

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.11.022

# 大比功率压电发电机无功功率补偿方法

温都苏<sup>1</sup>, 陈荷娟<sup>1</sup>, 蔡建余<sup>1,2</sup>

(1. 南京理工大学机械工程学院, 南京 210094; 2. 南京化工职业技术学院, 南京 210048)

**摘要:** 针对传统引信压电发电机的二极管电容整流滤波电路存在导通角小的不足, 提出利用填谷电路进行无功功率补偿的改进方法。结合压电发电机的输出功率小以及引信电路功率瞬时变化大的特点, 为了更加有效地利用发电机的能量, 建立了改进的储能滤波电路模型, 并在电路仿真软件 Multisim 中对改进电路进行仿真计算。仿真分析结果表明: 改进后的电路可提高发电机有功功率的利用率, 且可改善供电连续性, 增大电路的功率因数。

**关键词:** 压电发电; 功率因数; 填谷电路

**中图分类号:** TP271<sup>+</sup>.4 **文献标志码:** A

## A Method of Compensating Reactive Power for High-Specific Piezoelectric Power Generator

Wen Dusu<sup>1</sup>, Chen Hejuan<sup>1</sup>, Cai Jianyu<sup>1,2</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China;

2. Nanjing College of Chemical Vocation Technology, Nanjing 210048, China)

**Abstract:** In order to improve the conducting state of traditional capacitor filter rectifiers in fuse piezoelectric generator, a method was proposed using the valley-filling circuit to compensate the original fall of the active power output. Taking both the small output power of piezoelectric generator and the large instantaneous power change of fuse circuit into account, a novel model of energy storage filter circuit was established to more effectively use the energy. The circuit was simulated and calculated by Multisim simulation software. Simulation result shows that the circuit can improve the active power usage of the generator, increase both the continuity of power supply and the power factor of the circuit.

**Keywords:** piezoelectric generator; power factor; valley-fill circuit

### 0 引言

体积比功率是指发电机单位体积所输出功率, 也称比功率。若输出功率相同, 比功率大的发电机所需体积小。小型化引信专用发电机是当前小口径弹药引信和子弹引信迫切需要的一类物理电源。压电发电机由于体积小、重量轻、耐高温等特点, 在引信应用中越来越受关注。在研制新型大比功率压电发电机时, 为了保证与负载(引信电路)之间有功功率的有效传输, 必须遵守功率平衡准则, 即负载与发电机的有功功率应相等。在引信应用中, 通常负载要求直流供电, 故在它的输入端普遍采用二极管电容滤波的全波整形电路<sup>[1]</sup>。然而, 二极管的限幅作用和导通角的存在, 整形输出波形有间歇性, 输出有功功率显著降低, 从而影响了发电机有功功率的充分利用。为此, 笔者提出采用填谷电路的无功功率补偿方法, 提高负载有功功率且保证其连续性。经仿真实验证明, 采用填谷电流补偿法可以提高负载侧的功率因数。

### 1 压电发电机的外特性

如图 1, 设  $U_1$  和  $I_1$  分别为储能电容输出的直流电压与电流。压电发电机输出电压  $u(t)$ 、电流  $i(t)$  分别为:  $u(t) = U_m \cos(\omega t)$ ,  $i(t) = I_m \cos(\omega t - \varphi)$ 。其中,  $U_m$ 、 $I_m$ 、 $\varphi$  分别为压电发电机输出电压、电流有效值和相位差。发电机的有功功率  $p(t) = U_m I_m \cos(\varphi)$ , 其中,  $\cos(\varphi)$  为功率因数。

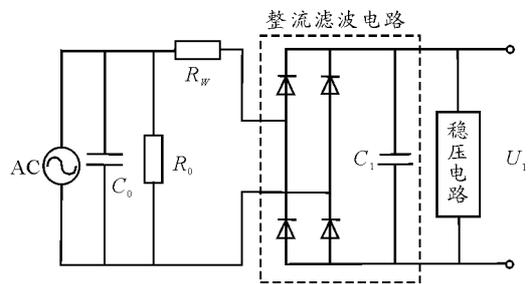


图 1 压电发电机外接整流滤波电路

对图 1 压电发电机外接整流滤波电路分析知, 当发电机的输出电压大于储能电容  $C_1$  上的电压时, 整流电路导通且储能电容处于充电状态; 反之, 当

收稿日期: 2011-07-13; 修回日期: 2011-08-17

作者简介: 温都苏(1986—), 男, 内蒙古人, 蒙古族, 硕士研究生, 从事武器弹药引信电源的结构与电路设计研究。

储能电容  $C_1$  上的电压高于发电机的输出电压时, 整流桥反向偏置而截止, 储能电容  $C_1$  处于放电状态。如图 2, 由于储能电容  $C_1$  的存在, 二极管整流桥路处于间歇导通的状态, 充电电流的波形不再是正弦波形而是脉冲状波形。这对于需要连续工作的引信电路来讲是不利的<sup>[2]</sup>。为了使负载能够稳定工作必须提高整流桥导通时间。

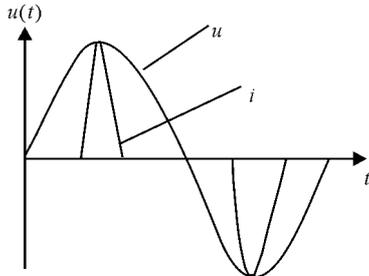


图 2 畸变电流示意图

### 2 填谷式电路调整方法

根据电学原理可知, 发电机的视在功率  $S = U_m I_m$ , 则有功功率  $P = S \cos \varphi$ 。可见, 提高功率因数即提高有功功率, 发电机容量得到充分利用。然而, 发电机的功率因数是在交流电流波形无失真的情况下定义的, 整流二极管和储能电容皆属于非线性元器件, 由于储能电容的存在, 使整流二极管的导通时间变得很短, 如图 2。二极管仅在发电机输出电压高于储能电容电压时才导通, 输出电流产生失真, 变成尖峰脉冲, 降低了发电机有功功率传输<sup>[3]</sup>。

在图 1 所示的整流桥后接一个由 3 个二极管和 2 个电容组成的功率因数校正电路, 即填谷 (valley fill) 功率因数校正电路, 如图 3。

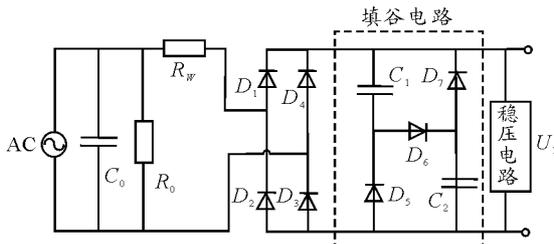


图 3 填谷功率因数校正电路

填谷电路的工作过程见图 4, A 与 B 分别为整流桥输出电压与电流的波形, 单位分别为 1 V 与 0.1 A。在  $t_0 \sim t_1$  段时间内, 整流二极管  $D_1$ 、 $D_3$  导通, 桥式整流输出电压  $U_z$  通过  $C_1$ 、 $D_6$ 、 $C_2$  对  $C_1$ 、 $C_2$  充电, 同时为负载供电, 由于充电时间常数很小,  $C_1$ 、 $C_2$  充电速度很快, 当  $U_z$  达峰值  $U_{1T}$  时,  $C_1$ 、 $C_2$  上的电压  $U_{C1} = U_{C2} = U_{1T}/2$ 。

在  $t_1 \sim t_2$  段时间内,  $U_{1T}/2 < U_z < U_{C1} + U_{C2}$ ,  $D_5$  和

$D_7$  均反偏截止,  $C_1$ 、 $C_2$  不放电, 负载仍由整流电压  $U_z$  供电,  $D_1$ 、 $D_3$  仍然处于导通状态。

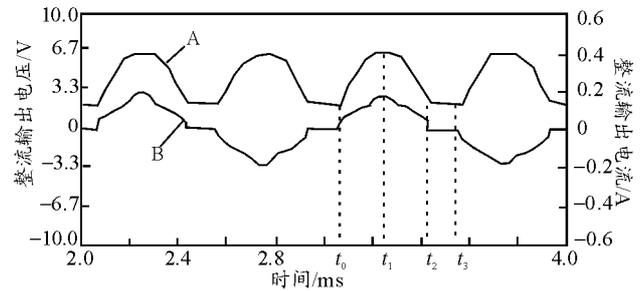


图 4 填谷电路工作过程

在  $t_2 \sim t_3$  段时间内,  $U_z < U_{1T}/2$ ,  $D_1$ 、 $D_3$  截止, 电容  $C_1$  通过  $D_5$  对负载供电, 电容  $C_2$  通过  $D_7$  也对负载供电, 电容  $C_1$ 、 $C_2$  并联向负载供电, 随后其上的电压值达到最低。

在  $t_3 \sim t_4$  ( $t_0$ ) 段时间内, 换能器输出端正负极性反转, 整流二极管  $D_2$ 、 $D_4$  导通, 以后将循环上述过程。综上所述, 当电路达稳态后, 整流二极管的导通时间明显增大<sup>[4]</sup>, 其输入电流波形得到较大的改善 (接近正弦波)。

### 3 仿真计算与分析

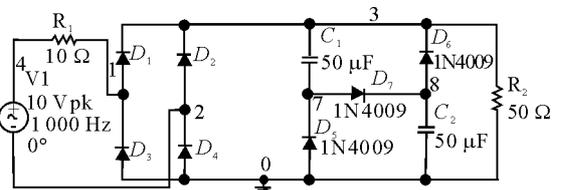


图 5 填谷式功率校正电路

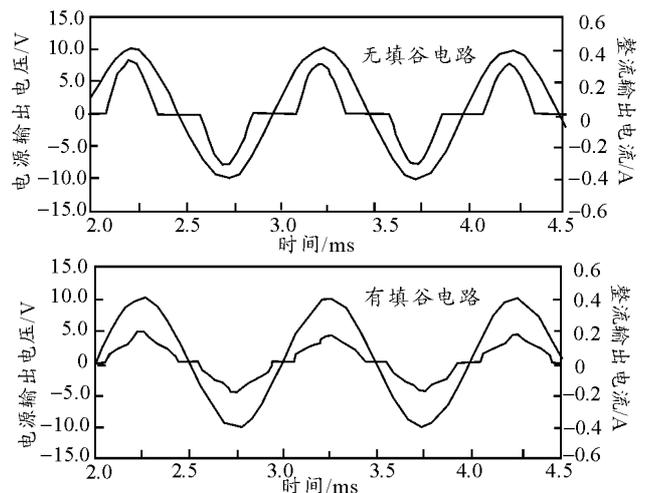


图 6 添加填谷电路前后二极管导通时间对比

为了确定填谷式电路能够增加二极管整流桥导通时间以及改善电流波形, 在电路仿真软件 Multisim 中对该电路进行了仿真计算, (下转第 85 页)