按照系统方框图列写传递函数的简便方法

韩 九 洲

Ⅰ 前 言

各种不同系统的方框图差别可能很大，它们的传递函数也不相同。但是，其传递函数有共同的规律，可以归纳成一个公式。根据这个公式来列写系统的总传递函数是很方便的。

这个公式是1961年归纳出来的，经十八年的实践经验证明，对于任意复杂的系统，包括空间交叉系统都是适用的。

下面先介绍公式的内容，然后举几个简单的应用例题。

Ⅱ 公式内容

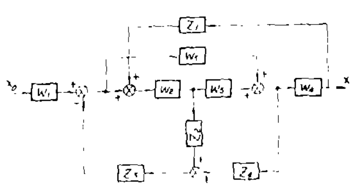
为了阐述方便，引入“直通路”和“环通路”的概念。

从系统的输入端到输出端，信号直接通过的连续的一串环节，称为从输入端到输出端的一条直通路，简称直通路。

若某直通路中有几个环节并联，则其中每个并联的环节和该直通路中其余的环节都构成一条直通路。

直通路也就是除掉系统中所有反馈环节而剩下的开环系统。相当于多级放大。

图 1 为某系统的方框图，每个方框表示一个环节，方框内的文字符号，表示该环节的传递函数，连接线上的箭头，表示信号流动的方向。



（图 1 ）

可以看出，图 1 系统有两条直通路，第一条直通路是由 W_1、W_2、W_3、W_4四个环节构成的信号通路；第二条直通路是由 W_1、W_5、W_4构成的信号通路。

每条直通路中所有环节的传递函数之乘积，称为直通路传递函数。用 P_i 表示第 i 条直通路的传递函数，如果该直通路中有 r 个环节，假设它们的传递函数分别为 W_1、W_2……W_r，则该直通路传递函数为：

$$P_i=\prod_{k=1}^{r} W_k \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

例如图 1 系统，第一直通路传递函数为：

$$P_1=\prod_{k=1}^{4} W_k=W_1W_2W_3W_4$$

第二直通路传递函数为：

$$P_2=W_1W_5W_4$$

反馈环节与直通路（或直通路的部分环节）构成的闭合通路，称为该系统的一个闭合环通路，简称环通路。

图 1 系统有 4 条环通路，第一条环通路是由反馈环节 Z_1 和直通路中的 W_2、W_3、W_4 构成的信号环通路；第二条环通路是由 Z_2、Z_3 和 W_3 构成的信号环通路；第三条环通路是由Z_4、Z_3和 W_2、W_3构成的信号环通路；第四条环通路是由 Z_4、Z_3和W_5 构成的信号环通路。

要注意，环通路必须同时具有“闭合”和“通”两个性质。图中 Z_2、Z_4 和W_3构成的闭合回路，因为信号不通，所以不是环通路。同理，Z_2、Z_3、W_5、W_3 所构成的闭合

回路和W_2、W_3、W_5所构成的闭合回路，也都不是环通路。另外，环路中只少要包括一个为其它环路所没有的新环节，该环路才是独立的。而列写系统传递函数时，只有独立环路才有讨论价值。上述图1中的四个环路都是独立的。

若某环通路中，有几个环节并联，则其中每个并联的环节和该环通路中其余的环节都构成一个环通路（参看应用例题）。

环通路中所有环节的传递函数之乘积，称为环通路的开环传递函数。对于反馈环节传递函数的符号，做如下规定：正反馈用“+”号表示（如图1中Z_2的输出端），负反馈用“-”号表示（如图1中Z_3的输出端）。

如果第j条环通路中有q个环节，传递函数分别为Z_1、Z_2……Z_q，则该环通路的开环传递函数L_j为：

$$L_j=\prod_{s=1}^{q} Z_s \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

例如图1系统中各环通路的开环传递函数分别为：

$$L_1=Z_1W_2W_3W_4$$
$$L_2=-Z_2Z_3W_2$$
$$L_3=-Z_3Z_4W_2W_3$$
$$L_4=-Z_3Z_4W_5$$

假设某系统有n条直通路，m条环通路，则整个系统的传递函数计算公式为：

$$K=\frac{\sum_{i=1}^{n} P_i}{1-\sum_{j=1}^{m} L_j} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

就是说，任意系统的传递函数为一有理分式：分子为所有直通路传递函数的代数和；分母为“1”减去所有环通路开环传递函数的代数和。

例如图1系统的总传递函数为：

$$K=\frac{\sum_{i=1}^{2} P_i}{1-\sum_{j=1}^{4} L_j}$$

$$=\frac{P_1+P_2}{1-(L_1+L_2+L_3+L_4)}$$

$$=\frac{W_1W_2W_3W_4+W_1W_4W_5}{1-Z_1W_2W_3W_4+Z_2Z_3W_2+Z_3Z_4W_2W_3+Z_3Z_4W_5}$$

当系统中某一个环节的传递函数趋于无限大时，也可以用这个公式，只要将该传递函数代入这个公式，然后对它求极限，即得到系统的传递函数。

若直通路的某环节的传递函数为无限大，可以用罗毕达法则对它求极限。(参看应用例题3)。

如果某系统没有反馈环节，环通路传递函数的代数和为O，即

$$\sum_{j=1}^{m} L_j=O,$$

则系统传递函数公式(3)将为：

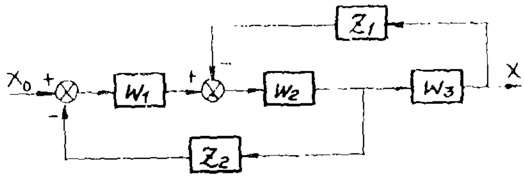
$$K=\frac{\sum_{i=1}^{n} P_i}{1-\sum_{j=1}^{m} L_j}$$

$$=\sum_{i=1}^{n} P_i \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

就是说，只有直通路的系统，总的传递函数等于各直通路传递函数的代数和。

Ⅲ　应用举例

例1，求图2系统的传递函数。



（图2）

只有 W_1、W_2、W_3、构成的一条直通路，该直通路传递函数为：

$$P=\prod_{k=1}^{3}W_k=W_1W_2W_3$$

两条环通路，分别由 Z_1、W_2、W_3 及 Z_2、W_1、W_2 构成。由于 Z_1 和 Z_2 都是负反馈，故两环通路传递函数分别为：

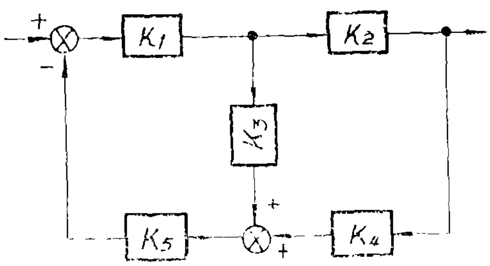
$$L_1=-Z_1W_2W_3$$

$$L_2=-Z_2W_1W_2$$

把 P、L_1和L_2代入公式（3），得系统的传递函数，为：

$$K=\frac{P}{1-(L_1+L_2)}=\frac{W_1W_2W_3}{1+Z_1W_2W_3+Z_2W_1W_2}$$

例2，求图3系统的传递函数。



（图3）

有一条直通路，传递函数为：

$$P=K_1K_2$$

有两条环通路，传递函数分别为：

$$L_1=-K_1K_3K_5$$

$$L_2=-K_1K_2K_4K_5$$

把 P、L_1 和 L_2 代入公式（3）得到总传递函数为：

$$K=\frac{K_1K_2}{1+K_1K_3K_5+K_1K_2K_4K_5}$$

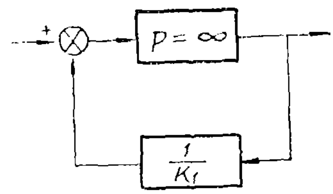
注意，虽然K_2、K_4和 K_3 也构成闭合回路，但是不通，所以不是环通路。

例3，求图4系统的传递函数。

有一条直通路，其传递函数为：

$$P=\infty$$

有一条环通路，其传递函数为：



（图4）

$$L=-\frac{1}{K_1}\qquad P=-\frac{1}{K_1}\infty$$

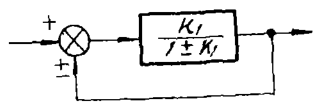
把 P 和 L 代入公式(3)得到：

$$K=\frac{P}{1+\frac{1}{K_1}P}=\frac{K_1\infty}{K_1+\infty}$$

结果是不定型，因而要利用罗毕达法则求极限，将上式右端分子分母分别对 P 求导数，且令 $P\to\infty$，则得系统传递函数为：

$$\lim_{P\to\infty}\frac{P'}{\left(1+\frac{1}{K_1}\cdot P\right)'}=K_1$$

例4，求图5系统的传递函数。



（图5）

有一条直通路，其传递函数为：

$$P=\frac{K_1}{1\pm K_1}$$

有一条环通路，反馈环节为一条连线。凡是直接连线，都可以认为传递函数为“1”。故环通路传递函数为：

$$L=\pm 1$$

把P和L代入公式（3）则得到系统传递函数为：

$$K=\frac{\frac{K_1}{1\pm K_1}}{1-\left(\pm 1\cdot\frac{K_1}{1\pm K_1}\right)}$$

$$=\frac{\frac{K_1}{1\pm K_1}}{1\mp\frac{K_1}{1\pm K_1}}$$

（下转38页）

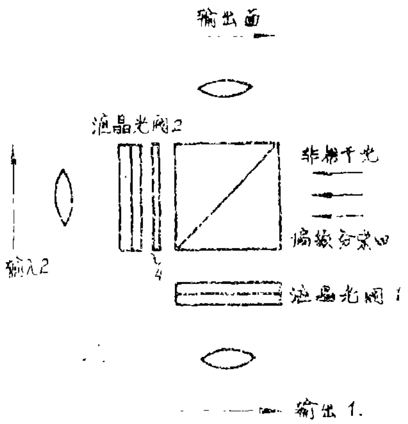


图34　在输出面上，垂直方式（$LCLV_1$）直互补方式（$LCLV_2$）图象同时重迭的装置

第二个按通常的正常方式结构放置（图35（d））。它们的重迭提供相减显示（图35（e））。

这个工作之所以重要是因为它有仅用非相干光源得到实时图象相减的能力，及同时提供合成信号符号的能力。而所有其他相减方案都不能提供相减后的符号

Ⅵ　结　　论

这里我们已经介绍了液晶光阀和它在实时相干光学数据处理方面的应用。因为设计的多用性和可达到的高性能，液晶光阀已成为重要的器件，围绕着光阀已经发展了各种用于投影显示和光学数据处理（ODP）的系统。

根据投影显示设备的强烈要求，这些器件正进入样机生产阶段。这对不断增加光阀在光学数据处理方面的应用是很重要的，这将有效的减少器件的费用而增加器件的利用率。

光学数据处理光阀的重点是改进光学质量平直度，响应的均匀性和调制传递函数。此外，用户的意见必将用到更富有成果的研究中去（注本文的照片删掉，请看原文）

译自 "*Optical Engineering*" *Vol*, 17, *No*, 4, *P*371, 1978.

〔吴桂英　译　张宪英　董玉芝　校〕

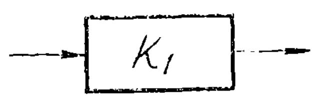
（上接3页）

$$= \frac{K_1}{1 \pm K_1 \mp K_1} = K_1$$

图4系统和图5系统，表面看来不相同，但是，求出它们的传递函数都是：

$$K = K_1$$

这样，它们都和图6系统等效，即两个系统都可以简化为图6的简单系统。是一个放大倍数为K_1的放大器。



（图6）

从这几个简单例题可以看出，用公式（3）列写系统传递函数是很方便的。而且，系统越复杂，就越显得简单，也很好记忆。实践证明，用本文所述公式求出的系统传递函数与用控制理论中基本方法所得结果是完全一致的。