

# 一种具有可变箝制电压的瞬时脉冲抑制装置的设计

余力, 周洪, 杨建辉, 刘自立, 闵礼书

(武汉大学自动化系、湖北 武汉 430072)

**摘要:** 瞬时脉冲给电网以及电力设备带来很多极坏的影响。文中提出了一种基于具有可变箝制电压的基于瞬态电压抑制器(TVS)阵列的新型瞬时脉冲抑制装置。该装置工作在220V低压电力线上, 抑制与电力线电压同极性瞬时脉冲, 保护连接在电力线上的各种设备。通过结合TVS管多种击穿电压特点, 一种以TVS管阵列为执行机构, 以数字信号处理器(DSP)为控制器, 以对电力线电压同步为基础的具有多箝制电压的新型瞬态电压抑制装置在文中提出。装置的硬件设计、基于混合数字滤波器的电压同步算法、控制算法等分别在文中介绍。最后通过仿真分析与实际测试, 与基于单一箝制电压TVS管的脉冲抑制相比, 得出本装置不仅能对出现在交流电波形的波峰处的尖峰脉冲电压进行抑制, 而且对于交流电波形的其它处的尖峰脉冲电压也能大部分削除。

**关键词:** 瞬态脉冲电压抑制; TVS管阵列; 可变箝制电压; 同步; 控制策略; 混合数字滤波器

## Design of a suppression device with changeable clamping voltage based on TVS array

YU Li, ZHOU Hong, YANG Jian-hui, LIU Zi-li, MIN Li-shu

(Department of Automation, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** Impulse influences power system and electrical equipments badly. A novel TVS array based impulse suppression device with changeable clamping voltage that works on 220V (phase voltage) power line to protect low voltage apparatus is proposed in this paper. The idea of this TVS array based novel impulse suppression device, which works under the synchronization with power line voltage and employs economical TVS array as its actuator, is proposed. The design of hardware of device, which consists of actuator part, voltage transformation part and controller, is introduced. The synchronization algorithm employs hybrid digital filter is described. The straightforward control strategy of this device is introduced. The simulation and test results show effects of this novel device with different TVS array compared with device with TVSs with single clamping voltage, and demonstrate that this device can suppress impulse that happens not only at the peak but also at other place of waveform of power line voltage with better performance.

**Key words:** impulse suppression; TVS array; changeable clamping voltage; synchronization; control strategy; hybrid digital filter

中图分类号: TM86 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)09-0058-06

## 0 引言

由于电力系统的恶劣的电磁环境、雷电、电器、电力设备开关动作等影响, 电网中经常存在瞬时脉冲<sup>[1~3]</sup>。这些瞬态脉冲能损坏电力、电子设备<sup>[1~4]</sup>, 影响继电器动作, 影响电力系统参数同步测量<sup>[4]</sup>。为了抑制瞬时脉冲, 文献[1]和[5]中提出了各种各样的方法。虽然TVS管有相对低的箝位系数, 反应时间处于纳秒级, 但是现存瞬时脉冲装置没能够利用TVS管宽击穿电压范围这一特点, 只具有单一箝制电压。一般情况下, 在电力线上, 只能投放具有单一击穿电压在350V的TVS管, 由于箝位系数大于

1, 所以只能将脉冲抑制在较高的500-600V电压状态下, 无论瞬时脉冲峰值多大, 都只能是“一刀切”削除部分, 大部分不能削除<sup>[2]</sup>。

鉴此, 一种工作在220V低压线上, 基于由具有不同箝制电压TVS管组成的TVS管阵列的新型瞬态电压抑制装置在本文中提出。该装置利用TVS管阵列具有多种可变箝制电压特点, 更好的抑制与电力线电压同极性的瞬时脉冲, 保护低压电器设备免受瞬时脉冲影响。该装置的执行机构主要由TVS阵列构成。在同步电网电压的情况下, 通过数字信号处理器(DSP)控制, 按照一定的控制策略将TVS管投放到电力网上, 与电器设备并联。比起具有单

一击穿电压传统 TVS 装置,该装置在波形非波峰区域有更小的箝制电压范围,能将发生在这些区域的瞬时脉冲电压抑制在更低的范围内。由于 TVS 管很廉价,所以该装置还非常经济。

### 1 装置设计思想和总体结构

在本文中,利用 STMicroelectronics 公司生产的 1.5KE6V8CA 系列 TVS 管<sup>[6]</sup>来阐明该装置的设计思想。传统基于单一击穿电压 TVS 管的瞬时脉冲抑制装置由于箝制电压固定的限制,只能将脉冲抑制在一定范围内,如图 1(a)所示。而本文提出的基于 TVS 阵列的脉冲抑制装置利用 TVS 管击穿电压  $V_{BR}$  范围从 6.8 V 到 440 V 这一特点,将 220 V 电压的一个周期,按照相位或者时间分为很多个小区间,按照 TVS 管使用规则<sup>[7]</sup>,按照一定的顺序投放具有不同箝制电压的 TVS 管,使得装置在不同时刻具有不同箝制电压,实现更好的抑制整个波形上发生的脉冲,而不仅仅是将箝制电压固定在一个较高的值,如图 1(b)所示。

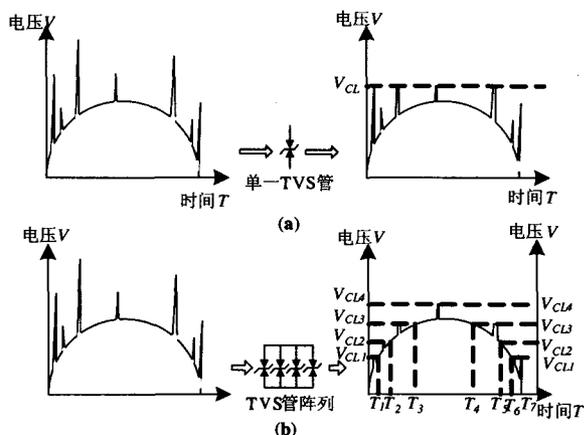


图 1 两种不同脉冲抑制装置原理对比

Fig.1 Device based on TVSs with single breakdown voltage compared with device based on TVS array

图 1(a-b)中为两种不同脉冲抑制装置原理对比图。图 1(a)中为基于单一击穿电压 TVS 管的传统脉冲抑制装置原理图。可以看出,该装置只有唯一的箝制电压  $V_{cl}$ 。而在图 1(b)中,可以看出,基于 TVS 阵列的抑制装置在不同的时间段有不同的箝制电压  $V_{cl}$ 。图 1(b)中,在时间  $T_1$  之前,装置箝制电压为  $V_{cl1}$ ;在时间  $T_1$  和  $T_2$  之间,装置箝制电压为  $V_{cl2}$ ;在时间  $T_2$  和  $T_3$  之间,装置箝制电压为  $V_{cl3}$ ;时间  $T_3$  和  $T_4$  之间,装置箝制电压为  $V_{cl4}$ ,后面其他时间区间上如此类推。整个正弦波范围内,将会被分成多个区间,对应多个或者多组具有不同击穿电压

$V_{BR}$  的 TVS 管。每一个时刻,都只有一个或者一组具有相同击穿电压  $V_{BR}$  的 TVS 管工作在电力线上。整个 TVS 管阵列中的各个 TVS 管或者 TVS 组在同步电力线电压的基础之上,按照一定的控制策略,投入和切下电力线。可以看出后一种装置能够更好的抑制瞬时脉冲。

本装置的设计思想是,通过 DSP 控制 TVS 阵列,在精确的同步电力线电压的基础之上,按照一定的控制策略将 TVS 阵列投入到电力线上。将电力线电压按照时间分为各个不同的区间,利用 TVS 管击穿电压和箝制电压覆盖范围广这一特性,在各个区间按照 TVS 管使用规则,设置相应的 TVS 管,在整个正弦波范围内抑制瞬时脉冲。控制 TVS 管的投切可以采用控制无触点开关来实现。在本文中,采用 IGBT 作为无触点开关。之所以用 DSP 作为核心控制器,是因为一般 MCU 不能实现对电力线电压精确的同步,处理能力不够强大。

该装置系统结构图如图 2 所示。

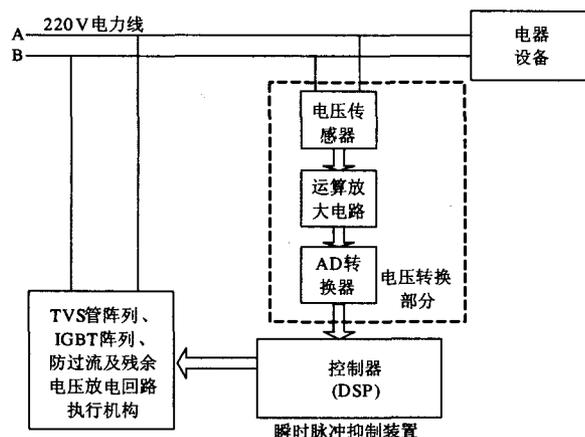


图 2 瞬时脉冲抑制装置系统结构图

Fig.2 System structure of impulsive transient suppression device

电压转换部分主要由电压传感器(例如霍尔电压传感器),电压运算放大电路和 AD 采样芯片组成。其主要功能是将电力线强电压信号转化 DSP 能够处理的弱电信号,在 DSP 内运算,对电力线电压进行分析、同步并依据此控制 TVS 阵列的投切。DSP 是核心控制器,主要是完成同步功能,控制 TVS 管的投切和定时切下所有的 TVS 管,重启系统。执行机构则主要是由 TVS 管阵列、IGBT 阵列、熔断等保护电路组成。主要功能是抑制瞬时脉冲,并且对系统进行流保护,残余电压消除等保护。

### 2 硬件设计

该装置的硬件设计比较直接简单, 容易实现, 在本节中主要介绍执行部分的设计。

执行机构主要功能是抑制瞬时脉冲, 其主要由 TVS 阵列, IGBT 阵列和其他保护电路 (防过流熔丝电路, 残余电压放电电路等) 组成。一般情况下, TVS 管有一系列标准的击穿电压  $V_{BR}$ , 其主要范围是 6.8 V 到 440 V, 列举如下: 6.8 V, 7.5 V, 10 V, 12 V, 15 V, 18 V, 22 V, 24 V, 27 V, 30 V, 33 V, 36 V, 39 V, 47 V, 56 V, 62 V, 68 V, 82 V, 100 V, 120 V, 150 V, 180 V, 200 V, 220 V, 250 V, 300 V, 350 V, 400 V, 440 V<sup>[6]</sup>。对于一般情况下, 正常 220V 正弦电压范围是  $\pm 311.1$  V 之间, 所以, 这里我们采用双向的 TVS 管, 而击穿电压则在 6.8 V 到 350 V 之间选择。由于 220 V 正弦电压对称性和采用双向 TVS 管组成 TVS 管阵列, 设计时候, 只需要考虑前 1/4 个正弦周期即可 (假定初始相位为 0)。如果击穿电压从 6.8 V 到 350 V 的 TVS 管全都设入 TVS 管阵列中, 那么可以算出, TVS 管的导通频率在 850.6 Hz 到 139596.7 Hz 之间。由于通过 IGBT 控制 TVS 管投切, 因此该频率也是 IGBT 的开关频率。因此, 在设计 TVS 阵列的时候, 还需要考虑到系统抑制效果也受 IGBT 的开关速率限制。

决定好 TVS 管选型后, 需要决定 TVS 管的数

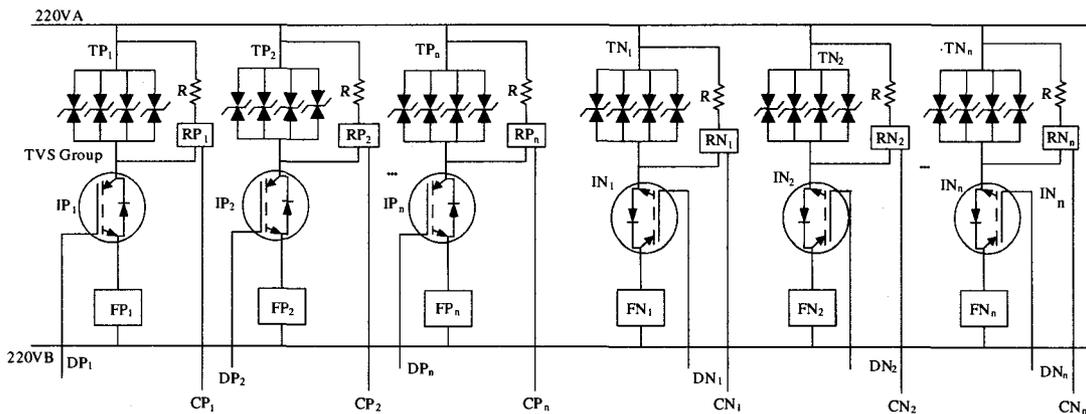


图3 执行机构结构

Fig.3 Structure of actuator part

由于 TVS 管的容性特点<sup>[6]</sup>, 在抑制脉冲电压后, 容易在管内聚集残留电压, 这些残留电压如果不消除, 同样对电器设备带来危险<sup>[9]</sup>。在本系统中, 通过构造放电电路来消除 TVS 管中残余电压, 如图 3 所示。图中  $R$  为电阻, 同 TVS 管构成放电回路,  $RP_i$ 、 $RN_i$  ( $i=1\sim n$ ) 为继电器, 控制放电回路的生成,  $CP_i$  和  $CN_i$  ( $i=1\sim n$ ) 为继电器控制信号, 受控于 DSP。在 TVS 阵列投放一定时间之后, DSP 控制整个 TVS 阵列切下电力线, 然后闭合所有继电器, 让 TVS 阵

列释放残余电压。这个时间周期可以在 DSP 内进行设定。

目。决定 TVS 管数目, 主要通过 TVS 管峰值功率、TVS 管箝位电压与通过其峰值脉冲电流大小曲线等条件决定。TVS 管越多, 该装置能抑制瞬时脉冲的功率也就越大, 每个 TVS 管中通过的电流就越小, 抑制效果也越好<sup>[9]</sup>。由于一个 TVS 管峰值功率有限, 因此在本文设计中, 采用多个相同击穿电压的 TVS 管组成 TVS 组来抑制瞬时电压。

执行机构结构图如图 4 所示。 $TP_i$  与  $TN_i$  ( $i=1\sim n$ ) 表示工作在正半波和负半波的 TVS 组。如果都采用双向 TVS 管, 那么两者完全相同。 $IP_i$  与  $IN_i$  ( $i=1\sim n$ ) 表示 IGBT 阵列。 $DP_i$  和  $DN_i$  ( $i=1\sim n$ ) 分别表示其驱动信号。由于击穿电压比较高的 TVS 管通流能力低于低击穿电压 TVS 管<sup>[8]</sup>, 因此高击穿电压 TVS 组管数目将比低击穿电压 TVS 组管数多。除此之外, 考虑到 TVS 管 PN 结温度同其峰值功率关系<sup>[9]</sup>, 需要给 TVS 管加装散热装置, 利于保护其抑制瞬时脉冲能力。对于瞬时脉冲抑制装置, 过流保护措施是极其重要的, 没有过流保护措施, 不但不能保护电器设备, 还可能通过误操作引起的过流烧毁电器设备<sup>[9]</sup>。本装置中, 设计每个 TVS 组均与熔丝相串联。一旦电流超过额定电流, 就立即将装置切下电力线。图 4 中  $FP_i$  与  $FN_i$  ( $i=1\sim n$ ) 表示熔丝。

### 3 同步算法与控制策略

同步是该装置有效抑制瞬时脉冲的基础, 得到同步信号后, 才能根据控制策略来控制各个 TVS 数组的投切。

#### 3.1 同步算法

本装置利用过零检测技术同步电力线电压。传

统过零检测技术主要存在以下缺陷: 1) 判断过零之前给系统添加了相移或者迟延, 并没能补偿; 2) 对器件参数变化、电力系统电压频率变化敏感, 鲁棒性不强; 3) 不能消除由于谐波、电压切痕、脉冲等造成的虚假过零。本装置采用的基于中值滤波器和预测 FIR 滤波器<sup>[10]</sup>构成的串级混合数字滤波器的过零检测技术能够弥补上述三个缺陷, 做到较精确的判断电压过零。

中值滤波器主要是消除脉冲影响, 考虑到 DSP 有较好的处理性能, 在本装置中设计为 5 点中值滤波器, 但是, 同时该滤波器引入 2 个采样周期的迟延。预测 FIR 滤波器主要是补偿在此之前信号转换过程中引入系统的迟延或者相移, 包括电压传感器引入相移、中值滤波器引入的两个采样周期的迟延, AD 转换器转换时间等, 并且消除随机噪声、谐波等影响造成的虚假过零, 实现精确过零判断。

首先确定预测 FIR 滤波器之前各个环节中给系统引入的延迟。假定采样频率  $f_s=10$  kHz, 采样周期为  $T_s$ , AD 转换器转换时间为  $T_c=0.68$   $\mu$ s, 电压传感器引入相移  $\rho=1^\circ$ , 电网电压周期为 20 ms, 所以根据文献[10]可以算出预测 FIR 滤波器预测步数  $P=2.56$ 。

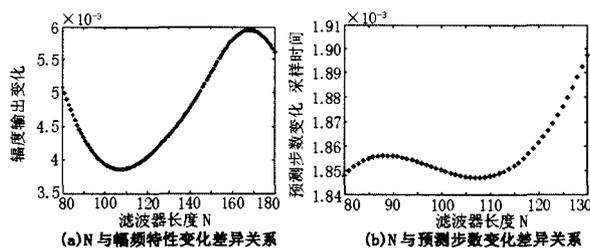


图 4 N 与滤波器特性关系

Fig.4 Relationship between N and characteristics of the filter

根据文献[10]方法, 并不能确定预测 FIR 滤波器长度  $N$ 。根据滤波器抑制白噪声和谐波能力, 可以得出其长度  $N=80-120$  范围<sup>[10]</sup>。本文通过分析预测 FIR 滤波器幅频特性及其与电网电压频率变化关系确定预测 FIR 滤波器长度。如图 4(a)-(b)中表示由电网频率变化引起幅频特性变化(电网 50.2 Hz 时幅频响应值减去电网 49.8 Hz 时幅频响应值)以及由电网频率变化引起预测步数(相频特性)变化(电网 49.8 Hz 时预测步数减去电网 50.2 Hz 时预测步数)。图 4(a)表示电网频率变化引起幅频特性变化与  $N$  关系。可以看出在  $N$  值范围为 80-120 之间为 110 左右, 幅度输出变化最小, 鲁棒性最强。图 4(b)表示电网频率变化引起预测步数变化与  $N$  值之间关

系。同样在  $N$  取 110 左右滤波器预测步对电网频率变化鲁棒性会达到最强。在 Matlab 中可以计算  $N=107$  以及各项系数, 进而在 DSP 中实现。

如果精度不满足要求, 可以通过两种方法提高精度, 一种是线性差值<sup>[10]</sup>; 一种是提高采样频率。

### 3.2 控制策略

在混合数字滤波基础之上, 得到了实时性强, 噪声少的正弦电压波形。可以通过图 4(a)看出, 在频率变化 0.2 Hz 情况下幅度输出只存在 0.38% 的变化, 因此可以根据 DSP 输出数值与实际含噪声少的正常电力线电压一一对应关系, 算出对应实际电压, 然后根据电压大小, 来判断该瞬时电压所在区间, 并投放 TVS 管组。该控制策略简单明了, 易于实现, 假定采用击穿电压为 51 V、100 V、150 V、250 V、350 V 五种双相 TVS 管, 则对于前 1/4 个周期(初相为 0)的控制策略流程图见图 5。设控制器 IGBT 驱动信号分别为  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ 、 $D_4$  及  $D_5$ 。有控制信号表示 IGBT 导通。

除此之外, 为了消除同步误差的积累, 装置必须按照一定的周期切下所有 TVS 管组, 重新与所工作的电网电压同步。这个周期可以在 DSP 内方便的设定。

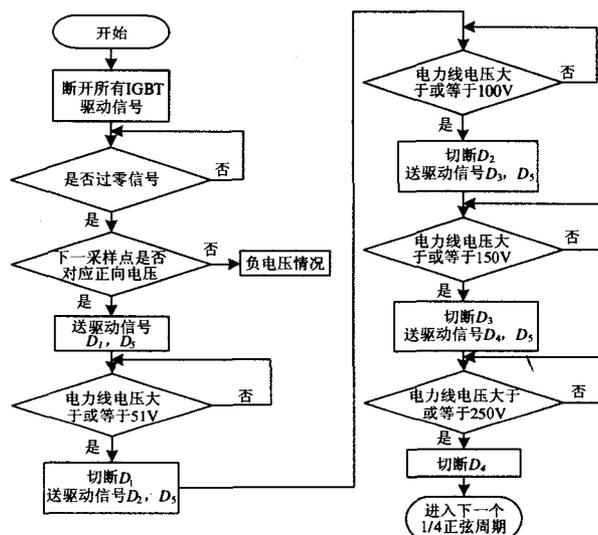


图 5 前 1/4 周期控制策略流程图

Fig.5 Flow chart of control strategy in positive quarter of sine wave

## 4 仿真与分析

通过获取 TVS 管的击穿电压  $V_{BR}$  和最大箝制电压  $V_{CL}$ , 可以得到该装置的抑制电压最大范围, 并同单个 TVS 管构成的瞬时脉冲抑制装置抑制范围

相比较。假定选用 TVS 管击穿电压和最大箝制电压如表 1 中所示<sup>[6]</sup>，瞬时脉冲为 8/20 $\mu$ s 脉冲。抑制范围如图 6 所示。

表 1 TVS 管击穿电压和最大箝制电压

Tab.1 Breakdown voltage and maximum clamping voltage of TVSs

Break-down voltage /V	Max. clamping voltage /V	Break-down voltage /V	Max. clamping voltage /V	Break-down voltage /V	Maxi. clamping voltage /V
10	18.6	22	39.3	39	69.7
56	100	68	121	82	146
100	178	120	212	150	265
200	353	220	388	250	442
300	529	350	618	300	529

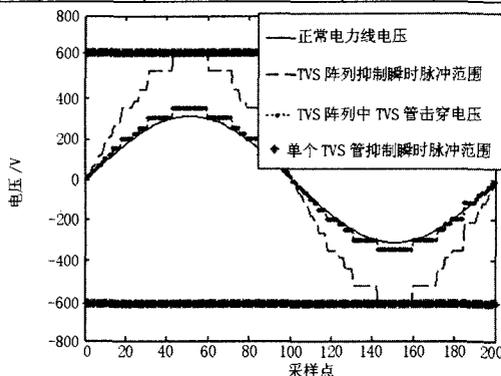


图 6 单 TVS 管和基于 TVS 管阵列抑制装置抑制范围

Fig.6 Range of suppressing voltage of device based on TVS array and TVSs with single breakdown voltage

可以明显看出基于 TVS 管阵列的瞬时脉冲抑制装置比单个 TVS 管构成的脉冲抑制装置能够将瞬时脉冲抑制在更小的范围，具有更好的性能。同时可以看到，抑制效果也和箝位系数紧密相关，箝位系数越接近 1，抑制效果越好，越能起到保护电器设备的作用。

### 5 装置测试

测试框图如图 7 所示。

实验采用三台变频器分别控制三台三相异步电机。变频器能给 220V 电力线带来脉冲电压。启动变频器后，立即启动脉冲抑制装置和脉冲抑制装置。脉冲检测装置是通过电压转换与采样，将采样后波形数据通过 RS232 接口传到上位机。一段时间后，切下脉冲抑制装置，重启脉冲检测装置和变频器，再次采集波形，并上传至上位机。按照上述步骤重复几次实验，然后对比波形。可以看出，基于 TVS 管阵列脉冲抑制装置不仅能对出现在交流电波形的

波峰处的尖峰脉冲电压进行抑制，而且对于交流电波形的其它处的尖峰脉冲电压也能大部分消除。

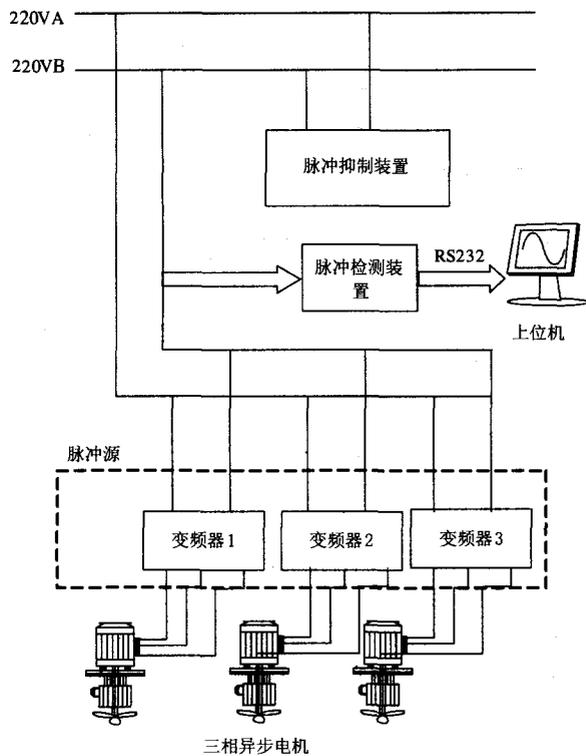


图 7 测试实验框图

Fig.7 Test block diagram

### 6 结论

本文提出了一种新型的基于 TVS 管阵列的瞬时脉冲抑制装置。该装置能够整个 220V 电压周期内将瞬时脉冲抑制在较小的一个范围，比一般由单个 TVS 管构成的瞬时脉冲抑制装置有更优越的性能。该装置硬件设计简单、直接，容易实现，采用同步算法精确，控制算法简单，易于在 DSP 中实现。该装置主要特点如下：

1) 通过利用多箝制电压 TVS 管组成的 TVS 阵列使得该装置具有时变箝制电压，这也是提高该装置抑制脉冲性能的根本原因。

2) 通过利用由中值滤波器和预测 FIR 滤波器组成的混合串级数字滤波器能很好的消除虚假过零，精确、实时同步电力线电压，为控制不同击穿电压和箝制电压的 TVS 管的投切提供判断依据，这也是实现时变箝制电压的基础。

3) 具有过流保护、残余电压释放等安全措施。

### 参考文献

[1] Chowdhury B H. Power Quality[J]. IEEE Potential, 2001, 20(2):5-11.

- [2] 韩青,尹项根.瞬态脉冲骚扰及抑制方法[J].继电器,2003,31(5):46-48.  
HAN Qing, YIN Xiang-gen. The Transient Burst Disturbance and Its Suppression[J]. Relay, 2003, 31(5):46-48.
- [3] 蔡益宇.探讨电力信息系统的雷电电磁脉冲防护[J].电网技术,2003,27(3):12-14.  
CAI Yi-yu. A Discussion on Protection Against Lighting Electromagnetic Pulse for Power System Information System[J]. Power System Technology, 2003, 27(3):12-14.
- [4] 杨贵玉,邱家驹,江道灼.瞬态能量冲击对同步测量影响的分析估算及其抑制[J].电力系统自动化,2004,28(12):30-34.  
YANG Gui-yu, QIU Jia-ju, JIANG Dao-zhuo. Analyzing, Estimating and Suppressing the Influence of Transient Energy Impulse on Synchronous Measurement[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(12):30-34.
- [5] 张三庆,谷雪松,崔翔.微机保护设备浪涌骚扰的测试及抑制[J].继电器,2004,32(17):70-74.  
ZHANG San-qing, GU Xue-song, CUI Xiang. Measurement and Prohibition of Surge on Microprocessor Based Protective Relay[J]. Relay, 2004, 32(17):70-74.
- [6] STMicroelectronics. 1.5KE6V8A/440 1.5KE6V8CA/440CA[EB/OL]. [2002-2] Available: <http://www.st.com>.
- [7] 陈万堂,陈红丽.瞬态电压抑制器[J].传感器技术,2001,20(2):40-42.  
CHEN Wan-tang, CHEN Hong-li. Transient Voltage Suppressor[J]. Journal of Transducer Technology, 2001, 20(2):40-42.
- [8] 刘洋,王建国,宋志国,等.瞬态电压抑制器的雷电通流与箝压测试[J].高电压技术,2007,33(1):83-85.  
LIU Yang, WANG Jian-guo, SONG Zhi-guo, et al. Lighting Current Withstand Capability and Voltage Limiting Characteristic of TVS[J]. High Voltage Engineering, 2007, 33(1):83-85.
- [9] Bustamante F, Biternas J, Borjas J, et al. Cascade Protection with Transient Voltage Surge Suppressors (TVSS) in Variable Speed Drive for Electro-submergible Pumps, in Proc[A]. In: 2006 IEEE Power Engineering Society Transmission & Distribution Conference and Exposition[C]. Latin American: 2006.1-8.
- [10] Vainio O, Ovaska S J. Digital Filtering for Robust 50/60 Hz Zero Crossing Detector[J]. IEEE Trans on Instrum and Meas, 1996, 45(2):426-430.

收稿日期:2007-09-18; 修回日期:2007-11-12

作者简介:

余力(1984-),男,硕士研究生,研究方向计算机控制技术;E-mail:whu0724@126.com

周洪(1962-),男,博士,教授,研究方向计算机控制、网络控制、多变量控制、火电厂控制。

(上接第57页 continued from page 57)

- LOU Feng-dan. Assessment and Analysis Software System of Condition-based Maintenance for Transmission and Distribution Equipment[J]. Electrical Equipment, 2004, 5(2):50-54.
- [2] SG/TXXXX00X-2006 国家电网公司企业标准.高压电气设备状态维修试验规程[Z].北京:国家电网公司建设运行部,2006.  
SG/TXXXX00X-2006. The Condition Maintenance Regulations for HV Electrical Equipment[Z]. Beijing: Construction Operation Department of State Grid Corporation of China, 2006.
- [3] 苗培青,陈宇.输变电主要设备状态检修分析系统及其C++语言实现[J].山东电力高等专科学校学报,1998,27(1):71-80.  
MIAO Pei-qing, CHEN Yu. Analysis System of Condition-based Maintenance for Transmission and Distribution Equipment and Its C++ Language Realization[J]. Journal of Shandong Electric Power Institute, 1998, 27(1):71-80.
- [4] Barnaby T. NET 分布式编程--C#[M].黎媛,等译.北京:清华大学出版社,2004.  
Barnaby T. Distributed .Net Programming in C#[M]. LI Yuan, et al Trans. Beijing: Tsinghua University Press, 2004.
- [5] 蔡国雄.在线监测与诊断技术的特点及发展方向.电气设备在线监测、设备诊断与状态检修资料汇编[Z].杭州:浙江省电力试验研究所,1998.  
CAI Guo-xiong. Characteristics and Development Directions of Online Monitoring and Diagnostic Techniques, Electrical Equipment Online Monitoring, Diagnosis and Condition Maintenance Data Compilation[Z]. Hangzhou: Zhejiang Province Electric Power Test and Research Institute, 1998.

收稿日期:2007-10-10; 修回日期:2008-01-16

作者简介:

宋人杰(1963-),女,教授,研究方向为多媒体技术及其应用、管理信息系统;E-mail:srj1963331@sina.com;

王晓东(1976-),男,本科,工程师,研究方向为计算机在电力系统中的应用。