



(10) 授权公告号 CN 118917115 B

(45) 授权公告日 2025.02.18

(21) 申请号 202411410484.7

(22) 申请日 2024.10.10

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 118917115 A

(43) 申请公布日 2024.11.08

(73) 专利权人 国网浙江省电力有限公司电力科学研究院

地址 310014 浙江省杭州市拱墅区朝晖八区华电弄1号

(72) 发明人 王一帆 林浩凡 陆晓峰 杨勇
金涌涛 杨智 王少华 穆海宝
孙明 龚金龙 于兵 周晨辉
花啸昌 赖泽楷 马钰 王帅
周晋名 白彤 赵琳 王尊

(74) 专利代理机构 浙江翔隆专利事务所(普通合伙) 33206

专利代理师 许守金

(51) Int.Cl.

G06F 30/20 (2020.01)

G06F 113/04 (2020.01)

(56) 对比文件

CN 106547990 A, 2017.03.29

CN 109739109 A, 2019.05.10

审查员 来文燕

权利要求书4页 说明书13页 附图8页

(54) 发明名称

一种基于换流阀仿真的高频等效电路控制方法和系统

(57) 摘要

本发明公开了一种基于换流阀仿真的高频等效电路控制方法和系统,属于换流变压器仿真技术领域。现有技术缺乏一种能够准确模拟处于实际运行工况中的换流阀以及阀臂的等效模型,导致无法准确模拟因换流阀以及阀臂关断所产生的高频电流以及电压信号。本发明的一种基于换流阀仿真的高频等效电路控制方法,通过构建脉冲触发控制模型、脉冲触发信号生成模型、换流阀高频等效模型,充分考虑高频信号的传播过程以及时频域特征,并耦合电容和电感的作用,对换流阀中的一个或多个阀臂进行高频建模,因而可以准确模拟处于实际运行工况中的换流阀以及阀臂,从而可以精准仿真因换流阀以及阀臂关断所产生的高频电流以及电压信号,利于换流阀的推广使用。

通过预先构建的脉冲触发控制模型,采用相位矢量技术,将输入网侧电压信号,转化为斜坡信号

利用预先构建的脉冲触发信号生成模型,根据斜坡信号,并基于电平状态变化机制,生成脉冲触发信号

采用预先构建的换流阀高频等效模型,对脉冲触发信号进行处理,得到具有脉动干扰信号的高频电流和电压信号;
换流阀高频等效模型,用于模拟高频电流和电压信号在高压直流输电系统中的产生过程,其根据高频信号的传播过程以及时频域特征,并耦合电容和电感的作用,对换流阀中的一个或多个阀臂进行高频建模

1. 一种基于换流阀仿真的高频等效电路控制方法,其特征在于:

包括以下内容:

通过预先构建的脉冲触发控制模型,采用相位矢量技术,将输入网侧电压信号,转化为斜坡信号;斜坡信号能表征输入网侧电压信号的相位信息;

利用预先构建的脉冲触发信号生成模型,根据斜坡信号,并基于电平状态变化机制,生成脉冲触发信号;

采用预先构建的换流阀高频等效模型,对脉冲触发信号进行处理,得到具有脉动干扰信号的高频电流和电压信号;

换流阀高频等效模型,用于模拟高频电流和电压信号在高压直流输电系统中的产生过程,其根据高频信号的传播过程以及时频域特征,并耦合电容和电感的作用,对换流阀中的一个或多个阀臂进行高频建模。

2. 如权利要求1所述的一种基于换流阀仿真的高频等效电路控制方法,其特征在于:

通过预先构建的脉冲触发控制模型,采用相位矢量技术,将输入网侧电压信号,转化为斜坡信号的方法如下:

采用相位矢量技术,构建锁相环仿真单元;

在锁相环仿真单元的一侧输入网侧电压信号;

输入网侧电压信号为三相交流电压信号,其经过锁相环仿真单元处理后得到基波相角信号;

将基波相角信号输入到换流阀中,并根据换流阀M脉冲的相位关系,通过相加器逐一增加60度,得到M组变换信号;

将M组变换信号再输入到角度弧度转换器中,得到斜坡信号基准相位图一;

再获取M组变换信号,并输入到角度弧度转换器中,得到斜坡信号基准相位图二;

基于斜坡信号基准相位图一和斜坡信号基准相位图二,得到N组斜坡信号。

3. 如权利要求2所述的一种基于换流阀仿真的高频等效电路控制方法,其特征在于:

采用相位矢量技术,构建锁相环仿真单元的方法如下:

根据相位矢量技术,设置鉴相器、低通滤波器和压控振荡器,并依次电连接,形成锁相环仿真单元;

或/和,经过锁相环仿真单元处理后得到基波相角信号的方法如下:

将三相交流电压信号作为输入信号,输入鉴相器,鉴相器通过比较输入信号和压控振荡器的输出信号的相位,输出电压信号;

然后电压信号输入到低通滤波器中,将电压信号中的高频分量和噪声过滤掉,只保留低频分量信号;

再将低频分量信号输入到压控振荡器中,锁定低频分量信号和输入信号的相位,得到基波相角信号。

4. 如权利要求1所述的一种基于换流阀仿真的高频等效电路控制方法,其特征在于:

利用预先构建的脉冲触发信号生成模型,根据斜坡信号,并基于电平状态变化机制,生成脉冲触发信号的方法如下:

根据斜坡信号的线性变化特征,设置用于触发电平状态变化的斜坡阈值;

基于斜坡阈值,创建H组脉冲触发信号生成器;

每组脉冲触发信号生成器包括第一输入端、第二输入端和第三输入端；
将N组斜坡信号分成H组，并分别输入到H个第一输入端中；
基于斜坡信号，设置N组触发角定值，并将N组触发角定值分成H组，并分别输入到H个第二输入端中；
每个第三输入端连接一个单输入比较器，并基于N组斜坡信号，得到N组比较信号；
将N组比较信号输入到脉冲触发信号生成器中，使得斜坡信号能转换为N组等相位间隔的脉冲波形，得到N组脉冲触发信号；脉冲触发信号的周期与斜坡信号的变化速率以及斜坡阈值设置相关；
或/和，构建换流阀高频等效模型的方法如下：
根据高压直流输电系统的技术特征，并考虑了耦合电容和电感的作用，对换流阀单阀臂进行高频建模，得到单阀臂高频等效单元，用于仿真单个阀臂下晶闸管关断产生的脉动干扰信号的高频特性；
根据单阀臂高频等效单元，搭建多阀臂高频等效模型，用于模拟M脉动换流阀组的高频特性；
将H个多阀臂高频等效模型进行耦合，得到换流阀高频等效模型，用于仿真换流阀的高频特性。

5. 如权利要求4所述的一种基于换流阀仿真的高频等效电路控制方法，其特征在于：
基于N组斜坡信号，得到N组比较信号的方法如下：
将N组斜坡信号分成H组，并分别输入到H个单输入比较器中；
如果斜坡信号的值超过斜坡阈值，单输入比较器输出一个高电平值；
如果斜坡信号的值低于斜坡阈值，单输入比较器输出一个低电平值；
将高电平值或低电平值作为比较信号，确定N组比较信号。

6. 如权利要求4所述的一种基于换流阀仿真的高频等效电路控制方法，其特征在于：
得到单阀臂高频等效单元的方法如下：
基于高频信号的传播过程及时频域特征，并根据换流阀臂的具体结构，采用宽频结构表示饱和电抗器、晶闸管和阻容回路组件；
根据饱和电抗器运行条件所呈现出来的动态特性，在暂态过程中将饱和电抗器视为线性元件，并计算得到饱和电抗器的高频等效阻抗；
根据换流阀特性以及饱和电抗器的高频等效阻抗，计算确定晶闸管的阴阳极间的杂散电容、晶间管导通时的内电阻和内电感以及阻容回路组件的均压电阻和均压电容；
将高频等效阻抗、杂散电容、内电阻和内电感以及均压电阻和均压电容进行电连接，得到单阀臂高频等效单元；
基于干扰信号在高压直流输电系统中的产生过程，让单阀臂高频等效单元处于开通状态或关断状态，使得单阀臂高频等效单元中的杂散电容及均压电容进行充放电，产生高频电流以及电压信号，实现对换流阀的高频仿真；
或/和，搭建多阀臂高频等效模型的方法如下：
将多个单阀臂高频等效单元串并联建立高频电路模型；
高频电路模型的一侧与换流变压器连接，得到多阀臂高频等效模型；
换流变压器用于将交流电转换为直流电。

7. 如权利要求6所述的一种基于换流阀仿真的高频等效电路控制方法,其特征在于:
采用预先构建的换流阀高频等效模型,对脉冲触发信号进行处理,得到高频电流和电压信号的方法如下:

获取换流阀高频等效模型中的若干个单阀臂高频等效单元;

若干个单阀臂高频等效单元分别输入一脉冲触发信号,使得若干个单阀臂高频等效单元触发导通;

导通后,单阀臂高频等效单元内部的杂散电容及均压电容充放电,输出若干股高频电流以及电压信号;

根据若干股高频电流以及电压信号,得到若干脉动干扰信号,实现若干脉动干扰信号的高频等值仿真。

8. 一种基于换流阀仿真的高频等效电路控制方法,其特征在于:

包括以下内容:

基于换流阀臂的结构、高频信号的传播过程以及时频域特征,搭建单阀臂高频等效单元;

将M个单阀臂高频等效单元进行串并联,构建多阀臂高频等效模型;

将H个多阀臂高频等效模型串联,得到换流阀高频等效模型;

通过锁相环仿真单元生成斜坡信号;

利用脉冲触发信号生成模型将斜坡信号转化为脉冲触发信号;

将脉冲触发信号输入到换流阀高频等效模型中,得到高频电流以及电压信号;并根据高频电流以及电压信号,获取脉动干扰信号。

9. 一种基于换流阀仿真的高频等效电路控制系统,其特征在于:

包括脉冲触发控制模块、脉冲触发信号生成模块和换流阀高频等效模块:

脉冲触发控制模块,用于采用相位矢量技术,将输入网侧电压信号,转化为斜坡信号;斜坡信号能表征输入网侧电压信号的相位信息;

脉冲触发信号生成模块,用于根据斜坡信号,并基于电平状态变化机制,生成脉冲触发信号;

换流阀高频等效模块,用于模拟高频电流和电压信号在高压直流输电系统中的产生过程,其根据高频信号的传播过程以及时频域特征,并耦合电容和电感的作用,对换流阀中的一个或多个阀臂进行高频建模;并能够对脉冲触发信号进行处理,得到高频电流和电压信号以及脉动干扰信号。

10. 如权利要求9所述的一种基于换流阀仿真的高频等效电路控制系统,其特征在于:

脉冲触发控制模块,设有锁相环仿真单元;锁相环仿真单元包括鉴相器、低通滤波器和压控振荡器;

或/和,脉冲触发信号生成模块,包括H组脉冲触发信号生成器;

每组脉冲触发信号生成器包括用于接收斜坡信号的第一输入端、用于接收触发角定值的第二输入端和用于连接单输入比较器的第三输入端;

或/和,换流阀高频等效模块包括一个或H个串联的多阀臂高频等效模块;

每个多阀臂高频等效模块设有M个单阀臂高频等效单元,用于模拟换流阀组的高频特性;

单阀臂高频等效单元包括饱和电抗器、晶闸管和阻容回路组件,用于仿真单个阀臂下晶闸管关断产生的脉动干扰信号的高频特性。

一种基于换流阀仿真的高频等效电路控制方法和系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于换流阀仿真的高频等效电路控制方法和系统,属于换流变压器仿真技术领域。

背景技术

[0002] 特高压换流阀是高压直流输电工程中的关键性核心设备,在换流变电站中起到枢纽作用,换流阀能否正常运行直接影响电网的可靠性水平。

[0003] 相较于传统的交流变压器,换流阀在运行过程中承受着复杂的工频交流、谐波与直流复合电场作用,并且由于站内电力设备种类繁多,电磁环境复杂,同时在电容和电感的作用下,换流阀两侧电压剧烈变化的同时,也必将导致伴随电流发生突变,同时还将形成能量高、频率分量多的脉动干扰。在直流侧由换流阀产生的脉动干扰通过套管、平波电抗器和母线向直流架空线路扩散。在交流侧,脉动干扰通过套管和换流阀传输到交流母线。

[0004] 进而因脉动干扰信号的时频域特征与局部放电脉冲信号极其相似,使得微弱的局放信号更难以被识别,严重影响局部放电信号在线检测的准确性。并且对于换流阀,其阀臂的导通与关断产生的周期性的脉动干扰是电磁干扰的主要干扰源。因此需要对换流阀以及阀臂在运行过程中产生的高频电流以及时频域特性进行仿真分析。

[0005] 现有技术中的仿真模型通常是对高压直流输电进行仿真建模,并利用该仿真模型模拟直流故障,研究触发角,熄弧角对整个高压直流输电系统的影响,以及对稳态潮汐等参数进行计算。因而,现有技术缺乏一种能够准确模拟处于实际运行工况中的换流阀以及阀臂的等效模型,导致无法准确模拟因换流阀以及阀臂关断所产生的高频电流以及电压信号,不利于换流阀的推广使用。

[0006] 进一步,现有技术缺乏针对换流阀以及阀臂的运行仿真模型,将无法对其高频电流以及电压信号中的脉动干扰信号的产生机理与时频域特性进行分析,进而影响了局部放电信号的准确检测。

[0007] 本背景技术中公开的信息仅用于理解本发明构思的背景,因此它可以包括不构成现有技术的信息。

发明内容

[0008] 针对上述问题或上述问题之一,本发明的目的之一在于提供一种基于换流阀仿真的高频等效电路控制方法,通过构建脉冲触发控制模型、脉冲触发信号生成模型、换流阀高频等效模型,充分考虑高频信号的传播过程以及时频域特征,并耦合电容和电感的作用,对换流阀中的一个或多个阀臂进行高频建模,因而可以准确模拟处于实际运行工况中的换流阀以及阀臂,从而可以精准仿真因换流阀以及阀臂关断所产生的高频电流以及电压信号,能够准确实现基于换流阀仿真的高频等效电路控制,利于换流阀的推广使用。

[0009] 针对上述问题或上述问题之一,本发明的目的二在于提供一种基于换流阀仿真的高频等效电路控制方法,通过构建单阀臂高频等效单元、多阀臂高频等效模型、换流阀高频

等效模型、锁相环仿真单元、脉冲触发信号生成模型,模拟了高频信号传导回路中传播过程以及时频域特征,显著提高了仿真电路的频率上限,能够在高达1MHz的频率范围内,准确模拟研究高频电流以及电压信号以及脉动高频干扰信号的传输特性。

[0010] 针对上述问题或上述问题之一,本发明的目的三在于提供一种基于换流阀仿真的高频等效电路控制系统,通过设置脉冲触发控制模块、脉冲触发信号生成模块、换流阀高频等效模块,充分考虑高频信号的传播过程以及时频域特征,并耦合电容和电感的作用,对换流阀中的一个或多个阀臂进行高频建模,因而可以准确模拟处于实际运行工况中的换流阀以及阀臂,从而可以精准仿真因换流阀以及阀臂关断所产生的高频电流以及电压信号。

[0011] 为实现上述目的之一,本发明的第一种技术方案为:

[0012] 一种基于换流阀仿真的高频等效电路控制方法,包括以下内容:

[0013] 通过预先构建的脉冲触发控制模型,采用相位矢量技术,将输入网侧电压信号,转化为斜坡信号;斜坡信号能表征输入网侧电压信号的相位信息;

[0014] 利用预先构建的脉冲触发信号生成模型,根据斜坡信号,并基于电平状态变化机制,生成脉冲触发信号;

[0015] 采用预先构建的换流阀高频等效模型,对脉冲触发信号进行处理,得到具有脉动干扰信号的高频电流和电压信号;

[0016] 换流阀高频等效模型,用于模拟高频电流和电压信号在高压直流输电系统中的产生过程,其根据高频信号的传播过程以及时频域特征,并耦合电容和电感的作用,对换流阀中的一个或多个阀臂进行高频建模。

[0017] 本发明经过不断探索以及试验,通过构建脉冲触发控制模型、脉冲触发信号生成模型、换流阀高频等效模型,充分考虑高频信号的传播过程以及时频域特征,并耦合电容和电感的作用,对换流阀中的一个或多个阀臂进行高频建模,因而可以准确模拟处于实际运行工况中的换流阀以及阀臂,从而可以精准仿真因换流阀以及阀臂关断所产生的高频电流以及电压信号,能够准确实现基于换流阀仿真的高频等效电路控制,利于换流阀的推广使用。

[0018] 进一步,本发明可以得到具有脉动干扰信号的高频电流和电压信号,从而可以对其高频电流以及电压信号中的脉动干扰信号的产生机理与时频域特性进行分析,进而有利于实现局部放电信号的准确检测。

[0019] 作为优选技术措施:

[0020] 通过预先构建的脉冲触发控制模型,采用相位矢量技术,将输入网侧电压信号,转化为斜坡信号的方法如下:

[0021] 采用相位矢量技术,构建锁相环仿真单元;

[0022] 在锁相环仿真单元的一侧输入网侧电压信号;

[0023] 输入网侧电压信号为三相交流电压信号,其经过锁相环仿真单元处理后得到基波相角信号;

[0024] 将基波相角信号输入到换流阀中,并根据换流阀M脉冲的相位关系,通过相加器逐一增加60度,得到M组变换信号;

[0025] 将M组变换信号再输入到角度弧度转换器中,得到斜坡信号基准相位图一;

[0026] 再获取M组变换信号,并输入到角度弧度转换器中,得到斜坡信号基准相位图二;

- [0027] 基于斜坡信号基准相位图一和斜坡信号基准相位图二,得到N组斜坡信号。
- [0028] 作为优选技术措施:
- [0029] 采用相位矢量技术,构建锁相环仿真单元的方法如下:
- [0030] 根据相位矢量技术,设置鉴相器、低通滤波器和压控振荡器,并依次电连接,形成锁相环仿真单元;
- [0031] 或/和,经过锁相环仿真单元处理后得到基波相角信号的方法如下:
- [0032] 将三相交流电压信号作为输入信号,输入鉴相器,鉴相器通过比较输入信号和压控振荡器的输出信号的相位,输出电压信号;
- [0033] 然后电压信号输入到低通滤波器中,将电压信号中的高频分量和噪声过滤掉,只保留低频分量信号;
- [0034] 再将低频分量信号输入到压控振荡器中,锁定低频分量信号和输入信号的相位,得到基波相角信号。
- [0035] 作为优选技术措施:
- [0036] 利用预先构建的脉冲触发信号生成模型,根据斜坡信号,并基于电平状态变化机制,生成脉冲触发信号的方法如下:
- [0037] 根据斜坡信号的线性变化特征,设置用于触发电平状态变化的斜坡阈值;
- [0038] 基于斜坡阈值,创建H组脉冲触发信号生成器;
- [0039] 每组脉冲触发信号生成器包括第一输入端、第二输入端和第三输入端;
- [0040] 将N组斜坡信号分成H组,并分别输入到H个第一输入端中;
- [0041] 基于斜坡信号,设置N组触发角定值,并将N组触发角定值分成H组,并分别输入到H个第二输入端中;
- [0042] 每个第三输入端连接一个单输入比较器,并基于N组斜坡信号,得到N组比较信号;
- [0043] 将N组比较信号输入到脉冲触发信号生成器中,使得斜坡信号能转换为N组等相位间隔的脉冲波形,得到N组脉冲触发信号;脉冲触发信号的周期与斜坡信号的变化速率以及斜坡阈值设置相关;
- [0044] 或/和,构建换流阀高频等效模型的方法如下:
- [0045] 根据高压直流输电系统的技术特征,并考虑了耦合电容和电感的作用,对换流阀单阀臂进行高频建模,得到单阀臂高频等效单元,用于仿真单个阀臂下晶闸管关断产生的脉动干扰信号的高频特性;
- [0046] 根据单阀臂高频等效单元,搭建多阀臂高频等效模型,用于模拟M脉动换流阀组的高频特性;
- [0047] 将H个多阀臂高频等效模型进行耦合,得到换流阀高频等效模型,用于仿真换流阀的高频特性。
- [0048] M的取值为3或6或9或12,H的取值为2或3或4或5,相应的N的取值为 $M \times H$ 。
- [0049] 优选的,M的取值为6,H的取值为2,N的取值为12。
- [0050] 作为优选技术措施:
- [0051] 基于N组斜坡信号,得到N组比较信号的方法如下:
- [0052] 将N组斜坡信号分成H组,并分别输入到H个单输入比较器中;
- [0053] 如果斜坡信号的值超过斜坡阈值,单输入比较器输出一个高电平值;

- [0054] 如果斜坡信号的值低于斜坡阈值,单输入比较器输出一个低电平值;
- [0055] 将高电平值或低电平值作为比较信号,确定N组比较信号。
- [0056] 斜坡阈值为308.45。
- [0057] 作为优选技术措施:
- [0058] 得到单阀臂高频等效单元的方法如下:
- [0059] 基于高频信号的传播过程以及时频域特征,并根据换流阀臂的具体结构,采用宽频结构表示饱和电抗器、晶闸管和阻容回路组件;
- [0060] 根据饱和电抗器运行条件所呈现出来的动态特性,在暂态过程中将饱和电抗器视为线性元件,并计算得到饱和电抗器的高频等效阻抗;
- [0061] 根据换流阀特性以及饱和电抗器的高频等效阻抗,计算确定晶闸管的阴阳极间的杂散电容、晶间管导通时的内电阻和内电感以及阻容回路组件的均压电阻和均压电容;
- [0062] 将高频等效阻抗、杂散电容、内电阻和内电感以及均压电阻和均压电容进行电连接,得到单阀臂高频等效单元;
- [0063] 基于干扰信号在高压直流输电系统中的产生过程,让单阀臂高频等效单元处于开通状态或关断状态,使得单阀臂高频等效单元中的杂散电容及均压电容进行充放电,产生高频电流以及电压信号,实现对换流阀的高频仿真;
- [0064] 或/和,搭建多阀臂高频等效模型的方法如下:
- [0065] 将多个单阀臂高频等效单元串并联建立高频电路模型;
- [0066] 高频电路模型的一侧与换流变压器连接,得到多阀臂高频等效模型;
- [0067] 换流变压器用于将交流电转换为直流电。
- [0068] 作为优选技术措施:
- [0069] 采用预先构建的换流阀高频等效模型,对脉冲触发信号进行处理,得到高频电流和电压信号的方法如下:
- [0070] 获取换流阀高频等效模型中的若干个单阀臂高频等效单元;
- [0071] 若干个单阀臂高频等效单元分别输入一脉冲触发信号,使得若干个单阀臂高频等效单元触发导通;
- [0072] 导通后,单阀臂高频等效单元内部的杂散电容及均压电容充放电,输出若干股高频电流以及电压信号;
- [0073] 根据若干股高频电流以及电压信号,得到若干脉动干扰信号,实现若干脉动干扰信号的高频等值仿真。
- [0074] 为实现上述目的之一,本发明的第二种技术方案为:
- [0075] 一种基于换流阀仿真的高频等效电路控制方法,包括以下内容:
- [0076] 基于换流阀以及阀臂的结构、高频信号的传播过程以及时频域特征,搭建单阀臂高频等效单元;
- [0077] 将M个单阀臂高频等效单元进行串并联,构建多阀臂高频等效模型;
- [0078] 将H个多阀臂高频等效模型串联,得到换流阀高频等效模型;
- [0079] 通过锁相环仿真单元生成斜坡信号;
- [0080] 利用脉冲触发信号生成模型将斜坡信号转化为脉冲触发信号;
- [0081] 将脉冲触发信号输入到换流阀高频等效模型中,得到高频电流以及电压信号;并

根据高频电流以及电压信号,获取脉动干扰信号。

[0082] 本发明通过构建单阀臂高频等效单元、多阀臂高频等效模型、换流阀高频等效模型、锁相环仿真单元、脉冲触发信号生成模型,模拟了高频信号传导回路中传播过程以及时频域特征,显著提高了仿真电路的频率上限,能够在高达1MHz的频率范围内,准确模拟研究高频电流以及电压信号以及脉动高频干扰信号的传输特性。

[0083] 同时本发明提出的脉冲触发控制回路,并且搭建了精确的单阀臂高频等效单元,能够精准地对换流阀以及阀臂的高频电流,电压信号进行模拟,更加贴合实际的高压直流输电换流站产生的脉动干扰信号。

[0084] 为实现上述目的之一,本发明的第三种技术方案为:

[0085] 一种基于换流阀仿真的高频等效电路控制系统,包括脉冲触发控制模块、脉冲触发信号生成模块和换流阀高频等效模块:

[0086] 脉冲触发控制模块,用于采用相位矢量技术,将输入网侧电压信号,转化为斜坡信号;斜坡信号能表征输入网侧电压信号的相位信息;

[0087] 脉冲触发信号生成模块,用于根据斜坡信号,并基于电平状态变化机制,生成脉冲触发信号;

[0088] 换流阀高频等效模块,用于模拟高频电流和电压信号在高压直流输电系统中的产生过程,其根据高频信号的传播过程以及时频域特征,并耦合电容和电感的作用,对换流阀中的一个或多个阀臂进行高频建模;并能够对脉冲触发信号进行处理,得到高频电流和电压信号以及脉动干扰信号。

[0089] 本发明经过不断探索以及试验,通过设置脉冲触发控制模块、脉冲触发信号生成模块、换流阀高频等效模块,充分考虑高频信号的传播过程以及时频域特征,并耦合电容和电感的作用,对换流阀中的一个或多个阀臂进行高频建模,因而可以准确模拟处于实际运行工况中的换流阀以及阀臂,从而可以精准仿真因换流阀以及阀臂关断所产生的高频电流以及电压信号,利于换流阀的推广使用。

[0090] 作为优选技术措施:

[0091] 脉冲触发控制模块,设有锁相环仿真单元;锁相环仿真单元包括鉴相器、低通滤波器和压控振荡器;

[0092] 或/和,脉冲触发信号生成模块,包括H组脉冲触发信号生成器;

[0093] 每组脉冲触发信号生成器包括用于接收斜坡信号的第一输入端、用于接收触发角定值的第二输入端和用于连接单输入比较器的第三输入端;

[0094] 或/和,换流阀高频等效模块包括一个或H个串联的多阀臂高频等效模块;

[0095] 每个多阀臂高频等效模块设有M个单阀臂高频等效单元,用于模拟换流阀组的高频特性;

[0096] 单阀臂高频等效单元包括饱和电抗器、晶闸管和阻容回路组件,用于仿真单个阀臂下晶闸管关断产生的脉动干扰信号的高频特性。

[0097] 与现有技术方案相比,本发明具有以下有益效果:

[0098] 本发明经过不断探索以及试验,通过构建脉冲触发控制模型、脉冲触发信号生成模型、换流阀高频等效模型,充分考虑高频信号的传播过程以及时频域特征,并耦合电容和电感的作用,对换流阀中的一个或多个阀臂进行高频建模,因而可以准确模拟处于实际运

行工况中的换流阀以及阀臂,从而可以精准仿真因换流阀以及阀臂关断所产生的高频电流以及电压信号,能够准确实现基于换流阀仿真的高频等效电路控制,利于换流阀的推广使用。

[0099] 进一步,本发明通过构建单阀臂高频等效单元、多阀臂高频等效模型、换流阀高频等效模型、锁相环仿真单元、脉冲触发信号生成模型,模拟了高频信号传导回路中传播过程以及时频域特征,显著提高了仿真电路的频率上限,能够在高达1MHz的频率范围内,准确模拟研究高频电流以及电压信号以及脉动高频干扰信号的传输特性。

[0100] 更进一步,本发明经过不断探索以及试验,通过设置脉冲触发控制模块、脉冲触发信号生成模块、换流阀高频等效模块,充分考虑高频信号的传播过程以及时频域特征,并耦合电容和电感的作用,对换流阀中的一个或多个阀臂进行高频建模,因而可以准确模拟处于实际运行工况中的换流阀以及阀臂,从而可以精准仿真因换流阀以及阀臂关断所产生的高频电流以及电压信号,利于换流阀的推广使用。

附图说明

[0101] 图1为本发明基于换流阀仿真的高频等效电路控制方法的一种流程图;

[0102] 图2为本发明单阀臂高频等效单元的一种电路结构示意图;

[0103] 图3为本发明多阀臂高频等效模型的一种电路结构示意图;

[0104] 图4为本发明锁相环仿真单元的一种结构示意图;

[0105] 图5为本发明斜坡信号基准相位图的一种示意图;

[0106] 图6为本发明脉冲触发信号发生器的一种电路结构示意图;

[0107] 图7为本发明单组脉冲触发信号的一种示意图;

[0108] 图8为本发明对换流阀单阀臂进行模拟后的一种时域波形图;

[0109] 图9为本发明对换流阀单阀臂进行模拟后的一种频谱图。

具体实施方式

[0110] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0111] 相反,本发明涵盖任何由权利要求定义的在本发明的精髓和范围上做的替代、修改、等效方法以及方案。进一步,为了使公众对本发明有更好地了解,在下文对本发明的细节描述中,详尽描述了一些特定的细节部分。对本领域技术人员来说没有这些细节部分的描述也可以完全理解本发明。

[0112] 除非另有定义,本发明所使用的所有的技术和科学术语与属于本发明的技术领域的技术人员通常理解的含义相同。本发明所使用的术语只是为了描述具体的实施例的目的,不是旨在限制本发明。本发明所使用的术语“或/和”包括一个或多个相关的所列项目的任意的和所有的组合。

[0113] 如图1所示,本发明基于换流阀仿真的高频等效电路控制方法的第一种具体实施例:

[0114] 一种基于换流阀仿真的高频等效电路控制方法,包括以下内容:

[0115] 通过预先构建的脉冲触发控制模型,采用相位矢量技术,将输入网侧电压信号,转化为斜坡信号;斜坡信号能表征输入网侧电压信号的相位信息;

[0116] 利用预先构建的脉冲触发信号生成模型,根据斜坡信号,并基于电平状态变化机制,生成脉冲触发信号;

[0117] 采用预先构建的换流阀高频等效模型,对脉冲触发信号进行处理,得到具有脉动干扰信号的高频电流和电压信号;

[0118] 换流阀高频等效模型,用于模拟高频电流和电压信号在高压直流输电系统中的产生过程,其根据高频信号的传播过程以及时频域特征,并耦合电容和电感的作用,对换流阀中的一个或多个阀臂进行高频建模。

[0119] 本实施例中:通过预先构建的脉冲触发控制模型,采用相位矢量技术,将输入网侧电压信号,转化为斜坡信号的方法如下:

[0120] 采用相位矢量技术,构建锁相环仿真单元;

[0121] 在锁相环仿真单元的一侧输入网侧电压信号;

[0122] 输入网侧电压信号为三相交流电压信号,其经过锁相环仿真单元处理后得到基波相角信号;

[0123] 将基波相角信号输入到换流阀中,并根据换流阀6脉冲的相位关系,通过相加器逐一增加60度,得到6组变换信号;

[0124] 将6组变换信号再输入到角度弧度转换器中,得到斜坡信号基准相位图一;

[0125] 再获取6组变换信号,并输入到角度弧度转换器中,得到斜坡信号基准相位图二;

[0126] 基于斜坡信号基准相位图一和斜坡信号基准相位图二,得到12组斜坡信号。

[0127] 本实施例中:采用相位矢量技术,构建锁相环仿真单元的方法如下:

[0128] 根据相位矢量技术,设置鉴相器、低通滤波器和压控振荡器,并依次电连接,形成锁相环仿真单元;

[0129] 本实施例中:经过锁相环仿真单元处理后得到基波相角信号的方法如下:

[0130] 将三相交流电压信号作为输入信号,输入鉴相器,鉴相器通过比较输入信号和压控振荡器的输出信号的相位,输出电压信号;

[0131] 然后电压信号输入到低通滤波器中,将电压信号中的高频分量和噪声过滤掉,只保留低频分量信号;

[0132] 再将低频分量信号输入到压控振荡器中,锁定低频分量信号和输入信号的相位,得到基波相角信号。

[0133] 本实施例中:利用预先构建的脉冲触发信号生成模型,根据斜坡信号,并基于电平状态变化机制,生成脉冲触发信号的方法如下:

[0134] 根据斜坡信号的线性变化特征,设置用于触发电平状态变化的斜坡阈值;

[0135] 基于斜坡阈值,创建两组脉冲触发信号生成器;

[0136] 每组脉冲触发信号生成器包括第一输入端、第二输入端和第三输入端;

[0137] 将12组斜坡信号分成两组,并分别输入到两个第一输入端中;

[0138] 基于斜坡信号,设置12组触发角定值,并将12组触发角定值分成两组,并分别输入到两个第二输入端中;

[0139] 每个第三输入端连接一个单输入比较器,并基于12组斜坡信号,得到12组比较信

号;

[0140] 将12组比较信号输入到脉冲触发信号生成器中,使得斜坡信号能转换为12组等相位间隔的脉冲波形,得到12组脉冲触发信号;脉冲触发信号的周期与斜坡信号的变化速率以及斜坡阈值设置相关;

[0141] 本实施例中:构建换流阀高频等效模型的方法如下:

[0142] 根据高压直流输电系统的技术特征,并考虑了耦合电容和电感的作用,对换流阀单阀臂进行高频建模,得到单阀臂高频等效单元,用于仿真单个阀臂下晶闸管关断产生的脉动干扰信号的高频特性;

[0143] 根据单阀臂高频等效单元,搭建多阀臂高频等效模型,用于模拟12脉动换流阀组的高频特性;

[0144] 利用一个多阀臂高频等效模型,构建换流阀高频等效模型;或,将两个多阀臂高频等效模型进行耦合,得到换流阀高频等效模型,用于仿真24脉动换流阀的高频特性。

[0145] 本实施例中:基于12组斜坡信号,得到12组比较信号的方法如下:

[0146] 将12组斜坡信号分成两组,并分别输入到两个单输入比较器中;

[0147] 如果斜坡信号的值超过斜坡阈值,单输入比较器输出一个高电平值;

[0148] 如果斜坡信号的值低于斜坡阈值,单输入比较器输出一个低电平值;

[0149] 将高电平值或低电平值作为比较信号,确定12组比较信号。

[0150] 本实施例中:得到单阀臂高频等效单元的方法如下:

[0151] 基于高频信号的传播过程及时频域特征,并根据换流阀以及阀臂的具体结构,采用宽频结构表示饱和电抗器、晶闸管和阻容回路组件;

[0152] 根据饱和电抗器运行条件所呈现出来的动态特性,在暂态过程中将饱和电抗器视为线性元件,并计算得到饱和电抗器的高频等效阻抗;

[0153] 根据换流阀特性以及饱和电抗器的高频等效阻抗,计算确定晶闸管的阴阳极间的杂散电容、晶间管导通时的内电阻和内电感以及阻容回路组件的均压电阻和均压电容;

[0154] 将高频等效阻抗、杂散电容、内电阻和内电感以及均压电阻和均压电容进行电连接,得到单阀臂高频等效单元;

[0155] 基于干扰信号在高压直流输电系统中的产生过程,让单阀臂高频等效单元处于开通状态或关断状态,使得单阀臂高频等效单元中的杂散电容及均压电容进行充放电,产生高频电流以及电压信号,实现对换流阀的高频仿真;

[0156] 本实施例中:搭建多阀臂高频等效模型的方法如下:

[0157] 将六个单阀臂高频等效单元串并联建立高频电路模型;

[0158] 高频电路模型的一侧与换流变压器连接,得到多阀臂高频等效模型;

[0159] 换流变压器用于将交流电转换为直流电。

[0160] 本实施例中:采用预先构建的换流阀高频等效模型,对脉冲触发信号进行处理,得到高频电流和电压信号的方法如下:

[0161] 获取换流阀高频等效模型中的6个单阀臂高频等效单元;

[0162] 6个单阀臂高频等效单元分别输入一脉冲触发信号,使得6个单阀臂高频等效单元触发导通;6个单阀臂高频等效单元导通后,单阀臂高频等效单元内部的杂散电容及均压电容充放电,产生高频电流,并输出6股高频电流以及电压信号。

[0163] 进而6个单阀臂高频等效单元关闭后,单阀臂高频等效单元内部的杂散电容及均压电容再次充放电,输出6股高频电流以及电压信号。

[0164] 根据12股高频电流以及电压信号,可得到12脉动干扰信号,实现多脉动干扰信号的高频等值仿真。

[0165] 本发明基于换流阀仿真的高频等效电路控制方法的第二种具体实施例:

[0166] 一种基于换流阀仿真的高频等效电路控制方法,包括以下内容:

[0167] 根据高压直流输电系统的技术特征,搭建12脉动换流阀组,建立了12脉动脉冲触发控制结构,并考虑了耦合电容,电感的作用,对换流阀单阀臂进行高频建模,显著提高了模型的频率上限,从而能够准确仿真单个阀臂下晶闸管关断产生的脉动干扰信号的高频特性。

[0168] 高压直流输电系统包括一次侧系统、二次侧控制系统。一次侧系统是高压直流输电系统的电气连接结构即电路结构,二次侧控制系统是控制其运行的结构。

[0169] 本发明首先在 $\pm 500\text{kV}$ 高压直流输电CIGRE标准模型的基础上,提出新的单阀臂高频等效单元;并应用于搭建关于6脉动换流阀组的多阀臂高频等效模型;然后基于多阀臂高频等效模型,搭建关于12脉动阀组的换流阀高频等效模型;进而根据换流阀高频等效模型,搭建关于12脉动阀组的脉冲触发控制模型以及脉冲触发信号生成模型,使得12脉动阀组能正常触发运行,从而能够仿真12脉动干扰信号传播。

[0170] 6脉动换流阀组属于整个高压直流输电仿真模型的一个器件,而脉冲触发控制系统可以产生触发脉冲信号,使得6脉动换流阀组的等效电路可以正常工作。

[0171] 本实施例中,搭建单阀臂高频等效单元的方法如下:

[0172] 单阀臂高频等效单元是对整个高压直流输电系统中的换流阀进行高频搭建。单阀臂高频等效单元最终的输出量为单个脉动换流阀单阀臂的高频电流以及电压信号。

[0173] 当换流阀处于开通或关断的短暂过程中,其两端电压迅速升高或降低,换流阀内部杂散电容及缓冲电容充放电,会产生高频电流。因此根据换流阀臂的具体结构,将饱和电抗器、晶闸管、阻容回路组件均采用宽频结构表示,构成换流阀的宽频模型。实际饱和电抗器的结构复杂,属于非线性元件,但根据其运行条件所呈现出来的动态特性,可以在暂态过程中视为线性元件。本发明将饱和电抗器的高频结构用一个由电阻、电感、电容串并联电路表示,以简化为如图2所示的高频结构。图2为单阀臂高频等效单元,图2中的 Z 表示饱和电抗器的高频等效阻抗; C_{Thy} 为晶闸管的阴阳极间的杂散电容; T_{hy} 为晶间管(导通时存在内电阻和内电感); R_B 和 C_B 分别表示均压电阻和均压电容; C_G 为均压电容,也起到均压的作用。晶闸管的阴阳极间的杂散电容 C_{Thy} 的计算公式如下:

$$[0174] \quad C_{Thy} = \begin{cases} a_0 + a_1 u + a_2 u^2, u \leq 10V \\ \frac{k}{\sqrt{|u|}}, u \geq 10V \end{cases}$$

[0175] 式中: a_0 、 a_1 、 a_2 、 k 分别为固定常数; $a_0 = 10^{-6}$, $a_1 = 0.3331 \times 10^{-6}$, $a_2 = 0.3331 \times 10^{-6}$; $k = 0.3224 \times 10^{-6}$; u 为晶闸管两端电压。

[0176] 考虑到 u 的取值范围,本实施例中 C_{Thy} 取固定值4.23nF。

[0177] 如图3所示,本实施例中,搭建多阀臂高频等效模型的方法如下:

[0178] 根据典型6脉动整流器结构,将单阀臂高频等效单元串并联建立多阀臂高频等效模型,可参见图3,图3中的 C_{Thy} 为晶闸管的阴阳极间的杂散电容; T_{hy1} 为晶间管,其导通时存在内电阻和内电感; R_B 和 C_B 分别表示均压电阻和均压电容; C_G 为均压电容,其中FP11、FP21、FP31、FP41、FP51、FP61为门极脉冲,用于输入脉冲触发信号使得6脉动整流器触发导通,正常运行。换流阀左侧与换流变压器连接,可以起到整流作用,将三相(ABC)交流电转换为直流电。

[0179] 如图4所示,本实施例中,脉冲触发控制模型利用锁相环控制产生斜坡信号基准相位图的方法如下:

[0180] 锁相环元件内部由鉴相器,低通滤波器,压控振荡器三个部分组成,斜坡信号是线性变化的信号,鉴相器通过比较输入信号和压控振荡器的输出信号的相位,输出电压信号。低通滤波器的作用是滤除掉输入鉴相器的三相电压中的高频分量和噪声,只保留低频分量。压控振荡的输出信号和输入信号的相位保持特定关系,用来锁定相位。并采用相位矢量技术来产生斜坡信号,以与输入信号的相位匹配目标信号的相位,并与输入的三相电压信号相位匹配,锁相环产生斜坡信号的工作原理如下:

[0181] 设输入的信号 $U_i(t)$ 为:

$$[0182] \quad U_i(t) = U_i \sin(\omega_i t + \theta_i(t))$$

[0183] 其中, $U_i(t)$ 为三相输入电压信号, ω_i 为输入电压频率, t 为时间, $\theta_i(t)$ 为输入信号初相位。

[0184] 压控振荡器输出信号 $U_o(t)$ 为:

$$[0185] \quad U_o(t) = U_o \sin(\omega_o t + \theta_o(t))$$

[0186] 其中, $U_o(t)$ 为压控振荡器输出电压信号, ω_o 为压控振荡器输出电压频率, t 为时间, $\theta_o(t)$ 为压控振荡器输出信号初相位,将 ω_i 和 ω_o 两者统一为 ω_o ,则信号变换为:

$$[0187] \quad U_i(t) = U_i \sin(\omega_i t + \theta_i(t)) = U_i \sin(\omega_o t + (\omega_i - \omega_o)t + \theta_i(t)) = U_i \sin(\omega_o t + \varphi_i(t))$$

$$[0188] \quad \varphi_i(t) = (\omega_i - \omega_o)t + \theta_i(t) = \Delta\omega t + \theta_i(t)$$

[0189] 上式中, $\varphi_i(t)$ 表示改写后输入信号初相位, $\Delta\omega$ 表示输出信号角频率和振荡器信号角频率的差值,为方便计算,将相位 θ 统一用 φ 表示,将压控振荡器输出信号改写为:

$$[0190] \quad U_o(t) = U_o \cos(\omega_o t + \varphi_o(t))$$

[0191] 其中, $\varphi_o(t)$ 表示改写后压控振荡器输出信号。

[0192] 初相位鉴相器将输入信号和压控振荡器的输出信号相乘,可得如下表达式:

$$[0193] \quad U_i(t)U_o(t)A_m = \frac{1}{2} U_i U_o A_m [\sin(2\omega_o t + \varphi_i(t) + \varphi_o(t)) + \sin(\varphi_i(t) - \varphi_o(t))]$$

[0194] 通过低通滤波器滤除高频分量后得到的输出信号 $U_d(t)$,其相关计算公式如下:

$$[0195] \quad U_d(t) = \frac{1}{2} U_i U_o A_m \sin(\varphi_i(t) - \varphi_o(t)) = K \sin(\varphi(t))$$

$$[0196] \quad \varphi(t) = \varphi_i(t) - \varphi_o(t)$$

$$[0197] \quad K = \frac{1}{2} U_i U_o A_m$$

[0198] 式中, K 为常数, $\varphi(t)$ 为输出信号初相位, A_m 为固定增益系数。

[0199] 根据极限定义,当 $\varphi(t)$ 很小时, $\sin(\varphi(t))$ 近似为 $\varphi(t)$,特别是当 $\varphi(t) \leq 30^\circ$ 时,可得到斜坡信号 $U_d(t)$,其表达式如下;

$$[0200] \quad U_d(t) = K \sin(\varphi(t)) \approx K \varphi(t)$$

[0201] 具体的斜坡信号产生方法如下:

[0202] 首先在锁相环(PLL)左侧输入稳定的网侧三相交流电压信号 V_a 、 V_b 、 V_c ,经过锁相环后可以得到a相的基波相角 θ_{DR} ,单位为角度。之后根据换流阀6脉冲的相位关系,通过相加器逐一增加60度得到新的六组相角信号,其包括相角信号 θ_{D10} 、相角信号 θ_{D20} 、相角信号 θ_{D30} 、相角信号 θ_{D40} 、相角信号 θ_{D50} 、相角信号 θ_{D60} 。再经过角度弧度转换器,得到六组转换信号,其包括转换信号 θ_{D1} 、转换信号 θ_{D2} 、转换信号 θ_{D3} 、转换信号 θ_{D4} 、转换信号 θ_{D5} 、转换信号 θ_{D6} ,进而可以输出得到斜坡信号基准相位图,如图5所示。

[0203] 本实施例中,通过脉冲触发信号生成模型,构建脉冲触发信号发生器的方法如下:

[0204] 如图6所示,脉冲触发信号发生器包括端口H、端口L、端口Db1ck。

[0205] 端口H输入锁相振荡器产生的6组斜坡信号,端口L输入6组触发角定值AOR,AOR可设为固定值10度。端口Db1ck输入侧连接一个单输入比较器,输入信号KBR,输入参数为时间,该元件将时间设为输入阈值,当仿真运行时长超过该默认时间值后解除封锁。

[0206] 将斜坡信号转换为脉冲触发信号,采用的脉冲触发回路原理为比较器方法,即监测信号的变化。根据预设的阈值来输出方波的高低电平,设定斜坡信号最大值为 U_{dmax} ,并设置斜坡阈值为 $0.995 * U_{dmax}$, $U_{dmax} = 310kV$,因此本实施例设定的比较器阈值,即斜坡阈值为308.45,通常可以选择一个合适的电平,使得在斜坡信号超过或低于该电平时能触发状态变化。

[0207] 斜坡信号通常由一个线性变化的电压信号表示,锁相振荡器输出的斜坡信号随着时间线性地增加,如果斜坡信号的值超过阈值,比较器输出一个高电平值。如果斜坡信号的值低于阈值,比较器输出一个低电平值。其中脉冲触发信号的周期与斜坡信号的变化速率和阈值设置有关。信号输出6组等相位间隔的脉冲波形,将脉冲波形连接到晶闸管,本发明设置的脉冲触发信号的持续时间为0.005s。脉冲触发信号可参见图7。

[0208] 通过仿真计算得到额定状态运行时换流阀开关过程中其中一阀臂的端电压波形图及其频谱图,如图8和图9所示。可以看出傅里叶变换处理后的频谱图可以展现500kHz以上的高频特征,进而根据图8中的电压突变,可以获知具体的脉动干扰信号。

[0209] 本发明高频等值仿真方法的第三种具体实施例:

[0210] 一种基于换流阀仿真的高频等效电路控制方法,包括以下内容:

[0211] 步骤1,考虑换流阀的高频特性,搭建单阀臂高频等效单元;

[0212] 步骤2,基于单阀臂高频等效单元,搭建换流阀高频等效模型;单阀臂高频等效单元是单级12脉动阀组中的6脉动整流器阀组的一部分,6脉动整流器阀组共有6个阀臂,单阀臂高频等效单元用于模拟其中一个阀臂。

[0213] 步骤3,搭建脉冲触发控制模型,并利用锁相环将输入网侧电压转换为斜坡基准相位信号;

[0214] 步骤4,将斜坡信号和触发角信号输入到脉冲触发信号生成模型中,生成脉冲触发信号,使得12脉动换流器导通,斜坡信号能表征输入的网侧电压的相位信息。

[0215] 因此,本发明通过构建脉冲触发控制模型、脉冲触发信号生成模型、换流阀高频等效模型,形成一种能够准确仿真高压直流输电12脉动换流阀组的高频等值传导回路模型,充分考虑了晶闸管关断闭合产生的高频12脉动干扰信号在高压直流输电系统中的产生过程,模拟了高频信号传导回路中传播过程以及时频域特征,显著提高了模型的频率上限,能够在高达1MHz的频率范围内准确模拟研究12脉动高频干扰信号的传输特性。

[0216] 本发明提出的脉冲触发控制回路,并且搭建了精确的单阀臂高频等效单元,能够精准地对6脉动换流阀单阀臂的高频电流,电压信号的进行模拟,更加贴合实际的高压直流输电换流站产生的12脉动干扰信号。

[0217] 应用本发明方法的一种系统实施例:

[0218] 一种基于换流阀仿真的高频等效电路控制系统,包括脉冲触发控制模块、脉冲触发信号生成模块和换流阀高频等效模块:

[0219] 脉冲触发控制模块,用于采用相位矢量技术,将输入网侧电压信号,转化为斜坡信号;斜坡信号能表征输入网侧电压信号的相位信息;

[0220] 脉冲触发信号生成模块,用于根据斜坡信号,并基于电平状态变化机制,生成脉冲触发信号;

[0221] 换流阀高频等效模块,用于对脉冲触发信号进行处理,得到高频电流和电压信号,并能够仿真高压直流输电换流站产生的12脉动干扰信号。

[0222] 本实施例中:脉冲触发控制模块,设有锁相环仿真单元;锁相环仿真单元包括鉴相器、低通滤波器、压控振荡器。

[0223] 本实施例中:脉冲触发信号生成模块,包括两组脉冲触发信号生成器;每组脉冲触发信号生成器包括用于接收斜坡信号的第一输入端、用于接收触发角定值的第二输入端和用于连接单输入比较器的第三输入端。

[0224] 本实施例中:换流阀高频等效模块包括一个或两个串联的多阀臂高频等效模型;

[0225] 每个多阀臂高频等效模型设有六个单阀臂高频等效单元,用于模拟12脉动换流阀组的高频特性;单阀臂高频等效单元包括饱和电抗器、晶闸管和阻容回路组件,用于仿真单个阀臂下晶闸管关断产生的脉动干扰信号的高频特性。

[0226] 应用本发明方法的一种设备实施例:

[0227] 一种电子设备,其包括:

[0228] 一个或多个处理器;

[0229] 存储装置,用于存储一个或多个程序;

[0230] 当所述一个或多个程序被所述一个或多个处理器执行时,使得所述一个或多个处理器实现上述的一种基于换流阀仿真的高频等效电路控制方法。

[0231] 应用本发明方法的一种计算机介质实施例:

[0232] 一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,该程序被处理器执行时实现上述的一种基于换流阀仿真的高频等效电路控制方法。

[0233] 本领域内的技术人员应明白,本申请的实施例可提供为方法、系统、计算机程序产品。因此,本申请可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且,本申请可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质上实施的计算机程序产品的形式。

[0234] 本申请是根据本申请实施例的方法、设备(系统)、计算机程序产品的流程图或/和方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图或/和方框图中的每一流程或/和方框以及流程图或/和方框图中的流程或/和方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器,使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程或/和方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

[0235] 这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中,使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制造品,该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程或/和方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

[0236] 这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上,使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理,从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程或/和方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

[0237] 本申请中的模型是一种借助实体或者虚拟表现构成客观描述形态结构的物件,物件并不等于物体,不局限于实体与虚拟,其可以是数据处理函数、软件程序、处理模式、使用方法、操作方式、工作流程、应用过程、电子硬件、电路模块、处理系统、系统模仿品或仿真模拟对象。

[0238] 最后应当说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非对其限制,尽管参照上述实施例对本发明进行了详细的说明,但所属领域的普通技术人员依然可以对本发明的具体实施方式进行修改或者等同替换,而未脱离本发明精神和范围的任何修改或者等同替换,其均应涵盖在本发明的权利要求保护范围之内。

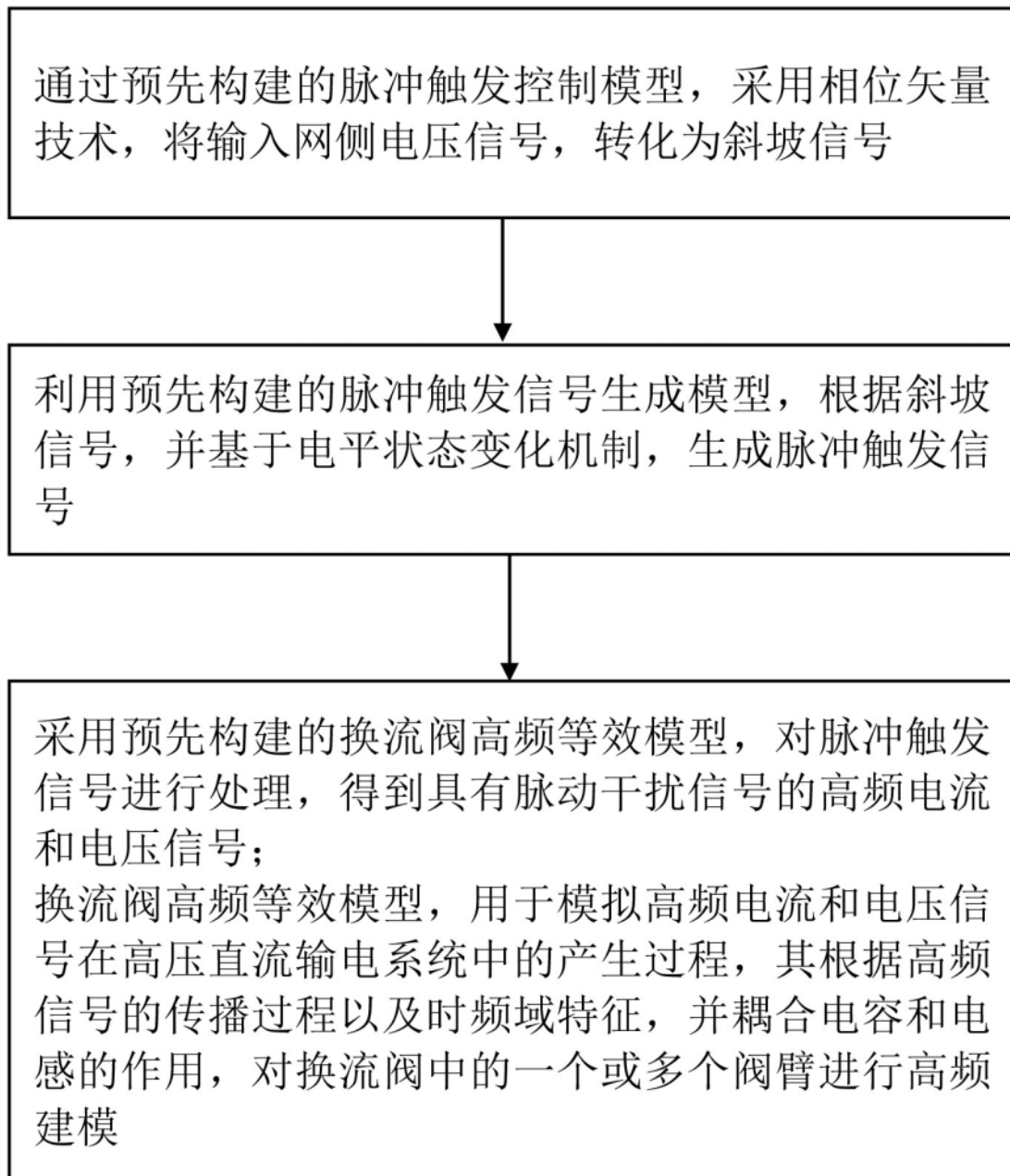


图 1

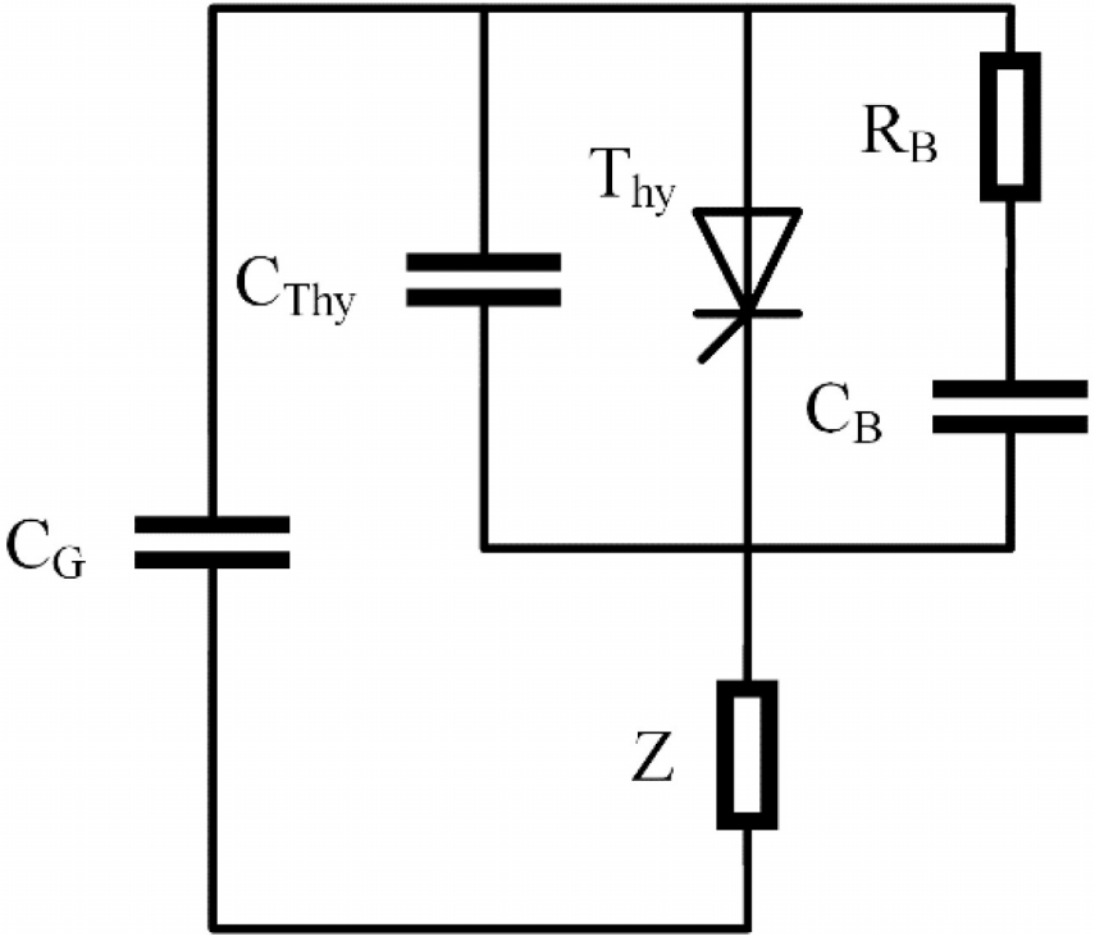


图 2

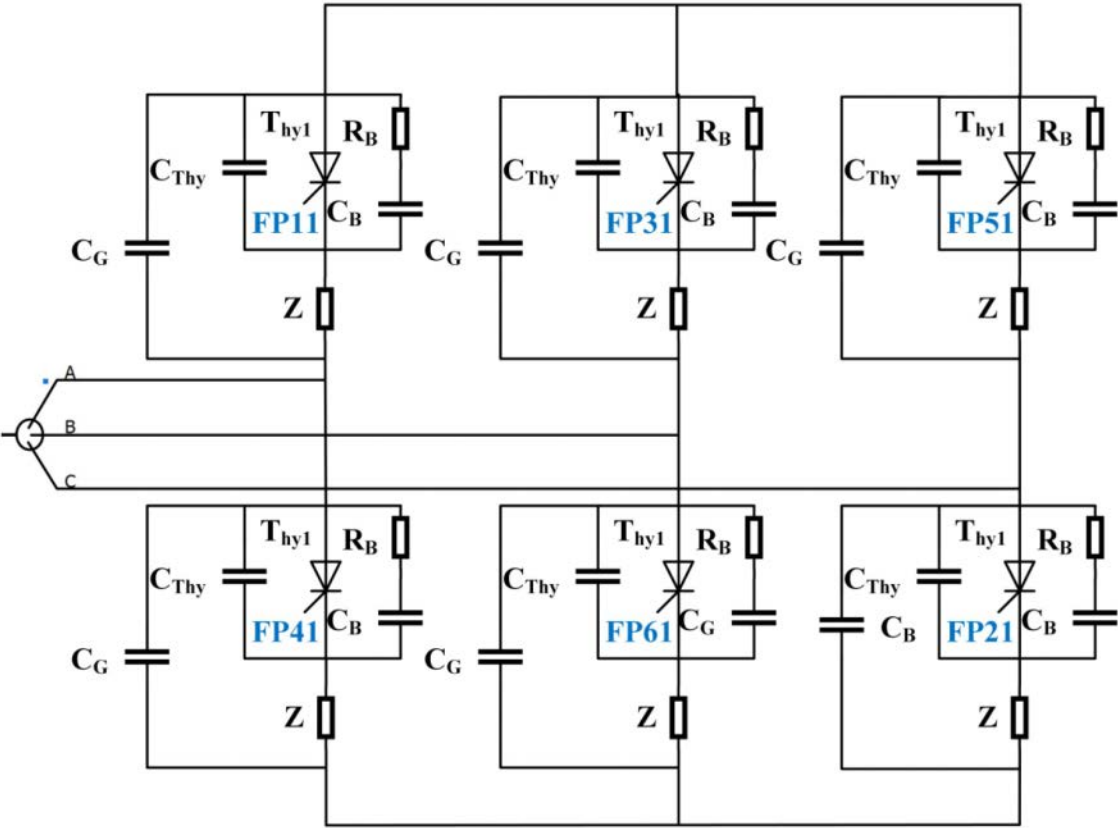


图 3



图 4

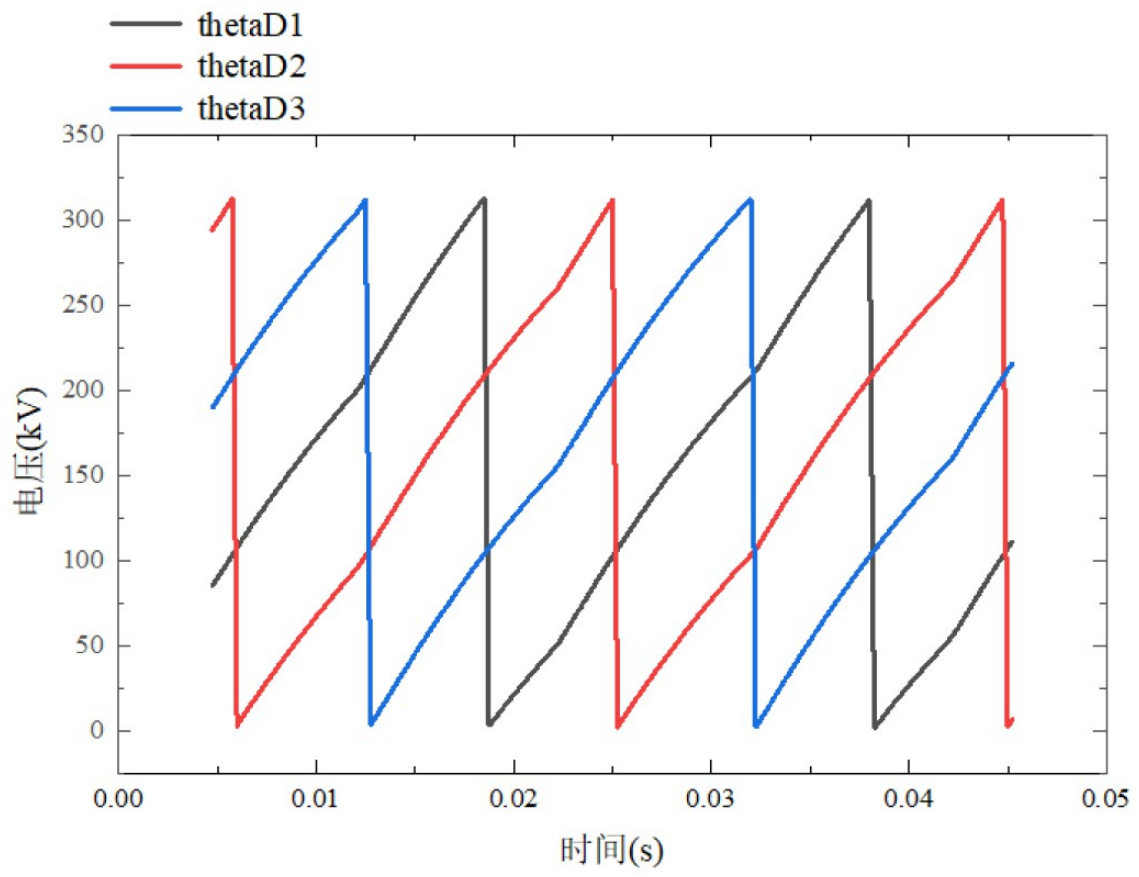


图 5

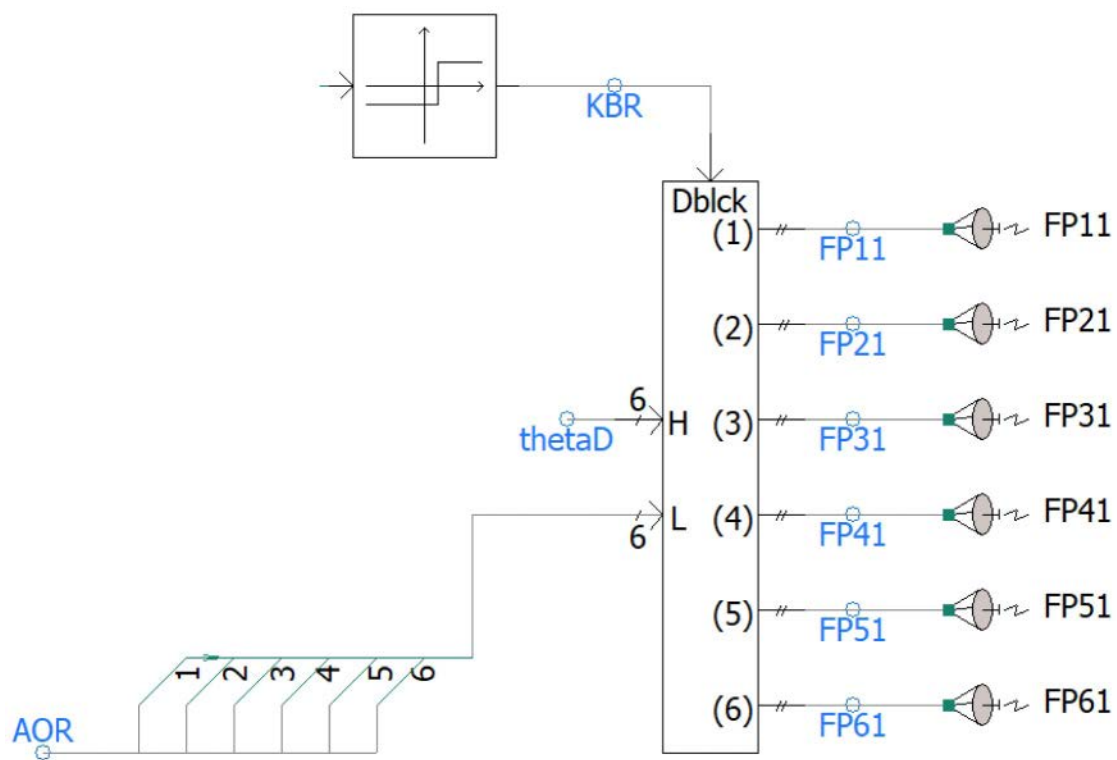


图 6

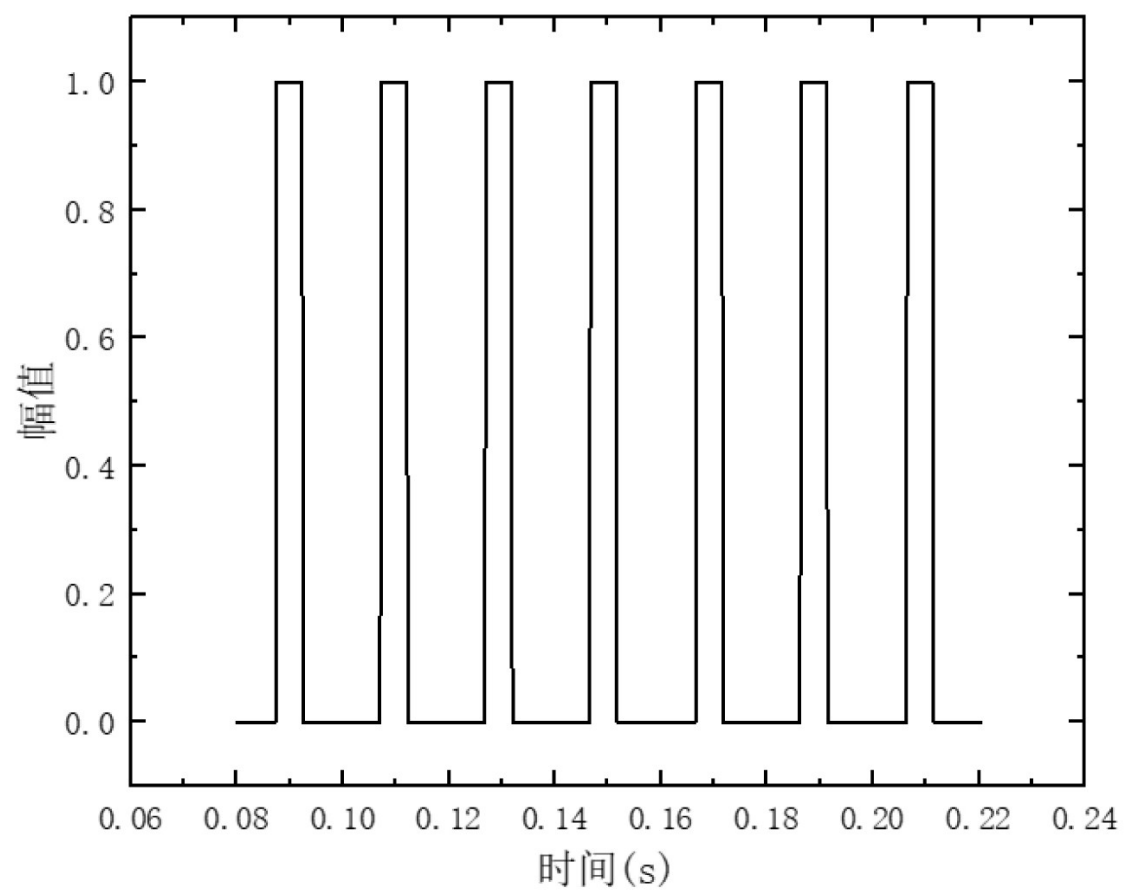


图 7

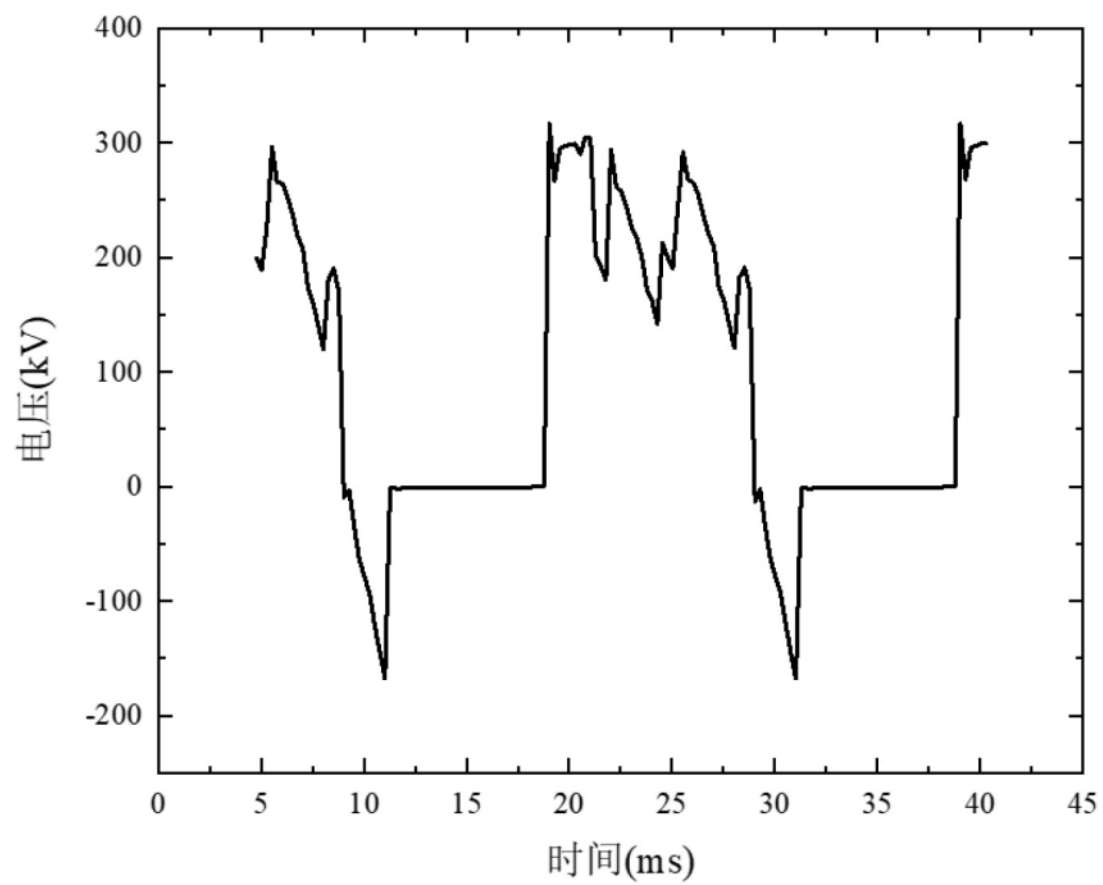


图 8

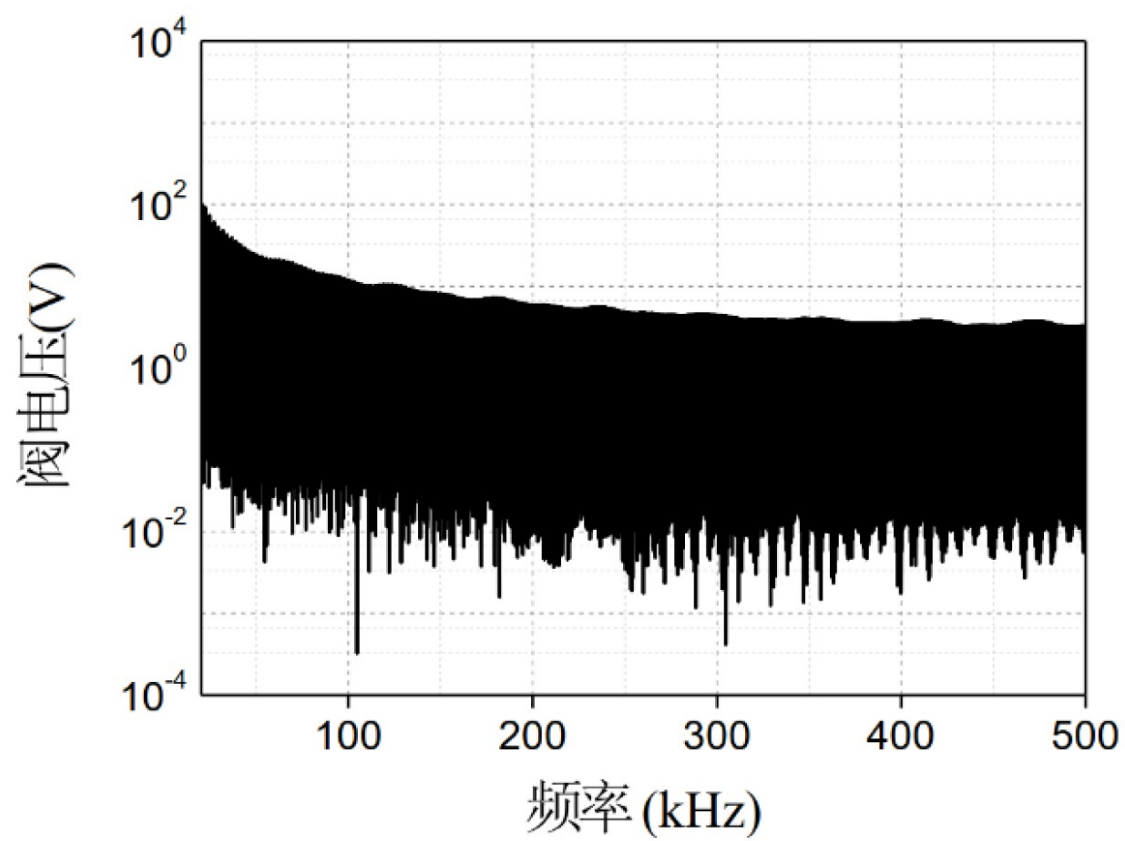


图 9