

超声波传感器 应用指南

Ultrasonic Sensor



Application Manual

Innovator in Electronics

muRata
村田制作所

序言

超声波传感器向空气中发射超声波，探测来自某个物体的反射波。超声波传感器具有多种用途，例如防盗报警系统、门自动启闭装置、汽车倒车传感器以及各种电子设备的遥控装置。

随着信息处理技术的迅猛发展，新的超声波传感器应用领域如工厂自动化设备和汽车用电子设备，正在与日俱增，而且将会不断地得到扩展。

借助其多年来发明的独特的压电陶瓷制造技术，村田公司已经开发出多种类型的体积小、性能优越的超声波传感器。

本指南所包含的信息将有助于您有效地利用本公司的超声波传感器。

村田公司超声波传感器的特点

- (1) 小型、重量轻
- (2) 高灵敏度和高声压
- (3) 耗电量低
- (4) 高可靠性

1	超声波的特性	2
1.	波长与辐射	2
2.	反射	2
3.	温度效应	2
4.	衰减	2
2	结构与工作原理	3
1.	开放型超声波传感器	3
2.	密封型超声波传感器	4
3.	高频超声波传感器	4
3	电气特性	5
1.	声压特性	5
2.	灵敏度特性	5
3.	辐射	5
4.	额定值	6
4	应用	8
1.	应用示例	8
2.	发射与接收电路	9
3.	距离测量应用	10
4.	安装	11
5.	增强方向性	12
5	其他特性	13
■	注意事项	14

目录

1 超声波的特性

2 结构与工作原理

3 电气特性

4 应用

5 其他特性

1 超声波的特性

超声波是一种人耳无法听到的、频率一般超过20kHz的声音。
超声波的基本特性如下所述：

1. 波长与辐射

波的传播速度是用频率乘以波长来表示。电磁波的传播速度是 3×10^8 m/s，而声波在空气中的传播速度很慢，约为344 m/s (20 时)。在这种比较低的传播速度下，波长很短，这就意味着可以获得较高的距离和方向分辨率。

正是由于这种较高的分辨率特性，才使我们有可能在进行测量时获得很高的精确度。超声波设备的外表面尺寸易于获得精确的辐射。

2. 反射

要探测某个物体是否存在，超声波就能够在该物体上得到反射。

由于金属、木材、混凝土、玻璃、橡胶和纸等可以反射近乎100%的超声波，因此我们可以很容易地发现这些物体。

由于布、棉花、绒毛等可以吸收超声波，因此很难利用超声波探测到它们。同时，由于不规则反射，通常可能很难探测到表面振动幅度很大的物体。

3. 温度效应

声波传播的速度“c”可以用下列公式表示。

$$c = 331.5 + 0.607t \text{ (m/s)}$$
 式中，t=温度 ()

也就是说，声音传播速度随周围温度的变化而有所不同。

因此，要精确的测量与某个物体之间的距离时，始终检查周围温度是十分必要的。

4. 衰减

传播到空气中的超声波强度随距离的变化成比例地减弱，这是因为衍射现象所导致的在球形表面上的扩散损失，也是因为介质吸收能量产生的吸收损失。

如图1所示，超声波的频率越高，衰减率就越高，波的传播距离也就越短。

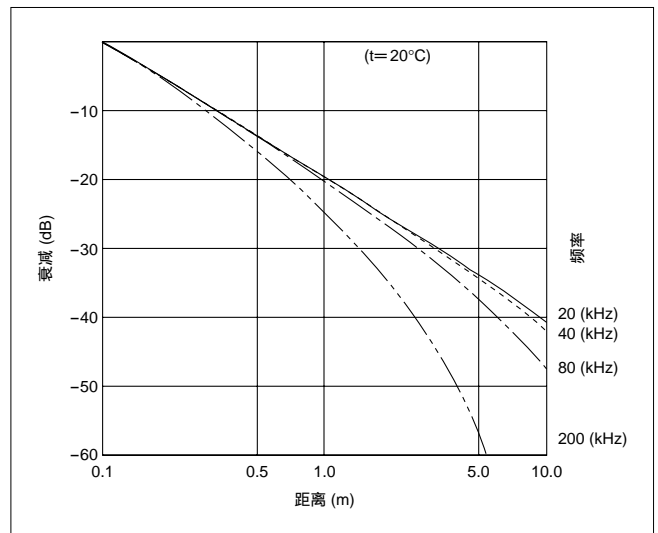


图1 声压在不同距离上的衰减特性

2 结构与工作原理

当电压作用于压电陶瓷时，就会随电压和频率的变化产生机械变形。

另一方面，当振动压电陶瓷时，则会产生一个电荷。

利用这一原理，当给由两片压电陶瓷或一片压电陶瓷和一个

金属片构成的振动器，所谓叫双压电晶片元件，施加一个电信号时，就会因弯曲振动发射出超声波。相反，当向双压电晶片元件施加超声振动时，就会产生一个电信号。

基于以上作用，便可以将压电陶瓷用作超声波传感器。

1. 开放型超声波传感器

如超声波传感器示意图所示 (图2)，一个复合式振动器被灵活地固定在底座上。

该复合式振动器是谐振器以及，由一个金属片和一个压电陶瓷片组成的双压电晶片元件振动器的一个结合体。谐振器呈喇叭形，目的是能有效地辐射由于振动而产生的超声波，并且可以有效地使超声波聚集在振动器的中央部位。

图3 显示的是复合式振动器的振动有限元素法模拟图。

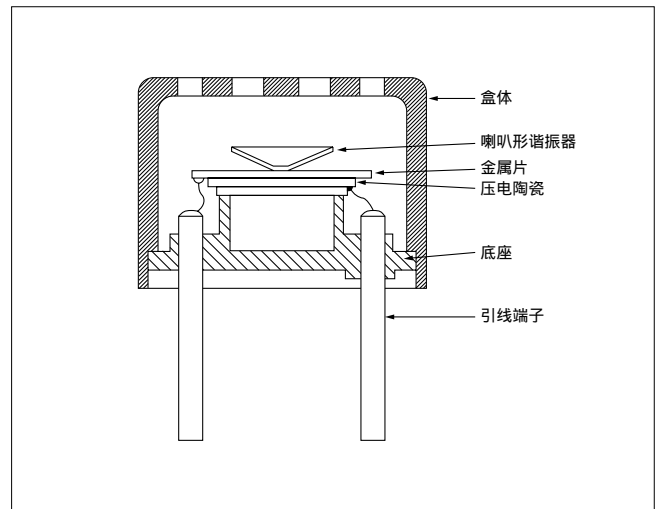


图2 开放型超声波传感器的构造

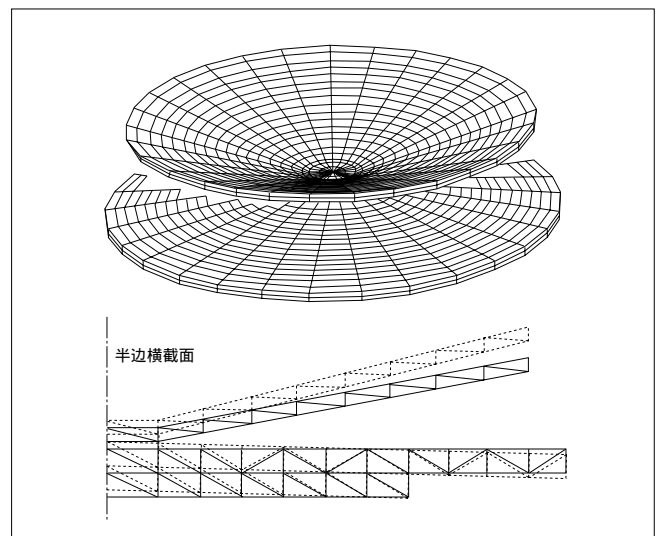


图3 振动模拟

2 结构与工作原理

2. 密封型超声波传感器

室外用途的超声波传感器必须具有良好的密封性，以便防止露水、雨水和灰尘的侵入。

压电陶瓷被固定在金属盒体的顶部内侧。底座固定在盒体的开口端，并且使用树脂进行覆盖。（参见图4）

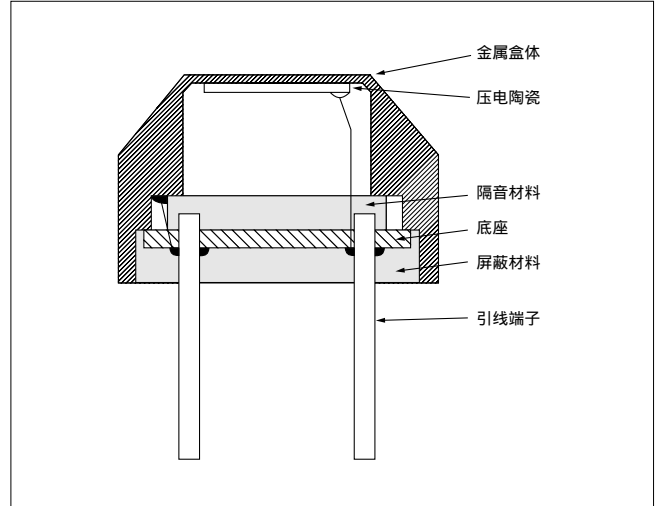


图4 密封型超声波传感器的构造

3. 高频超声波传感器

对应用于工业机器人的超声波传感器而言，要求其精确度要达到1mm，并且具有较强的超声波辐射。利用常规双压电晶片元件振动器的弯曲振动，在频率高于70kHz的情况下，是不可能达到此目的的。所以，在高频率探测中，必须使用垂直厚度振动模式的压电陶瓷。

在这种情况下，压电陶瓷的声阻抗与空气的匹配就变得十分重要。

压电陶瓷的声阻抗为 $2.6 \times 10^7 \text{kg/m}^2\text{s}$ ，而空气的声阻抗为 $4.3 \times 10^2 \text{kg/m}^2\text{s}$ 。

5个幂的差异会导致在压电陶瓷振动辐射表面上的大量损失。一种特殊材料粘附在压电陶瓷上，作为声匹配层，可实现与空气的声阻抗相匹配。

这种结构可以使超声波传感器在高达数百kHz频率的情况下，仍然能够正常工作。

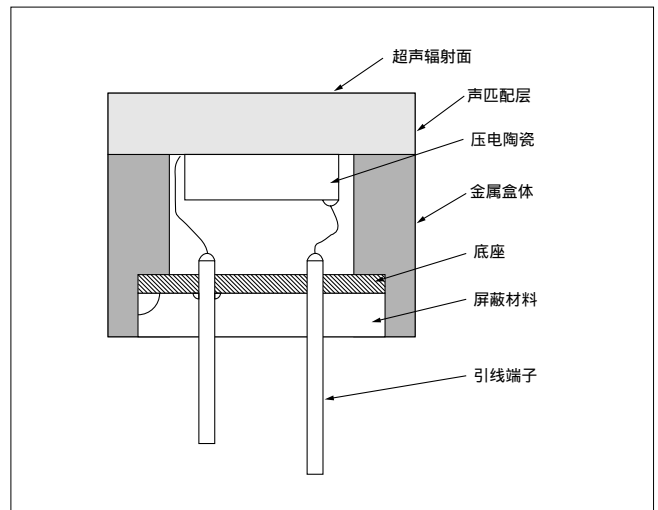


图5 高频超声波传感器的构造

3 电气特性

1. 声压特性

声压级 (S.P.L.) 是表示音量的单位, 利用下列公式予以表示。

$$S.P.L. = 20 \log P / P_{re} \text{ (dB)}$$

式中, “P” 为有效声压 ($\mu \text{ bar}$), “Pre” 为参考声压 ($2 \times 10^{-4} \mu \text{ bar}$)

图6所示为一个声压检测电路。

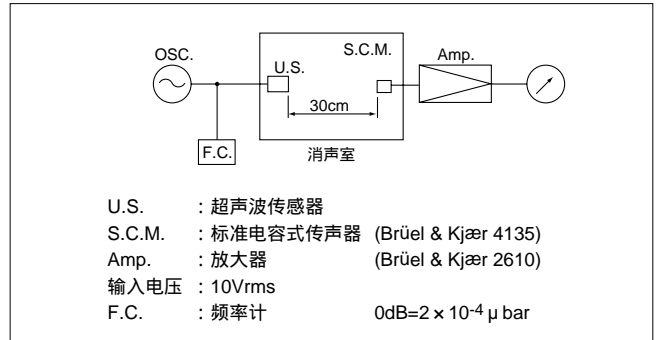


图6 声压检测电路

2. 灵敏度特性

灵敏度是表示声音接收级的单位, 使用下列公式予以表示。

$$\text{灵敏度} = 20 \log E / P \text{ (dB)}$$

式中, “E” 为所产生的电压 (Vrms), “P” 为输入声压 ($\mu \text{ bar}$)。

图7显示的是一个灵敏度检测电路。安装有一个与传感器电极端子相连接的3.9k 电阻, 其目的是免受外界噪音的影响。

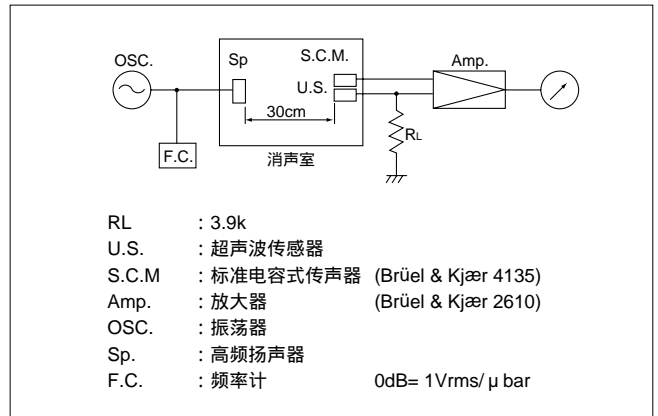


图7 灵敏度检测电路

3. 辐射

把超声波传感器安装在台面上。然后, 测量角度与声压 (灵敏度) 之间的关系。

为了准确地表达辐射, 与前部相对比, 声压 (灵敏度) 级衰减 6dB的角度被称为半衰减角度, 用 $1/2$ 表示。

3 电气特性

4. 额定值

关于标准类型超声波传感器的额定值和尺寸, 请参见表1。中, 则表示了其辐射特性。
有关灵敏度和声压的频率特性, 请参见图8和9。在图10和11

项目	品名	MA40S4R/S	MA40B8R/S	MA40B7
结构		开放型		
使用方法		接收器和发送器(双用途)型		结合型
标称频率 (kHz)		40		
总灵敏度 (dB)		-	-	-45 ⁺⁴ ₋₅
灵敏度 (dB)		-63±3	-63±3	-
声压 (dB)		120±3	120±3	-
方向性 (deg)		80	50	44
电容量 (pF)		2550±20%	2000±20%	2000±20%
工作温度范围 ()		-40→+85	-30→+85	
可探测范围 (m)		0.2-4	0.2-6	0.2-4
分辨率 (mm)		9		
尺寸 (mm)		∅9.9×7.1h	∅16×12h	∅16×12h
重量 (g)		0.7	2.0	2.0
容许输入电压 (Vp-p)		20	40	100
		矩形波 40kHz 连续信号	矩形波 40kHz 连续信号	矩形波 40kHz 脉冲宽度 0.4ms 间隔 100ms
包装数量 (件)		540	150	150

项目	品名	MA40E7R/S	MA40E6-7	MA40E8-2	MA40E9-1
结构		防水型			
使用方法		接收器和发送器(双用途)型	结合型		
标称频率 (kHz)		40			
总灵敏度 (dB)		-	-	-	-
灵敏度 (dB)		-74 min.	-82 min.	-85 min.	
声压 (dB)		106 min.	108 min.	106 min.	103 min.
方向性 (deg)		100	75	75	100×50
电容量 (pF)		2200±20%	2200±20%	2800	4000
工作温度范围 ()		-30→+85			
可探测范围 (m)		0.2-3	0.2-2	0.2-1.5	
分辨率 (mm)		9			
尺寸 (mm)		∅18×12h	∅18×12h	∅14×8h	∅18×10h
重量 (g)		4.5	4.5	2.4	4.6
容许输入电压 (Vp-p)		85	140	160	
		矩形波 40kHz 脉冲宽度 0.4ms 间隔 100ms	正弦波 40kHz 脉冲宽度 0.4ms 间隔 100ms	矩形波 40kHz 脉冲宽度 0.8ms 间隔 60ms	
包装数量 (件)		90		80	

- 距离: 30cm, 总灵敏度: 0dB=10Vp-p, 灵敏度: 0dB=1Vrms/μbar, 声压级: 0dB=2×10⁻⁴μbar, 1μbar=0.1Pa
- 本传感器可用于此工作温度范围。有关在该温度范围内灵敏度/声压级的温度偏差或周围环境特性, 请参见各个具体传感器的技术规格。
- 方向性、可探测范围和分辨率为标准额定值。可以根据传感器的应用电路和安装方法进行调整。

电气特性 3

3

项目	品名	MA80A1	MA200A1	MA400A1
结构		高频型		
使用方法		结合型		
中心频率	(kHz)	75±5	200±10	400±20
总灵敏度	(dB)	-47 min. 0dB=18Vp-p (at 50cm)	-54 min. 0dB=18Vp-p (at 20cm)	-74 min. 0dB=18Vp-p (at 10cm)
方向性	(deg)	7		
工作温度范围	()	-10→+60	-30→+60	
可探测范围	(m)	0.5-5	0.2-1	0.06-0.3
分辨率	(mm)	4	2	1
尺寸	(mm)	∅47×24.5h	∅19×10.6h	∅11×10.5h
重量	(g)	93	6	2
容许输入电压 (Vp-p)		120	120	120
	矩形波	75kHz	200kHz	400kHz
	脉冲宽度	600μs	250μs	125μs
	间隔	50ms	20ms	10ms
包装数量	(件)	5	90	224

- 本传感器可用于此工作温度范围。有关在该温度范围内灵敏度 / 声压级的温度偏差或周围环境特性, 请参见各个具体传感器的技术规格。
- 方向性、可探测范围和分辨率为标准额定值。可以根据传感器的应用电路和安装方法进行调整。

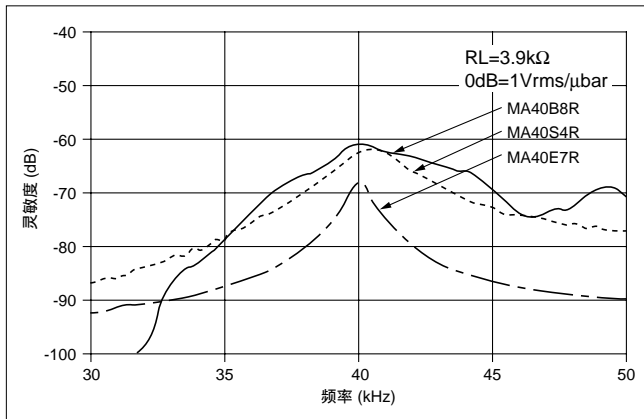


图8 灵敏度

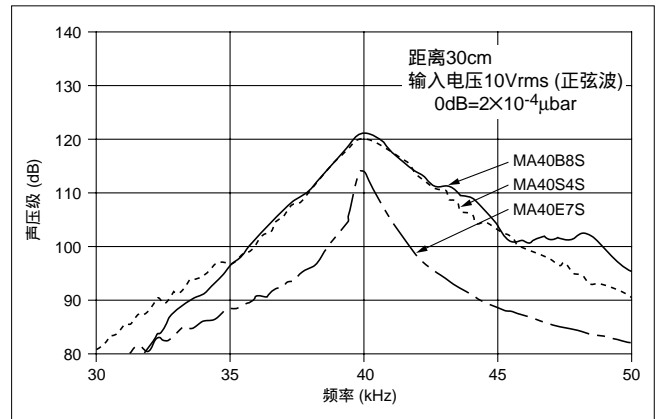


图9 声压

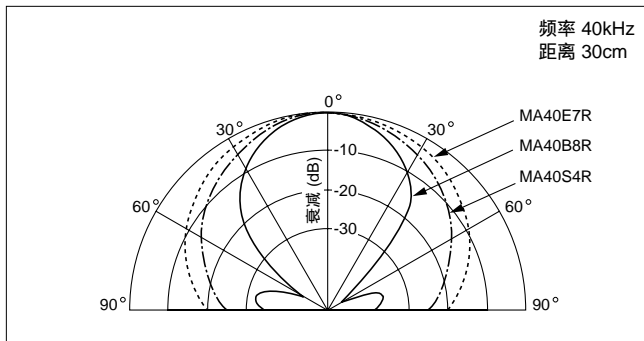


图10 辐射特性 (接收器)

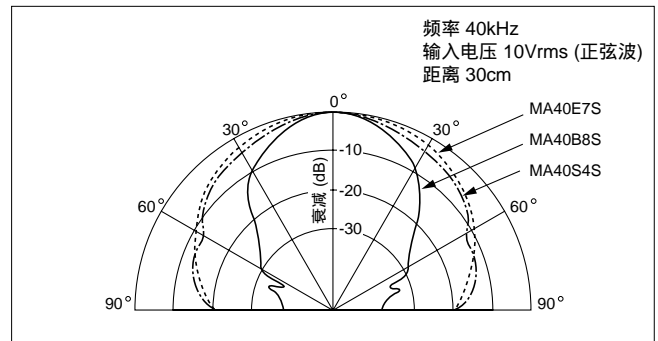


图11 辐射特性 (发送器)

4 应用

1. 应用示例

超声波传感器被应用于多种用途, 如通信检测。

有关这些用途的示例, 请参见表2和如下说明。

连续波的信号电平检测(示例1)用于计数器和近似开关, 因为这些设备的电路结构较为简单。

示例2用于诸如环境变化较大的自动门等装置。只有在检测到一定数量反射脉冲的情况下, 该装置才会启动。同时, 示例2也用于测量与某个物体之间的距离, 例如汽车的倒车传感器。

示例3是利用一种多普勒效应的应用。该现象是某个物体靠近或离开时, 多普勒效应可产生一个可调制信号, 这通常应用于防盗报警系统。

示例4是利用随气体密度不同而发生声音传播速度变化的应用。可以利用多普勒效应, 检测气体的流速和流量。

示例5是一种用于统计相对于空气流量而产生的卡门涡流数量的方法, 同时也是利用了一种现象, 即当卡门涡流通过传感器时, 超声信号电平会降低。

序号	作用方法	工作原理 (S: 发送器, R: 接收器)	应用
1	检测连续波的信号电平		计数器 近似开关 停车计时器
2	测量脉冲反射时间		自动门 液面计 交通信号的自动转换 汽车倒车声纳
3	利用多普勒效应		防盗报警系统
4	测量直接传播时间		浓度计 流量计
5	测量卡门涡流		流量计

表2 应用示例

2. 发射与接收电路

有关使用MA40B8R/S的发送和接收电路示例, 请参见图12至14。通过改变部分恒定值, 可以用于其他目的。

图12是使用C-MOS IC的简单电路, 用于连续发送超声波。

图13是前置放大器电路, 用于放大超声波接收信号。

图14是超声脉冲发送电路。

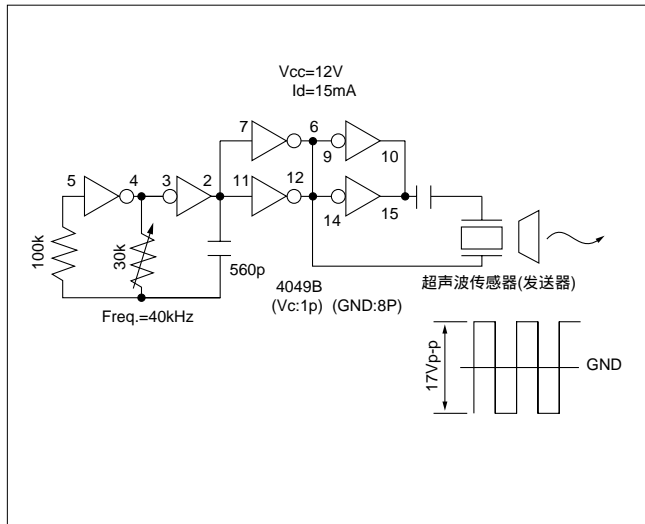


图12

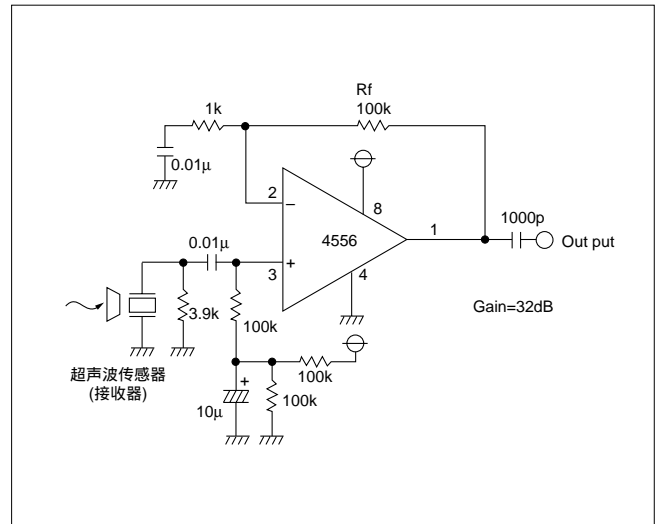


图13

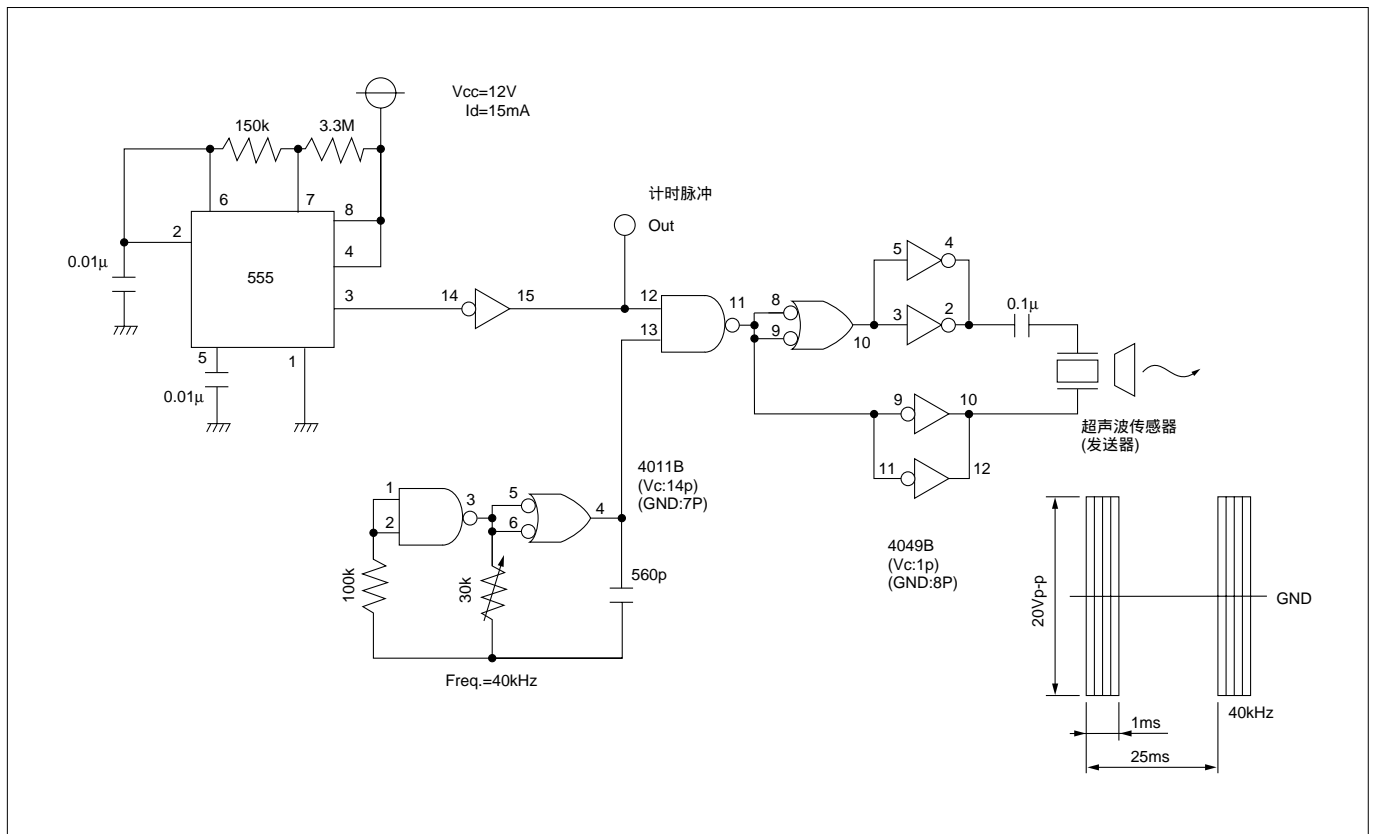


图14

4 应用

3. 距离测量应用

图15所示为测量距离的工作原理, 被称做“脉冲反射法”, 可以统计参考脉冲的数量。

本方法用于测量超声波发送脉冲和物体之间、接收脉冲和物体之间的反射时间。

对于距物体L的距离与发射时间T之间的关系, 用下列公式表示:

$$L = C \cdot T / 2 \quad \text{式中, } C \text{ 为声音传播速度。}$$

即, 通过测量到达物体的反射时间, 可以确定与物体之间的距离。

图16所示的是使用MA40B8R/S的距离测量电路的示例。

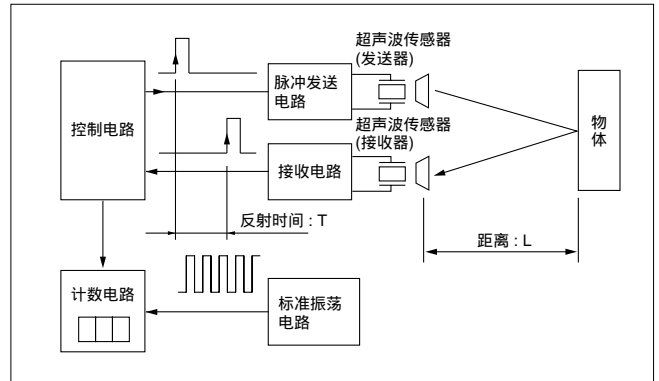


图15 测量距离的工作原理

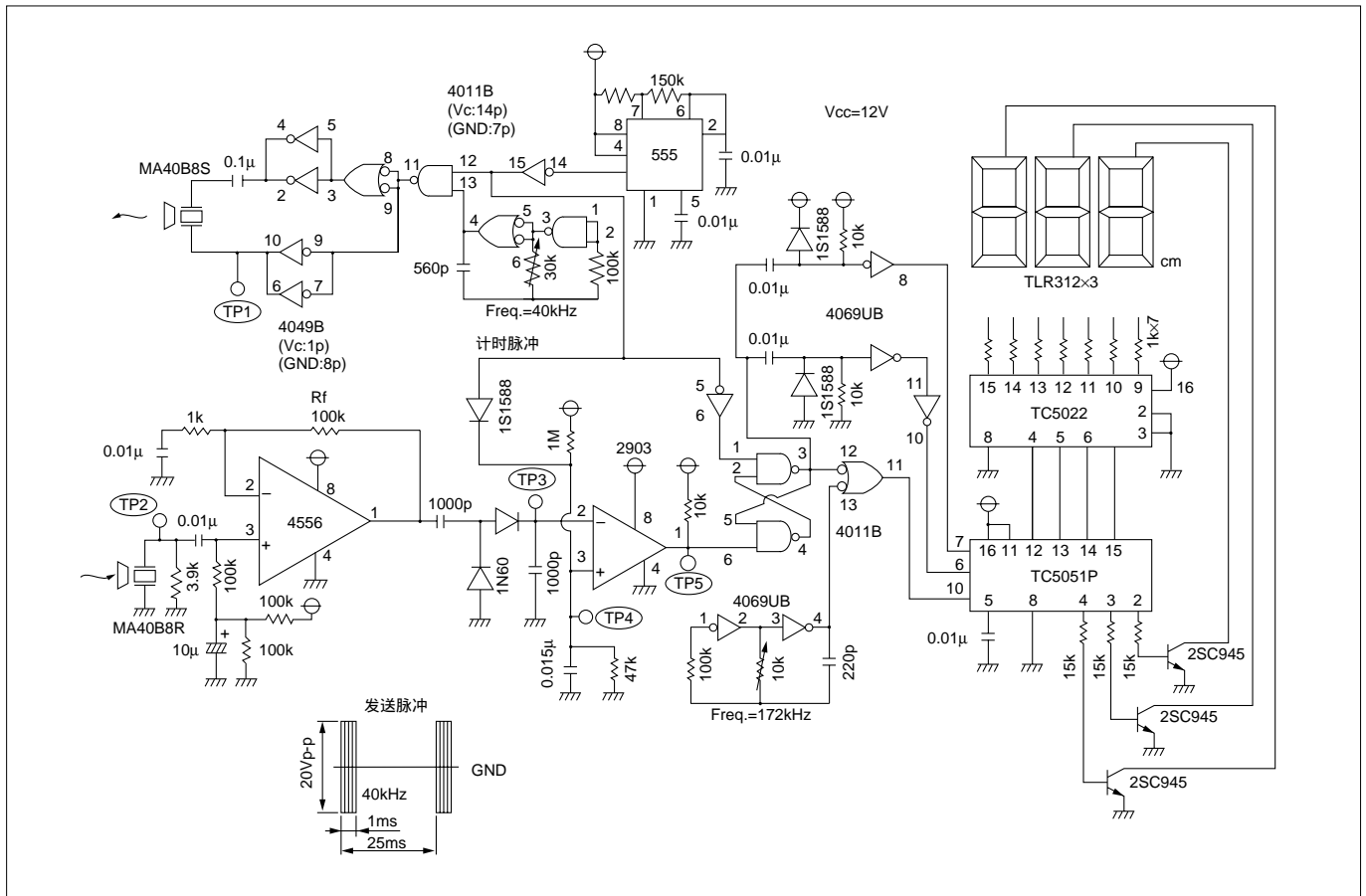


图16 距离测量电路的示例

应用 4

图17所示的是电路各个部分的波形。

该图为测量与一块瓦楞板 (10cm × 10cm) 之间距离的结果, 该瓦楞板位于安装在PC主板上的超声波传感器前方50cm处。发送器与接收器之间的间隔距离为3cm。

由于超声波传感器具有辐射性, 如果发送器与接收器之间的距离太近, 则超声波会直接从发送器达到接收器。

如图19 (b) 所示, 与随着时间按指数规律地衰减的比较电压可进行对比。

所检测到的反射波如图19 (c) 所示。

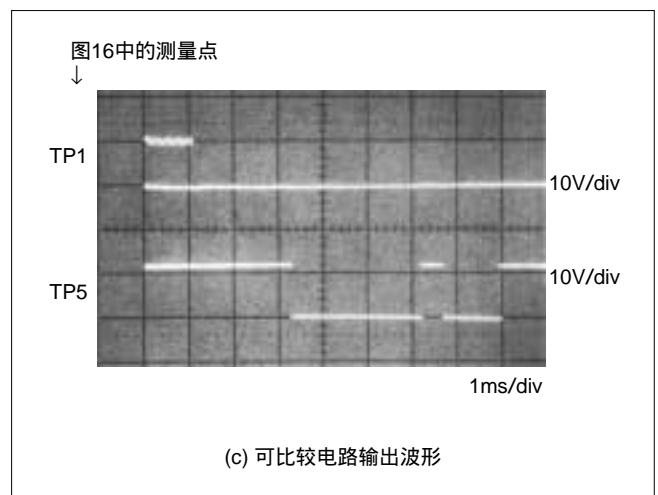
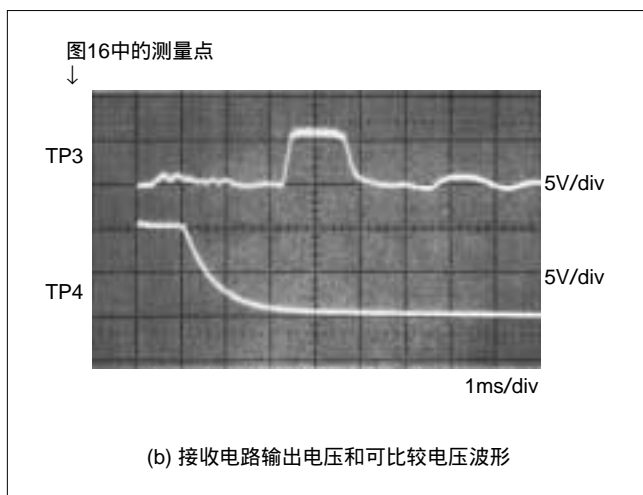
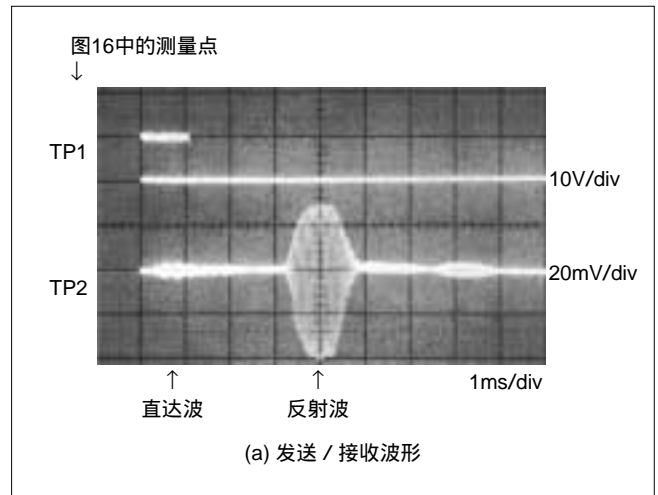


图17 电路各个部分的波形

4. 安装

图18为超声波传感器的安装示例。

应该使用弹性材料保护超声波传感器的外壳, 例如橡胶、海绵等, 并且应该注意不能从发送器直接向接收器发送超声波振动。

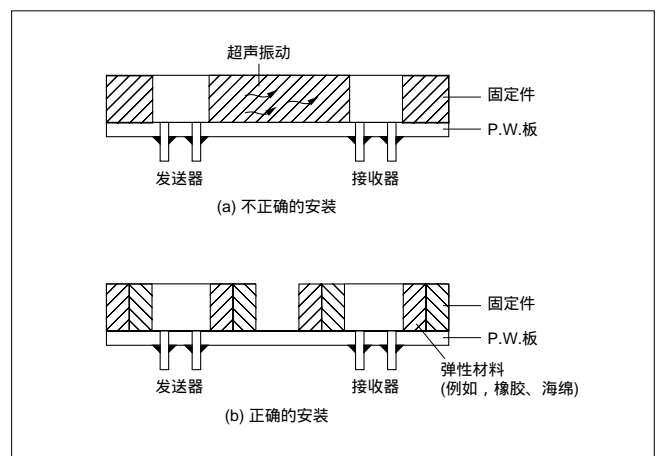


图18 超声波传感器安装示例

4 应用

5. 增强方向性

在反射超声波的感应区域内有物体存在, 不过只探测到一个特定物体时, 更强的方向性是较为有利的。方向性取决于超声辐射面的尺寸和频率, 但是可以利用在超声波传感器外部安装一个喇叭形谐振器的方法, 来强化方向性和延长测量距离。

关于喇叭形谐振器, 一般来说, 开口的直径越大总体长度就越长, 方向性强度就越高。

有关使用MA40S4R/S时的喇叭形辐射体结构与灵敏度方向性之间的关系, 请参见图19和20。

关于声压方向性, 也可以获得相似结果。

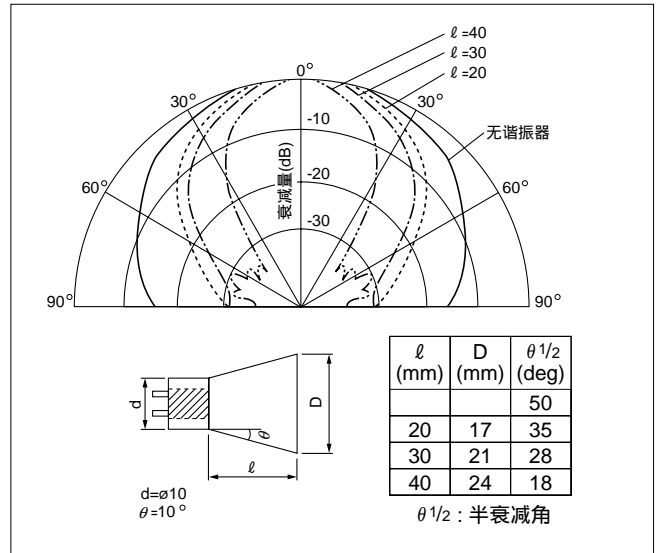


图19 喇叭形谐振器长度与灵敏度方向性 (MA40S4R)

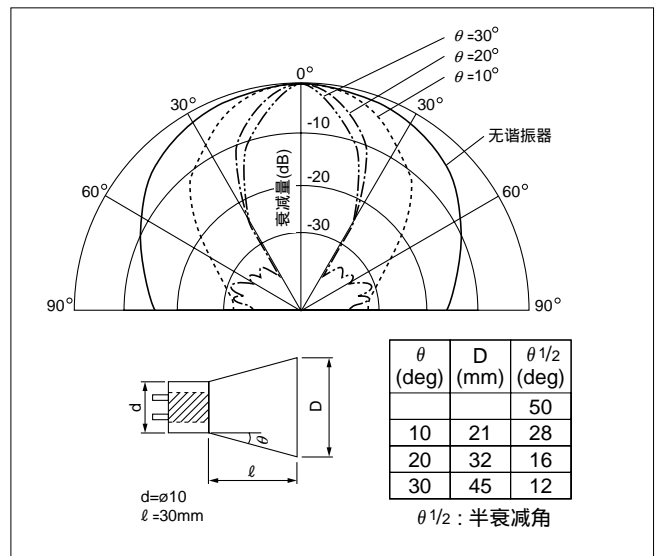


图20 喇叭形谐振器的角度与灵敏度方向性 (MA40S4R)

5 其他特性

有关MA40B8R/S的标准电压—声压级特性, 温度特性和周围环境特性, 请参见下列示例。

■输入电压—输出声压级

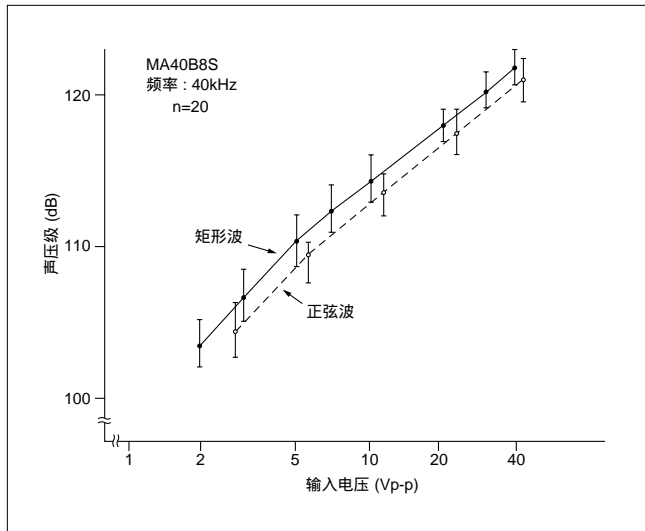


图21

■灵敏度的温度特性

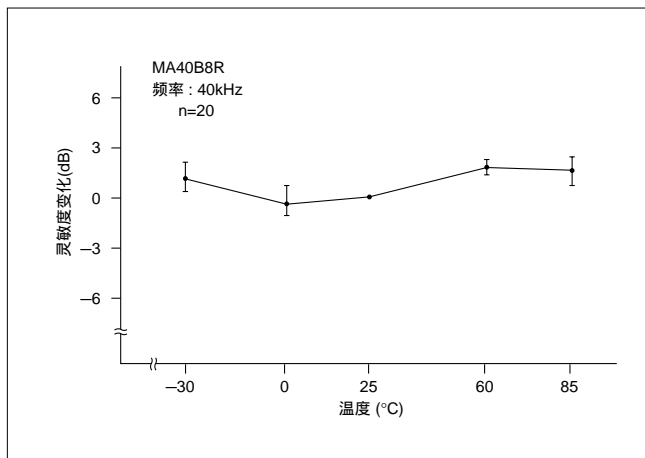


图22

■声压级的温度特性

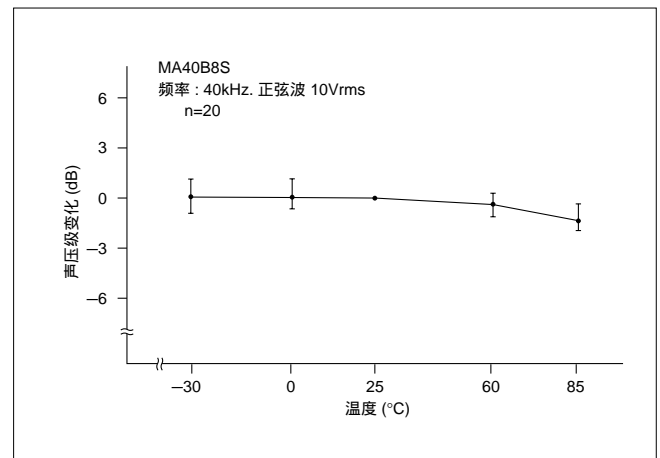


图23

■周围环境特性

序号	检测种类	条件	评价
1	耐湿特性	60 , 90—95%RH, 1,000小时	灵敏度 and 声压变化在3dB范围内
2	耐高温特性	85 , 1,000小时	
3	耐低温特性	-40 , 1,000小时	
4	热冲击	以-55 (30分钟)和+85 (30分钟) 作为一个周期, 100个周期 (传感器端子之间连接的电阻3.9k)。	
5	振动	最大振幅: 1.5mm 振动频率: 10—55Hz 振动周期: 1分钟 3个方向的每个方向均需检测2个小时	
6	冲击	在混凝土地面上, 高度1m, 3次	
7	焊锡耐热性	浸泡在260 的焊锡溶液中10秒钟	

■注意事项

- (1) 请避免通过连接隔离电容器或某些其他方法，施加直流偏压，否则会导致组件损坏。
- (2) 这些传感器的设计只针对在空气中的使用，禁止用于水中。所列之密封型传感器的结构只针对雨天中之使用，而非完全浸没水中。
- (3) 不得以散件进行存放，否则会导致传感器互相受损。
- (4) 由于这些传感器具有电位方向性，因此一定要注意其安装位置。
- (5) 如果应用于诸如非标准频率等特殊条件，请告知本公司您所需要的具体工作条件、电路等，以便使传感器符合您的特定使用要求。

请注意，本应用指南未涉及的技术规格，应用（特别是对于重要性的应用，例如汽车用电子设备），清洗条件和焊接条件均不适用。有关详情，请在订购之前咨询本公司销售代表或工程师。

- △注:
1. 出口管制
<对于日本国外客户>
禁止将村田公司产品用于或出售用于任何常规武器、大规模杀伤性武器(核武器、生化武器或导弹等)以及任何其它武器的开发、生产、储存或使用。
<对于日本国内客户>
根据日本“海外流通以及对外贸易管制法”(Foreign Exchange and Foreign Trade Control Law)受到管制的产品在出口时必须办理出口许可证。
2. 若将本目录中的产品用于需要极高可靠性以防直接危及第三方生命、身体或财产的下列用途时, 或当其中产品用于本目录规定以外的用途时, 请提前与我公司销售代表或产品工程师联系。
飞行设备 宇航设备 海底设备 电厂设备 医疗设备 运输设备(汽车、火车、船舶等)
交通信号设备 防灾/预防犯罪设备 数据处理设备 与上述用途具有类似复杂性和(或)可靠性要求的其它用途
3. 本目录中的产品规格以截止1999年7月的为准。规格若有变更, 或若其中产品停产, 恕不另行通知。请在订购之前向我公司销售代表或产品工程师查询。若有任何疑问, 请与我公司销售代表或产品工程师联系。
4. 请阅读本产品目录中的产品规格, 以及有关保管、使用环境、规格上的注意事项、装配时的注意事项、使用时的注意事项的△注意事项, 以免发生冒烟和(或)燃烧等。
5. 本目录因没有足够的空间说明详细规格, 仅载明标准规格。因此, 在订购产品之前, 请核准其规格或者办理产品规格表。
6. 请注意, 对由于使用我公司产品和(或)本产品目录中所述或记载的产品信息而发生有关我公司和(或)第三方知识产权及其它权利的冲突或争端, 我公司概不负责, 除非另有规定。由此而论, 未经我公司许可, 禁止自作主张将上述授权权利转授任何第三方。
7. 我公司在生产过程中未使用蒙特利尔议定书(Montreal Protocol)规定的消耗臭氧层物质(ODS)。

muRata 株式会社 村田制作所

<http://www.murata.com/cn/>

<总公司> 株式会社 村田制作所
京都府长冈京市东神足1丁目10番1号 邮政编码617-8555
电话: 81-75-951-9111

<海外营业部> 东京都涩谷区涩谷3丁目29番地12号 邮政编码 150-0002
电话: 81-3-5469-6123 传真: 81-3-5469-6155
E-mail: intl@murata.co.jp

<台湾> 台湾村田股份有限公司
台湾台北市中山北路2段44号中山大楼14楼A室
电话: 886-2-2562-4218 传真: 886-2-2536-6721
E-mail: mtb1@murata.co.jp

<香港> 村田有限公司
香港九龙尖沙咀弥敦道132美丽华大厦709-712室
电话: 852-2376-3898 传真: 852-2375-5655
E-mail: enquiry@murata.com.hk

<中国> 北京村田电子有限公司
北京市顺义县天竺镇天竺空港工农业区天柱路11号
邮政编码: 101312
电话: 86-10-8048-6622 传真: 86-10-8048-6665
E-mail: BS222@murata.co.jp

村田电子贸易(天津)有限公司
天津市和平区南京路189号津汇广场1号楼1501室
邮政编码: 300051
电话: 86-22-8319-1655 传真: 86-22-8319-1656

村田电子贸易(深圳)有限公司
深圳市福田区福华一路88号中心商务大厦21层2101至2106、
2116至2120室
邮政编码: 518026
电话: 86-755-8359-2664 传真: 86-755-8359-2069
E-mail: enquiry@sz.murata.com.cn

村田电子贸易(上海)有限公司
上海市长宁区娄山关路85号 东方国际大厦C座12楼
邮政编码: 200336
电话: 86-21-6270-0611/2/3 传真: 86-21-6270-0614