



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110007145 B

(45) 授权公告日 2021. 11. 05

(21) 申请号 201910341939.7
 (22) 申请日 2019.04.26
 (65) 同一申请的已公布的文献号
 申请公布号 CN 110007145 A
 (43) 申请公布日 2019.07.12
 (73) 专利权人 青岛鼎信通讯股份有限公司
 地址 266024 山东省青岛市宁夏路288号六
 号楼5层B区
 (72) 发明人 范建华 曹乾磊 狄克松 李健勋
 尹怀强 张亚南 徐鹏飞 赵新举
 刘玉林
 (74) 专利代理机构 济南信达专利事务有限公
 司 37100
 代理人 蒋青言

(56) 对比文件
 CN 106645974 A, 2017.05.10
 CN 107769205 A, 2018.03.06
 CN 104655933 A, 2015.05.27
 CN 109100568 A, 2018.12.28
 CN 107769205 A, 2018.03.06
 CN 104772450 A, 2015.07.15
 KR 10-1735776 B1, 2017.05.15
 魏臣.《基于三次谐波频率跟踪方法的超声
 波驱动电路设计》.《中国优秀硕士学位论文全文
 数据库 工程科技II辑》.2015,
 成剑等.《一种简化DFT的滑窗迭代算法在电
 力谐波检测中的应用》.《计算机测量与控制》
 .2005,
 审查员 薛冰

(51) Int. Cl.

G01R 23/12 (2006.01)

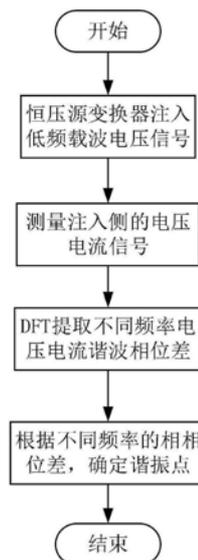
权利要求书1页 说明书5页 附图6页

(54) 发明名称

一种基于恒压源变换器和电压电流相位差的谐振点检测方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于恒压源变换器和电压电流相位差的谐振点检测方法,包括以下步骤,步骤一,利用设计的恒压源变换器向变压器低压侧注入幅值相等、频率不同的载波电压信号;步骤二,检测变压器低压侧的电压信号 $U(t)$ 与电流信号 $I(t)$;步骤三,根据滑动DFT算法,提取出变压器低压侧不同频率的电压电流谐波相位差;步骤四,根据计算得到的不同频率下电压电流谐波相位差,来对谐振点进行检测。此方法只需向变压器低压侧注入不同频率的低频载波电压信号,同时检测出变压器低压侧的电压电流信号,即可实现对谐振点的自动检测,不需要重复测量,操作简单。另外,此算法计算量小,完全满足实时在线检测低功耗的要求,该方法已被应用于实际工程中。



CN 110007145 B

1. 一种基于恒压源变换器和电压电流相位差的谐振点检测方法,其特征在于:包括以下步骤,

步骤一,利用设计的恒压源变换器向变压器低压侧注入幅值相等、频率不同的载波电压信号,频率范围在1K~5KHz之间,幅值范围在5~15V之间;

步骤二,检测变压器低压侧的电压信号 $U(t)$ 与电流信号 $I(t)$;

步骤三,根据滑动DFT算法,提取出变压器低压侧不同频率的电压电流谐波相位差;

步骤四,根据计算得到的不同频率下电压电流谐波相位差,来对谐振点进行检测,该方法检测出的谐振点位于一定的频率范围;

步骤三中根据滑动DFT算法提取出变压器低压侧不同频率的电压电流谐波相位差,其中滑动DFT算法提取电压电流谐波相位差的计算公式为,

$$\Delta\varphi_k = \operatorname{tg}^{-1} \frac{b_k^U}{a_k^U} - \operatorname{tg}^{-1} \frac{b_k^I}{a_k^I}$$

其中, $\Delta\varphi_k$ 为提取的第k次电压电流谐波的相位差, a_k^U 、 a_k^I 分别为提取的第k次电压、电流谐波的实部, b_k^U 、 b_k^I 分别为提取的第k次电压、电流谐波的虚部,k为提取的谐波次数;

上式中 a_k 、 b_k 的计算公式分别为,

$$a_k = \frac{2}{N} \left[\sum_{i=0}^{N-1} x(T_0 + i \frac{T}{N}) \cos(2\pi \frac{i}{N}) - x(T_0 + (i-N) \frac{T}{N}) \cos(2\pi k \frac{i}{N}) \right]$$

$$b_k = \frac{2}{N} \left[\sum_{i=0}^{N-1} x(T_0 + i \frac{T}{N}) \sin(2\pi \frac{i}{N}) - x(T_0 + (i-N) \frac{T}{N}) \sin(2\pi k \frac{i}{N}) \right]$$

其中,x为检测信号, T_0 为检测信号的初始时刻,i为第i个检测信号的采样点,N代表工频周期的数据点数,k代表谐波次数,T为工频周期的时间。

2. 根据权利要求1所述的一种基于恒压源变换器和电压电流相位差的谐振点检测方法,其特征在于:步骤一中利用设计的恒压源变换器向变压器低压侧注入幅值相等、不同频率的低频脉动电压信号,其中恒压源变换器中的谐振控制器的传递函数为,

$$R(s) = \frac{K_r s}{s^2 + (n\omega)^2}$$

其中,n为脉动电压次数, ω 为基波角频率, K_r 为谐振项系数。

3. 根据权利要求1所述的一种基于恒压源变换器和电压电流相位差的谐振点检测方法,其特征在于:步骤四中根据计算得到的不同频率下电压电流谐波相位差来对谐振点进行检测的原则为,当 $\Delta\varphi_k > 0$ 时,电压k次谐波相位超前电流k次谐波的相位,k次谐波对应的频率位于谐振点前,当 $\Delta\varphi_k = 0$ 时,电压k次谐波相位与电流k次谐波的相位同向,k次谐波对应的频率为谐振点,当 $\Delta\varphi_k < 0$ 时,电压k次谐波相位滞后电流k次谐波的相位,k次谐波对应的频率位于谐振点后。

4. 根据权利要求1所述的一种基于恒压源变换器和电压电流相位差的谐振点检测方法,其特征在于:步骤一种恒压源变换器结构采用三电平结构,利用SVPWM调制算法生成各相开关管的驱动信号,通过驱动各相IGBT驱动各相的开关驱动信号 S_{xn} (其中 $x=a, b, c, n=1, 2, 3, 4$) 调整变换器输出电压 U_{A0} 、 U_{B0} 及 U_{C0} ,从而实现电压 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{CA} 的控制。

一种基于恒压源变换器和电压电流相位差的谐振点检测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及配电网自动化系统领域,涉及一种基于恒压源变换器和电压电流相位差的谐振点检测方法。

背景技术

[0002] 在电力系统领域,系统优良的品质因数是保证系统安全、稳定、经济运行的前提,因此,为了提高电网系统的品质因数,减少系统损耗,一般是通过向电网系统中投切电容器组来进行无功补偿。但是由于一些电焊机、家用电器设备的使用,使电网系统中存在大量的谐波源,当投切电容器组时,可能会导致系统与电容器之间发生并联谐振,产生过大的谐振电流,从而烧毁电容器组,甚至损坏电网中其他的一些设备,造成严重的电力事故。因此,能够提前检测出系统的谐振点,为治理谐波源、投切电容器组提供了依据。

[0003] 目前常用的谐振点检测工具多为专业设备,成本较高,检测到电压电流数据后,还需要将数据上传到上位机来进行谐波分析,不能够实现实时在线检测,并且检测速度较慢,检测过程复杂,灵活性较差。因此,迫切需要发展一种能够实时在线检测谐振点的方法。

发明内容

[0004] 本发明针对上述问题,克服现有技术的不足,提出一种基于恒压源变换器和电压电流相位差的谐振点检测方法,该方法首先利用恒压源变换器向变压器低压侧注入幅值相等、频率不同的载波电压信号,然后根据提取的不同频率电压电流谐波的相位差来对谐振点进行检测。该方法实现简单,只需利用恒压源变换器向变压器低压侧注入低频载波电压信号,同时检测出变压器低压侧的电压电流信号,即可自动检测出谐振点,可以实现实时在线谐振点的检测。该方法不需要反复测试,操作简单,已经应用到实际的电力系统中,并且取得了很好的效果。

[0005] 本发明通过恒压源变换器注入不同频率的低频载波电压信号和检测电压电流谐波相位差来对谐振点进行检测。该方法首先利用设计的恒压源变换器向变压器低压侧注入幅值相等、频率不同的载波电压信号,同时检测变压器低压侧的电压电流信号,然后根据滑动DFT算法提取出不同频率的电压电流谐波相位差,最后根据提取的不同频率下电压电流谐波相位差来对谐振点进行检测。

[0006] 为了实现上述发明目的,本发明采取如下技术方案:

[0007] 一种基于恒压源变换器和电压电流相位差的谐振点检测方法,包括以下步骤,

[0008] 步骤一,利用设计的恒压源变换器向变压器低压侧注入幅值相等、频率不同的载波电压信号。

[0009] 步骤二,检测变压器低压侧的电压信号 $U(t)$ 与电流信号 $I(t)$ 。

[0010] 步骤三,根据滑动DFT算法,提取出变压器低压侧不同频率的电压电流谐波相位差。

[0011] 步骤四,根据计算得到的不同频率下电压电流谐波相位差,来对谐振点进行检测。

[0012] 进一步地,步骤一中的恒压源变换器中的谐振控制器的传递函数为,

$$[0013] \quad R(s) = \frac{K_r s}{s^2 + (n\omega)^2}$$

[0014] 其中,n为载波电压信号次数, ω 为基波角频率, K_r 为谐振项系数。

[0015] 进一步地,步骤三中的滑动DFT算法提取电压电流谐波相位差的计算公式为,

$$[0016] \quad \Delta\varphi_k = \operatorname{tg}^{-1} \frac{b_k^U}{a_k^U} - \operatorname{tg}^{-1} \frac{b_k^I}{a_k^I}$$

[0017] 其中, $\Delta\varphi_k$ 为提取的第k次电压电流谐波的相位差, a_k^U 、 a_k^I 分别为提取的第k次电压、电流谐波的实部, b_k^U 、 b_k^I 分别为提取的第k次电压、电流谐波的虚部,k为提取的谐波次数。上式中 a_k 、 b_k 的计算公式分别为,

$$[0018] \quad a_k = \frac{2}{N} \left[\sum_{i=0}^{N-1} x\left(T_0 + i \frac{T}{N}\right) \cos\left(2\pi k \frac{i}{N}\right) - x\left(T_0 + (i-N) \frac{T}{N}\right) \cos\left(2\pi k \frac{i}{N}\right) \right]$$

$$[0019] \quad b_k = \frac{2}{N} \left[\sum_{i=0}^{N-1} x\left(T_0 + i \frac{T}{N}\right) \sin\left(2\pi k \frac{i}{N}\right) - x\left(T_0 + (i-N) \frac{T}{N}\right) \sin\left(2\pi k \frac{i}{N}\right) \right]$$

[0020] 其中,x为检测信号, T_0 为检测信号的初始时刻,i为第i个检测信号的采样点,N代表工频周期的数据点数,k代表谐波次数,T为工频周期的时间。

[0021] 进一步地,步骤四中的根据计算得到的不同频率下电压电流谐波相位差来对谐振点进行检测的原则为,当 $\Delta\varphi_k > 0$ 时,电压k次谐波相位超前电流k次谐波的相位,k次谐波对应的频率位于谐振点前,当 $\Delta\varphi_k = 0$ 时,电压k次谐波相位与电流k次谐波的相位同向,k次谐波对应的频率为谐振点,当 $\Delta\varphi_k < 0$ 时,电压k次谐波相位滞后电流k次谐波的相位,k次谐波对应的频率位于谐振点后。确定上述检测的原理为,当系统发生并联谐振时,系统呈现纯阻性,阻抗R达到最大,当k小于谐振点频率时,系统容抗大于感抗,系统呈现感性,电压相位超前电流,当k大于谐振点频率时,系统容抗小于感抗,系统呈现容性,电压相位滞后电流。

[0022] 进一步地,步骤一中频率范围在1K~5KHz之间。

[0023] 进一步地,步骤一中幅值范围在5~15V之间。

[0024] 进一步地,步骤一种恒压源变换器结构采用三电平结构,利用SVPWM调制算法生成各相开关管的驱动信号,通过驱动各相IGBT驱动各相的开关驱动信号 S_{xn} (其中 $x=a, b, c, n=1, 2, 3, 4$)调整变换器输出电压 U_{A0} 、 U_{B0} 及 U_{C0} ,从而实现电压 U_{AB} U_{BC} U_{CA} 的控制。

[0025] 本发明的有益效果是:本发明一种基于恒压源变换器和电压电流相位差的谐振点检测方法,首先利用恒压源变换器向变压器低压侧注入幅值相等、频率不同的载波电压信号,根据计算得到的不同频率下电压电流谐波相位差来对谐振点进行检测。此方法只需向变压器低压侧注入不同频率的低频载波电压信号,同时检测出变压器低压侧的电压电流信号,即可实现对谐振点的自动检测,不需要重复测量,操作简单。另外,此算法计算量小,完全满足实时在线检测低功耗的要求,该方法已被应用于实际工程中。

附图说明

[0026] 图1为本发明基于恒压源变换器和电压电流相位差的谐振点检测方法总体流程

图。

[0027] 图2为本发明恒压源逆变器系统总体框图。

[0028] 图3为本发明注入550Hz低频载波电压信号时变压器低压侧电压电流测量信号波形。

[0029] 图4为本发明注入1100Hz低频载波电压信号时变压器低压侧电压电流测量信号波形。

[0030] 图5为本发明注入1250Hz低频载波电压信号时变压器低压侧电压电流测量信号波形。

[0031] 图6为本发明提取的变压器低压侧电压电流信号中11次谐波的电压电流相位差波形。

[0032] 图7为本发明提取的变压器低压侧电压电流信号中22次谐波的电压电流相位差波形。

[0033] 图8为本发明提取的变压器低压侧电压电流信号中25次谐波的电压电流相位差波形。

[0034] 图9为本发明提取的注入550Hz低频载波电压信号时补偿电容产生的11次谐波电流波形。

[0035] 图10为本发明提取的注入1100Hz低频载波电压信号时补偿电容产生的22次谐波电流波形。

[0036] 图11为本发明提取的注入1250Hz低频载波电压信号时补偿电容产生的25次谐波电流波形。

[0037] 其中图3-图5中,横坐标代表采样点数,纵坐标代表电压电流的幅值,单位分别为V、A。图6-图8中,横坐标分别代表提取的谐波电压电流相位差,单位为度;图9-图11中,横坐标代表采样点数,纵坐标代表的补偿电容产生的谐波电流幅值,单位为A。

具体实施方式

[0038] 下面结合附图1-11和实施例对本发明作进一步的说明,以具体阐述本发明的技术方案。以下实施例仅用于更加清楚地说明本发明的技术方案,而不能以此来限制本发明的保护范围。

[0039] 结合附图1,本发明的一种基于恒压源变换器和电压电流相位差的谐振点检测方法,包括以下步骤,

[0040] 步骤一,利用附图2设计的恒压源变换器向变压器低压侧注入幅值为10V、频率分别为550Hz、1100Hz、1250Hz的低频载波电流信号。

[0041] 恒压源变换器结构采用三电平结构,利用SVPWM(Space Vector Pulse Width Modulation)调制算法生成各相开关管的驱动信号,通过驱动各相IGBT驱动各相的开关驱动信号 S_{xn} (其中 $x=a, b, c, n=1, 2, 3, 4$)调整变换器输出电压 U_{A0} 、 U_{B0} 及 U_{C0} ,从而实现电压 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{CA} 的控制。

[0042] 步骤二,检测变压器低压侧的电压信号 $U(t)$ 与电流信号 $I(t)$ 其波形如图3~图5所示。

[0043] 步骤三,根据滑动DFT算法,分别提取出变压器低压侧测量信号中11、22、25次低频

载波电压电流的相位差,其波形分别如图6~图8所示,滑动DFT算法提取电压电流谐波相位差的计算公式为,

$$[0044] \quad \Delta\varphi_k = \operatorname{tg}^{-1} \frac{b_k^U}{a_k^U} - \operatorname{tg}^{-1} \frac{b_k^I}{a_k^I}$$

[0045] 其中, $\Delta\varphi_k$ 为提取的第k次电压电流谐波的相位差, a_k^U 、 a_k^I 分别为提取的第k次电压、电流谐波的实部, b_k^U 、 b_k^I 分别为提取的第k次电压、电流谐波的虚部, k为提取的谐波次数,

[0046] $k=11, 22, 25$ 。

[0047] 上式中 a_k 、 b_k 的计算公式分别为,

$$[0048] \quad a_k = \frac{2}{N} \left[\sum_{i=0}^{N-1} x(T_0 + i \frac{T}{N}) \cos(2\pi \frac{i}{N}) - x(T_0 + (i-N) \frac{T}{N}) \cos(2\pi k \frac{i}{N}) \right]$$

$$[0049] \quad b_k = \frac{2}{N} \left[\sum_{i=0}^{N-1} x(T_0 + i \frac{T}{N}) \sin(2\pi \frac{i}{N}) - x(T_0 + (i-N) \frac{T}{N}) \sin(2\pi k \frac{i}{N}) \right]$$

[0050] 其中, x为检测信号, T_0 为检测信号的初始时刻, i为第i个检测信号的采样点, N代表工频周期的数据点数, k代表谐波次数, T为工频周期的时间, $T=20\text{ms}$ 。

[0051] 步骤五, 根据计算得到的电压电流谐波相位差来对谐振点进行检测, 当注入550Hz的低频载波电压信号时, 提取的11次电压电流谐波相位差 $\Delta\varphi_{11} = 61.5^\circ$, $\Delta\varphi_{11} > 0$, 第11次谐波位于谐振点前, 当注入1100Hz的低频载波电压信号时, 提取的22次电压电流谐波相位差 $\Delta\varphi_{11} = 25.91^\circ$, $\Delta\varphi_{11} > 0$, 第22次谐波位于谐振点前, 当注入1250Hz的低频载波电压信号时, 提取的25次电压电流谐波相位差为 $\Delta\varphi_{25} = -30.93^\circ$, $\Delta\varphi_{11} < 0$, 第25次谐波位于谐振点后, 因此, 可以确定谐振点位于22次谐波与25次谐波之间的频率范围内。

[0052] 本实施例中: 利用实际的现场试验数据对该谐振点检测方法进行验证。本发明根据电压电流的相位差确定了谐振点在22次谐波与25次谐波频率之间, 同时, 根据图9~图10可知, 在注入1100Hz和1250Hz的低频载波电压信号时补偿电容产生的谐波电流要比注入550Hz的低频载波电压信号时补偿电容产生的电流大很多, 说明在22和25次谐波附近系统发生了谐振, 也进一步验证了本发明所提出的方法是可行的。由于实际的检测设备采用向电网中注入低频载波电压信号的方式来进行检测, 因此, 当检测到快接近谐振点的时候, 会跳过谐振点的附近, 避免引起系统的谐振, 最终此方法会检测出谐振点位于一定的频率范围, 为谐波源的治理提供一定的理论依据以及为谐振点的检测提供了一种新的实现方式。

[0053] 本发明步骤一中频率范围在1K~5KHz之间, 可以是1KHz、5KHz或1K~5KHz之间的任意数值, 并不限于实施例所给出的数值。步骤一中幅值范围在5~15V之间, 可以是5V、15V或5~15V之间的任意数值, 并不限于实施例所给出的数值。

[0054] 综上所述, 本发明提出一种基于恒压源变换器和电压电流相位差的谐振点检测方法, 利用设计的恒压源变换器向变压器低压侧注入幅值相等、频率不同的载波电压信号, 同时检测变压器低压侧的电压电流信号, 然后根据滑动DFT算法提取出不同频率的电压电流谐波相位差, 最后根据提取的不同频率下电压电流谐波相位差来对谐振点进行检测。此方法只需要利用设计的恒压源变换器向变压器低压侧注入不同频率的低频载波电压信号, 同

时检测注入侧的电压电流信号,即可自动检测出系统的谐振点,操作简单,可以准确地实时在线检测出谐振点位于一定的频率范围内。

[0055] 以上实施例是对本发明的具体实施方式的说明,而非对本发明的限制,有关技术领域的人员在不脱离本发明的精神和范围的情况下,还可以做出各种变换和变化而得到相对应的等同的技术方案,因此所有等同的技术方案均应该归入本发明的专利保护范围。

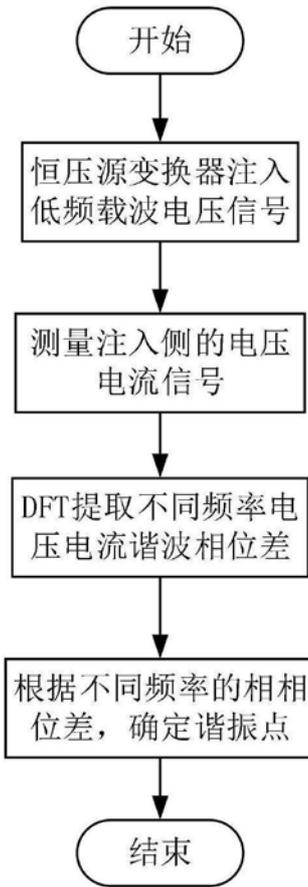


图1

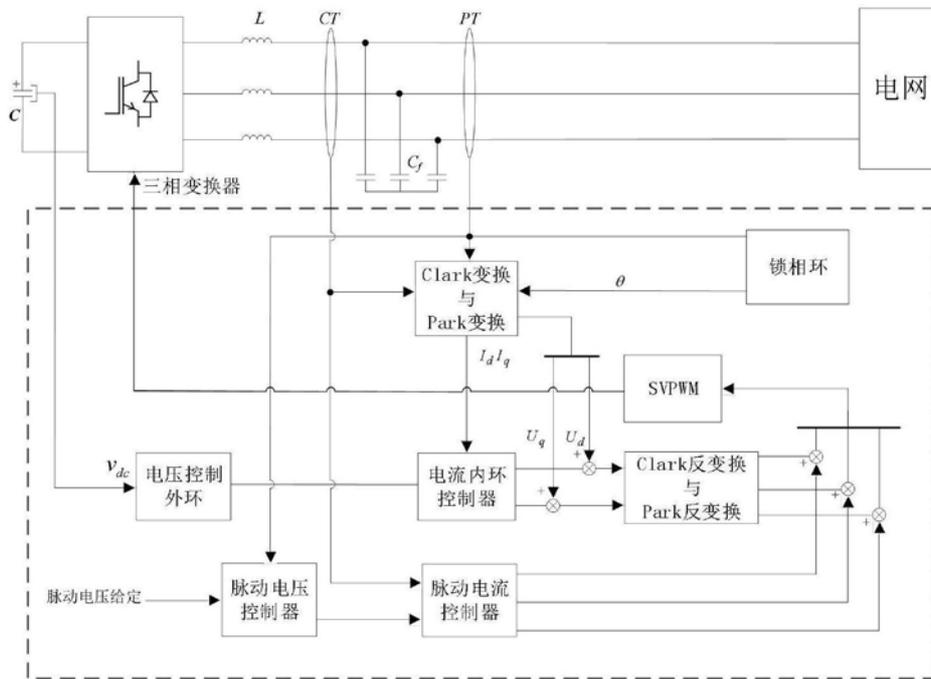


图2

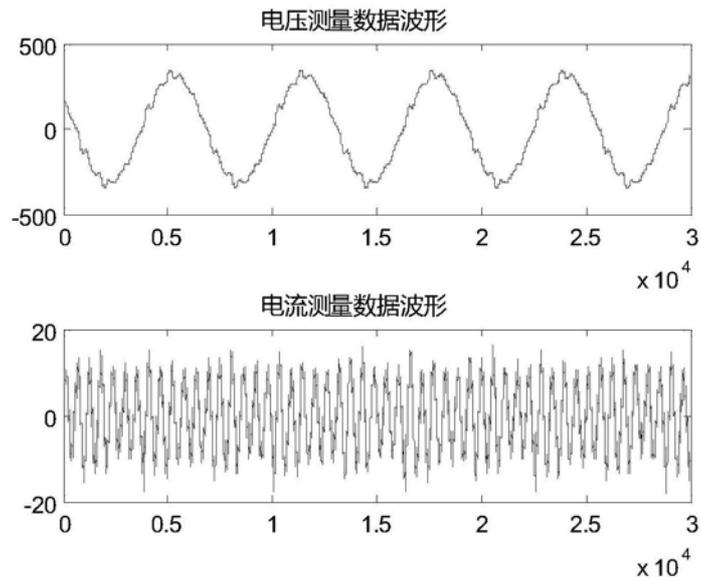


图3

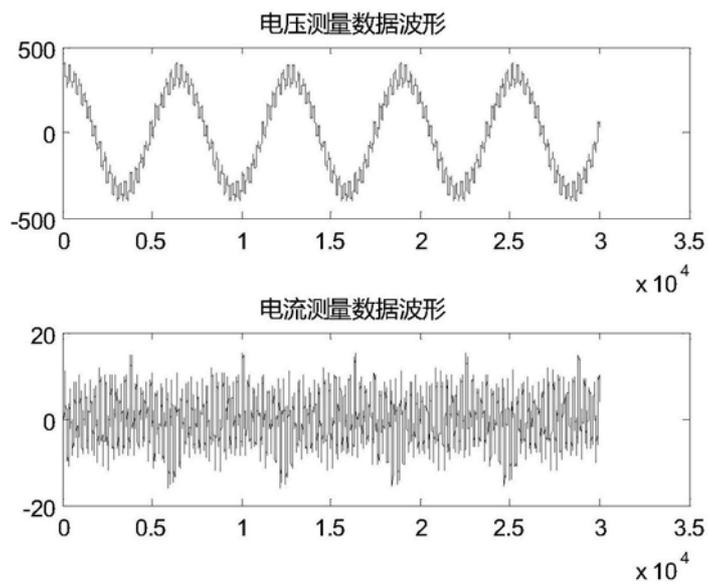


图4

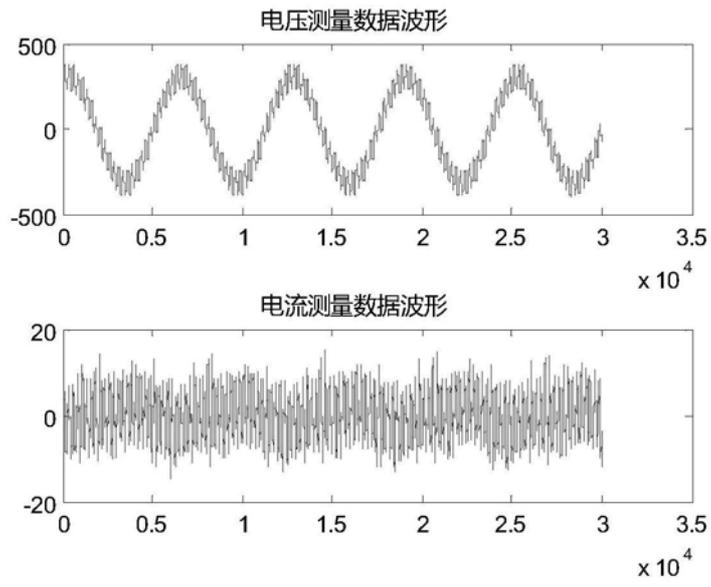


图5

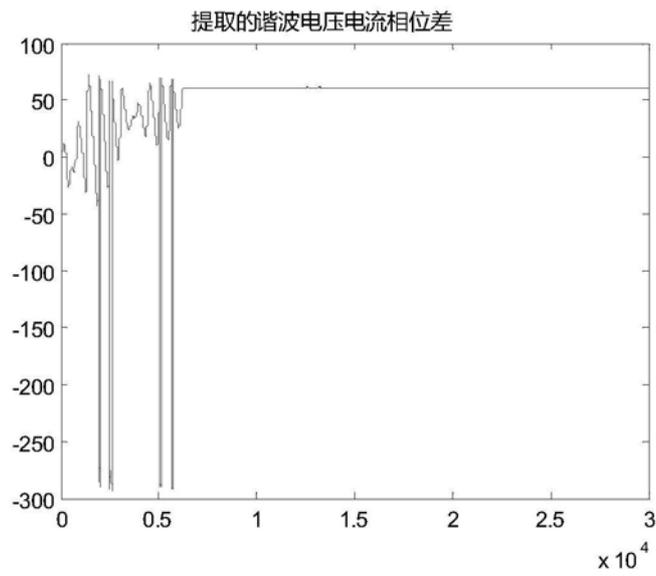


图6

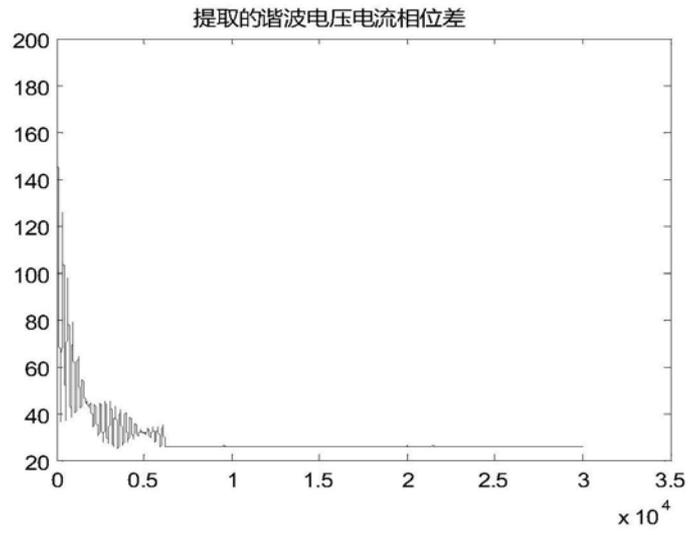


图7

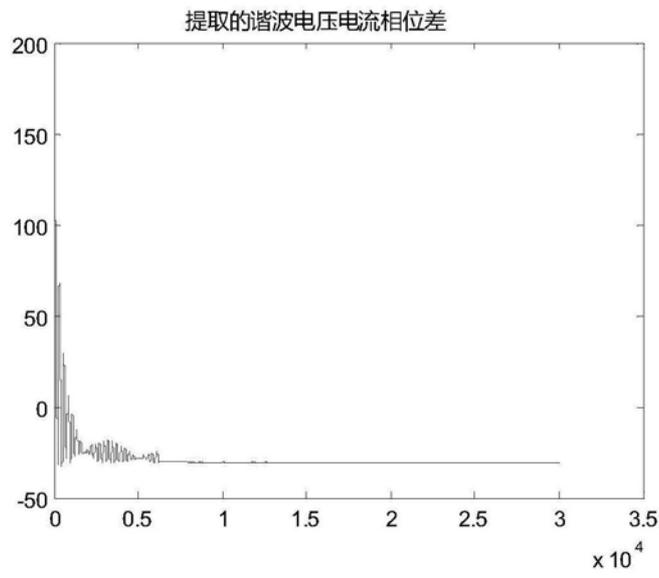


图8

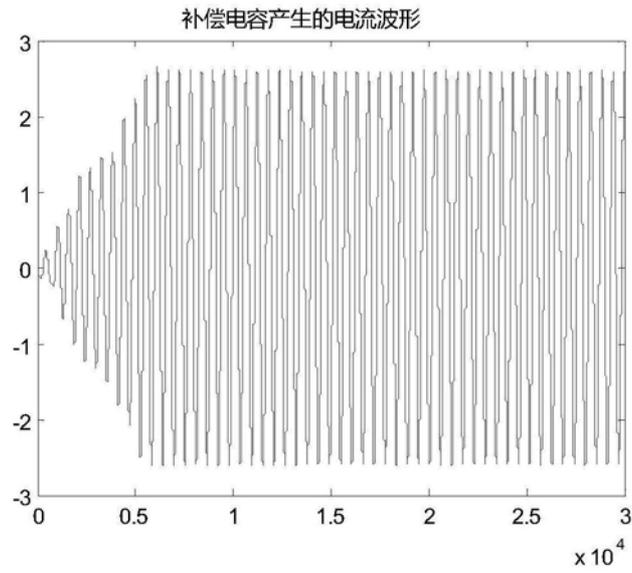


图9

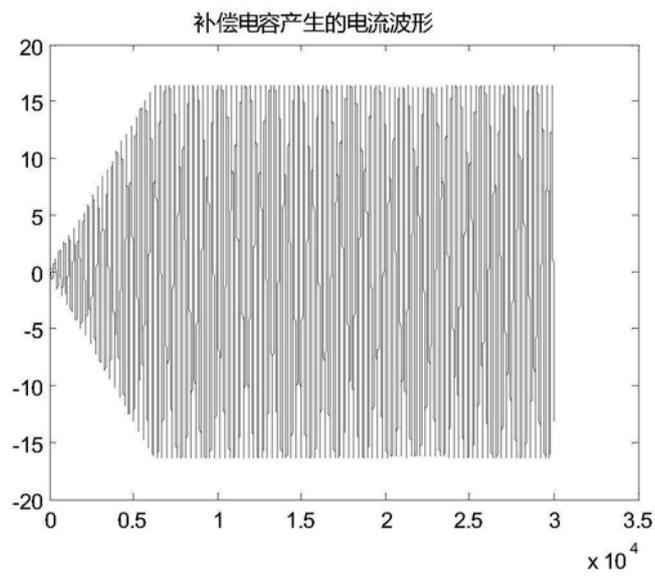


图10

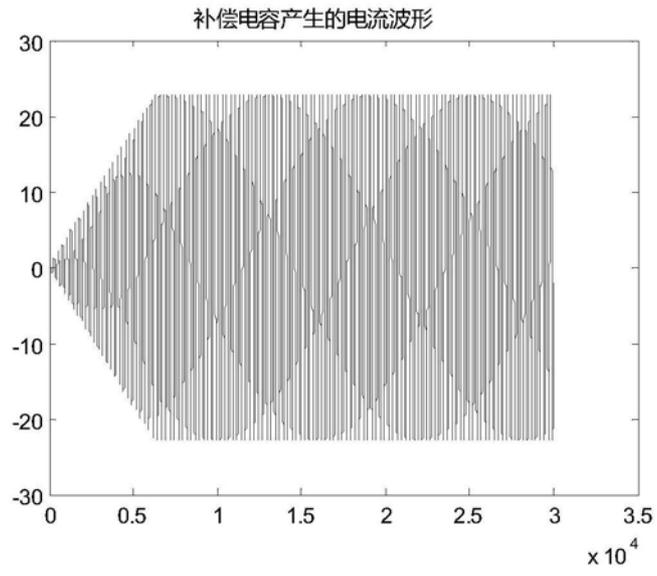


图11