船舶自动系统计算手册

〔苏〕Л.Ф.苏耶瓦洛夫 著

吴 云 天 译

国防工业出版社

船舶自动系统计算手册

〔苏〕Л. Ф. 苏耶瓦洛夫 著

吴 云 天 译

国防工业出版社

内容简介

本手册简明地阐述了分析和综合船上各种类型自动系统的计算方法，给出了计算公式，并以表格、图形、列线图等形式提供了计算所需的各种参考资料，还列举了大量的船舶自动系统的计算实例，以供参考。

本书可供从事船舶综合自动化方面工作的科研、设计、生产的工程技术人员以及与船舶自动化有关的高等院校的师生阅读。也可供从事自动控制方面的科技工作者参考。

СПРАВОЧНИК ПО РАСЧЕТАМ СУДОВЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Л. Ф. Суевалов

Издательство «Судостроение» 1977

*

船舶自动系统计算手册

〔苏〕Л. Ф. 苏耶瓦洛夫 著

吴云天 译

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行　　各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168 1/32　印张14 3/8　365千字

1983年10月第一版　1983年10月第一次印刷　印数：0,001—1,750册

统一书号：15034·2544　　定价：1.80元

译 序

近年来，随着电子技术与计算技术的迅速发展，国外船舶的自动化程度有很大的提高，出现了所谓的“超自动化船”。目前正向着各个自动化系统间有最佳协同作用的船舶综合自动化和利用电子计算机集中控制的船舶综合自动化方向发展，因而在自动控制系统的理论和实践上都将出现一系列新问题，要求考虑船舶的特点，采用古典的和现代的自动控制系统的计算方法来解决这些问题。

鉴于上述情况和实际工作的需要，故翻译了这本《船舶自动系统计算手册》。本书概括地阐述了船舶自动系统的分析、校正和综合的各种主要方法；反映了自动控制理论的基本方向；阐述了一系列新的方法，如状态变量法、应用最优控制理论的方法、离散系统计算法、自适应系统的概念等；还列举了大量的计算实例加以说明，有助于对计算方法的理解和掌握。这是一本较有实用价值的参考书。

在译校过程中，凡发现原书的公式和计算实例中的一些差错，均已作了订正。原书的序言和词目索引未予译出。

本书第Ⅰ～Ⅲ章由曾德尧同志校对；第Ⅳ～Ⅷ章由齐佩瑜同志校对。第Ⅰ～Ⅴ章由上海自动化学会副理事长范崇惠同志审校；第Ⅵ～Ⅷ章由上海交通大学胡文瑾同志审校。在译校过程中还得到本单位一些同志的热忱帮助和支持。在此，谨向他们表示衷心感谢！

由于译者水平有限，译文中错误和不妥之处在所难免，欢迎广大读者批评指正。

符号和缩写词

D——方差

$D(\lambda)$——特征多项式

$e(t)$——失调误差

$g(t)$——控制（给定）作用

$h(t)$——过渡过程特性

k——静态放大系数

$k(t)$——脉冲过渡过程特性

$L(\omega)$——对数幅频特性

m——数学期望值

$R(\tau)$——相关函数

s——拉普拉斯算子

$S(\omega)$——频谱密度

T——时间常数

$u(t)$——调节作用（控制）

$W(j\omega)$——开环系统复数传递函数

$W_H(A)$——非线性元件等效传递函数

$W(s)$——开环系统传递函数

$W(z)$——开环系统离散传递函数

$x(t)$——被调量

z——Z变换算子

$\delta(t-\tau)$——在$t=\tau$时刻存在的台尔塔函数

γ——相对衰减系数

$\theta(\omega)$——对数相频特性

$\Phi(s)$——闭环系统传递函数

$\Phi(z)$——闭环系统离散传递函数
АВМ——模拟计算机
АИМ——脉冲幅度调制
АС——自动系统
АСК——自动检验系统
АСУ——自动控制系统
АФХ——幅相特性
АЧХ——幅频特性
ВЧХ——实频特性
ИПХ——脉冲过渡过程特性
ИЭ——脉冲元件
КСН——自调整回路
ЛАХ——对数幅频特性
ЛФХ——对数相频特性
МЧХ——虚频特性
О——受控对象
ОАФХ——倒幅相特性
ПХ——过渡过程特性
Р——调节器
САС——船舶自动系统
СУ——控制系统
ФЧХ——相频特性
ЦВМ——数字计算机
ШИМ——脉冲宽度调制
ЭВМ——电子计算机

目　录

第I章　一 般 原 理

§ I.1　定义·拉普拉斯变换和傅里叶变换的基本概念

定　义

自动学——包括对生产过程在无人直接参予下实现校验和控制的方法和手段的技术领域。实现这些功能的系统叫自动系统。它区分为自动校验系统和自动控制系统。供船舶对象自动化用的系统称为船舶自动系统。

自动校验系统执行测量信号和在某些情况下对保护对象实行事故保护。

自动控制系统用于保证跟踪指令信号的变化（随动系统），保证对象坐标稳定在一定水平上（稳定系统），或保证根据预定程序改变对象的坐标（程序控制系统）。

垂直舵控制系统、汽轮机动力装置的调车阀控制系统或柴油机动力装置的燃油泵控制系统和一些其他系统都可以作为船舶随动系统的例子。减摇装置、艉轴转动频率稳定系统、电力网的电压和频率稳定系统等等属于船舶自动稳定系统。船舶主机动力装置的某些起动和停车系统则属于程序控制系统。

视结构而定，船舶自动系统可以分为闭环系统（或带反馈的系统）和开环系统（或无反馈的系统）。

校验系统一般是开环系统，而控制系统则是闭环系统。开环系统可以看作是闭环系统的个别情况。所以对下面闭环自动控制系统给予特别的注意。

视被调对象坐标的数量可分为单系统（一个被调量）和多系统（几个被调量）。发动机旋转频率稳定系统可以作为单系统的例子，控制锅炉装置的系统则可以作为多系统的例子，因为控制锅炉装置需同时调节蒸汽压力和温度、锅炉水位和其他量。

闭环单系统的结构图如图Ⅰ.1所示。

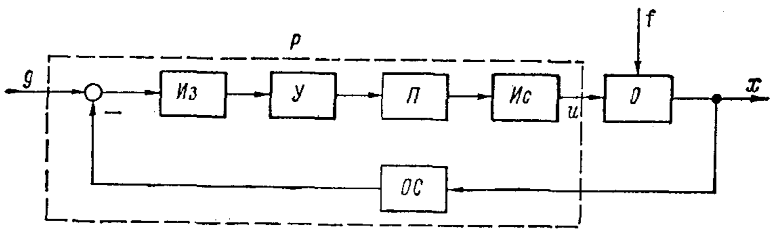

图 Ⅰ.1

O—控制对象；P—调节器（自动装置相互作用元件的总和）；Из—测量元件；У—放大元件；П—转换元件；Ис—执行元件；OC—反馈元件。

对任何自动系统在一般情况下加入两种形式的外部作用：控制作用或给定作用（图上信号 g），和扰动作用（图上信号 f）。自动系统控制的对象坐标称为被调量（图上坐标 x）。由调节器加入控制对象的信号称为调节作用或控制作用（图上信号 u）。

在船舶自动系统中，利用了三种调节原理：第一种按偏差调节的原理（波尔松诺夫-瓦特原理），其调节作用系由被调量与给定值之间的偏差信号，以及这些偏差信号的微分和积分形成；第二种是根据扰动作用的调节原理（彭塞勒原理），它的特点是调节作用由外部作用的信号，以及这些信号的微分和积分所形成；第三种称为组合调节原理，是按偏差和扰动调节兼有的调节原理。

如果外部作用是偶然的，那么调节过程可以划分为两个阶段：过渡过程和稳定状态。第一阶段从外部作用附加上的时刻开始，持续到建立一定的被调量的时刻为止。第二阶段相当于外部作用的稳定值和被调节量的稳定值。数学上稳定状态用非齐次微分方程的特解来描述，而过渡过程则用非齐次微分方程的特解和

齐次微分方程的通解的和来描述。

稳态质量的主要特性是稳态误差，它是给定值与被调量的真实值之间的差。过渡过程的主要特性是它的收敛性或在外部作用达到一定程度以后的衰减能力。据此，如果系统中的过渡过程是衰减的，那么自动控制系统为稳定系统；如果系统中的过渡过程是发散的，那么这个自动控制系统为不稳定系统●。显然，只有稳定的系统才是有工作能力的系统。

此外，表征过渡过程的还有持续时间、最大偏差和一些其他指标的特性。

如果外部作用是连续变化的（也可能是随机的），那么可用均方根误差来评定这种系统的质量。

与上所叙述有关的还存在一系列的间接评定。

拉普拉斯变换和傅里叶变换的基本概念

许多自动控制系统都是用线性微分方程式来描述的。以采用单向拉普拉斯变换为基础的算子方法被广泛用来求解许多自动控制系统。拉普拉斯变换能使以实际时间 t 为自变量的原始的微分方程式变换成为以某一个算子 s 为自变量的代数方程式。在求解代数方程式和找到被求函数变换式以后又转为原函数。这种求解微分方程式的方法本身非常方便，较之经典方法有显著的优越性。此外算子方法还具有在研究控制系统时可以利用的另外优点：通过算子方法得到传递函数——很方便和有效地研究系统及其各个部分的特性，此外它还能简化从微分方程式转换到频率特性等等。

原函数——实际时间函数 $x(t)$ 和其对应的变换式——算子函数 $X(s)$ 之间的关系用下列公式之一求出：

$$X(s)=\int_0^{\infty} x(t)\, e^{-st}dt$$

● 稳定问题的更详尽研究将在以后讨论。

或

$$X(s)=s\int_{0}^{\infty}x(t)e^{-st}dt$$

第一个积分关系式称为拉普拉斯变换，第二个则称为拉普拉斯——卡尔松变换（或简称为卡尔松变换）。下面将仅仅使用拉普拉斯变换。$X(s)$ 和 $x(t)$ 之间的关系可以更简单地写成

$$X(s)\doteq\!\!\rightarrow x(t)$$

$$X(s)=L\{x(t)\}$$

拉普拉斯反变换用公式

$$x(t)=\frac{1}{2\pi j}\int_{c-j\infty}^{c+j\infty}X(s)e^{st}ds$$

来求，式中 $c>c_0$（c_0——绝对收敛横坐标）。拉普拉斯反变换的另一描述形式是

$$x(t)=L^{-1}\{X(s)\}$$

在条件

$$\int_{0}^{\infty}|x(t)|e^{-st}dt<\infty$$

下可以有拉普拉斯变换。必须满足下列两个要求才能达到这个条件：

1）存在某个常量 $M>0$，使得在任何实数 α 时，有

$$|x(t)|\leqslant Me^{\alpha t}$$

2）$x(t)$ 满足狄利克雷条件〔函数由有限个区段组成，在这些有限个区段内函数是连续的和单调的，并在所有的这些间断点上存在 $x(t+0)$ 和 $x(t-0)$〕。

在研究自动系统时碰到的大多数函数是满足上列要求的。

拉普拉斯变换的主要性质

线性的特性。设 $x(t)\leftarrow\!\!\doteq X(s)$，$kx(t)\leftarrow\!\!\doteq X_1(s)$，有 $X_1(s)=kX(s)$。如果 $x_1(t)\leftarrow\!\!\doteq X_1(s)$，$x_2(t)\leftarrow\!\!\doteq X_2(s)$ 和 $x_3(t)=x_1(t)+x_2(t)$，那么

$$X_3(s)=X_1(s)+X_2(s)$$

原函数微分。设$x(t)\leftarrow\div X(s)$，$\frac{dx}{dt}\leftarrow\div X_1(s)$，则

$$X_1(s)=sX(s)-x(0)$$

如果$x(t)\leftarrow\div X(s)$，$\frac{d^nx}{dt^n}\leftarrow\div X_n(s)$，那么

$$X_n(s)=s^nX(s)-s^{n-1}x(0)$$
$$-s^{n-2}\dot{x}(0)-\cdots-x^{(n-1)}(0)$$

原函数积分。设$x(t)\leftarrow\div X(s)$，$x_0(t)=\int_0^t xdt\leftarrow\div$ $X_0(s)$，则

$$X_0(s)=\frac{X(s)}{s}$$

原函数终值。原函数终值根据公式

$$x(\infty)=\lim_{t\to\infty}x(t)=\lim_{s\to 0}sX(s)$$

来确定。如果$x(t)$具有固定的极限$x(\infty)$，那么上述公式是正确的。

原函数的始值。原函数的始值可以根据公式

$$x(0)=\lim_{t\to 0}x(t)=\lim_{s\to\infty}sX(s)$$

得到。如果dx/dt是有界函数，那么上述公式是正确的。

滞后定理。如果$x(t)\leftarrow\div X(s)$，$x(t-a)\leftarrow\div X_1(s)$，那么

$$X_1(s)=e^{-as}X(s)$$

在实数平面上的卷积定理(变换式乘法定理)。如果$x(t)\leftarrow\div$ $X(s)$，而$y(t)\leftarrow\div Y(s)$，那么

$$X(s)Y(s)\div\!\rightarrow\int_0^t x(t-\tau)y(\tau)d\tau$$
$$=\int_0^t x(\tau)y(t-\tau)d\tau$$

在复数平面上的卷积定理（原函数乘法定理）。如果$x(t)$ $\leftarrow\div X(s)$和$y(t)\leftarrow\div Y(s)$，那么

$$x(t)y(t)=\frac{1}{2\pi j}\int_{c-j\infty}^{c+j\infty}X(s-\lambda)Y(\lambda)d\lambda$$

部分分式定理。如果拉普拉斯函数表达式有

$$X(s)=\frac{A(s)}{B(s)}$$

的形式，那么它的原函数根据公式

$$x(t)=\sum_{j=1}^{n}\left[\frac{A(s)}{B'(s)}\right]_{s=s_j}e^{s_jt}$$

来确定。

如果拉普拉斯函数表达式的形式略有不同，即

$$X(s)=\frac{A(s)}{sB(s)}$$

那么原函数用表达式

$$x(t)=\frac{A(0)}{B(0)}+\sum_{j=1}^{n}\left[\frac{A(s)}{sB(s)}\right]_{s=s_j}e^{s_jt}$$

来确定。在这些公式中，$B'(s)=\frac{dB(s)}{ds}$； s_j——$B(s)=0$ 的根。

某些函数的拉普拉斯变换列在附录 I 中。

傅里叶变换

如果函数 $x(t)$ 具有绝对可积的特性，即

$$\int_{-\infty}^{\infty}|x(t)|dt<\infty$$

那么可以把傅里叶变换应用于这个函数，即

$$X(j\omega)=\int_{-\infty}^{\infty}x(t)e^{-j\omega t}dt$$

傅里叶反变换的公式为

$$x(t)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}X(j\omega)e^{jt\omega}d\omega$$