

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101976965 B

(45) 授权公告日 2013. 04. 03

(21) 申请号 201010500490. 3

CN 101013860 A, 2007. 08. 08,

(22) 申请日 2010. 10. 08

吴春华等. 一种新型光伏并网逆变器控制策略. 《中国电机工程学报》. 2007, 第 27 卷 (第 33 期),

(73) 专利权人 江苏博纬新能源科技有限公司

地址 210000 江苏省南京市江宁区秣陵街道殷华街 50 号

冯展等. 基于 ZCT 软开关的光伏并网逆变器研究及实验. 《电气传动》. 2009, 第 39 卷 (第 4 期),

(72) 发明人 王小峰 杨树 蔡鹏 林建波
李桂年

审查员 王迅

(74) 专利代理机构 江苏圣典律师事务所 32237

代理人 朱庆华

(51) Int. Cl.

H02M 7/48 (2007. 01)

H02M 5/45 (2006. 01)

H02M 1/12 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101071948 A, 2007. 11. 14,

US 2009323379 A1, 2009. 12. 31,

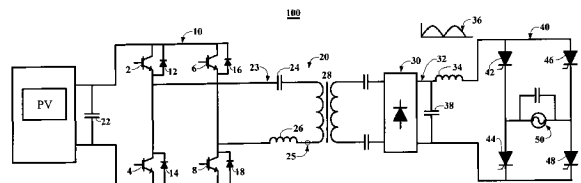
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 1 页

(54) 发明名称

直流跟踪控制的大功率光伏并网逆变器

(57) 摘要

一种高效的、谐波畸变率低的、大功率光伏并网逆变器 (100), 包括: 高频逆变器 (10)、串联谐振电路 (20)、快速不可控整流器 (30) 和工频逆变器 (40), 其中: 高频逆变器 (10) 用于将光伏阵列的电压变换为脉冲电平, 串联谐振电路 (20) 将脉冲电平变换为正弦电压和电流, 高频逆变器 (20) 根据直流跟踪控制输出电平脉冲, 使得串联谐振电路 (20) 的谐振幅度可连续调整, 且跟踪整流后的电网电压变化; 不可控整流器 (30) 将不同幅值的正弦电压变换为直流电压, 该直流电压跟踪整流后的电网电压变化; 工频逆变器 (40) 在电网电压过零点时切换触发, 用于将输出电压跟踪电网电压的变化。该逆变器可用于大规模的光伏发电系统高压并网。



1. 一种直流跟踪控制的大功率光伏并网逆变器 (100), 包括: 依次连接的高频逆变器 (10)、串联谐振电路 (20)、高压隔离变压器 (28)、快速不可控整流器 (30) 和工频逆变器 (40), 高频逆变器 (10) 用于将光伏阵列的电压变换为脉冲电平, 串联谐振电路 (20) 将脉冲电平变换为正弦电压和电流, 高压隔离变压器 (28) 用于隔离和升压, 高频逆变器 (10) 根据直流跟踪控制输出电平脉冲, 使得串联谐振电路 (20) 的谐振幅度连续调整, 且跟踪整流后的电网电压变化; 不可控整流器 (30) 将不同幅值的正弦电压变换为直流电压, 该直流电压跟踪整流后的电网电压变化; 工频逆变器 (40) 在电网电压过零点时切换触发, 用于将输出电压跟踪电网电压的变化, 其特征在于: 串联谐振电路 (20) 包括谐振电容器 (24) 和谐振外加电感 (26), 谐振电容器 (24) 与高压隔离变压器 (28) 的原边绕组的一端连接, 谐振外加电感 (26) 与高压隔离变压器 (28) 的原边绕组的另一端连接, 高压隔离变压器 (28) 的副边绕组的两端通过串联副边谐振电容与快速不可控整流器 (30) 连接, 高频逆变器 (10) 采用基于串联谐振软开关和 PWM 的混合调制方式连续地调节串联谐振的幅度, 高频逆变器 (10) 包括 4 个反并联快速二极管的开关器件, 4 个开关器件的不同导通方式输出正、零和负 3 种电平, 3 种电平与谐振电流的方向关系分为 3 种状态, 分别是正谐振、零谐振和负谐振, 每种状态作用时间为一个谐振周期, 且每种状态的切换是在谐振电流的过零点, 串联谐振的幅度由高频逆变器 (10) 输出的电平和电平作用的时间控制, 根据直流跟踪控制的输出直流电压给定值, 高频逆变器先通过离散式的 3 种状态快速粗调谐振幅度, 再通过连续式的 PWM 控制进一步精调串联谐振的幅度以精确地跟踪输出电压给定值, 且只有 PWM 控制时有开关损耗。

2. 根据权利要求 1 所述的光伏并网逆变器 (100), 其特征是, 直流跟踪控制是不可控整流器 (30) 的输出直流电压 (32) 要跟踪整流后的电网电压变化。

3. 根据权利要求 1 所述的光伏并网逆变器 (100), 其特征是, 输出电平为零, 为零谐振状态, 输出电平与谐振电流方向始终相同, 为正谐振状态, 输出电平与谐振电流方向始终相反, 为负谐振状态。

4. 根据权利要求 1 所述的光伏并网逆变器 (100), 其特征是, 一个谐振周期内, 谐振电流必然方向相反, 各半个周期, 每种状态的输出电平必然随着谐振电流变化, 零谐振时, 整个状态输出电平为零, 正谐振或负谐振状态在一个谐振周期内必然是输出两种电平: 正电平和负电平, 正电平和负电平的作用时间相同。

5. 根据权利要求 4 所述的光伏并网逆变器 (100), 其特征是, PWM 控制是在一个谐振周期内将正谐振或负谐振状态与零谐振状态结合, 通过控制正谐振或负谐振状态的作用时间来调整输出电平的宽度, 正谐振或负谐振状态作用时间为 t_{on} , 谐振周期为 T , 则占空比为 t_{on}/T , 且占空比在 $0 \sim 50\%$ 内变化。

6. 根据权利要求 1 所述的光伏并网逆变器 (100), 其特征是, 工频逆变器 (40) 采用耐压高、容量大的晶闸管, 在电网电压换向过零点切换触发, 使得不可控整流器 (30) 输出的电压完全跟踪电网电压的变化。

直流跟踪控制的大功率光伏并网逆变器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种逆变器,具体是高效的、谐波畸变率低的、大功率的、直流跟踪控制的光伏并网逆变器。

背景技术

[0002] 并网光伏发电技术是新能源领域最近十多年发展起来的一个重要方向,它将光伏发电系统直接与电网相连,省掉了体积大、价格高、不易维护的蓄电池。光伏并网逆变器要实现并网运行有两个基本要求必须满足:(1)输出的电压与电网的电压同频率、同相位、同幅值;(2)功率因数为-1,即输出的电流必须与电网的电压同频率、同相位。并网逆变器不需要蓄电池,输出直接连接到电网,为了不对电网造成谐波污染,对电能质量提出了更高的要求,一般要求谐波畸变率在5%以内。

[0003] 光伏并网逆变器的输出控制有电压控制方式和电流控制方式两种。由于电网可以视为容量无穷大的交流电压源,如果采用电压控制方式,则逆变器和电网是电压源和电压源并联运行的关系,在这种情况下要保证系统的稳定运行,就必须采用锁相控制技术以实现与电网的同步。如果逆变器的输出采用电流控制方式,则只需控制逆变器的输出电流相位跟踪电网电压的相位,保持正弦输出即可达到并网运行的目的。

[0004] 典型的光伏逆变器使用两个变换级,第一级被配置用于提供不变的直流电压,第二级被配置用于将不变的直流电压变换为交流电流。第一级通常是升压变换器,第二级是单相或三相逆变器。升压变换器为逆变器提供稳定的直流母线电压,逆变器按照SPWM方式控制开关器件的通断,使其向电网输出同频同相的交流电流。为了稳定地向电网馈送电流,直流母线电压一般为电网电压峰值的1.2~1.8倍,对于大功率的光伏阵列向高压输电网并网,并网时输出的电压和电流都较大,常见的开关器件难以承受,而二极管、晶闸管等耐压高、容量大的器件不易控制,且频率较低、响应慢。采用SPWM控制方式,产生不同宽度的同幅值脉冲电压调节输出电流的大小。开关频率很高时,较窄的脉冲电压难以实现,且脉冲调制的方式易产生冲击,向电网输出的电流必然含有大量的难以滤除的谐波,大功率光伏发电系统采用SPWM控制方式并入电网会使得电网不稳定,并入的功率很大时还可能导致电网故障,带来诸多恶劣的影响。

[0005] 经对现在技术文献的检索发现,陈兴峰、曹志峰、焦在强、许洪华在“基于DSP的20kW单相并网光伏逆变器”(电气应用,2005年第24卷第8期,p53-55)给出了基于DSP控制的20kW单相并网逆变器的设计方案和实验结果,该逆变器已投入示范运行,其效率达到93%,谐波畸变率为3%。根据2007年9月我国发布的《可再生能源中长期发展规划》,2020年,我国太阳能发电设备累计装机容量将达到2000MW,若2000MW光伏电能并入电网时产生3%的谐波畸变率,将对电网的稳定性产生很大的破坏,很可能导致整个电网的故障。而脉冲宽度调制的方式必然会带来谐波畸变,无法消除,进一步提高光伏并网逆变器的效率、减小甚至消除并网时谐波畸变率是大规模光伏阵列并网所必须要解决的关键问题。

发明内容

[0006] 本发明的目的在于克服上述现有技术中的不足,提出一种高效的、谐波畸变率低的大功率光伏并网逆变器。该逆变器可适应光伏阵列的输出电压变化,跟踪光伏阵列的最大功率点,且逆变器开关器件的损耗很低,效率很高。光伏阵列与电网之间采用高频变压器隔离保护,电网侧变换电路采用二极管和晶闸管,可适应大功率光伏阵列的高压并网需求。逆变器采用直流跟踪控制,使得输出电压直接跟踪电网电压,以使得馈送入电网的交流电流平滑,谐波含量大大减小。

[0007] 本发明是通过以下技术方案实现的,本发明包括:高频逆变器、串联谐振电路、高频隔离变压器、快速不可控整流器和工频逆变器。其中:高频逆变器用于将光伏阵列的电压变换为脉冲电平,且脉冲电平的作用时间可通过 PWM 方式调整,串联谐振电路将脉冲电平变换为正弦电压和电流,高频逆变器根据直流跟踪控制输出电平脉冲,使得串联谐振电路的谐振幅度可连续调整;高频变压器用于隔离和升压;不可控整流器将不同幅值的正弦电压变换为直流电压,该直流电压跟踪整流后的电网电压变化;工频逆变器用于将输出电压跟踪电网电压的变化。

[0008] 所述的直流跟踪控制,即不可控整流器的输出直流电压要跟踪整流后的电网电压变化。高频逆变器采用基于串联谐振软开关和 PWM 的混合调制方式可连续地调节串联谐振的幅度,因而不可控整流器的输出直流电压可连续的变化,快速地跟踪整流后的电网电压,因而此输出电压是平滑的,使得向电网中馈送的交流电流也是平滑的,消除了大量的谐波,谐波畸变率大大降低。

[0009] 所述的高频逆变器包括 4 个反并联快速二极管的开关器件,4 个开关的不同导通方式可输出正、零和负电平,3 种电平与谐振电流的方向关系可分为 3 种状态,分别是正谐振、零谐振和负谐振,每种状态作用时间为一个谐振周期,且每种状态的切换是在谐振电流的过零点。输出电平为零,为零谐振状态;输出电平与谐振电流方向始终相同,为正谐振状态;输出电平与谐振电流方向始终相反,为负谐振状态。串联谐振的幅度可由输出的电平和电平作用的时间控制,根据直流跟踪控制的输出直流电压给定值,高频逆变器先通过三种状态粗调串联谐振的幅度,其后还需要对每种状态进行 PWM 控制以使得串联谐振的幅度精确地跟踪输出电压给定值。一个谐振周期内,谐振电流必然方向相反,各半个周期,每种状态的输出电平必然随着谐振电流变化。零谐振时,整个状态输出电平为零;正谐振或负谐振状态在一个谐振周期内必然是输出两种电平:正电平和负电平,正电平和负电平的作用时间相同。PWM 控制是在一个谐振周期内将正谐振或负谐振状态与零谐振状态结合,通过控制正谐振或负谐振状态的作用时间来调整输出电平的宽度,正谐振或负谐振状态作用时间为 t_{on} ,谐振周期为 T ,则占空比为 t_{on}/T ,且占空比在 $0 \sim 50\%$ 内变化。三种状态是离散的控制方式,而 PWM 控制是一种连续的控制方式,三种状态用于快速粗调谐振幅度,PWM 控制进一步精调,两者结合可实现对串联谐振的幅度进行快速的连续控制,且只有 PWM 控制有开关损耗,整体上效率很高。

[0010] 所述的工频逆变器采用耐压高、容量大的晶闸管,在电网电压换向过零点切换触发,使得不可控整流器输出的电压完全跟踪电网电压的变化。

[0011] 与现有技术相比,本发明具有以下有益效果:第一、高频逆变器采用谐振软开关和 PWM 混合控制,只有 PWM 控制产生开关损耗,效率高;第二、输出电压可平滑地跟踪整流后的

电网电压变化,并网电流的谐波畸变率几乎消除;第三、并网侧变换简单,可采用耐压高、容量大的二极管和晶闸管,增强安全裕量;第四、高频逆变器的输入电压可变化,在光伏阵列后无需增加升压、稳压变换器;第五、工频逆变器控制简单、无损耗,并未增加该并网逆变器的控制复杂度。

附图说明

[0012] 图 1 为根据本发明的一个实施例。

[0013] 图 2 为三种状态与 PWM 的混合调制方式,1- 高频逆变器的输出电平,2- 谐振电流。I- 正状态;II- 负状态;III- 零状态;IV- 正状态,占空比 40%;V- 负状态,占空比 40%。

具体实施方式

[0014] 下面结合附图对本发明的实施例作详细说明:本实施例在以本发明技术方案为前提下进行实施,给出了详细的实施方式和过程,但本发明的保护范围不限于下述的实施例。因此,应当明白,所附的权利要求意欲涵盖落入本发明的真实精神的所有这些修改和改变。

[0015] 如图 1 所示,本实施例包括:稳压电容 22、高频逆变器 10、串联谐振电路 20、高频隔离变压器 28、快速不可控整流器 30、稳压电容 38、并网电感 34 和工频逆变器 40。其中:稳压电容 22 增强光伏阵列输出电压的稳定性;高频逆变器 10 用于将光伏阵列的电压变换为脉冲电平,串联谐振电路 20 用于将脉冲电平变换为正弦电压和电流,高频逆变器 10 控制输出电平及作用时间,使得串联谐振电路 20 可输出不同幅值的正弦交流电压 23 和电流 25;高频变压器 28 用于隔离和升压;不可控整流器 30 的输出电压 32 跟踪整流后的工频电网电压,稳压电容 34 使得输出的电压更加平滑;通过控制输出电压 32,使得电感 34 的电流 36 也跟踪整流后的电网电压变化,工频逆变器 40 用于将电流 36 变换为与电网电压同频率、同相位以馈送入电网。

[0016] 高频逆变器 10 采用基于串联谐振软开关和 PWM 的混合控制。4 个开关的不同导通方式可输出正、零和负电平,3 种电平与谐振电流的方向关系可分为 3 种状态,分别是正谐振、零谐振和负谐振,每种状态作用时间为一个谐振周期,且每种状态的切换是在谐振电流的过零点。输出电平为零,为零谐振状态;输出电平与谐振电流方向始终相同,为正谐振状态;输出电平与谐振电流方向始终相反,为负谐振。零谐振状态时,谐振电流为正,开关器件 2 或 8 导通,若开关器件 2 导通,二极管 16 导通使得串联谐振电路 20 形成回路,若开关器件 8 导通,二极管 14 导通使得串联谐振电路 20 形成回路;谐振电流为负,开关器件 4 或 6 导通,若开关器件 4 导通,二极管 18 导通使得串联谐振电路 20 形成回路,若开关器件 6 导通,二极管 12 导通使得串联谐振电路 20 形成回路。正谐振状态时,高频逆变器 10 向串联谐振电路 20 注入电能,谐振电流为正,开关器件 2 和 8 导通;谐振电流为负,开关器件 4 和 6 导通。负谐振状态时,串联谐振电路 20 中的电能向光伏阵列回流,开关器件全部关断,谐振电流为正,二极管 14 和 16 导通;谐振电流为负,二极管 12 和 18 导通。

[0017] 如图 2 所示,高频逆变器 10 的控制方式,串联谐振的幅度可由输出的电平和电平作用的时间控制。三种状态控制的一个谐振周期内,谐振电流必然方向相反,各半个周期,每种状态的输出电平必然随着谐振电流变化。零谐振状态时,整个状态输出电平为零;正谐振或负谐振状态在一个谐振周期内必然是输出两种电平:正电平和负电平,正电平和负电

平的作用时间相同。PWM 控制是在一个谐振周期内将正谐振或负谐振状态与零谐振状态结合,通过控制正谐振或负谐振状态的作用时间来调整输出电平的宽度,正谐振或负谐振状态作用时间为 t_{on} ,谐振周期为 T ,则占空比为 t_{on}/T ,且占空比在 $0 \sim 50\%$ 内变化。三种状态是离散的控制方式,而 PWM 控制是一种连续的控制方式,两者结合可实现对串联谐振的幅值进行连续控制。

[0018] 不可控整流器 30 的输出电压 32 跟踪整流后的电网电压变化,对电网电压采样,明确方向和电压的绝对值,以此作为给定电压,高频逆变器 10 调整串联谐振的电压和电流幅值跟踪给定电压变化,先通过三种状态粗调串联谐振的幅度,其后进行状态的 PWM 控制以使得串联谐振的幅度精确地跟踪输出电压给定值,以使得输出电压 32 快速响应电网电压的变化,且输出电压 32 可平滑地跟踪整流后的电网电压,使得电感 34 的电流 36 平滑、谐波畸变率小。

[0019] 外加电容器 24 与高频隔离变压器 28 的漏感组成了串联谐振电路 20,如果漏感不足以达到给定的谐振周期,可以外加电感 26。电容器和电感的容量确定,串联谐振的周期即固定,高频逆变器 10 的 3 种工作状态的作用时间为一个谐振周期,开关频率为串联谐振的频率。电容器的电压 23 需要检测,用于故障保护和限定谐振的幅度,以保护开关器件,且状态决策中也需要知道电容电压 23。

[0020] 工频逆变器 40 采用 4 个耐压高、容量大的晶闸管,在电网电压换向过零点切换触发,使得不可控整流器输出的电压 32 完全跟踪电网电压 50 的变化。电网电压 50 过零点后进入正半周,晶闸管 42 和 48 被触发,且在电网电压 50 的正半周内保持导通;电网电压 50 过零点后进入负半轴,晶闸管 44 和 46 被触发,且在电网电压 50 的负半轴内保持导通。工频逆变器 40 在电网电压 50 过零点触发晶闸管,因此开关频率为工频、不产生损耗,且控制简单,用模拟电路即可实现。

[0021] 根据本发明的实施例,光伏并网逆变器 100 采用谐振软开关和 PWM 的混合控制,只有 PWM 控制时产生开关损耗;输出电压直接跟踪电网电压的变化,向电网馈送的电流是光滑的,效率可达到 99% 以上,并网的谐波畸变率可控制在 0.5% 以内。

[0022] 元件列表

[0023] (2) 开关器件

[0024] (4) 开关器件

[0025] (6) 开关器件

[0026] (8) 开关器件

[0027] (10) 高频逆变器

[0028] (12) 快速二极管

[0029] (14) 快速二极管

[0030] (16) 快速二极管

[0031] (18) 快速二极管

[0032] (20) 串联谐振电路

[0033] (22) 稳压电容

[0034] (23) 谐振电容器电压

[0035] (24) 谐振电容器

- [0036] (25) 谐振电流
- [0037] (26) 谐振外加电感
- [0038] (28) 高频变压器
- [0039] (30) 不可控整流器
- [0040] (32) 输出电压
- [0041] (34) 电感
- [0042] (36) 电流
- [0043] (38) 稳压电容
- [0044] (40) 工频逆变器
- [0045] (42) 晶闸管
- [0046] (44) 晶闸管
- [0047] (46) 晶闸管
- [0048] (48) 晶闸管
- [0049] (50) 电网电压

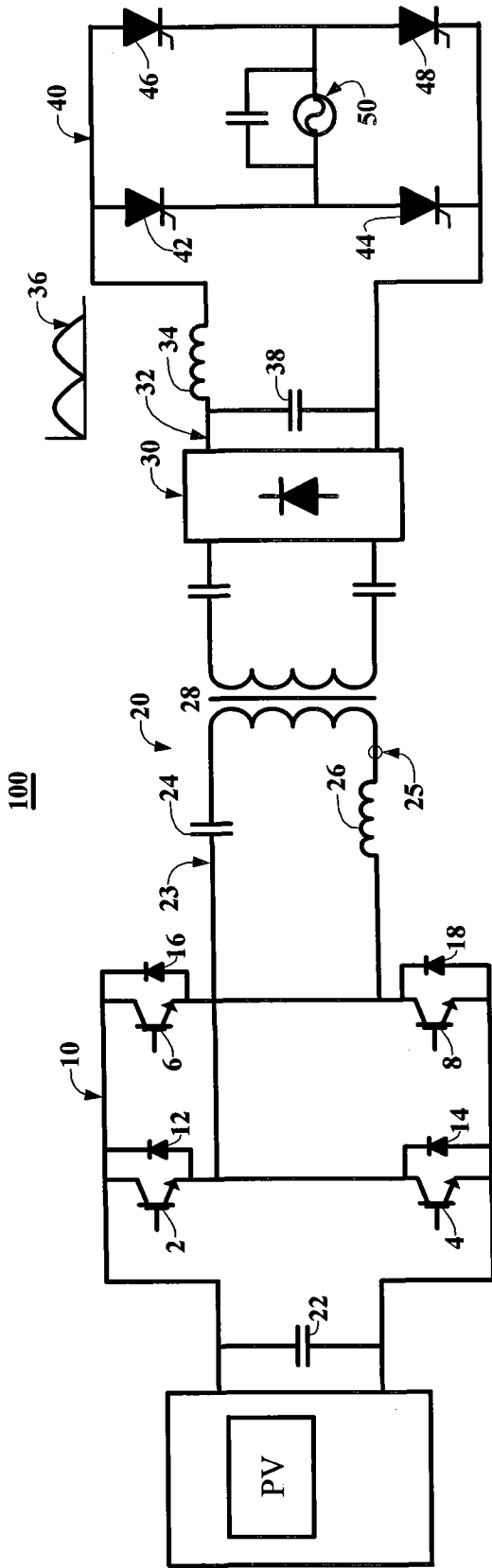


图 1

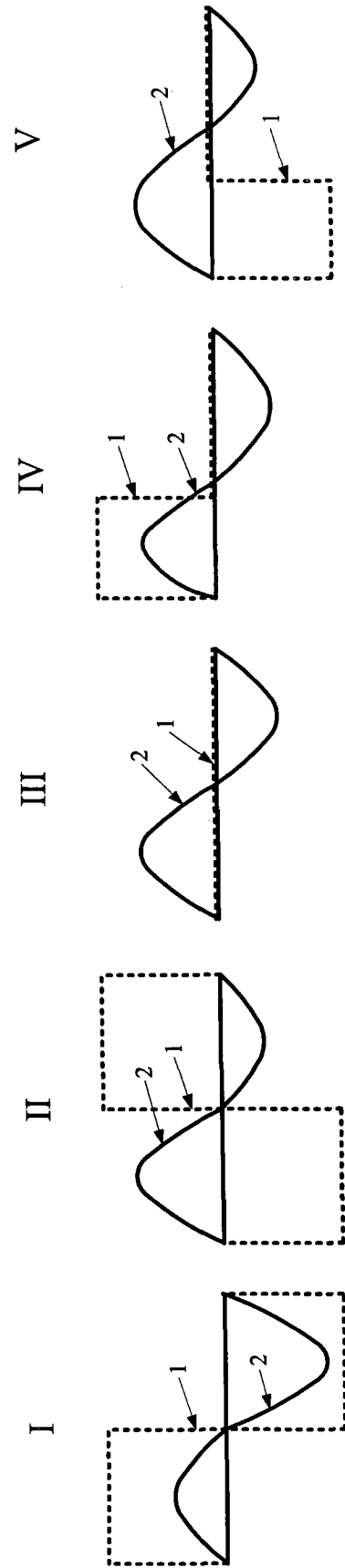


图 2