

一种新型电容储能焊机的电路设计

周好斌<sup>1,2</sup>, 孙会珠<sup>1</sup>, 马小梅<sup>1</sup>  
(1. 西安石油大学, 西安 710065; 2. 西安交通大学, 西安 710049)



周好斌

**摘 要:** 介绍了一种新型电容储能焊机的电路系统设计。储能电容采用超级电容, 由其组成低压的大容量电容器组结构代替传统的高压电容器组; 充电电路采用直流斩波充电方式, 其中斩波电路采用 Buck 降压变换器, IGBT 为主功率开关器件, SG3525 为 PWM 控制芯片, SKHI22AH4 为驱动电路, 引入电流负反馈实现恒电流充电; 放电电路利用大功率晶闸管的浪涌特性, 采取通过晶闸管放电开关直接大电流放电的方法; 以 80C552 单片机为主控芯片的控制系统控制焊机的工作流程, 实现焊接自动化。所研制的焊机已经成功应用于生产, 焊接效果良好。

**关键词:** 电容储能焊机; 斩波器; 超级电容

**中图分类号:** TG438.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2006)11-021-04

0 序 言

传统的电容储能焊机多采用高压电容储能, 电容所储存的高压能量经过大功率焊接变压器输出, 放电开关通常在高压侧, 焊机操作安全度降低, 焊接变压器体积庞大, 与之相关的放电回路参数设计也相当复杂, 因此焊机本身的制造工艺也随之复杂, 制造成本提高, 阻碍了电容储能焊机的发展。作者所研究的新型焊机将针对这些问题, 充分利用现代电力电子技术、电子器件和微机控制技术的发展成果, 采用大容量低压电容组恒流充电设计, 晶闸管大电流放电焊接时序控制, 单片机智能化全过程自动控制, 提高焊机的使用性能和操作安全度。

1 总体结构设计

焊机主电路见图 1, 工频交流电经过隔离降压变压器降压以后经过整流滤波, 采用恒流充电电路对低压大容量电容器组进行充电, 利用大功率晶闸管的导通与关断来实现放电焊接的控制。

选用荷兰飞利浦公司的 MCS-51 系列单片机 80C552 作为控制系统的核心, 该单片机是专门为工业控制等实时应用场合而设计的<sup>[1]</sup>。该系统主要实现以下功能: 焊接参数的读入与显示; 电流电压值采样, 焊接过程程序自动控制。文中的 80C552 控制系

统硬件构成如图 2 所示。

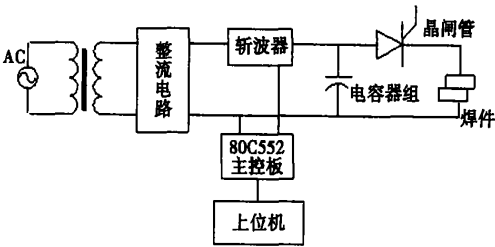


图 1 焊机主电路  
Fig 1 Power circuit of welder

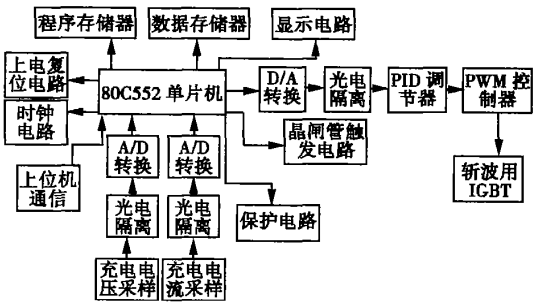


图 2 单片机控制系统  
Fig. 2 Controlling system by MCU

焊机通电之后, 单片机复位、初始化, 然后软启动焊机, 建立空载电压。首先可以在上位机专家系统中根据焊接材料的种类选择合适的焊接参数, 再传输给单片机, 单片机得到信号后, 按照设定的程序控制焊机的充、放电过程。在充电过程中, 单片机通

过外部接口电路采集充电电流、电压,采取电流负反馈达到恒流充电,充电完成后,由单片机触发脉冲控制放电晶闸管的通与断,实现放电焊接的目的,完成整个焊接过程。

2 大容量电容器组参数结构设计

2.1 电容容量计算

焊机预定充电电压至  $U$ , 充电能量  $W_c$  为

$$W_c = \frac{1}{2} C U^2, \tag{1}$$

可得

$$C = \frac{2 \times W_c}{U^2}. \tag{2}$$

式中:  $U = 20\text{ V}$ ;  $W_c = 1600\text{ J}$ ; 需要电容容量  $C = 8\text{ F}$ 。

2.2 电容器的选取

储能电容是焊机的一个重要组成部分, 电容的主要技术参数有电容容量值  $C$  和其耐压值  $U$ , 由于不用输出变压器, 电容充电电压即为焊接电压, 从焊机操作安全度出发, 其值不能太大, 因此要增加储能量, 必须增加电容容量值。如果采用普通容量的电容, 则电容的体积主要决定焊机体积的大小。对于文中  $8\text{ F}$  的电容容量, 如果选取约底面直径  $6\text{ cm}$ , 高  $12\text{ cm}$ , 单只容量  $100\ 000\ \mu\text{F}$  的铝电解电容, 则需要  $80$  只, 整个电容器组的体积十分庞大, 造成焊机体积也随之增大。超级电容的出现, 很好地解决了这个问题。

超级电容器是近年来飞速发展的一种贮能设备, 是将电化学双层电容器与法拉第准电容结合起来做成的电容器。它具有很高的功率密度, 内阻很小, 能够实现电荷的快速贮存和释放, 输出功率密度高达每千克数千瓦, 任何一个化学电源无法比拟; 充放电循环寿命可达万次以上, 且充电时间非常短, 妥善解决了贮能设备高比功率和高比输出之间的矛盾; 贮存寿命长, 可靠性高; 电容制造使用无污染材料, 绿色环保<sup>[3]</sup>。

2.3 电容器组的结构设计

由于选用的超级电容器的单体均为低压, 目前市场上可以见到  $2.5 \sim 3.3\text{ V}$ ,  $3.3 \sim 200\text{ F}$  卷绕式、 $2.5 \sim 3.3\text{ V}$ ,  $0.33 \sim 2.0\text{ F}$  扣式和  $5.5\text{ V}$ ,  $0.47 \sim 1.5\text{ F}$  叠片式系列产品, 因此如果要组成相对高压的大容量电容器组需要多只单体的串并联组合, 设计  $m$  只超级电容器的单体串联为一组, 并由  $n$  组并联, 如图 3 所示。

每只电容器的参数都相同, 设容量值为  $C_0$ , 耐压值为  $U_0$ , 则  $m$  只电容器串联为一组, 每组电容器的容量值为  $C_0/m$ , 承受耐压值为  $m U_0$ 。

再并联  $n$  组, 则并联后电容器组的整体容量为

$$C = \frac{n C_0}{m}. \tag{3}$$

总耐压值仍为

$$U = m U_0. \tag{4}$$

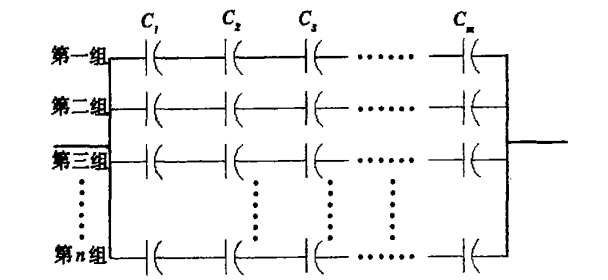


图 3 电容器组  
Fig 3 Capacitor groups

根据式(2)计算的电容值和已知充电电压, 由式(3), 式(4)即可求得  $m, n$ 。

设单体电容的最大放电电流为  $I_{0\max}$ , 则理想状况下串并联后电容器组可承受的最大放电电流为  $n I_{0\max}$ , 由于电容器本身漏电阻、漏电流等因素的影响, 每组电容器之间不可避免的出现均流问题, 实际焊接回路中电容器组可承受的最大放电电流  $I = kn I_{0\max}$ ,  $k$  为一常数, 取值范围  $0 \sim 1$ 。

3 恒流充电电路设计

充电系统结构见图 4, 交流电经整流滤波后得到直流电压, 经 IGBT DC \ DC 斩波后供给电容器组作为充电电压<sup>[3]</sup>。

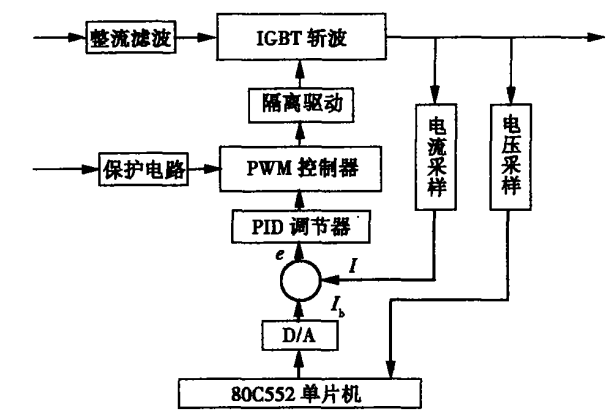


图 4 恒流充电系统  
Fig 4 Constant-current charge circuit

3.1 斩波电路设计

(1) 直流 DC \ DC 斩波电路采用 Buck 降压变换

器的形式见图 5。

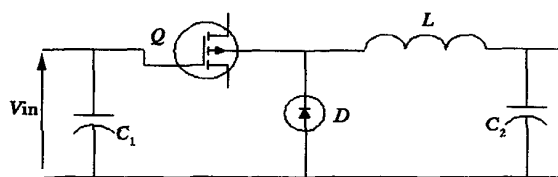


图 5 斩波电路

Fig. 5 Chopper

工作原理如下:当控制脉冲使开关管  $Q$  导通后,电容器组  $C_2$  开始充电,电容  $C_1$  仅起到滤波的作用,在电容  $C_2$  充电的过程中,电感  $L$  内的电流逐渐增加,存储的磁场能量也逐渐增加。此时,续流二极管  $D$  因反向偏置而截止。经过时间  $t_{on}$  后当控制信号使  $Q$  截止时  $L$  中的电流减小,在  $L$  两端产生的感应电势使  $D$  导通,  $L$  中存储的磁场能量便通过续流二极管  $D$  传递给负载,当负载电压低于电容  $C_2$  两端的电压时,  $C_2$  便向负载放电,经过时间  $t_{off}$  后,控制脉冲又使  $Q$  导通,上述过程重复发生<sup>[4]</sup>。根据其工作原理可以得到以下关系式

$$U_0 = U_i \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = U_i \frac{t_{on}}{T} = \delta U_i, \quad (5)$$

式中:  $t_{on}$  为开关管的导通时间;  $t_{off}$  为开关管的截止时间;  $T$  为开关管的工作周期;  $\delta$  为开关管的占空比;  $U_0$  为输出电压;  $U_i$  为输入电压。

由上式可知:输出电压  $U_0$  与开关管的占空比成正比,工作周期固定,通过改变开关管的占空比可以控制平均输出电压的大小。

(2)开关管选取西门康公司的 SKM 500GA 123D 型 IGBT;驱动采用西门康公司的 SKHI22AH4 型专用驱动电路<sup>[5]</sup>。

### 3.2 脉宽调制

斩波控制采用 SG3525 脉宽调制型控制器,SG3525 是集成 PWM 控制器件,控制功能比较完备用于斩波十分合适,全推挽输出形式,其输出峰值为  $\pm 500$  mA,电源电压为 (8~35 V),内部设有欠压停止电路,当电压过低时,输出级截止,具有 5.1 V、温度系数  $\pm 1\%$  的基准稳压电源,误差放大器,频率为 100~400 kHz (其值由外接电阻、电容值决定)的锯齿波振荡器,软启动电路,同步电路,关闭电路,脉宽调制比较器,RS 寄存器及保护电路。

芯片内部的振荡器产生三角波信号,误差信号  $e = I_b - I$  经 PID 调节器后送内部误差放大器,再与三角波进行比较产生 PWM 波形。同时,SG3525 的闭锁控制引脚,可将过流、过压、短路等检测信号送

至此引脚以封锁 PWM 输出,实施保护功能。通过调节片内振荡器外接电容、电阻的大小可以改变 PWM 的周期及死区。

### 3.3 恒流控制

在充电过程中,通过霍尔电流传感器采集充电电流信号,实际充电电流与给定值比较后,经过 PID 调节器后送 PWM 控制器产生 PWM 信号,控制 IGBT 的开关与导通,进行负反馈闭环控制,实现恒流充电的功能;通过电压传感器采集充电电压,实施电压监测,如图 4 所示。

为了获得恒电流输出,按偏差的比例、积分、微分进行的控制系统是工程中应用最为广泛的一种调节器。模拟 PID 控制过程及其规律经过离散化设计后可以由软件简单实现,由于软件程序的灵活性,PID 算法可以得到修正而更加完善。

PID 调节器控制规律的微分方程表示为

$$u(t) = k_p \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] + u_0, \quad (6)$$

式中:  $u(t)$  为  $t$  时刻调节器输出信号;  $e(t)$  为  $t$  时刻偏差,是测量值与给定值之差;  $K_p$  为比例系数;  $T_i$  为积分时间常数;  $T_d$  为微分时间常数。

## 4 放电电路设计

传统的电容储能焊机是通过开关、极性换向器等迅速向阻焊变压器初级绕组放电,并在次级侧的焊接回路中流过感应出的电容储能焊接电流。采用焊接变压器是为了解决放电开关的小容量问题,此开关可选用机械开关、引燃管、闸流管等,它们的开关电流为数十至数百安培,而焊接电流峰值一般为数千至上万安培,由此变压器的存在使焊机体积庞大、结构复杂、造价高且磁损耗大。

为了甩掉笨重的焊接变压器,使焊机体积、重量、造价大大降低,消除焊接变压器的损耗,提高焊接效率,作者采用一种低压大容量电容器组通过晶闸管直接放电的方法。由于是低压电容直接对工件放电,放电控制开关必须承受上万安培的焊接电流,实践中机械开关均不能承受如此大电流而发生损坏,而上万安培的小形电子开关难以制作,采用多只容量数千安培的电子开关并联,会出现均流问题、开关时间一致性问题,也会造成电路复杂<sup>[9]</sup>。

晶闸管的浪涌电流比其额定电流大的多,几千安培的晶闸管的浪涌电流可多达数万安培,这一指标足可承受放电焊接时的大电流,根据焊机容量采用单只晶闸管或少数晶闸管并联组成,利用晶闸管的瞬时极限参数设计小形实用的万安培晶闸管放电

开关,可以很好的解决上述问题。

放电电路如图 6 所示,其中  $C$  为低压大容量电容器组,  $SCR_1$  为放电晶闸管,  $R_1$  为焊接回路等效电阻。工作过程如下:外加 +12 V 电源,来自单片机的 +5 V 脉冲触发开关三极管  $T$  导通,然后脉冲变压器  $B$  触发晶闸管  $SCR_2$  导通,  $SCR_2$  导通以后随即触发放电晶闸管  $SCR_1$  导通,电容器组  $C$  开始放电,完成焊接。

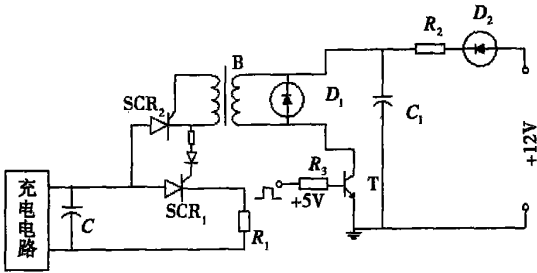


图 6 放电电路  
Fig. 6 Charge circuit

5 结 论

(1) 采用超级电容低压大容量电容器组和 DC/DC

斩波恒流充电方式,提高了充、放电效率。

(2) 采用晶闸管作为大电流开关直接放电焊接的方法,大大减小了焊机的体积,提高了操作安全度。

(3) 单片机控制使焊机操作简单易行,可靠方便。

参考文献:

[ 1 ] 韦 鲲,魏继昆,李春旭. 80C552 单片机控制 IGBT 逆变焊机的研究[ J ]. 甘肃工业大学学报, 1999, 25(1): 11— 13.  
[ 2 ] 桂长青. 新型储能元件超级电容器[ J ]. 船电技术, 2003, 1: 23— 26.  
[ 3 ] 柯 锋,周永鹏,黄锦恩,等. PWM 恒流充电系统的设计[ J ]. 电子技术应用, 2002 (3): 43— 44.  
[ 4 ] 黄 俊,王兆安. 电力电子变流技术[ M ]. 北京: 机械工业出版社, 1993.  
[ 5 ] 刘光德,林 莘. 西门康 SKH122AH4 型 IGBT 驱动模块的应用研究[ J ]. 沈阳电力高等专科学校学报, 2004 6(1): 1— 3.  
[ 6 ] 赵熹华. 压力焊[ M ]. 北京: 机械工业出版社, 1988.

作者简介: 周好斌,男,1965 年出生,教授,在职博士。主要从事焊接设备及其自动化技术的研究,发表论文 10 余篇。

Email: hbzhou@xsyu. edu. cn

[ 上接第 8 页]

3 结 论

(1) 铝基涂层具有优良的抗高温氧化性能、抗热腐蚀性能和耐硫化氢腐蚀性能,主要原因是铝基涂层中含有大量的铝金属间化合物和  $Al_2O_3$ 。

(2) 铝基涂层的抗氧化性能和耐热腐蚀性能优于 Fe—Al 涂层并且稍优于 45CT 涂层,其耐硫化氢腐蚀性能明显优于 Fe—Al 涂层和 A304 不锈钢。

参考文献:

[ 1 ] Javaherdashi R. How corrosion affects industry and life[ J ]. Anti—Corrosion Methods and Materials, 2000 47(1): 30— 34.  
[ 2 ] Uhlig H H. The cost of corrosion of the united states[ J ]. Corrosion, 1950, 6(1): 29— 33.  
[ 3 ] Hoar T P. Department of trade and industry[ R ]. Report of the Corrosion and Protection, London: Her Majesty's Stationery Office, 1997.

[ 4 ] 周苏闽,王红艳. 多元复合化学镀层结构理论及其应用[ J ]. 表面技术. 2002, 31(6): 68— 70.  
[ 5 ] 柯 伟. 中国腐蚀调查报告[ M ]. 北京: 化学工业出版社, 2003.  
[ 6 ] Davis J R E D. Protective Coatings for superalloys. In: heat-resistant materials. ASM specialty handbook, ASM international[ C ]. The Materials Information Society, U S A, 1997.  
[ 7 ] Heng Oiang Ye. Recent developments in high temperature intermetallics research in china[ J ]. Intermetallics, 2000(5— 6): 503— 509.  
[ 8 ] Zhang Zhonghua, Sun Yangshan, Liu Guijun. Ductility improvement of  $Fe_3Al$ — based alloy with surface coating[ J ], Scripta Materialia, 1996, 35 (9): 1071— 1075.  
[ 9 ] 孟凡军,徐滨士,朱 胜,等. 高速电弧喷涂 Fe—Al 涂层在 800℃下的氧化性能[ J ]. 中国腐蚀与防护学报, 2004, 24(6): 368— 371.  
[ 10 ] 李小刚,徐滨士,马世宁,等. 热喷涂技术用于电站锅炉管道防腐[ J ]. 表面工程, 1995, 8(4): 7— 11.

作者简介: 魏 琪,男,1953 年出生,副教授。主要从事焊接和喷涂的研究工作,发表论文 40 余篇。

Email: wei qi@bjut. edu. cn

and low identification rate. Focused on these problems the ultrasonic echo characteristics of the spot welding defects were analyzed mainly with the qualitative characteristic parameter analysis, which can identify the spot welding defects quickly through collecting the standard ultrasonic curves and using peak-value marking algorithm. At last, lots of experiments are conducted to prove that this method is credible and efficient for the spot welding of ordinary steel sheets. The identification rate can reach 95%.

**Key words:** spot welding joints; faulty welding; ultrasonic testing; echo characteristics; fast identification

#### **Design of circuit about new capacitor stored energy spot welding machine**

ZHOU Hao-bin<sup>1,2</sup>, SUN Hui-zhu<sup>1</sup>, MA Xiao-mei<sup>1</sup>  
(1. Xi'an Shiyong University, Xi'an 710065, China; 2. Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China). p21—24

**Abstract:** This paper introduces the design method of a new capacitor stored energy spot welding machine. The new power uses super capacitor to form low voltage capacitor groups instead of high voltage one. The capacitor is charged with direct current chopper circuit, which takes IGBT as the main power machine piece, SKH122AH4 as the drive circuit, SG3525 as the control chip for PWM, and current feedback in order to get the constant current. In the discharge circuit, the large current is discharged directly through large power SCR without the welding transformer. For the software, 80C552 is the main control chip of the controlling system, so the welding machine could work automatically. The new machine designed has already been used in production and the fine effect was gained to improve the welding quality.

**Key words:** capacitor stored energy spot welding machine; chopper; super capacitor

#### **Numerical analysis of N<sub>2</sub>-Ar protecting tungsten inert gas welding arc**

LEI Yu-cheng, LI Cai-hui, YU Wen-xia, CHENG Xiao-nong (School of Materials Science and Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, Jiangsu, China). p25—28

**Abstract:** N<sub>2</sub>-Ar protecting tungsten inert gas (TIG) welding arc was chosen as the studied object. A mathematic model was developed according to the theory of magnetic fluid dynamics. TIG welding arc was numerically analyzed based on this 2D, static and axisymmetric model with ANSYS software and the temperature and velocity profiles of the 50%N<sub>2</sub>+Ar protecting arc have been simulated. And the difference of the temperature, pressure and velocity of the arc between 50%N<sub>2</sub>+Ar protecting arc and Ar protecting arc has been obtained. The results show that the temperature, pressure and velocity of the arc could rise adding N<sub>2</sub> as protecting gas and higher energy density arc can be got.

**Key words:** tungsten inert-gas welding arc; N<sub>2</sub>-Ar protecting; magnetic fluid dynamics; ANSYS

#### **Finite element analysis of residual stresses and thermal deformation for brazing plate-fin structure**

CHEN Hu, GONG Jian-

ming, GENG Lu-yang, TU Shan-dong (College of Mechanical and Power Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China). p29—32, 36

**Abstract:** This contribution focuses on the analysis of residual stress and thermal deformation of microminiaturized nickel base brazing stainless steel plate-fin structure after vacuum brazing. A finite element method is utilized to conduct the thermal-mechanical analysis for brazing such three layers structure, and the actual heating history of vacuum brazing and temperature-dependent material properties of plate-fin and filler metal are considered. The thermal cycles during brazing, thermal distortion and residual stress after brazing are reported. The results show that plates and fins have different deformation features, and complex stress state appears in the region of joint fillets which may induce the crack generation and propagation of brazed joint and result in the structure failure in service. It is noteworthy to control appropriate brazing time to get preferable joints.

**Key words:** brazing; plate-fin structure; brazed joint; thermal deformation; residual stresses; finite element method

#### **Analysis on residual stress of hybrid laser-tungsten inert gas arc welding of magnesium alloy**

WANG Hong-yang, CHI Ming-sheng, HUANG Rui-sheng, LIU Li-ming (Materials Modification National Key Laboratory by Laser, Ion and Electron Beams, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China). p33—36

**Abstract:** The residual stress of weld, in both parallel and perpendicular direction, was measured by impacted indentation method for hybrid laser-tungsten inert gas arc welding of magnesium alloy. Based on the data measured, residual stress field simulation was established with finite element method, which can provide an effective supplement to the data of actual measurement. Results showed that the maximum tension stress along the parallel direction of the weld existed at the middle area of the weld was 200-300 MPa, while the maximum compressive stress along perpendicular direction that exists at area of 5 mm and 10 mm to the weld fusion zone was no more than 100 MPa. Through the comparison between actual measurement and simulation, the residual stress distribution characteristics of hybrid laser-tungsten inert gas arc welding of magnesium alloy AZ31B have been well understood.

**Key words:** residual stress; stress field simulation; impacted indentation method; hybrid welding

#### **Real-time interpolation algorithm and simulation of seam of intersection line for automatic welding**

HUO Meng-you, WANG Xin-gang, YIN Ping (School of Mechanical Engineering, Shandong Univ., Jinan 250061, China). p37—40

**Abstract:** Welding of cylinder pipes is one of the common pipe connections, but the line of intersection is a complicated space curve. Based on a special welding machine, it introduces a real-time interpolation algorithm with controllable step length for line of intersection in automatic welding. The concrete method is that using linear