[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl[7]
B23K 11/25

[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 99800186.4

[45] 授权公告日 2004 年 6 月 16 日

[11] 授权公告号 CN 1153645C

[22] 申请日 1999.1.25 [21] 申请号 99800186.4
[30] 优先权
[32] 1998.1.27 [33] US [31] 09/013,721
[86] 国际申请 PCT/US1999/001503 1999.1.25
[87] 国际公布 WO1999/037436 英 1999.7.29
[85] 进入国家阶段日期 1999.10.26
[71] 专利权人 方 D 公司
地址 美国伊利诺斯
[72] 发明人 保罗·R·布达 乔纳森·H·贝利
审查员 师朝阳

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所
代理人 马 浩

权利要求书 4 页 说明书 16 页 附图 10 页

[54] 发明名称 数字焊接控制系统和用于估计电源的方法

[57] 摘要

一种相位焊接控制器系统，使用焊接线和负载阻抗的及开路焊接输入电压的内部模型，求出一个保持期望焊接电流序列的名义触发角序列或导通角序列。 该焊接控制器根据线路阻抗的估计模型、开路线电压、和负载电流与导通角之间的估计关系、及在如果诸模型准确则实现希望焊接序列的触发角、导通角、和负载电路功率之间的数学关系，计算一个名义触发角序列。 焊接控制器以后使用在执行焊接序列的同时实时接收的测量值，来改进名义触发角，以更好地实现希望目标。 该方法借助于实际负载使焊接控制器迅速实现希望的焊接序列，同时允许低的反馈增益，产生一种响应迅速和准确而不过分敏感的系统。

ISSN1008-4274

1.一种用于电阻焊机的数字焊接控制系统，具有通过一个焊接接触器把一个焊接变压器负载连接到一个交流焊接电源上和从其上脱开、以控制焊接序列的计时段和在焊接中的热量强度值而保证优质焊接的类型，该数字焊接控制系统包括：

A. 一个相位基准时钟；

B. 一个电压表；

C. 一个电流表；

D. 一个触发控制器；

E. 一个阻抗估计器，用来根据来自以前焊接的数据，估计负载阻抗数值和功率因数；

F. 一个电源估计器，用来根据焊接电源的集中参数模型，估计电源功率；及

G. 控制装置，响应集中参数模型、和由焊接电源中线路阻抗的存在引起的估计电压降，用来调节焊接接触器在下个到来的线电压循环中的触发点，并且用来保持焊接电流恒定、和独立于线电压的变化且独立于由焊接变压器负载抽取的实际焊接电流。

2.根据权利要求1所述的数字焊接控制系统，其中电源的集中参数模型包括一个理想电压源和一个集中线路阻抗。

3.根据权利要求2所述的数字焊接控制系统，其中电源估计器估计理想电压源的电压、和电源的集中线路阻抗。

4.一种供电阻焊机控制用途使用的估计理想电压源和线路阻抗的值的方法，包括：

a.测量线电压、和在线电压的第一循环中生成的负载电流；

b. 测量线电压、和在线电压的第二循环中生成的负载电流，其中该负载电流不同于第一循环测量的负载电流；

c.计算第一循环的线电压与第二测量循环的线电压之间的电压差；

d. 计算第一循环测量的负载电流与第二循环测量的负载电流之间的电流差;

e.把电压差除以电流差，以得到线路阻抗的估计值；及

f.通过把估计的线路阻抗乘以在线路循环之一中的焊接电流来计算估计的理想电压源值，并且把生成值添加到该线路循环的测量电压上。

5.根据权利要求4所述的方法，其中线电压的第一循环是其中还没有命令电流流动的循环，及其中线电压的第二循环是其中已经命令电流流动的循环。

6.根据权利要求5所述的方法，其中线电压的第一循环是正好在命令焊接脉冲开始之前的循环。

7.一种供电阻焊机控制用途使用的估计一个估计电源的集中参数模型的理想开路电压和线路阻抗的方法，包括:

a.测量其中还没命令焊接电流的线电压的第一子集半循环中的线电压;

b. 把一个数字滤波器应用于线电压的第一子集半循环中，以产生代表理想电压源的电压估计值的单个值;

c.测量在线电压的第二子集半循环中的线电压和焊接电流、及在其中已经命令焊接电流流动的循环中的焊接电流;

d. 把一个数字滤波器应用于线电压的第二子集半循环中，以产生代表焊接脉冲子集的电压估计值的单个值;

e.把一个数字滤波器应用于焊接电流的第二子集半循环中，以产生代表焊接脉冲子集的焊接电流估计值的单个值;

f.计算第一子集半循环的线电压的估计值与第二子集半循环的估计值之间的差值；及

g.把电压估计值差值除以第二子集半循环的焊接电流估计值，以得到功率系统源阻抗的估计值。

8.根据权利要求7所述的方法，其中数字滤波器计算线电压循环的子集的平均值。

9.根据权利要求8所述的方法，其中数字滤波器计算焊接电流的子集的平均值。

10.根据权利要求9所述的方法，其中测量的线电压的第一子集半循环至少包括一个来自正好在焊接脉冲开始前的一个循环的半循环。

11.一种数字焊接控制系统，包含一个包括理想电压源和串联连接的线路阻抗的电源的集中参数模型，并且还包含一个根据从以前焊接收集的信息的焊接负载的内部保持集中参数模型，该数字焊接控制系统假定实际负载和电源准确地由电源和负载阻抗的内部模型表示，产生一个名义触发角序列，以实现焊接电流的一个目标半循环序列。

12.根据权利要求11所述的数字焊接控制系统，其中名义触发角序列由如下步骤确定:

a.估计假定目标电流是由电源的估计集中参数模型供给而出现的线电压;

b. 把希望目标电流缩放一个名义设计电压与估计线电压的比值，以产生一个电源补偿目标焊接电流序列；及

c.由与在名义线电压下的焊接电流和触发角有关的模型，确定实现电源补偿目标焊接电流序列所要求的名义触发角序列。

13.根据权利要求12所述的数字焊接控制系统，其中由与在名义线电压下的焊接电流和触发角有关的模型、确定名义触发角序列以实现电源补偿目标焊接电流序列的步骤包括如下步骤:

a.由与在规定名义线电压下的焊接电流和导通角有关的集中参数负载阻抗模型，确定在名义电压下实现补偿目标电流的目标导通角；及

b. 由与触发角、功率因数和导通角有关的模型，确定实现目标导通角所要求的名义触发角。

14.根据权利要求12所述的数字焊接控制系统，其中在焊接脉冲中的第一焊接循环之后的焊接循环的名义触发角由如下步骤计算:

a.测量焊接以前或当前半循环或全循环的线电压;

b. 把希望目标电流缩放一个名义设计电压与焊接的以前或当前半循环或全循环的测量线电压的比值，以产生一个电源补偿目标焊接电流；及

c.由与在名义线电压下的焊接电流和触发角有关的模型，确定实现电源补偿目标焊接电流序列所要求的名义触发角序列。

15.根据权利要求14所述的数字焊接控制系统，其中由与在名义线电压下的焊接电流和触发角有关的模型、确定名义触发角序列以实现电源补偿目标焊接电流序列的步骤包括如下步骤:

a.由与在规定名义线电压下的焊接电流和导通角有关的集中参数负载阻抗模型，确定在名义电压下实现补偿目标电流的目标导通角；及

b. 由与触发角、功率因数和导通角有关的模型，确定实现目标导通角所要求的名义触发角。

16.根据权利要求11所述的数字焊接控制系统，进一步包括反馈装置，以响应在目标导通角序列与测量导通角序列之间的差值，调节名义触发角，以便在以后的循环中使目标导通角序列与实际导通角之间的差值最小。

17.根据权利要求11所述的数字焊接控制系统，进一步包括反馈装置，以响应在目标焊接电流序列与测量焊接电流之间的差值，调节名义触发角，以便在以后的循环中使目标焊接电流与实际焊接电流之间的差值最小。

数字焊接控制系统和用于估计电源的方法

技术领域

本申请人的发明一般涉及焊接控制器的领域，更具体地说，涉及一种自动补偿导致输入线电压变化的线路阻抗影响的焊接控制器系统，以便把恒定输出 RMS 电流供给由焊接控制器焊接的工件。

背景技术

电阻焊接现在广泛用于要求接合金属，如接合在汽车制造中使用的钢的大多数用途中。随着微处理器的出现，焊接控制器已经变得更加高级，并且使用各种控制技术，以便随着触头磨损在其整个寿命期间保证焊接质量。无论使用什么过程或控制技术，大多数焊接控制器包括几个基本元件。这些包括一个焊接控制模块、一个功率模块、一个焊接变压器及一些触头。功率模块通常包括功率半导体，如根据由控制模块产生的预置焊接程序把进来的功率切换到焊接变压器的可控硅整流器(SCR)。焊接变压器把进来的功率转换成联接到触头上的大电流脉冲，以对触头之间的工件进行焊接。

焊接程序将使用相角控制来切换功率模块。为了保持希望的热量值传送到焊缝，触发 SCR 的适当相角是把功率传送到焊接控制器且以后经焊接控制器传送到焊接变压器的电源的状态的函数。

在美国专利号 4,289,948 中公开了一种早期类型的电压补偿焊机控制器，该专利描述了一种根据测量线电压和确定其名义值来求出计时信号的方法。该名义值与期望的或希望的电压值相比较。在经验求出的公式中使用该差值，来确定必需升高或降低施加到焊接变压器和触头上的有效电压的新触发角，以便保持焊接电流恒定和独立于线电压的变化。在准确知道负载数值和功率因数、和一个无限恒定的电压源出现在到焊接控制器的输入处的假设下，触发 SCR 将保持焊接电流恒定。然而，由于负载阻抗从一部分到一部分变

化，并且触头的特征由于磨损而变化，所以实际线电压很少是名义设计电压。

通常，实际线电压不仅是源电压而且是线路阻抗的函数。线电压能不同于名义设计电压，因为电压源是由电力公司产生的、且受配电系统影响的真实电压源，并因此可能不是焊接控制的名义设计电压。线路阻抗的存在导致电压降与流入焊接的电流成比例。把实际焊接电流与目标负载电流相比较，后者与实际线电压与名义线电压的比值成比例，并且减小一个是名义负载电流与焊接总可用名义短路电流的比值的函数的因数。

先有技术假定电压源是恒定的而没有线路阻抗。前提是焊接控制器能够由当前的焊接脉冲测量焊接控制器的线电压，并且能根据该测量校正下一个焊接脉冲。在稳定状态下，这提供了希望的结果。然而，有与限制其有效性的该方法有关的瞬态响应。在稳定状态下，实际焊接负载电流是名义负载电流。然而，焊接电流的最先两个循环显著小于用于配电系统的名义希望电流，配电系统是非常恒定的，因为初始负载电流不显著偏离名义希望电流。先有技术在提供十分稳定的状态响应的同时，具有在焊接用途中有害的瞬态特性，特别是在使用少量循环进行焊接的地方，如在铝焊接时。仅包括较大电流的 3-6 个循环的焊接脉冲在现代用途中是非常普通的，所以在焊接控制瞬态响应方面的改进是非常有益的。

希望开发一种系统或方法，借此减小该瞬态特性，并且能补偿线路阻抗的影响，导致本焊接控制器的瞬态性能相对于先有技术控制的明显改进。

发明内容

因而，本发明的主要目的在于，提供一种相位控制焊接控制器系统，该系统使用一个焊接线和负载阻抗的、和开路焊接输入电压的内部模型，以求出一个保持期望焊接电流的名义触发角序列或导通角序列。

本发明的另一个目的在于，提供一种估计期望焊接线和负载阻抗、和开路线电压以求出内部模型的相位控制焊接控制器系统。

本发明的又一个目的在于，提供一种在焊接序列期间准确测量

焊接线和负载阻抗、和线电压的方法和设备。

本发明的再一个目的在于，提供一种用于如果保持希望的焊接序列则利用测量和估计的焊接线和负载阻抗来确定期望线电压的方法和设备。

在本发明的最佳实施例中，组成本发明的基本元件系统包括，但不限于：一个焊接控制模块、一个功率模块、一个焊接变压器及一些由单相电源操作的触头。功率模块包括功率半导体，如根据保持由控制模块产生的希望焊接序列的预置程序把进来的功率切换到焊接变压器的可控硅整流器(SCR)或闸流管。焊接变压器把进来的功率转换成联接到触头上的大电流脉冲，以对触头之间的工件进行焊接。

在本发明的相位控制焊接控制器中，一个控制变量涉及至与输入线电压有关的 SCR 的触发脉冲的计时。如此，把焊接控制器看作是一个带有表示为数学数列的，而是连续时间变化量的输入、输出和状态变量的离散时间系统，在数列中的最小单位表示交流电源在时间上的半个循环。在大多数焊接用途中，及特别是在对汽车制造的电阻焊接控制的用途中，通常在负载阻抗方面几乎没有零件至零件变化，除非有严重的工艺问题，如工具失效或严重的零件装配问题。本发明建立一个由理想电压源和集中线路阻抗组成的焊接电源的内部集中参数模型、和一个期望负载电流与导通角之间的关系形式的负载阻抗的内部集中参数模型。焊接控制器根据线路阻抗、开路线电压、和负载电流与导通角之间的估计关系的估计模型，和在触发角、导通角与负载电路功率因数之间的数学关系，计算名义触发角数列，如果诸模型是准确的，则将实现希望的焊接序列。使用这样一种事先求出的模型来计算名义控制信号的该过程，通常称作前馈控制。焊接控制器以后使用实时接收的测量值，同时执行焊接序列来改进名义触发角，以更好地实现希望目标。响应目标与观察参数值之间的误差来实时调节控制参数的该过程，称作闭环反馈控制。对于实际负载该方法允许焊接控制器迅速地达到希望焊接序列，同时允许低的反馈增益，导致一种响应迅速和准确而不过分敏感的系统。

由结合其中表示有本发明最佳实施例的附图所作的如下详细说明，将明白本发明的、认为是新颖且不显然的其他特征和优点。为了理解不必由这样的实施例代表的本发明的整个范围，参照权利要求书。

附图说明

图 1 表示根据本发明的一种基本焊接控制器 10 的总方块图。

图 2 是图 1 焊接控制器的简化集中参数电路模型，带有有关的配电系统和焊接负载。

图 3 表示对于 30%的功率因数和 4000 安培的最大电流、实际焊接电流与导通角的关系曲线。

图 4 是图 1 中所示焊接调节器的详细方块图。

图 5 提供图 1 中所示名义触发角发生器的细节。

图 6 表示图 1 中所示触发角补偿器的扩展方块图。

图 7 在%I 的焊接模式中扩展图 6 的反馈补偿器功能元件。

图 8 在恒电流焊接模式中扩展图 6 的反馈补偿器功能元件。

图 9 扩展图 1 中所示焊接调节器的动态 I-g 估计器功能元件。

图 10 表示一个用来计算由图 4 中所示动态估计器使用的线路阻抗的新估计值的过程。

具体实施方式

尽管本发明对多种不同形式的实施例是有效的，但这里将详细描述和说明一个最佳实施例。本公开举例说明本发明的原理，而不要认为把本发明的宽广方面限制为所述的具体实施例。

图 1 表示一种基本焊接控制器 10 的总方块图。一个焊接电源经输入线 L1 和 L2 连接到焊接控制器上。焊接控制器经一个串行通信链 12 编程，串行通信链 12 连接到在焊接控制器 10 外部的一个焊接编程器 14 上。一旦经焊接编程器输入程序，就经外围设备 16 初始化焊接程序的执行，外围设备 16 连线到其后把焊接程序分解成一个或多个焊接命令脉冲 19 的焊接序列 I/O 18 上。焊接控制器 10 的输出连线到一个焊接变压器 20 和焊枪 22 上，焊枪 22 使电流通过包括两个或多个要接合的金属件的工件。

焊接控制器 10 还包括一个焊接调节器 24、一个触发控制模块 26、及一个相位基准时钟 28。数字电压表 30 用来测量输入线电压 L1-L2 的各种参数，如电压时间面积、和极性。一个电流传感器 32 产生与流入焊接变压器 20 的初级中的电流成比例的电流信号 H1、H2。一个数字电流表 34 用来测量初级负载电流的各种参数，如电流时间面积、极性、和导通时间。

焊接调节器 24 包括一个微处理器、有关的程序和数据存储器、及一个诸如晶体控制时钟之类的时基基准源。焊接调节器 24 是焊接控制器 10 的功能电脑，并且与所有其他功能相配合，以产生经触发控制模块 26 触发固态焊接接触器 36 的适当计时信号，触发控制模块 26 在软件控制下与相位基准时钟 28 同步。固态焊接接触器 36 根据来自触发控制器的触发脉冲形式的命令切换线电压。该接触器一般包括一对带有接收触发脉冲所需的有关缓冲、电平移动和脉冲成形电路的背对背闸流管。焊接序列 I/O 18 包括至外围设备 16 的一个硬件接口，外围设备 16 可以具有硬接线数字输入和输出、或按各种商业标准的几个串行通信接口的一个的形式，并且包括在焊接程序的初始产生至焊接调节器的一个或多个焊接命令脉冲 19 的软件。

相位基准时钟 28 是独立于软件延迟而工作的自由运行时钟。相位基准时钟根据进来线电压 L1 和 L2 的频率和相位估计值，为固态接触器触发脉冲提供一个内部时基。相位基准时钟的周期在软件控制下能设置和修改。在最佳实施例中，在焊接调节器 24 外部的硬件中，利用通常可用的可编程计数器，实现相位基准时钟。在操作中，编程计数器，以产生成为由焊接调节器 24 使用的中断序列的方波。计数器的周期由设置时钟周期以跟踪输入线电压的焊接调节器 24 编程。相位基准时钟 28、数字电压表 30、和数字电流表 34 的细节公开在普通授予的美国专利申请序号 08/866,829 中，该申请在 1997 年 5 月 30 日提出，并且标题为“用于焊接控制器的相位失真补偿时基 (Phase Distortion Compensated Time Base for a Weld Controller)”，其细节包括在这里供参考。

焊接控制器 10 支持两种焊接控制类型：百分比电流(%I)焊接，调节闸流管触发角，以调节代表进入假定负载阻抗的最大焊接电流的百分比的电压和线路阻抗补偿导通角；和恒定电流焊接，调节闸流管触发角以直接达到目标电流。一般形式的%I 焊接命令指示由固态接触器导通角与存储在 I-γ表中的期望焊接电流之间的估计关系确定的最大可控制电流的百分比。以后定义术语最大可控制电流。第一形式的%I 命令打算以最大可控制电流的 YY 百分比输送 XX 循环的恒定焊接脉冲。第二形式打算在焊接的 XX 循环范围内线性地把焊接电流从最大可控制电流的 Y1 升到 Y2 百分比。

在焊接控制器 10 中的恒定电流焊接命令的一般形式，包括在 XX 循环的时段上试图把 YY 安培 RMS 的焊接电流输送到焊接变压器的初级的第一形式。第二形式允许用户编程希望的次级电流，焊接控制器 10 以后由知道的焊接变压器匝比值把该次级电流转换成初级安培数。类似地，第三形式的焊接命令试图在 XX 循环的时段上产生焊接电流从 Y1 安培到 Y2 安培的线性斜坡，而第四命令允许用户以次级千安培数为线性斜坡规定焊接电流目标，次级千安培数以后由焊接控制器 10 转换成初级安培数。

图 2 是用于焊接控制器 10 的简化集中参数电路模型 40、及用来导出焊接控制器 10 的数学模型的有关配电系统和焊接负载。集中参数模型 40 包括一个焊接电源 42、焊接控制器 10 和一个焊接负载阻抗 44。焊接电源 42 模型化成两个电路元件：一个电压源 46，假定是没有串联阻抗的理想电压源；和一个串联连接的集中线路阻抗 Z_{line}，假定是理想和线性的，并且在理想电压源与焊接控制器之间产生与焊接负载电流成比例的电压降。焊接控制器 10 能够观测负载电流 I_{load}、和在其输入终端处施加的电压 V_{wc}。利用基于相位控制的闸流管，焊接控制器在其输出终端处产生一个焊接电压 V_{load}，相应焊接电流为 I_{load}。焊接负载阻抗 44 包括焊接变压器 20、工件、工具 22、夹具和其他阻抗源。为了简化数学模型，所有这些元件的阻抗集中成一个在焊接控制的输出终端处表示为 Z_{load} 的单阻抗量。当焊接控

制把电压 V_{load} 施加到负载阻抗上时，生成的电流是 I_{load}。

在传导到一个电感性负载中时闸流管电压与电流之间的关系，如在正常电阻焊接用途中那样，是熟知的。为了保持随后讨论的频率的独立性，按度而不是按时间估计正弦电压源。对于以度定义的正弦，相对于名义跟踪正弦电压源的零交点的相位基准时钟，在角α处触发闸流管，在该时刻闸流管开始传导电流。在传导的同时在线电压与线电流之间的关系与下式成比例：

$$i(\phi)=\begin{cases}0 & 0<\phi<\alpha\\ e^{-\left(\frac{\phi-\alpha}{\tan(\theta)}\right)}\sin(\alpha-\theta)+\sin(\phi-\theta) & \alpha\le\phi\le\alpha+\gamma\\ 0 & \phi>\alpha+\gamma\end{cases} \tag{1}$$

其中φ是观测角，α是相对于用来触发闸流管的线电压的零交点的角，θ是负载的滞后角，及γ是闸流管的导通角，最小角满足下式

$$e^{-\left(\frac{\alpha+\gamma}{\tan(\theta)}\right)}\sin(\alpha-\theta)+\sin(\alpha+\gamma-\theta)=0,\quad \gamma>0 \tag{2}$$

通过下式使在公式(1)中的负载阻抗的滞后角θ与电路功率因数 *pf* 有关：

$$\theta=\arccos(pf) \tag{3}$$

假定图 2 的集中参数模型 40，对于不包含线路阻抗(48)的焊接电压的归一化理想源 46 和本质上是电感性的归一化焊接负载阻抗 44，由闸流管导通的半个循环产生的 RMS 电流能作为焊接导通角和功率因数的函数用曲线表示。在集中参数模型 40 中，负载能完全由一根 I-g 曲线特征化。为了做到这点，知道电路功率因数就足够了，该电路功率因数唯一地支配负载阻抗特征曲线的“形状”、和在一个导通角处和在已知电压下的焊接电流。在整个 180 度导通时和在名义线电压下能产生的最大电流因此称作 I_{180}，并且通过下式与名义负载阻抗 Z_{load} 有关：

$$I_{180} = \frac{V_{nom}}{Z_{load}} \tag{4}$$

给出 I_{180} 的值和用于负载阻抗的归一化 I-γ曲线，能建造实际焊接电流与导通角的关系曲线。对于30%的功率因数和4000安培的最大电流 I_{180}，图3表示这样一条曲线。给出图3、和希望的焊接电流，能由该曲线图确定达到希望电流所需要的导通角。而且，以上公式(3)和(4)使触发角、导通角和负载功率因数发生关系。如此，采用在触发角和导通角方向上都有线性插入的查阅图表，来确定电路功率因数和触发角。这成为动态的 I-γ曲线(DIG)模型，保持在焊接控制器10内，并且在名义线电压 V_{nom} 下提供一种在导通角与期望生成焊接电流之间的期望关系。该信息用作计算焊接控制器焊接调节器控制战略中一个前馈项的基础。

在焊接控制器调节器控制战略中一个前馈项的目标是产生如下形式的线电压序列:

$$V_{load}(n) = V_{nom} * \%I_{max}(n) \tag{5}$$

其中 V_{nom} 是指定给控制器的电源的值，例如在美国为480 VAC，及 $\%I_{max}(n)$ 是由目标焊接电流表示的且由 DIG 模型确定的最大可控制焊接电流的百分比。在本发明中，最大可控制焊接电流 I_{max} 定义为在170度导通角下由动态 I-γ曲线给出的电流，允许导通角目标的10度校正，以补偿在最高%I值下线电压变化和线路阻抗的影响。当编程 a%I 焊接时，目标电流是指示的 I_{max} 的百分比。类似地，通过把目标电流除以 I_{max} 确定与恒电流焊接中的目标电流对应的%I。

在给定导通角下观测的实际电流的变化归因于两个原因。线电压不是基于 DIG 模型的名义线电压，或者 DIG 模型不是负载阻抗的准确表示。使用公式4、和把在焊接控制的输入处出现的线电压序列定义为 $V_{wc}(n)$，并且假定负载阻抗的内部模型匹配实际负载阻抗，根据通过焊接控制器10的第p个焊接命令的解释、目标电流序列 $I_t(n)$ 和生成的触发角序列 $\alpha(n)$，由焊接控制器产生的实际生成负载电压将是

$$V_{load}(n) = V_{wc}(n) * \%I_{max}(n) \tag{6}$$

焊接控制器的前馈路径将产生一个试图把该百分比的名义焊接电压施加到负载上的触发角。

本发明估计当触发 SCR 时生成的一条线。这个估计的线电压序列定义为 $V_{est}(n)$，并且使用下式能估计新的目标电流序列 $I_{tc}(n)$

$$I_{tc}(n) = I_t(n) * \frac{V_{nom}}{V_{est}(n)} \tag{7}$$

把这个新的目标电流代入(5)中，并且重新布置诸项，生成的电压能表示为：

$$V_{load}(n) = \left(\frac{V_{wc}(n)}{V_{est}(n)}\right) * V_{nom} * \%I_{max}(n) \tag{8}$$

比较(8)和(6)，看系统能否准确地估计生成的线电压序列，从而 $V_{wc}(n)$ 和 $V_{est}(n)$相等，在(8)中括号中的表示将是一，并且根据(6)焊接控制将产生适当的目标线电压序列 $V_t(n)$。

图 4 表示图 1 焊接调节器 24 的方块图。它是焊接控制器 10 的中心元件，并且与所有其他功能相配合确定和产生适当的计时信号，以经触发控制器模块 26 触发闸流管。其功能是求出能求出正确焊接序列的名义触发角序列，若假定能准确地估计负载阻抗、线路阻抗和线电压，则在操作的同时根据系统的实际观测行为，对名义序列进行小调节。焊接调节器 24 的两个主要块是一个修改名义序列的补偿触发角发生器 50、和一个名义触发角发生器 52。

为了产生名义触发角和目标导通角及电流序列，名义触发角发生器 52 需要几个输入。首先，一个焊接命令预处理器功能元件 56 由操作者所编程的第 p 个焊接脉冲命令导出信息，包括用于该第 p 个脉冲的初级电流的开始目标值 StartI(p)、用于该第 p 个脉冲的初级电流的结束目标值 EndI(p) 、第 p 个脉冲中焊接的循环数量 Cycles(p)、及标记为 Type(p)的焊接类型(%I 或 CCWELD)。

在恒定电流焊接的情况下，预处理涉及把输入的任何次级电流值转换成初级电流(使用规定的变压器匝比值)和抽取以上信息。在

a%I焊接的情况下，通过把用户编程的百分比乘以来自DIG的电流I_{max}，把编程的百分比转换成目标初级电流，I_{max}如上所述在名义设计电压下在170度的导通角下由焊接控制供给到名义估计负载。StartI(p)、EndI(p)、Cycles(p)、及Type(p)都输入到名义触发角发生器52中，并且Type(p)也是到补偿触发角发生器的一个输入。

一个线阻抗估计器功能元件58把线路阻抗的估计值Z^*_{line}提供给名义触发角发生器52。一个动态I-γ估计器功能元件54保持负载功率因数的事先估计值PF(p)、和估计I-γ值的表DIG(p)，两者都是使用以后要描述的方法由以前的焊接导出的。数字电压表功能元件30把用于线电压每个循环的负半循环的RMS线电压的估计值$V_-(n)$供给到名义触发角发生器52。数字电流表功能元件34把用于每个负半循环的RMS电流的估计序列$I_-(n)$，既供给到名义触发角发生器52又供给到补偿触发角发生器50，以及把估计的正半循环电流$I_+(n-1)$、负导通角序列$\gamma_-(n)$、和正导通角序列$\gamma_+(n-1)$供给到补偿触发角发生器50。

就以上给出的输入而论，名义触发角发生器52把一个名义触发角序列$\alpha_{nom}(n+1)$、一个补偿目标导通角序列$\gamma_\tau(n-1)$、及一个目标电流序列$I_t(n+1)$提供到补偿触发角发生器50。补偿触发角发生器50把一个正半循环触发角序列$\alpha_+(n+1)$、和一个负半循环触发角序列$\alpha_-(n+1)$提供到触发控制器26，触发控制器26输出触发闸流管的电气脉冲序列，导致焊接电流流动。

图5提供名义触发角发生器52的细节。一个焊接轨迹发生器60产生一个名义电流的序列$I_t(n+1)$，用标记“(n+1)”指示轨迹发生器的输出是用于焊接下个循环的名义电流值的。由焊接轨迹发生器60产生的序列由下式给出：

$$I_t(n)=\begin{cases} EndI(p) & Cycles(p)=1 \\ StartI(p)+(n-1)\dfrac{EndI(p)-StartI(p)}{Cycles(p)-1} & n=1,2,\cdots,Cycles(p) \quad Cycles(p)>1 \end{cases} \tag{9}$$

一个线路阻抗补偿器功能元件62根据以上的数学模型，对于线路阻抗和电压变化的影响，调节由焊接轨迹发生器60计算的名义电流轨迹。由线路阻抗估计器功能元件58产生的用于第p个焊接脉冲的线路阻抗的估计值$Z^*_{line}(p)$，是到线路阻抗补偿器62的一个输入，还有循环数量。来自以前焊接循环的线电压估计值$V_{-}(n-1)$从数字电压表30供给到线路阻抗补偿器62。还供给名义线电压V_{nom}，一个取决于控制的施加的设计参数。在%I模式中线路阻抗补偿器62的输出$I_{tc}(n+1)$由下式给出：

$$I_{tc}(n+1)=\begin{cases} I_t(n+1)\dfrac{V_{nom}}{\left(V_s^*(p)-I_t(n+1)*Z^*_{line}(p)\right)} & n=0 \\ I_t(n+1)\dfrac{V_{nom}}{V_{line}(n)} & n=1,2,\mathrm{L}\ Cycles(p)-1 \end{cases} \tag{10}$$

及在恒定电流模式中

$$I_{tc}(n+1)=I_t(n+1)*\frac{V_{nom}}{\left(V_s^*(p)-I_t(n+1)Z^*_{line}(p)\right)} \tag{11}$$

其中使用来自刚好在当前焊接脉冲启动之前的半循环的线电压和线电流用下式计算$V_s^*(p)$

$$V_s^*(p)=V_{-}(0)+I_{-}(0)Z^*_{line}(p) \tag{12}$$

电压补偿目标电流序列$I_{tc}(n+1)$在焊接控制软件中实现，并且对于每个循环计算$I_{tc}(n+1)$的新值。

线路阻抗补偿目标电流序列$I_{tc}(n+1)$以后供给到一个目标导通角发生器64，目标导通角发生器64利用由动态I-γ估计器功能元件54产生的动态I-γ曲线序列DIG(p)，计算用于下个脉冲的一个目标导通角序列$\gamma_t(n+1)$。该目标导通角序列、以及也由动态I-γ估计器54供给的系统功率因数的估计值PF(p)，供给到一个名义触发角发生器66，名义触发角发生器66利用表面相关触发角、导通角和功率因数的数字化形式，及查阅图表和在两维中线性插入的组合，来计算名义触发角序列$\alpha_{nom}(n+1)$。输出序列$\alpha_{nom}(n+1)$成为焊接控制器10战略中的前馈触发角序列，并且是至触发角补偿器50的一个输入，触发角补

偿器 50 的内部操作细节依据焊接类型(%I 或恒定电流)具有不同形式。

至触发角补偿器 50 的其他输入是测量的正和负导通角序列$\gamma_+(n-1)$和$\gamma_-(n)$、测量的正和负电流序列 $I_+(n-1)$和 $I_-(n)$(都由数字电流表 34 供给)，及焊接类型(恒定电流或%I)。触发角补偿器的输出是两个触发角序列$\alpha_-(n+1)$和$\alpha_+(n+1)$。

图 6 表示触发角补偿器 50 的扩展方块图。焊接类型、名义触发角、目标导通角序列、目标电流序列、及来自以前正和负半循环的测量电流和导通角，输入到一个反馈补偿器功能元件 70。反馈补偿器 70 的输出是补偿触发角序列$\alpha_c(n+1)$，并且表示系统对正确触发角的最好推测，以在下个焊接完整循环中采用。该触发角序列$\alpha_c(n+1)$以后通过一个延迟触发补偿器功能元件 72，延迟触发补偿器功能元件 72 在一定情况下向焊接脉冲的第一和最后半循环施加一个下限。延迟触发补偿器 72 的输出是用于下个焊接循环的各目标触发角$\alpha_{df-}(n+1)$和$\alpha_{df+}(n+1)$。

对计算触发角的一种最后检查在把他们转换成计时信号和把触发脉冲施加到闸流管上之前进行。一个动态触发角限制功能元件 74 根据以前负半循环触发角$\alpha_{df-}(n)$和生成的观测导通角$\gamma_-(n)$施加到触发脉冲上，以保证触发角不引起一种半循环状态。这些值转换成计时器计数，并且以后供给到一个触发角计时器。

图 7 按%I 模式扩展图 6 的反馈补偿器 70。该系统块在系统软件中实现，并且根据试验在每个焊接循环上有条件地执行:

$$I_-(n-1) > (1-\delta) I_t(n-1) \qquad (13)$$

焊接控制器 10 试验以前的焊接电流，以保证它位于其目标值的百分比内。如果例如不足的压力施加到焊枪上从而它不闭合，或者如果在焊接电极与工件之间有绝缘物质，如粘着剂，则会违反该条件。如果来自以前负半循环的焊接电流不大于由(12)式给出的期望最小电流，则焊接控制器 10 冻结用于该循环的闭环反馈控制，使用以前

的触发角，直到完成编程数量的循环、检测到较严重的误差状态、或电流落在由(12)式规定的范围内。在本实施中，δ设置为.25，这意味着对于要执行的补偿算法，测量的焊接电流需要在期望值的 75%内。给出满足在(12)式中描述的条件，按%I 模式，焊接控制器计算由下式给出的状态变量值 x1(n):

$$x1(n) = x1(n-1) + (\gamma_t(n) - \gamma_-(n)) + K_g(\gamma_-(n-1) - \gamma_+(n-1)) \tag{14}$$

并且下个目标触发角α(n+1)由下式给出

$$\alpha_c(n+1) = \alpha_{nom}(n+1) + K_{Ipct} * x1(n) \tag{15}$$

其中 K_g是控制环的不平衡增益，而 K_{ipct}是积分增益项。在该焊接控制器 10 中，K_g和 K_{ipct}每个设置为 0.5。

图 8 表示在恒定电流焊接模式中的反馈补偿器功能元件 70。同样，根据以上公式(12)有条件地执行补偿器。在这种情况下，根据名义焊接电流相对于观测焊接电流的直接比较，调节名义触发角。标记为 x1(n)和 x2(n)的两个状态变量表示在图 8 中。与这些的每一个有关的序列由下式给出:

$$x1(n) = (I_{nom}(n) - I_-(n)) + K_g(I_-(n-1) - I_+(n-1)) \tag{16}$$

和

$$x2(n) = x2(n-1) + x1(n) \tag{17}$$

并且由下式给出产生α(n+1)的序列:

$$\alpha_c(n+1) = \alpha_{nom}(n+1) - IK1 * x1(n) - IK2 * x2(n) \tag{18}$$

其中 IK1 和 IK2 是常数。在焊接控制器中，IK1 和 IK2 的值当前分别是 $100/I_{180}$和 $100/I_{180}$。

图 9 扩展焊接调节器 50 的动态 I-g 估计器 54。在最佳实施例中，对应于焊接脉冲 p 的最后负半循环的触发角$\alpha_{upd}(p)$、生成导通角$\gamma_{upd}(p)$、测量线电压 $V_{upd}(p)$、及测量负载电流 $I_{upd}(p)$，用来计算负载阻抗功率因数和相应 I-γ曲线的新估计值。$\alpha_{upd}(p)$和$\gamma_{upd}(p)$输入到一个作为计算脉冲功率因数(PE1)的、方块图中所示的例行程序中。该功能元件利用在带有插入的查阅图表中以前描述的触发角、导通角和功率因数之间的数字化关系，由触发角和导通角的知识计算焊接

负载功率因数。该功能元件的输出是标记为 $PF_p(p)$的标量。该标量功率因数形成到数字滤波器(PE2)的输入，该数字滤波器计算估计的系统 PF(p+1)，减小估计系统功率因数的焊接到焊接的波动。在焊接控制器中使用的滤波器具有形式：

$$x(n+1) = k_{fr}u(n) + (1-k_{fr})x(n) \tag{19}$$

其中 x(n+1)指示滤波器的输出，u(n)指示至滤波器的输入，x(n)指示在更新之前的滤波器输出值，及 k_{fr}是在 0 与 1 之间范围内的常数。在该焊接控制器 10 中，k_{fr}当前设置为 0.25 的值。在焊接控制器 10 中的滤波器的初始值是 30%，这表示在电阻焊接应用中可能见到的功率因数的最小值。

在焊接控制器 10 中，用于给定焊接程序的 DIG 由与 0 至 180 度范围(包括 0 和 180 度)之间的 10 度导通角的增量相对应的一个 19 点向量表示。图 7 中图面的数字化表示存储在微处理器的存储器中。估计的功率因数 pf(p+1)输入到一个软件功能元件，该功能元件使用查阅表和线性插入的组合来计算作为功率因数(PE3)的函数的归一化 I-g 值的向量。该功能元件的输出标记为 $I\text{-}\gamma_{norm}(p+1,\gamma)$。以后在更新的导通角$\gamma_{upd}$(PE4)下估计归一化的 I-g 表，以确定由导通角代表的最大电流的百分比。该值用$\%I_{abs}(p+1)$ 指示。

在 180 度导通角下可用的估计电流 $I_{180m}(p+1)$通过把实际测量的更新电流 $I_{upd}(p)$除以$\%I_{abs}(p+1)$来确定(PE5)。$I_{180m}(p+1)$是由在全导通下的焊接控制器可得到的最大电流的估计值，这时假定电压源是恒定的并且在测量的线电压 $V_{upd}(p)$下。因为动态 I-γ表定义为焊接控制在名义线电压下的操作特性，所以对于线电压通过乘以名义线电压与测量线电压 $V_{upd}(p)$的比值来调节 $I_{180m}(p+1)$(PE6)。该电压补偿器的输出是 $I_{180vc}(p+1)$。该值以后以与脉冲功率因数相同的方式通过一个数字滤波器(PE7)，以得到最大电流估计值 $I_{180}(p+1)$。通过把归一化 I-γ表的每个元素 $I\text{-}\gamma_{norm}(p+1)$乘以最大电流估计值 $I_{max}(p+1)$(PE8)，得到用于焊接控制 DIG(p+1)的 I-γ特性的估计值。

要注意，DIG 估计值能以几种其他方式进行，而不违背本发明

的精神。已经成功证明的一种实施是使用用于第 p 个焊接脉冲的平均焊接电压和焊接电流作为更新值。

线路阻抗估计器 58 使用来自以前焊接的测量线电压和电流，以求出线路阻抗数值的估计值。假定线路阻抗缓慢地相对于焊接脉冲变化。例如，在可以要求电阻焊接控制在一分钟内进行几次焊接的同时，假定在相当长的时段上线路阻抗的变化是可检测的。考虑到对图 1 集中参数方块图的戴维宁等效电压的变化没有作出这种假设，所以在如下描述的估计过程中要小心一些。

图 10 表示计算线路阻抗的新估计值的过程。在每个“正常完成的”焊接脉冲经受数据的生效之后，计算该估计值。在图 10 中，量 $V_{oc}(p)$是最后知道的开路电压，即知道没有焊接电流流动的最后半循环的线电压。假定 $V_{oc}(p)$准确地表示图 3 集中参数模型中的戴维宁等效电压源的值 V_s，并且该值在焊接脉冲期间不会明显地变化。在设计中认识到，这未必总是准确的假设，因此作为一种初始试验，相对于更新电压 $V_{upd}(p)$首先比较开路电压 $V_{oc}(p)$(PE10)，更新电压 $V_{upd}(p)$是与用来更新上述 DIG 的焊接电流的最后负半循环有关的相同线电压。如果更新电压 $V_{upd}(p)$大于或等于 $V_{oc}(p)$，那么显然图 3 中戴维宁等效电压源的值 V_s已经显著改变，并且没有进行线路阻抗估计值的更新。

假定开路电压大于更新电压，则使用下式计算对于脉冲的线路阻抗估计值 $Z_{nlp}(p)$(PE11)

$$Z_{nlp}(p)=\frac{V_{oc}(p)-V_{upd}(p)}{I_{upd}(p)} \tag{20}$$

该值以与以上相同的方式经一个数字滤波器 PE12 滤波，以实现在线路阻抗补偿计算中使用的线路阻抗估计值 $Z^{*}_{line}(p+1)$。

注意线路阻抗的估计能以几种其他方式进行，而不违背本发明的精神。已经成功证明的一种实施是使用用于第 p 个焊接脉冲的平均焊接电压和焊接电流。已经成功证明的第二种实施是使用来自焊接脉冲第一半循环的电压和电流数据作为更新循环。

尽管已经说明和描述了具体实施例，但多种改进是可能的，而不脱离本发明的范围或精神。以上描述参照一种焊接控制器的用途。然而，描述的原理能容易地应用于使用电压相位控制的任何类型的控制系统，包括诸如交流或直流驱动器、变换器、电源等之类的电机控制、变换器、电源等。

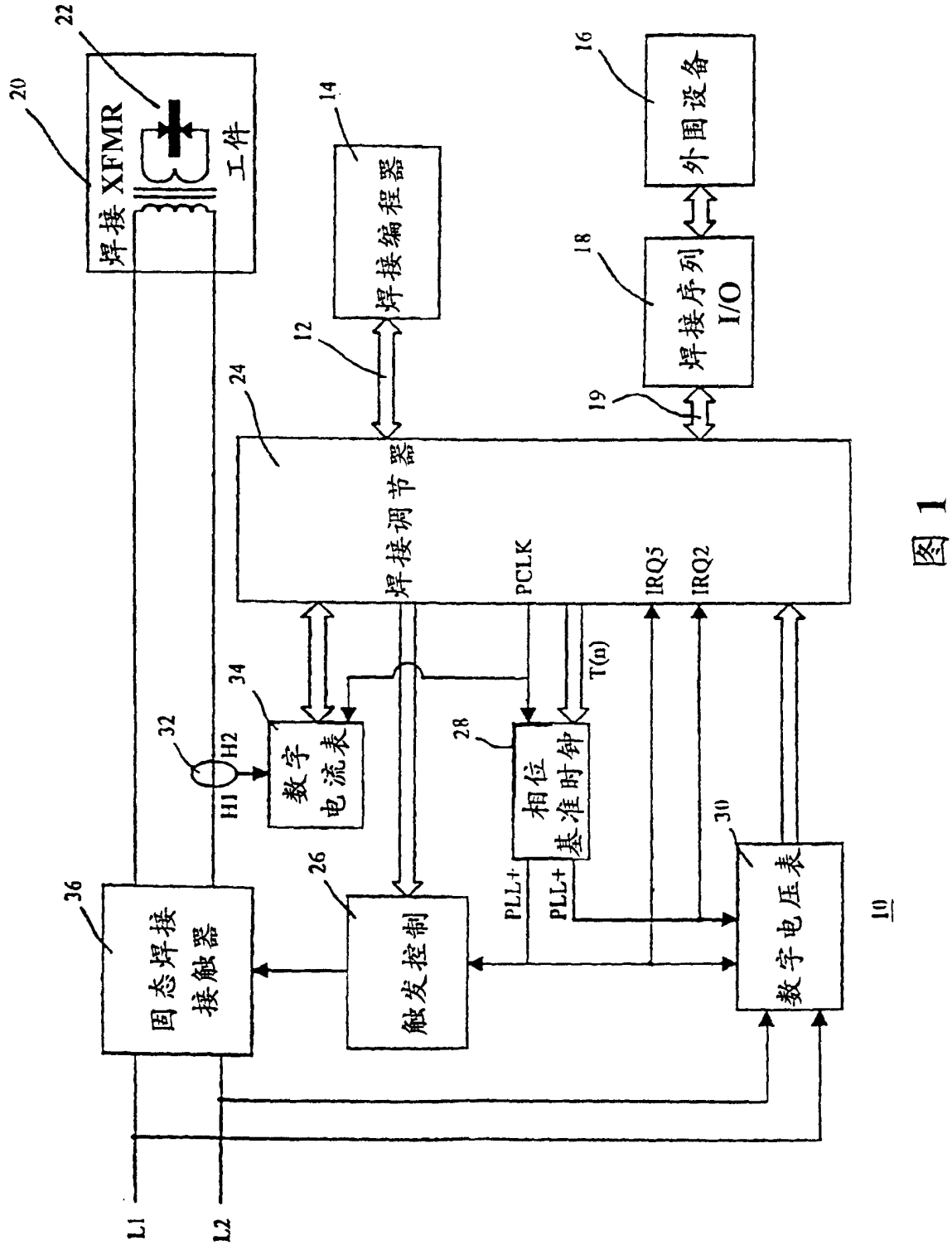

焊接 XFMR
工件
焊接编程器
外围设备
焊接序列 I/O
焊接调节器
PCLK
IRQ5
IRQ2
T(n)
数字电流表
相位基准时钟
触发控制
固态焊接接触器
数字电压表
PLL+
PLL+
H1
H2
L1
L2
10
12
14
16
18
19
20
22
24
26
28
30
32
34
36

图 1

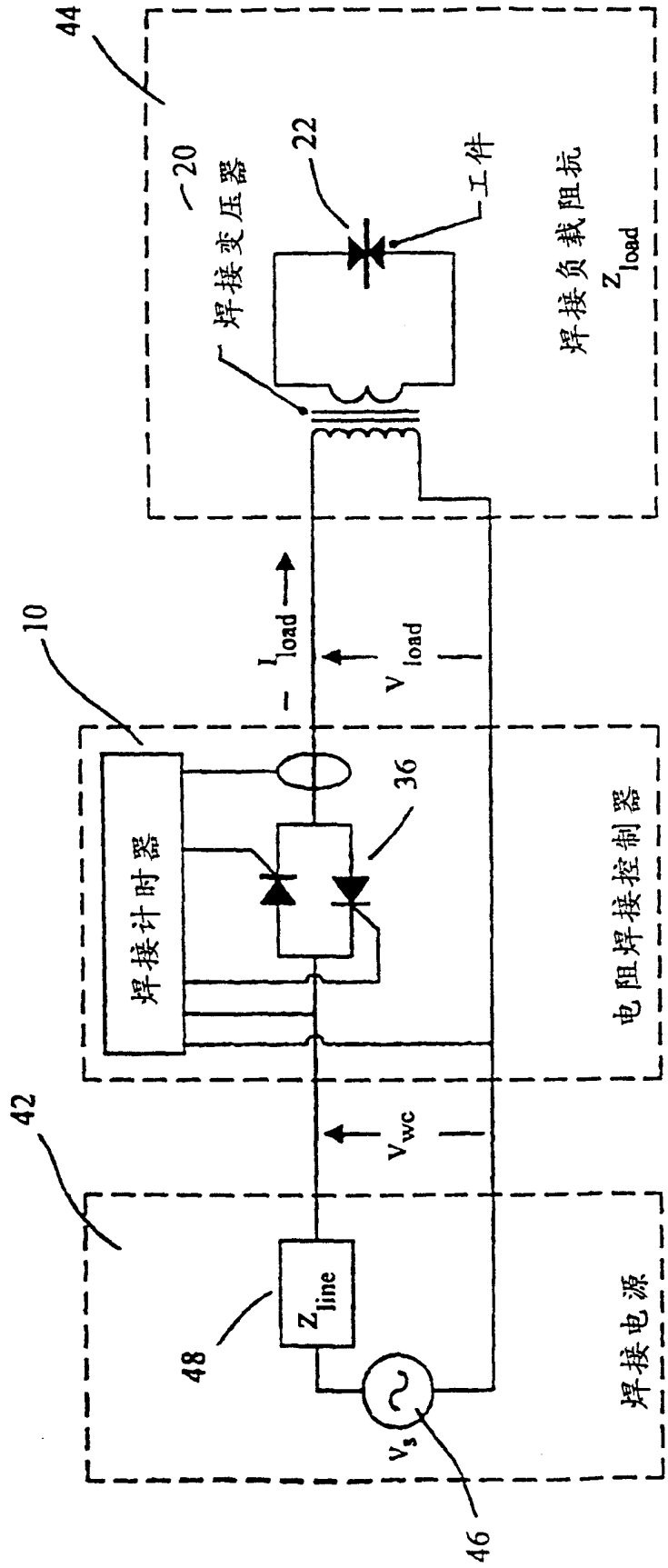
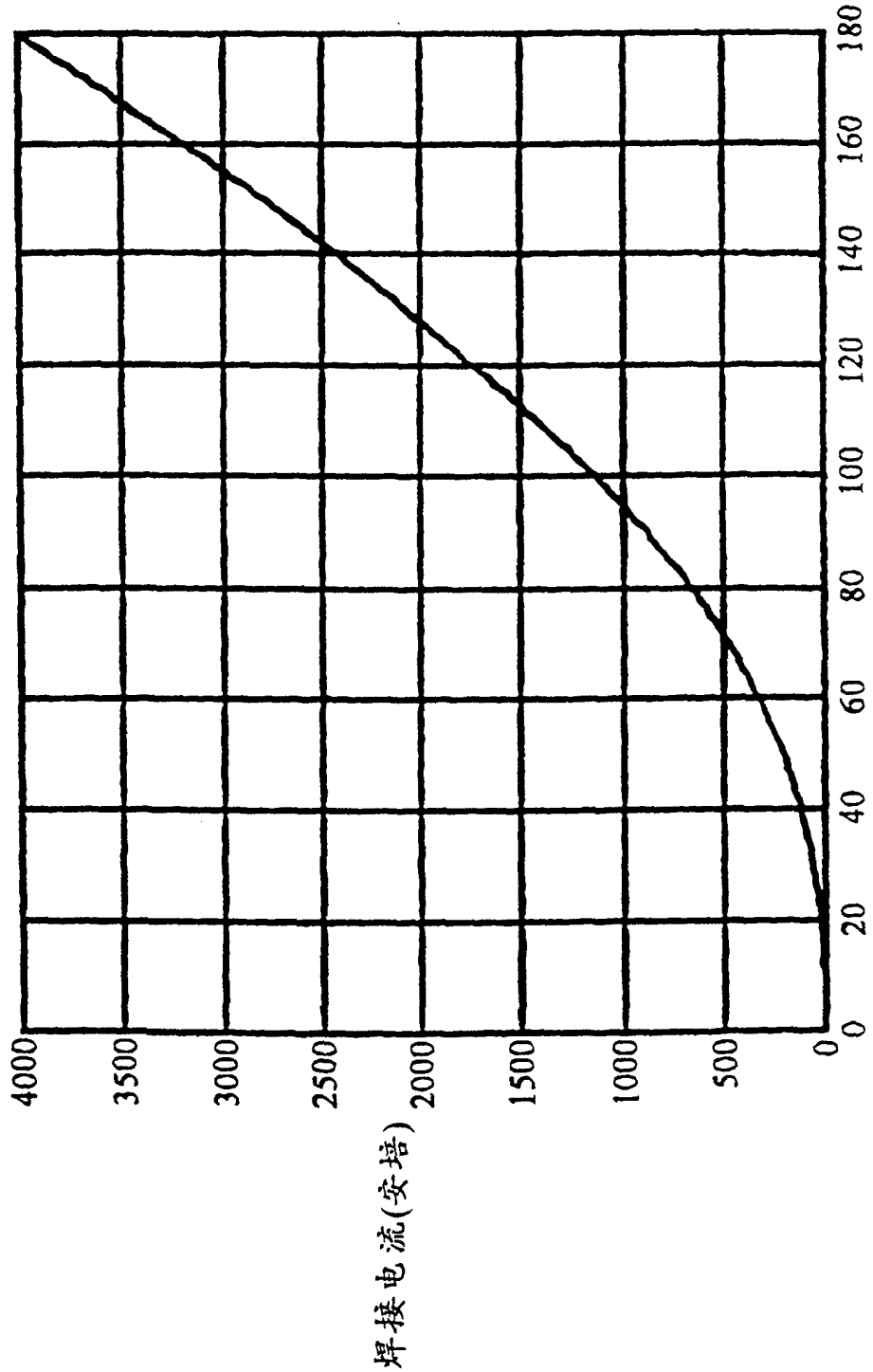

44
20
焊接变压器
22
工件
焊接负载阻抗
Z_{load}
10
I_{load}
V_{load}
焊接计时器
36
电阻焊接控制器
42
V_{wc}
48
Z_{line}
V_s
46
焊接电源

图 2



对于功率因数=30%，I_{180}=4000 安培的 I-γ曲线

图 3

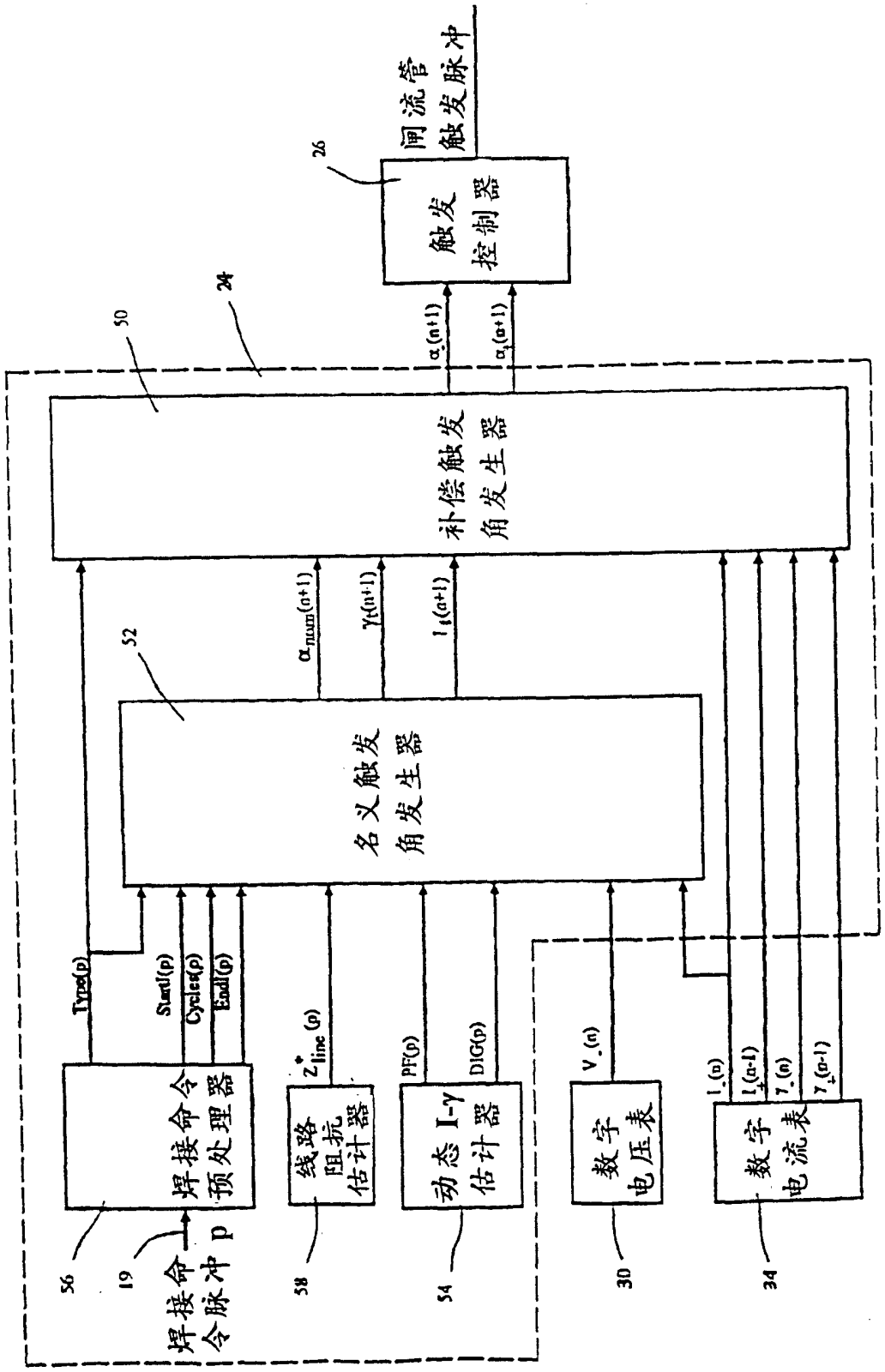

焊接命令脉冲 p
焊接命令预处理器
线路阻抗估计器
动态 I-γ 估计器
数字电压表
数字电流表
名义触发角发生器
补偿触发角发生器
触发控制器
闸流管触发脉冲
Type(p)
Start(p)
Cycle(p)
End(p)
PF(p)
DIG(p)
56
19
58
54
30
34
52
50
24
26

图 4

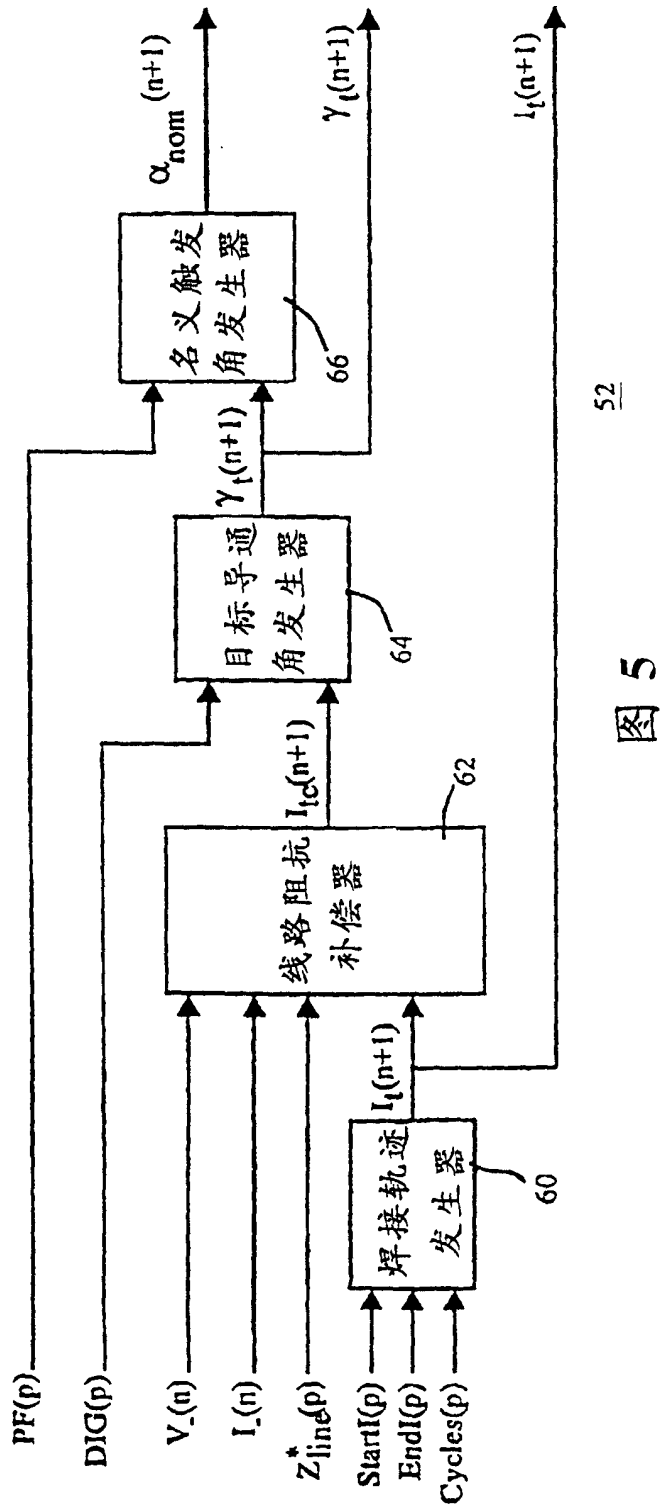

PF(p)
DIG(p)
V_(n)
I_(n)
Z*line(p)
StartI(p)
EndI(p)
Cycles(p)
焊接轨迹发生器
60
线路阻抗补偿器
62
目标导通角发生器
64
名义触发角发生器
66
52
$I_t(n+1)$
$I_{tc}(n+1)$
$\gamma_t(n+1)$
$\alpha_{nom}(n+1)$

图 5

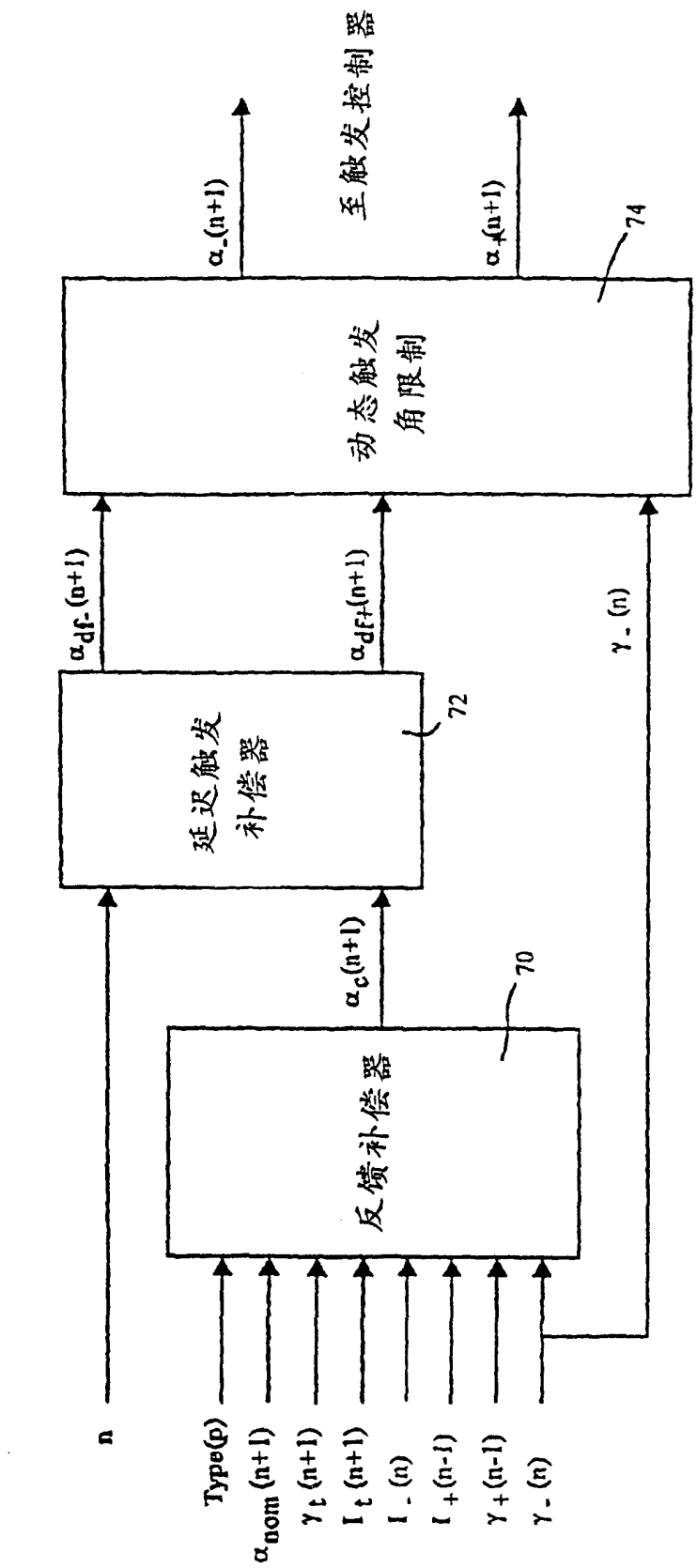

至触发控制器
$\alpha_{-}(n+1)$
$\alpha_{+}(n+1)$
74
动态触发角限制
$\alpha_{df-}(n+1)$
$\alpha_{df+}(n+1)$
$\gamma_{-}(n)$
72
延迟触发补偿器
$\alpha_{c}(n+1)$
70
反馈补偿器
n
Type(p)
$\alpha_{nom}(n+1)$
$\gamma_{t}(n+1)$
$I_{t}(n+1)$
$I_{-}(n)$
$I_{+}(n-1)$
$\gamma_{+}(n-1)$
$\gamma_{-}(n)$
50

图 6

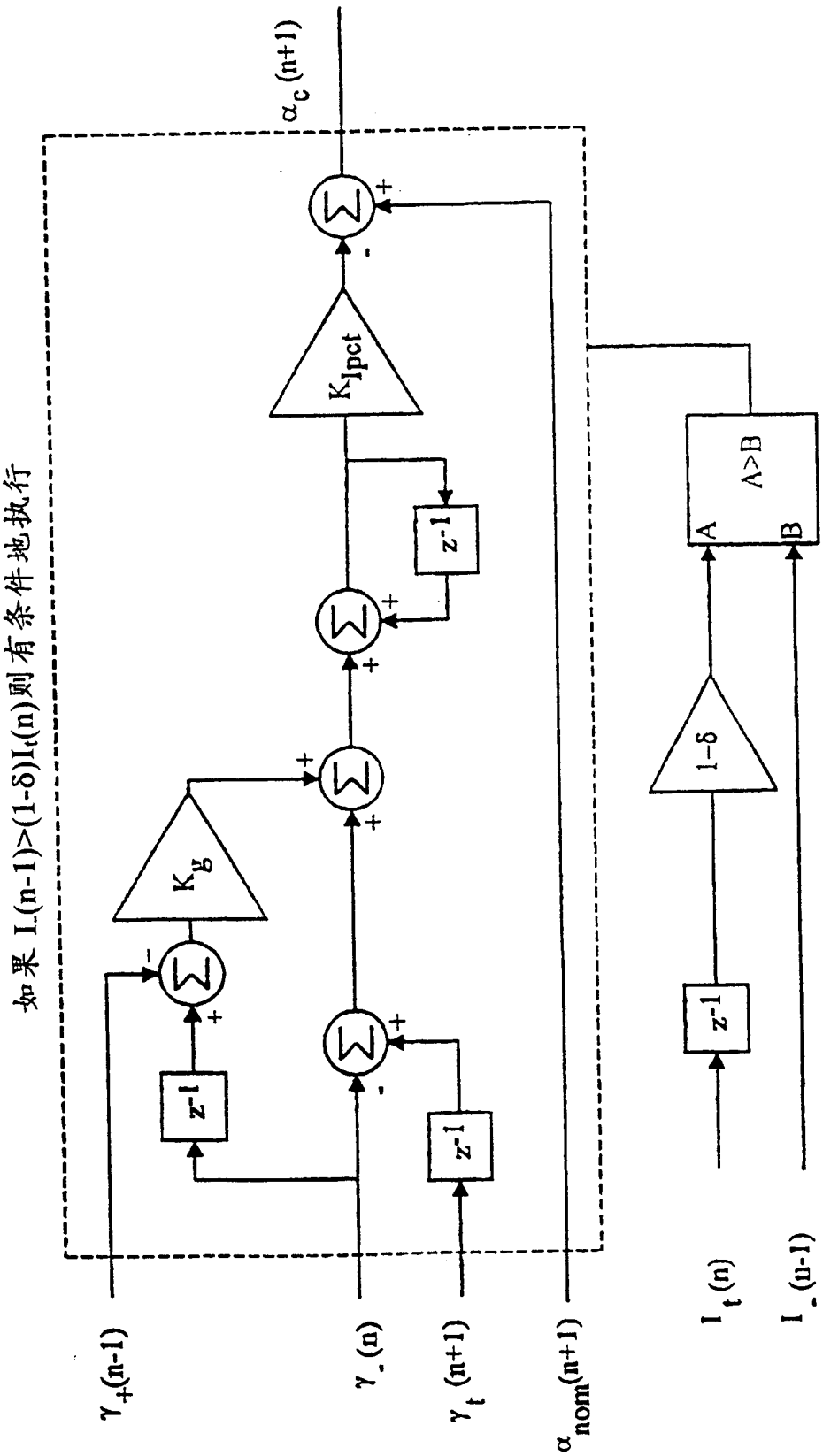

如果 I_(n-1)>(1-δ)I_t(n)则有条件地执行
α_c (n+1)
K_Ipct
K_g
z^-1
A>B
A
B
1-δ
γ_+(n-1)
γ_- (n)
γ_t (n+1)
α_nom(n+1)
I_t (n)
I_- (n-1)
70

图 7

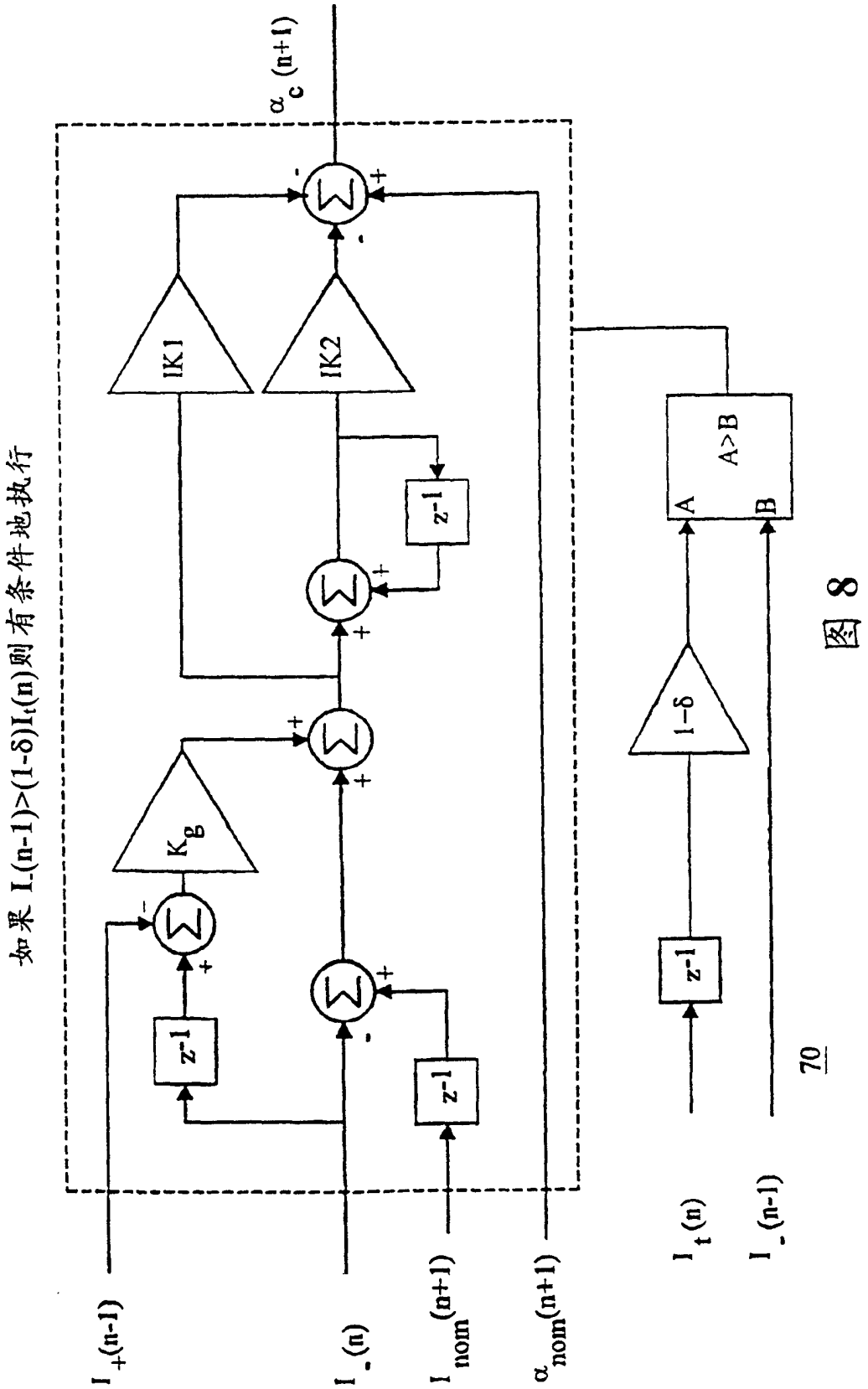

如果 I-(n-1)>(1-δ)It(n)则有条件地执行
α c (n+1)
IK1
IK2
z-1
Kg
1-δ
A>B
A
B
I+(n-1)
I-(n)
I nom (n+1)
α nom (n+1)
It(n)
I-(n-1)
70

图 8

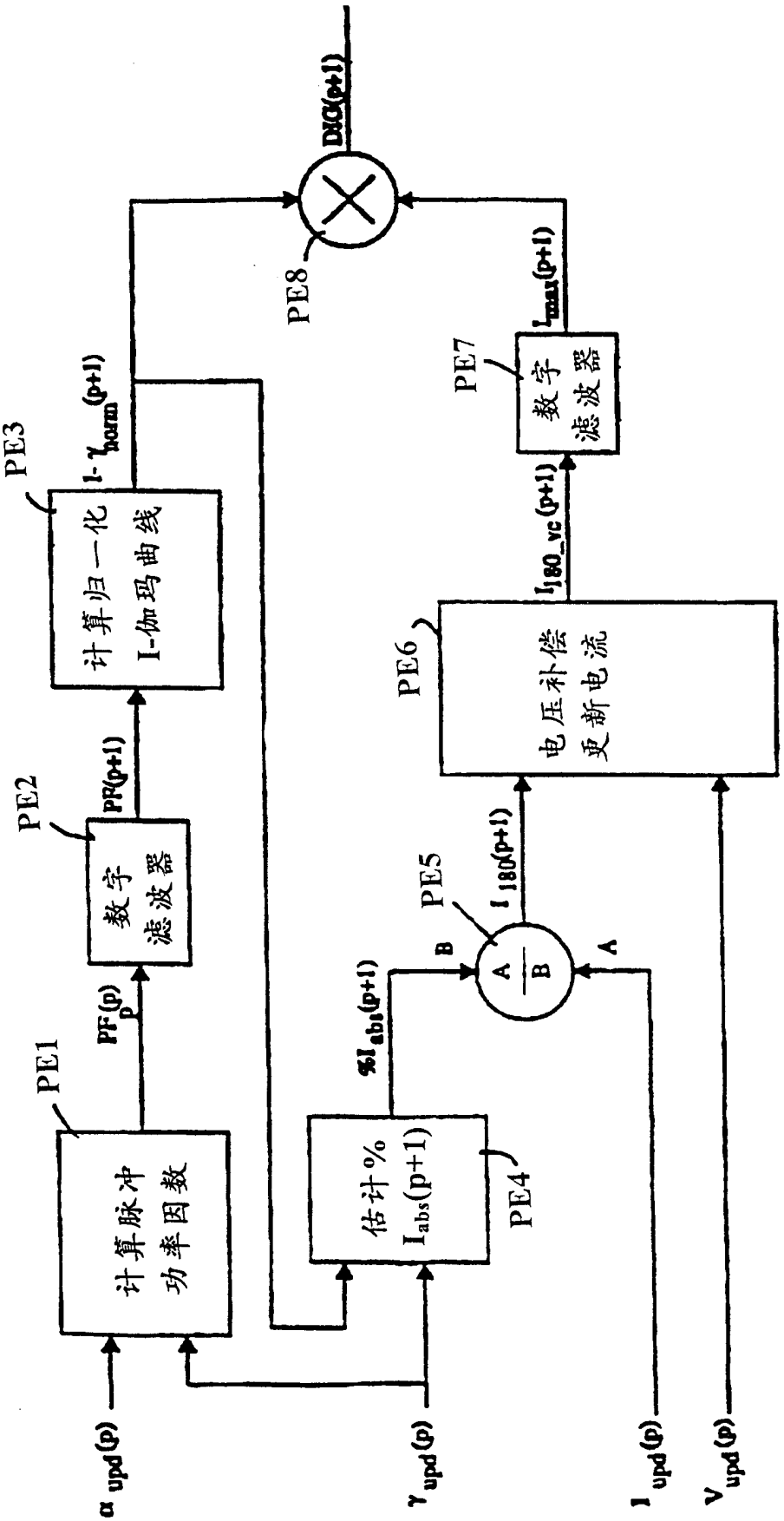

PE1
计算脉冲功率因数
PE2
数字滤波器
PE3
计算归一化I-伽玛曲线
PE4
估计% $I_{abs}(p+1)$
PE5
A/B
PE6
电压补偿更新电流
PE7
数字滤波器
PE8
$PF_{(p)}$
$PF(p+1)$
$1-\gamma_{norm}(p+1)$
$\%I_{abs}(p+1)$
$I_{180}(p+1)$
$I_{180_vc}(p+1)$
$I_{max}(p+1)$
$DIG(p+1)$
$\alpha_{upd(p)}$
$\gamma_{upd(p)}$
$I_{upd(p)}$
$V_{upd(p)}$

图 9

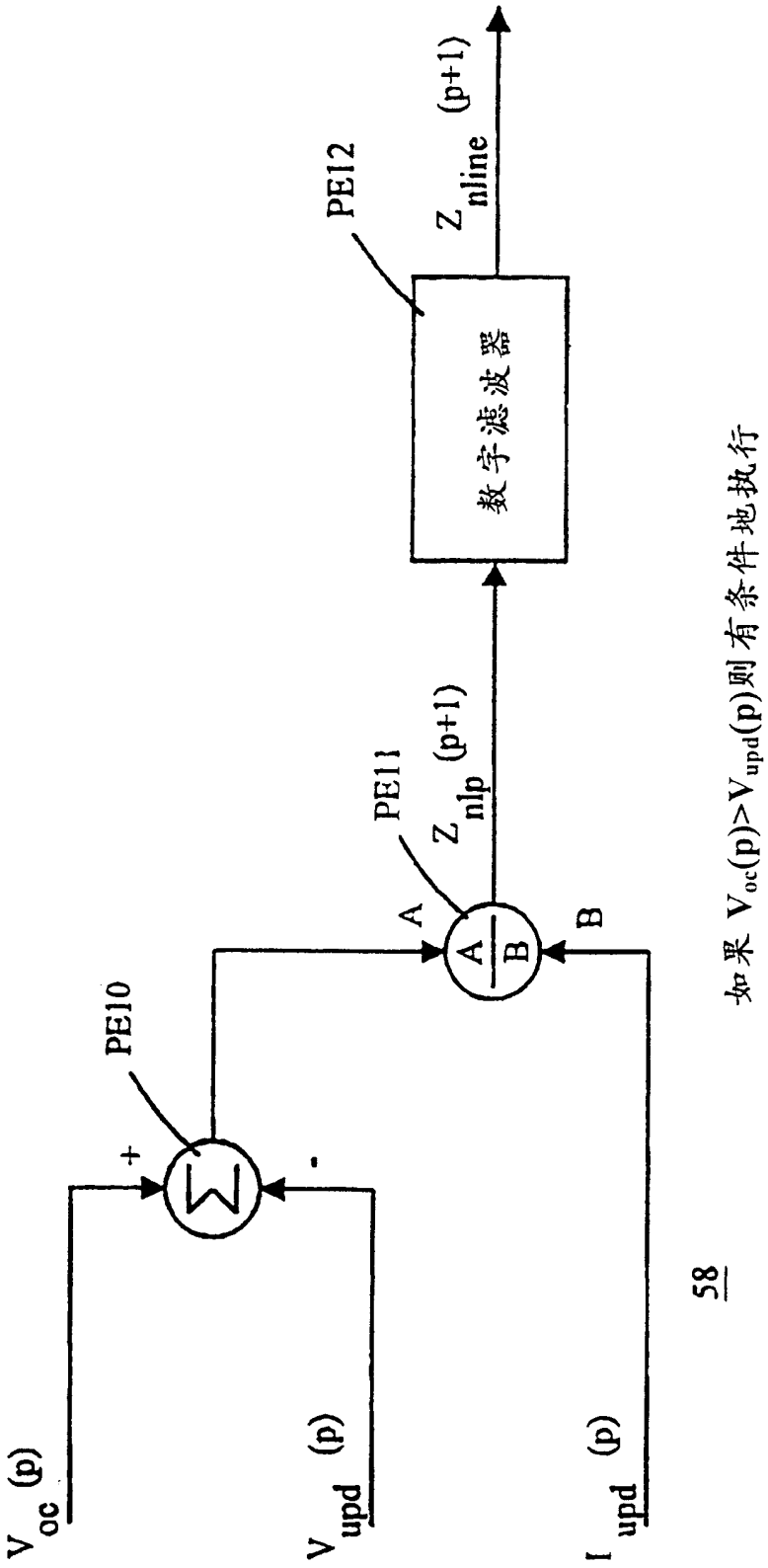

PE12
Z_{nline} (p+1)
数字滤波器
PE11
Z_{nlp} (p+1)
A
B
PE10
+
-
V_{oc} (p)
V_{upd} (p)
I_{upd} (p)
58
如果 $V_{oc}(p)>V_{upd}(p)$则有条件地执行

图 10