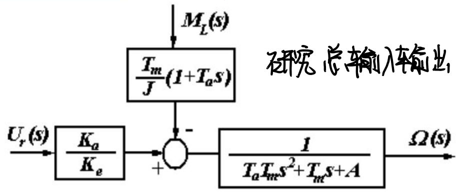
方块图：

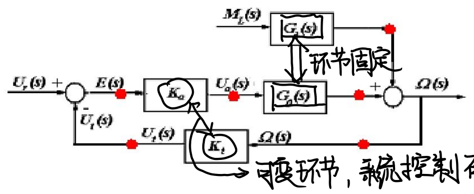
1、定义
以传递函数为基础的图解模型，又称为结构图或方框图
→ 线性定常系统 ⇒ 多输入可分离讨论后叠加

2、组成
方块、带箭头的线段、综合点和引出点组成
→ 运算/功能，单向运算
→ 信号线，信号流向，指向方块表输入，离开方块表输出
→ 对两个以上信号加减运算（相加点）
★ 单位相同
→ 信号测量位置/同一信号可同时传递到不同位置（分支点）

3、绘制
建立系统方块图的步骤如下：
确定系统的输入量和输出量
建立原始的微分方程和代数方程 ⇒ 不需要消除中间变量，将中间变量根据传递关系一个个串联起来
对每个原始方程拉氏变换并作出相应的子方块图（方块内的传函在物理上应当可实现）
★ 置系统的输入变量于左端，输出变量于右端
按系统各变量传递顺序，依次将各子方块图连接起来
中间变量
★ 方块图给出组成系统各元件间信号的传递关系，便于研究某元件变化对系统的影响

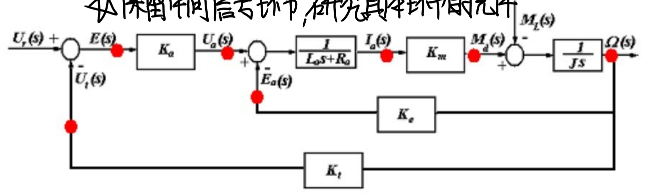


研究总输入输出



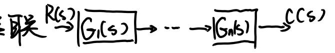
可变环节，系统控制研究对象

★ 保留中间信号环节，研究具体环节的元件



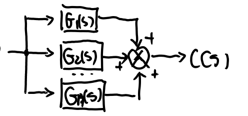
4、化简

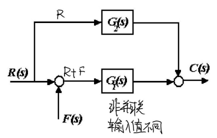
(1) 串联



$G(s)=G_1(s)\cdots G_n(s)$

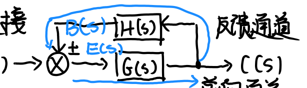
(2) 并联





$G(s)=G_1(s)+G_2(s)+\cdots+G_n(s)$

(3) 反馈连接



H(s)=1 时称为单位反馈

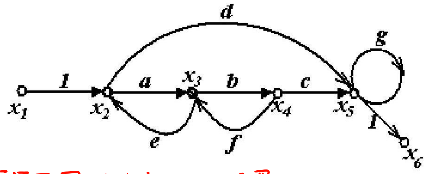
$E(s)=R(s)\pm B(s)$
$B(s)=H(s)C(s)$
$C(s)=G(s)E(s)$

$$G'(s)=\frac{G(s)}{1\mp G(s)H(s)}=\frac{C(s)}{R(s)}$$ ("-"对应正反馈)

(4) 综合点与引出点移动 ⇒ 保证信号不变
综合点 ① 前移：在移动支路上除以综合点跨越模块的传函
② 后移：在移动支路上乘综合点跨越模块的传函
引出点 ⇒ 与综合点规律相反
★★ 消除交叉回路 ⇒ 引出点/综合点相互靠近
由内到外进行合并
相邻同种点可互换位置

简化方块图求总传递函数的一般步骤：
- 确定输入量与输出量；
  - 如果作用在系统上的输入量有多个（分别作用在系统的不同部位），则必须分别对每个输入量逐个进行结构变换，求得各自的传递函数。
  - 对于有多个输出量的情况，也应分别变换。
- 若结构图中有交叉关系，移动综合点或者引出点（原则是向同类移动）将交叉消除，化为无交叉的多回路结构。
- 对无交叉的多回路结构，可由内向外进行变换，直至变换为一个等效的方块，即得到所求的传递函数。

Mason 公式与信号流图组成



1、信号流图由节点和支路组成的信号传递网络
节点 → 变量/信号，值等于所有进入该节点的信号之和，用"○"表示、
支路 → 连接两节点的定向线段，用支路增益/传递函数表示方程式中两变量因果关系。支路相当于乘法器。
信号在支路上沿箭头单向传递（类似结构图中方块）

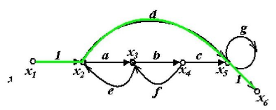
2、信号流图与常用术语
输入节点（源节点）：只有输出支路的节点称为输入节点。一般表示系统输入变量
混合节点：既有输入支路又有输出支路的节点。代替方块图中的综合点
输出节点（阱节点 sink）：只有输入支路的节点称为输出节点。一般表示系统输出变量
→ 引出一条具有单位增益支路，可将混合节点变为输出节点、

➢ 通路：从某一节点开始沿支路箭头方向经过各相连支路到另一节点所构成的路径称为通路；如 x_1-x_4 通路
通路中各支路增益的乘积叫做通路增益；如 x_1-x_4 通路增益为ab

前向通路：是指从输入节点开始并终止于输出节点且与经过节点相交不多于一次的通路；该通路的各增益乘积称为前向通路增益。

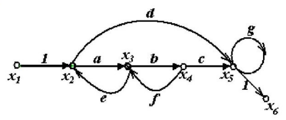
前向通路增益为abc
前向通路可能不止一条

前向通路增益为d



➢ 回路：通路的终点就是通路的起点，并且与任何经过节点相交不多于一次的通路称为回路。回路中各支路增益的乘积称为回路增益。
如 x_2-x_3-x_2 回路增益为ae。

➢ 不接触回路：一信号流图有多个回路，各回路之间没有任何公共节点，则称为不接触回路，反之称为接触回路。
回路 x_2-x_3-x_2 和回路 x_5-x_5 为不接触回路
回路 x_2-x_3-x_2 和回路 x_3-x_4-x_3 为接触回路



3、用Mason公式求传递函数，不经任何结构变换即可得到系统传函
★ 只适用于输入输出结点

$$G(s)=\frac{\sum_{k=1}^{m}P_k\Delta_k}{\Delta}$$

G(s) → 传递函数
m → 输入到输出的所有前向通路条数
P_k → k条前向通路增益
Δ_k → 将k条前向通路相接触的回路除掉后余下的Δ，称为余子式
Δ → 特征式

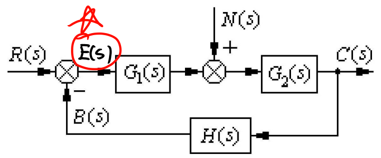
$$特征式\ \Delta=1-\sum_{1}^{n}L_i+\sum_{1}^{n_2}L_iL_j-\sum_{1}^{n_3}L_iL_jL_k+\cdots$$

→ 包括代表反馈正负的正负号
$\sum L_iL_j$：两两互不接触回路增益乘积之和
$\sum L_iL_jL_k$：三三互不接触回路增益乘积之和

典型传函

控制系统会受两类输入信号的影响
- 有用信号/输入信号/给定值/参考输入，r(t)表示
- 扰动/干扰，n(t)表示

典型结构

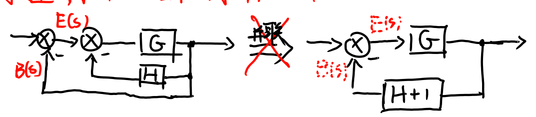


跟踪性能 $\frac{C(s)}{R(s)}$
抗干扰性能 $\frac{C(s)}{N(s)}$

常见系统传递函数
1、系统开环传递函数：前向通路传函（$G_1(s)G_2(s)$）与反馈通路传函（$H(s)$）的乘积，指闭环系统在开环时的传递函数 ——★ 叠加定理

$$G_K(s)=\frac{B(s)}{E(s)}=G_1(s)G_2(s)H(s)$$ → 中间变量，求开环传函，化简不能消去E(s)、B(s)

开环零点：$G_K(s)$ 分子为0的根
开环极点：$G_K(s)$ 分母为0的根



2、r(t)作用下系统的闭环传递函数 $\frac{C(s)}{R(s)}$
令n(t)=0，有
$$G_B(s)=\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{G_1(s)G_2(s)}{1+G_1(s)G_2(s)H(s)}$$

3、n(t)作用下系统的扰动闭环传递函数
求c(t)对n(t)间的传递函数，令r(t)=0
$$\frac{C(s)}{N(s)}=G_n(s)=\frac{G_2(s)}{1+G_1(s)G_2(s)H(s)}$$

4、参考输入的误差闭环传递函数 $\frac{E(s)}{R(s)}$
被控量c(t)测量装置的输出b(t)和给定输入r(t)之差被称为系统误差e(t)
$e(t)=r(t)-b(t)$ 或 $E(s)=R(s)-B(s)$
E(s)为图中综合点输出量的拉氏变换
$$G_e(s)=\frac{E(s)}{R(s)}=\frac{1}{1+G_1(s)G_2(s)H(s)}$$

5、n(t)作用下系统的误差扰动传递函数 E(s)/N(s)
令r(t)=0可得
$$G_{en}(s)=\frac{E(s)}{N(s)}=-\frac{G_2(s)H(s)}{1+G_1(s)G_2(s)H(s)}$$

6、闭环系统的特征方程 ★稳定性★
上面导出的四个传递函数表达式分母一致，均为
$1+G_1(s)G_2(s)H(s)$
闭环控制系统各种传函的规律性，令闭环传函分母多项式为0
$D(s)=1+G_1(s)G_2(s)H(s)=0$
称为闭环系统的特征方程，可将上式改写成如下形式
$D(s)=s^n+a_{n-1}s^{n-1}+\cdots+a_1s+a_0=0$
特征方程的根称为特征根/闭环系统的极点