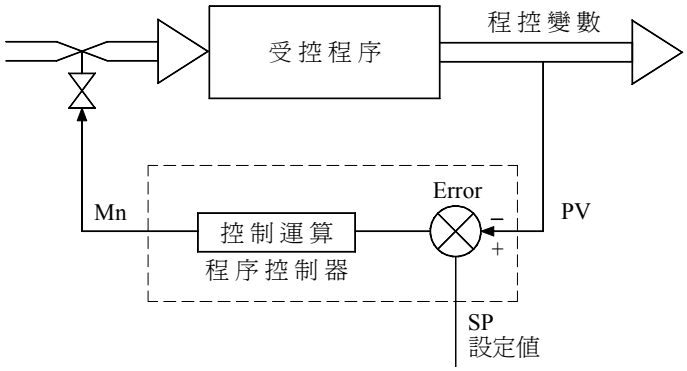
第 21 章：FBs-PLC 之泛用 PID 控制

21.1 PID 控制简介

一般常见之过程控制应用，只要控制组件加工精度够或是控制反应之重现性够好，开回路控制已可满足大部份之应用需求，而且简单容易、成本低廉是最大优点；但随着使用时间、组件特性变化或受控负载或外界工作环境之变异，开回路控制因为没有忠实将受控程序之实际量回馈至控制器，因此控制结果可能与实际期望之结果会有些许落差，闭回路 PID 过程控制是用来克服解决上述缺失的极佳选择。

FBs-PLC 提供软件数字化之 PID 数学表达式，对于一般反应之闭回路过程控制足可应付所需，但对于需快速反应之闭回路控制欲使用本功能需事先评估是否适用。典型之闭回路程控示意图如下图所示：



21.2 控制器选择

根据应用需求，使用者可将 PID 控制器设定成比例式控制、比例+积分控制器或比例+积分+微分控制器；各类控制器之数学式与特性说明如后。

21.2.1 比例式控制器

数字化数学表达式如下：

Mn=(D4005/Pb)×(En)+Bias

Mn ：〝n〞时之控制输出量
D4005：增益常数，内定值为 1000；可设定范围为 1～5000
Pb ：比例带（范围：1～5000，单位为 0.1%；Kc(增益)=D4005/Pb）
En ：〝n〞时之误差=设定值（SP）–〝n〞时之程控变数值（PVn）
Ts ：比例运算之间隔时间（范围：1～3000，单位：0.01S）
Bias ：偏置输出量（范围：0～16383）

比例式控制器运算简单省时，大部份之应用足可胜任；缺点是当设定值有变更时，必须调整偏置输出量（Bias）以消除稳态误差。

21.2.2 比例+积分控制器

数字化数学表达式如下：

$$Mn=(D4005/Pb)\times(En)+\sum_{0}^{n}[(D4005/Pb)\times Ti\times Ts\times En]+Bias$$

Mn ：〝n〞时之控制输出量

D4005：增益常数，内定值为 1000；可设定范围为 1～5000

Pb ：比例带（范围：1～5000，单位为 0.1%；Kc(增益)=D4005/Pb）

En ：〝n〞时之误差=设定值（SP）－〝n〞时之程控变数值（PVn）

Ti ：积分时间常数（范围：0～9999，相当于 0.00～99.99 Repeats/Minute）

Ts ：比例+积分运算之间隔时间（范围：1～3000，单位：0.01S）

Bias：偏置输出量（范围：0～16383）

加上积分项之控制器可以消除只有比例式控制器时所产生之稳态 Offset，也就是说可以自动消除稳态误差。偏置输出量（Bias）可以为 0。

21.2.3 比例+积分+微分控制器

数字化数学表达式如下：

$$Mn=(D4005/Pb)\times(En)+\sum_{0}^{n}[(D4005/Pb)\times Ti\times Ts\times En]$$

$$-[(D4005/Pb)\times Td\times(PVn-PVn_{-1})/Ts]+Bias$$

Mn ：〝n〞时之控制输出量

D4005：增益常数，内定值为 1000；可设定范围为 1～5000

Pb ：比例带（范围：1～5000，单位为 0.1%；Kc(增益)=D4005/Pb）

En ：〝n〞时之误差=设定值（SP）－〝n〞时之程控变数值（PVn）

Ti ：积分时间常数（范围：0～9999，相当于 0.00～99.99 Repeats/Minute）

Td ：微积分时间常数（范围：0～9999，相当于 0.00～99.99 Minute）

PVn ：〝n〞时之程控变数值

PVn_{-1}：〝n〞时之上一次程控变数值

Ts ：PID 运算之间隔时间（范围：1～3000，单位：0.01S）

Bias ：偏置输出量（范围：0～16383）

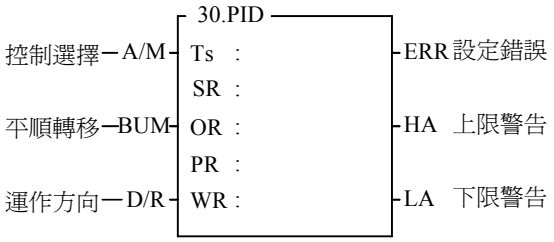
加上微分项之控制器，目的在消除程控系统之过度反应，进而使程控系统能够平稳缓和达到稳定。

虽然微分项有上述优点，但因其对输出量之贡献相当灵敏，大部分之应用不必使用微分项而将 Td 设定为 0。

21.3 PID 指令说明与程序范例

本节将就 FUN30（PID）指令之使用作详细说明与介绍并举例说明。

FUN30 PID	泛用 PID 运算指令	FUN30 PID



Ts ：PID 运算间隔时间

SR：程控设定值起始缓存器号码，共占用 8 个缓存器

OR：PID 输出缓存器号码

PR：参数设定值起始缓存器号码，共占用 7 个缓存器

WR ：本指令所需使用之工作缓存器起始号码，共占用 5 个缓存器，其它地方不可重复使用。

運算元 \ 範圍	HR	ROR	DR	K
	R0 | R3839	R5000 | R8071	D0 | D3999	
Ts	○	○	○	1～3000
SR	○	○*	○	
OR	○	○*	○	
PR	○	○*	○	
WR	○	○*	○	

● PID 指令(FUN30)系将目前所量测之外界模拟输入值当作程控变量（Process Variable，简称 PV），将使用者所设定之设定值（Setpoint，简称 SP）与程控变量经由软件 PID 数学式运算后，得到适宜之输出控制值经由 D/A 模拟输出模块或再处理经由其它界面以控制受控程序在使用者所期望之设定范围内。

● 数字化 PID 表达式如下：

$$Mn=(D4005/Pb)\times(En)+\sum_{0}^{n}[(D4005/Pb)\times Ti\times Ts\times En]$$
$$-[(D4005/Pb)\times Td\times(PVn-PVn_{-1})/Ts]+Bias$$

M_n ： 〝n〞时之控制输出量

D4005：增益常数，内定值为 1000；可设定范围为 1～5000

Pb ： 比例带（范围：1～5000，单位为 0.1%；Kc（增益）=D4005/ Pb）

Ti ： 积分时间常数（范围：0～9999，相当于 0.00～99.99 Repeats/Minute）

Td ： 微分时间常数（范围：0～9999，相当于 0.00～99.99 Minutes）

PVn ： 〝n〞时之程控变数值

PVn_{-1}： 〝n〞之上一次之程控变数值

En ： 〝n〞时之误差=设定值（SP）–〝n〞时之程控变数值（PVn）

Ts ： PID 运算之间隔时间（范围：1～3000，单位：0.01S）

Bias ： 偏置输出量（范围：0～16383）

FUN30 PID	泛用 PID 运算指令	FUN30 PID

● PID 参数调整

- 依下列原则适当调整 PID 参数以得到所要之程控反应：
- 比例带（Pb）调整越小，即增益越大，对输出贡献越大，可得到较快且灵敏之控制反应。但增益如过大，会造成振荡现象；尽量调高增益（但以不造成振荡为原则），以增快程序反应并减少稳态误差。
- 积分项可用来消除程控反应之稳态误差。积分常数（Ti）调整越大，对输出贡献越大，当有稳态误差时，可调高积分常数，以减少稳态误差。
  积分常数=0 时，积分项无作用。
  如已知积分时间为 6 分钟，则 Ti=100/6=17；如积分时间为 5 分钟，则 Ti=100/5=20。
- 微分项可用来让程控反应较平顺，不会造成过度超越。微分常数（Td）调整越大，对输出贡献越大，当有过度超越时，可调高微分常数，以减少超越量。
  微分项对程控反应相当灵敏，大部分之应用不必使用微分项，而将其设定为 0。
  微分常数=0 时，微分项无作用。
  如已知微分时间为 1 分钟，则 Td=100；如微分时间为 2 分钟，则 Td=200。

指令说明

- 当控制选择〝A/M〞=0 时，代表手动控制模式，PID 运算不会执行。直接对输出缓存器（OR）填值即可控制模拟输出量以控制程控反应。
- 当控制选择〝A/M〞=1 时，代表自动控制模式，输出缓存器（OR）之值由 PID 运算而来，经由模拟输出模块或其它界面控制程控负载以执行闭回路过程控制。
- 当平顺转移〝BUM〞=1 时，由手动控制模式转为自动控制模式时，控制输出可平顺衔接。
- 当控制选择〝A/M〞=1 且运作方向〝D/R〞=1 时，过程控制为顺向 PID 控制；亦即误差（SP−PVn）为正时，PID 运算结果之控制输出量越大；误差为负时，PID 运算结果之控制输出量越小。
- 当控制选择〝A / M〞=1 且运作方向〝D/R〞=0 时，过程控制为反向 PID 控制；亦即误差（SP−PVn）为正时，PID 运算结果之控制输出量越小；误差为负时，PID 运算结果之控制输出量越大。
- 当程控设定值或参数设定值错误时，PID 指令不会执行，设定错误指示〝ERR〞=1。
- 当程控值≧上限设定值时，上限警告指示〝HA〞=1。
- 当程控值≦下限设定值时，下限警告指示〝LA〞=1。

FUN30 PID	泛用 PID 运算指令	FUN30 PID

● PID 运算间隔时间缓存器说明：

- Ts：PID 运算间隔时间设定值缓存器，单位为 0.01 秒。在自动控制模式下，每隔所设定之间隔时间即作一次 PID 运算。

● 程控设定值缓存器说明：

- SR+0：经转换为工程单位后之程控值或称实际读值（Scaled Process Variable）；亦即 PID 指令会将原始模拟输入值转换为我们所熟悉之物理量。
- SR+1：设定值缓存器（Setpoint，简称 SP）；由使用者设定所期望之程控最终稳定值，其为工程单位。
  正确之 SP 范围为：LER ≦ SP ≦ HER
- SR+2：上限警告设定值缓存器（High Alarm Limit，简称 HAL）；由使用者设定，当程控值≧上限设定值时，上限警告指示〝HA〞=1；其为工程单位。
  正确之 HAL 范围为：LER ≦ LAL < HAL ≦ HER
- SR+3：下限警告设定值缓存器（Low Alarm Limit，简称 LAL）；由使用者设定，当程控值≦下限设定值时，下限警告指示〝LA〞=1；其为工程单位。
  正确之 LAL 范围为：LER ≦ LAL < HAL ≦ HER
- SR+4：程控最大工程值缓存器（High Engineering Range，简称 HER）；由使用者设定,当原始模拟输入值为最大时所对应之实际最大物理量。
  正确之 HER 范围为：−9999 < HER ≦ 19999
- SR+5：程控最小工程值缓存器（Low Engineering Range，简称 LER）；由使用者设定,当原始模拟输入值为最小时所对应之实际最小物理量。
  正确之 LER 范围为：−9999 ≦ LER ≦ LAL < HAL ≦ HER
- SR+6：原始模拟输入值缓存器（Raw Analog Measurement，简称 RAM）；使用者将模拟输入缓存器（R3840～R3903）所量测到之程控变数值视需要加上偏差值后存放至此。
  正确之 RAM 范围为：0 ≦ RAM ≦ 16380 (14 位格式，有效 12 位)
  0 ≦ RAM ≦ 16383 (14 位格式，有效 14 位)
  模拟输入为 14 位格式，其有效位数可由缓存器 D4004 指定
  D4004=0，代表有效 12 位；D4004=1，代表有效 14 位
- SR+7：原始模拟输入偏差值缓存器（Offset of Process Variable，简称 OPV）。使用者所使用感知器之模拟量测界面如与模拟输入模块所提供界面完全吻合，则 OPV 之值必须设定为 0；如使用者使用 4～20mA 等有偏移量之感知器，而模拟输入模块无提供偏移模式而仅提供 0～20mA 界面时，可设定 OPV 之值为 3276（16383×4 / 20 = 3276）。
  正确之 OPV 范围为：0 ≦ OPV < 16383

- 当上述程控设定值不在正确设定范围内时，PID 指令不会执行，设定错误指示〝ERR〞=1。

● PID 输出缓存器使用说明：

- OR：手动控制模式时，PID 运算不会执行。直接设定输出缓存器（OR）之值即可控制模拟输出量以控制程控反应。
  自动控制模式时，输出缓存器（OR）之值是根据设定值与实际值之误差经由 PID 运算而得出之控制输出量。
  正确之 OR 范围为：0 ≦ OR ≦ 16383

FUN30 PID	泛用 PID 运算指令	FUN30 PID

● 参数设定值缓存器说明：

- PR+0：比例带设定值缓存器（Proportional Band，简称 Pb）；比例带调整越小，即增益越大，对输出贡献越大，可得到较快且灵敏之控制反应。
  正确之比例带范围为：1 ≦ Pb ≦5000，单位为 0.1%
  Kc（增益）=D4005 / Pb；D4005 内定值为 1000，可设范围为 1～5000

- PR+1：积分常数(积分时间之倒数)设定值缓存器（Integral Constant，简称 Ti）；积分项可用来消除程控反应之稳态误差。积分常数调整越大，对输出贡献越大。当有稳态误差时，可调高积分常数，以减少稳态误差。
  积分常数=0 时，积分项无作用。
  正确之积分常数范围为：0 ≦ Ti ≦ 9999，0.00～99.99 Repeats/Minute
  如已知积分时间为 6 分钟，则 Ti=100/6=17；
  如积分时间为 5 分钟，则 Ti=100/5=20。

- PR+2：微分常数设定值缓存器（Rate Time Constant，简称 Td）；微分项可用来让程控反应较平顺，不会造成过度超越。微分常数调整越大，对输出贡献越大，当有过度超越时，可调高微分常数，以减少超越量。
  微分项对程控反应相当灵敏，大部分之应用不必使用微分项，而将其设定为 0。
  微分常数=0 时，微分项无作用。
  正确之微分常数范围为：0 ≦ Td ≦ 9999，0.00～99.99 Minutes
  如已知微分时间为 1 分钟，则 Td=100；如微分时间为 2 分钟，则 Td=200

- PR+3：输出偏置设定缓存器（Bias）；当 PI 或 PID 程控时，如需加上偏置输出时可设定此值。大部分之应用不必使用偏置输出，而将其设定为 0。当仅为比例控制时（Ti=0，Td=0），为了消除稳态误差，有需要设定偏置值。
  正确之偏置值范围为：0 ≦ Bias ≦ 16383

- PR+4：输出上限设定缓存器（High Wind_up Limt，简称 HWL）；使用者可根据程控反应对输出量作限制，使输出量不会过大。大部分之应用皆不必作输出限制，而将其设定为 16383。
  正确之上限设定范围为：1 ≦ HWL ≦ 16383

- PR+5：输出下限设定缓存器（Low Wind_up Limt，简称 LWL）；使用者可根据程控反应对输出量作限制，使输出量不会过小。大部分之应用皆不必作输出限制，而将其设定为 0。
  正确之下限设定范围为：0 ≦ LWL ≦ 16383

- PR+6：PID 方法选择缓存器（PID Method）；
  =0，标准 PID 方法；
  =1，最小超越法（Minimum Overshoot Method）；
  大部分之应用为 PI（Td=0）控制，建议选择 Method 0。当使用 PID 控制时，如控制结果不是很稳定时，可试 Method 1 方法。

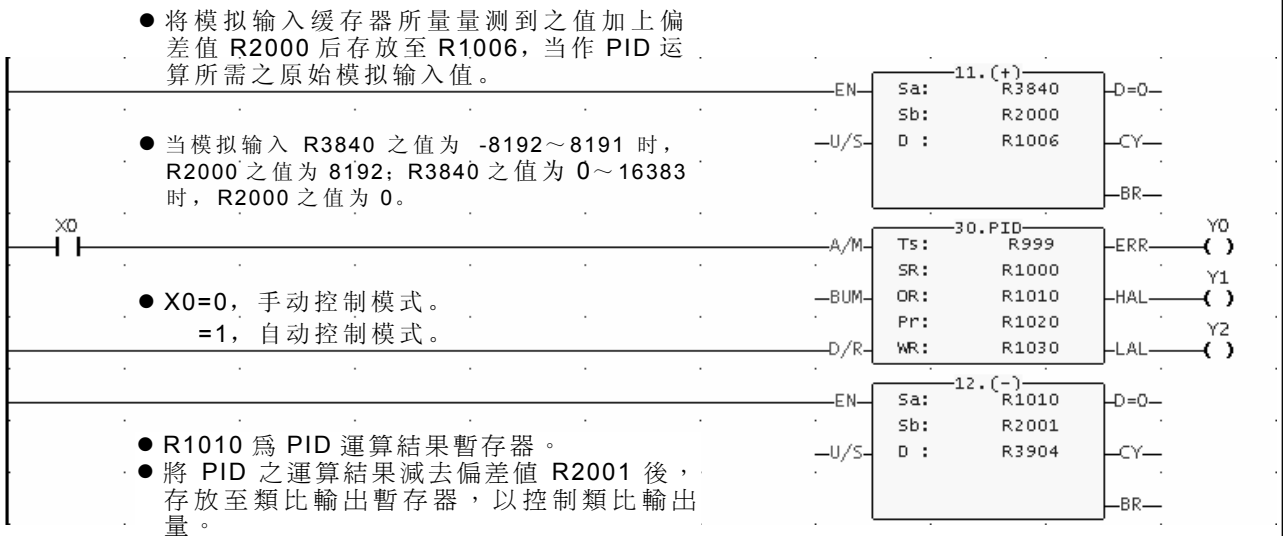
- 当上述参数设定值不在正确设定范围内时，PID 指令不会执行，设定错误指示〝ERR〞=1。

FUN30 PID	泛用 PID 运算指令	FUN30 PID

● 工作缓存器说明：

- WR+0：B0=0，手动控制模式
  =1，自动控制模式
  B1=1，完成 PID 运算，ON 一个扫描时间
  B2=1，平顺转移
  B4=1，〝ERR〞=1
  B5=1，〝HA〞=1
  B6=1，〝LA〞=1
- WR+1～WR+4：系统内部使用。

PID 范例程序



R999 ：PID 运算间隔时间设定，例如设定 200，代表每 2 秒解一次 PID。

R1000：经转换为工程单位之实际读值。

R1001：设定值缓存器，设定期望之控制结果，例如设定 100。

R1002：上限警告设定值，例如设定 105。

R1003：下限警告设定值，例如设定 95。

R1004：最大工程值设定，例如设定 500。

R1005：最小工程值设定，例如设定–500。

R1006：解 PID 所需之原始输入值。

R1007：设定为 0。

R1020：比例带设定，例如设定 20，代表增益为 50。

R1021：积分常数设定，例如设定 17，代表 6 分钟（100/17=6）。

R1022：微分常数设定，例如设定 0，代表 PI 控制。

R1023：输出偏置量，例如设定为 0。

R1024：输出上限设定，系统内定为 16383。

R1025：输出下限设定，系统内定为 0。

R1026：PID 方法，设定为 0，选择 Method 0。