

以时序变参数为基础构造通用控制器新探

熊 翔 葆

(电气工程系)

摘 要 利用时序变参数器(Time-series Parametron——TP)构造通用控制器(General-utility Controller——GC)是一个新的革新¹⁹。按照这种方法,在视为负载的一个网络的多个处理元中可以实现、生成和控制任意波形电流¹⁹。该控制器的显著特点是:硬件降低到最小的限度,大量的控制任务在很大的程度上得以简化¹⁹。相应的调试和维护也就变得十分简单¹⁹。就控制的速度而言,由于开环控制,它应是快而不是慢的¹⁹。

关键词 控制器;电源变换;时变参数电路

分类号 TP 13

0 引 言

这是一个新的控制学说(执意控制论(Insistence Cybernetics))的一个可应用例证¹⁹。执意控制论是电气控制理论及其实际应用的重大技术突破¹⁹。其结果将使许多控制理论的观念和控制系统的的设计方法全面地被简化¹⁹。具体地说,电气应用领域中大量难以对付的控制问题将完满地得以解决¹⁹。可控时序变参数的发现不但可以造就一代新的电气设备和机械,而且将导致现有许多控制观念的更新¹⁹。在操作时序变参数*的条件下构造通用控制器即其一例¹⁹。

观乎某些电气设备诸如变压器、整流器、逆变器、移相器、变频器等¹⁹。虽然其功能千差万别,然而它们之间有一个共同之处¹⁹。那就是不外乎将供电电流的波形由一种波形变换成另一种所需的电流波形¹⁹。既然如此,就可能找到一种通用电源变换器将以上的功能通通包括进去¹⁹。

1 术语、定义和符号^[1]

1.1 自然因子(Natural Factor)

收稿日期:1997-07-16 熊翔葆,男,1938年生,副教授。

* 时序变参数器(Timeserles Parametron——TP)简称变参数器也可称为可控时变元(Controllable Time varying Elementary——CTE)。前者用于一般电气技术;后者用于控制领域。文中,凡由作者首次提出的新名词都附英文,以便准确理解作者原意和避免翻译时产生歧义。当然,这些新名词的最终合法性的确定尚有待国际规范化。

一个具体的定常参数电感器(或电容器)时间常数的倒数称为自然因子⁽¹³⁾表示一个电感器的自然因子; β 表示一个电容器的自然因子⁽¹³⁾此时我们有

$$\beta_L = L/R = 1/\tau, \quad \beta_C = 1/RC = 1/\tau \quad (13)$$

式中: τ 和 τ 分别是一个电感器和一个电容器的时间常数;两个 R 分别表示该电感器和电容器的自然电阻⁽¹³⁾

1.2 感性变参数(Inductive Time-series Parametron —— LTP)

定义 LTP 为一由若干具有相同的自然因子的定常参数电感相串联而成的一个独立元件⁽¹³⁾我们可以证明:一个单个的 LTP 可等效于若干个 LTP 串联且其集总电感 L 、集总自然因子 β 、集总电阻 R 可分别地写成

$$L = \sum_{k=1}^n L_k, \quad \beta_L = \beta_k, \quad R = \sum_{k=1}^n R_k = \beta_L \sum_{k=1}^n L_k = \beta_L L \quad (13)$$

然而, n 个感性变参数并联,即使完全相同也不能等效于一个感性变参数⁽¹³⁾要设计、制造相同自然因子的电感系列是不难的⁽¹³⁾

1.3 容性变参数(Capacitive Time-series Parametron —— CTP)

相似地,我们也定义 CTP 为一若干具有相同的自然因子的定参数电容并联的一个独立元件⁽¹³⁾也可以证明:一个单个的 CTP 是等效于若干 CTP 相并联,其集总电容 C 、集总自然因子 β 和集总电阻 R 可分别地表示为

$$C = \sum_{k=1}^n C_k, \quad \beta_C = \beta_k, \quad R = \beta_C \quad (13)$$

然而即使完全相同的多个 CTP 串联起来也不能等效为一个 CTP⁽¹³⁾市场所有的电容器并非都是定自然因子电容器⁽¹³⁾电容值的不同仅仅是由于两金属板的面积不同的那些电容器属于 CTP 的电容器⁽¹³⁾

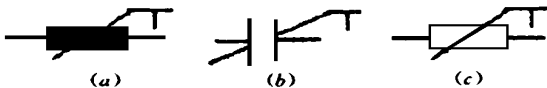


图 1 变参数的图例

1.4 符号

图 1 有三个符号:(a) 表示一个实际的感性变参数(LTP);(b) 表示一个实际的容性变参数(CTP);(c) 为变参数的通用符号(LTP 或 CTP)⁽¹³⁾

2 操作变参数方程的推导及其解

2.1 操作一个感性变参数(LTP) 的方程

假设如图 2a 所示的一个具有连续可变参数(电感)和固有自然因 β_L 的 LTP 上有一个被称为辅控函数(Secondary Controllable Function —— SCF)($f_s = v_{LS}(t)$)施加于该变参数的两端,应用欧姆定律和法拉第感应电压定律得

$$v_{LS} = Ri_{LP} + Li'_{LP} + i_{LP}L' = (\beta_L i_{LP} + i'_{LP})L + i_{LP}L \quad (13)$$

按标准式,该关于电感 L 的方程为

$$\begin{cases} L' + \left(\beta_L + \frac{i'_{LP}}{i_{LP}} \right) L = \frac{v_{LS}}{i_{LP}}, & (i_{LP} \neq 0) \\ L = \frac{v_{LS}}{i'_{LP}}, & (i_{LP} = 0, i'_{LP} \neq 0) \end{cases} \quad (1)$$

式中: i_{LP} 为流过该 LTP 的电流, 它被称之为主控函数 (Principal Controllable Function —— PCF) 并以 f_p 表示^[13] 方程 (1) 为一阶常微分方程^[13] 其通解容易得到

$$L = \begin{cases} e^{-\beta_L t / i_{LP}} \left(\int v_{LS} e^{\beta_L t / i_{LP}} dt + D \right), & (i_{LP} \neq 0) \\ v_{LS} / i'_{LP}, & (i_{LP} = 0, i'_{LP} \neq 0) \end{cases} \quad (2)$$

式中: D 为任意积分常数^[13] 该解称为需求函数 (Demand Function (f_D))^[13] 它代表对该感性变参数的时序操作 (Time-series Operations)^[13] 因此 也称为感性变参数的时序值 (Timeseries Values of Time-varying Inductive Parametron —— TVTLP)¹⁹.

2.2 操作一个容性变参数 (CTP) 的方程

假设如图 2b 的一个称之为辅控函数 (Secondary Controllable Function) 的电压 ($f_s = v_{CS}(t)$) 施加于一个其固有因子为 β_C 、且其电容连续可变的 CTP 的两端^[13] 我们首先求出电容器 C 上的电荷

$$Q = C v_C \quad (3)$$

式 (3) 两边同时对 t 微分, 我们可得

$$i_{CP} = C v'_C + v_C C'$$

或

$$v'_C = \frac{1}{C} (i_{CP} - v_C C') \quad (4)$$

利用基尔霍夫电压定律, 我们有

$$v_{CS} = R i_{CP} + v_C \quad (5)$$

式 (5) 两边同时对 t 微分, 我们可得

$$v'_{CS} = R i'_{CP} + i_{CP} R' + v_C C' \quad (6)$$

注意到

$$R = 1/\beta_C C, \quad (7)$$

$$R' = (1/\beta_C) (1/C)' = -1/(\beta_C C^2). \quad (C \neq 0) \quad (8)$$

将式 (4)、(7) 和 (8) 代入式 (6), 我们便得到

$$v'_{CS} = (1/\beta_C C) i'_{CP} + i_{CP}/C - v_{CS} (C'/C) \quad (9)$$

按标准式, 该关于电容 C 的方程为

$$C' + (v'_{CS}/v_{CS}) C = 1/v_{CS} (i_{CP} + (1/\beta_C) i'_{CP}) \quad (v_{CS} \neq 0) \quad (10)$$

当 $v_{CS} = 0$, 由式 (5) 和 (6) 可得

$$v'_{CS} = 0,$$

因此式 (9) 为 $1/C ((1/\beta_C) i'_{CP} + i_{CP}) = 0$.

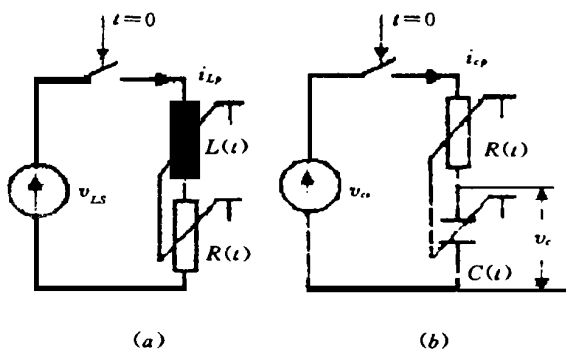


图 2 感性变参数和容性变参数

i_{CP} 和 i'_{CP} 不可能同时为零^[13] 这就意味着 $C \rightarrow \infty$, 表明此时 C 必须短接^[13] 如果我们不希望短接 C , 设定 v_{CS} 为一个恰当的定常电压也是切实可行的^[13] 式 (10) 的解也可表为

$$C = \begin{cases} (1/v_{CS}) \left[\int i_{CP} + i'_{CP}/\beta_c dt + D \right], & (v_{CS} \neq 0) \\ \text{the CTP must be shorted.} & (v_{CS} = 0) \end{cases} \quad (11)$$

式中, i_{CS} 为流过该 CTP 的电流, 也称为主控函数 f_P ; D 为任意积分常数; 这个解(需求函数 f_D) 表示对一个容性变参数的时序操作^[13]

在式 (2) 和 (11) 中, 一旦 D 被确定, 则需求函数(电流)也就唯一地确定^[13] 这就意味着无论 LTP 还是 CTP, 在辅控电压已知的情况下, 我们可以借助于时序操作得到一个期望电流 (Expectant Current)^[13] 因为负解(电感或电容)无确定的物理意义, 我们必须设法使方程 (2) 和 (11) 的解在任何时刻都是正的^[13] 一个纠正的办法通常是用由一个 LTP 和一个 CTP 串联而成的复合变参数 (Composite Time-varying Parametron — COTP)^[13] 有时, 负需求函数表示期望电流在过零之后需要反向^[13] 此时可控制若干转向开关实现之^[13] 当然, 最后合法解的确定尚需仿真计算以保证不出现任何非法解^[13]

式 (2) 和 (11) 的解也称为开关操作时序表 (Time-series Table for Operations of Switches — TTOS)^[13] 根据该开关操作时序表, 计算机将发布命令给机控开关箱 (Switching Box by Cybernation — SBC) 的控制设备^[13] 机控开关箱中的开关就会按照这个操作时序表要求动作^[13] 于是, 通过负荷(处理元)中便会流过我们要求的期望电流^[13] 这就是通用电源变换器 (GTS) 的基本原理^[13] 当该期望电流源为一变频交流时, 这就意味着我们得到了一个变频器^[13]

对于一个具有 n 个变参数的时变参数网络, 我们可表示需求函数为一矩阵形式

$$[f_D(t)] = [F(f_P, f_S, t)] \quad (12)$$

式中, f_P 和 f_S 相应为主控函数 (Principal Controllable Function — PCF)、辅控函数 (Secondary Controllable Function — SCF)^[13] 一般地说, 它们都是电源电压、所控负荷和时间的复杂函数^[13]

3 应用实例

由于计算机控制的时序变参数可提供任何波形的电流, 因此在工业控制方面应用的实例颇多^[13] 篇幅所限, 兹举一例, 以窥一斑^[13] 关于异步电动机的无级调速问题, 请参阅文献 [2]^[13]

例 在如图 3 的一个供电电压为 $v = v(t)$ 的较复杂梯形网络中, 其横坐标上接有 n 个不

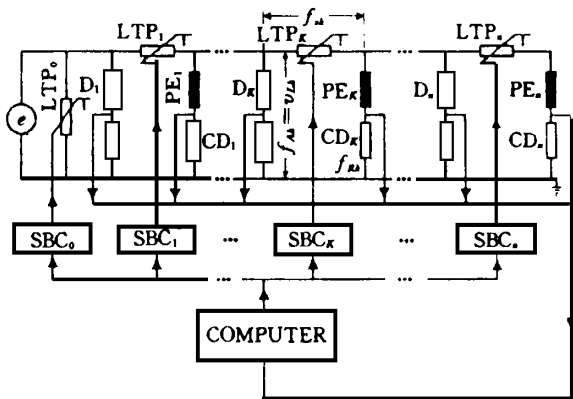


图 3 计算机控制 $n+1$ 个变参数控制 n 个处理元的原理图

同的自然因子为 β_k , ($k = 1, 2, \dots, n$) 的 LTP, n 个非线性处理元 (PE) 接在纵坐标上⁽¹³⁾且其第 k 个非线性 PE 的电阻与电流和电感与电流的关系分别已给定 $R_{pk} = R_{pk}(I_k)$, $L_{pk} = L_{pk}(I_k)$ (13) 另外, 有一个自然因子为 β 的 LTP⁰ 与电源两端并联⁽¹³⁾ 诸 D 为测量电压的分压器 (或电压互感器), 诸 CD 为测量电流的分流器 (或电流互感器) (13) 第 k 个 LTP 的电压以 $f_{Ak} = v_{Lk}$ 表示⁽¹³⁾ 当上述条件满足且所有目标函数 f_{Rk} (流过 PE 中的电流) 是预先给定时, 求与 $(n+1)$ 个 LTP 对应的需求函数⁽¹³⁾

在这种情况下, 我们可得到跨接在第 k 个 PE (负载) 上的电压为

$$f_{Ak} = v_{Lk} = R_{Lk}(f_{Rk})f_{Rk} + L_{Lk}(f_{Rk}) \frac{df_{Rk}}{dt} = g_k(f_{Rk}, t) \quad (13)$$

略去所有 D 中的电流和 CD 上的压降, 我们有

$$f_{A0} = e(t); \quad f_{Sk} = f_{A(k-1)} - f_{Ak} = g_{k-1}(f_{R(k-1)}, t) - g_k(f_{Rk}, t), \quad (14)$$

$$f_{P0} = f_{R0} - \sum_{\lambda=1}^n f_{R\lambda}; \quad f_{Pk} = \sum_{\lambda=1}^n f_{R\lambda} \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (15)$$

根据式 (1), 求得 $n+1$ 个需求函数

$$L_0(t) = f_{D0} = \begin{cases} \frac{\exp(-\beta_0 t) \left[\int_0^t \exp(-\beta_0 t) dt + D \right]}{f_{R0} - \sum_{\lambda=1}^n f_{R\lambda}}, & \left(f_{R0} \neq \sum_{\lambda=1}^n f_{R\lambda} \right) \\ \frac{v}{f'_{R0} - \sum_{\lambda=1}^n f'_{R\lambda}} \quad (13) & \left(f_{R0} = \sum_{\lambda=1}^n f_{R\lambda} \right) \end{cases} \quad (16)$$

$$L_k(t) = f_{Dk} = \begin{cases} \frac{\exp(-\beta_0 t) \left[\int_0^t \exp(-\beta_0 t) (g_{k-1} - g_k) dt + D \right]}{\sum_{\lambda=k}^n f_{R\lambda}}, & \left(\sum_{\lambda=k}^n f_{R\lambda} \neq 0 \right) \\ \frac{g_{k-1} - g_k \quad (13)}{\sum_{\lambda=k}^n f'_{R\lambda}} & \left(\sum_{\lambda=k}^n f_{R\lambda} = 1, 2, \dots, n \right) \end{cases} \quad (17)$$

按照式 (16) 和 (17) 提供 $(n+1)$ 个 LTP 的电感值便可使得各负荷中流过要求波形的电流⁽¹³⁾ 当式 (16) 和 (17) 右端各量为可测量时, 该系统就是自动调节系统⁽¹³⁾ 顺便指出, 图 3 中的 LTP⁰ 可使负荷中的谐波电流分量不返回电源, 起滤波作用⁽¹³⁾ 当然, 用一个 CTP 代替也许更好⁽¹³⁾

4 结论与展望

基于传递系数, 传递函数, 反馈和比较的经典控制理论导出目前的控制结构和观念⁽¹³⁾ 对于我们的计算机控制系统 (有时称为执意机控 (Insistence Cybernation) 系统), 它既不是一般的开环系统也不是一般的闭环系统, 故不需要这些观念⁽¹³⁾ 本质上, 因为从所有检测器得来的每一信息都直接用于控制, 而不是如通常的控制系统那样通过反馈-比较环节或前馈-比较环节, 故它可称为可控开环系统 (Controllable Open-loop System -- COS) ⁽¹³⁾ 就该系统而言, 反馈控制并非必不可少⁽¹⁹⁾ 即无反馈和比较的时滞⁽¹⁹⁾ 控制的速度仅仅取决于操作软、硬件所需的时间⁽¹⁹⁾ 因此它也是一个殆无时滞系统 (Almost Time-lagging-less System -- ATLSS) ⁽¹³⁾ 多个检测设备

仅仅用于检测动态参数(f_A , R_L , 和 C_L 等) (13) 注意, 当所有的信息送到计算机时, 我们说检测而不是说反馈(或前馈) 已达(13)

在执意机控系统中, 由于硬件降低到最小的限度, 于是大量的设计任务在很大的程度上得以简化(13) 相应的调试和维护也就变得十分简单(13) 就控制速度而言, 由于开环控制, 它应该是快的而不是慢的(13) 同时, 能提高控制系统的可靠性(13)

该最新的控制思想为提高一切靠电力运行的设备的效率和控制精度, 从单个的马达传动到控制自动机组(robots) 带来成功的希望(13) 对于广泛用于工业机械传动并很可能率先实现执意自动调节的异步电动机, 其无级变频调速将由于充分利用无级变频电源(执意机控的一个特例) 而全面解决^[3] (13) 执意机控将开辟异步电机更广泛的新用场使之覆盖几乎所有的工业电气传动(13) 例如, 电动汽车将可以采用在诸性能(效率、价格、耐久性、无电磁干扰和维修保养等) 方面都具有优良特性的三相(乃至多相) 可控速度的鼠笼电动机(13) 值得注意的是: 由于 CTP 的 β 值远远大于 LTP 的 β 值, 故在其它条件相同时, 选用 CTP 比选用 LTP 有较高的效率(13) 这意味着借助现代高超的集成电路工艺, 我们可以制造出将 CTP、开关、计算机(存储芯片) 甚至软件等部分或全部地集成一块的一类具有高精度的高效的微期望电流源芯片(Microexpectant-current Chip —— MEC) (13) 对于用 CTP 做成的微期望电流源, 它暗示着未来空间技术和机器人设备等方面存在广泛应用的可能性(13)

看来, 执意机控的触角要触及更广的领域(13) 如生物、生物医学工程和医学等(13) 我们不妨考虑: 如果我们弄清了正常部位和病灶部位的生物电流(把这些电流设想为处理元的电流) 的本质区别, 难道不可在该病灶部位装上一个期望电源吗? 看来, 设计通用控制器(General-utility Controller —— GC) 的问题迫在眉捷(13)

显然, 只有在计算机技术强劲发展的当今才能执意机控(13) 今天先进的电子计算机运算速度已经很快, 其功能也相当强大(13) 三相可控开关元件如可控硅也取得长足的进展(13) 用市场上现有的产品在很宽的限制内实现执意自动调节已绰绰有余, 更何况该技术在实际应用时还会有新的产品出现(13)

关键问题是如何在精度确保的前提下提供一类所含定常无功元件最少, 可组合的参数值最多且操作最为简单的变参数器(13) 这个问题已由作者利用操作少量位变参数器(Place Parametrans —— PP) 的办法完满地解决了, 且已申请国家专利(13)

就一个电气自动调节系统而言, 现在有两种描述的模式和与之相应的控制方法: 其一是以传递系数为基础的经典调节; 其二是以变参数器为基础的执意调节(13) 显然后者要比前者简单(13) 由于目标函数主要是通过软件而不硬件实现, 故执意调节系统对解决一些棘手的难题具有强大的吸引力(13) 这恰是现代计算机技术与控制技术的巧妙结合(13)

参 考 文 献

- 1 Xiong Xiangbao·The More Exact Mathematic Models for the Dynamic AC Electric Traction System, Proceeding Intern· Conference on Modelling, Simulation & Control(AMSE MSC'93), Oct. 13~15, 1993, Vol. 1, 79~83
- 2 Xiong Xiangbao, Li Zhi· A New Tentative Plan for Continuous Controlling Rotational Speed of Asynchronous Motor by the Generalutility Translator for Supplies· Proceeding of the International Conference on Electrical Machines and Applications (ICEMA'96), 1996, 230~233
- 3 Hugh Hildreth Skilling·Electrical Engineering Circuits· Jon Wiley & Sons Inc., 1957·New York, 10~16

A New Approach to the Construction of the General - utility Controller Based on Time - series Parametrons

Xiong Xiangbao

(Electrical Engineering Department)

Abstract This paper presents a new innovation for constituting the General-utility Controller (GC) by means of the Time-series Parametron (TP). It can help to achieve generating and controlling arbitrary-waveforms in processing elements of a network which are regarded as nonlinear electrical loads. The outstanding characteristics of the controller are that the hardwires are reduced to a minimum, a large amount of controlling task will also be simplified. Accordingly, its regulations and maintenance will become simple, too. The controlling speed should be fast rather than slow because of open-loop control.

Key words controller; transformation of source; time-varying parameter circuit