

基于NSA1000的智能手环心率血氧检测

AN-11-0004

作者：Hang Li, Zhao Li



基于NSA1000的智能手环心率血氧检测

摘要

随着社会的发展，人们越来越注重身体健康发展，心率血氧检测是评估人体心血管系统和呼吸系统功能的重要手段，目前手表、手环等便携设备主要利用PPG（Photoplethysmography，光体积脉搏波描记法）原理进行心率血氧检测，仅仅需要光电传感器和光电检测模拟前端（AFE），就可以实时检测心率和血氧饱和度。纳芯微推出AFE NSA1000 芯片，可以快速应用到采用PPG原理检测心率血氧方案中。本篇应用笔记主要以智能手环心率血氧检测为例，阐述说明PPG光电器件的布局、PPG部分硬件电路设计以及软件驱动配置，帮助工程师快速应用到自己产品中。

目录

1. PPG心率血氧检测原理	2
1.1. PPG心率检测原理	2
1.2. PPG血氧检测原理	3
2. PPG模组设计	4
2.1. 结构设计	4
2.2. 光电器件布局	4
3. PPG部分硬件电路设计	5
3.1. AFE NSA1000简介	5
3.1. AFE NSA1000部分电路原理图	6
3.2. PD+LED部分电路原理图	7
3.3. PD+LED替代选型	8
3.4. PCB Layout注意事项	8
4. PPG部分软件驱动配置	9
4.1. 寄存配置	9
4.2. NSA1000相关C代码	12
5. 修订历史	18

基于NSA1000的智能手环心率血氧检测

1.PPG心率血氧检测原理

1.1.PPG心率检测原理

目前可穿戴设备都采用光电容积脉搏波描记法(PPG)来测了心率和血氧。PPG是通过将特定频率的光照射到皮肤，检测皮肤反射回来或者投射回来的信号，来测算出人体心率及血氧。当光照射皮肤然后反射到光电传感器过程中，其中一部分光会被肌肉、骨骼等组织吸收，其吸收基本不会变化，而一部分会被动脉血液吸收，其吸收强度会随着心率的变化而变化。检测返回来的信号分为DC直流信号和AC交流信号，其中AC交流信号的变化就能反应出心率的变化。具体如图1.1所示。AC信号的频率就等于心率。绿光能够更好的被血红蛋白吸收，得到的信号质量更好，一般都采用绿光源来测了心率。

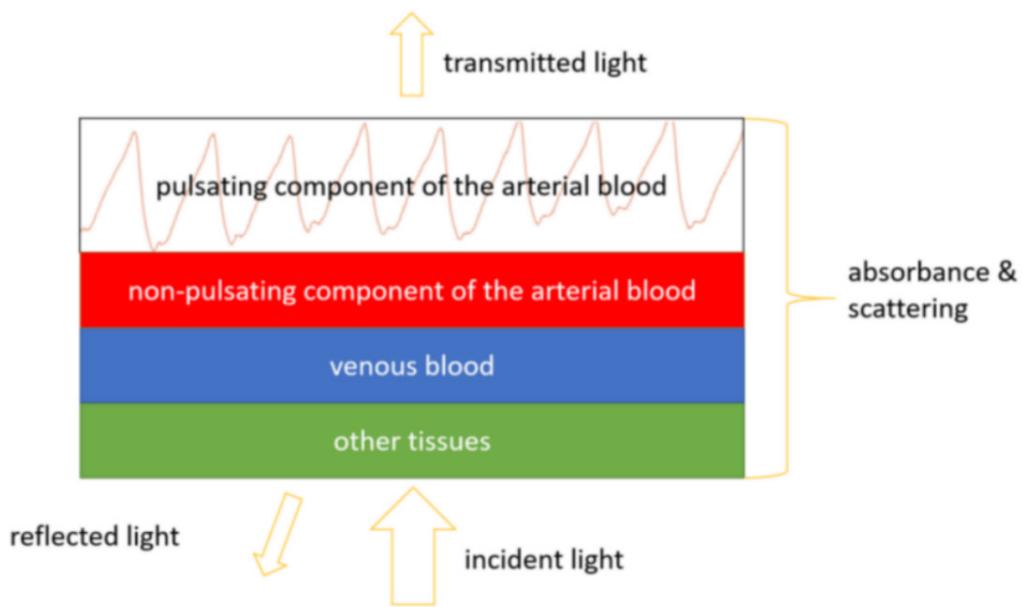


图1.1 PPG心率检测原理图

基于NSA1000的智能手环心率血氧检测

1.2.PPG血氧检测原理

血液中含氧血红蛋白 (HbO₂) 和血红蛋白 (Hb) 对不同波长的吸收能力不同, 如图1.2.1所示, HbO₂更容易吸收红外光, Hb更容易吸收红光。可以通过660nm的红光和940nm的红外光照射皮肤, 根据返回来的信号计算出SPO₂。

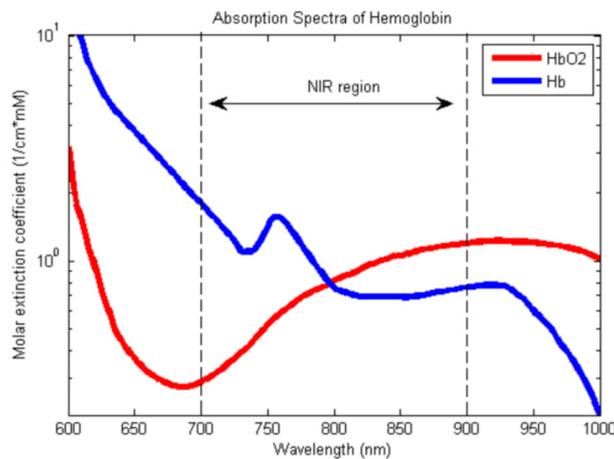


图1.2.1 Hbo2和Hb对不同波长吸收能力图

血氧计算公式如下:

$$SpO_2 = \frac{HbO_2}{HbO_2 + Hb}$$

而 $SpO_2 \approx A \cdot R + B$, 其中 $R = \frac{AC_{red} / DC_{red}}{AC_{ir} / DC_{ir}}$, AC_{red} 和 AC_{ir} 分别为返回来红光和红外光的AC信号, DC_{red} 和 DC_{ir} 分别为反射回来红光和红外光的直流信号, 如图1.2.2所示。

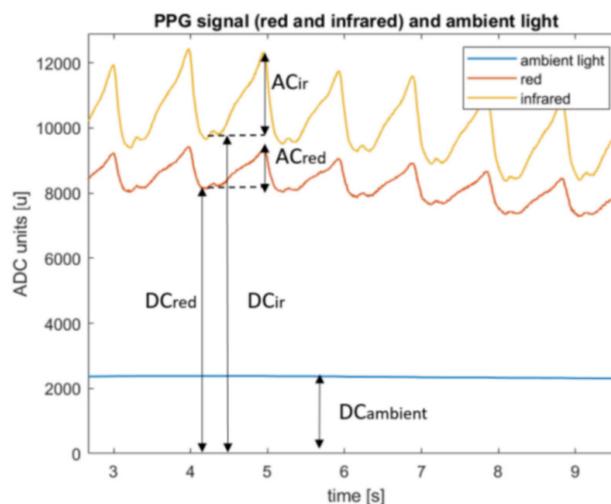


图1.2.2 红光和红外光返回信号的DC与AC示意图

基于NSA1000的智能手环心率血氧检测

2.PPG模组设计

2.1.结构设计

目前在手环上通用的PPG方案为双LED+PD方案。在LED、PD前端开窗，用透明材料（lens），壳体非透明材料不能透光，一般用黑色。心率lens开孔越大，出光和吸光效率越高；心率lens厚度越小，出光和吸光效率越高。PD和LED之间需要用遮光泡棉隔断，阻止PD接受来自非手臂返回的光。

心率模组部分应该有一定凸起，更好贴合手臂，增加稳定性，提高信号质量。一般凸起高度为1.5mm左右。结构图如图2.1所示。

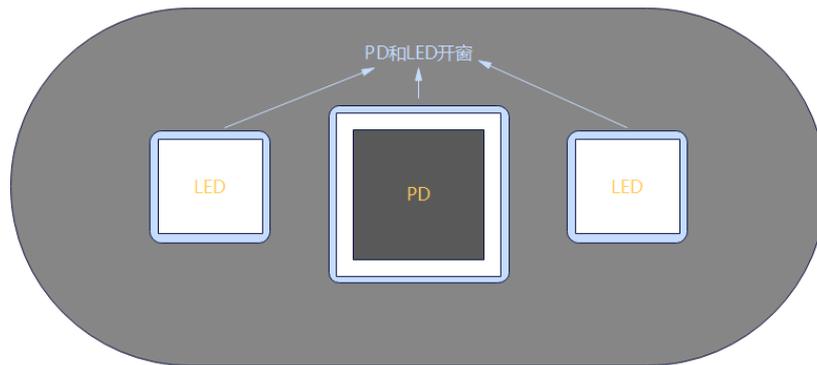


图2.1 手环PPG部分结构图

2.2.光电器件布局

NSA1000芯片不含PD和LED,需要外接。LED采用绿灯、红灯、红外三合一类型，以PD为中心，对称分布，红灯、红外灯到PD中心距离范围为5.5~7.5mm。器件布局如图2.2所示。

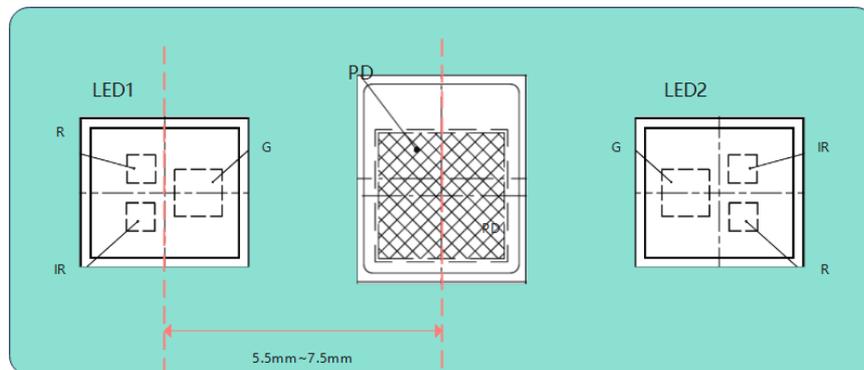


图5 模拟麦克风输出直流测试方法框图

基于NSA1000的智能手环心率血氧检测

3.PPG部分硬件电路设计

3.1. AFE NSA1000简介

NSA1000是一款光电检测模拟前端芯片 (AFE)，可用于PPG (Photoplethysmography) 原理的心率 (HR)、脉搏血氧饱和度 (SpO₂) 等生命体征监测。其中集成了2个LED驱动器，可驱动8路LED；4路差分PD (Photodiode) 接口，4路可同步工作的高精度RX信号链路；数字信号处理、中断、FIFO及SPI接口电路。NSA1000为一个测量周期 (Frame) 提供了多达32个可灵活配置的测量相位 (Phase)。NSA1000里集成了多级增益控制的TIA电路和DC信号补偿的IDAC，在保证SNR的同时扩展了动态范围。NSA1000里集成了自动环境光消除的IDAC以及一/二阶环境光消除功能，对DC和AC环境光均具有很好的抑制能力。NSA1000里加入了自动调光功能，加入了DC和AC佩戴检测功能。在实现高灵活度、高性能的同时，NSA1000还具有小封装以及超低功耗的特点，可用于智能手表、智能手环等可穿戴设备。

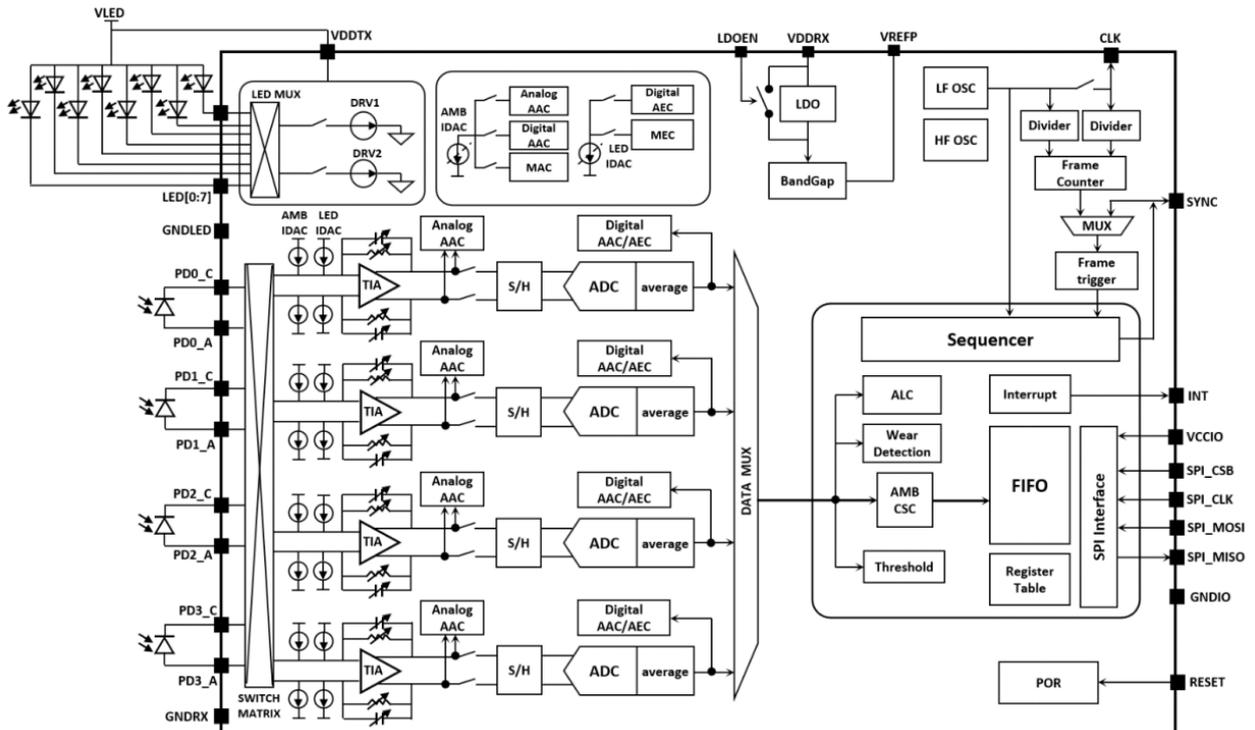


图3.1 NSA1000 功能框图

基于NSA1000的智能手环心率血氧检测

3.2.NSA1000部分电路原理图

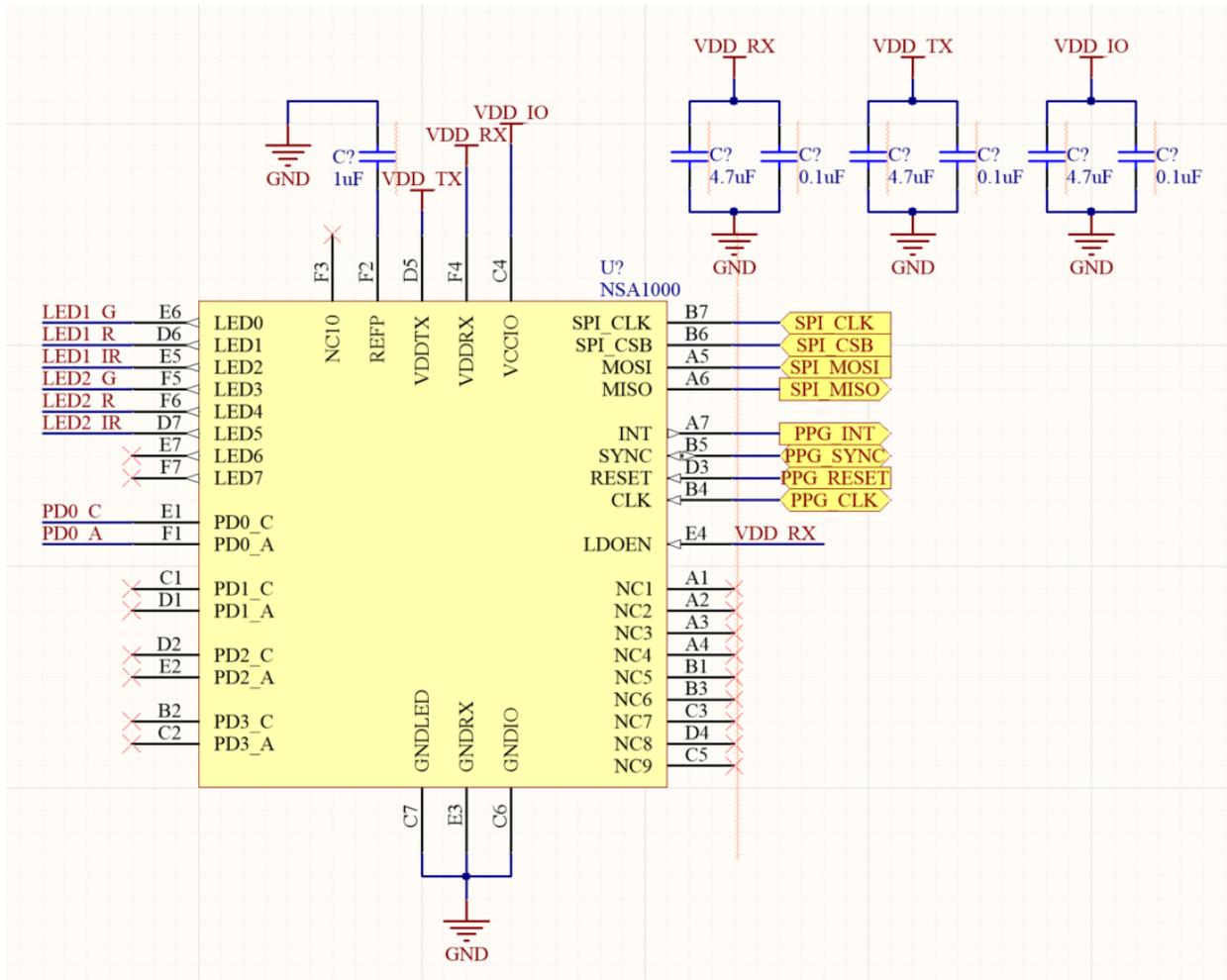


图3.2 NSA1000 部分电路原理图

• 注意点：

- ①. VDDRX与VDDTX可连接在一起，推荐电压2.8V。
- ②. VDD_IO电压与MCU通信电平一致，一般为1.8V或3.3V

基于NSA1000的智能手环心率血氧检测

3.3.PD+LED部分电路原理图

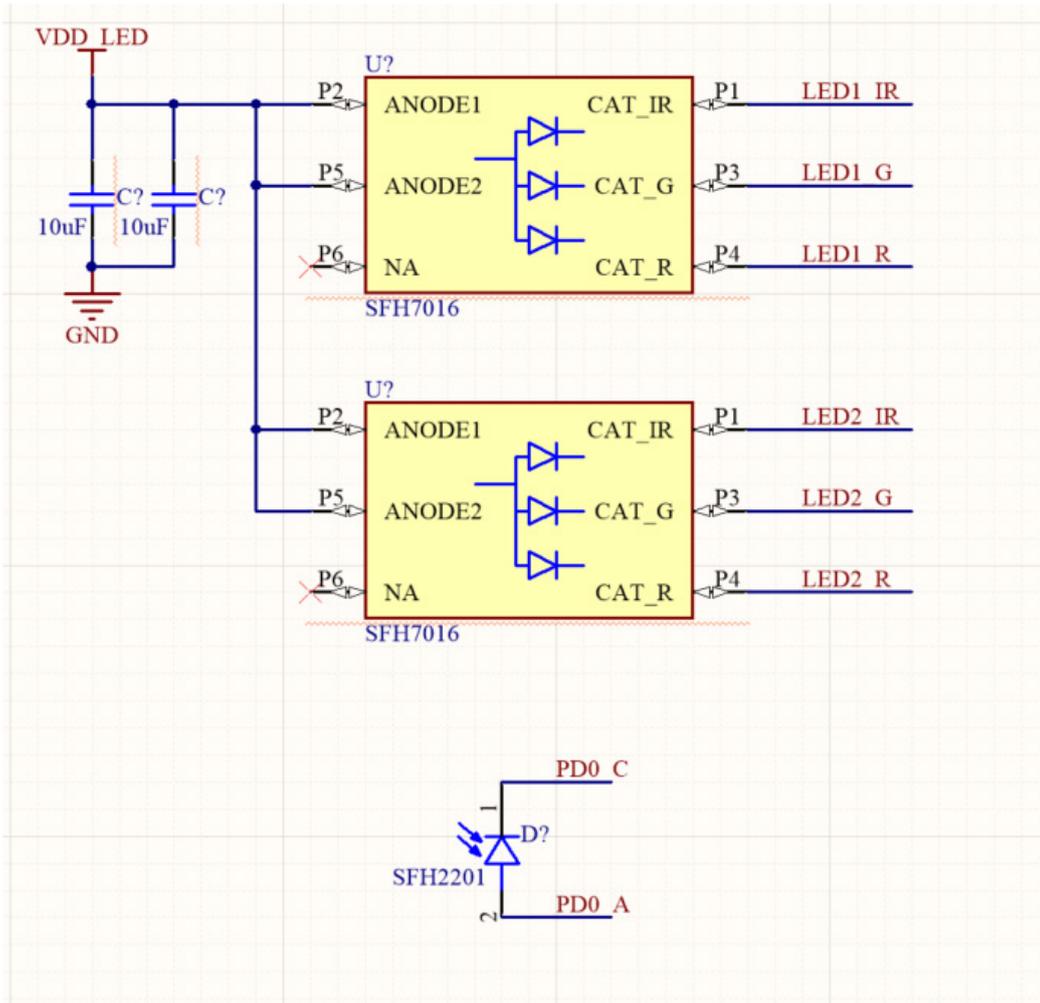


图3.3 PD+LED 部分电路原理图

• 注意点:

- ①. VDD_LED为LED阳极供电电压: $VDD_led \geq V_{hr} + V_{led_drop} + 300mV$,其中 V_{hr} 为芯片headroom电压,最大不低于700mV, V_{led_drop} 为LED工作最大电流下的管压降。
- ②.VDD_LED供电电压并联电容建议不低于20uF。

基于NSA1000的智能手环心率血氧检测

3.4.PD+LED替代选型

• LED替代型号

表3.4.1为LED选型主要参数。NSA1000可驱动LED电流达200mA，在电流脉冲100us情况下，LED应满足最大电流情况，且LED压降需保证：

$$V_{LED_Anode} \geq V_{hr} + V_{led_drop} + 300mV$$

表3.4.1 LED选型主要参数

型号	Peak wavelength/nm			Forward voltage/v@If=200mA, Tp=100us			尺寸	
	G	R	IR	G	R	IR		
OSRAM	SFH7016	526	660	950	2.9	2.7	1.8	1.85* 1.85mm
	SFH7015		655	940		2.7	1.8	2*0.8mm
旺泓	PE-S7018LM-WHC3IN	525	655	940	3.2, If=100mA	2.4, If=50mA	2, If=100mA	2*1.8mm

• PD替代型号

表3.4.2为PD选型主要参数。NSA1000 可以通过内部寄存器配置TIA放大器Cf，保证放大器稳定工作，可满足PD输入电容达200pF。NSA1000具有环境光消除功能，能够消除PD暗电流，提供信号质量。

表3.4.2 PD选型主要参数

型号	灵敏度范围/nm	Short-circuit current/uA	Dark current/nA	电容/pF	尺寸
OSRAM: SFH 2201	300~1100	76	1nA@Vr=10V	65@Vr=0V	5.09*4mm
旺泓 PD-S488FM-LH90	450~1100	50	1nA@Vr=10V	30@Vr=3V	4.8*4.8mm

3.5.PCB Layout注意事项

- VDDRX, VDDTX, VCCIO, VREFP 引脚处的退耦电容应尽可能靠近芯片的对应引脚；
- LED[0:7]的PCB trace 不应太细，建议8mil宽度以上，必要时在 10mil以上，以提高TX的Headroom裕量；
- LED[0:7]的PCB trace 应尽可能远离 PD[0:3]的PCB trace，同时尽可能远离 Photodiode 传感器；
- 对于含有电源平面层/地平面层的多层线路板，Photodiode 封装（包括阳极、阴极、感光区）所在区域在 电源/地平面层的垂直正对投影区域内，需要位于同一个电源/地网络。

基于NSA1000的智能手环心率血氧检测

4.PPG部分软件驱动配置

4.1. 寄存配置

本设计方案采用两组LED (GREEN,RED,IR) +一个PD。一次测量中需要6个节拍(phase), 为了消除环境光干扰, 在每次之前需要测量环境光噪声信号, 需要加入环境光测量phase, 所以一个测量周期需要12个节拍(phase)。

NSA1000主要配置寄存器分两部分: 全局寄存器和phase寄存器。

• 主要全局寄存器配置:

- 1.Phase数设置: GLB_CTRL_REG[28:24]设置一次测量的phase数量, 本方案中设置为11, 一共12个phase;
- 2.设置FIFO水位线: FIFO_CFG[10:1]设置FIFO水位线, 一般设置为输出数据的整数倍, 一共输出6组数据, 设置为 $10 \times 6 = 60$;
- 3.采用周期设置: FRAME_CNT_SET[31:0]设置为320, 采样频率为1000Hz;
- 4.LED Driver量程配置: GLB_CTRL_REG[21:20], GLB_CTRL_REG[23:22]都设置为125mA量程;
- 5.打开FIFO中断: INTURRUPT_CFG1[0]使能打开fifo水位线中断。

• 主要Phase寄存器配置:

- 1.phase类型配置: phase0/2/4/6/8/10为环境光消除phase, 都配置为模拟环境光消除(ANA-AMB), phase1/3/5/7/9/11都配置为MLED phase, 为LED点灯phase;
- 2.LED曝光时间设置: LED_EXP_TIME可配置LED曝光时间, 一般设置为 $5 \times 7.8125 \text{ us}$;
- 3.RX接收通道设置: 本方案中只使用了一个PD, 各phase接收通道都配置为RX1;
- 4.Driver1/2LED通道设置: 只在LED曝光的phase才驱动, phase1/3/5/7/9/11分别配置为LED0/LED1/LED2/LED3/LED4/LED5;
- 5.PD连接通道设置: 本方案中只有一个PD, 所以phase都配置连接到RX1通道;
- 6.LED驱动电流设置: Green LED曝光phase设置为恒定不变, 分别为10mA左右, 值根据实际情况设置, Red/IR LED曝光phase采样ALC (自动调光功能), 默认设置为0;
- 7.RX1通道ADC量程设置: 设置为8uA量程, 可通过配置RX Rf电阻大小来改变量程;
- 8.RX1 IDAC大小设置: 只在使用ALC功能的phase设置, 表示接收信号的DC值大小抵消量, 一般设置50uA左右;
- 9.RX输出到FIFO的数据类型配置: 本方案只输出LED曝光phase的数据, 也就是phase1/3/5/7/9/11, 配置为一阶CSC输出类型, 数据经过一阶相关采样消除后到FIFO;
- 10.ALC开启: LED自动曝光功能开启, 本方案中Red/IR相关的phase才开启。

基于NSA1000的智能手环心率血氧检测

Novosense提供了NSA1000配套的GUI工具可以快速配置相关寄存器，然后导出配置表，应用到工程中(GUI工具详细使用说明请参考文档《NSA1000 Demo GUI使用说明》)。下表分别为全局寄存器和phase寄存器以及ALC寄存器配置情况。

表4.1.1 全局寄存器配置

配置项	配置	寄存器字段	寄存器H	寄存器L	字段位置	所在寄存器	寄	
Last Phase与WaterMark	Last Phase (0 to 31, dec)	11	LAST_PHASE	28	24	5	GLB_CTRL_REG	0001
	FIFO Water Mark数(dec)	60	FIFO_WM	10	1	10	FIFO_CFG	000E
功耗配置	进入Software Power Down模式	Exit	SW_PWDN	1	1	1	GLB_CTRL_REG	0001
	TX Always On使能	Disable	TX_ALWAYS_ON_EN	6	6	1	GLB_CTRL_REG	0001
	RX Deep Sleep时使能	Enable	RX_DEEP_SLP_EN	9	9	1	GLB_CTRL_REG	0001
	内部126kHz OSC Deep Sleep时使能	Enable	126K_CLK_DEEP_SLP_EN	17	17	1	GLB_CTRL_REG	0001
	内部参考在Software Power Down时使能	Enable	BANDGP_SWFNDN_EN	15	15	1	GLB_CTRL_REG	0001
	LDO 在Deep Sleep时输出1.3V使能	Disable	LDO_LP_SLP	30	30	1	GLB_CTRL_REG	0001
	LDO 在Software Power Down时输出1.3V使能	Disable	LDO_LP_SWFNDN	29	29	1	GLB_CTRL_REG	0001
	SPI dummy read字数	0	SPI_DUMMY_READ	19	17	3	MISC	001A
时钟配置	时钟模式	Int OSC Output Disable	CLK_MODE	3	2	2	GLB_CTRL_REG	0001
	FRAME时间 (dec, 单位: 1/32kHz)	320	FRAME_CNT_SET	31	0	32	FRAME_CNT_SET	0003
	外部 Clock输入时的分频系数	1	CLK_DIV	31	29	3	TIME_CFG1	000E
帧内时间	Deep Sleep到Power Up时间设定 (dec, 单位te)	3	T_DEEPSLP_PWUP	8	0	9	TIME_CFG1	000E
	Power Up到Active时间设定 (dec, 单位te)	4	T_PWUP_ACTIVE	17	9	9	TIME_CFG1	000E
	Phase间隔时间设定 (dec, 单位te)	1	T_SEP_PHASE	19	18	2	TIME_CFG1	000E
	Active到Power Down时间设定 (dec, 单位te)	0	T_ACTIVE_PWDN	8	0	9	TIME_CFG2	0007
	Power Down到 Deep Sleep时间设定 (dec, 单位te)	0	T_PWDN_DEEPSLP	17	9	9	TIME_CFG2	0007
节拍内时间	Sample delay LED曝光 4us 使能	Disable	EN_4US_DELAY	20	20	1	TIME_CFG1	000E
	LED曝光到S/H采样之间的等待时间 (dec, 单位te)	0	T_LED_SAMP	25	21	5	TIME_CFG1	000E
	S/H的复位时间 (dec, 单位te)	0	T_SH_RST	28	26	3	TIME_CFG1	000E
	Pre-Charge时间 (dec, 单位te)	3	T_PRECHARGE	15	8	8	TIME_CFG3	000B
S/H带宽配置	S/H Pre-Charge带宽Set1	32.36kHz	SH_BW_PRECHARGE_SET1	2	0	3	ADC_SH_CFG	0005
	S/H Pre-Charge带宽Set2	32.36kHz	SH_BW_PRECHARGE_SET2	5	3	3	ADC_SH_CFG	0005
	S/H Fine Charge带宽Set1	5.04kHz	SH_BW_FINE_SET1	8	6	3	ADC_SH_CFG	0005
	S/H Fine Charge带宽Set2	5.04kHz	SH_BW_FINE_SET2	11	9	3	ADC_SH_CFG	0005
TX FS	LED Driver1 Full Scale	125mA	LEDDRV1_FS	21	20	2	GLB_CTRL_REG	0001
	LED Driver2 Full Scale	125mA	LEDDRV2_FS	23	22	2	GLB_CTRL_REG	0001
TX曝光保护	最大过曝时间(dec, 单位te)	255	MAX_EXPOSURE_TIME	7	0	8	LED_PHASE_LIMIT	000C
	LED Driver1 最大曝光电流(dec, 单位LSB)	255	MAX_DRV1_CURRENT	15	8	8	LED_PHASE_LIMIT	000C
	LED Driver2 最大曝光电流(dec, 单位LSB)	255	MAX_DRV2_CURRENT	23	16	8	LED_PHASE_LIMIT	000C
	Frame过曝总电流设置(hex, 单位LSB)	FFFFFF	MAX_FRAME_ENERGY	23	0	24	LED_FRAME_LIMIT	000D
ADC raw data寄存器使能 phase freeze	ADC raw data寄存器使能 phase freeze	Enable	EN_RAW_DATA_FREEZE_PHASE	11	11	1	MISC	001A
	ADC raw data寄存器freeze时的phase号(dec)	0	RAW_DATA_FREEZE_PHASE	16	12	5	MISC	001A

基于NSA1000的智能手环心率血氧检测

表4.1.2 phase寄存器配置

NUMPHASE	12		Green-1				Red-1				IR-1				Green-2				Red-2				IR-2			
	Phase0	Phase1	Phase2	Phase3	Phase4	Phase5	Phase6	Phase7	Phase8	Phase9	Phase10	Phase11	ANA-AMB	MLED												
PhaseType	No Mask																									
Mask Rate	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
LED Exposure Time(code, 单位te)	39.0625	39.0625	39.0625	39.0625	39.0625	39.0625	39.0625	39.0625	39.0625	39.0625	39.0625	39.0625	39.0625	39.0625	39.0625	39.0625	39.0625	39.0625	39.0625	39.0625	39.0625	39.0625	39.0625	39.0625	39.0625	
LED Exposure Time(us)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
ADC Average Number	BW SET1																									
S/H BW SET Selection	Enable																									
RX1 ON/OFF	Disable																									
RX2 ON/OFF	Disable																									
RX3 ON/OFF	Disable																									
RX4 ON/OFF	Disable																									
DRV1 LED Channel	NC	LED0	NC	LED1	NC	LED2	NC	LED3	NC	LED4	NC	LED5	NC	LED6	NC	LED7	NC	LED8	NC	LED9	NC	LED10	NC	LED11	NC	
DRV2 LED Channel	NC	LED0	NC	LED1	NC	LED2	NC	LED3	NC	LED4	NC	LED5	NC	LED6	NC	LED7	NC	LED8	NC	LED9	NC	LED10	NC	LED11	NC	
PD0 RX Channel	RX1																									
PD1 RX Channel	NC																									
PD2 RX Channel	NC																									
PD3 RX Channel	NC																									
LED Driver1 code	0	50	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
LED Driver2 code	0	50	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
LED Driver1 current(mA)	0	24.4140625	0	0	0	0	0	24.4140625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
LED Driver2 current(mA)	0	24.4140625	0	0	0	0	0	24.4140625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
RX1 RF Setting code(BIN)	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	
RX1 RF Setting kOhm	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
RX1 CF Setting code(BIN)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
RX1 CF Setting pF	8pF																									
RX1 ADC Full Scale(uA)	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
RX1 IDAC code(dec)	0	0	0	1000	0	1000	0	0	0	1000	0	1000	0	0	0	1000	0	1000	0	1000	0	1000	0	1000	0	
RX1 IDAC current(uA)	0	0	0	62.5	0	62.5	0	0	0	62.5	0	62.5	0	0	0	62.5	0	62.5	0	62.5	0	62.5	0	62.5	0	
RX1 IDAC polarity	AMB related	LED related	AMB related																							
Dig AAC LOOPNUM	AAC LOOP1																									
ABC LOOPNUM	ABC LOOP1																									
ALC	NO ALC	NO ALC	NO ALC	NO ALC	NO ALC	NO ALC	NO ALC	NO ALC	NO ALC	NO ALC	NO ALC	NO ALC	NO ALC	NO ALC	NO ALC	NO ALC	NO ALC	NO ALC	NO ALC	NO ALC	NO ALC	NO ALC	NO ALC	NO ALC	NO ALC	
RX1 AMB CSC (FIPO DATA)	NO DATA	PRE-1 CSC	NO DATA																							
RX2 AMB CSC (FIPO DATA)	NO DATA																									
RX3 AMB CSC (FIPO DATA)	NO DATA																									
RX4 AMB CSC (FIPO DATA)	NO DATA																									
LED IDAC OE	Disable																									
Phase INT Enable	Disable																									
Disable AMB IDAC	Enable																									
Disable LED IDAC	Enable																									

表4.1.3 ALC寄存器配置

配置项	配置	寄存器字段	寄存器位H	寄存器位L	字段位宽	所在寄存器	寄存器地址
ALC触发判断的迟滞点数(dec)	5	ALC_TRIG_CNT	27	24	4	ALC_CFG1	001B
ALC失败判断的迟滞点数(dec)	9	ALC_FAIL_CNT	31	28	4	ALC_CFG1	001B
ALC Loop1使能	Enable	ALC_LOOP1_EN	0	0	1	ALC_CFG1	001B
ALC Loop1作用的phase(dec)	3	ALC_LOOP1_PHASE	5	1	5	ALC_CFG1	001B
ALC Loop1的RF(kOhm)	100						
ALC Loop1 ADC FS(uA)	8						
ALC Loop1调光触发的上限(uA)	3	ALC_LOOP1_TRIG+	15	0	16	ALC_LOOP1_TRIG_CFG	001C
ALC Loop1调光触发的下限(uA)	-3	ALC_LOOP1_TRIG-	31	16	16	ALC_LOOP1_TRIG_CFG	001C
ALC Loop1调光收敛的上限(uA)	2	ALC_LOOP1_RECONV+	15	0	16	ALC_LOOP1_RECONV_CFG	001D
ALC Loop1调光收敛的下限(uA)	-2	ALC_LOOP1_RECONV-	31	16	16	ALC_LOOP1_RECONV_CFG	001D
ALC Loop1调光时LED1的上限	16/16	ALC_LOOP1_LED1_UP_LIM	3	0	4	ALC_CFG2	0024
ALC Loop1调光时LED2的上限	16/16	ALC_LOOP1_LED2_UP_LIM	7	4	4	ALC_CFG2	0024
ALC Loop2使能	Enable	ALC_LOOP2_EN	6	6	1	ALC_CFG1	001B
ALC Loop2作用的phase	5	ALC_LOOP2_PHASE	11	7	5	ALC_CFG1	001B
ALC Loop2的RF(kOhm)	100						
ALC Loop2 ADC FS(uA)	8						
ALC Loop2调光触发的上限(uA)	3	ALC_LOOP2_TRIG+	15	0	16	ALC_LOOP1_TRIG_CFG	001E
ALC Loop2调光触发的下限(uA)	-3	ALC_LOOP2_TRIG-	31	16	16	ALC_LOOP1_TRIG_CFG	001E
ALC Loop2调光收敛的上限(uA)	2	ALC_LOOP2_RECONV+	15	0	16	ALC_LOOP1_RECONV_CFG	001F
ALC Loop2调光收敛的下限(uA)	-2	ALC_LOOP2_RECONV-	31	16	16	ALC_LOOP1_RECONV_CFG	001F
ALC Loop2调光时LED1的上限	16/16	ALC_LOOP2_LED1_UP_LIM	11	8	4	ALC_CFG2	0024
ALC Loop2调光时LED2的上限	16/16	ALC_LOOP2_LED2_UP_LIM	15	12	4	ALC_CFG2	0024
ALC Loop3使能	Enable	ALC_LOOP3_EN	12	12	1	ALC_CFG1	001B
ALC Loop3作用的phase	9	ALC_LOOP3_PHASE	17	13	5	ALC_CFG1	001B
ALC Loop3的RF(kOhm)	100						
ALC Loop3 ADC FS(uA)	8						
ALC Loop3调光触发的上限(uA)	3	ALC_LOOP1_TRIG+	15	0	16	ALC_LOOP1_TRIG_CFG	0020
ALC Loop3调光触发的下限(uA)	-3	ALC_LOOP1_TRIG-	31	16	16	ALC_LOOP1_TRIG_CFG	0020
ALC Loop3调光收敛的上限(uA)	2	ALC_LOOP1_RECONV+	15	0	16	ALC_LOOP1_RECONV_CFG	0021
ALC Loop3调光收敛的下限(uA)	-2	ALC_LOOP1_RECONV-	31	16	16	ALC_LOOP1_RECONV_CFG	0021
ALC Loop3调光时LED1的上限	16/16	ALC_LOOP3_LED1_UP_LIM	19	16	4	ALC_CFG2	0024
ALC Loop3调光时LED2的上限	16/16	ALC_LOOP3_LED2_UP_LIM	23	20	4	ALC_CFG2	0024
ALC Loop4使能	Enable	ALC_LOOP4_EN	18	18	1	ALC_CFG1	001B
ALC Loop4作用的phase	11	ALC_LOOP4_PHASE	23	19	5	ALC_CFG1	001B
ALC Loop4的RF(kOhm)	100						
ALC Loop4 ADC FS(uA)	8						
ALC Loop4调光触发的上限(uA)	3	ALC_LOOP1_TRIG+	15	0	16	ALC_LOOP1_TRIG_CFG	0022
ALC Loop4调光触发的下限(uA)	-3	ALC_LOOP1_TRIG-	31	16	16	ALC_LOOP1_TRIG_CFG	0022
ALC Loop4调光收敛的上限(uA)	2	ALC_LOOP1_RECONV+	15	0	16	ALC_LOOP1_RECONV_CFG	0023
ALC Loop4调光收敛的下限(uA)	-2	ALC_LOOP1_RECONV-	31	16	16	ALC_LOOP1_RECONV_CFG	0023
ALC Loop4调光时LED1的上限	16/16	ALC_LOOP4_LED1_UP_LIM	27	24	4	ALC_CFG2	0024
ALC Loop4调光时							

基于NSA1000的智能手环心率血氧检测

寄存器配置完毕后，开启测量，NSA1000输出的phase1/3/5的信号如图4.1所示，可以对信号进行处理来求得心率和血氧含量值。

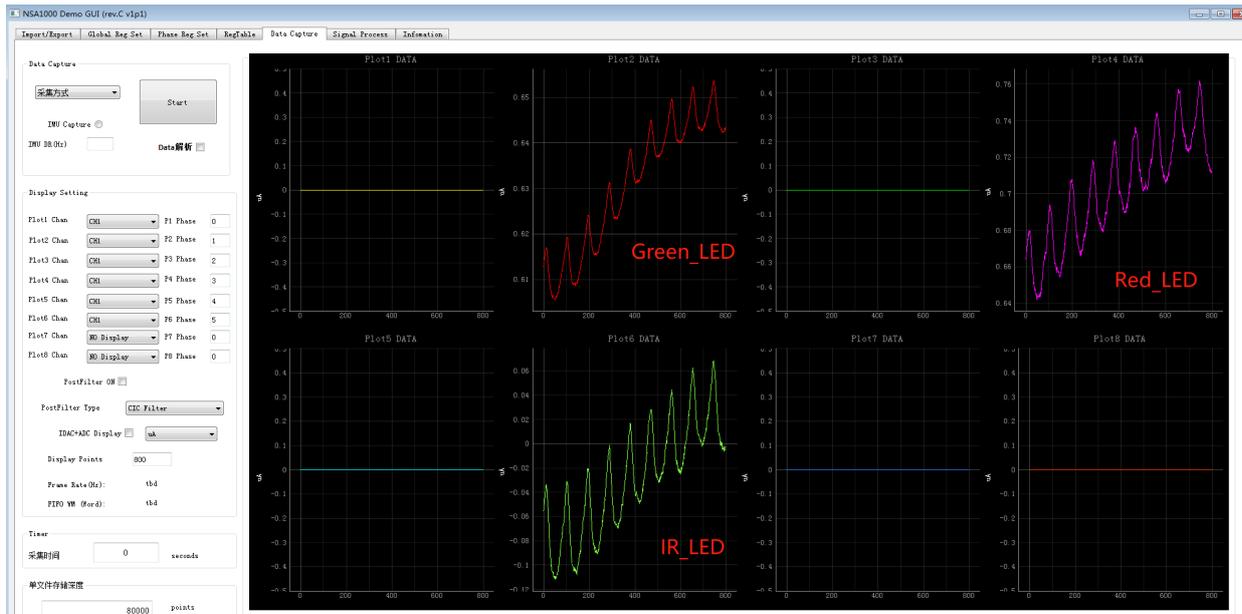


图4.1 NSA1000输出信号波形

4.2.NSA1000相关C代码

如下为一组LED(Green,Red,IR)+1 PD 方案配置代码, 2*LED(Green,Red,IR)+1 PD方案配置代码实现同理。

```

1.//*****
2.//    功能:初始化NSA1000
3.//
4.//*****
5.void Init_NSA1000(void)
6.{
7.
8.for(uint16_t i=0; i<1024; i++) //初始化接数组, 用于接收nsa1000 FIFO数据
9.{
10. bufData[i]=0;
11.
12.}
13.
14. hardwareReset(); //复位nsa1000
    
```

基于NSA1000的智能手环心率血氧检测

```

15.
16.
17. #ifdef USE_LOCAL_REGMAP
18. //使用通过GUI一键导出的寄存器配置表//
19. afe_load_localregmap();
20. afeConfigAllRegs();
21. #else
22. //调用功能模块，详细配置寄存器参数//
23.
24. AFE_Last_Phase_Cfg(5); //配置最后一个phase num,为1时，一共两个phase
25. AFE_Fifo_WaterMark_Cfg(30); //设置FIFO水位线，一般设置为输出数据量的整数倍
26.
27. /*设置功耗相关配置*/
28. AFE_Power_Cfg_TypeDef power_cfg_struct;
29. power_cfg_struct.SW_PWDN=0; //进入software power down 模式使能
30. power_cfg_struct.TX_ALWAYS_ON_EN=0; //TX LED一直亮使能
31. power_cfg_struct.RX_DEEP_SLP_EN=1; //RX链路在空闲时间会进入deep sleep使能
32. power_cfg_struct.CLK_128K_DEEP_SLP_EN=1; //内部128k时钟 会进入deep sleep 使能
33. power_cfg_struct.BANDGP_SWPDN_EN=1; //内部参考电压在SW power down时使能
34. AFE_Power_Cfg(&power_cfg_struct);
35.
36. /*时钟配置*/
37. AFE_Clk_Cfg_TypeDef clk_cfg_struct;
38. clk_cfg_struct.Clk_Mode=Int_OSC_Output_Disable; //内部时钟，且不输出
39. clk_cfg_struct.Frame_Cnt_Set=320; //一帧时间周期设置，320*1/32Khz=10ms
40. clk_cfg_struct.Clk_Div=0; //使用内部时钟，不分频
41. AFE_Clk_Cfg(&clk_cfg_struct);
42.
43. /*frame内时间配置*/
44. AFE_Frame_Time_Cfg_TypeDef frame_time_cfg_struct;
45. frame_time_cfg_struct.T_DEEPSLP_PWUP=3; //Deep Sleep到Power Up时间设定
46. frame_time_cfg_struct.T_PWUP_ACTIVE=4; //Power Up到Active时间设定
47. frame_time_cfg_struct.T_SEP_PHASE=TE_1; //phase间间隔时间，1 te=7.8125us
48. frame_time_cfg_struct.T_ACTIVE_PWDN=0; //Active到Power Down时间设定
49. frame_time_cfg_struct.T_PWDN_DEEPSLP=0; //Power Down到 Deep Sleep时间设定
50. AFE_Frame_Time_Cfg(&frame_time_cfg_struct);

```

基于NSA1000的智能手环心率血氧检测

```

51.
52. /*phase内时间配置*/
53. AFE_Phase_Time_Cfg_TypeDef phase_time_cfg_struct;
54. phase_time_cfg_struct.EN_4US_DELAY=0; // LED曝光后延时4us再采样使能
55. phase_time_cfg_struct.T_LED_SAMP=0; // LED曝光到采样间等待时间
56. phase_time_cfg_struct.T_SH_RST=0; //SH复位时间
57. phase_time_cfg_struct.T_PRECHARGE=3; //pre charge时间
58. AFE_Phase_Time_Cfg(&phase_time_cfg_struct);
59.
60. /*SH1_2带宽配置*/
61. AFE_SH_BW_Cfg(SH_BW_32_36kHz,SH_BW_32_36kHz,SH_BW_5_04kHz,SH_BW_5_04kHz);
62.
63. /*LED1_2 Driver 量程配置*/
64. AFE_LED_Driver_FS_Cfg(FS_125mA,FS_125mA);
65.
66. /*中断屏蔽配置*/
67. Interrupt_source_Cfg(ENABLE_int_source,FIFO_WM_INT); //打开fifo watermark中断
68.
69. /*中断类型配置*/
70. Interrupt_Type_Cfg(FIFO_WM_INT_TYPE,Pulse_Type); //脉冲类型中断
71.
72. /****** phase配置,一共6个phase *****/
73. AFE_Phase_Cfg_TypeDef phase_struct;
74. phase_struct.PHASE_TYPE = ANA_AMB; //该phase为模拟环境光消除类型
75. phase_struct.MASK_RATE = MASK_0; //不使用MASK
76. phase_struct.LED_EXP_TIME = 5; //LED曝光时间5*7 &125=39 0625us
77. phase_struct.ADC_AVERAGE_NUM = ADC_AverageNum_1; //ADC平均一次
78. phase_struct.SH_BW_SET = SH_BW_SET_1; //选择SH_BW
79. phase_struct.RX_EN_CFG.RX1Enable=1; //通道1打开
80. phase_struct.RX_EN_CFG.RX2Enable=0; //通道2关闭
81. phase_struct.RX_EN_CFG.RX3Enable=0; //通道2关闭
82. phase_struct.RX_EN_CFG.RX4Enable=0; //通道2关闭
83. phase_struct.DRV_EN_CFG.Drv1Enable = LED_NC; //led drv1 关闭
84. phase_struct.DRV_EN_CFG.Drv2Enable = LED_NC; //led drv2 关闭
85. phase_struct.DRV_VALUE.Drv1Value = 0; //led drv1 值为0
86. phase_struct.DRV_VALUE.Drv2Value = 0; //led drv1 值为0

```

基于NSA1000的智能手环心率血氧检测

```

87. phase_struct.PD_RX_CH_CFG.PD0_RX_Channel=RX_NC;
88. phase_struct.PD_RX_CH_CFG.PD1_RX_Channel=RX_NC;
89. phase_struct.PD_RX_CH_CFG.PD2_RX_Channel=RX1; //PD2连接到RX1通道
90. phase_struct.PD_RX_CH_CFG.PD3_RX_Channel=RX_NC;
91. phase_struct.RF_CFG.Rx1Rf=RF_100K; //TIA Rf设置
92. phase_struct.RF_CFG.Rx2Rf=RF_100K;
93. phase_struct.RF_CFG.Rx3Rf=RF_100K;
94. phase_struct.RF_CFG.Rx4Rf=RF_100K;
95. phase_struct.CF_CFG.Rx1Cf=CF_8pF; //TIA Cf设置
96. phase_struct.CF_CFG.Rx2Cf=CF_8pF;
97. phase_struct.CF_CFG.Rx3Cf=CF_8pF;
98. phase_struct.CF_CFG.Rx4Cf=CF_8pF;
99. phase_struct.IDAC_CFG.Rx1IdacPolarity=1; //IDAC极性方向设置
100. phase_struct.IDAC_CFG.Rx2IdacPolarity=1;
101. phase_struct.IDAC_CFG.Rx3IdacPolarity=1;
102. phase_struct.IDAC_CFG.Rx4IdacPolarity=1;
103. phase_struct.IDAC_CFG.Rx1IdacValue=0; //IDAC值设置 AMB:I=code/2048*256uA,LED:I=code/2048*128uA
104. phase_struct.IDAC_CFG.Rx2IdacValue=0;
105. phase_struct.IDAC_CFG.Rx3IdacValue=0;
106. phase_struct.IDAC_CFG.Rx4IdacValue=0;
107. phase_struct.LED_IDAC_OUT_EN=0; //LED IDAC 值输出使能
108. phase_struct.DISABLE_AMB_IDAC=0; //关闭AMB_IDAC使能
109. phase_struct.DISABLE_LED_IDAC=0; //关闭LED_IDAC使能
110. phase_struct.AAC_LOOP_NUM=LOOP_1; //自动环境光消除环路选择
111. phase_struct.AEC_LOOP_NUM=LOOP_2; //自动曝光补偿环路选择
112. phase_struct.RX_DATA_TYPE.RX1DataType=NO_DATA; //RX1通道数据直接输入到fifo
113. phase_struct.RX_DATA_TYPE.RX2DataType=NO_DATA;
114. phase_struct.RX_DATA_TYPE.RX3DataType=NO_DATA;
115. phase_struct.RX_DATA_TYPE.RX4DataType=NO_DATA;
116. phase_struct.PHASE_INT_EN=0; //phase中断使能
117.
118.
119. /*phase0配置*/
120. AFE_Phase_Cfg(0,&phase_struct); //phase0 ANA_AMB 模拟环境光消除类型
121. /*phase2配置*/

```

基于NSA1000的智能手环心率血氧检测

```

122. AFE_Phase_Cfg(2,&phase_struct); //phase2 ANA_AMB 模拟环境光消除类型
123. /*phase4配置*/
124. AFE_Phase_Cfg(4,&phase_struct); //phase4 ANA_AMB 模拟环境光消除类型
125.
126.///////////////////////////////////////////////////////////////////
127. //phase1 :Green LED,phase3:RED LED 开启ALC ,phase5:IR LED 开启ALC
128.///////////////////////////////////////////////////////////////////
129. /*phase1配置*/
130. phase_struct.PHASE_TYPE=MLED; //该phase为MLED类型
131. phase_struct.DRV_EN_CFG.Drv1Enable=LED_0; //led drv1 连接LED0
132. phase_struct.DRV_EN_CFG.Drv2Enable=LED_0; //led drv2 连接LED0
133. phase_struct.DRV_VALUE.Drv1Value = 20; //led drv1 值为20/256*125mA=9.76mA
134. phase_struct.DRV_VALUE.Drv2Value = 20; //led drv2 值为20/256*125mA=9.76mA
135. phase_struct.RX_DATA_TYPE.RX1DataType=PRE_CSC_1; //RX1通道数据经过一阶CSC后到FIFO
136. AFE_Phase_Cfg(1,&phase_struct); //phase1 MLED 类型
137.
138. /*phase3配置*/
139. phase_struct.PHASE_TYPE=MLED; //该phase为MLED类型
140. phase_struct.DRV_EN_CFG.Drv1Enable=LED_1; //led drv1 连接LED1
141. phase_struct.DRV_EN_CFG.Drv2Enable=LED_1; //led drv2 连接LED1
142. phase_struct.DRV_VALUE.Drv1Value = 0; //led drv1 值为
143. phase_struct.DRV_VALUE.Drv2Value = 0; //led drv2 值为
144. phase_struct.IDAC_CFG.Rx1IdacValue=600; //I=code/2048*128uA=37.5uA
145. phase_struct.RX_DATA_TYPE.RX1DataType=PRE_CSC_1; //RX1通道数据经过一阶CSC后到FIFO
146. AFE_Phase_Cfg(3,&phase_struct); //phase3 MLED 类型
147.
148. /*phase5配置*/
149. phase_struct.PHASE_TYPE=MLED; //该phase为MLED类型
150. phase_struct.DRV_EN_CFG.Drv1Enable=LED_2; //led drv1 连接LED2
151. phase_struct.DRV_EN_CFG.Drv2Enable=LED_2; //led drv2 连接LED2
152. phase_struct.DRV_VALUE.Drv1Value = 0; //led drv1 值为
153. phase_struct.DRV_VALUE.Drv2Value = 0; //led drv2 值为
154. phase_struct.IDAC_CFG.Rx1IdacValue=600; //I=code/2048*128uA=37.5uA
155. phase_struct.RX_DATA_TYPE.RX1DataType=PRE_CSC_1; //RX1通道数据经过一阶CSC后到FIFO
156. AFE_Phase_Cfg(5,&phase_struct); //phase5 MLED 类型
157.

```

基于NSA1000的智能手环心率血氧检测

```
158. //////////////////////////////////////////////////ALC自动调光功能 配置 ////////////////////////////////////////////
159. AFE_ALC_Cfg_TypeDef alc_struct;
160.
161. alc_struct.ALC_LOOP_EN = 1; //打开ALC
162. alc_struct.ALC_Rf_VALUE = 100; //100kohm
163. alc_struct.ALC_LOOP_TRIG_up = 3; // 3uA
164. alc_struct.ALC_LOOP_TRIG_down = -3; //-3uA
165. alc_struct.ALC_LOOP_RECONV_up = 2; // 2uA
166. alc_struct.ALC_LOOP_RECONV_down = -2; //-2uA
167. alc_struct.ALC_LOOP_DRV1_LIM = 15; //(N+1)/16 * DRV_FS
168. alc_struct.ALC_LOOP_DRV2_LIM = 15; //(N+1)/16 * DRV_FS
169.
170.
171. alc_struct.ALC_LOOP_PHASE = 3; //作用phase3
172. AFE_ALC_Cfg(ALC_LOOP2,&alc_struct); //ALC LOOP2作用与phase3
173.
174. alc_struct.ALC_LOOP_PHASE = 5; //作用phase5
175. AFE_ALC_Cfg(ALC_LOOP3,&alc_struct); //ALC LOOP3作用与phase5
176.
177.
178. #endif
179.
180. }
```

基于NSA1000的智能手环心率血氧检测

5.修订历史

版本	描述	作者	日期
1.0	创建应用笔记	Hang Li,Zhao Li	2023/11/29

销售联系方式: sales@novosns.com; 获取更多信息: www.novosns.com

重要声明

本文件中提供的信息不作为任何明示或暗示的担保或授权,包括但不限于对信息准确性、完整性,产品适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的陈述或保证。

客户应对其使用纳芯微的产品和应用自行负责,并确保应用的安全性。客户认可并同意:尽管任何应用的相关信息或支持仍可能由纳芯微提供,但将在产品及其产品应用中遵守纳芯微产品相关的适用法律、法规和相关要求。

本文件中提供的资源仅供经过技术培训的开发人员使用。纳芯微保留对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其他更改的权利。纳芯微仅授权客户将此资源用于开发所设计的整合了纳芯微产品的相关应用,不视为纳芯微以明示或暗示的方式授予任何知识产权许可。严禁为任何其他用途使用此资源,或对此资源进行未经授权的复制或展示。如因使用此资源而产生任何索赔、损害、成本、损失和债务等,纳芯微对此不承担任何责任。

有关应用、产品、技术的进一步信息,请与纳芯微电子联系(www.novosns.com)。

苏州纳芯微电子股份有限公司版权所有