

自动化丛书



带数字控制电阻 的计算转换器

〔苏联〕B. B. 新莫洛夫著 叶新山译

上海科学技术出版社

带数字控制电阻 的计算转换器

〔苏联〕B. B. 斯莫洛夫 著

叶新山 译 芮得先 校

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本书是“自动化丛书”之一。丛书内容包括自动学及运动学的理論、自动装置、元件和仪器的結構及应用等。丛书选题主要取自苏联及其他国家的有关資料,也包括国内編写的专题論着。本丛书由“自动化丛书編輯委员会”主編。

本书闡述帶有数字控制电阻的計算轉換器的組成原理和工作特点。同时列举了应用帶数字控制电阻的运算轉換器来組成自动化系統的計算单元应用实例。

本书供运用計算装置及計算元件进行生产过程自动化的各部門工程技術人員参考。

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С ЦИФРОВЫМИ УПРАВЛЯЕМЫМИ СОПРОТИВЛЕНИЯМИ

В. Б. Смолов

Госиздат, 1961

自动化丛书(16)

带数字控制电阻的計算轉換器

叶新出 譯 苗得先 校

自动化丛书編輯委员会主編

上海科学技术出版社出版 (上海瑞金二路450号)

上海市书刊出版业营业登记证出098号

商务印书館上海厂印刷 新华书店上海发行所发行

开本 787×1092 1/32 印张 3 30/32 排版字数 86,000

1963年7月第1版 1963年7月第1次印刷 印数 1—4,000

統一书号 15119·1796 定价(十二) 0.46 元

前 言

大部分現代自动化系統及各种物理过程的控制儀器的設計和运行,都与电子計算机的应用有密切关系。

設計自动化系統和儀器时,在決定該系統的最佳結構参数方面,电子計算机可以迅速而准确地進行大量繁重的試算工作。

在运行过程中,自动化系統与控制儀器要分析表示控制过程狀況的輸入数据、拟定控制指令及向控制对象相应的执行机构分配指令。

利用电子計算机能在分析訊息时快速地、准确地求解复杂的数学关系,拟定指令及分配指令,这时电子計算机已成为控制系統的基本环节之一。

应用电子計算机能显著地提高劳动生产率。

現代电子計算机是一种非常复杂的电子自动装置,它能完成各种数学运算,并能作訊息的邏輯轉換。

按照数学量給定的方式及实现数学計算的方法,电子計算机分为两种基本类型,即連續作用計算机(模拟計算机)及断續作用計算机(数字計算机)。

在电子模拟計算机中,所有参与解题过程的連續数学量 x_j 通常用来表示某些物理量(电压、电流、相位移、時間間隔等)的連續量。

在电子模拟計算机中,各个数学計算是用專門的运算单元(运算轉換器)來进行的,这种运算单元的輸出电压 U_{out} 随

着輸入电压按照需要的函数規律而改变

$$U_{\text{вых}} = \Phi(U_{\text{вх1}}, U_{\text{вх2}}, \dots, U_{\text{вхn}})$$

在模拟计算机中，将在计算机中进行計算的复杂的数学关系假定地分为若干部分，而典型运算轉換器(加、减、乘、除、三角、积分、微分等)即按照各个数学运算的順序互相联接。

由于在电子模拟机中常以电压 U_j 来表示 ω_j 值，因此，这种计算机的工作精度就受到测量仪器的精度及计算机中各个元件制造精度的限制，其中包括电阻、电容、电源等。因而，模拟计算机的最大实际工作精度很少超过最大輸出量的 $(0.1 \sim 0.01)\%$ 。精度的进一步提高牵涉到許多技术上的困难。

从使用的可能性上看，模拟计算机在各种用途的控制机上应用的主要优点是动作迅速，輸入量的連續变化实际上在一瞬間就轉換成所需要的輸出函数的变化。

模拟计算机的另一优点可认为是运行簡單。它可以与控制对象及輸入訊号的变送器直接相联。

模拟计算机除了工作精度有限的缺点外，更牵涉到它的使用范围狹隘。因为往往只是設計成求解一种典型的数学問題(解一定类型的微分方程組)以及解决具体过程中控制訊号的拟定問題等。因此模拟计算机适用于满足下列要求的專門的控制、检测系統：

(1) 能用簡單可靠及經濟的技术工具来产生实际上沒有滞后的控制指令。这些工具在外界条件(周圍介质温度、空气湿度等)改变时，应能保持指标稳定。

(2) 当輸入数据連續变化时，控制指令的工作精度不超过最大指令值的 0.1% 。

(3) 輸入量与輸出量为直流电压或容易轉变成电压的其

他物理量。

(4) 按照比較簡單的数学关系产生控制指令；在控制时不需要使用邏輯运算——长时期記憶数据、电路的复杂切换等。

当控制系統的状态是以数学模拟方程式表示时，則在确定这些系統的最佳結構及参数方面，模拟计算机也是最有效的技术工具。

在数字计算机中，所有計算操作归結为簡單的算术运算与邏輯运算。在采用二进位計算制时，即采用二进位数碼。

二进位計算制只应用二种不同的数——0 与 1，而每个数字在每个数位上的具体表示又是利用技术上簡單可靠的电子继电器（触发器）来实现的。它們只有两个不同的穩定状态，因此在数字电子计算机中，数的反映就不象模拟计算机那样、根据某一物理量的“数量”而是根据它的“性质”来估价的。例如：是高电压还是低电压，存在脉冲或不存在脉冲等。

因此，数字计算机的工作精度仅与计算机中用来表示数字的二进位数位有关。計算元件制造精度即使較低，也可得到很高的精度。

完成算术及邏輯运算的次序，固定在计算机的工作程序中。而且实际上可以是任意的，因为同一台数字计算机原则上能适用于許多算題。从这个观点上看，数字计算机具有更大的通用性。

由计算机工作程序所决定的运算过程，对于不变的輸入量，需要有一极短的时间 Δt 来作运算，这是解决所有算术运算及邏輯运算所必需的时间。

非常明显，当輸入数据連續变化，特别是在控制系統中采用数字电子计算机的情况下，会存在解題的滞后誤差。因为

任何一組輸入量于 $t=t_0$ 時間中輸入數字電子計算機，只有在時間 $t=t_0+\Delta t$ 時，輸出量才能被計算機處理完畢。

因此儘管數字計算機寫明動作速度很高（每秒幾萬，甚至幾十萬次算術操作），但對許多具體的快速控制過程中的重要解題任務，由於其速度比模擬計算機小得多而不能採用。

用數字電子計算機控制連續過程時，在控制系統中應考慮以下工作特點：

(1) 為使數字電子計算機與輸入訊號的變送器及控制對象相聯，應具備附加裝置（所謂綫性編碼器及譯碼器），將連續輸入的物理量轉換成二進位數碼。或反之，將計算機所處理成為二進位數碼的控制指令轉換成連續的物理量。

這些轉換器的精度與動作速度，取決於數字—模擬裝置的動作原理。並且在這種場合下也決定了整個控制系統的動作速度與精度。

(2) 數字計算機的工作速度，必須在規定的輸入、輸出數據變化速度的情況下，保證控制指令處理的滯後誤差小到可以忽略的程度。

(3) 數字電子計算機的可靠性必須與整個控制系統所需要的可靠性相適應。

(4) 數字電子計算機必須是運行方便，元件如有損壞能一檢便知，並迅速更換。

實現上述技術要求有一定的困難，目前要克服這些困難，會遇到一系列的矛盾。

例如，數字電子計算機工作的可靠性，首先可以通過採用無線電電子學上的新元件來保證——半導體三極管、二極管及具有矩形磁滯回線的磁元件（鐵滲氧）。

但是，目前這些元件的特性，在許多地方還沒有達到控制

系統所規定的動作速度，同時對外界的温度波動及放射性射線非常敏感。

用斷續電子計算機來組成的控制系統、控制儀器及自動檢測系統，宜應用於下列場合：

(1) 當需要保證不同工況的自動化系統同時或依次地完成控制指令時；

(2) 當需要按照各種不同的數學關係式，對每种工作狀態進行控制指令的運算時；在一般情況下，根據不同的輸入數據具有不同的精度；

(3) 當控制對象時需要保證大量的邏輯運算時；

(4) 對於控制系統的計算部分，需要滿足高精度、小尺寸及重量輕的要求時；

例如，在遙遠操作的軍用飛機上，導航部分、投彈、機槍控制、飛機控制等等都必須有自動裝備。

如果解決每個問題用一台連續作用式電子計算機，則計算設備將會有很大體積、重量與價格，需要幾種電源等等。在某些場合下若按精度與靈活性的標準來要求，則用這種方法來解決這些問題甚至是不合適的。

但是所有列舉的問題，都只要依靠一台斷續作用式電子計算機（所謂多用途電子計算機）即可迎刃而解。

這時，電子計算機的工作總程序預先規定了產生控制指令所必需的全部子程序，作為對象處於每种工況時的控制指令，這時運算裝置也同時過渡到這一工況時的子程序，並接通相應的輸入訊息源，再依靠控制裝置，接通控制訊息的接收地點。

顯然，術語所謂的“同時產生控制指令”在本情況下，對於各種不同工況是有條件的，因為前面已經提到，即使工作

于同一个控制状态；数字电子计算机也有滞后误差存在。但是，如果能保证计算机高速动作（每秒进行几十万次到几百万次加法运算是可以达到的），那么，用计算机来产生某一种工况的控制指令所需要的解题时间，将不过只有几百分之一或几十分之一秒。

所以，即使需要多用途计算机同时对所有工况拟定控制指令的最不利的情况下，控制对象所对应的机构也只要经过很短的时间间隔即可得到自己的指令，这个微小时间间隔的数量决定于被调对象的特性及其工况之特点，这点在电子计算机设计时就已规定的。

前面已经指出，在控制系统与控制仪器中采用数字电子计算机时，计算机要依靠线性编码及译码器来与输入变送器与指令接收器相配合，而它们的特性按照其实质又决定了系统控制过程可能有的动作速度与精度。

在设计者面前提出一个问题：即能否设计一些编码及译码器（这是组成控制系统的不可分割的一部分），它们不仅能按线性，同时也能按非线性规律实现由连续量到断续量及由断续量到连续量的转换。那时可能由这种“函数编码及译码器”来传达计算机的一部分程序，毫无疑问，这将会影响整个系统动作速度的提高。

此外，在自动控制、自动检测系统的实际设计中，常常要对变动的物理量进行数字不多的具体计算操作。这些物理量中的一部分以模拟形式出现，而另外一部分，则以数字形式出现。这时就不能仅仅用一种类型的计算机来实现，而必须综合两种类型的计算机。为了使一种计算机进入到另一种计算机的给定量性质一致，在两种类型的计算机中引入中间元件相互联系；也就是说，仍然需要编码器及译码器。

在下列情況下，用电子計算机来解决控制訊号的簡單解算問題是可以采用計算轉換器的（它是由模拟計算机的典型放大器及数字計算机的典型元件：計數器、切換、記憶等元件構成的），即當：

（1）运算操作的特性非常簡單，不外乎加、減、乘、除、三角、代数以及有表可查的函数、微分、积分等；

（2）不論輸入数据是模拟形式或是数字形式，但运算結果必須以直流或交流电压形式輸出；

（3）計算精度不超过相应函数最大值的百分之0.1；

（4）对計算机的可靠性、尺寸及重量有严格的要求。

因为計算轉換器是按照模拟的原理工作，亦即用綫路来保証轉換器与規定的关系 $z(x)$ 具有相同的特性以实现計算，而参与計算过程的許多量則是数字的形式，因此这些計算轉換器就关系到数字-模拟型計算裝置，以下将称之为帶数字控制电阻的計算轉換器。

目 录

前 言

第1章 电子模拟计算机的运算放大器	1
1. 电压并联输入的负反馈运算放大器	1
2. 带负反馈运算放大器计算单元的工作状况	4
3. 带负反馈运算放大器计算单元的基本参数	10
4. 带差动输入级的运算放大器	16
5. 带差动输入级运算放大器线路的基本工况	18
6. 带运算放大器及非线性电阻的计算单元	22
7. 带运算放大器及脉冲分压器的计算单元	26
第2章 无源数-模函数分压器	32
8. 数字控制电阻	32
9. 无源数字控制电阻分压器	38
10. 用无源数-模分压器线路进行数学运算	47
11. 通用无源数-模函数分压器	55
第3章 带运算放大器的数-模转换器	72
12. 有源数-模分压器	72
13. 带数字输出量的有源数-模计算转换器	88
14. 带数字控制电阻的桥式数-模计算线路	92
第4章 应用计算转换器的解题实例	102
结 论	114
参考文献	115

第 4 章

电子模拟计算机的运算放大器

1. 电压并联输入的负反馈运算放大器

运算放大器或称为“计算”放大器，是电子模拟计算机的基本典型元件。

原则上，任何直流放大器（电子管的、半导体的或磁的），只要其输出电压零点漂移极小（ $\Delta U_{xp} \approx 0$ ），而放大系数很大（ $\mu \gg 1$ ）都可用来作为运算放大器。

用于进行计算操作的、具有负反馈的、电压并联输入的运算放大器原理方框图见图 1^[1,2]。

图中：

$U_1, U_2, \dots, U_k, \dots, U_n$ ——线路的输入电压；

$Y_1, Y_2, \dots, Y_k, \dots, Y_n$ ——运算放大器 I 输入回路的电导；

Y_o ——运算放大器反馈回路的电导；

Y_c ——运算放大器第一级栅极泄漏回路电导；

U_c ——放大器的输入电压；

Y_n ——运算器负载回路电导；

U_n ——计算单元的输出电压，亦即运算放大器的输出电压；

μ ——放大器正向（不包括負反饋）放大系数。

为了确保图 1 所示的运算放大器线路具有負的反饋，运算放大器线路应由奇数放大級組成。

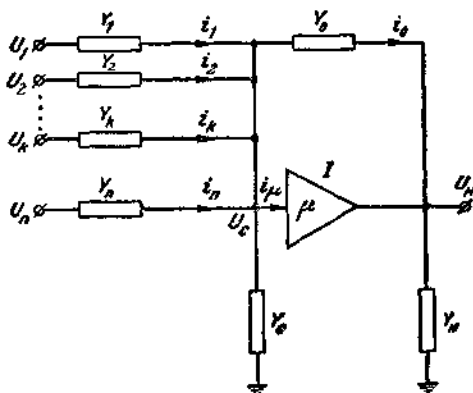


图 1 帶負反饋运算放大器的計算单元

假定运算放大器滿足以下要求

$$i_{\mu} \approx 0; \quad \Delta U_{\text{нд}} \approx 0$$

則可从方程式

$$U_{\text{н}} = \mu U_{\text{с}} \quad (1)$$

求得綫路輸出电压的表示式。

$$\text{式中} \quad U_{\text{с}} = \sum_{k=1}^{k=n} \frac{U_k Y_k}{Y_{\text{с}} + \sum_{k=0} Y_k} + U_{\text{н}} \frac{Y_0}{Y_{\text{с}} + \sum_{k=0} Y_k} \quad (2)$$

对电压 $U_{\text{н}}$ 联解式(1)与(2)得

$$U_n = - \frac{\mu \frac{\sum_{k=1}^{k=n} U_k Y_k}{Y_c + \sum_{k=0}^{k=n} Y_k}}{1 - \mu \frac{Y_0}{Y_c + \sum_{k=0}^{k=n} Y_k}} \quad (3)$$

为了保証式(3)所述的綫路能穩定工作,放大系数 μ 应选負值,这与前面所述的应采用奇数放大級相符。这时

$$U_n = - \frac{\mu \frac{\sum_{k=1}^{k=n} U_k Y_k}{Y_c + \sum_{k=0}^{k=n} Y_k}}{1 + \mu \frac{Y_0}{Y_c + \sum_{k=0}^{k=n} Y_k}} \quad (4)$$

最后,为了使电源电压的波动及由于負載电阻的改变而引起放大系数 μ 的改变不影响計算单元的輸出电压 U_n ,应保証滿足下列条件

$$|\mu| \gg \left| 1 + \frac{\sum_{k=1}^{k=n} Y_k}{Y_0} \right| \quad (5)$$

这时,具有輸入电导 $Y_1, Y_2, \dots, Y_k, \dots, Y_n$ 及反饋回路电导 Y_0 的負反饋运算单元輸出电压的最終表达形式为

$$U_n = - \frac{\sum_{k=1}^{k=n} U_k Y_k}{Y_0} \quad (6)$$

由式(4)轉換到式(6)带来之模拟关系式(6)的相对方法誤差

$$\delta U_n [\%] = 100 \frac{Y_0 + Y_c + \sum_{k=1}^{k=n} Y_k}{\mu Y_0} \quad (7)$$

帶負反饋运算放大器的計算单元是一个用自动选根方法来寻求隱函数

$$\Phi(U_1, U_2, \dots, U_k, \dots, U_n, U_n,$$

$$Y_0, Y_0, Y_1, Y_2, \dots, Y_k, \dots, Y_n, \mu) = U_0 \approx 0 \quad (8)$$

根 U_n 之数学模型(計算装置)。

在这情况下,运算放大器在輸入电压改变时,保证了計算单元处于动平衡状态。也就是說,計算单元的輸出电压 U_n 选取这样的数值:使不平衡电压 U_0 接近于零。

在这种情况下,隱函数(8)的形式仅决定于綫路及計算单元所包含的电导 $Y_0, Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ 的性质,而与运算放大器的綫路无关。

2. 帶負反饋运算放大器計算单元的工作状况

根据放大器的联接綫路及輸入回路、反饋回路电导的性质,运算放大器綫路可工作于下列情况:

比例轉換工况 如在图1綫路中

$$Y_1 = \frac{1}{R_1}; \quad Y_0 = \frac{1}{R_0}; \quad [Y_k]_{k>1} = 0 \quad (9)$$

則

$$U_n = -KU_1 \quad (10)$$

也就是說,这种綫路可将輸入电压乘以常数 $K = \frac{R_0}{R_1}$, 对于典型的运算放大器來說, K 的实际变化范围是在 $0.01 \sim 100$ 。

比例轉換器的綫路見图2a。

求和工况 若图1綫路中

$$[Y_k]_{k>0} = \frac{1}{R_k} \quad (11)$$

則可得到具有

$$U_n = - \sum_{k=1}^{k=n} A_k U_k; \quad A_k = \frac{R_0}{R_k} \quad (12)$$

特性的求和綫路(图 26)。

为了实现电压的减法运算

$$U_n = A_2 U_2 - A_1 U_1 \quad (13)$$

需要两个运算放大器(图 26), 其中一个用来变号, 而第二个用来求和。

积分工况 若图 1 綫路中

$$Y_1 = \frac{1}{R_1}; \quad Y_0 = pC_0; \quad [Y_k]_{k>1} = 0 \quad (14)$$

則可得到

$$U_n = - \frac{1}{R_1 C_0} \int_0^t U_1(t) dt \quad (15)$$

形式的积分綫路(图 27)。

输入电压的积分求和工况 若图 1 綫路中引入

$$[Y_k]_{k>1} = \frac{1}{R_k}; \quad Y_0 = pC_0 \quad (16)$$

則綫路能实现电压的积分求和运算(图 28), 其特性具有下列形式

$$U_n = - \sum_{k=1}^{k=n} \frac{1}{R_k C_0} \int_0^t U_k(t) dt \quad (17)$$

为了求出电压积分的代数和, 在积分求和綫路中, 必須附加相应的变号放大器。

输入电压的微分工况 若

$$Y_1 = pC_1; \quad Y_0 = \frac{1}{R_0}; \quad [Y_k]_{k>1} = 0 \quad (18)$$

則綫路可得到輸入电压的微分(图 29), 其特性为

$$U_n = - R_0 C_1 \frac{dU_1}{dt} \quad (19)$$

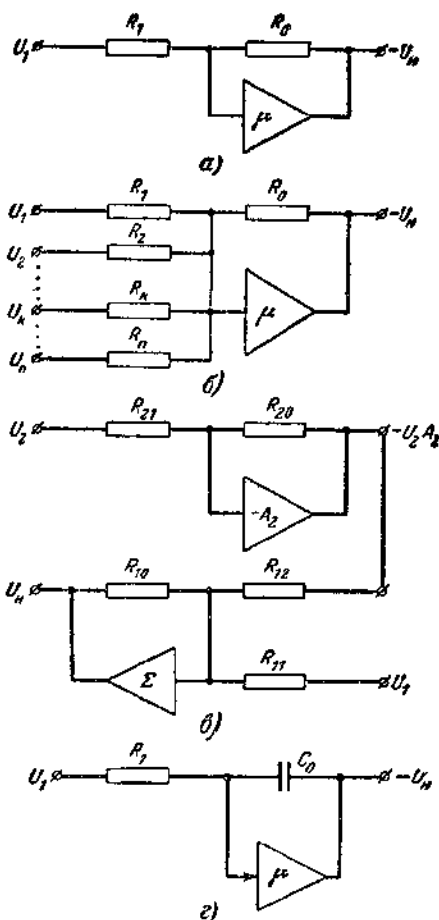


图2 运算放大器

输入电压的微分求和工况 若图1线路中

$$V_0 = \frac{1}{R_0}; \quad [Y_k]_{k \geq 1} = pC_k \quad (20)$$

则可得到输入量的微分和, 因为线路图 2x 所得到的特性为