

# 用于电阻点焊电源的一种控制策略 ——预测-优选控制

朱卫安<sup>1</sup>, 刘国英<sup>2</sup>

(1.广州大学 物理与电子工程学院, 广东 广州 510006; 2.广州松兴电器有限公司, 广东 广州 510006)

**摘要:**研制了一种用于电阻点焊电源的新型控制策略——预测-优选控制。在采用同一规范参数进行批量点焊加工过程中, 该控制策略测量已进行的各次点焊过程各通电周期的控制效益并进行优选; 对于当前进行的点焊过程的某一即将开始的通电周期, 则根据前几个通电周期的实测控制效益预测可能的控制效益, 并结合之前已优选的同一通电周期的控制效益, 进行综合比较与决策, 得到所需的控制效益, 从而给出控制输出。

**关键词:**电阻点焊电源; 控制效益; 预测; 预测-优选控制

**中图分类号:** TG438.2      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-2303(2007)05-0055-03

## Control tactics-predicting and optimizing control adopted to the resistance spot welding power supplier

ZHU Wei-an, LIU Guo-ying

(1.School of Physics and Electronic Engineering, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China; 2.Guangzhou Songxing Electrical Co., Ltd, Guangzhou 510006, China)

**Abstract:** The author developed a new control tactics-predicting and optimizing control adapted to in the resistance spot welding power supplier. The control efficiency of each controlled electrifying period of all welding processes conducted under the same parameters has been measured and optimized. Before one period beginning at once, a probable control efficiency is predicted from the practical control efficiency of several former electrifying period in the same welding process. In combination with the control efficiency optimized in the passed welding processes, the optimum control efficiency is determined, and the control instruction is determined.

**Key words:** resistance spot welding power supplier; control efficiency; predicting; predicting and optimizing control

## 0 前言

目前,电阻点焊电源多采用晶闸管对焊接通电过程进行控制。通过调节晶闸管的触发控制角,达到调节焊接电流、功率等规范参数的目的,从而保证焊接质量。由于晶闸管的半控特性,当采用传统PID方式对点焊规范参数进行控制时,存在对负载变化适应性不强、控制精度不高等不足<sup>[1]</sup>。预测-优选控制通过动态监测点焊过程负载的变化及动态比较与优化,在每次触发晶闸管前给出符合实际需要的控制指令,使实际的焊接电流、功率等规范参数达到

预设要求。

## 1 电阻点焊过程和控制要求<sup>[2]</sup>

电阻点焊过程是一种负载剧烈且大范围变化而持续时间较短的通电过程。为保证点焊质量,对点焊过程需进行如图1所示的控制。电极压力 $F$ 和各阶段电流有效值 $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ 需针对不同材料、工件通过工艺试验确定。

点焊过程中,确保实际电流有效值达到预设要求是保证点焊质量的关键。在工频交流情况下,每半周对晶闸管进行一次触发。为确保即将开始的半周的电流有效值达到预设要求,在开始时刻给出适当的触发控制角至关重要。

收稿日期:2007-04-04

作者简介:朱卫安(1963—),男,江西临川人,高级工程师,硕士,主要从事电力电子技术、电阻焊电源的研究工作。

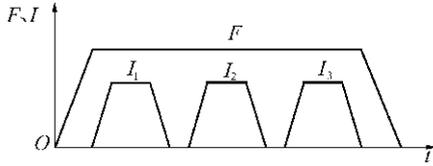


图 1 电阻点焊过程控制示意

Fig.1 Control scheme of resistance spot welding

## 2 预测—优选控制及其实现

点焊过程持续时间较短,每次所包含的半周数有限;这是预测—优选控制可以实现的一个基础。

### 2.1 符号意义说明

$I_g(m, n)$ 为第  $m$  次点焊中第  $n$  个半周的电流(有效值)给定值。

$I_r(m, n)$ 为第  $m$  次点焊中第  $n$  个半周的电流(有效值)实测值。

$I_t(m, n)$ 为第  $m$  次点焊中第  $n$  个半周的触发指令。

$E(m, n)$ 为第  $m$  次点焊中第  $n$  个半周所采纳的控制效益。

$E_r(m, n)$ 为第  $m$  次点焊中第  $n$  个半周的实测(实际控制)效益。

$E_p(m, n)$ 为第  $m$  次点焊中,根据  $E_r(m, n-4)$ 、 $E_r(m, n-3)$ 、 $E_r(m, n-2)$ 、 $E_r(m, n-1)$  预测的第  $n$  个半周可能的控制效益。

$E_r'(m, n)$ 为  $E_r(m, n)$  的变化速度。

$E_r''(m, n)$ 为  $E_r(m, n)$  的变化加速度。

### 2.2 控制效益定义

将第  $m$  次点焊中的第  $n$  个半周的实测控制效益  $E_r(m, n)$  定义为

$$E_r(m, n) = \frac{I_r(m, n)}{I_g(m, n)}, \quad (1)$$

$I_r(m, n)$  动态反映每次触发的实际通电效果,  $E_r(m, n)$  动态反映负载的变化情况。根据连续多个已通电半周的实测控制效益及其变化,可较好预测即将开始半周的可能控制效益。

### 2.3 控制效益预测

在半周触发前,根据之前四个半周的实测控制效益预测即将开始的半周的可能控制效益,有助于更准确地给出触发指令。考虑到相邻两个半周的间隔较短(在工频情况下,间隔为 10 ms),故认为相邻两个间隔内的实际控制效益的变化速度和变化加速度一样,可根据第  $n-1$  个半周的实测控制效益

$E_r(m, n-1)$  及其变化速度  $E_r'(m, n-1)$  预测第  $n$  个半周可能的控制效益  $E_p(m, n)$

$$E_p(m, n) = E_r(m, n-1) + E_r'(m, n-1), \quad (2)$$

$E_r'(m, n-1)$  可根据  $E_r'(m, n-2)$  及其变化速度  $E_r''(m, n-2)$  推导而得

$$E_r'(m, n-1) = E_r'(m, n-2) + E_r''(m, n-2), \quad (3)$$

而

$$E_r'(m, n-2) = E_r(m, n-2) - E_r(m, n-3), \quad (4)$$

$$E_r'(m, n-3) = E_r(m, n-3) - E_r(m, n-4), \quad (5)$$

$$E_r''(m, n-2) = E_r'(m, n-2) - E_r'(m, n-3). \quad (6)$$

根据式(2)、式(3)、式(4)、式(5)、式(6)可得

$$E_p(m, n) = E_r(m, n-1) + 2E_r(m, n-2) - 3E_r(m, n-3) + E_r(m, n-4). \quad (7)$$

根据之前四个半周的实际控制效益预测即将开始半周的可能控制效益,具有利用信息较全面、预测更可靠而对运算速度、存储器容量要求适中的特点。

第  $n$  个半周结束后,根据式(1)求本半周的实际控制效益  $E_r(m, n)$ ,再求  $E_r(m, n)$  与  $E_p(m, n)$  的差  $\Delta E(m, n)$

$$\Delta E(m, n) = E_r(m, n) - E_p(m, n). \quad (8)$$

$\Delta E(m, n)$  的大小反映预测的准确度。 $|\Delta E(m, n)|$  越小,说明预测越准确。

### 2.4 控制效益信息优化

为使每次给出的触发指令都尽可能符合实际需要,有必要利用以往各次点焊过程的负载变化信息,故对各次点焊过程的各对应半周的控制效益信息进行比较、综合、优化。在采用某一规范参数进行批量点焊的第一次点焊过程中,记录所有半周的  $E_p(1, n)$ 、 $E_r(1, n)$ 、 $\Delta E(1, n)$ 。

进行第二次点焊时,当第  $n$  个半周结束后,暂存  $E_p(2, n)$ 、 $E_r(2, n)$ 、 $\Delta E(2, n)$ 。将  $|\Delta E(2, n)|$  与  $|\Delta E(1, n)|$  进行比较:如  $|\Delta E(2, n)| < |\Delta E(1, n)|$ ,则分别将  $E_p(2, n)$ 、 $E_r(2, n)$ 、 $\Delta E(2, n)$  确定为新的  $E_p(1, n)$ 、 $E_r(1, n)$ 、 $\Delta E(1, n)$ ;否则,维持原  $E_p(1, n)$ 、 $E_r(1, n)$ 、 $\Delta E(1, n)$  不变。

依次类推,进行第  $m$  次点焊时,当第  $n$  个半周结束后,暂存  $E_p(m, n)$ 、 $E_r(m, n)$ 、 $\Delta E(m, n)$ 。将  $|\Delta E(m, n)|$  与  $|\Delta E(1, n)|$  进行比较:如  $|\Delta E(m, n)| < |\Delta E(1, n)|$ ,则分别将  $E_p(m, n)$ 、 $E_r(m, n)$ 、 $\Delta E(m, n)$  确定为新的  $E_p(1, n)$ 、 $E_r(1, n)$ 、 $\Delta E(1, n)$ ;否则,维持原  $E_p(1, n)$ 、 $E_r(1, n)$ 、 $\Delta E(1, n)$  不变。这样,便完成同一规范参数下的控制效益信息的递推优化。

## 2.5 控制效益的优选和触发指令的确定

### 2.5.1 控制效益的优选

设当前即将开始第  $m$  次点焊的第  $n$  个半周。

(1)在此如果满足  $|\Delta E(m, n-1)| < |\Delta E(1, n-1)|$  和  $|\Delta E(m, n-1)| < |\Delta E(1, n)|$  则按式(9)确定所采纳的控制效益  $E(m, n)$

$$E(m, n) = E_p(m, n) \quad (9)$$

(2)如  $|\Delta E(1, n)| < |\Delta E(1, n-1)| < |\Delta E(m, n-1)|$ , 则按式(10)确定所采纳的控制效益  $E(m, n)$

$$E(m, n) = E_t(1, n) \quad (10)$$

(3)在其他情形下,则按式(11)确定所采纳的控制效益  $E(m, n)$

$$E(m, n) = \frac{1}{2} [E_t(m, n) + E_t(1, n)] \quad (11)$$

### 2.5.2 触发指令的确定

已知第  $m$  次点焊中第  $n$  个半周的电流给定值为  $I_g(m, n)$ , 所采纳的控制效益为  $E(m, n)$ , 则按式(12)确定触发指令  $I_t(m, n)$

$$I_t(m, n) = \frac{I_g(m, n)}{E(m, n)} \quad (12)$$

工作在开关状态,并周期性地经历各种静态和动态的状态。而在这每一个状态中,都会产生一部分功率损耗或能量损耗,这些功率损耗使器件发热。因此,IGBT 在应用时不得超过最大允许结温(一般来说应该低于 150℃)。

功率模块的通态损耗、开关损耗、截止损耗等所产生的温升需由散热器来降低。散热器的作用是增加功率模块的传热和辐射面积、扩张热流以及缓冲传热过渡过程。

基于 IGBT 模块的绝缘性能,一个系统的所有模块都可安装在一整块散热器上。散热器同时还可当作外壳、底座等结构部件。散热器的散热过程为:通过直接传导或借助于传热介质将热量传递到冷却介质。传热介质可以是空气、水或者绝缘油,通过其自身的重力或通过风扇以及泵来实现循环过程。冷却方式可以选择自然冷却或者强制对流方式。

散热器材料应该具有尽可能好的导热系数  $\lambda$ 。金属铝(纯铝  $\lambda = 247 \text{ W/K} \cdot \text{m}$ )通常是优先被采用的材料。在要求特别高的场合有时也可以采用铜( $\lambda = 398 \text{ W/K} \cdot \text{m}$ )。

热量的扩散对散热器的散热效率有着可观的影响。因此,对散热器根部厚度的优化、翼片数目、翼片高度以及翼片厚度之间比例的合适选取对于

根据  $I_t(m, n)$  可确定相应的触发控制角。

## 3 结论

针对采用晶闸管进行通电控制的电阻点焊电源这一具体应用场合,提出了控制效益这一概念,阐述了一种预测可能控制效益的方案,提出了对同一参数下已进行的各次点焊过程的所有半周的控制效益进行优选的方案和确定各半周实际采纳的控制效益与触发指令的决策方案。

所提出的预测-优选控制策略综合利用了已进行的各次点焊过程负载动态变化信息及本次已通电各半周的负载动态变化信息,具有对负载变化适应能力强、控制精度高、控制调节时间短、鲁棒性好的优点。

## 参考文献:

- [1] 中国机械工程学会焊接学会.焊接手册(第1卷)——焊接方法及设备[M].北京:机械工业出版社,1995.
- [2] 刘金琨.先进 PID 控制及其 MATLAB 仿真[M].北京:电子工业出版社,2003.

IGBT 得到可靠使用显得相当重要。

(1)散热器的根部是用于安装 IGBT 模块的、不含分岔的平面区域。

(2)对于空冷散热器来说,热量是通过翼片以辐射和传导的方式传递到周边环境的。对于水冷散热器,热量是由循环水通道来实现的。

在数字化控制电路中,为更可靠地保护 IGBT,还可利用温度传感器检测 IGBT 的壳温,当超过允许温度时,单片机报警且封闭 IGBT 的输出实现器件保护。

## 6 结论

IGBT 作为功率电源的主要电力电子器件,其工作的可靠性决定了整个电源系统的可靠性,只有正确选择参数,设计合适的过电压保护电路、过电流检测电路以及适当的驱动电路,才能够保证 IGBT 运行可靠。

## 参考文献:

- [1] 林渭勋.现代电力电子电路[M].浙江:浙江大学出版社, [时间不详].
- [2] 陈克选,祖立国,李春旭,等.微弧氧化电源 IGBT 驱动和保护研究[J].电焊机,2006,36(10):40-44.
- [3] 王可恕.IGBT 的栅极驱动[J].国外电子元器件,1996(5):34-38.