

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102305886 A

(43) 申请公布日 2012.01.04

(21) 申请号 201110142921.8

(22) 申请日 2011.05.31

(71) 申请人 浙江大学

地址 310027 浙江省杭州市西湖区浙大路
38号

(72) 发明人 徐海亮 贺益康 周鹏 章玮

(74) 专利代理机构 杭州求是专利事务所有限公司 33200

代理人 周烽

(51) Int. Cl.

G01R 19/00(2006.01)

G01R 25/00(2006.01)

G01R 23/02(2006.01)

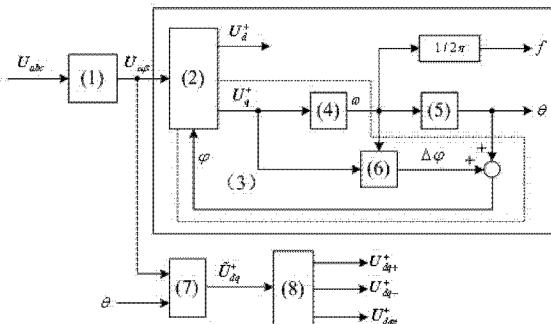
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 6 页

(54) 发明名称

电网电压谐波畸变及不平衡时基波电压同步
信号检测方法

(57) 摘要

本发明公开了一种电网电压谐波畸变及不平衡时基波电压同步信号检测方法。通过采用新型谐振式PLL，可快速补偿各类电网故障引起的相位跟踪误差，有效抑制电网电压中负序及谐波分量引起的频率波动、相位抖动，实现畸变电网中基波电压同步信号的准确检测。本发明方法不仅可以满足理想电网条件下电压频率、幅值和相位的检测要求，尤其适合电网电压跌落、不平衡或谐波污染等严重瞬态、稳态电网故障下基波电压同步信号的捕获，并能实现电压中基波正序、负序与谐波分量的快速提取。本发明具有检测精度高、实时性好的特点，可为各种风力发电机组、太阳能光伏并网装置、可逆调速传动系统及动态无功补偿器等并网电力设备的运行控制提供准确的控制基准。



1. 一种电网电压谐波畸变及不平衡时基波电压同步信号的检测方法,其特征在于,包括以下步骤:

(1)利用一组(三个)电压霍尔传感器采集三相电网电压信号;

(2)将采集到的电网电压信号 \bar{U}_{abc} 经过静止三相/两相坐标变换,得到包含正、负序及谐波分量在内的电网电压综合矢量 \bar{U}_{abc} ;

(3)利用相位角 φ 对得到的静止坐标系中电网电压综合矢量 \bar{U}_{abc} 进行正转同步速旋转坐标变换,得到正转同步速旋转坐标系中包含负序与谐波分量的电网电压综合矢量 \bar{U}_{dq}^+ ;

(4)将步骤(3)所获得的电网电压综合矢量 \bar{U}_{dq}^+ 的q轴信号送入到所设计的PI控制器进行调节,获得正序基波电压的角频率 ω ,则电网频率 $f=1/(2\pi\omega)$;对获得的正序基波电压的频率 ω 进行积分运算,获得电网电压正序基波的相位角 θ ;

(5)将步骤(3)所获得的电网电压综合矢量 \bar{U}_{dq}^+ 的q轴信号送入所设计的谐振式PLL进行调节,获得电网电压的真实相位角 φ ;

(6)对步骤(2)所获得的电网电压综合矢量 \bar{U}_{abc} 利用步骤(4)得到的相位角 θ 重新进行正转同步速旋转坐标变换,得到电网电压综合矢量 \bar{U}_{dq}^+ ;

(7)将步骤(6)获得的电网电压综合矢量 \bar{U}_{dq}^+ 送入相序分离模块,得到电网电压的基波正序分量 \bar{U}_{dq+}^+ 、基波负序分量 \bar{U}_{dq-}^+ 和n次(n代表5或7)谐波分量 \bar{U}_{dqn}^+ ;步骤(4)获取的电网频率 f 、相位角 θ 和步骤(7)获取的电网电压的正序基波分量 \bar{U}_{dq+}^+ 共同构成了本发明所需要检测的电网电压谐波畸变及不平衡时基波电压的同步信号。

2. 根据权利要求1所述的一种电网电压谐波畸变及三相不平衡时基波电压同步信号的检测方法,其特征在于,步骤(4)所述的电压的角频率 ω 和相位角 θ 通过以下子步骤来获取:

(= 1 * roman i)利用谐振式软件PLL输出反馈相位信号 φ 对 \bar{U}_{abc} 进行正转同步速旋转坐标变换,得到正转同步速旋转坐标系中包含直流分量与2倍频、6倍频交流分量之和的电压综合矢量 \bar{U}_{dq}^+ ;

(= 2 * roman ii)将正转同步速旋转坐标系中电压综合矢量 \bar{U}_{dq}^+ 的q轴分量 \bar{U}_q^+ 送入PI控制器,得到三相定子电压正序分量的角频率 ω ;

(= 3 * roman iii)将得到的三相定子电压角频率 ω 进行积分运算,获得三相定子电压正序分量的相位角 θ ;

(= 4 * roman iv)采用如(ii)相同的步骤将电压综合矢量 \bar{U}_{dq}^+ 的q轴分量 \bar{U}_q^+ 送入谐振式补偿器,得到三相定子电压相位跟踪补偿相位角 $\Delta\varphi$;

(= 5 * roman v)将步骤(= 3 * roman iii)得到的电网相位角 θ 与步骤(= 4 *

roman iv) 得到的补偿相位信号 $\Delta\varphi$ 进行加法运算, 即可获得反馈相位信号 φ , 即 $\varphi = \theta + \Delta\varphi$, 进而构成闭环控制。

3. 根据权利要求 1 所述的一种电网电压谐波畸变及三相不平衡时基波电压同步信号的检测方法, 其特征在于, 步骤(5)所述的谐振式 PLL 由传统 PLL 加上两个谐振频率分别为 2 倍、6 倍电网频率的谐振补偿器(Resonant compensator, 以下简称“R 补偿器”)并联组成, 可同时实现对电网电压 5 次、7 次谐波分量及负序分量引起的相位扰动的有效抑制。

4. 根据权利要求 1 所述的一种电网电压谐波畸变及不平衡时基波电压同步信号的检测方法, 其特征在于, 步骤(7)所述的相序分离模块由两组前后两级陷波频率分别为 300Hz、100Hz 的陷波器串联组成, 通过对输入两级陷波器前后的信号分别作加减法运算获得电网电压的基频正序、负序分量以及谐波分量。

电网电压谐波畸变及不平衡时基波电压同步信号检测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种电网电压谐波畸变及不平衡时基波电压同步信号检测方法,适用于并网型逆变器、无功补偿器、不间断电源等电力设备控制中基准信号的检测,尤其适合于非理想电网条件下风力发电机组增强运行能力控制,以及四象限可逆交流调速传动系统高性能控制所需的电网基波电压相位、幅值和频率的快速获取。

背景技术

[0002] 近年来,随着不可控整流器、不可逆交流调速传动系统、无功补偿装置、太阳能光伏发电并网逆变器及单相供电的电力机车等电力电子设备在电力系统中的广泛应用,电网电压谐波污染及三相不平衡问题日趋严重,造成电网电压、电流波形畸变和负序分量的生成,影响所接其他负载的安全运行。特别是在分布式发电系统(风力发电、太阳能光伏发电等)大规模并网的地区,各种电力电子设备的集中使用,使得局部电网电压波形畸变十分严重。与此同时,这些地区的电网往往处于偏远的电力系统末端,系统的稳定性较差,易发生各类电网故障,引起电网电压骤降、相位跳变、三相电压不对称等问题,影响到用作控制基准的电网基波电压频率、相位和幅值的准确检测,恶化了控制系统、特别是矢量控制系统的运行性能,给各种电力电子设备的运行控制带来困难。因此,在电网发生故障导致电压波形畸变及三相不平衡时,对电压基波同步信号的快速准确检测就成为各种电力电子设备实现有效运行控制的前提和关键。

[0003] 正常电网条件下电网中只存在基波正序电压,采用传统的电压过零检测或锁相环(Phase-locked loop, PLL)技术即可方便地获得电压同步信号作为控制基准。但是当电网电压含有低次谐波及三相不平衡时,因传统锁相环不能抑制谐波及负序分量的干扰,使故障电网电压的过零点并非其基波的过零点,产生了检测误差。一种简单的处理办法是将畸变电压实行信号滤波并作相位补偿后作为基波电压来使用,但这将导致响应速度变慢且电压幅值检测存在较大误差。

现有改进传统 PLL 检测方法可以归纳为三类:

1. 采用滤波器的方法。为了排除谐波和负序分量对基波电压正序分量频率和相位检测的影响,通常采用低通滤波器或者陷波器滤除 q 轴电网电压中的交流分量来保持 U_q^+ 为直流量,以满足 PI 控制器的有效工作条件并维持其输出(电网电压频率 ω)的稳定。这种方法可以有效滤除谐波和负序分量的干扰,但因在控制闭环中引入了滤波器而严重影响 PLL 的动态响应速度,导致对基波电压正序分量频率、相位和幅值检测的滞后。

[0004] 2. 采用相序分离的方法。为了消除电网电压中所含的谐波及负序分量,锁相环中采用基于对称分量法的相序分离方法或改进相序分离方法来提取所需要的基波电压信号。虽然这种方法也会引入正、负序分离的时延,但由于相序分离处理位于 PLL 控制环之外,因而对 PLL 动态性能无影响。这类方法的缺陷是相序分离计算复杂且对电网频率扰动极为敏感。

[0005] 3. 改进控制器的方法。为了克服上述两类检测方法的缺陷,改进传统 PLL 中

的 PI 控制器成为锁相环研究的热点。比较典型的是采用超前 / 滞后控制器 (Lag/lead controller) 取代 PI 调节器对 \dot{U}_q^+ 进行调节。这种改进调节器采取增大控制系统带宽以提高动态响应速度, 同时还具有滤除中的二倍频(负序)和指定次数谐波的能力。但这类控制器的设计需解决系统稳定性与动态响应速度之间的矛盾, 系统控制参数设计较为复杂。

[0006] 通过以上分析可见, 现有电网电压谐波畸变及三相不平衡时基波电压同步信号的检测方法的核心内容是力图克服电网电压中谐波和负序分量对 PI 控制器的影响。这是因为当电网谐波畸变及三相不平衡时, 正转同步旋转坐标系中表达的电网电压 dq 轴分量均含有 6 倍频 (300Hz) 和 2 倍频 (100Hz) 脉动分量。传统 PLL 所采用的 PI 控制器受调节带宽和增益裕度的限制难以实现对交流分量的有效调节, 导致同步旋转坐标系中输出电压幅值、频率的波动和锁相角的抖动, 严重影响了检测效果。

发明内容

[0007] 本发明的目的在于针对现有技术的不足, 提供一种电网电压谐波畸变及不平衡时基波电压同步信号的检测方法。

[0008] 本发明的电网电压谐波畸变及不平衡时基波电压同步信号检测方法, 包含以下步骤:

1. 利用一组(三个)电压霍尔传感器采集三相电网电压信号 \dot{U}_{abc} ;
2. 将采集到的定子电压信号 \dot{U}_{abc} 经过静止三相 / 两相坐标变换, 得到包含电压谐波及正、负序分量的电网电压综合矢量 $\dot{U}_{\alpha\beta}$;
3. 利用相位角 ϕ 对所得到的静止坐标系中电网电压综合矢量 $\dot{U}_{\alpha\beta}$ 作正转同步速旋转坐标变换, 得到正转同步速旋转坐标系中的电网电压综合矢量 \dot{U}_{dq}^+ ;
4. 将步骤 3 所获得的电网电压综合矢量 \dot{U}_{dq}^+ 的 q 轴信号送入所设计的 PI 控制器进行调节, 获得电网正序基波电压的频率 ω , 则电网频率 $f = \omega / (2\pi)$; 对获得的正序基波电压的频率 ω 进行积分运算, 即可获得电网正序基波电压的相位角 θ ;
5. 将步骤 3 所获得的电网电压综合矢量 \dot{U}_{dq}^+ 的 q 轴信号送入所设计的谐振式 PLL 进行调节, 获得电网电压的真实相位 ϕ , 具体步骤为:
 - 5.1 利用谐振式 PLL 输出的反馈相位信号 ϕ 对 $\dot{U}_{\alpha\beta}$ 进行正转同步速旋转坐标变换, 得到正转同步速旋转坐标系中含有直流分量与 2 倍频、6 倍频交流量之和的电压综合矢量 \dot{U}_{dq}^+ ;
 - 5.2 将正转同步速旋转坐标系中电压综合矢量 \dot{U}_{dq}^+ 的 q 轴分量 \dot{U}_q^+ 送入 PI 调节器, 获得三相电网电压正序分量的角频率 ω ;
 - 5.3 将步骤 5.2 得到的三相电网电压角频率 ω 进行积分, 获得三相电网电压正序分量的相位角 θ ;
 - 5.4 采用如 5.2 相同的步骤将电压综合矢量 \dot{U}_{dq}^+ 的 q 轴分量 \dot{U}_q^+ 送入谐振补偿器, 得到

三相电网电压相位跟踪补偿相位角 $\Delta\varphi$ ；

5.5 将步骤 5.3 得到的电网电压相位角 θ 与步骤 5.4 得到的补偿相位信号 $\Delta\varphi$ 进行加法运算，即可获得真实相位信号 φ ，即 $\varphi = \theta + \Delta\varphi$ ，进而构成闭环控制；

6. 对步骤 2 所获得的电网电压综合矢量 \tilde{U}_{dq} 根据步骤 5 得到的相位 θ 重新进行正转同步旋转坐标变换，得到电网电压综合矢量 \tilde{U}_{d1}^+ ；

7. 将步骤 6 得到的正转同步速旋转坐标系中电压综合矢量 \tilde{U}_{d1}^+ 送入所设计的相序分离模块，得到电网电压正序基频分量 U_{dq+}^+ 、负序基频分量 U_{dq-}^+ 和 n 次谐波分量 U_{dqn}^+ ，具体步骤是：

7.1 将正转同步速旋转坐标系中电压综合矢量 U_{d1}^+ 送入所设计的相序分离模块，经过前后两级截止频率分别为 300Hz 和 100Hz 的陷波器可直接获得电网电压的正序基频分量 U_{dq+}^+ ；

7.2 将经过前级陷波器与后级陷波器滤波的电压信号相减，即可获得负序电压分量 U_{dq-}^+ ；

7.3 将输入信号与经过前级陷波器滤波的信号相减，即可获得 n 次谐波分量 U_{dqn}^+ ；步骤 4 获取的电网频率 f 、相位角 θ 和步骤 7 获取的电网电压的正序基波分量 U_{dq+}^+ 共同构成了本发明所需要检测的电网电压谐波畸变及不平衡时基波电压的同步信号。

[0009] 本发明的有益效果是，本发明电网电压谐波畸变及不平衡时基波电压同步信号检测方法能够快速、准确获得基波同步信号的相位、频率和幅值等信息，无需采用大量滤波器进行滤波处理，也无需复杂的坐标旋转计算，且不受频率波动的影响，硬件要求低，算法简单，易于工程实现，能够为并网风电机组和其他并网电力电子设备在非理想电网条件下的运行提供可靠控制基准。

附图说明

[0010] 图 1 表示本发明中的电网电压谐波畸变及三相不平衡时基波同步电压信号的检测方法原理图。

[0011] 图 2 表示本发明中相序分离模块的结构示意图；

图 3 表示锁相得到的电网电压矢量 U_{PLL} 与实际电网相矢量 U 之间的空间位置关系图。

[0012] 图 4 表示传统 PLL 锁相环原理性结构图。

[0013] 图 5 表示电网发生谐波畸变及瞬时三相不平衡故障时采用传统 PLL 锁相方法得到的仿真波形图，图中， $t = 0.25s$ 时刻因突加非线性负载导致电网电压发生谐波畸变及三相不平衡， $t = 0.35s$ 时刻非线性负载切除；图中(a)~(d) 分别代表电网三相电压、电网频率、相位角和电压 dq 轴分量。

[0014] 图 6 表示电网发生谐波畸变及瞬时三相不平衡故障时采用本发明检测方法得到的仿真波形图，图中， $t = 0.25s$ 时刻因突加非线性负载导致电网电压发生谐波畸变及三相

不平衡, $t = 0.35s$ 时刻非线性负载切除。图中(a)~(g)分别代表电网三相电压、电网频率、相位角、综合电压 dq 轴分量、基波电压正序 dq 分量、基波电压负序 dq 分量、电压谐波 dq 分量。

[0015] 图 7 表示电网发生谐波畸变及瞬时三相不平衡故障时采用传统 PLL 锁相方法得到的频率、相位实验波形图;图中 U_{av} 、 f 、 θ 和 $Flag$ 分别表示电网三相电压、电网频率、电压相位和故障起止时间标志位。

[0016] 图 8 表示电网发生谐波畸变及瞬时三相不平衡故障时采用传统 PLL 锁相方法得到的基波电压实验波形图;图中 U_{av} 、 U_d^+ 、 U_q^+ 和 $Flag$ 分别表示电网三相电压、正转同步坐标系下基波电压 d、q 轴分量和故障起止时间标志位。

[0017] 图 9 表示电网发生谐波畸变及瞬时三相不平衡故障时采用本发明检测方法得到的频率、相位实验波形图;图中 U_{av} 、 f 、 θ 和 $Flag$ 分别表示电网三相电压、电网频率、电压相位和故障起止时间标志位。

[0018] 图 10 表示电网发生谐波畸变及瞬时三相不平衡故障时采用本发明检测方法得到的基波正序电压实验波形图;图中 U_{av} 、 U_{d+}^+ 、 U_{q+}^+ 和 $Flag$ 分别表示电网三相电压、正转同步坐标系下基波电压正序 d、q 轴分量和故障起止时间标志位。

[0019] 图 11 表示电网发生谐波畸变及瞬时三相不平衡故障时采用本发明检测方法得到的基波负序电压实验波形图;图中 U_{av} 、 U_{d-}^+ 、 U_{q-}^+ 和 $Flag$ 分别表示电网三相电压、正转同步坐标系下基波电压负序 d、q 轴分量和故障起止时间标志位。

[0020] 图 12 表示电网发生谐波畸变及瞬时三相不平衡故障时采用本发明检测方法得到的谐波电压实验波形图;图中 U_{av} 、 U_{dq}^+ 、 U_{dq}^- 和 $Flag$ 分别表示电网三相电压、正转同步坐标系下谐波电压 d、q 轴分量和故障起止时间标志位。

具体实施方式

[0021] 本发明提供一种工程实现较为简单的电网电压谐波畸变及不平衡时基波电压同步信号的检测方法,该方法只需要在常规 PLL 中增加两个谐振频率分别为 2 倍、6 倍电网频率的谐振补偿器即可有效减轻电网电压谐波及负序分量对基波电压频率、相位、幅值检测的影响。同时,三相电网电压对称时所加入的谐振补偿器输出为零,不会对 PLL 的稳态性能产生影响,不会妨碍正常电网条件下的检测效果,因而具有较强的鲁棒性。此外,本发明还提供了一种基于多频陷波器的相序分解方法,必要时可准确分离出电网电压基波正序、负序分量及谐波分量,并且因其处于锁相环之外,故不会引起相位检测时延和控制误差。

[0022] 下面结合附图和实施案例对本发明作进一步说明。

[0023] 参照图 1,本发明所描述的电网电压谐波畸变及不平衡时基波电压同步信号的检测方法包括以下步骤:

1. 利用一组(三个)电压霍尔传感器采集电网三相电压信号 U_{av} ;
2. 将采集到的电网电压信号 U_{av} 经静止三相 / 两相坐标变换(1),得到静止坐标系中包含谐波及正、负序分量的电网电压综合矢量 U_{av} 。

[0024] 静止三相 / 两相坐标变换表达式如下所示：

$$\begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \sqrt{3} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_d \\ U_q \\ U_0 \end{bmatrix}.$$

[0025] 其中 U_d 、 U_q 分别表示电压综合矢量在静止坐标系下的 α 、 β 轴分量； U_d 、 U_q 、 U_0 分别代表电网电压 a 相、b 相、c 相电压。

[0026] 3. 利用相位角 φ 对得到的静止坐标系中电网电压综合矢量 U_{dq} 作正转同步速旋转坐标变换(2), 得到正转同步速旋转坐标系中的电网电压综合矢量 U_{dq}^* 。

[0027] 此分量中既含有 300Hz 的脉动分量(由电网电压 5 次、7 次谐波引起), 又含有 100Hz 的脉动分量(由三相电压不平衡引起)；正转同步速旋转坐标变换关系为：

$$\begin{bmatrix} U_d^* \\ U_q^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_d \\ U_q \end{bmatrix};$$

其中 U_d^* 、 U_q^* 分别正转同步速旋转坐标系中的电网电压综合矢量的 d、q 轴分量。

[0028] 4. 将步骤 3 所获得的电网电压综合矢量 U_{dq}^* 的 q 轴分量 U_q^* 送入 PI 控制器(4), 获得正序基波电压的角频率 ω , 则电网频率 $f = \omega / (2\pi)$; 对获得的正序基波电压的频率 ω 进行积分(5)运算, 即可获得电网正序基波电压的相位角 θ ;

5. 将步骤 3 所获得的电网电压综合矢量 U_{dq}^* 的 q 轴信号送入所设计的谐振式 PLL (3) 进行调节, 获得电网电压的真实相位 φ , 具体步骤为：

5.1 利用谐振式 PLL 输出的反馈相位信号 φ 对 U_{dq}^* 进行正转同步速旋转坐标变换(2), 得到正转同步速旋转坐标系中含有直流分量与 2 倍频、6 倍频交流量之和的电压综合矢量 U_{dq}^{**} ;

5.2 将正转同步速旋转坐标系中电压综合矢量 U_{dq}^{**} 的 q 轴分量 U_q^{**} 送入 PI 调节器(4), 获得三相电网电压正序分量的角频率 ω ;

5.3 将步骤 5.2 得到的三相电网电压角频率 ω 进行积分运算(5), 获得三相电网电压正序分量的相位角 θ ;

5.4 采用如 5.2 相同的步骤将电压综合矢量 U_{dq}^{**} 的 q 轴分量 U_q^{**} 送入谐振补偿器(6), 得到三相电网电压相位跟踪补偿相位角 $\Delta\varphi$;

谐振补偿器由两个截止频率分别为 100Hz、300Hz 的谐振调节器并联组成, 其时域传递函数为：

$$C_R(s) = \left(\frac{sK_{R1}}{s^2 + 2\omega_{d1}s + (2\omega)^2} + \frac{sK_{R2}}{s^2 + 2\omega_{d2}s + (6\omega)^2} \right);$$

其中, K_{p1} 、 K_{p2} 分别为两个谐振调节器的比例系数, 用以决定系统动态响应速度; ω_{c1} 、 ω_{c2} 分别为两个谐振调节器的截止频率, 用以增加系统带宽, 降低谐振补偿器对频率扰动的敏感程度, 实际系统中其典型值为 $5\sim15\text{rad/s}$ 。

[0029] 5.5 将步骤 5.3 得到的电网电压相位角 θ 与步骤 5.4 得到的补偿相位信号 $\Delta\varphi$ 进行加法运算, 即可获得真实相位信号 φ , 即 $\varphi = \theta + \Delta\varphi$, 进而构成闭环控制;

6. 对步骤 2 所获得的电网电压综合矢量 $\tilde{\mathbf{U}}_\varphi$ 根据步骤 4 得到的相位角 θ 重新进行正转同步旋转坐标变换, 得到电网电压综合矢量 $\tilde{\mathbf{U}}_{dq}^+$;

7. 将步骤 6 获得的正转同步速旋转坐标系中电压综合矢量 $\tilde{\mathbf{U}}_{dq}^+$ 送入所设计的相序分离模块, 电网电压正序基频分量 \mathbf{U}_{dq+}^+ 、负序基频分量 \mathbf{U}_{dq-}^+ 和 n 次谐波分量 \mathbf{U}_{dqn}^+ ;

图 2 为本发明提出的相序分离模块原理图。其输入信号为正转同步速旋转坐标系中包含直流量与 6ω 、 2ω 电网频率的交流量, 输出信号为正转同步速旋转坐标系中电网电压正序基波分量 \mathbf{U}_{dq+}^+ 、负序基波分量 \mathbf{U}_{dq-}^+ 和 n 次谐波分量 \mathbf{U}_{dqn}^+ 。参照图 2, 本发明提出的相序分离方法具体实施步骤如下:

7.1 将正转同步速旋转坐标系中电压综合矢量 $\tilde{\mathbf{U}}_{dq}^+$ 送入所设计的相序分离模块(8), 经过前后两级截止频率分别为 300Hz 和 100Hz 的陷波器可直接获得电网电压的正序基频分量 \mathbf{U}_{dq+}^+ ;

7.2 将经过前级陷波器与后级陷波器滤波的电压信号相减, 即可获得负序电压分量 \mathbf{U}_{dq-}^+ ;

7.3 将输入信号与经过前级陷波器滤波的信号相减, 即可获得 n 次谐波分量 \mathbf{U}_{dqn}^+ 。

[0030] 步骤 4 获取的电网频率 f 、相位角 θ 和步骤 7 获取的电网电压的正序基波分量 \mathbf{U}_{dq+}^+ 共同构成了本发明所需要检测的电网电压谐波畸变及不平衡时基波电压的同步信号。

[0031] 图 3 表示传统 PLL 检测到的电网电压矢量 \mathbf{U}_{PLL} 与实际电网电压矢量 \mathbf{U} 之间的空间位置关系图。可见, 当电网电压发生电压跌落等故障时, 检测出的电网电压矢量 \mathbf{U}_{PLL} 的位置角 θ 滞后于与实际电网电压矢量 \mathbf{U} 的位置角 φ , 两者之间的位置角之差定义为 $\Delta\varphi$ 。

[0032] 图 4 表示传统 PLL 的原理结构图; 由于传统 PLL 采用 PI 方式调节电压角频率来跟踪误差, 其动态响应较慢, 且无法实现对交流分量的调节。

[0033] 图 5 表示电网电压发生谐波畸变及三相不平衡故障时采用传统 PLL 锁相得到的仿真波形图。可以看出当电网发生谐波畸变及存在负序分量时, 受调节带宽和增益裕度的限制, 传统 PLL 输出电网频率, 即图 5 (b) 中含有 2 倍频、6 倍频脉动分量; 相位角, 即 5 (c) 也不再是严格的三角形波; 电网电压 d、q 轴分量, 即 5 (d) 输出也存在抖动, 从而难以对并网电力设备的安全运行提供可靠控制基准。

[0034] 图 6 表示电网电压发生谐波畸变及三相不平衡故障时采用本发明方法检测获得

的仿真波形。由图 8 (b)、(c) 可见, 本发明方法在电网电压谐波畸变及三相不平衡时不仅可以准确捕获基波电压同步信号, 为并网电力设备提供可靠的控制基准, 图 8 (e) ~ (g) 表明本发明所设计的相序分离方法亦能较好地分离出电网电压的负序及谐波分量。

[0035] 图 7、图 8 表示电网电压发生谐波畸变及三相不平衡故障时采用传统 PLL 锁相得到的实验波形图。可以看出当电网发生谐波畸变及存在负序分量时, 传统 PLL 输出电网频率, 即图 7 中 f 含有 2 倍频、6 倍频脉动分量; 相位角, 即 θ 也不再是严格的三角形波; 电网电压 d、q 轴分量, 即图 8 中 U_d^+ 、 U_q^+ 输出也存在抖动, 从而难以以为并网电力设备的安全运行提供可靠控制基准。

[0036] 图 9 至图 12 表示电网电压发生谐波畸变及三相不平衡故障时采用本发明方法检测获得的实验波形图。由图 9、图 10 可见, 本发明方法在电网电压谐波畸变及三相不平衡时可以准确捕获基波电压同步信号, 即频率 f 、相位角 θ 和基波电压正序 d、q 轴分量 U_d^+ 、 U_q^+ , 从而为并网电力设备提供可靠的同步信号, 图 11、图 12 表明本发明所设计的相序分离方法亦能较好地分离出电网电压的负序及 5 次谐波分量, 即 U_{d-}^+ 、 U_{q-}^+ 和 U_{d5}^+ 、 U_{q5}^+ 。

[0037] 综上所述, 本发明公开的电网电压谐波畸变及不平衡时基波电压同步信号的检测方法, 不仅可以满足各类电网故障下控制基准的准确、快速获取, 也能够实现电网电压基波正序、负序分量及谐波分量的快速分离, 具有很高的检测精度和优越的动、静态特性, 而且算法简单, 易于工程实现, 能够为风电机组、并网电力电子装置以及交流调速传动系统等各类电力设备在各类电网故障情况下提供准确的控制基准。

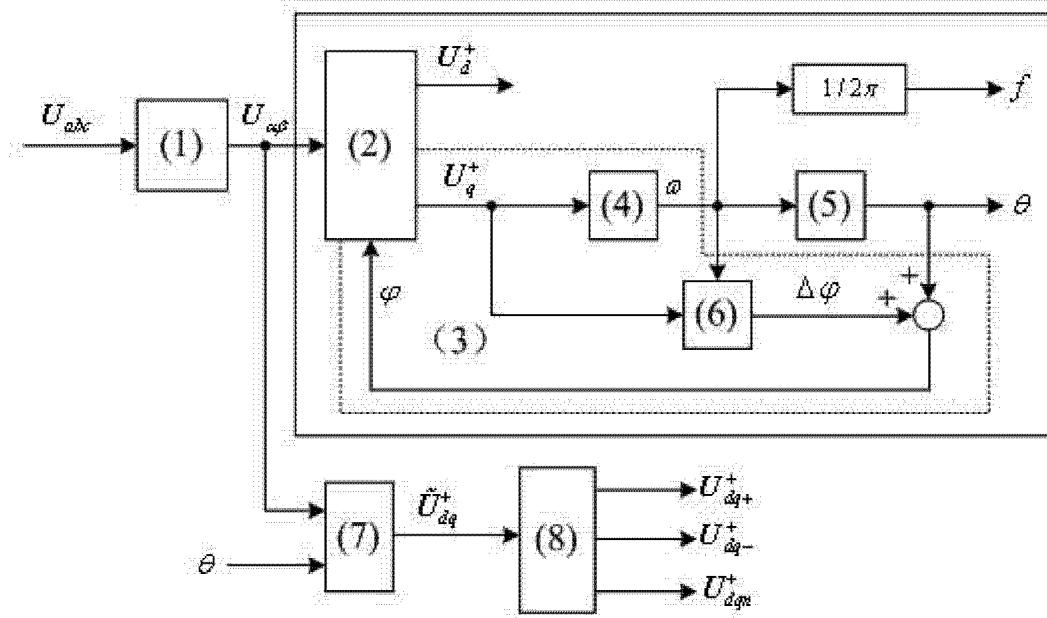


图 1

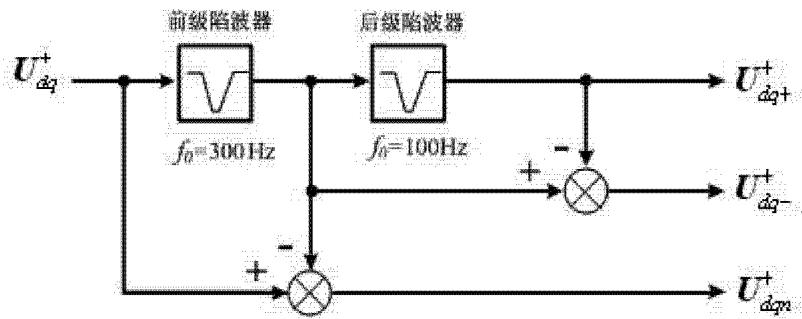


图 2

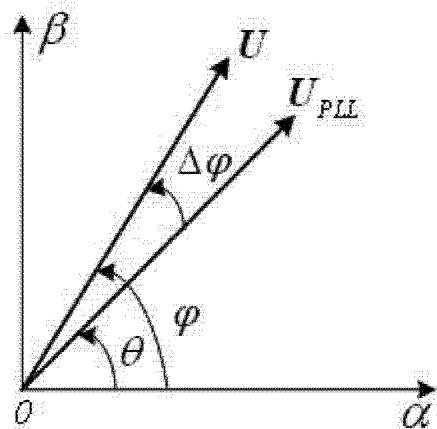


图 3

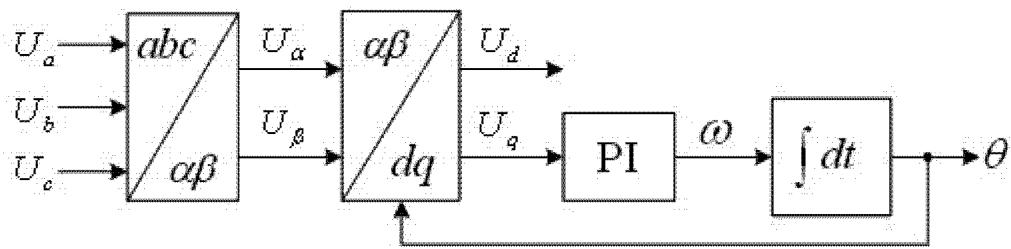


图 4

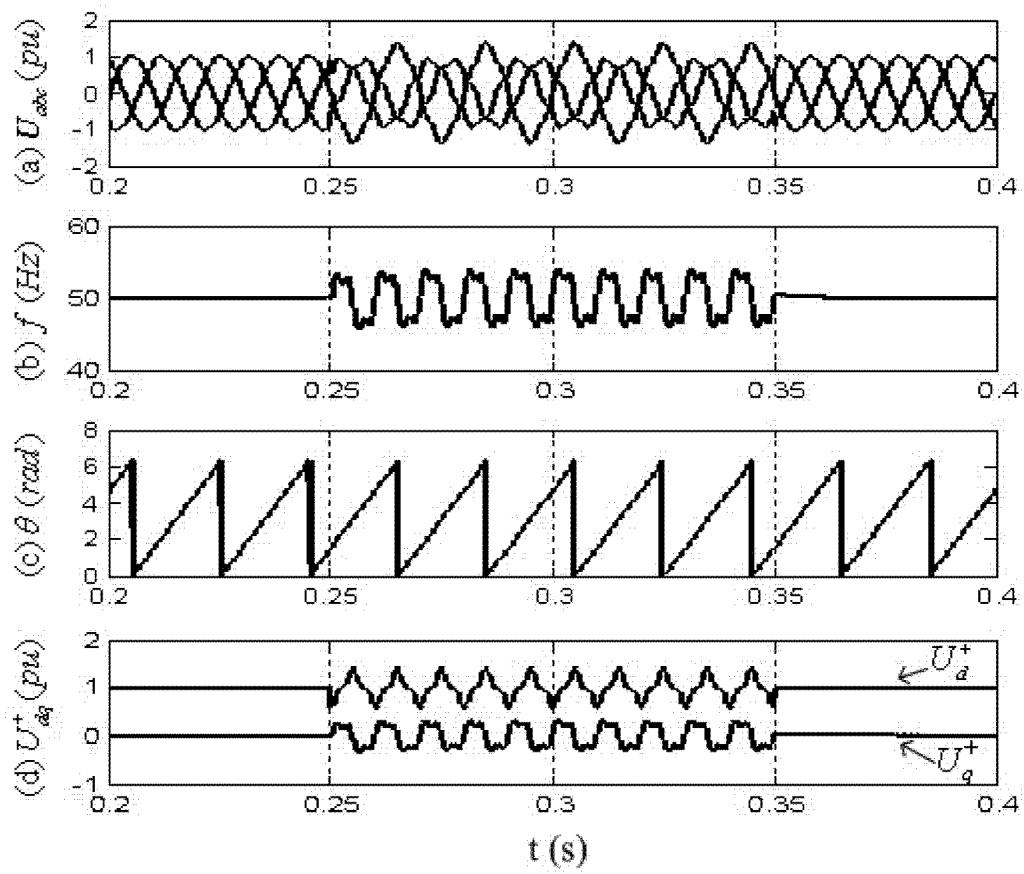


图 5

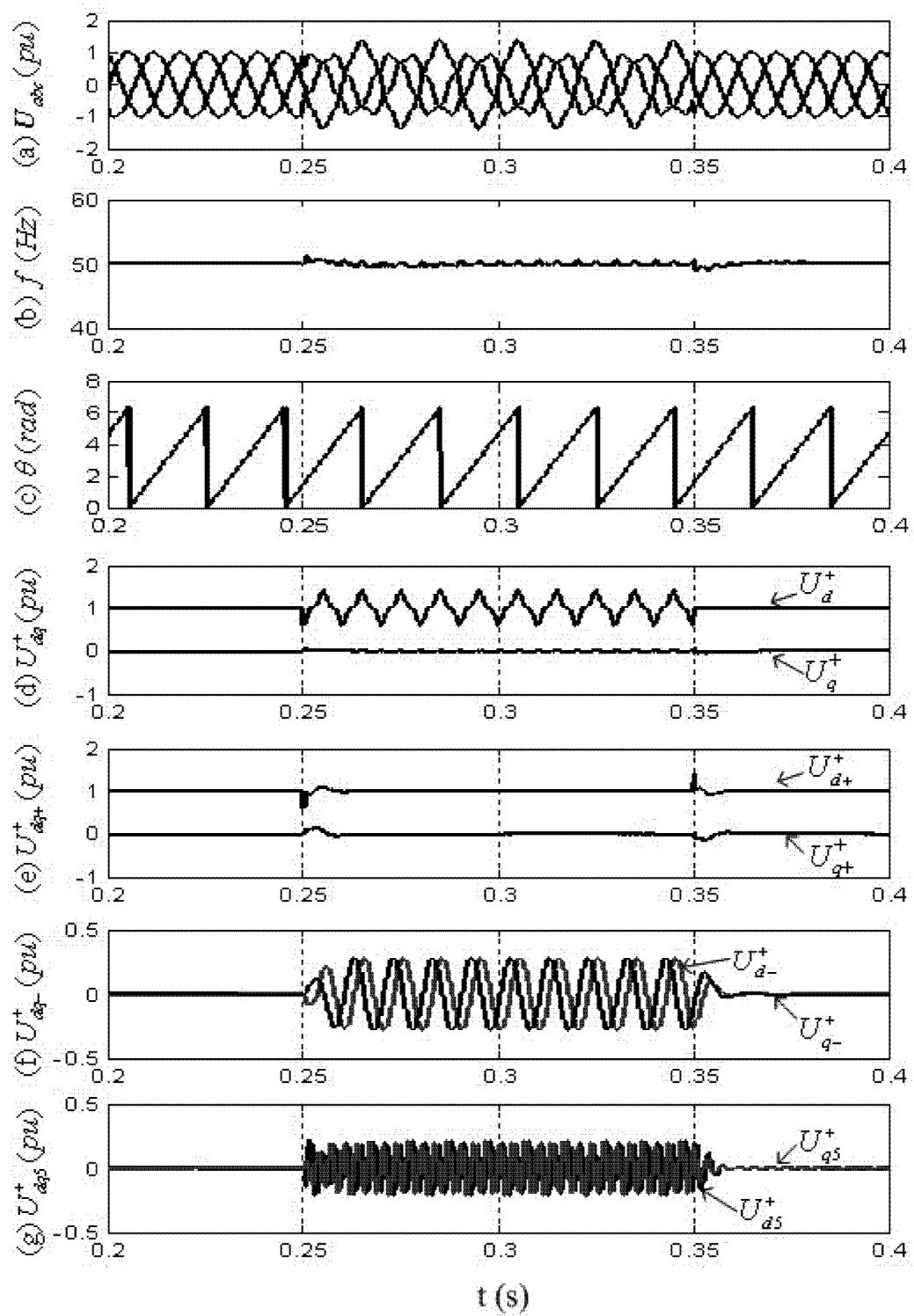


图 6

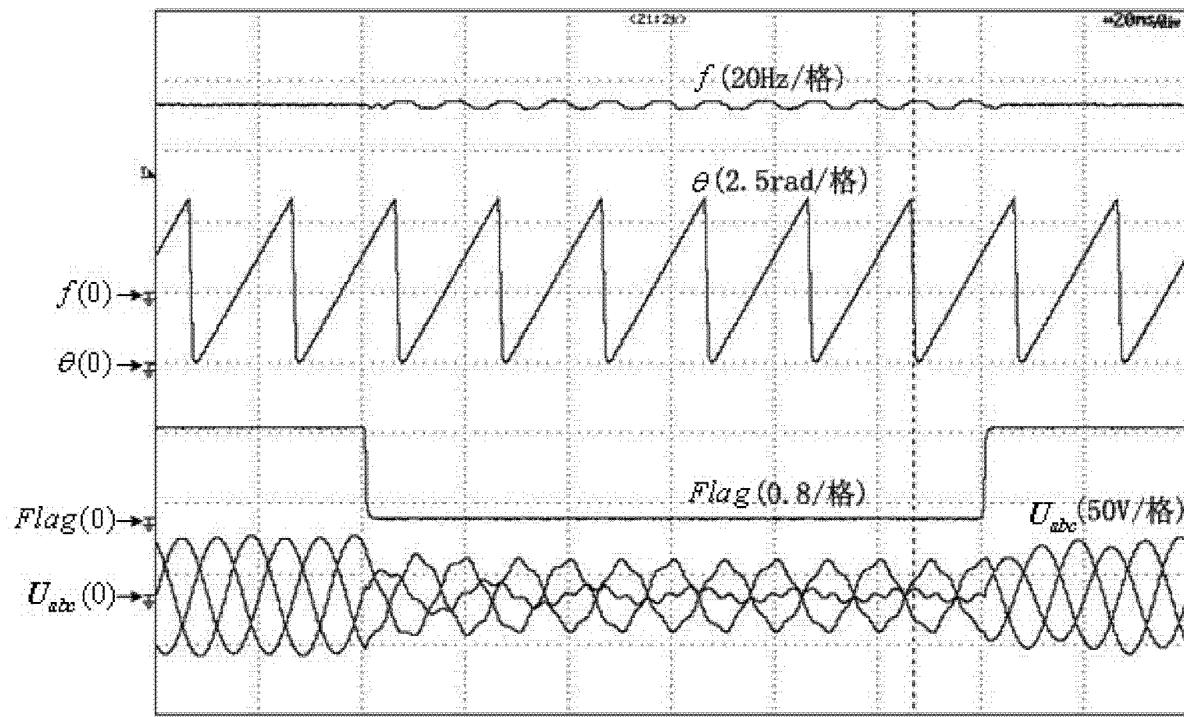


图 7

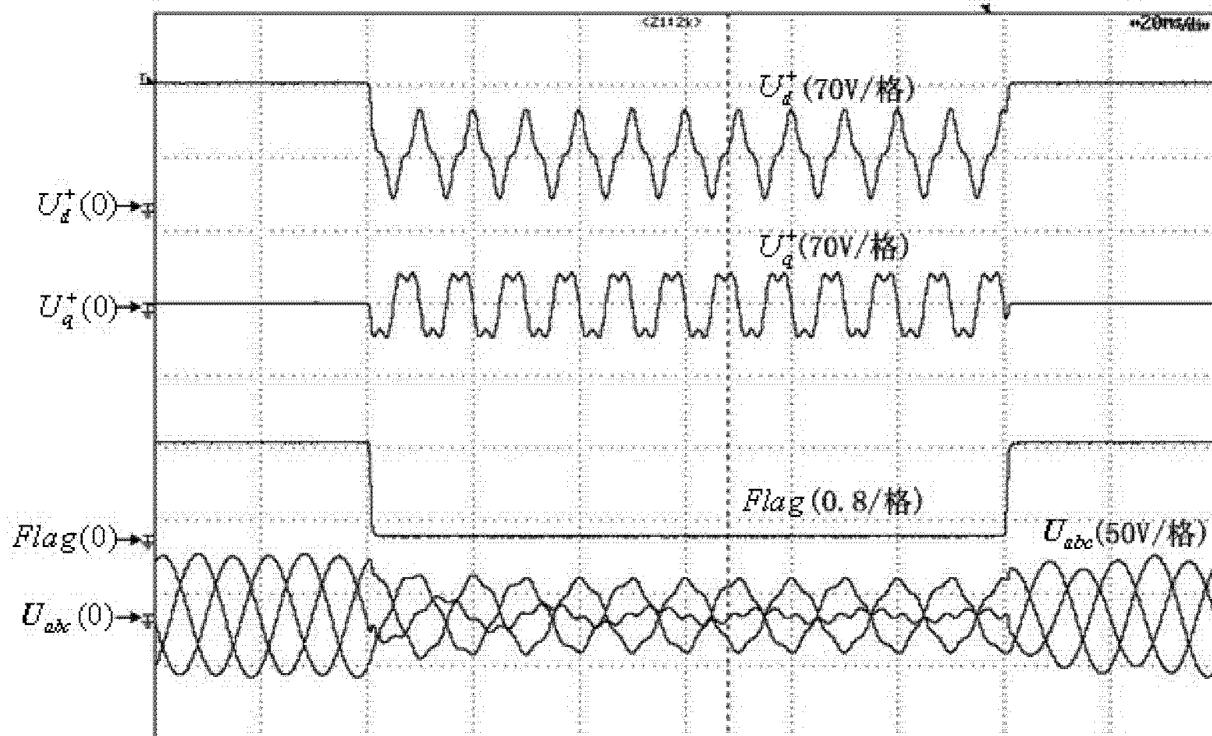


图 8

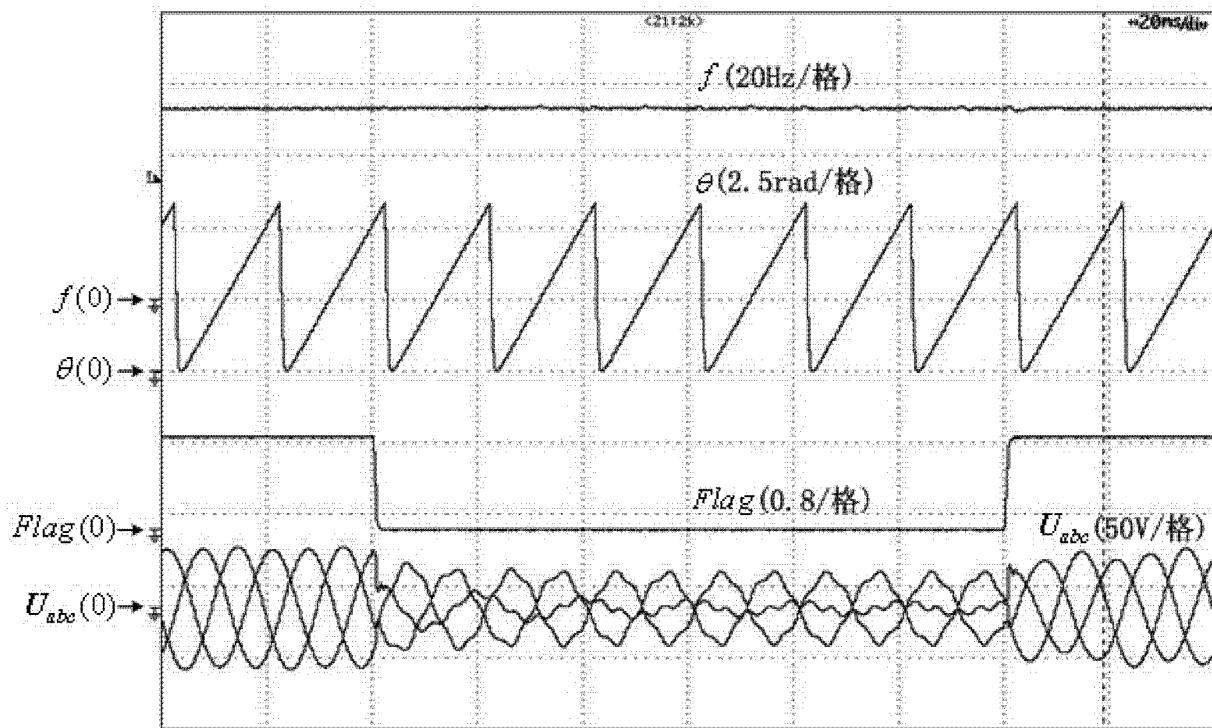


图 9

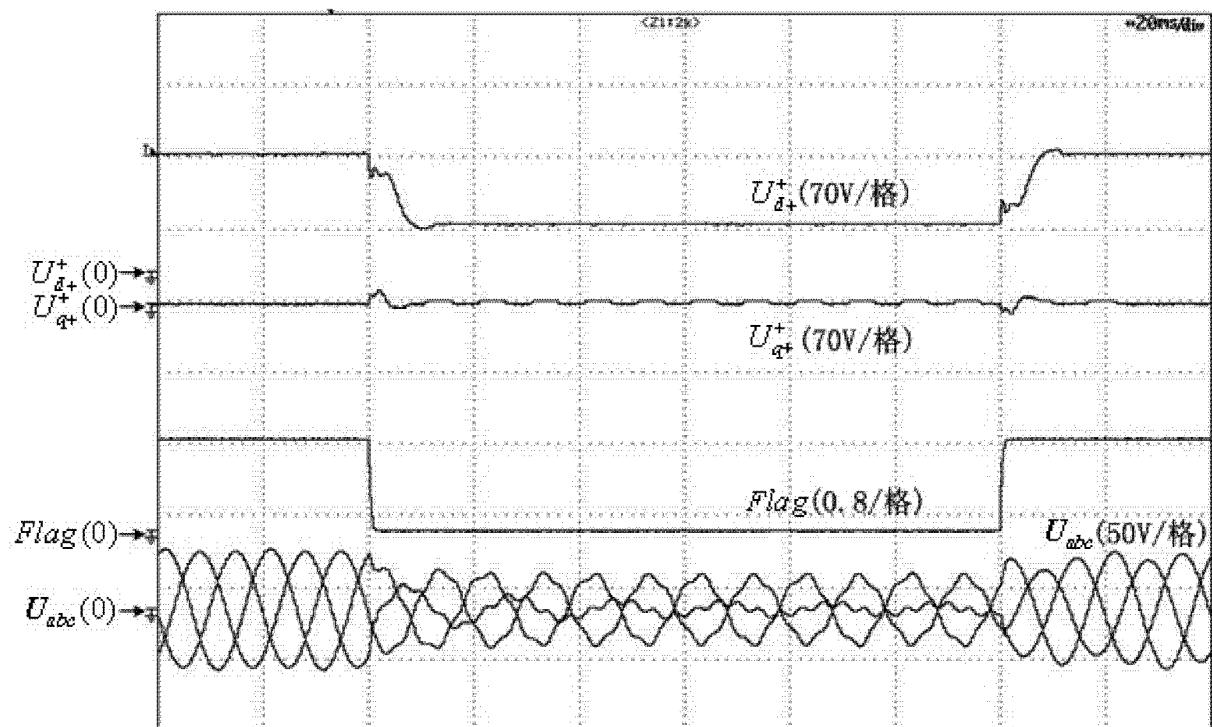


图 10

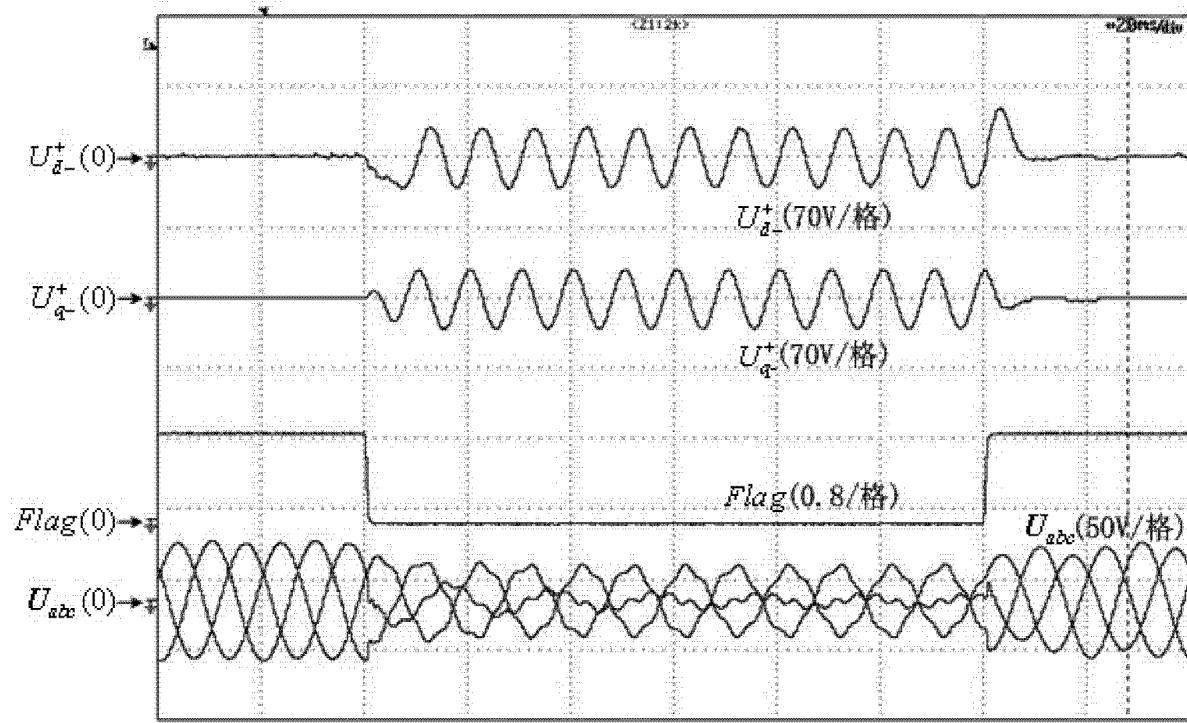


图 11

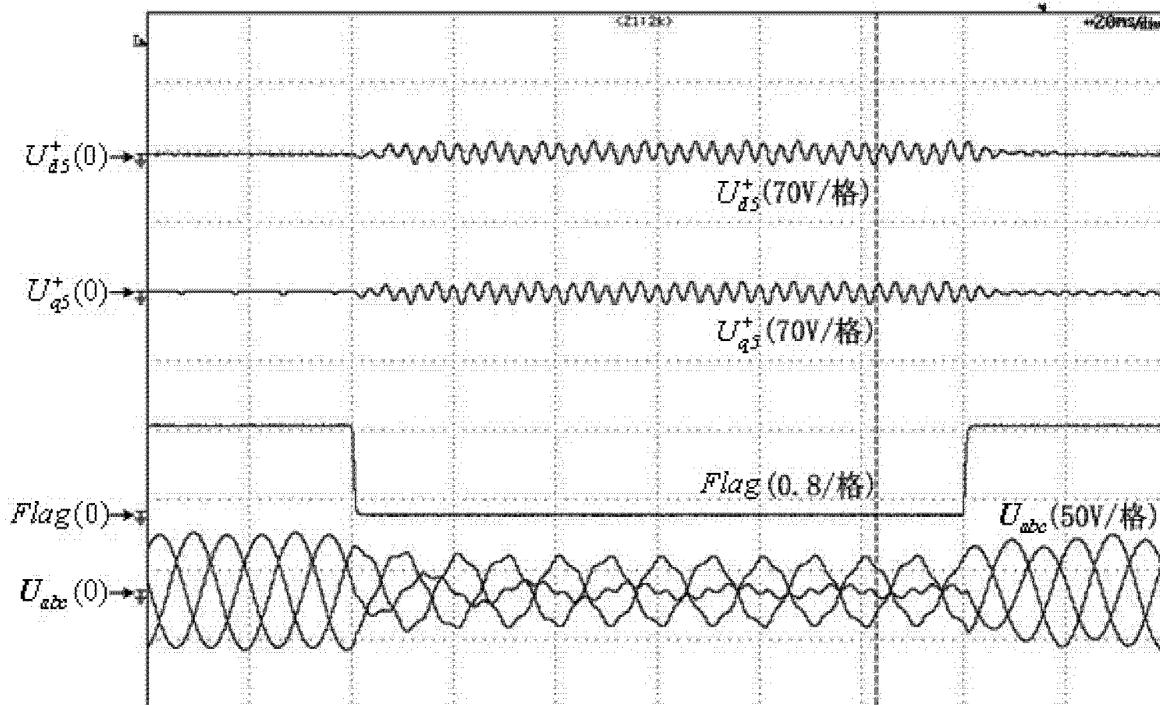


图 12