

$$\begin{aligned}
 G(s) &= \frac{U(s)}{E(s)} \\
 &= K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s \\
 &= \frac{K(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}{s}
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

其中， $K_p e(t)$ 为比例环节，随着 K_p 的增加，可以更好地减小偏差，但同时 K_p 还影响系统的稳定性， K_p 增加通常导致系统的稳定性下降，过大的 K_p 往往使系统产生剧烈的震荡和不稳定。

$K_I \int_0^t e(t)dt$ 为积分环节，消除系统静态误差，作用的强弱由 K_I 决定， K_I 越大，积分作用越强，反之则越弱，但同时积分环节也可能增大系统超调量。

$K_D \frac{de(t)}{dt}$ 为微分环节，针对被测量的变化速率来进行调节，预测偏差信号的变化趋势，在其出现较大变化之前引入修正信号与之低效，从而减小系统的调节时间。

4.2 实验分析

实验室倒立摆控制系统结构图如图 4.2所示。

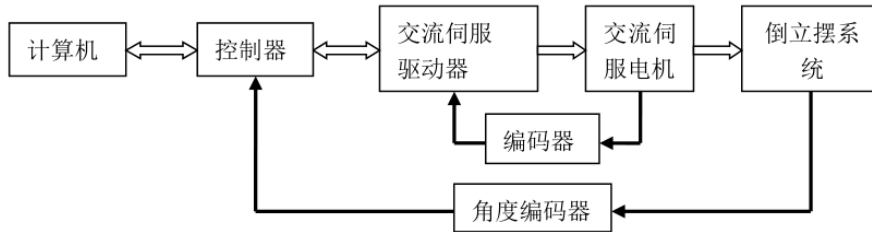


图 4.2 实验室倒立摆控制系统结构图

修改PID各项参数，通过角度编码器测量摆杆的摆动角度，通过伺服电机控制小车的位移速度和加速度，通过控制器利用摆杆的惯性力控制摆杆的位移速度和加速度，从而控制摆杆的角度，最终可以实现直线倒立摆的竖直稳定。

当其受到外界干扰时，在干扰停止作用后，系统能够很快地回到平衡位置。但是，整个控制系统中并无小车位移的反馈，只能通过角度编码器获取摆杆的角度，通过传动比转换近似得到小车的位移。因此，PID控制器无法对小车的位置偏差进行修正，不能对小车的位置进行控制，当受到扰动时，小车会沿滑轨一直向扰动方向运动，撞到滑轨边缘，无法恢复到初始平衡位置。后续考虑使用其它控制方法，既能实现直线倒立摆的竖直稳定，又可以控制小车位置的稳定不变。