



深圳市华儒科技有限公司

产品使用手册

版本号	时间	文档描述	作者
V 1.0	2011-01-10	IVS-162（163）使用说明	Shirley



IVS-162（163）使用说明

V 1.0



目 录

1	产品简介	- 1 -
2	工作原理	- 2 -
2.1	原理框图.....	- 3 -
2.2	基本工作原理.....	- 4 -
3	技术参数	- 4 -
4	接口定义	- 8 -
5	功能应用	- 10 -
5.1	探测静止目标的距离.....	- 10 -
5.2	同时探测运动目标的速度和距离.....	- 14 -
5.3	探测运动目标的速度.....	- 16 -
5.4	辨别运动目标的方向.....	- 17 -
6	传感器安装说明	- 19 -
6.1	传感器安装方式.....	- 19 -
6.2	天线罩安装方式.....	- 19 -

1 产品简介

IVS-162 和 IVS-163 从属于 IVS（Innosent VCO stereo）系列，是 Innosent 公司推出的两款 K-波段带 VCO 的雷达收发器。IVS-162、163 分别为 IPS-154、155 的 VCO 版，因此，在工作性能和应用领域方面既有相似之处又有升级改良之处。

由于采用平面微带天线结构，IVS-162 和 IVS-163 的外形十分小巧，如图 1 和图 2 所示。在工作中不仅节能省电，而且非常易于集成于各种电路，也易于在安装环境中构建模块保护设施。

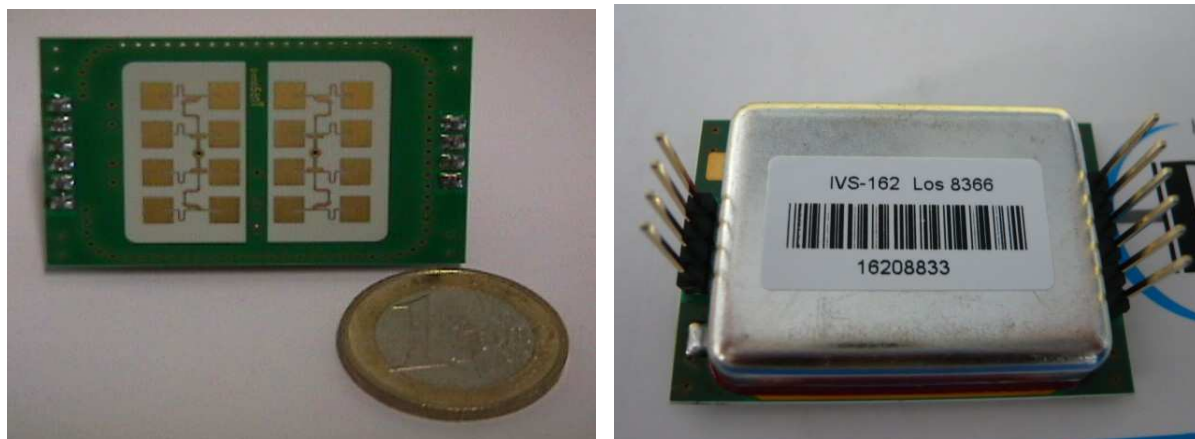


图 1 IVS-162 实物图（天线面和接口面）

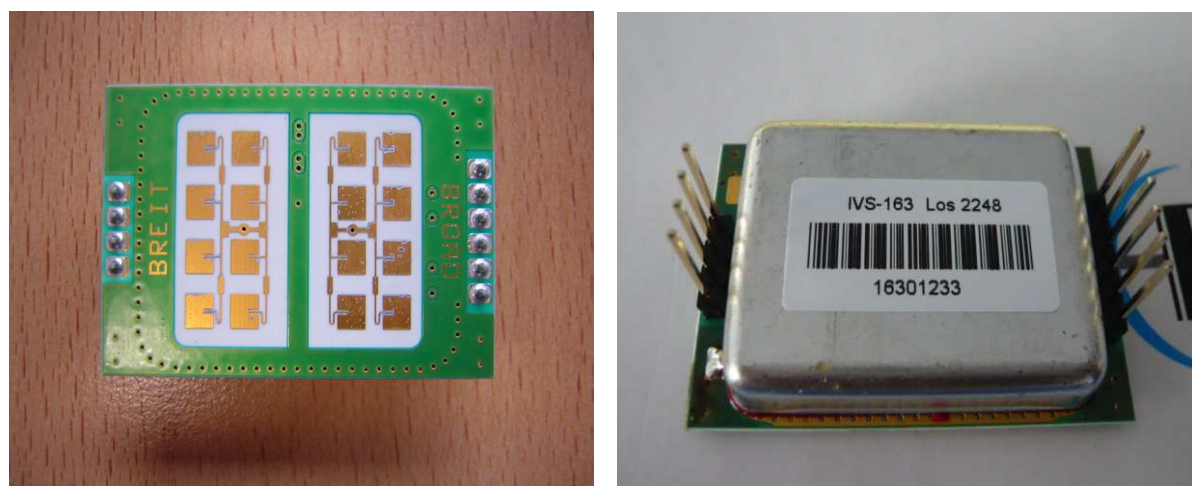


图 2 IVS-163 实物图（天线面和接口面）

IVS 系列雷达产品的功能应用多样，包括：探测运动目标速度，辨别运动目标方向，并且尤其适用于探测静态目标或动态目标的距离信息。其中，IVS-162、163 主要用于近距离目标的信息探测，又兼其天线角度较宽、波束覆盖范围较广，因此其应用领域主要涉及自动控制、电子安防等方面。

2 工作原理

IVS-162 和 IVS-163 的电路设计思想简洁巧妙，十分易于与用户的后端设计电路结合，具有很好的兼容性。

具体特征说明如下：

- K 波段带 VCO 的雷达收发器
- CW/FSK/FMCW 工作模式
- 高级低功耗 PHEMT 振荡器
- 低噪声 IF 前置放大器
- 独立的发射和接收路径，可获得最大增益
- 双通道工作可以探测目标的运动方向

2.1 原理框图

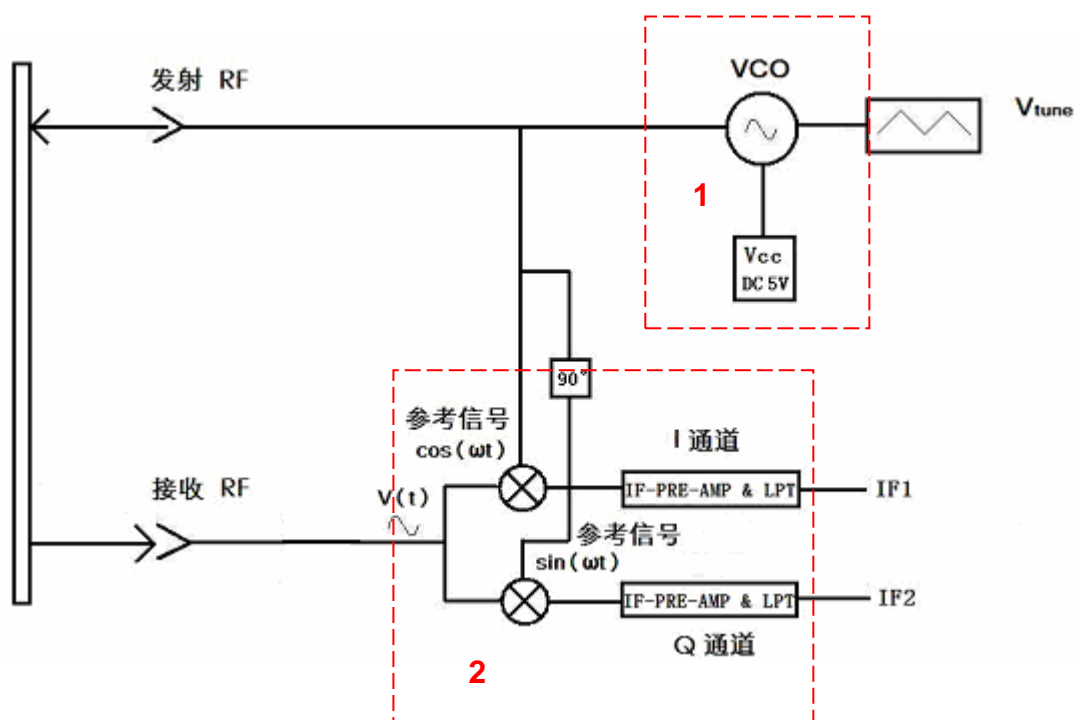


图 3 IVS-162、163 原理框图

由上图所示，IVS-162、163 模块电路主要由三部分组成：

- 信号源部分：图 3 中 1 部分所示。包括 VCO 和供压源。
 - VCO：通过 V_{tune} 的幅值变化控制发射信号的频率，实现 FMCW 工作模式；
 - 供压源：提供传感器工作电源，+5V。
- 混频输出部分：图 3 中 2 部分所示。包括混频器，IF 前置放大器。
 - 混频器：同一时刻发射信号与接收信号在此处混频；
 - IF 前置放大器：初步滤除干扰和噪声信号，限制信号带宽，并且能在一定程度上避免传感器遭受 ESD 静电危害。
- 信号收发部分：包括发射天线和接收天线。
 - 发射天线：信号发射路径；
 - 接收天线：目标回波信号接收路径；

2.2 基本工作原理

由于 IVS-162、163 是带有 VCO 的雷达传感器，无论雷达工作于 FMCW 模式还是 CW 模式，都需要对 VCO 的 V_{tune} 进行设置。

1. 在与测距相关的应用中，雷达一般工作在 FMCW 模式，首先需要设置调制信号。可设置调制信号波形为锯齿波（静态测距）或者三角波（同时动态测距和测速）；调频宽度由 V_{tune} 的幅值范围决定，选取调谐曲线上线性较好的一段（0.5~10V 范围内），即可获得相应的调频宽度；调制频率与探测距离相关，建议不超过 1kHz。

调制信号的具体设置将在第 5 节功能应用中作详细介绍。

2. 在测速及辨别目标运动方向时，雷达一般工作在 CW 模式，此时可将 V_{tune} 悬空或设为恒定直流值（如 DC 0.5V），不做调制使用。

由图 3 所示，雷达传感器具体工作原理如下：

由 VCO 输出一个频率为 f_{tra} 的发射信号，其中一路经发射天线发射出去，一路又分流成两路分别进入 I、Q 所在的通道的混频器中，其中 Q 通道的信号在混频之前还需先经 90° 的移相；接收天线接收到的回波信号，先经低噪声放大处理后，再分别经混频器与实时分流的两路信号进行混频；混频后的信号再经中频滤波放大处理，最终形成 I、Q 两路中频差频信号。

I、Q 两路中频输出信号中即携带有探测目标的距离、速度和方向信息。

3 技术参数

表 1 IVS-162 电性参数说明

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	说明
发射机						
发射频率	f	24.000		24.250	GHz	取决于 V_{tune} 幅值变化
变容调谐电压	V_{tune}	0.5		10	V	
变容二极管输入阻抗			1		k Ω	

调制频率				150	kHz	
调谐斜率		40			MHz/V	
输出功率	P _{out}		15	20	dBm	
温度漂移	Δ f		- 1		MHz/℃	
接收机						
中频放大器	增益		20		dB	
	带宽		DC - 50		k Hz	
输出阻抗			100		Ω	
电压偏置	voltage offset	1.0	2.2	4.0	V	
I/Q 平衡	幅度			6	dB	
	相位	60	90	120	°	
天线						
天线样式（ - 3dB）	水平方向		45		°	方位角
（参见图 4）	垂直方向		38		°	仰角
旁瓣抑制比	水平方向		13		dB	方位角
	垂直方向		13		dB	仰角
电源						
正向工作电压	V _{CC}	4.75	5.0	5.25	V	
正向工作电流	I _{CC}		35	50	mA	
环境						
工作温度	T _{OP}	- 20		+ 60	℃	
外型尺寸	44 x 30 x8.3（19）				mm	
绝对极限值						
工作电压	V _{CC}	5.5			V	
变容调谐电压	V _{tune}	10			V	
工作温度	T _{OP}	-40/+85			℃	
储存温度	T _{STG}	+90			℃	

表 2 IVS-163 电性参数说明

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	说明
发射机						
发射频率	f	24.000		24.250	GHz	取决于 V _{tune} 幅值变化
变容调谐电压	V _{tune}	0.5		10	V	
变容二极管输入阻抗			1		k Ω	
调制频率				150	kHz	
调谐斜率		40			MHz/V	
输出功率	P _{out}		15	20	dBm	
温度漂移	Δ f		- 1		MHz/℃	
接收机						
中频放大器	增益		20		dB	
	带宽		DC – 50		k Hz	
输出阻抗			100		Ω	
电压偏置	voltage offset	1.0	2.2	4.0	V	
I/Q 平衡	幅度			6	dB	
	相位	60	90	120	°	
天线						
天线样式（ - 3dB）	水平方向		70		°	方位角
（参见图 5）	垂直方向		36		°	仰角
旁瓣抑制比	水平方向		13		dB	方位角
	垂直方向		13		dB	仰角
电源						
正向工作电压	V _{CC}	4.75	5.0	5.25	V	
正向工作电流	I _{CC}		35	50	mA	
环境						
工作温度	T _{OP}	- 20		+ 60	℃	
外型尺寸	44 x 30 x8.3（19）				mm	
绝对极限值						
工作电压	V _{CC}	5.5			V	

工作温度	T _{OP}	-40/+85	°C	
储存温度	T _{STG}	+90	°C	

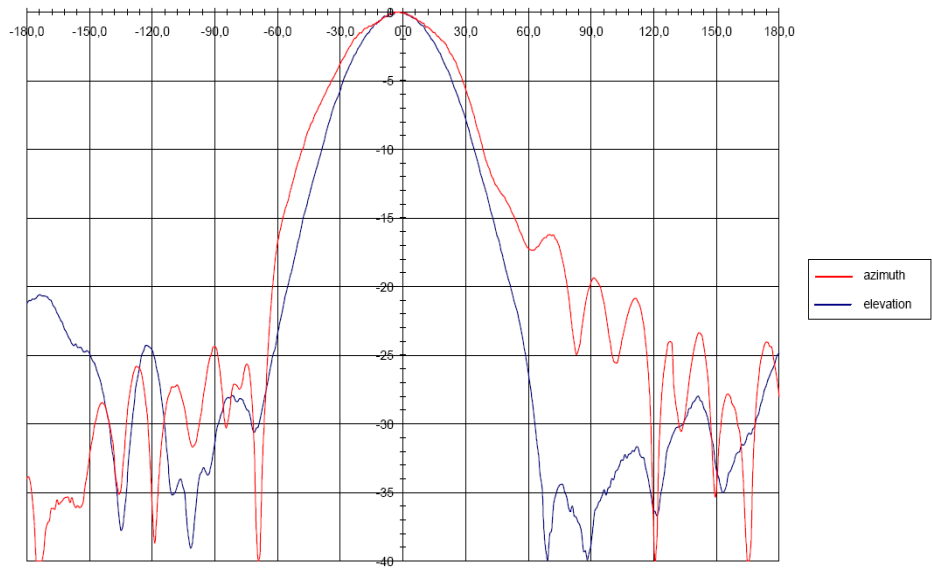


图 4 IVS-162 发射天线样式图

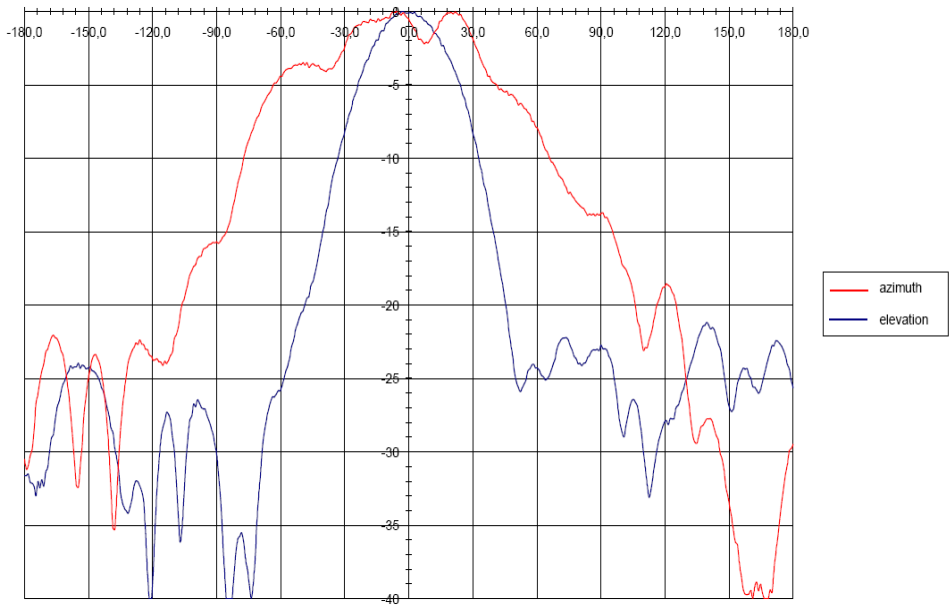


图 5 IVS-163 发射天线样式图

4 接口定义

■ 接口连接说明

IVS-162、163 的接口均为引脚间距为 2.54mm、孔间距为 0.635 mm 的单排插针，二者接口管脚排列顺序一致，如图 6 所示。因此，接口连接器也同样选择引脚间距为 2.54mm 、孔间距为 0.635 mm 单排插座（可按需求截取自 40pin 单排插座，如图 7 中所示）进行匹配。用户可通过此连接器充分利用 IVS-162、163 的各引脚功能，连接各种输入输出装置



图 6 IVS-162 接口实物图



图 7 IVS-162、163 接口连接器实物图

■ 引脚功能说明

表 3 IVS-162 引脚功能说明

序号	引脚名称	输入/输出	说明
1	V _{tune}	输入	变容调谐电压（0.5V~10V）
2	enable	输入	传感器使能端，低电平启用
3	V _{cc}	输入	正向工作电压，+5V
4	GND	输入	模拟接地
5	IF1	输出	同相信号 I
6	IF2	输出	正交信号 Q

7	GND	输入	模拟接地
8	GND	输入	模拟接地
9	NC	—	无连接
10	NC	—	无连接

表 4 IVS-163 引脚功能说明

序号	引脚名称	输入/输出	说明
1	V _{tune}	输入	变容调谐电压 (0.5V~10V)
2	enable	输入	传感器使能端, 低电平启用
3	V _{cc}	输入	正向工作电压, +5V
4	GND	输入	模拟接地
5	IF1	输出	同相信号 I
6	IF2	输出	正交信号 Q
7	GND	输入	模拟接地
8	NC	—	无连接
9	NC	—	无连接
10	NC	—	无连接

1. **V_{tune}**——变容调谐电压输入端。接入调制信号, 调谐电压变化范围为 0.5V~10V。

2. **enable**——传感器使能控制端。外部控制器给此脚低电平时, 雷达传感器开始工作。通过对该引脚进行设置, 可以控制雷达传感器的工作方式 (连续工作或者间断工作)。通常情况下, 建议将此引脚接地。

3. **V_{cc}**——电源。外接 5V 正向电压源。

4. **GND**——接地引脚。在工作时, 所有接地引脚同时接地可以有效减少干扰和噪声。

5. **IF1**——同相信号 (I) 输出端。

6. **IF2**——正交信号 (Q) 输出端。

7. **NC**——无连接。保持悬空设置。

请结合“5 功能应用”中的内容进一步了解各引脚的功能。

5 功能应用

IVS-162、163 一般用做近距离探测，探测距离可能达到 **25m** 左右。当然，雷达的最大作用距离主要还是取决于后端信号处理技术。

IVS-162、163 天线角度较宽，波束覆盖范围较广，因此比较适用于电子安防以及自动门装置、智能照明等自动控制领域。

作为 IVS 系列的产品，IVS-162、163 的功能优势主要体现在测距应用上。下面重点介绍运用 IVS-162、163 进行静态测距、动态测距的操作方法，运动方向判别及动态测速的功能应用只做简要描述。

另外，雷达传感器在探测运动目标的信息时，一般对相对雷达波束方向做径向运动的目标最为敏感。因此，以下运动目标皆认为做径向运动。

5.1 探测静止目标的距离

使用 IVS-162、163 探测静止目标与雷达传感器之间的距离时，探测过程中只产生频率的延时效应，即由时间延迟引起的同一时刻发射信号和目标回波信号的频率差异。

■ 工作模式

单通道 FMCW 工作模式，需设置调制信号。

■ 应用领域

电子围栏，电子安防等。

■ 操作流程

1. 设置调制信号

探测静止目标的距离，即静止目标到传感器之间的距离，调制信号采用锯齿波即可。这是因为，此时的干扰大多为多普勒信号，而在抗干扰性能方面，锯齿波调制要优于三角波调制。选用线性升坡曲线或者降坡曲线作为发射频率的时间相关函数，并定期重复这些波，以期得到可能的平均值。

➤ 调制幅度：选取调谐曲线中线性度最好的一段确定 V_{tune} 的调节范围。理论上，调制幅度最大范围为 0.5V~10V；

➤ 调制频率：调制信号频率理论上最大不能超过 150kHz，但建议探测远距离目标（30~100m）时采用 100~200Hz 的调制频率，探测近距离目标（10~20m）时采用 500~1kHz 的调制频率。

2. 前端模块工作流程

设置好调制信号后，通过传感器的各个引脚将其与相关设计电路或工作仪器相连接。操作步骤及工作流程如下：

1. 将引脚 V_{cc} 外接 5V 正向电压源，并将所有 **GND** 引脚接地；
2. 给引脚 V_{tune} 接入一个设置好的调制信号，已确定 V_{tune} 的调节范围截选自调谐曲线上线性较好的一段；
3. 将引脚 **IF1**（同相信号）和 **IF2**（正交信号）接入可观察信号波形的观察仪器，例如示波器；
4. **NC** 引脚保持悬空；
5. 将引脚 **enable** 外接低电平（建议直接接地），使雷达传感器开始工作；
6. 将一固定目标置于雷达探测范围内，并保持静止不动；
7. 在示波器或其他观察仪器上即可观察到 **IF1**（同相信号）和 **IF2**（正交信号）两路信号波形。

其中，**IF1**（同相信号）和 **IF2**（正交信号）两路信号中均携带有差频信号 f_D ，此差频与目标距离信息相关。

3. 后端信号处理流程

在后端对 **IF1** 或 **IF2** 信号进行分析处理，均可以得到目标的距离信息，参考流程如下：

1. 将引脚 **IF1**（同相信号）或 **IF2**（正交信号）接入高通滤波器中，滤掉调制信号及其它干扰和噪声，同时对信号进一步放大。如调制频率为 100Hz，则建议采用 1KHz 的高通滤波器。由于 IVS-162、163 模块输出端已设置有 IF 放大部分，则其输出信号本身便有一定程度的增益，因此要特别注意前端模块和滤波器的整体增益不要超过 60dB。

下图 8 即为一个增益为 0dB，频率为 1KHz 的高通滤波器，图 9 为其频率响应。

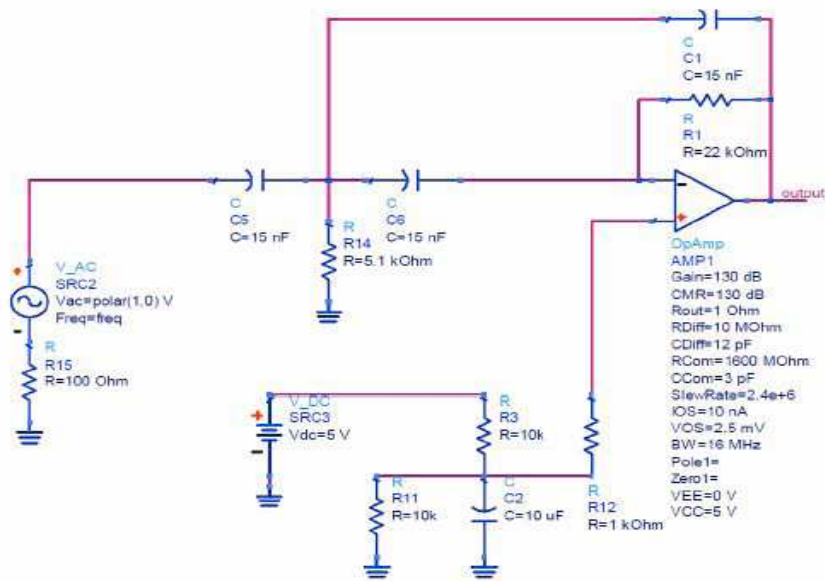


图 8 增益为 0dB、频率为 1KHz 的高通滤波器

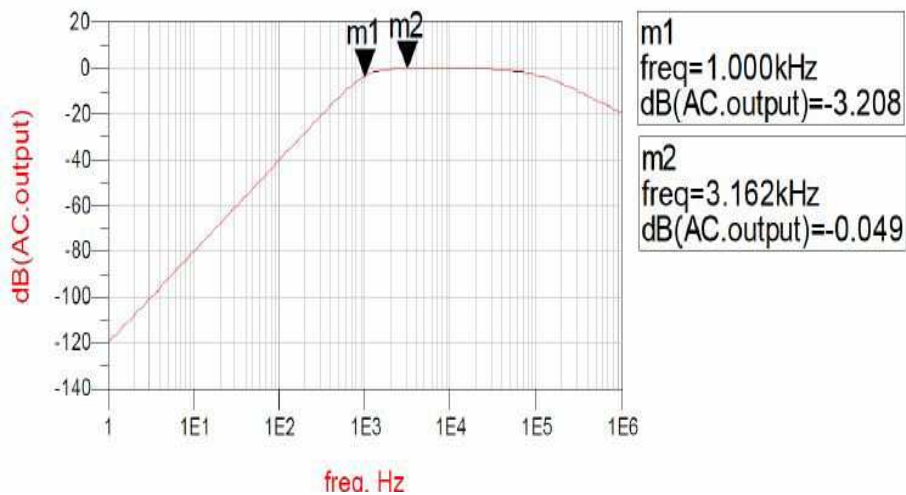


图 9 频率响应

2. 将滤波后的信号经 AD 转换后送入 DSP 处理装置，即可分析得到目标的距离信息。

其中，静态目标距离 R 与差频 f_D 的关系请参考下列公式：

$$R = \frac{c_0}{2} \cdot T \cdot \frac{f_D}{\Delta f} \quad (1)$$

或

$$R = \frac{c_0}{2} \cdot \frac{1}{f} \cdot \frac{f_D}{\Delta f} \quad (2)$$

f_D 差频

Δf 振荡器发射频率的变化范围，即调频宽度

T 锯齿波重复周期

f 调频速度， $f = \frac{1}{T}$

R 目标的距离

c_0 光速

实际测量时，请参考“信号频率与目标距离对照表”。

■ 测距精度

1. 如何提高测距精度

实际上，测距精度主要与后端信号处理技术有关。后端采样时采用脉冲压缩等技术或者提高 FFT 采样点数都可能提高距离测量时的测距精度。

2. 最小可测距离

由公式(1)和(2)可以看出，固定其余参数时，调频宽度 Δf 越大，探测距离可能越小。要使得差频处理有意义，就要使调频速度 f 等于差频 f_D ，也就是说，扫描要生成一整个差频周期，此时可定义最小可测距离 R_{\min} 。公式如下：

令 $f = f_D = \frac{1}{T}$ 由公式(1)或(2)可得

$$R_{\min} = \frac{c_0}{2 \cdot \Delta f} \quad (3)$$

如果分配调频宽度为 250MHz 的 24GHz ISM 频段，由公式（3）可计算出传感器的距离分辨率即最小可测距离为 0.6m。

要提高距离分辨率，即减小最小可测距离，则要增大调频宽度；如果调频宽度有限，则距离分辨率主要由后期信号处理技术决定。

5.2 同时探测运动目标的速度和距离

IVS-162、163 在同时探测动态目标的距离和瞬时速度时，探测过程中既产生时间延迟效应又有多普勒效应，即同一时刻发射信号和目标回波信号的频率差异是由时间延迟效应和多普勒效应共同引起的。

■ 工作模式

单通道 FMCW 工作模式，需设置调制信号。

■ 应用领域

自动开门装置，智能照明，电子围栏等。

■ 测量精度

请参考 5.1 节中的测距精度；测速精度约 1% 左右，主要取决于后端信号处理技术。

■ 操作流程

1. 设置调制信号

同时探测运动目标的速度和距离信息时，调制信号采用三角波信号。由于同时存在时间延迟效应和多普勒频移效应，因此选用一个三角函数（具有升坡曲线和降坡曲线）来满足此时问题的复杂性。

➤ 调制幅度：选取调谐曲线中线性度最好的一段确定 V_{tune} 的范围。理论上，调制幅度最大范围为 0.5V~10V；

➤ 调制频率：调制信号频率理论上最大不能超过 150kHz，但建议探测远距离目标（30~100m）时采用 100~200Hz 的调制频率，探测近距离目标（10~20m）时采用 500~1kHz 的调制频率。

2. 前端模块工作流程

设置好调制信号后，通过传感器的各个引脚将其与相关设计电路或工作仪器相连接。操作步骤及工作流程如下：

1. 将引脚 V_{cc} 外接 5V 正向电压源，所有 **GND** 引脚接地；

2. 给引脚 **V_{tune}** 接入一个设置好的调制信号，已确定 **V_{tune}** 的调节范围截选自调谐曲线上线性较好的一段；

3. 将引脚 **IF1**（同相信号）和 **IF2**（正交信号）接入可观察信号波形的观察仪器，例如示波器；

4. **NC** 引脚保持悬空；

5. 将引脚 **enable** 外接低电平（建议直接接地），使雷达传感器开始工作；

6. 在雷达传感器的探测范围内，令一动态目标相对雷达传感器大致做径向运动；

7. 在示波器或其他观察仪器上即可观察到 **IF1**（同相信号）和 **IF2**（正交信号）两路信号波形。

其中，**IF1**（同相信号）和 **IF2**（正交信号）两路信号中分别都包括在调制信号升坡阶段产生的信号差频 f_{diff_up} 和降坡阶段产生的信号差频 f_{diff_down} 。 f_{diff_up} 和 f_{diff_down} 同时与目标的距离信息和瞬时速度信息相关。

3. 后端信号处理流程

在后端对 **IF1** 或 **IF2** 信号进行分析处理，可以同时得到动态目标的距离信息和瞬时速度信息，参考流程如下：

1. 将引脚 **IF1**（同相信号）或 **IF2**（正交信号）接入高通滤波器中，滤掉调制信号及其它干扰和噪声，同时对信号进一步放大；滤波器的选择请参照第 5.1 节中“后端信号处理流程”的意见；

2. 将滤波后的信号经 AD 转换后送入 DSP 处理装置，即可分析得到目标的距离信息和瞬时速度信息。其中，动态目标距离信息是由多普勒效应和时间延迟效应叠加来反映的。动态目标的距离 **R**、瞬时速度 **v** 与信号差频 f_{diff_up} 、 f_{diff_down} 的关系请参考以下公式：

速度公式：

$$v = \frac{c_0 \cdot (f_{diff_up} + f_{diff_down})}{4 \cdot f_0} \quad (4)$$

距离公式：

$$R = \frac{(|f_{diff_up} - f_{diff_down}| \cdot c_0 \cdot T)}{4 \cdot \Delta f} \quad (5)$$

实际测量时，请参考“信号频率与目标距离对照表”。

5.3 探测运动目标的速度

采用 IVS-162、163 单独做此项功能应用的情况较少。在做单独应用时，通常情况下，设置雷达传感器工作在单通道 CW 模式，即无需设置调制信号，直接将引脚 V_{tune} 悬空或设置为某一恒定值（如 DC 0.5V）。此时，IVS-162、163 的操作流程与 IPS 系列雷达传感器相似。

1. 前端模块工作流程

请参照第 5.2 节中“前端模块工作流程”。

2. 后端信号处理流程

1. 将引脚 **IF1**（同相信号）或 **IF2**（正交信号）接入带通滤波器中，滤掉干扰信号和噪声信号，同时也是对输出信号做进一步放大；滤波器的选择请参照“雷达产品技术支持手册 II：后端信号处理技术”中的意见；

2. 将滤波后的信号经 AD 转换后送入 DSP 处理装置，即可分析得到目标的速度信息。其中，动态目标的速度 v 与差频 f_D 的关系请参考下列公式：

$$f_D = 2 f_0 \cdot \frac{v}{c_0} \cdot \cos \alpha \quad (6)$$

f_D 多普勒频率或差频

f_0 雷达的发射频率

v 运动物体的速度范围

c_0 光速

α 运动的实际方向与传感器—目标连线之间的角度

由以上公式可大致得到多普勒频率 f_D 与径向运动速度 v 的对应关系（此时令 $\alpha = 0$ ）。

例如：44Hz (f_D) = 1Km/h (v)，8.8kHz (f_D) = 200 Km/h (v)。

5.4 辨别运动目标的方向

IVS-162、163 在应用于运动目标的方向辨别时，通常会伴随测距和/或测速应用，采用双通道工作模式，可应用于电子围栏，电子安防等领域。

➤ 运动目标方向辨别伴随测距（也可同时伴随测速）应用时，设置传感器工作在 **FMCW** 模式。此时，调制信号的设置请参照第 5.2 节，后端信号调理采用高通滤波器。

➤ 运动目标方向辨别伴随测速应用时，设置传感器工作在 **CW** 模式，则不需要设置调制信号，可直接将引脚 V_{tune} 悬空或设置为某一恒定值（如 **DC 0.5V**）。此时，传感器的操作流程与 **IPS** 系列雷达传感器相似，后端信号调理采用带通滤波器。

1. 前端模块工作流程

请参照第 5.2 节中“前端模块工作流程”。

2. 后端信号处理流程

如果动态目标相对雷达传感器做靠近或远离的运动，则可在示波器的时域图上观察到其中一路信号相对于另一路超前或滞后 90° 。

如下图所示，当目标做靠近传感器的径向运动时，I 信号滞后于 Q 信号 90° ；当目标做远离传感器的径向运动时，I 信号超前于 Q 信号 90° 。

即最简单的辨别运动目标方向的方法为，计算示波器时域图中零交点的数目，并且辨别 I、Q 哪路信号在前。

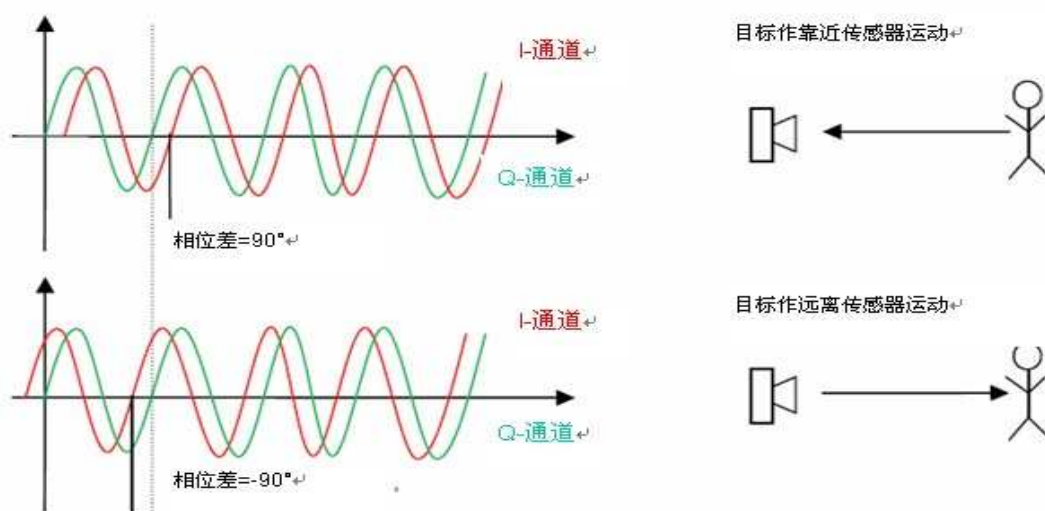


图 10 运动目标的方向与 I、Q 信号的关系

在后端同时对 **IF1** 和 **IF2** 信号进行分析处理，则可以得到运动目标的方向信息，参考流程如下：

1. 将引脚 **IF1**（同相信号）或 **IF2**（正交信号）接入高通或带通滤波器中。滤波器的选择请参照“雷达产品技术支持手册 II：后端信号处理技术”中的意见；
2. 将滤波后的两路信号接入一个相位鉴别电路中，进行相位判别，即可判断出目标的运动方向。下图为一个运动方向探测的参考电路图。

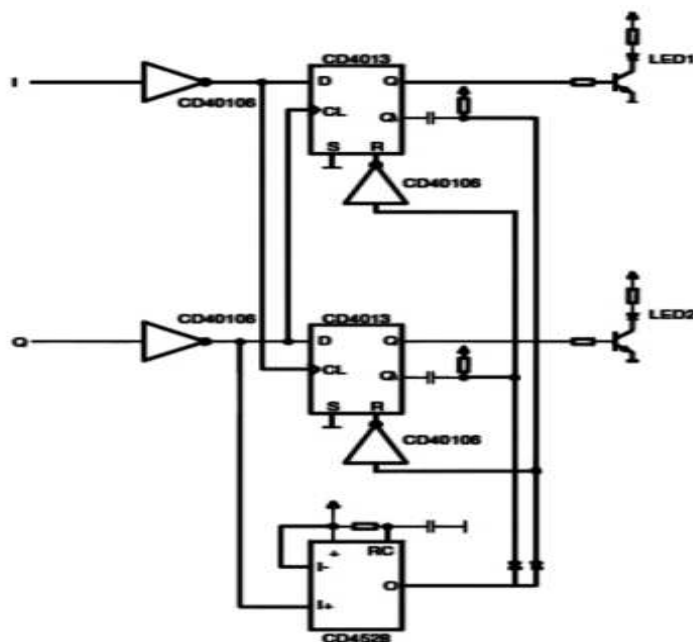


图 11 探测运动方向参考电路图

首先触发的 D 触发器（CD4013）将重置第二个 D 触发器，LED1 将显示正靠近或远离的物体，同时 LED2 将显示互补行为。多普勒信号消失一定的时间后，单触发器（CD4528）将关闭 LED。

理论上 I、Q 应为两路幅值相同，相位相差 90° 的信号，但由于实际测量导致的误差，其幅值可有 6dB 的误差，而相位差也允许在 $60^\circ \sim 120^\circ$ 的范围内变化。

说明：

在以上各个功能应用中，雷达的具体工作原理以及公式算法分析请参见产品使用手册“雷达产品技术支持手册 I：雷达传感器工作原理”，关于后端信号处理流程的更多意见请参考“雷达产品技术支持手册 II：后端信号处理技术”。

6 传感器安装说明

由于 IVS-162、163 内部集成有 IF 前置放大器，即不存在对 ESD 的特定灵敏度，但仍然需要注意防静电以及在安装环境下对平面天线部分的必要保护。详细的 ESD 防护方法请参考产品使用手册“雷达产品技术支持手册III：ESD 静电防护手册”。

6.1 传感器安装方式

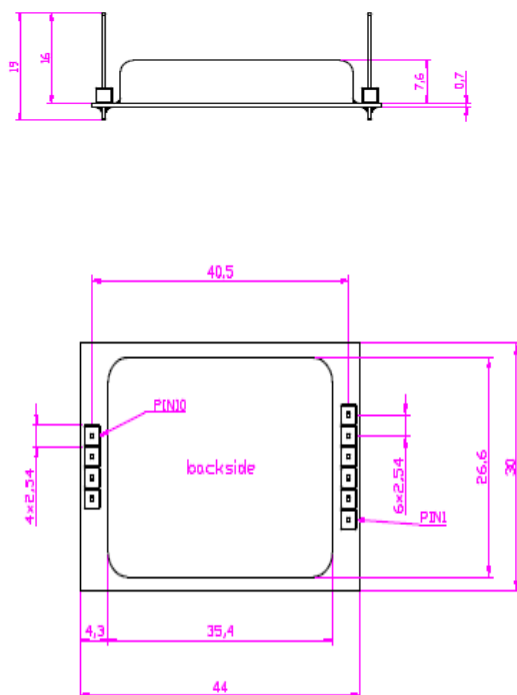


图 12 IVS-162、163 模块尺寸

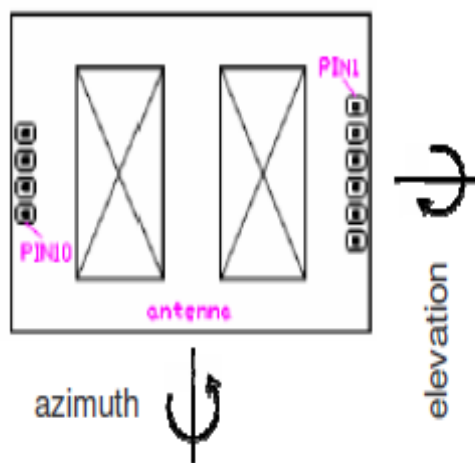


图 13 IVS-162、163 模块安装示意图

6.2 天线罩安装方式

■ 天线罩材料选择

在安装时，不可以用金属材料或金属层包裹天线；而对于塑料材料和塑料泡沫，只要其中不含碳，均可用于包裹天线。

➤ 下列材料或方法不适用于保护或包裹天线

1. 用金属箔或用部分金属部件来包裹；
2. 用任何种类的油漆或清漆喷洒天线结构；
3. 用 CFK 薄片（可导电）包裹；
4. 塑料材料与腐蚀的天线结构直接接触（对贴片的共振频率有较高的介电常数影响）。

➤ 下列材料或方法非常适用于保护或包裹天线

1. 若塑料材料不直接与天线结构接触，并且已估算出正确的厚度和空间，则可考虑用塑料材料（ABS，PVC 等材料）包裹；
2. 若泡沫（如 Styropor 或相似材料）的相对介电常数接近于 1，则可将其直接安装在天线表面。

■ 天线罩推荐尺寸

对于 24GHz 雷达，根据经验，天线罩可以采用厚度约 3mm 的塑料材料，与天线表面的距离约 6mm。

如果使用比推荐厚度更厚的塑料材料，则必须考虑插入损耗的增加，并且过厚的天线罩可能对天线方向图产生影响。下图即为传感器模块的安装示意图。

天线罩材料的厚度：

$$\text{厚度} = \frac{6\text{mm}}{\sqrt{\epsilon}}, \quad \epsilon \text{ 为在 24GHz 工作环境下材料的介电常数}$$

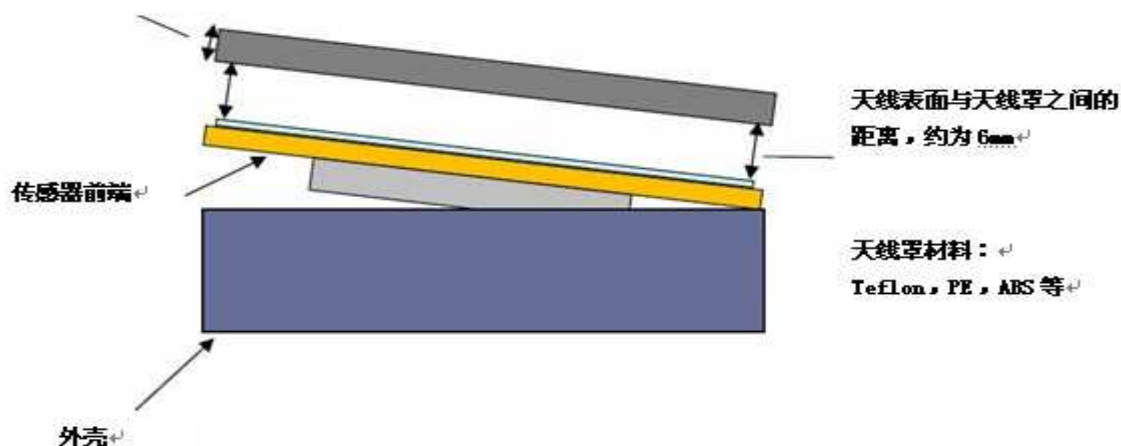


图 14 雷达传感器天线罩安装示意图