

O2 Sensor 氧传感器设计文档 – AS 核心

Revision

Rev.	Date	Author	Command
0.1	2015/12/12	Spark.Zhou	Initial

1. 概述

本产品是以 AS 核心为基础，CJ125 为接口电路而设计，该产品可用于发动机排放氧浓度测量，携带方便，适用于运行车辆，实验室，排放间等各环境下的氧浓度测量。

2. 氧传感器

博世 CJ125 芯片是专为博世 LSU 系列氧传感器研制的，因此传感器将使用博世 LSU 产品。

当前博世 LSU 系列氧传感器有 LSU4.9 及 LSU4.2 等。其中博世 LSU4.9 氧传感器相对 LSU4.2 的主要区别在于，后者以环境氧浓度为基准，而前者是以参考泵电流为基准，因此前者更为精确。本产品将采用 LSU4.9 为基础进行设计。

3. 硬件信息

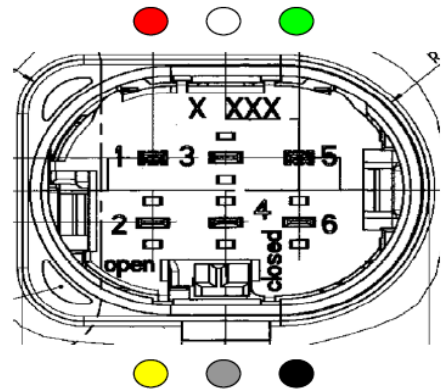
下表表示了 CJ125 各 pin 脚信息，以及与主芯片及氧传感器连接的 pin

CJ125			STM373		LSU4.9	Comments
No.	Pin	Description	Port	Function	Pin	
1	NA					
2	IA	泵电流放大器同相输入端/泵电流输出			5 RT	
3	OSZ	外接 10kΩ 下拉，晶振 192kHz				
4	DIAHG	氧加热 Gate 端诊断	PB[6]	TIM19_CH1		氧加热 Gate 端
5	VCCS	Sensor 5V 供电				
6	DIAHD	氧加热 Drain 端诊断			3 H-	串入电阻与诊断 threshold 有关，推荐 6.8kΩ 与氧传感器加热低边有隔离
7	/RST	Reset 脚				
8	RS	用于 Ri-cal 的测量				通过寄存器 RA 进行配置，RS 脚用于测量 标定 Ri-cal，UN 脚用于测量 Ri
9	NA					
10	RM	测量 Ri 用的 DA 输出的晶振输出				RM 与 CM 间串联电阻 R _{RM} 与电容，用于计算 Ri 的 DA 输出，阻值： LSU4.2: 10.0kΩ LSU4.9: 31.6kΩ
11	CM	测量 Ri 用的 DA 输出的晶振滤波后				
12	UR	Ri 的 DA 输出脚	PB[0]	SD1_7		电路板已做 47/122 精密分压
13	SCK	SPI 的 Clock	PD[8]	SPI2_SCK		电路已做 3.3V-5V 转换
14	SO	SPI 的 Serial Out	PB[14]	SPI2_MISO		电路已做 3.3V-5V 转换
15	SI	SPI 的 Serial In	PB[15]	SPI2_MOSI		电路已做 3.3V-5V 转换
16	NA					
17	/SS	SPI 的片选				
18	VCCSS	Sensor 5V 供电				
19	VCC	芯片 5V 供电				
20	VM	虚拟地，=0.5VCC			2 IPN	氧传感器中的感应室和泵单元的虚拟地
21	US	用于感应室的参考电压 450mV				
22	UP	泵电流控制器的同相输入端				
23	UA	λ 的 DA 输出脚	PE[8]	SD1_9		电路板已做 47/122 精密分压
24	NA					
25	NA					
26	CF	泵电流放大器输出并滤波后输入脚				泵电流放大器从 RF 端输出，经外部电路低通滤波后重新进入 CF 作运放
27	RF	泵电流放大器输出端				
28	GNDS	地				
29	GND	地				
30	UB	14V 电源				
31	UN	泵电流控制器的反相输入端/Ri 测量脚			6 RE+	
32	IP	泵电流放大器反相输入端			1 APE	
					4 H+	氧传感器加热正极，PWR+

下图为氧传感器 pin 脚定义

Electrical connection:

Pin1: Pumping Current	APE	red
Pin2: Virtual Ground	IPN	yellow
Pin3: Heater Minus	H-	white
Pin4: Heater Vbatt	H+	grey
Pin5: Trim Current	RT	green
Pin6: Nernst Voltage	RE+	black



4. SPI 信息

ID	Register	Bit	Bit Name	Description	Reset Value	Configuration
0x78	RD_DIAG	7	Diag Heater	00: STG 01: Open 10: STB 11: Normal	11	
		6				
		5	Diag IA, IP	00: STG 01: UB LV 10: STB 11: Normal PA = 0 时才能诊断	11	
		4				
		3	Diag UN	00: STG 01: UB LV 10: STB 11: Normal T_SC2G = high 才能诊断 STG, T_SC2VB = high 且 ENSCUN=1 才能诊断 STB	11	
		2				
		1	Diag VM	00: STG 01: UB LV 10: STB 11: Normal	11	
		0				
0x56	WR_INIT1	7	EN_HOLD	0: 泵电流控制 HOLD 功能 OFF 1: HOLD Enable 不推荐使用 0	1	1
		6	PA	0: 泵电流控制 ON(IA 脚泵电流) 1: 泵电流控制 OFF, IA 高阻态, 1时 IA 和 IP 无法诊断	0	0
		5	= 0		0	0
		4	RA	0: Measurement Mode 1: Calibration Mode 用于 Ri 标定与测量的切换	0	测量时 = 0 标定时 = 1
		3	EN_F3K	0: F3K Off 1: F3K ON F3K 用于 Ri 的测量及标定, 不用时可关闭	1	1
		2	LA	0: Measurement mode for UA 1: Adjustment mode for UA λ 的 DA 输出的测量与标定的切换	0	测量时 = 0 标定时 = 1
		1	= 0		0	0
		0	VL	0: λ _x = 8, range = 0.65 ~ ∞ 1: λ _x = 17, range = 0.75 ~ ∞	1	1
0x5A	WR_INIT2	7	= 0		0	0
		6	SRESET	0: Nothing 1: SW Reset, 能 reset 所有 register	0	0
		5	SET_DIA_Q	0: 只有当过稀(V _{UP} >V _{UN})时 1: 所有情况 IA/IP STG 诊断 Enable	0	0
		4	ENSCUN	0: UN STB 诊断 disable 1: UN STB 诊断 enable 在泵电流打开而 sensor 为高组态时, 需要 disable	0	0
		3	80uA	参考泵电流, -(10 * bit0 + 20 * bit1 + 40 * bit2 + 80 * bit3)	0	0
		2	40uA		0	0
		1	20uA		0	1
		0	10uA		0	0

5. 逻辑

5.1 当量空燃比、氧传感器温度及加热占空比的计算

5.1.1 当量空燃比 λ 的相关计算

当量空燃比 λ 是由 CJ125 的 UA 脚进行 DA 电压输出，其输出电压公式为

$$V_{UA} = r_{adj} \times VCCS + v_{\lambda x} \times I_{pmeas} \times R_{Shunt}$$

其中：

$$r_{adj} = 0.3_{(可标)}$$

$$VCCS = 5V$$

$$v_{\lambda x} = 17 \text{（为 SPI 配置 WR_INIT1 中 bit0，当前配置为 17）}$$

$$R_{Shunt} = 61.9\Omega$$

$$I_{pmeas} \text{ : 对于 LSU4.9:}$$

λ	0.65	0.70	0.80	0.90	1.016	1.18	1.43	1.70	2.42	air
I_{pmeas} (mA)	-2.22	-1.82	-1.11	-0.50	0.00	0.33	0.67	0.94	1.38	2.54

5.1.2 氧传感器温度阻值 R_i 的相关计算

氧传感器温度特性是由 CJ125 的 UR 脚进行 DA 电压输出，其输出电压公式为

$$V_{UR} = VCCS / 17 + v_{Ri} \times I_{RM} \times R_i$$

其中：

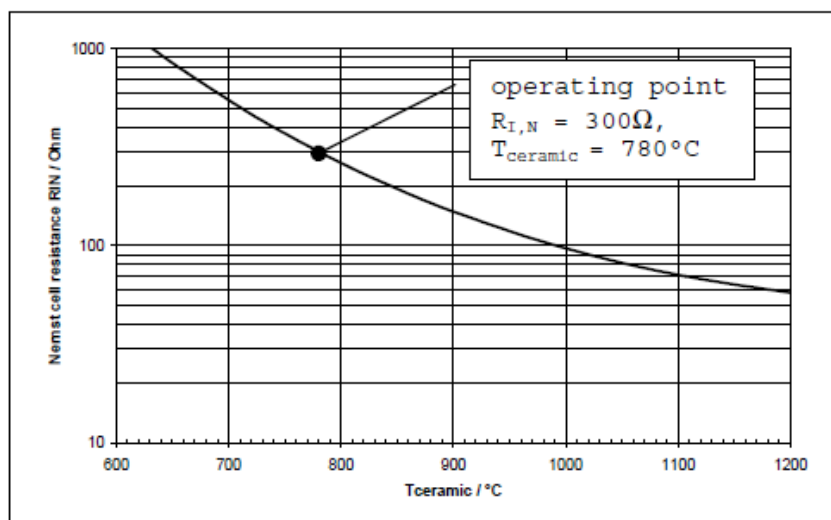
$$VCCS = 5V$$

$$v_{Ri} = 15.5 (Gain)$$

$$I_{RM} = 158\mu A$$

R_i 为传感器热敏电阻阻值

对于 LSU4.9，感应室阻值 R_i 反应了氧传感器的当前温度。其温度曲线：



LSU4.9 氧传感器最佳工作温度为 780℃ 左右，可接受温度范围为 700 – 850℃，因此其对应的 Ri 阻值约为 550Ω~200Ω。

5.1.3 氧传感器加热的相关计算

氧传感器加热(O2 Heater)频率定义：KO2_Hz_HtrOutput = 100 Hz

氧传感器加热占空比计算公式为：

$$DutyCycle = \left(\frac{V_{H,eff}}{V_{Batt}} \right)^2$$

其中， $V_{H,eff}$ 为有效加热电压， V_{Batt} 为加热器电源电压（由主芯片 PE[13]采集）

相关 A2L 标定(可调整)：

标定量	物理意义	类型	最小值	最大值	默认值
KO2_f_HtrOutput	氧传感器加热频率	Uint16	0Hz	1024Hz	100Hz

5.2 初始化

初始化时，按照 SPI 表进行 SPI 配置，其中[RA]和[LA]均使用标定模式(=1)，此时 SDADC 通道读取 λ 及 Ri。

5.2.1 当量空燃比 λ 的标定

a) 标定计算

如前所述，当量空燃比 λ 由 CJ125 的 UA 脚电压输出，其输出电压公式为

$$V_{UA} = r_{adj} \times VCCS + v_{\lambda x} \times I_{pmeas} \times R_{Shunt}$$
$$V_{SD1_9} = \frac{47}{122} \times V_{UA} = \frac{47}{122} \times (r_{adj} \times VCCS + v_{\lambda x} \times I_{pmeas} \times R_{Shunt})$$

每次初始化时，氧传感器的空燃比截距(Offset)需要标定。此时设置[LA] = 1(WR_INIT1 bit 2)，进入标定模式。

在标定模式下， I_{pmeas} 电流为 0，因此此时 uP 得到的 UA 脚分压电压为：

$$V_{SD1_9_cal} = \frac{47}{122} \times V_{UA} = \frac{47}{122} \times (r_{adj} \times VCCS)$$

因此，得到计算空燃比 λ 的截距 Offset：

$$r_{adj} \times VCCS = \frac{122}{47} \times V_{SD1_9_cal}$$

b) 截距可信度诊断

截距的电压值理论上为 1.3~1.7V(Threshold 见下述标定)。其值由于芯片的特性，使用周期，电源电压的变化而变化。

当 V_{SD1_9} 所测得的电压值超出 $(1.3 \sim 1.7) \times \frac{47}{122} \approx 0.500 \sim 0.655V$ 时，可判定截距标定

不可信。

当截距电压可信时，将当前截距电压赋值 LAMOFST 给相应 NV 变量 LAMOFPRE；

当截距电压不可信时，将上次标定的 LAMOFPRE 值赋值给当前截距 LAMOFST。

c) Error Counter

设置 Error Counter (EC)初始值为 0。当截距电压超出 Threshold 时，判断不可信，EC 自加 1。经过一定 timing(标定)后，进入重新标定阶段。当 EC 达到 3 或以上时，当前 key cycle 不再标定并记录 fault。

相关 A2L 变量(可调整)：

相关量	A2L 名	物理意义	类型	最小值	最大值	初始值	NV?
$V_{SD1_9_cal}$	LAMCALSC	标定时 uP 测得的 UA 脚电压经分压后的值	uint16	0V	5V	0.578V	N
$r_{adj} \times VCCS$	LAMOFST	标定时空燃比的截距电压，即分压前	uint16	0V	5V	1.5V	N

$r_{adj} \times VCCS$	LAMOFPRE	NV 变量：标定时空燃比截距电压，分压前	uint16	0V	5V	1.5V	Y
Error Counter	LAMEC	空燃比标定 Error Counter	uint	0	255	0	N

相关 A2L 标定(可调整):

标定量	物理意义	类型	最小值	最大值	默认值
KO2_V_LamCal LoThresh	空燃比标定截距范围低	uint	0V	5V	1.3V
KO2_V_LamCal HiThresh	空燃比标定截距范围高	uint	0V	5V	1.7V
KO2_t_LamReCal 1	空燃比两次标定间隔时间	uint16	0s	25.5s	3s

5.2.2 氧传感器温度阻值 R_i 的标定

a) 标定计算

如前所述，氧传感器温度特性是由 CJ125 的 UR 脚进行 DA 电压输出，其输出电压公式为：

$$V_{UR} = VCCS / 17 + v_{Ri} \times I_{RM} \times R_i$$

$$V_{SD1_7} = \frac{47}{122} \times V_{UR} = \frac{47}{122} \times (VCCS / 17 + v_{Ri} \times I_{RM} \times R_i)$$

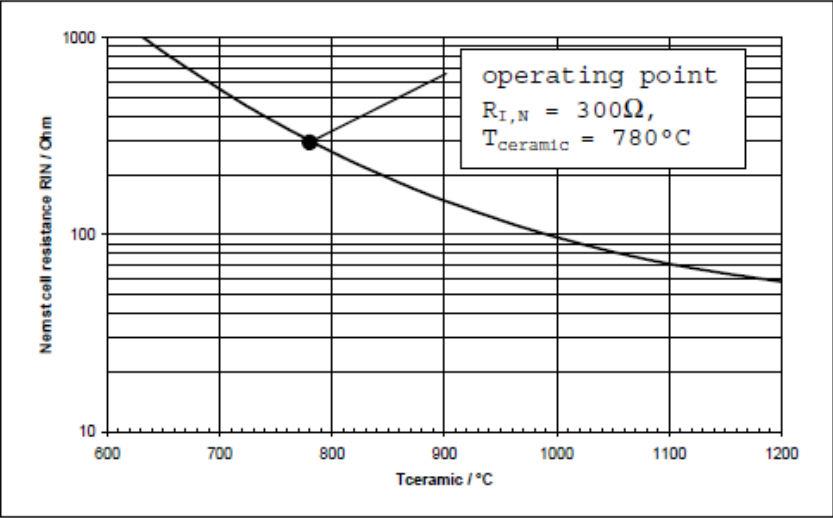
其中：

$$VCCS = 5V$$

$$v_{Ri} = 15.5(\text{Gain})$$

$$I_{RM} = 158\mu A$$

R_i 为传感器热敏电阻阻值，传感器的温度曲线为



每次初始化时，氧传感器 desired 加热温度(阻值 Ri)需要标定。此时设置[RA] = 1(WR_INIT1 bit 4)，进入标定模式。

在标定模式下， $R_{ical}=301\Omega$ ，即表示该模式下读到的电压为加热反馈的目标电压，定义此时 uP 得到的 UA 脚分压电压为 $V_{SD1_7_cal}$ 。

b) Rical 可信度诊断

代入公式：

$$V_{SD1_7_cal} = \frac{47}{122} \times (VCCS / 17 + v_{Ri} \times I_{RM} \times R_{ical}) \approx 0.3973V$$

可信的电压范围为标定 $V_{SD1_7_cal_High}$ 以及 $V_{SD1_7_cal_Low}$

当 $V_{SD1_7_cal}$ 所测得的电压值超出 $V_{SD1_7_cal_High} \sim V_{SD1_7_cal_Low}$ 时，可判定标定不可信。

当标定电压可信时，将当前标定电压赋值 LAMOFST 给相应 NV 变量 LAMOPRE；
当标定电压不可信时，将上次标定的 LAMOPRE 值赋值给当前标定 LAMOFST。

c) Error Counter

设置 Error Counter (EC)初始值为 0。当标定电压超出 Threshold 时，判断不可信，EC 自加 1。经过一定 timing(标定)后，进入重新标定阶段。当 EC 达到 3 或以上时，当前 key cycle 不再标定并记录 fault。

相关 A2L 变量(可调整)：

相关量	A2L 名	物理意义	类型	最小值	最大值	初始值	NV?
-----	-------	------	----	-----	-----	-----	-----

$V_{SD1_7_cal}$	RICALSC	标定时 uP 测得的 UR 脚电压经分压后的值	uint16	0V	5V	0.3973V	N
V_{UR_cal}	RICAL	标定时 UR 脚电压，即分压前	uint16	0V	5V	0V	N
	RICALPRE	NV: Ri 标定值，分压前	uint16	0V	5V	1.0313V	Y
Error Counter	RIEC	Ri 标定 Error Counter	uint	0	255	0	N

相关 A2L 标定(可调整):

标定量	物理意义	类型	最小值	最大值	默认值	NV?
KO2_V_RiCalLoThresh	热敏电阻标定范围低	uint	0	5V	0.35V	N
KO2_V_RiCalHiThresh	热敏电阻标定范围高	uint	0V	5V	0.45V	N
KO2_t_RiReCal	热敏电阻两次标定间隔时间	Uint16	0s	25.5s	3s	N

5.3.3 氧传感器加热

如前所述，氧传感器加热(O2 Heater)占空比计算公式为：

$$DutyCycle = \left(\frac{V_{H,eff}}{V_{Batt}} \right)^2$$

其中， $V_{H,eff}$ 为有效加热电压， V_{Batt} 为加热器电源电压（由主芯片 PE[13]采集）

由于水的露点原因，在氧传感器低温时（初始化），加热的占空比不得太大，定义低温时最大的有效加热电压 $V_{H,eff_Dew} = KO2_V_HtrEffDewPt = 2V$

另外，定义持续加热时有效加热电压的上限 $V_{H,eff_HiLim} = KO2_V_HtrEffHiLim = 12V$

相关 A2L 标定(可调整):

标定量	物理意义	类型	最小值	最大值	默认值
KO2_V_HtrEffDewPt	初始化时的有效加热电压	uint	0V	32V	2V
KO2_V_HtrEffHiLim	热敏电阻标定范围高	uint	0V	32V	12V

5.3 10ms Loop Function

5.3.1 当量空燃比 λ 的计算

由于：

$$V_{SD1_9} = \frac{47}{122} \times V_{UA} = \frac{47}{122} \times (r_{adj} \times VCCS + v_{\lambda x} \times I_{pmeas} \times R_{Shunt})$$

$$I_{pmeas} = \frac{(\frac{122}{47} V_{SD1_9} - r_{adj} \times VCCS)}{v_{\lambda x} \times R_{Shunt}}$$

其中， $r_{adj} \times VCCS = \text{LAMOFST}$ （已标定）

$$v_{\lambda x} = 17, \quad R_{Shunt} = 61.9\Omega$$

确定 I_{pmeas} 值后，由查下表得到相应 λ:

λ	0.65	0.70	0.80	0.90	1.016	1.18	1.43	1.70	2.42	air
I_{pmeas} (mA)	-2.22	-1.82	-1.11	-0.50	0.00	0.33	0.67	0.94	1.38	2.54

表中，air 对应 $\lambda \approx 1561.8$ （经 LSU4.9 datasheet 公式计算得）

相关 A2L 变量(可调整):

相关量	A2L 名	物理意义	类型	最小值	最大值	初始值	NV?
λ	LAMBDA	当量空燃比	uint16	0	65.535	0	N
I_{pmeas}	IPMEAS	泵电流	uint16	-10 mA	10 mA	0	N

5.3.2 氧传感器温度的计算（可忽略）

由于：

$$V_{SD1_7} = \frac{47}{122} \times V_{UR} = \frac{47}{122} \times (VCCS / 17 + v_{Ri} \times I_{RM} \times R_i)$$

$$R_i = \frac{\frac{122}{47} V_{SD1_7} - VCCS / 17}{v_{Ri} \times I_{RM}}$$

其中 $v_{Ri} = 15.5, \quad I_{RM} = 158\mu A, \quad VCCS = 5V$

确定 R_i 值后，由查标定表格(一维)得到相应传感器温度：KO2_T_HtrTempVsRi。X 轴

为 Ri，Y 轴为传感器温度 O2TEMP

相关 A2L 变量(可调整):

相关量	A2L 名	物理意义	类型	最小值	最大值	初始值	NV?
Ri	O2TEMPRI	氧传感器感应室内热敏电阻阻值	uint16	0	65535Ω	0	N
	O2TEMP	氧传感器温度	uint16	-40℃	1300℃	0	N

相关 A2L 标定(可调整):

标定量	物理意义	类型	X	Y	维数	Comment
KO2_T_HtrTemp VsRi	氧传感器温度与感应室内热敏电阻阻值对比关系	Table	O2TEMPRI	O2TEMP	1x20	具体参数待标定

5.3.3 氧传感器加热占空比

如前所述，只要计算 $V_{H,eff}$ ，就可以得到占空比值

由于水的露点原因，在氧传感器低温时（初始化），加热的占空比不得太大，之前已经定义，低温时最大的有效加热电压 $V_{H,eff_Dew} = KO2_V_HtrEffDewPt = 2V$ 。该加热电压的持续时间定义 $KO2_t_HtrEffDewPtTiming = 15s$

达到该 Timing 后，将以 $V_{H,eff} = KO2_V_HtrEffInit = 8.5V$ 加热，并以 0.4V/s 的加速度增加 $V_{H,eff}$ ，直至其上限 $V_{H,eff_HiLim} = KO2_V_HtrEffHiLim = 12V$ 。

期间，实时采集 Ri 值，以 PID 方式使 V_{SD1_7} 接近标定电压 RICALSC。

6. 诊断

通过读取 SPI 中 0x78 RD_DIAG，得到相应的故障码

ID	Register	Bit	Bit Name	Description	Reset Value
0x78	RD_DIAG	7	Diag Heater	00: STG 01: Open 10: STB 11: Normal	11
		6			
		5	Diag IA, IP	00: STG 01: UB LV 10: STB 11: Normal PA = 0 时才能诊断	11
		4			
		3	Diag UN	00: STG 01: UB LV 10: STB 11: Normal T_SC2G = high 才能诊断 STG, T_SC2VB = high 且 ENSCUN=1 才能诊断 STB	11
		2			
		1	Diag VM	00: STG 01: UB LV 10: STB 11: Normal	11
		0			

相关 A2L 变量(可调整):

相关量	A2L	类型	定义(bin)				默认值
Diag Heater	DIAGHTR	枚举	00: STG	01: Open	10: STB	11: Normal	11
Diag IA, IP	DIAGIAIP	枚举	00: STG	01: Open	10: STB	11: Normal	11
Diag UN	DIAGUN	枚举	00: STG	01: Open	10: STB	11: Normal	11
Diag VM	DIAGVM	枚举	00: STG	01: Open	10: STB	11: Normal	11
Faults	FAULT	数组	Bit 0: λ 标定 fault Bit 1: Ri 标定 fault Bit 2-7: Reserved				00

7. 通过 CAN 配置 CJ125 SPI

由于一些配置 SPI 及内部寄存器的不确定性，需要增加通过上位机与核心间 CAN 消息的收发来配置或读取 CJ125 的 SPI。

Matrix:

Command: 从上位机至 AS 核心

CANID	Byte7	Byte6	Byte5	Byte4	Byte3	Byte2	Byte1	Byte0
0x7EE	RD/ WR	index	RD: 0xB2/ WR:WR_INIT1	RD: 0xF3/ WR:WR_INIT2	0x78			

RD/WR: RD (Read) = 0x00, WR (Write) = 0x11

Index: 对于多个 CJ125，给芯片进行排序。一路 CJ125 时，index = 0x00。以此类推

Response: 从 AS 核心至上位机

CANID	Byte7	Byte6	Byte5	Byte4	Byte3	Byte2	Byte1	Byte0
0x7EF	ERROR	RD/ WR	index	RD: RD_INIT1 WR: Echo INIT1 相应值	RD: RD_INIT2 WR: Echo INIT2 相应值	RD: RD_DIAG WR: unused	unused	unused

ERROR: 0x00 = Normal

Byte2 及 Byte1 中，WR 的 Echo 是指回应相应的 Command 值，而非 RD_INITx 的值