

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H02M 1/00 (2006.01)

H01F 3/14 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03824425. X

[45] 授权公告日 2009年2月4日

[11] 授权公告号 CN 100459380C

[22] 申请日 2003.8.26 [21] 申请号 03824425. X

[30] 优先权

[32] 2002.9.11 [33] US [31] 10/241,200

[86] 国际申请 PCT/US2003/026583 2003.8.26

[87] 国际公布 WO2004/025816 英 2004.3.25

[85] 进入国家阶段日期 2005.4.20

[73] 专利权人 ABB 公司

地址 美国康涅狄格

共同专利权人 ABB 有限公司

[72] 发明人 卡利安·P·戈卡莱

阿尔波·K·瓦利马科

尼可拉斯·简·安德斯·索多

[56] 参考文献

US4914559A 1990.4.3

US4222096A 1980.9.9

US5559396A 1996.9.24

US4292497A 1981.9.29

审查员 周胡亮

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利  
商标事务所

代理人 党建华

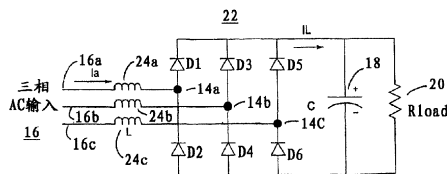
权利要求书 2 页 说明书 11 页 附图 9 页

[54] 发明名称

低谐波整流电路

[57] 摘要

本发明涉及低谐波整流电路，其中使用非线性电感线圈来降低在 ac 驱动系统的输入侧三相制的线路电流中谐波的总谐波失真的百分比。描述了所述非线性电感线圈的几种构造。可以由 E 和 I 叠片来构造所述非线性电感线圈。间隙取决于 E 叠片的中腿部的构造，并且可以具有恒定间隔或可变间隔的台阶，所述台阶取决于所述叠片的堆叠。作为选择，可以根据具有台阶间隙或可变类型间隙的环形铁心来构造所述非线性电感线圈。



1. 一种非线性电感线圈，其特征在于包括：

通过叠置第一叠片而形成的第一堆叠，所述第一叠片均具有带有边缘的第一支脚和多个其它支脚，所述第一支脚形成所述第一堆叠的第一支脚部分，以及所述其它支脚形成所述第一堆叠的其它支脚部分，所述第一支脚部分具有由所述第一支脚的边缘形成的末端；和

通过叠置第二叠片而形成的第二堆叠，所述第二叠片均具有相同的预定形状，所述第二叠片的第二堆叠设置成与所述第一叠片的第一堆叠相邻以便形成磁通量的流通过径，所述第一堆叠的所述第一支脚部分和所述第二堆叠配合，以便在所述第一堆叠的第一支脚部分的末端和所述第二堆叠之间产生空气间隙，所述空气间隙具有不同宽度的部分并被配置成产生所述非线性电感线圈的所要求的非线性电感特性；

设置在所述第一堆叠的第一支脚部分或其它支脚部分之一周围的绕组；其中，所述第二堆叠的各部分分别与所述第一堆叠的其它支脚部分邻接，以及其中，由所述第一堆叠的第一支脚部分和所述第二堆叠限定的所述空气间隙在所述第二堆叠的叠置方向上延伸所述第二堆叠的整个深度。

2. 如权利要求 1 所述的非线性电感线圈，其特征在于，所述第一叠片均具有 E 形状并包括中心支脚和末端支脚，并且其中，所述第一支脚是所述中心支脚，以及所述其它支脚构成所述末端支脚。

3. 如权利要求 1 所述的非线性电感线圈，其特征在于，所述第一堆叠中的第一预定数目的所述第一叠片对于所述第一支脚具有第一预定长度，而所述第一堆叠中的第二预定数目的所述第一叠片对于所述第一支脚具有第二预定长度，所述第一和第二预定长度不同，以及其中，所述第一和第二预定长度之间的差将第一预定数目的第一叠片的边缘与第二预定数目的第一叠片的边缘偏移，从而向第一支脚部分的末端提供台阶式轮廓并形成具有不同宽度的空气间隙部分。

4. 如权利要求 3 所述的非线性电感线圈，其特征在于，彼此以一比率来选择所述第一预定数目和第二预定数目，以便产生所述非线性电感线圈的所要求的电感特性。

5. 如权利要求 3 所述的非线性电感线圈，其特征在于，所述第一叠片均具有 E 形状并包括中心支脚和末端支脚，以及其中，所述第一支脚是所述中心支脚，以及所述其它支脚构成所述末端支脚。

## 低谐波整流电路

### 技术领域

本发明涉及在 ac 驱动系统中的输入侧整流器，并且尤其涉及其中所使用的电感线圈。

### 背景技术

现代 ac 驱动系统的两个主要子系统是输入侧整流系统和输出逆变系统。所述整流系统的目的是把来自电力源的输入 ac 电压转换为中间 dc 电压，而所述逆变系统的目的是把所述中间 dc 电压转换为可变频率并且可变幅度的 ac 输出电压。所述整流系统还用于诸如焊接、电镀和非间断电源之类的设备中。

所述输入整流系统由三相二极管电桥、ac 或 dc 侧电感线圈和 dc 总线电容器组成。所述三相二极管电桥把输入 ac 电压转换为 dc 电压。所述电感线圈和电容器充当中间 dc 电压的平滑滤波器。当这种整流系统连接到正弦电压电力源时，形成非正弦电流。由于这些谐波电流在电力网络上的副作用（诸如能量损耗和感测设备的故障），不希望有这些谐波电流。因此，减少由所述整流系统产生的谐波电流具有商业重要性。

谐波电流的幅度主要取决于所述 ac 或 dc 侧电感线圈值和在 dc 侧负载电流的平均值。一般说来，如果所述电感线圈值大，那么通常以总谐波失真百分比（%THD）测量的谐波线路电流的电平较低。但是所述电感线圈值越大，那么所述电感线圈尺寸越大并且其越昂贵。同时随着在整流电路上的负载从全负载减少到部分负载，所述%THD 增加。由于 ac 驱动对于大部分操作时间来说以部分负载操作，所以重要的是最小化在部分负载时整流电路的%THD。

本发明通过在整流电路的 ac 或 dc 侧中包括一个或多个非线性电

感线圈来降低所述整流电路的线路电流的%THD。特别地是，当与使用常规的（线性）电感线圈的整流电路相比较时，本发明降低了在部分负载的线路电流的%THD。作为额外的益处，本发明还降低了在部分负载时电流波纹对滤波电容器的应力。

## 发明内容

一种系统具有整流器，其具有用于连接到 ac 源的输入端和输出端；以及一种电感电容滤波器，连接到所述整流器的输出端，其中所述电感包括一个或多个非线性电感线圈。

一种系统具有整流器，其具有用于连接到 ac 源的输入端和输出端；一个或多个非线性电感线圈，连接在所述整流器的输入端和所述 ac 源之间；以及一种电容器，连接在所述整流器的输出端。

一种由磁性材料制造非线性电感线圈的方法。所述方法在所述磁性材料中提供空气间隙，其具有两个或更多宽度；并且调整两个或更多空气间隙宽度中的每个或者邻近于所述空气间隙的磁性材料的宽度，以便产生所述电感线圈的所要求非线性电感特性。

一种由具有不同宽度的磁性材料的叠片来制造非线性电感线圈的方法。所述方法堆叠所述叠片以便产生具有两个或更多宽度的空气间隙；并且调整所述空气间隙的宽度和所述叠片的数目，以便产生所述电感线圈的所要求非线性电感特性。

一种由具有不同宽度的磁性材料的叠片来制造非线性电感线圈的方法。所述方法至少堆叠具有一个不同宽度的预先确定数目的叠片和具有另一不同宽度的预先确定数目的叠片，以便产生具有两个或更多宽度的空气间隙；并且在所述堆叠中，调整具有一个不同宽度的预先确定数目的叠片和具有另一不同宽度的预先确定数目的叠片的布置，以便产生所述电感线圈的所要求的非线性电感特性。

一种非线性电感线圈具有第一叠片堆叠，其均具有相同的预定形状和至少一个支脚以及在所述至少一个支脚的末端的至少一个台阶。所述非线性电感线圈还具有第二叠片堆叠，其均具有与相邻的第一叠

片堆叠相同的预定形状以便形成磁通量的流通路，在所述至少一个支脚末端的至少一个台阶和第二叠片堆叠产生空气间隙，其在所述至少一个支脚和所述第二叠片堆叠之间具有两个宽度，以便产生所述非线性电感线圈的所要求的非线性电感特性。

一种非线性电感线圈具有第一叠片堆叠，其均具有相同的预定形状和至少一个支脚，在所述第一堆叠中第一预先确定数目的所述叠片对于所述一个支脚具有第一预先确定的长度，而在所述第一堆叠中第二预先确定数目的所述叠片对于所述一个支脚具有第二预先确定的长度。所述非线性电感线圈还具有第二叠片堆叠，其均具有与相邻的第一叠片堆叠相同的预定形状以便形成磁通量的流通路径，一个支脚和第二叠片堆叠产生空气间隙，其在所述至少一个支脚和所述第二叠片堆叠之间具有至少两个宽度，以便产生所述非线性电感线圈的所要求的非线性电感特性。

一种非线性电感线圈，其具有缠绕环形铁心的磁性材料带；和在所述铁心中具有至少两个宽度的空气间隙。

#### 附图说明

图 1 示出了具有 dc 侧滤波电感线圈的三相整流系统的示意图。

图 2 示出了具有 ac 侧滤波电感线圈的三相整流系统的示意图。

图 3 示出了通过图 1 的整流系统的电感线圈的电流，而图 4 示出了通过具有线性电感线圈的该系统的相位 A 的线路电流。

图 5 示出了通过图 1 的整流系统的电感线圈的电流，而图 6 示出了通过具有线性电感线圈的该系统的相位 A 的线路电流，并且在所述系统上的负载只是所述额定负载的预先确定的百分比。

图 7 示出了对于所述线性和非线性电感线圈的电感与操作电流的关系曲线。

图 8 示出了通过图 1 的整流系统的电感线圈的电流，而图 9 示出了通过具有非线性电感线圈的该系统的相位 A 的线路电流。

图 10 示出了通过图 1 的整流系统的电感线圈的电流，而图 11 示

出了通过具有非线性电感线圈的该系统的相位 A 的线路电流，并且在所述系统上的负载只是所述额定负载的预先确定的百分比。

图 12 示出了制造线性 dc 侧电感线圈的一个最通用的构造技术。

图 13 示出了使用 E 和 I 叠片制造非线性电感线圈的构造技术。

图 14 示出了使用 E 和 I 叠片制造非线性电感线圈的另一构造技术。

图 15 示出了以环形铁心的形式制造 dc 侧非线性电感线圈的构造技术。

图 16 示出了以环形铁心的形式制造 dc 侧非线性电感线圈的另一构造技术。

### 具体实施方式

现在参照图 1，示出了具有 dc 侧滤波电感线圈 12 的三相整流系统 10，所述 dc 侧滤波电感线圈 12 被标记为 L。如图 1 中所示，所述系统具有与 ac 输入 16 的三相 16a、16b 和 16c 直接连接的电桥 14。电桥 14 具有六个二极管 D1 到 D6。输入相 16a 在结点 14a 连接到二极管 D1 和 D2，输入相 16b 在结点 14b 连接到二极管 D3 和 D4，而输入相 16c 在结点 14c 连接到二极管 D5 和 D6。滤波电感线圈 12 连接在二极管 D1、D3 和 D5 中每一个的阴极和标记为 C 的电容器 18 的一端之间，所述电容器与负载 20 并联，所述负载 20 在图 1 中由标记为 Rload 的电阻器表示。电容器 18 的另一端连接到二极管 D2、D4 和 D6 中每一个的阳极。

图 2 示出了三相整流系统 22，其中电桥 14 经由三个滤波电感线圈 24a、24b 和 24c 连接到 ac 输入 16 的三相。除所述滤波电感线圈位置上的差异之外，系统 10 和 22 在其它方面是相同的，因此在图 2 中具有与图 1 中相应元件相同功能的元件，具有与在图 1 中用于该元件的相同的附图标记。

虽然以下结合图 1 的整流系统来描述本发明，然而所述描述同样适用于图 2 的整流系统。

现在参照图 3 和 4, 在图 3 中示出了通过电感线圈 12 的电流  $I_L$ , 而在图 4 中示出了具有线性电感线圈的整流电路的输入相 16a 的线路电流  $I_a$ 。线性电感线圈的电感作为通过所述线性电感线圈的电流的函数基本上恒定。例如, 电路元件值如下:

$V_{in} = 400V \text{ rms}$ , 在 50Hz, 线间电力电压

$L = 1100 \mu H$

$C = 1150 \mu F$

$R_{load} = 14 \Omega$

下面的表 1 以绝对值和作为总 rms 电流的百分比示出了线路电流  $I_a$  的谐波含量。所述电路以额定功率电平操作。

表 1

谐波的阶	谐波电流 (A)	RMS 电流的 %
基础	42.66	91.75
5 <sup>th</sup>	13.86	29.80
7 <sup>th</sup>	10.49	22.56
11 <sup>th</sup>	3.84	8.27
13 <sup>th</sup>	3.68	7.92
17 <sup>th</sup>	2.49	5.36
19 <sup>th</sup>	2.34	5.03
RMS 电流 (A)	46.50A	
% THD	39.78%	

现在参照图 5 和 6, 在图 5 中示出了通过所述电感线圈 12 的电流  $I_L$ , 而在图 6 中示出了具有线性电感线圈的整流电路的相 16a 的线路电流  $I_a$ , 但是其中在所述整流电路上的负载是额定负载的 33%, 即  $R_{load} = 42 \Omega$ 。下面的表 2 以绝对值和作为总 rms 电流的百分比示出了线路电流  $I_a$  的谐波含量。所述整流电路以 33% 的功率电平操作。



表 2

谐波的阶	谐波电流 (A)	RMS 电流的 %
基础	14.69	76.12
5 <sup>th</sup>	10.01	51.84
7 <sup>th</sup>	7.10	36.81
11 <sup>th</sup>	1.73	8.97
13 <sup>th</sup>	1.35	6.98
17 <sup>th</sup>	0.86	4.45
19 <sup>th</sup>	0.74	3.85
RMS 电流 (A)	19.30A	
% THD	64.85%	

比较来自表 1 和表 2 的谐波数据，示出了当线性电感线圈用于电感线圈 12 时，当与在额定负载的数据相比较时，以部分负载的谐波电流的百分比存在大幅度增长。

由非线性电感线圈来替换所述线性电感线圈实质上可以降低所述整流电路的线路电流的谐波电流量。所述非线性（也称作变感扼流圈）电感线圈在低电流具有较高电感值，而在高电流电平时具有较低电感值。图 7 示出了对于线性电感线圈和非线性电感线圈的电感与操作电流的关系曲线，其中在两个电感线圈中核心材料（叠片）量和绕组的匝数都是相同的。下面描述非线性电感线圈的构造方法。

图 8 和 9 分别示出了在具有 dc 侧非线性电感线圈的情况下，以额定负载的电感器电流  $I_L$  和输入相 16a 的线路电流  $I_a$ 。图 10 和 11 分别示出了在具有 dc 侧非线性电感线圈的情况下，以 33% 负载的电感器电流  $I_L$  和输入相 16a 的线路电流  $I_a$ 。下面的表 3 和 4 分别示出了以额定负载和以 33% 负载的谐波电流数据。

表 3

谐波的阶	谐波电流 (A)	RMS 电流的%
基础	42.51	94.16
5 <sup>th</sup>	11.11	24.60
7 <sup>th</sup>	8.27	18.31
11 <sup>th</sup>	4.47	9.90
13 <sup>th</sup>	2.99	6.62
17 <sup>th</sup>	2.48	5.48
19 <sup>th</sup>	2.09	4.64
RMS 电流 (A)	45.15A	
% THD	33.67%	

表 4

谐波的阶	谐波电流 (A)	RMS 电流的%
基础	14.88	88.86
5 <sup>th</sup>	5.83	34.81
7 <sup>th</sup>	4.51	26.94
11 <sup>th</sup>	1.23	7.36
13 <sup>th</sup>	1.36	8.14
17 <sup>th</sup>	0.81	4.81
19 <sup>th</sup>	0.80	4.78
RMS 电流 (A)	16.74A	
% THD	45.87%	

比较来自表 1 和表 3 的谐波数据，示出了当使用非线性电感线圈时，以额定电流的线路谐波比由所述线性电感线圈产生的谐波电流要低。比较来自表 2 和表 4 的谐波电流数据示出了，在部分负载时非线

性电感线圈产生比线性电感线圈实质上更低百分比的谐波电流。

现在参照图 12, 示出了用于制造线性 dc 侧电感线圈的最通用的构造方法。该方法分别使用了许多 E 和 I 型磁性材料叠片 30 和 32 和在所述 E 叠片的中间支脚 30c 周围的绕组 34。在所述 E 叠片的中间支脚 30c 引入恒定宽度的空气间隙 g1。也可能在所述 E 叠片的两个外支脚 30a、30b 中引入空气间隙。用于这类电感线圈的电感值 L 的近似方程是:

$$L \propto \mu_0 \frac{N^2}{\left( \frac{g1}{l} + \frac{gm}{\mu_r} \right)}$$

方程 1

其中:

g1 = 空气间隙

gm = 在所述叠片中的磁路长度

$\mu_0$  = 空气的磁导率

$\mu_r$  = 叠片材料的相对磁导率

N = 在所述绕组中的匝数。

由于所述叠片材料的相对磁导率  $\mu_r$  与在间隙 g1 中空气的相对磁导率 (等于 1) 相比较非常高 (大于 1000), 所以所述电感值与空气间隙 g1 的宽度成反比。在这类用于线性 dc 电感线圈的设计中, 如图 7 所示, 所述电感的值在所考虑的操作电流范围内是相当恒定的。在叠片 30, 32 中的磁通密度低于饱和磁通密度等级, 并且所述叠片材料的相对磁导率  $\mu_r$  相当高。在高电流电平时, 所述叠片 30, 32 开始饱和, 这意味着叠片材料的  $\mu_r$  开始迅速地减小。因此, 如在方程 1 中所见, 如图 7 所示, 电感值也开始减小。

图 13 示出了用于本发明的非线性电感线圈的两种构造方法之一。就像图 12 的线性电感线圈, 图 13 的非线性电感线圈分别使用了许多 E 和 I 叠片 40 和 42, 以及在所述 E 叠片 40 的中间支脚 40c 周围的绕组 44。

图 12 的线性 dc 侧电感线圈具有恒定的空气间隙宽度 g1。代替恒定的空气间隙宽度, 图 13 的非线性电感线圈的空气间隙对于 E 叠片

40 的一部分中间支脚 40c 来说具有台阶宽度  $g_2$  (其中  $g_2 < g_1$ )。用于构造非线性 dc 侧电感线圈的所有 E 叠片 40 具有同等地切割台阶空气间隙。可以改变 E 叠片 40 的中间支脚 40c 的宽度的比例, 所述中间支脚 40c 用于产生叠片 42 的较小空气间隙  $g_2$ , 以便实现所要求的非线性效果。例如, 用于在图 7 中示出的非线性电感线圈的电感与电流的关系曲线, 是通过选择间隙  $g_2$  的宽度等于间隙  $g_1$  宽度的 25% 来实现的, 并且小的空气间隙  $g_2$  的宽度是所述 E 叠片 40 的中间支脚 40c 宽度的 40%。

可以如下解释在图 13 中示出的 dc 侧电感线圈的非线性特征。在低操作电流, 叠片 40, 42 的  $\mu_r$  高, 并且由小的空气间隙  $g_2$  主要控制所述电感, 因此所述电感值高。随着操作电流增加, 在小的空气间隙下面的叠片材料开始饱和, 并且随着电感的随后急剧降低,  $\mu_r$  迅速地降低, 所述电感是在图 7 中示出的非线性电感线圈。

当把这种非线性电感线圈用作在图 1 的整流电路 10 中的 dc 侧滤波器电感线圈 12 时, 与在如图 5 所示的部分负载时由线性电感线圈产生的波纹相比较, 在低操作电流 (部分负载) 时的高电感值产生通过所述电感线圈的较低的电感波纹幅度, 如图 10 所示。由于部分负载时的非线性电感线圈, 当其与在表 2 中示出的部分负载时由线性电感线圈产生的谐波电流相比较时, 波纹电流的降低产生较低谐波电流, 如表 4 所示。

图 14 示出了用于构造本发明非线性电感线圈的第二种方法。在该构造中, 一些 E 叠片 50 的中间支脚 50c 具有叠片 52 的恒定宽度的空气间隙  $g_1$ , 而其余 E 叠片 50 的中间支脚 50c 具有叠片 52 的恒定宽度的空气间隙  $g_2$  (其中  $g_2 < g_1$ ) 的不同值。可以选择具有叠片 52 的小空气间隙与具有叠片 52 的大空气间隙的、具有中支脚 50c 的叠片 50 数目的比率, 以便实现所要求的非线性效应。通过选择该比率等于 2: 3 来实现在图 7 中示出的对于非线性电感线圈的电感与电流的关系曲线。

小和大空气间隙叠片可以处于彼此相互不同的位置。在图 14 的

非线性电感线圈中，用中间支脚 50c 的那些叠片示出了它们，所述中间支脚在整个堆叠的中心产生叠片 52 的小空气间隙。另一选择是反向所述布置，其中大空气间隙叠片处于所述堆叠的中心。一些其它的布置是：并排定位小和大空气间隙叠片，或者遍及 E 叠片 50 的堆叠均匀地分散小和大空气间隙叠片。

当在图 13 和 14 中示出的用于本发明的非线性电感线圈的构造在所述 E 叠片的中间支脚中使用了具有空气间隙的 E 和 I 叠片的堆叠时，应当理解：

a) 对于图 13 和 14 的实施例具有上述特征的空气间隙还可以对于图 13 的实施例来说在末端支脚 40a 和 40b 中的任一个或两个上，并且对于图 14 的实施例来说还可以在末端支脚 50a 和 50b 的任一个或两个上；并且

b) 在两个图中的非线性电感线圈也可以被具体化为例如只使用 E 叠片，或使用 U 形叠片和 I 叠片，或只使用 U 形叠片，或任何其它形状，或叠片形状的组合，其允许一个或多个间隙，所述间隙具有图 13 和 14 的实施例的上述特征。

图 15 以环形铁心 60 的形式示出了 dc 侧非线性电感线圈的构造方法。在该构造中，采用环形来缠绕磁性材料带。在轴向上由切割环形铁心 60 引入空气间隙 62。如图 15 所示，较大的空气间隙  $g_1$  位于环形铁心 60 的外缘，而较小的空气间隙  $g_2$  位于所述环形铁心 60 的中间。在这种意义上讲，图 15 的构造是图 13 的分级间隙 E-I 构造的环形等价物。

图 16 以环形铁心 70 的形式示出了 dc 侧非线性电感线圈的构造方法，如下所述其具有在构造上与图 15 的环形铁心 60 的空气间隙不同的空气间隙。在铁心 70 中，采用环形来缠绕磁性材料带。由切割环形铁心 70 在径向上引入空气间隙 72。但是代替恒定的空气间隙，在环形铁心 70 的外侧（直径）上的带或“叠片”具有比在所述环形铁心 70 内侧（直径）上的带或“叠片”中的空气间隙（ $g_2$ ）更大的空气间隙（ $g_1$ ）。在这种意义上讲，图 16 的构造是图 14 的可变间隙 E-I 构造

的环形等价物。

应当理解，所述优选实施例的描述仅仅意在说明本发明，而并非穷举本发明。那些普通技术人员在不脱离由附加权利要求所定义的本发明的精神或其范围的情况下，将能对所公开主题的实施例进行某些添加、删除和 / 或修改。

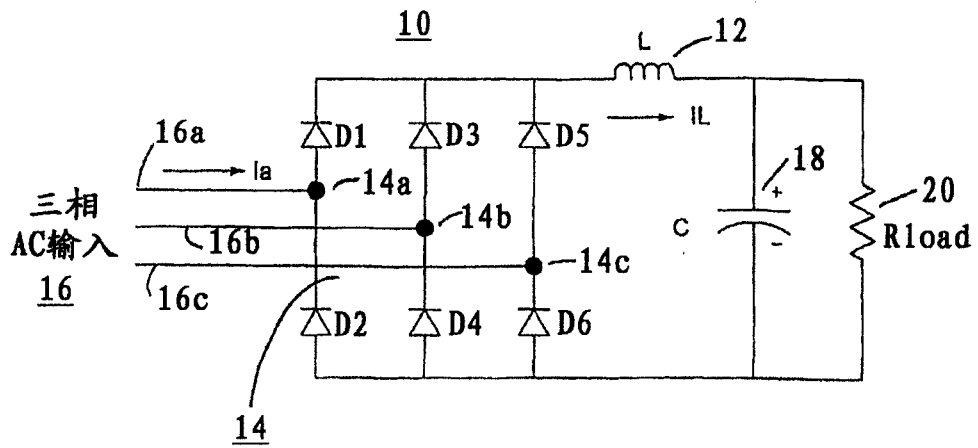


图1

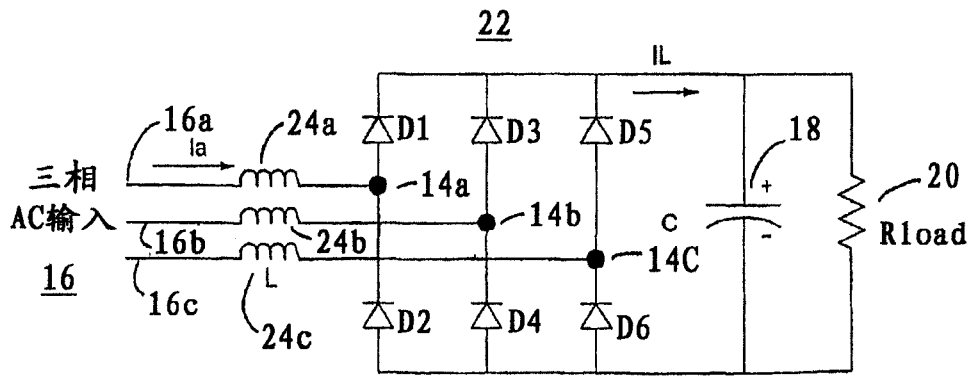


图2

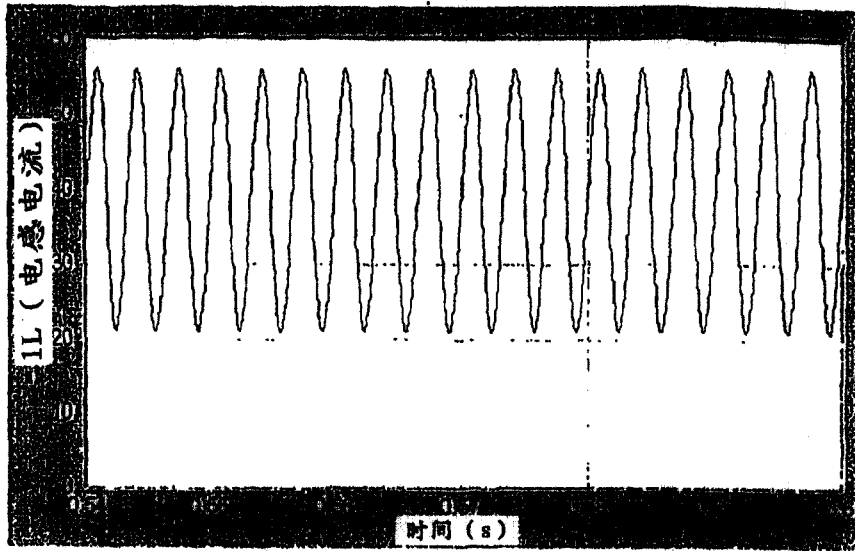


图 3

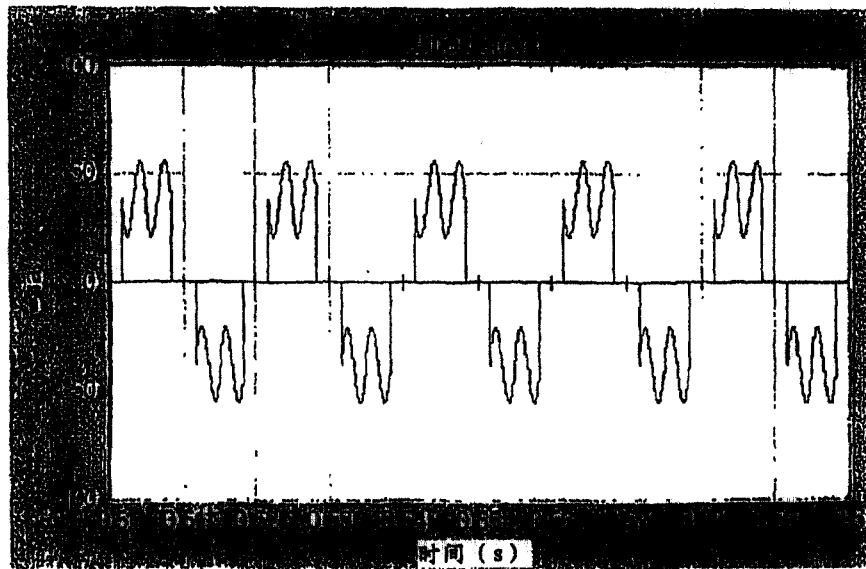


图 4



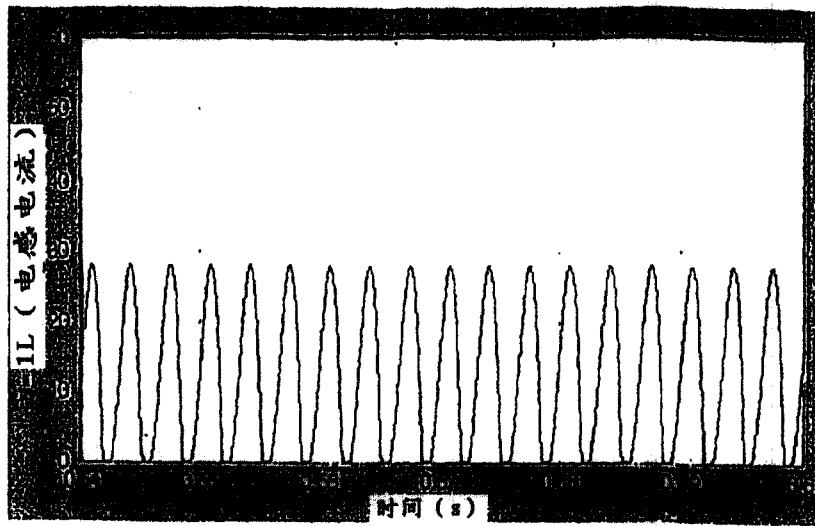


图 5

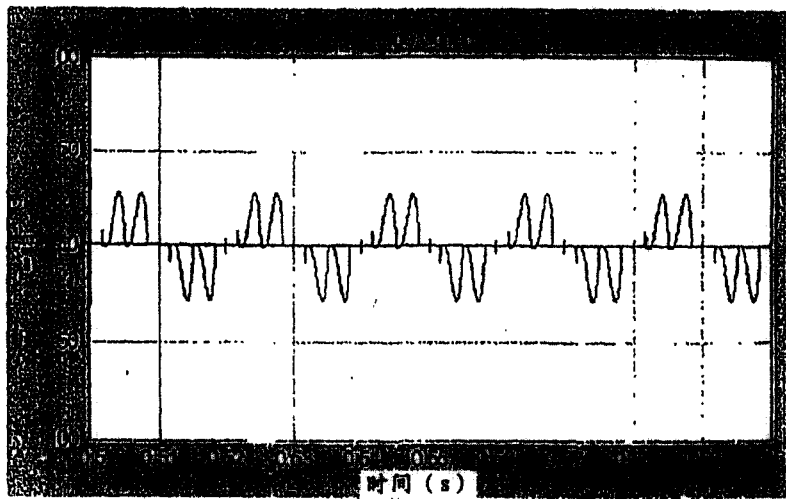


图 6

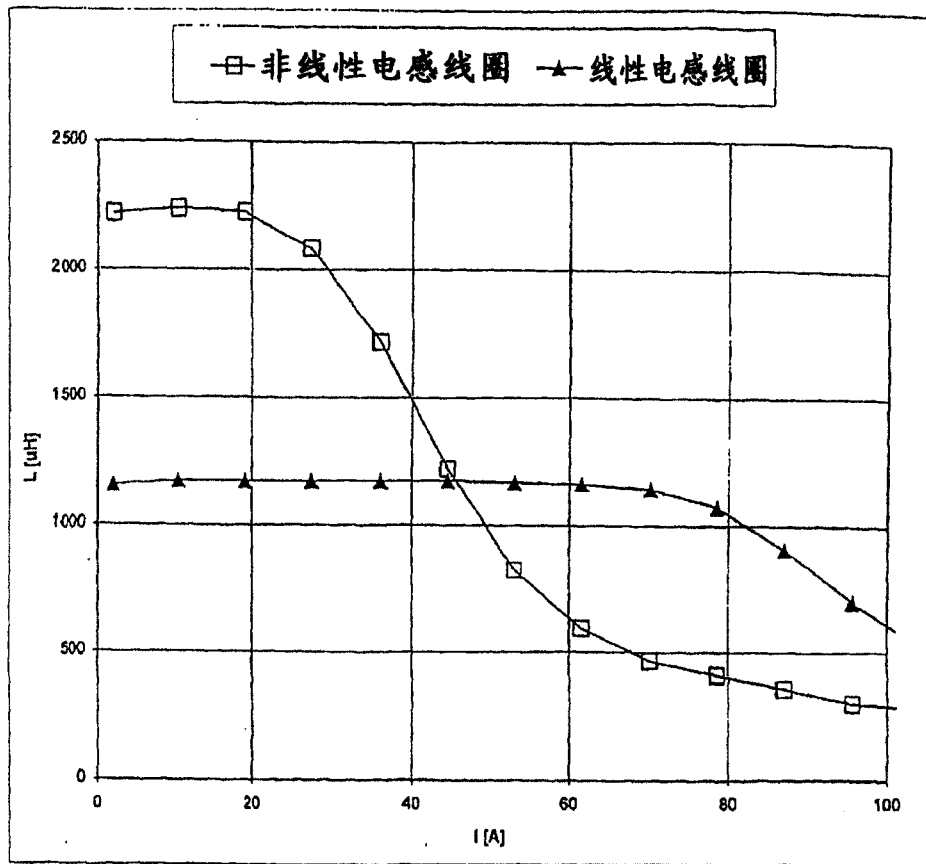


图7

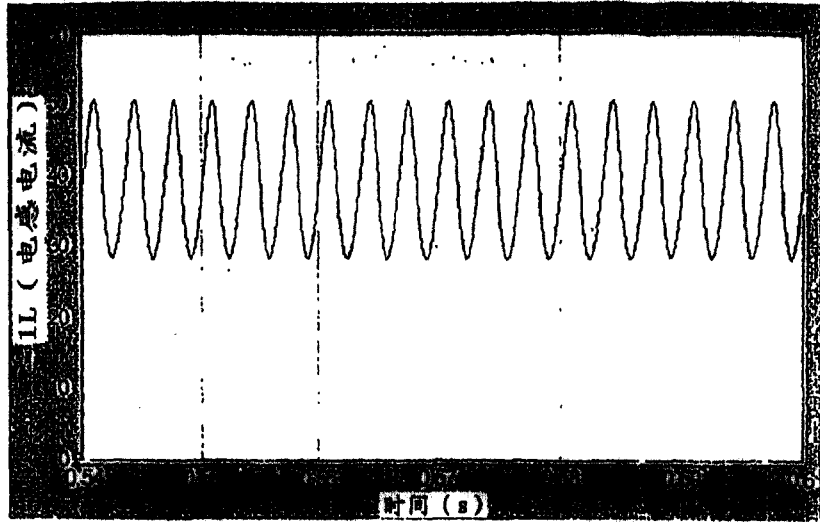


图8

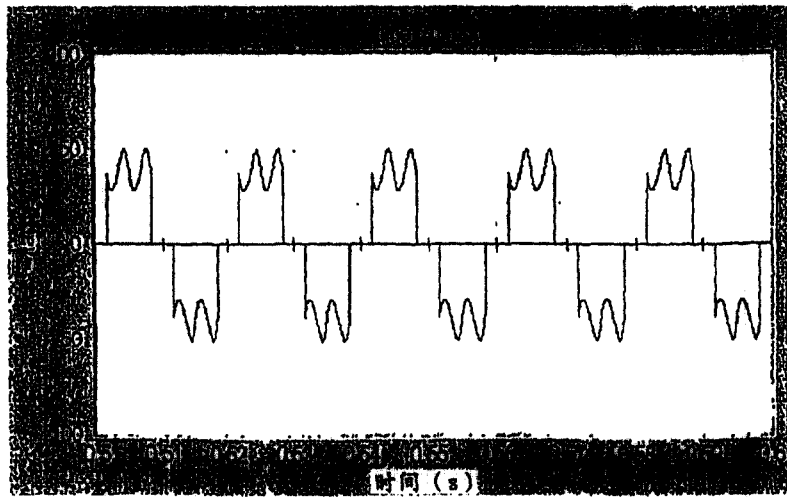


图9

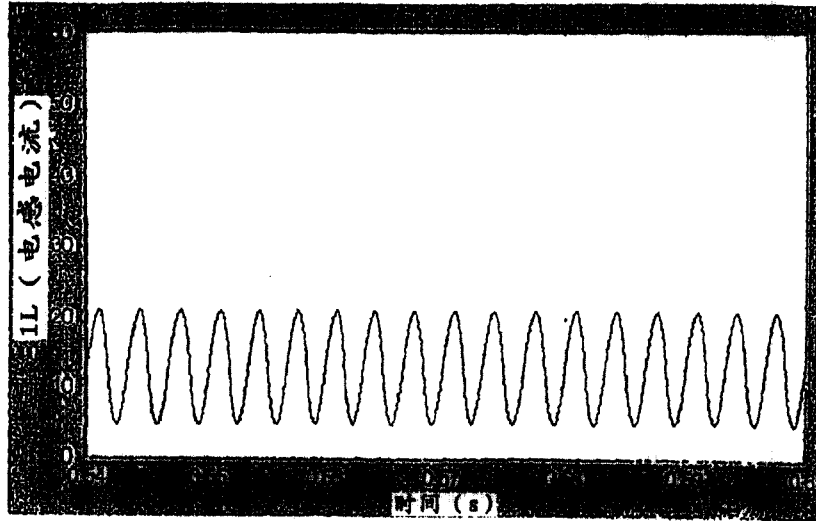


图 10

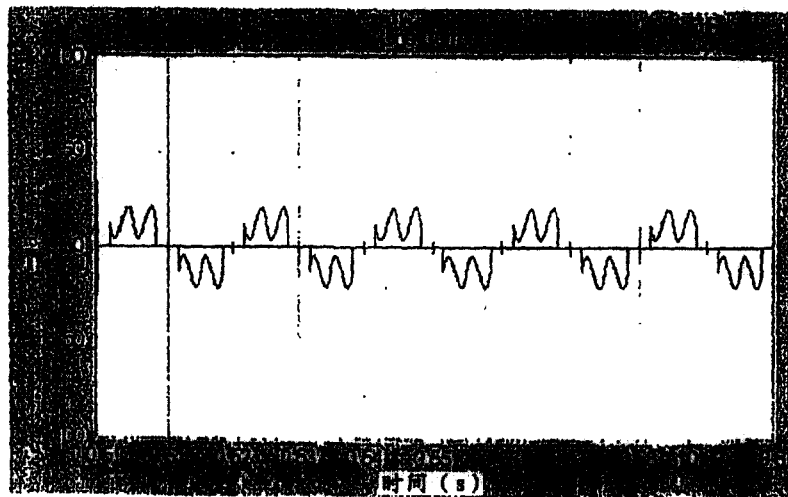


图 11

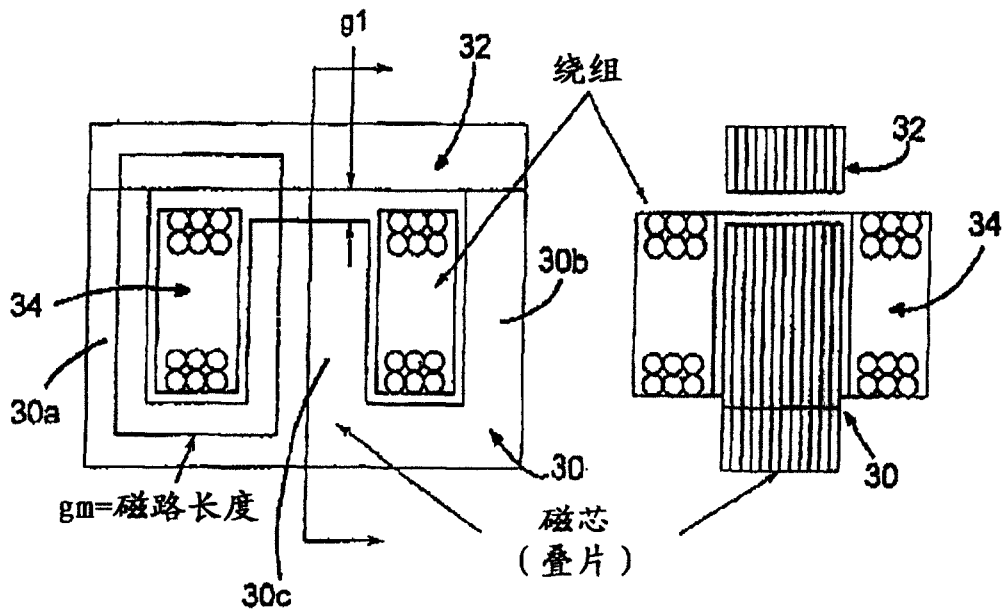


图12 (现有技术)

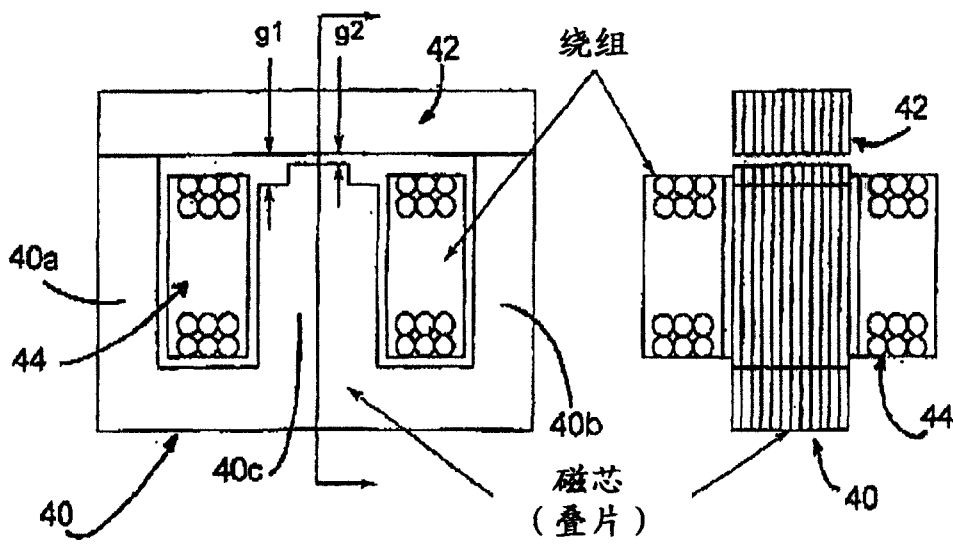


图13

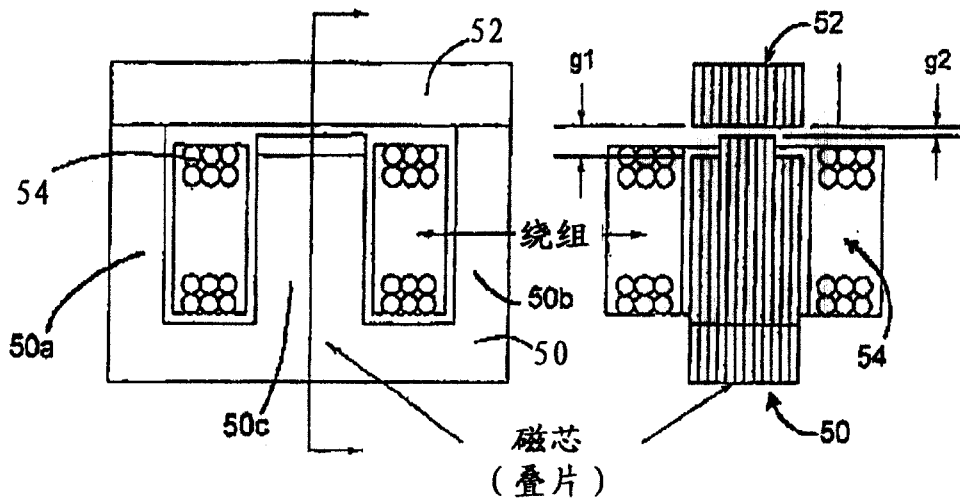


图 14

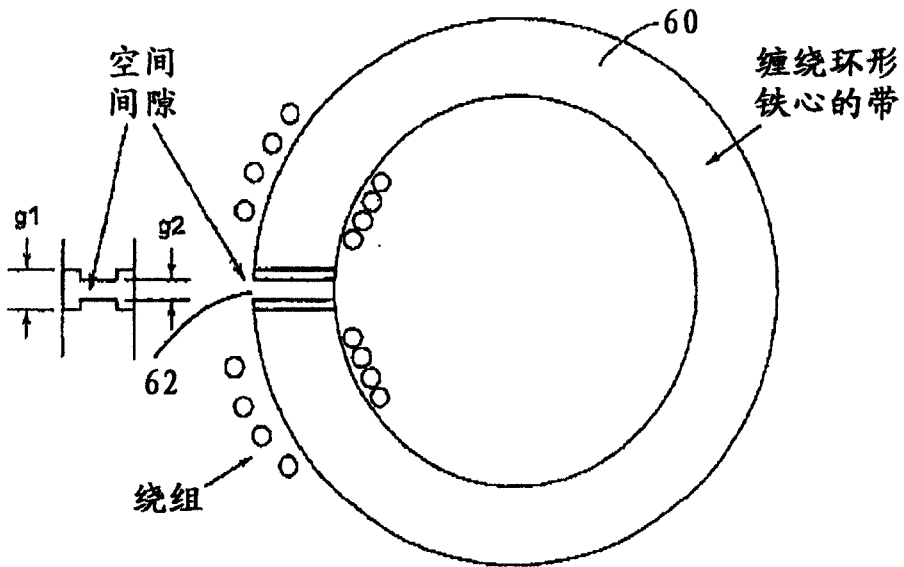


图 15

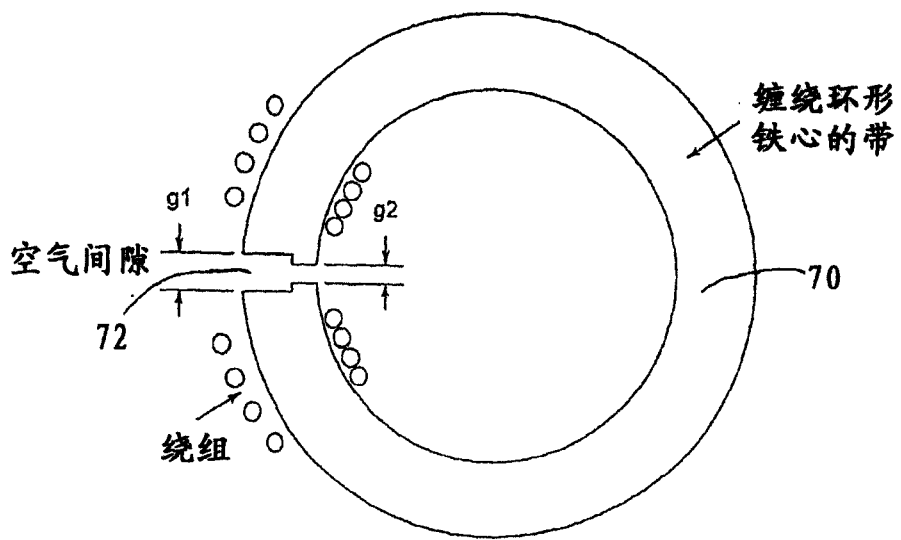


图16