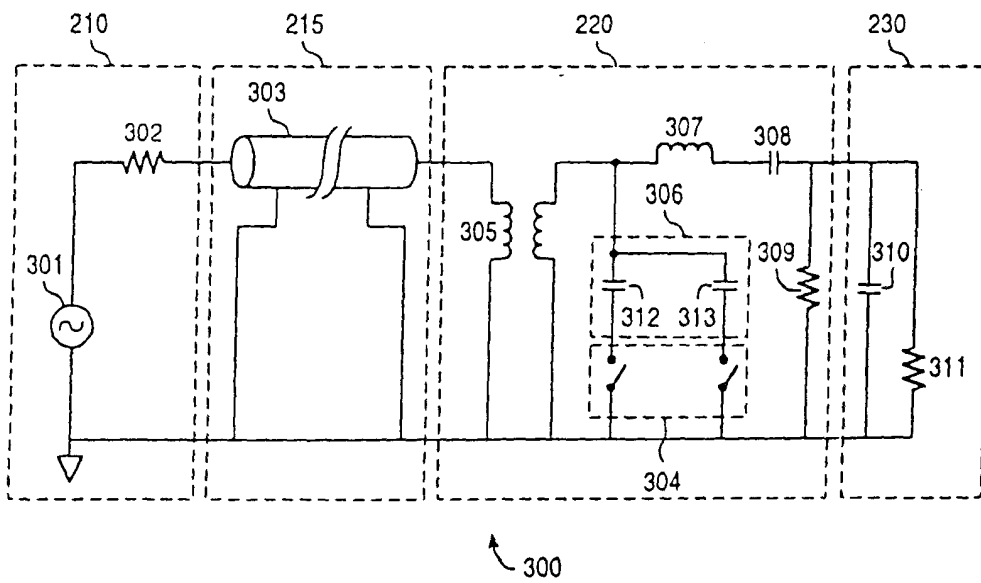


图 3

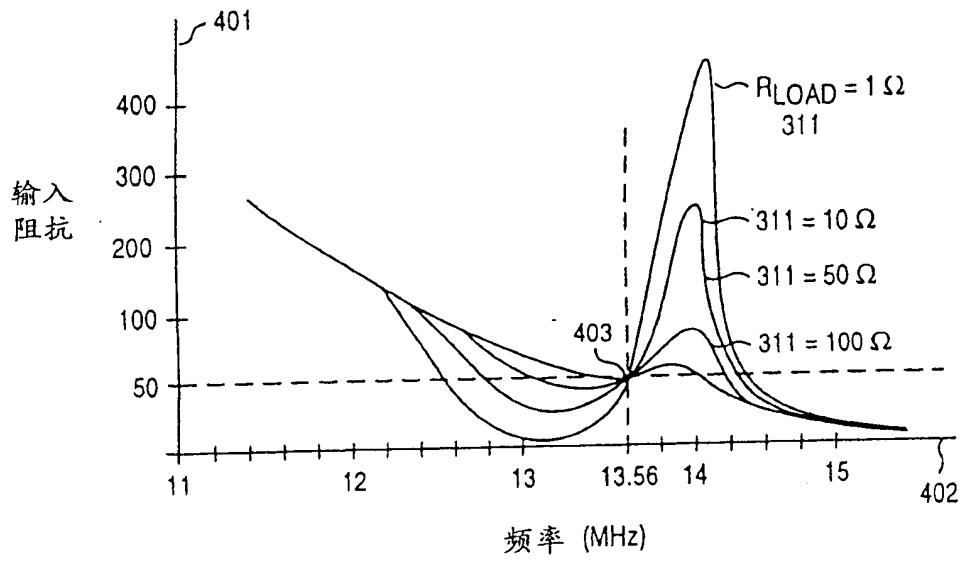


图 4

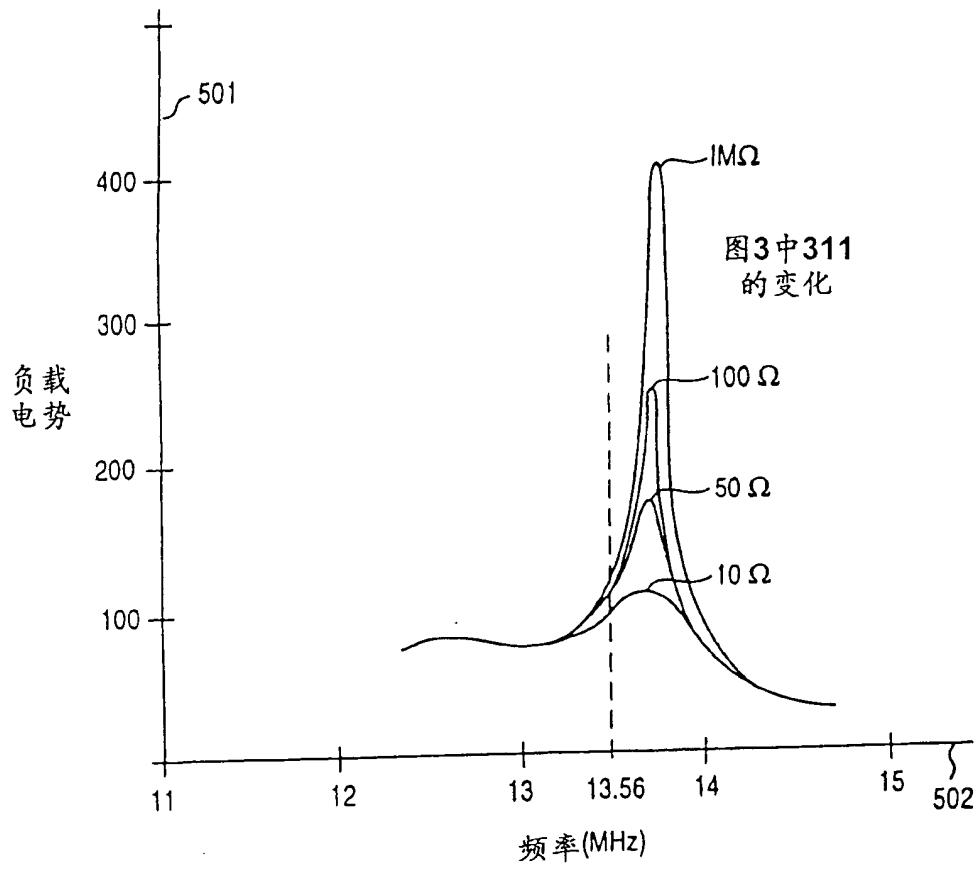


图 5

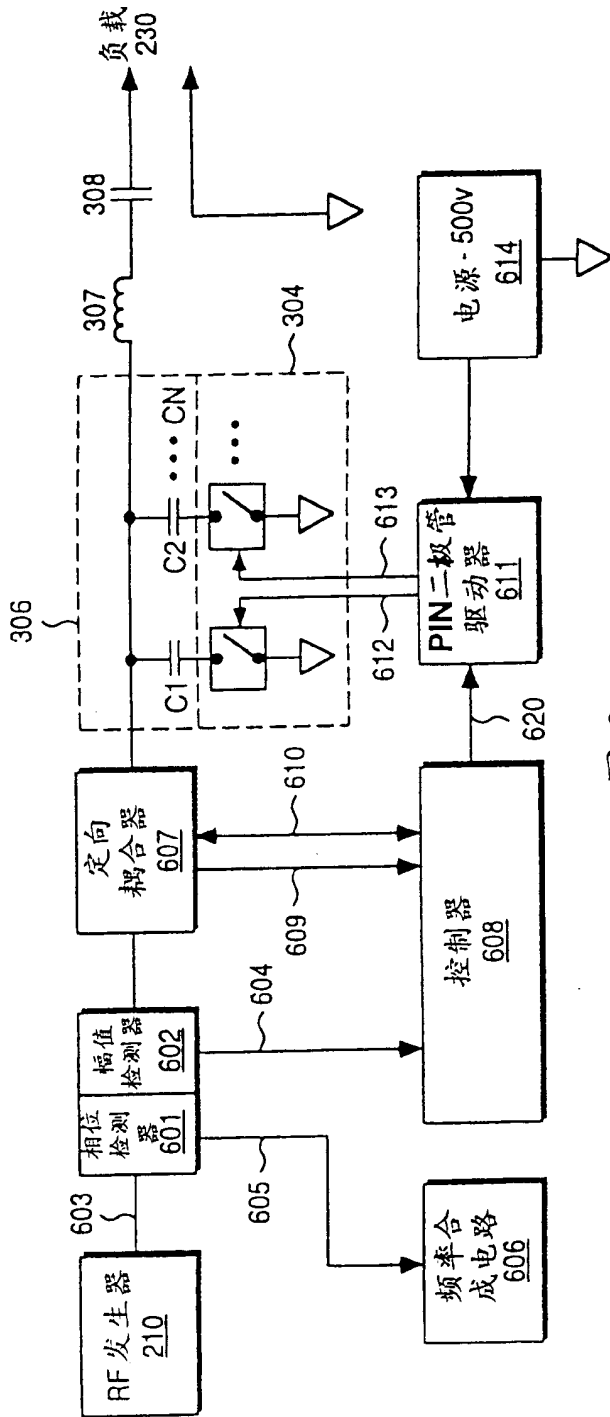


图 6

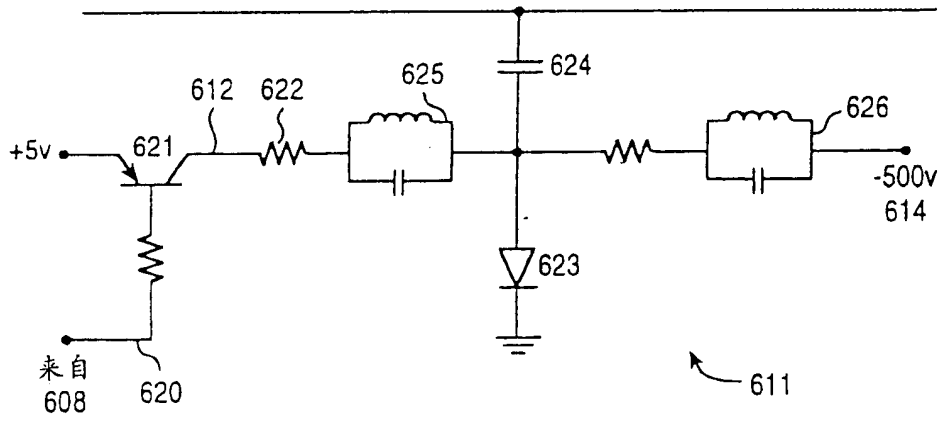


图 7