

目 录

第一章 自动控制基本知识

§ 1—0 引 言	1—1
§ 1—1 自动控制的基本原理	1—3
§ 1—2 自动控制系统应用举例	1—12
一、L、Z型XY记录仪	1—12
二、惯性导航系统	1—14
三、火炮控制系统	1—16
四、数字程序控制系统	1—21

第二章 自动控制系统的基本运动规律

§ 2—0 为什么要研究自动控制系统的运动	2—1
§ 2—1 线性反馈控制系统的微分方程	2—4
§ 2—2 微分方程的拉氏介法	2—19
一、拉氏变换	2—20
二、一、二阶系统的介	2—35
三、传递函数	2—43
§ 2—3 线性反馈系统的稳定条件	2—54
一、稳定性的概念	2—54
二、线性系统的代数稳定判据	2—60
三、系统参数对稳定性的影响	2—66
§ 2—4 自动控制系统的稳态误差	2—69
§ 2—5 自动控制系统的时间响应	2—77
一、一阶系统的动态特性	2—77
二、二阶系统的动态特性	2—79

三、系统的参数对动态特性的影响	2-92
四、小惯性的影响	2-94
附录 2-1 拉氏变换表	2-97
附录 2-2 计算表格式(劳斯判据)的代数判据	2-98
附录 2-3 6次以下行列式判据 (霍尔维茨判据)	2-100

第三章 用频率特性法研究自动控制系统

§ 3-1 频率特性法的产生	3-1
§ 3-2 频率特性	3-2
§ 3-3 频率特性和过渡过程对应关系	3-6
§ 3-4 频率特性求取方法	3-21
§ 3-5 稳定条件和稳定储备	3-23
§ 3-6 由开环频率特性确定稳态误差	3-36
§ 3-7 根据开环频率特性估计系统动态性能	3-41
§ 3-8 应用频率特性对系统进行校正	3-46
§ 3-9 应用频率特性法分析 LZ-3 函数记录仪控制系统	3-50

第四章 自动控制系统的设计

§ 4-0 设计的一般步骤	4-1
§ 4-1 方案选择	4-3
§ 4-2 元部件选择	4-6
一、执行电机	4-6
二、减速器	4-7
三、放大元件	4-13

四、滤波电路	4—23
五、测量元件	4—25
§ 4—3 系统的稳态计算	4—26
一、静态误差	4—27
二、速度误差	4—28
§ 4—4 同频率法确定串联校正装置	4—28
一、如何确定校正装置	4—29
二、品质指标的提法及相互转化	4—32
三、予期开环率特性的确定	4—37
§ 4—5 用频率法确定并联校正装置	4—57
第五章 自动控制系统中的非线性问题	
§ 5—1 为什么要研究非线性问题	5—1
§ 5—2 几种常见的非线性因素对随动 系统运动特性的影响	5—7
§ 5—3 包含非线性部件的反馈控制系统	5—18
第六章 自动控制系统的实验和调整	
§ 6—1 系统部件动特性测试	6—1
§ 6—2 系统的干扰及其消除	6—24
§ 6—3 系统调试中常遇到的一些问题	6—36
§ 6—4 控制系统性能的测定	6—43

第二章 自动控制系统的基本运动规律

本章提要

在工程实践中，自动控制系统的动态性能往往是一项重要的技术指标。因此，掌握系统的运动规律，是对设计、调整、运行人员的基本要求之一。本章以微分方程作为数学工具，扼要论述了最简单的自动控制系统的的基本运动规律，为下一章深入地研究一般系统的动态特性打下了基础。

§ 2-0 为什么要研究自动控制系统的运动

在第一章已经说过，人们建立一个自动控制系统，其目的是要使用负反馈原理构成闭环系统，对某个物理量进行控制，以求消除这个被控制量对于其控制量的偏差。然而，在构成了负反馈的自动控制系统以后，消除被控量的偏差这一目的是否一定就能达到呢？实践证明：并不一定，要实现一个自动控制系统，仅仅靠第一章的一些初步知识是不够的，还必须研究自动控制系统的运动，才能进一步掌握它的性质，从而实现符合实际需要的可用的系统。

下面我们从几个方面来加以说明。

首先，我们已经知道，在闭合环自动控制系统中，如果被控制量偏大，控制器就自动产生一个作用，使被控制量减小；相反，如果被控制量偏小，控制器产生一个作用使增大。但是，我们还没有深入研究控制器所产生的作用究竟应该满足什么条件。比如，该有多大，该延续多久，该怎样变化等等。这就很不够了。现在我们试来观察秋千，如果把秋千偏离垂线的摆角当作被控制量，秋千的垂

直位置作为平衡位置，那末这就相当于一个定值调节系统。每当秋千摆到南边时，荡秋千的人就用力使秋千向北摆去；相反，当秋千摆到北边时，又用力使它向南摆来，所以秋千可以看作一个负反馈的闭环系统。但是谁都知道，这不但不会消除秋千摆角的偏差，使它在垂直位置上静止下来。相反秋千却愈摆愈剧烈。最后，秋千的摆角竟在垂直位置的两侧形成大幅度的等幅振荡。我们在建立自动控制系统时，如果仅仅注意到负反馈，而不管其他，那就很可能发生类似打秋千的情况：被控制量虽然在偏大时能自动减小，偏小时能自动增大，但却始终不能在平衡位置上静止下来，而老是忽大忽小，愈偏愈严重，直至在平衡位置的两侧形成剧烈的等幅振荡。这种现象在技术上叫做系统不稳定。由此可见，实现了负反馈，并不一定能保证被控制量与控制量相同，负反馈系统有可能由于不稳定而振荡起来。要避免发生这种情况，就必须研究系统的运动。

即使稳定的自动控制系统也不一定就满足技术上的要求。以第一章的火炮随动系统为例。如果目标在运动，火炮就应当自动追踪瞄准。可见，驱动火炮的电动机在整个追踪期间应当不停地转动。但是，要使电动机不停地旋转，就应当在电动机上维持一定的电压才行。要在电动机上维持一定的电压，就必须在放大器的输入端维持一个误差信号，才能实现。这就是说，火炮永远也不能追上目标。因为一追上了目标，误差信号就等于零，电动机就要停转；一停转，火炮就又落后于目标了。这样，当目标在作匀速运动时，执行电动机和火炮虽然以同一速度连续追踪，但必定比目标落后一个固定的角度（图 2-1），依靠这个角差形成放大器输入端的信号电压，以产生控制作用，维持电动机和火炮等速旋转。目标速度愈大，维

持电动机按同一速度追踪，而所需的电压也愈高，这个角差也就愈大。在技术上把这种误差叫做随动系统在恒速运行时的稳态误差。显然，如果稳态误差超过一定限度，就不能保证火炮有起码的命中率，这个随动系统也就没有实用价值了。要避免发生这种情况，也就必须研究系统的运动。

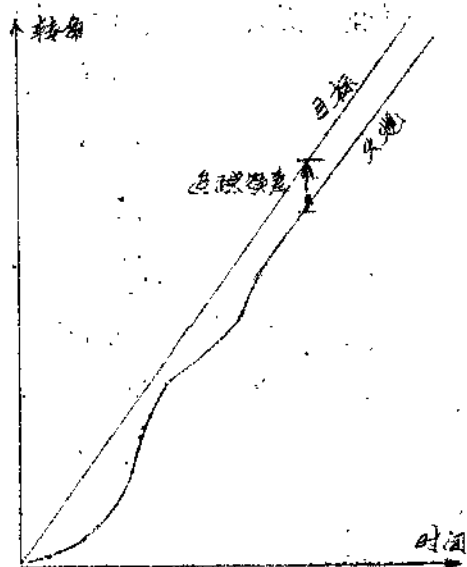


图 2-1

如果我们建立的自动控制系统既是稳定的，稳态误差又不太大，是不是就算成功了呢？还不一定。图 2-2 表示三个随动系统在控制量按照虚线 4 变化时的被控制量的变化情况。显然，系统 1 的被控制量虽然随控制量变化，但变得

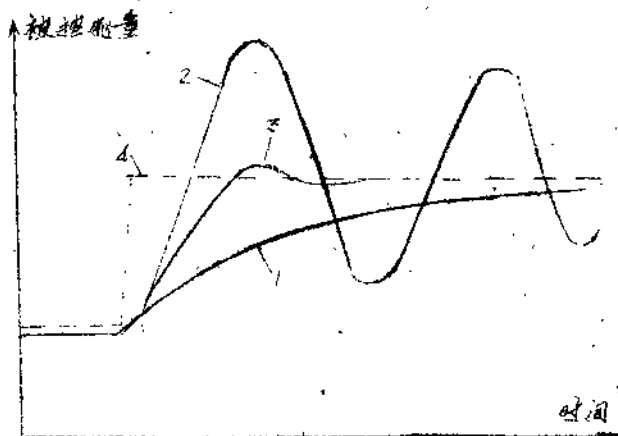


图 2-2

太慢了。系统2的被控制量变化得比1快，但是却不能及时停下来，过了头，要经过好几次振荡才能逐渐在新的稳定值上静止下来。这两个系统都不能使人满意。只有系统3，被控制量不但较快跟上控制量的变化，而且能及时停下，它追踪控制量变化的效果比系统1、2都好。在技术上就说系统3的动态特性（或过渡过程品质）比较好。动态特性太差的自动控制系统，往往也没有实用价值。为了使自动控制系统具有良好的动态特性，也必须研究系统的运动。

由此可见，实用的自动控制系统必须是稳定的，稳态误差要小，动态特性要好。要达到这些目的，必须研究反馈系统的运动。

§ 2-1 线性反馈控制系统的微分方程

从§2-0中我们已经看到，虽然同是负反馈系统，但有的稳定，有的不稳定，有的动态特性好，有的动态特性差。就是同一个负反馈系统，把它的某个参数改变一下，其稳定性和动态特性也会产生很大变化。这些现象都是由于系统内部各物理量之间相互影响，相互制约而造成的，是系统内部矛盾运动在外部的表现形式。所以，要深入研究这些问题，就应当对系统中互相矛盾的诸因素“实行具体的分析”，以便暴露系统运动过程中的矛盾“在其总体上，在其相互联结上的特殊性”。具体来说，就应当从分析反馈系统内部各个物理量的运动规律着手。为此，我们以描述系统内部各物理量之间的相互关系的微分方程作为基本的研究工具。从第一章的例子中可以看到一个自动控制系统是由各种各样的元部件所构成的，对于每一个元部件的内部结构、外部的干扰因素又都是很复杂的。因此要想比较确切地写出表达系统运动规律的微分方程，绝不是一件容

易的事。这必须对元件和系统的构成原理，工作情况有足够的知识和实际经验才行。在这里只是通过一个简单的例子说明一般列写元部件和系统微分方程的步骤和方法。

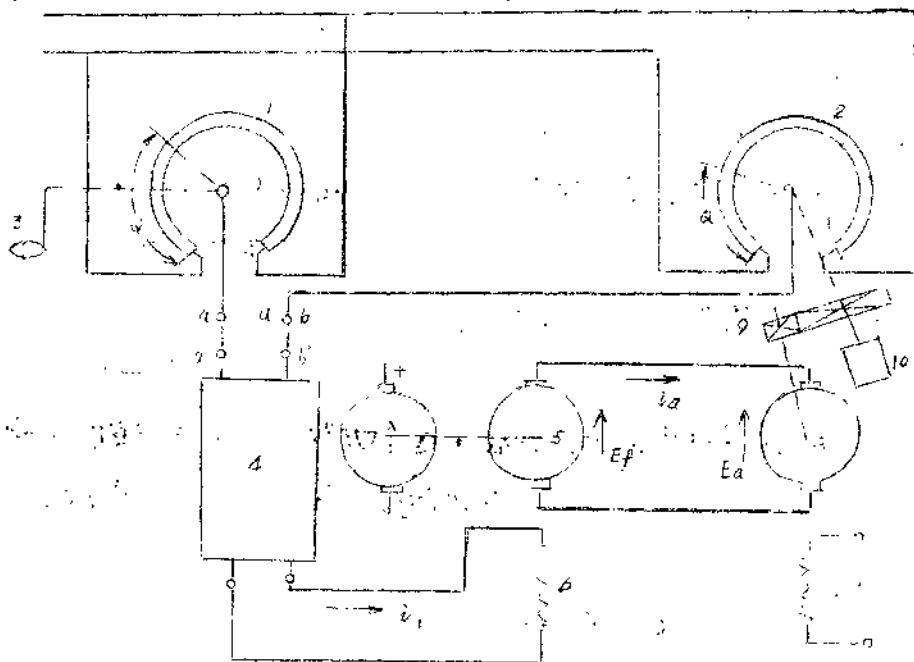


图 2-3

我们以图 2-3 的随动系统为例进行分析。在这个系统中，电位器 1, 2 由同一直流电源供电。电位器 1 由手柄 3 转动，电位器 2 的轴 11 由直流他励电机 8 经过传动机构（如减速齿轮）9 转动（同时驱动负载 10）。两个电位器的滑臂位置分别以角度 ϕ 和 Q 表示。若 Q 不等于 ϕ ，两滑臂的电位就不相等，放大器 4 的输入端 a, b' 就出现信号电压 U ，经过放大后，在直流发电机 5 的激磁绕组 6 中产生激磁电流 i_f ，发电机 5 由原动机 7 驱动。它发出的

电使电动机 8 旋转，带动电位器 2 的滑臂，使 Q 达到与 ϕ 相等。12 是电动机 8 的激磁绕组。

为了分析这个系统，首先将这个系统分为五个组成部分，分别写出描述每一部分的运动规律的微分方程。在这个基础上再写出整个系统的微分方程。

一 电位器：

对它来说，引起运动的原因是手柄 3 和齿轮 9 的旋转，即 ϕ 和 Q 的变化，而运动的结果表现为电压 u_{ab} 。假设在电位器 1 和 2 的每一弧度上的电压为 k_1 ，那么误差电压 u_1 为

$$u_1 = u_{ab} = k_1 \phi - k_1 Q \quad (2-1)$$

这就是系统的这一组成部分的方程。这个方程表明：系统的就一部分的运动原因（由 ϕ 和 Q 体现）与运动的结果（由 u_1 体现）之间的相互关系。

如果我们把 $\varepsilon = \phi - Q$ 看作是系统的误差，则 (2-1) 也可表示为

$$u_1 = k_1 \varepsilon \quad (2-1a)$$

二 放大器：

对于放大器，电压 u_1 成了它的运动的原因，即引起放大器各物理量变化的原因。而运动的结果则表现为它的电流 i_1 ，这个放大器的输出电路中有一个铁芯线圈，即激磁绕组 6。假定我们不考虑这个绕组磁路中磁饱和，磁滞等非线性现象，而把放大器 4 的输出电路中的电磁感应作用以常数 L_1 来表示。 L_1 就是这个电路中的总电感量（主要是绕组 6 的电感量）。我们用 r_1 表示这个电路中的总电阻（即绕组 6 的电阻与放大器 4 的输出电路的内阻之和）。

这样放大器 4 的输出电路就是一个由电感 L_1 和电阻 r_1 串联组成。假定放大器 4 是线性的，即没有饱和。那末我们可以用一个常数 k_2 来表示放大器的电压放大系数。这样，作用于输出电路中的电势就是 $k_2 u_{ab}$ ，于是我们就可以写出这个电路的方程为：

$$L_1 \frac{di_1}{dt} + i_1 r_1 = \frac{k_2}{r_1} u_1 \quad (2-2)$$

式中

$$T_1 = \frac{L_1}{r_1} \quad (2-3)$$

是激磁电路的电磁时间常数。

方程 (2-2) 表示了 i_1 与 u_1 之间的相互关系。如果 u_1 是常数，则 i_1 在过渡过程结束后进入稳态时也是常数。这时 i_1 和 u_1 的关系只要在 (2-2) 式中令 $di_1/dt = 0$ 就可求得。亦即

$$i_1 = \frac{k_2}{r_1} u_1 \quad (2-2a)$$

方程 (2-2) 表明了在这一组成部分中，运动的原因 u_1 与结果 i_1 之间的关系。

三 发电机：

假定我们不考虑非线性因素，那么就可以认为激磁电流 i_1 与发电机内的磁通 φ_f 成正比。进一步说，只要原动机 7 驱动发电机 5 以等速旋转，那么 φ_f 就又与发电机电枢的电势 E_f 成正比。以 k_3 表示比例系数，就可以写出这一部分的方程为：

$$E_f = k_3 i_1 \quad (2-4)$$

四 电动机：

对于直流电动机 8。可以认为，引起它的各物理量变化的原因

是作用于电枢电路中的电势 E_f ，以及作用于电动机轴上的负载力矩，而变化的结果则表现为电动机的转速。

以 E_a 表示电动机 S 的电枢中反电势， i_a 表示电枢电流， L_a 表示电枢电路中的总电感（主要是发电机电枢电感和电动机电枢电感的总和）， r_a 表示电枢电路中的总电阻（主要是发电机电枢电阻和电动机电枢电阻的总和）， M 表示电动机的电磁力矩， M_c 表示作用于电动机轴上的外力矩（包括摩擦力矩，负载力矩等），它的方向与 M 相反， J 表示作用在电动机转子轴上的总转动惯量（包括转子本身的转动惯量及负载和传动机构折算到转子轴上的转动惯量）， Ω 表示电动机轴的转速，我们可以写出电动机的两个基本方程。第一个是电路方程：

$$E_f = L_a \frac{di_a}{dt} + r_a i_a + E_a \quad (2-5)$$

或

$$T_a \times \frac{di_a}{dt} + i_a = \frac{1}{r_a} (E_f - E_a) \quad (2-5a)$$

式中

$$T_a = \frac{L_a}{r_a}$$

第二个是动力学基本方程：

$$M = M_c + J \frac{d\Omega}{dt} \quad (2-6)$$

除这两个基本方程以外，还有两个表明电动机结构特征的公式。一个是电势公式：

$$E_a = \frac{P N}{2 \pi a} \varphi_d \Omega \quad (2-7)$$

另一个是力矩公式：

$$M = \frac{P N}{2 \pi a} \varphi_d i_a \quad (2-8)$$

式中 P 为电动机的对数

N 为电动机电枢绕组有效导体数

a 为电动机电枢绕组支路数

φ_d 为电动机每个磁极下的磁通量 (韦伯)

我们把这两个公式右边包含电动机结构参数的部分用 k_d 表示

$$k_d = \frac{P N}{2 \pi a} \varphi_d \quad (2-9)$$

那么 (2-6) 和 (2-7) 就可表示为

$$E_a = k_d \Omega \quad (2-10)$$

$$M = k_d i_a \quad (2-11)$$

k_d 称为他激直流电动机的比例常数，它仅仅取决于电动机本身的结构参数和激磁磁通。

以上得到的 4 个式子 (2-5a), (2-6), (2-10), (2-11) 就是描述直流他激电动机的运动规律的。其中，电势 E_f 和力矩 M_c 是从外部加在电动机上的，是引起电动机运动的原因；除此以外，这 4 个式子共包含 E_a , i_a , M 和 Ω 等 4 个变量，它们描述电动机运动的状态。为了简化以后的分析，我们把这 4 个式子合并成为 1 个，同时消去 E_a , i_a , M 等 3 个次要变量，只留下 1 个变量，即转速 Ω 来描述电动机的运动。

以(2-10)代入(2-5a),得

$$T_a \frac{di_a}{dt} + i_a = \frac{1}{r_a} (E_f - k_d \Omega) \quad (2-12)$$

以(2-11)代入(2-6),得

$$k_d i_a = M_c + J \frac{d\Omega}{dt} \quad (2-13)$$

从(2-13)解出 i_a , 代入(2-12),得

$$\frac{T_a}{k_d} \left(\frac{dM_c}{dt} + J \frac{d^2\Omega}{dt^2} \right) + \frac{1}{k_d} (M_c + J \frac{d\Omega}{dt}) = \frac{1}{r_a} (E_f - k_d \Omega)$$

从(2-14)全式乘以 r_a/k_d 得

$$T_a \frac{J r_a}{k_d^2} \frac{d^2\Omega}{dt^2} + \frac{J r_a}{k_d^2} \frac{d\Omega}{dt} + \Omega = \frac{1}{k_d} E_f - \left(T_a \frac{r_a M_c}{k_d} + \frac{r_a}{k_d^2} M_c \right) \quad (2-15)$$

进一步得

$$T_a T_m \frac{d^2\Omega}{dt^2} + T_m \frac{d\Omega}{dt} + \Omega = \frac{1}{k_d} E_f - \frac{1}{J} \left(T_a T_m \frac{dM_c}{dt} + T_m M_c \right) \quad (2-16)$$

式中:

$$T_a = \frac{L_a}{r_a} \quad (2-17)$$

称为直流电动机电枢电路的电磁时间常数。

$$T_m = \frac{J r_a}{k_d^2} \quad (2-18)$$

称为直流电动机的机电时间常数。

方程(2-16), (2-17), (2-18)在研究直流电动机的运

动时是很常用。

在很多情况下， L_a 相当小，所以 T_a 很小，这时可以认为 $T_a \cong 0$ ，从而式 (2-16) 简化成一阶微分方程：

$$T_m \times \frac{d\Omega}{dt} + \Omega = \frac{1}{k_d} E_f - \frac{T_m M_c}{J} \quad (2-19)$$

亦以

$$T_m \frac{d\Omega}{dt} + \Omega = \frac{1}{k_d} (E_f - r_a \frac{M_c}{k_d}) \quad (2-20)$$

这个方程也是常用的。

如果在 (2-20) 中令 $\frac{d\Omega}{dt} = 0$ ，就得到电动机匀速旋转时 Ω 与 E_f 、 M_c 的关系：

$$\Omega = \frac{1}{k_d} (E_f - r_a \frac{M_c}{k_d}) \quad (2-20a)$$

在电动机匀速旋转时，显然 $M = M_c$ ，因此 (2-20a) 可以改写为

$$\Omega = \frac{1}{k_d} (E_f - r_a \frac{M}{k_d}) \quad (2-21)$$

利用 (2-10) 和 (2-11)，又可以化为

$$E_a = E_f - r_a i_a \quad (2-22)$$

这就是电路基本方程 (2-5a) 在 $T_a = 0$ 时的情况。

三 传动机构：

对于传动机构，引起它运动的原因是电动机的旋转，结果则表现为电位器 2 的轴 11 的旋转。我们用 k_s 表示传动机构的变速比，则电位器 2 的轴 11 的转速就是 $k_s \Omega$ ，而其转过的角度 Q 为

$$Q = \int (k_s \Omega) dt \quad (2-23)$$

$$\text{或} \quad \frac{dQ}{dt} = k_0 \Omega \quad (2-24)$$

以上我们列出了 5 个方程 (2-1), (2-2), (2-4), (2-16) (或 (2-20)) 和 (2-24), 分别描述随动系统的各个组成部分的运动。其中, 电位器 1 的转角 ϕ 和力矩 M_c 是从外部加在整个系统上的, 可以看作引起系统运动的外因。除此以外, 这 5 个方程共包含 Q, u_1, i_1, E_f 和 Ω 等 5 个变量, 并以这些变量描述系统中各物理量的运动状态。方程的数目与变量的数目相等, 因此一般说在确定的初始条件下可以求出这个方程组的确定的解。这样, 这 5 个方程也就是描述图 2-3 所示的整个随动系统的方程组。

为了方便起见, 往往把上述方程组合成一个方程。为此从以上 5 个方程中消去 4 个次要变量 u_1, i_1, E_f 和 Ω , 而只保留一个 Q 。这时最方便的办法是利用算符, 就是把算符

$$P^n = \frac{d^n}{dt^n} \quad (n=1, 2, 3 \dots)$$

代入方程, 并暂时把 P 当作普通的系数处理。这时方程组 (2-1), (2-2), (2-4), (2-20), 和 (2-24) 就可以分别写成以下形式:

$$k_1 Q + u_1 = k_1 \phi \quad (2-1b)$$

$$-\frac{k_2}{r_1} u_1 + (T_1 P + 1) k_1 = 0 \quad (2-2b)$$

$$-k_3 i_1 + E_f = 0 \quad (2-4b)$$

$$\frac{1}{k d} E_f + (T_m P + 1) \Omega = \frac{r a}{k d} M_c \quad (2-20b)$$

$$P Q - k_0 \Omega = 0 \quad (2-24b)$$

消去其中的 u_1, i_1, E_f 和 Ω , 得到 1 个关于 Q 的方程

$$\begin{aligned}
 & T_1 T_m P^3 Q + (T_1 + T_m) P^2 Q + P Q + k_1 \left(\frac{k_2}{r_1}\right) k_2 \left(\frac{1}{k_d}\right) k_3 Q \\
 & = k_1 \left(\frac{k_2}{r_1}\right) k_2 \left(\frac{1}{k_d}\right) k_3 \phi - k_1 \frac{r_d}{k^2 d} (T_1 (PM_c) + M_c)
 \end{aligned}
 \quad \dots\dots (2-25)$$

也就是

$$\begin{aligned}
 & T_1 T_m \frac{d^3 Q}{dt^3} + (T_1 + T_m) \frac{d^2 Q}{dt^2} + \frac{dQ}{dt} + k_1 \left(\frac{k_2}{r_1}\right) k_2 \left(\frac{1}{k_d}\right) k_3 Q \\
 & = k_1 \left(\frac{k_2}{r_1}\right) k_2 \left(\frac{1}{k_d}\right) k_3 \phi - k_1 \frac{r_d}{k^2 d} \left(T_1 \frac{dM_c}{dt} + M_c\right)
 \end{aligned}
 \quad \dots\dots (2-26)$$

对于已知的 $\phi(t)$ 和 $M_c(t)$ 和确定的初始条件, 就可以解出 $Q(t)$ 的变化规律。利用上述方程组又可以解出 $a_1(t), i_1(t), E_f(t), \Omega(t)$ 。如果再利用电动机原方程组 (2-5), (2-6), (2-10), (2-11), 还可进一步求出电动机的各物理量的变化规律 $E_a(t), i_a(t)$ 和 $M(t)$ 等。

在方程 (2-26) 中有一个系数

$$k_1 \left(\frac{k_2}{r_1}\right) k_2 \left(\frac{1}{k_d}\right) k_3$$

我们在此顺便讨论一下它的含义。

我们设想在图 2-3 中把轴 11 与电位器 2 之间的连接拆断, 即将闭系统暂时变成开环系统, 再设 ϕ 和 Q 不相等, 其差为常数 ε 。这时, 由于误差信号电压 u_1 的作用, 电动机 8 就将带着轴 11 旋转不停。它的转速显然与误差信号电压 u_1 有关, 其关系可

以这样来分析：

由于角差 ε_0 是常数，所以误差信号电压 u_1 也是常数，由 (2-1a)，此时

$$u_1 = k_1 \varepsilon_0$$

因此， k_1 就是误差信号电压 u_1 与角差 ε_0 之间的比例系数。每增加 1 弧度， u_1 就相应地增加 k_1 伏，同样，从 (2-2a) 可见， k_2/r 乃是激磁电流 i_1 为常数时 i_1 与 u_1 之间的比例系数。从 (2-4) 可见， k_3 是电势 E_f 和 i_1 之间的比例系数。从 (2-20a) 可见，如果 M_c 没有变化， E_f 每增加 1 伏，电动机匀速旋转时的转速 Ω 将相应增加 $(1/k_d)$ 弧度/秒。因此， $(1/k_d)$ 是 Ω 与 E_f 之间的比例系数。最后， k_4 乃是轴 II 的转速与电动机转速 Ω 之间的比例系数。现在可以看出，角差 ε_0 每增加 1 弧度，轴 II 的转速的相应增加量应是所有这些比例系数的连乘积。我们称它为这个系统的开环放大系数，记作 K ，即

$$K = k_1 \left(\frac{k_2}{r} \right) k_3 \left(\frac{1}{k_d} \right) k_4 \quad (2-27)$$

既然 K 是转速与角度的比，所以它的量纲是 [时间] $^{-1}$ ，单位是秒 $^{-1}$ 。

这样 (2-26) 可以改写为

$$\begin{aligned} T_1 T_m \frac{d^3 Q}{dt^3} + (T_1 + T_m) \frac{d^2 Q}{dt^2} + \frac{dQ}{dt} + KQ = \\ K\Phi - k_4 \frac{r c}{k_d} \left(T \frac{dM_c}{dt} + M_c \right) \end{aligned} \quad (2-26a)$$

从上面的分析可以看出，图 2-3 所示的系统的运动规律可以用一个常系数线性微分方程来描述。我们称这类系统为线性系统。