TB3233

采用 ZCD 实现特殊功能

简介

作者：Gheorghe Turcan，Microchip Technology Inc.

Microchip AVR® DA MCU 系列单片机具有最多三个过零检测器（Zero-Cross Detector，ZCD），可灵活选择输入，只需一个外部元件，以及可配置输出（上升/下降沿或上升和下降沿上的中断、事件生成和输出反相）。

本技术简介通过以下用例介绍了 ZCD 的概念及其在 AVR DA 系列单片机中的实现：

- **自由运行至外部 I/O**
  此示例描述了如何使用 ZCD 来检测模拟信号达到 0 值的时间（例如：交流电源的过零点）。
- **交流信号频率检测**
  此示例描述了如何使用 ZCD 和定时器测量模拟信号的脉冲持续时间和/或周期，同时最大程度减少 CPU 的干预。
- **有源电桥控制信号生成**
  此示例描述了如何使用 ZCD 和 CPU 创建脉宽调制（Pulse Width Modulated，PWM）和反向 PWM 的交流（Alternating Current，AC）信号，以控制有源电桥。

注： 代码示例都是使用 AVR128DA48 Curiosity Nano 开发板开发的。

© 2021 Microchip Technology Inc.

目录

简介 1

1. 相关器件 3
   1.1. AVR® DA 系列概述 3
2. 概述 4
3. 自由运行至外部 I/O 6
4. 交流信号频率检测 8
5. 有源电桥控制信号生成 10
6. 参考资料 12
7. 附录 13
8. 版本历史 16

Microchip 网站 17

产品变更通知服务 17

客户支持 17

Microchip 器件代码保护功能 17

法律声明 17

商标 18

质量管理体系 18

全球销售及服务网点 19

1. 相关器件

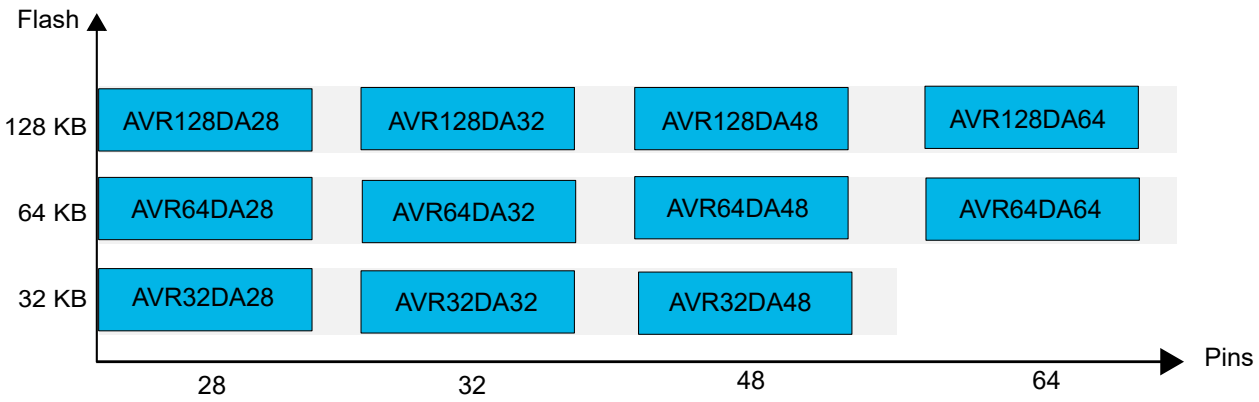
本章列出了本文档的相关器件。

1.1 AVR® DA 系列概述

下图所示为 AVR® DA 器件，注明了不同的引脚数与存储器大小：

- 从下到上迁移无需修改代码，因为这些器件的引脚和功能完全兼容
- 从右到左迁移会减少引脚数，进而减少可用的功能

图 1-1. AVR® DA 系列概览



具有不同闪存大小的器件通常也具有不同的 SRAM。

2. 概述

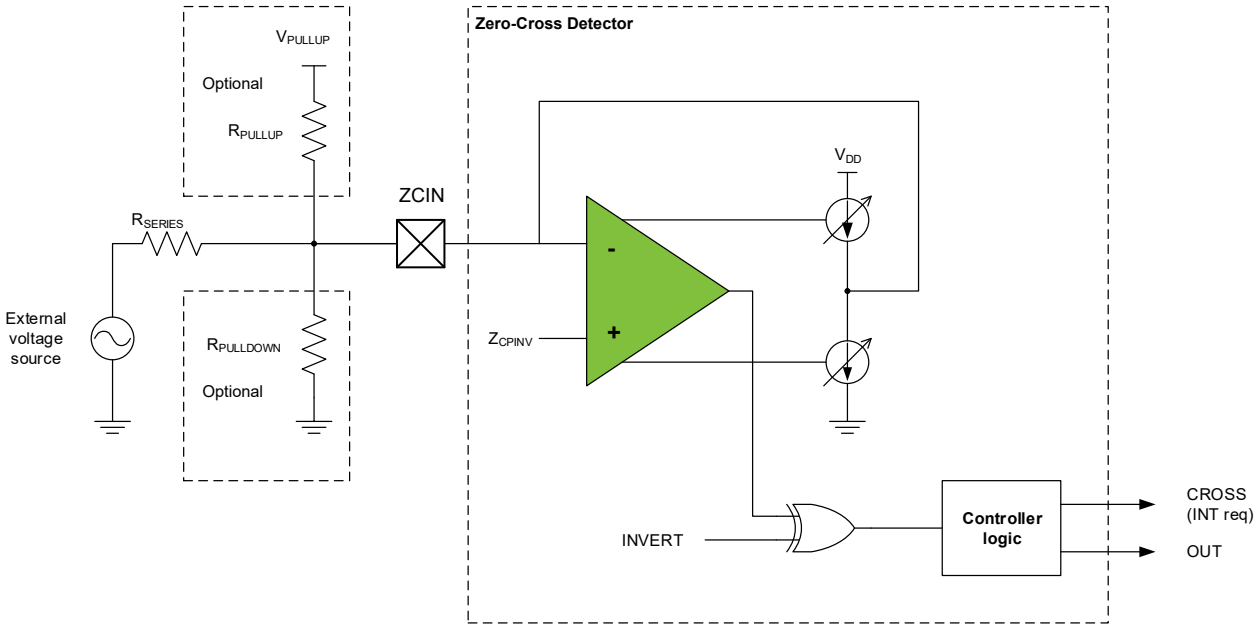
ZCD 用于检测交流电压何时经过地电位附近的阈值电压电平。阈值是指过零参考电压（Z_{CPINV}）。ZCD 输入引脚（ZCIN）至交流电压之间的连接必须通过串联限流电阻（R_{SERIES}）实现。ZCD 可向 ZCD 输入引脚施加拉电流或灌电流，以使引脚保持恒压，从而防止引脚电压使器件中的静电放电（ESD）保护二极管出现正向偏置。

当施加的电压高于参考电压时，ZCD 吸收电流。当施加的电压低于参考电压时，ZCD 提供电流，从而允许在不使用电阻分压器的情况下只通过串联电阻连接至高电压。

在监视交流波形时，可使用 ZCD 实现（但不限于）以下用途：

- 周期测量
- 长期精确的时间测量
- 调光器相位延迟驱动
- 低 EMI 上电开关

图 2-1. 过零检测器框图



ZCD 需要一个与外部电压源串联的限流电阻（R_{SERIES}）。如果预计外部电压源的峰值幅度（V_{PEAK}）比较稳定，则选择电阻值时，必须确保 300 µA 电阻电流产生的压降等于预期的峰值电压。电阻的额定功率必须至少为均方电压除以电阻值。ZCDn.STATUS 寄存器中的 STATE 位指示输入信号是高于还是低于参考电压（Z_{CPINV}）。默认情况下，当输入信号高于参考电压时，STATE 位为“1”，当输入信号低于参考电压时，STATE 位为“0”。STATE 位的极性可通过将“1”写入 ZCDn.CTRLA 寄存器中的 INVERT 位反转。INVERT 位也会影响 ZCD 中断极性。

使 ZCD 改变状态的实际电压为过零参考电压。因为这个参考电压与接地之间存在些许偏移量，所以 ZCD 生成的过零事件将比真正的过零事件发生得更早或更晚。这个偏移时间可通过在 ZCD 输入引脚添加一个上拉或下拉偏置电阻进行补偿。当外部电压源以地为参考时，使用上拉电阻；当外部电压源以 V_{DD} 为参考时，使用下拉电阻，如图 2-1 中所示。

以下公式有助于计算外部元件值：

公式 2-1. 外部电阻值计算

$$R_{SERIES} = \frac{V_{PEAK}}{3x10^{-4}}$$

当外部电压源以地为参考时：

公式 2-2. ZCD 上拉电阻值计算

$$R_{PULLUP} = \frac{R_{SERIES}(V_{PULLUP} - Z_{CPINV})}{Z_{CPINV}}$$

当外部电压源以 V_{DD} 为参考时：

公式 2-3. ZCD 下拉电阻值计算

$$R_{PULLDOWN} = \frac{R_{SERIES}xZ_{CPINV}}{V_{DD} - Z_{CPINV}}$$

在空闲休眠模式下，ZCD 将继续正常工作。

在待机休眠模式下，ZCD 默认为禁止。如果将“1”写入控制 A（ZCDn.CTRLA）寄存器中的待机运行（RUNSTDBY）位，即使 CLK_PER 并未在待机休眠模式下运行，ZCD 也将继续正常工作，同时引脚具有中断生成、事件生成和 ZCD 输出功能。在掉电休眠模式下，ZCD 被禁止，包括其至引脚的输出。

ZCD 可生成以下事件：

表 2-1. ZCD 事件发生器

发生器名称		说明	事件类型	发生器时钟域	事件长度
外设	事件				
ZCDn	输出	ZCD 输出电平	电平	异步	由 ZCD 输出电平决定

ZCD 无任何事件输入。

3. 自由运行至外部 I/O

本示例展示了 ZCD 外设的基本初始化和至 I/O 端口的链接。本示例可用于获取正弦交流信号的 PWM 表示，并且 ZCD 独立于 CPU 运行。

如何选择外部元件

交流信号可通过示波器的信号生成功能获取。该信号具有 5V 峰峰值正弦幅度，且与接地之间存在 1V 偏移量，以补偿 Z_{CPINV}。使用公式 2-1 时，选定的 R_{SERIES} 值约为 10 kΩ。连接设置如图 3-2 所示。

如何设置内部电路

对于基础操作，请执行以下步骤：

1. 将 PORT 外设中所需的输入引脚配置为模拟引脚，同时禁止数字输入缓冲区。
   此外，还必须禁止内部上拉和下拉电阻。

   为实现过零检测，必须使用 I/O 引脚将 ZCD 输入连接至检测电压。该引脚需要禁止数字输入缓冲区和上拉电阻，以实现尽可能高的输入阻抗。对于 AVR128DA48，PORTD 引脚 1（PD1）用作 ZCD0 负输入，如下图所示。

   图 3-1. ZCD I/O 连接

VQFN48/TQFP48	PIN Name	Special	ADC0	ZCDn
3	PA7	CLKOUT		0,OUT 1,OUT 2,OUT
19	PC7			0,OUT 1,OUT 2,OUT
21	PD1		AIN1	0,ZCIN
33	PE3		AIN11	1,ZCIN

   这可转换为以下代码：

```
PORTD.PIN1CTRL |= PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;
```

2. 可选：通过向控制 A（ZCDn.CTRLA）寄存器中的输出使能（OUTEN）位写入“1”来使能输出引脚，同时将所需引脚设置为输出。
   对于 AVR128DA48，PORTA 引脚 7（PA7）用作 ZCD0 输出，如上图所示。

   这可转换为以下代码：

```
ZCD0.CTRLA = ZCD_OUTEN_bm;
PORTA.DIRSET |= PIN7_bm;
PORTA.OUTSET |= PIN7_bm;
```

3. 通过将“1”写入 ZCDn.CTRLA 中的 ENABLE 位来使能 ZCD。
   ZCD 使能后，会有一段启动时间，在此期间 ZCD 输出可能无效。有关启动时间的典型值，请参见器件数据手册中的“*电气特性*”部分。

   使用以下代码可使能 ZCD：

```
ZCD0.CTRLA = ZCD_ENABLE_bm;
```

   所有这些都可以封装到一个初始化 函数（例如：“ZCD_Init”）中，以便于理解代码。

图 3-3 中的示波器测量描述了当 ZCD 在自由运行模式下运行时，通过 MCU 的 I/O 引脚测得的 ZCD 输入和输出。

图 3-2. ZCD 以自由运行方式连接至外部 I/O

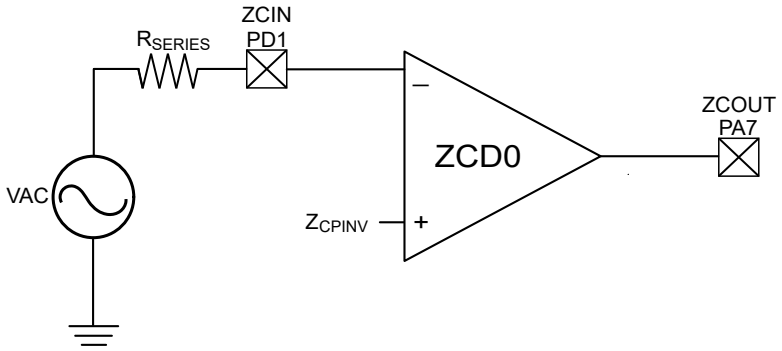
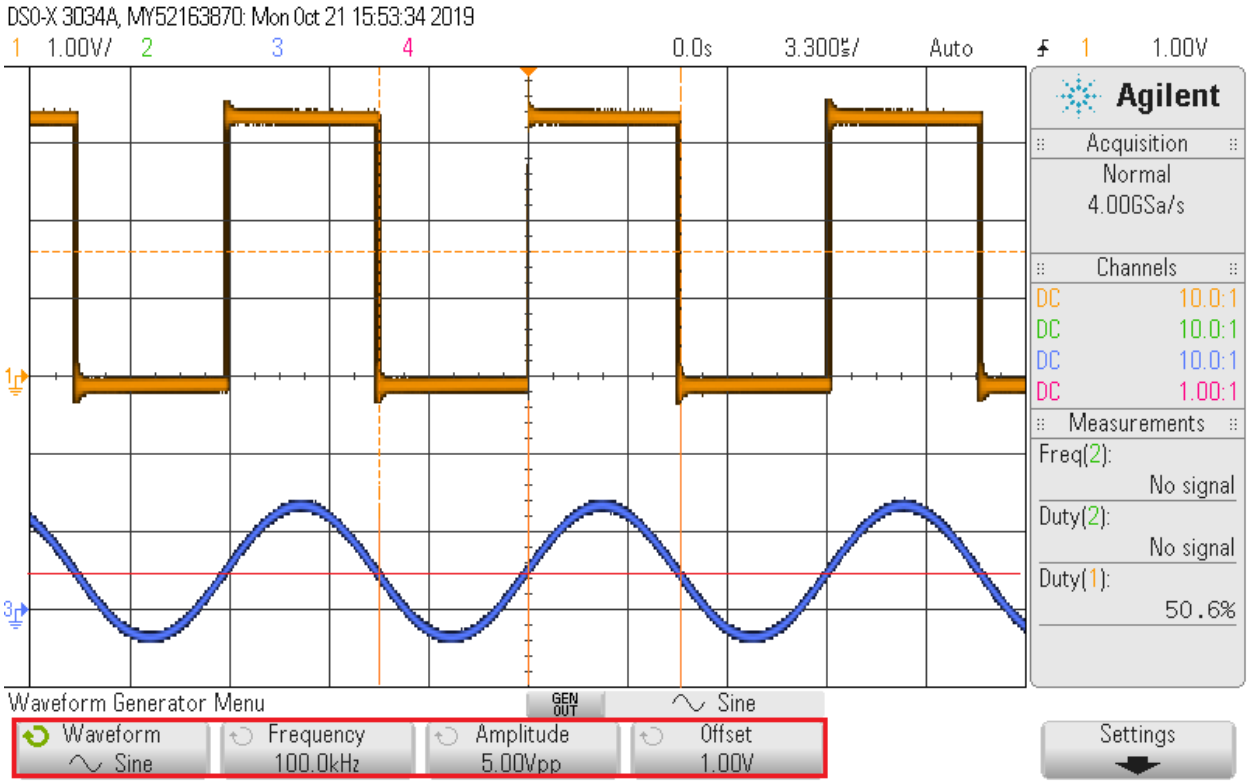


图 3-3. 自由运行 ZCD 的示波器测量；CH1 – ZCD_OUT，CH3 – ZCD_IN



ZCDn.STATUS 寄存器中的 STATE 位指示输入信号是高于还是低于参考电压（Z_{CPINV}）。默认情况下，当输入信号高于参考电压时，STATE 位为“1”，当输入信号低于参考电压时，STATE 位为“0”。STATE 位的极性可通过将“1”写入 ZCDn.CTRLA 寄存器中的 INVERT 位反转。INVERT 位也会影响 ZCD 中断极性。

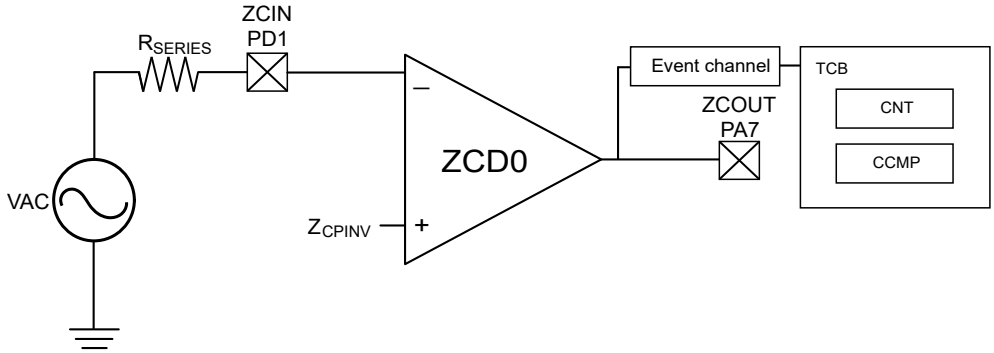
View Code Example on GitHub
Click to browse repository

4. 交流信号频率检测

AVR DA 系列具有一个事件系统（EVSYS），支持在不使用中断或 CPU 的情况下进行外设间通信。它允许一个外设（事件生成器）中的更改通过事件通道触发其他外设（事件用户）的操作。EVSYS 可在外设之间实现较短的无延迟和可预测通信，并可降低软件的复杂性、缩小尺寸和减少执行时间，从而节省功耗。

下一个应用示例展示了交流输入信号持续时间/频率测量的实现，同时最大限度地降低单片机功耗。它使用 EVSYS 将 ZCD 输出的信号通过事件通道路由至定时器计数器 B（TCB）事件输入。为此，必须正确配置 EVSYS。由于模拟比较器的输入不允许出现负电压，因此只能使用 ZCD 完成该测量。

图 4-1. 交流信号频率测量



EVSYS 配置的第一步就是将 ZCD 输出设置为通道 0 的事件生成器：

图 4-2. EVSYS.CHANNEL—将 ZCD0 输出设置为通道 0 的事件生成器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	GENERATOR[7:0]							
Access	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
Reset	0	0	0	0	0	0	0	0

Bits 7:0 – GENERATOR[7:0] Channel Generator Selection

GENERATOR			Async/Sync	Description	Channel Availability
Value	Name				
	Peripheral	Output			
0x30	ZCD0	OUT	Async	ZCD output level	All channels
0x31	ZCD1(1)				
0x32	ZCD2(1)				

对于 EVSYS 通道 0，通道生成器选择寄存器必须加载 0x30，以将 ZCD0 用作事件生成器：

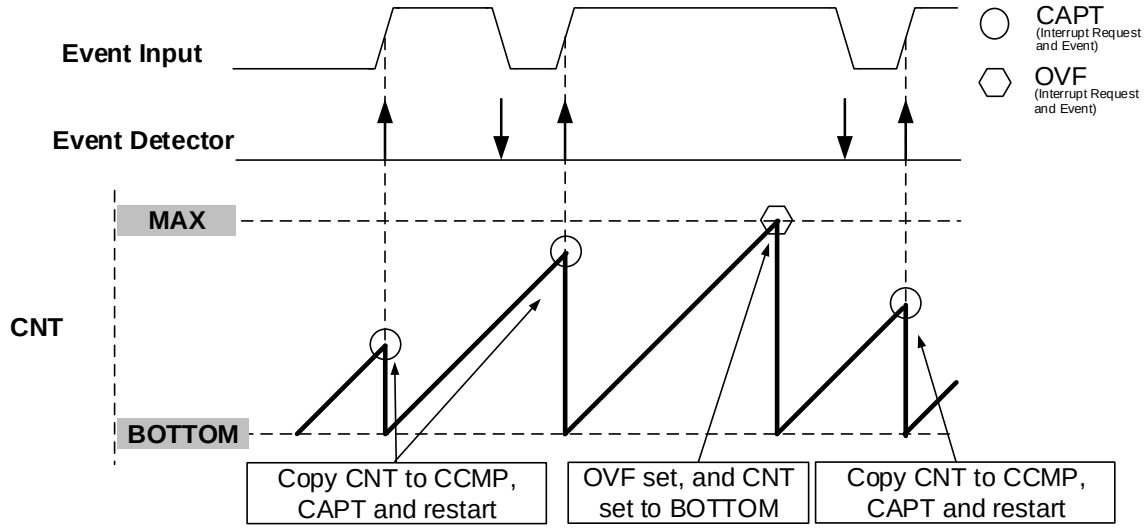
```
EVSYS.CHANNEL0 = EVSYS_CHANNEL0_ZCD0_gc;
```

要触发 TCB 输入上的事件，TCB 事件用户必须连接至通道 0：

```
EVSYS.USERTCB0CAPT = EVSYS_CHANNEL00_bm;
```

要使能频率测量，应在频率测量模式下配置 TCB，将 EVSYS 用作输入，用于通过事件通道 0 将 ZCD0 输出路由至 TCB 事件输入。在输入捕捉频率测量模式下，TCB 捕捉计数器值，并在事件输入信号 的上升沿或下降沿重新启动。在读取了比较/捕捉（TCBn.CCMP）寄存器的低字节后，CAPT 中断标志自动清零。当 CNT 达到最大值时，生成 OVF 中断和事件。

图 4-3. TCB—输入捕捉频率测量



以下代码可在频率测量模式下将 EVSYS 用作输入实现 TCB 的基本初始化：

```
void TCB_Init (void)
{
    TCB0.CTRLB = TCB_CNTMODE_FRQ_gc;
    TCB0.EVCTRL = TCB_CAPTEI_bm;
    TCB0.INTCTRL = TCB_CAPT_bm;
    TCB0.CTRLA = TCB_CLKSEL_DIV2_gc
    | TCB_ENABLE_bm
    | TCB_RUNSTDBY_bm;
}
```

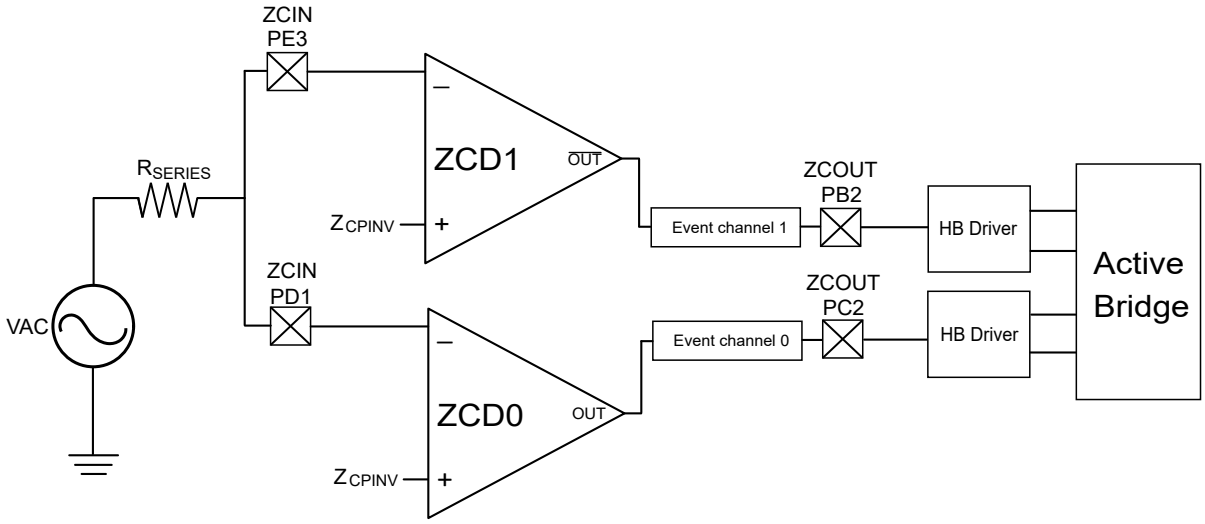
在本例中，MCU 内部时钟设置为 4 MHz，并且 TCB 的时钟选择采用 2 分频，以便能够计数至 40 Hz，而不会出现溢出。如果 20 MHz 内部时钟也需要获得相同的结果，则可使用定时器计数器 A（TCA）通过其预分频器对时钟进一步分频，并将 TCA 时钟用作 TCB 的时钟源。

View Code Example on GitHub
Click to browse repository

5. 有源电桥控制信号生成

本应用示例展示了借助 ZCD 外设的有源桥接驱动实现，请参见图 5-1。此解决方案只有内部模拟连接和功能，所以无需 CPU 干预，并可适应频率变化。它使用 EVSYS 将 ZCD 输出的信号通过事件通道路由至 I/O 引脚。为此，必须正确配置 EVSYS。

图 5-1. 借助 ZCD 的有源桥接驱动器实现



EVSYS 配置的第一步是将 ZCD0 输出设置为通道 0 的事件生成器，将 ZCD1 反向输出设置为通道 1 的事件生成器。对于 EVSYS 通道 0 和 1，通道生成器选择寄存器必须加载 0x30，以将 ZCD0 用作事件生成器。要触发 I/O 引脚上的事件，EVSYS 事件用户必须连接至通道 0 和 1：

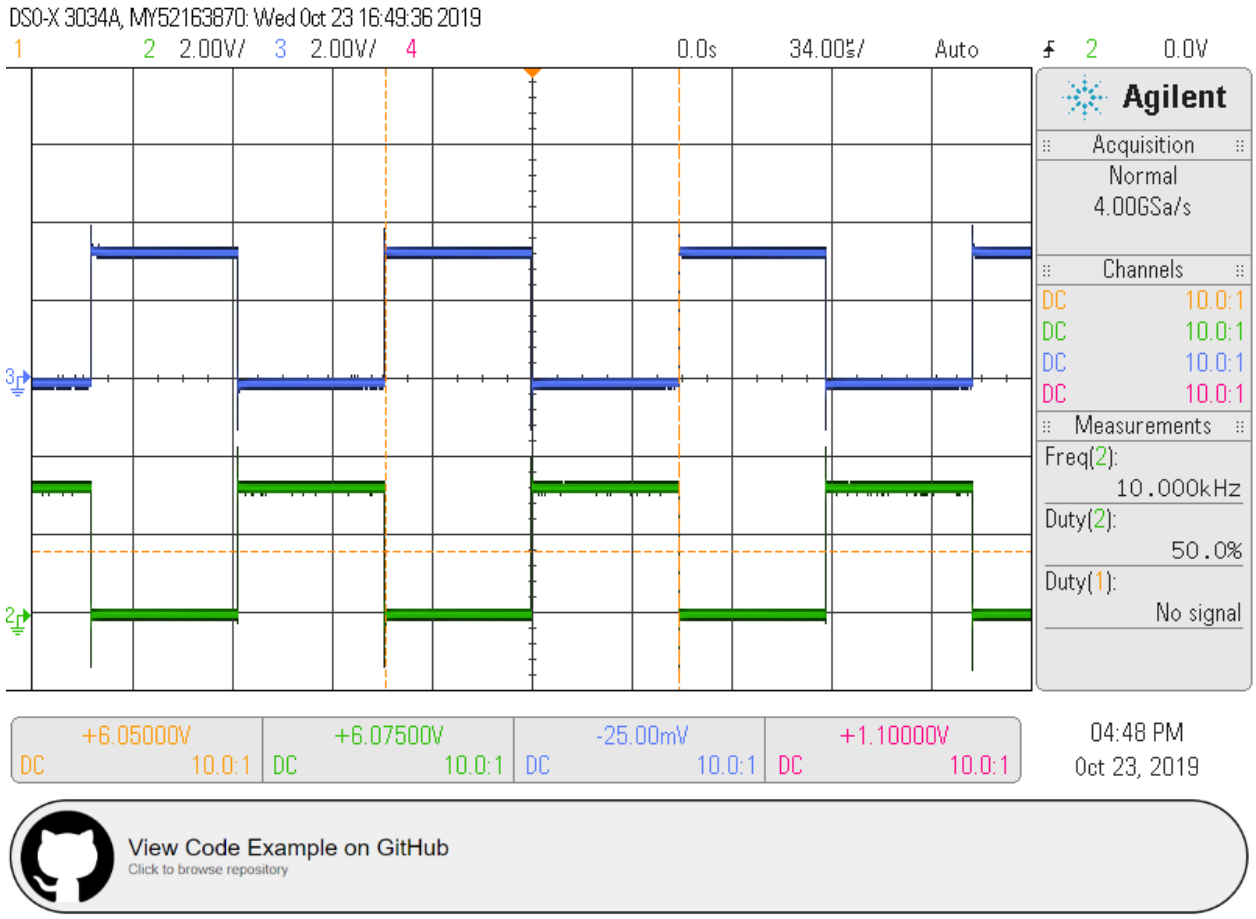
```
EVSYS.CHANNEL0 = EVSYS_CHANNEL0_ZCD0_gc;
EVSYS.USEREVSYSEVOUTB = EVSYS_CHANNEL00_bm;
EVSYS.CHANNEL1 = EVSYS_CHANNEL1_ZCD1_gc;
EVSYS.USEREVSYSEVOUTC = EVSYS_CHANNEL01_bm;
```

然后才能使能所需引脚上的输入和输出：

```
PORTE.PIN3CTRL = PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;

PORTD.PIN1CTRL = PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;

PORTB.OUTSET |= PIN2_bm;
PORTB.DIRSET |= PIN2_bm;

PORTC.OUTSET |= PIN2_bm;
PORTC.DIRSET |= PIN2_bm;
```

示波器测量（见图 5-2）展示了一种可以立即 适应频率变化的成功实现方案。I/O 引脚无法直接驱动晶体管， 所以，需要使用具有死区延时功能的半桥或全桥驱动器。

图 5-2. 有源电桥实现的驱动信号



6. 参考资料

1. *AVR128DA28/32/48/64 Preliminary Data Sheet.*
2. *AVR128DA48 Curiosity Nano Board User's Guide.*

7. 附录

例 7-1. ZCD 自由运行代码示例

```
#include <avr/io.h>

void ZCD0_Init(void);
void PORT_Init(void);

/* 过零检测器初始化 */
void ZCD0_Init(void)
{
    ZCD0.CTRLA = ZCD_ENABLE_bm        /* 使能 ZCD */
               | ZCD_OUTEN_bm;    /* 使能 ZCD 的输出 */
}

void PORT_Init(void)
{
    /* 禁止 PD1 上的数字输入缓冲区和上拉电阻*/
    PORTD.PIN1CTRL |= PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;

    /* 使能 PA7，使其成为内部信号网关 */
    PORTA.DIRSET |= PIN7_bm;
    PORTA.OUTSET |= PIN7_bm;
}

int main(void)
{
    ZCD0_Init();
    PORT_Init();

    while(1)
    {
        ;
    }
}
```

例 7-2. ZCD 频率检测代码示例

```
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>

uint16_t signal_frequency = 0;

void CLK_Init (void);
void PORT_Init (void);
void ZCD0_Init (void);
void TCB0_Init (void);
void EVSYS_Init (void);

void CLK_Init(void)
{
    /* 选择内部 HF 振荡器 */
    _PROTECTED_WRITE (CLKCTRL.MCLKCTRLA, CLKCTRL_CLKSEL_OSCHF_gc);
    /* 将内部时钟设置为 4 MHz */
    _PROTECTED_WRITE (CLKCTRL.OSCHFCTRLA, CLKCTRL_FREQSEL_4M_gc);
}

void PORT_Init(void)
{
    /* 禁止 PD1 上的数字输入缓冲区和上拉电阻*/
    PORTD.PIN1CTRL = PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;

    /* 使能 PA7，使其成为内部信号网关 */
    PORTA.OUTSET |= PIN7_bm;
    PORTA.DIRSET |= PIN7_bm;
}
```

```
/* 过零检测器初始化 */
void ZCD0_Init(void)
{
    ZCD0.CTRLA = ZCD_ENABLE_bm     /* 使能 ZCD */
            | ZCD_OUTEN_bm;    /* 使能 ZCD 的输出 */
}

/* 在脉宽频率测量模式下初始化 TCB,
   通过事件系统从 ZCD 输入 */
void TCB0_Init(void)
{
    TCB0.CTRLB = TCB_CNTMODE_FRQ_gc;    /* 输入捕捉频率 */
    TCB0.EVCTRL = TCB_CAPTEI_bm;        /* 事件输入使能：已使能 */
    TCB0.INTCTRL = TCB_CAPT_bm;         /* 捕捉或超时：已使能 */

    TCB0.CTRLA = TCB_CLKSEL_DIV2_gc     /* CLK_PER/2（从预分频器）—这是必需的，以便
                                           能够使用 4 Mhz 系统时钟计数到 40 Hz */
            | TCB_ENABLE_bm        /* 使能：已使能 */
            | TCB_RUNSTDBY_bm;      /* 运行待机：已使能 */
}

/* 使能从 ZCD 到 TCB 的事件生成 */
void EVSYS_Init(void)
{
    /* 过零检测器 0 输出链接至事件通道 0 */
    EVSYS.CHANNEL0 = EVSYS_CHANNEL0_ZCD0_gc;
    /* TCB 使用事件通道 0 */
    EVSYS.USERTCB0CAPT = EVSYS_CHANNEL00_bm;
}

int main(void)
{
    CLK_Init();
    TCB0_Init();
    EVSYS_Init();
    ZCD0_Init();
    PORT_Init();

    while(1)
    {
        ;
    }
}

ISR(TCB0_INT_vect)
{
    /* 频率存储在 CCMP 寄存器中
       可使用公式来转换以 Hz 为单位的值 */
    signal_frequency = TCB0.CCMP;
}
```

例 7-3. ZCD 有源桥接代码示例

```
#include <avr/io.h>

void ZCD0_Init(void);
void ZCD1_Init(void);
void PORT_Init(void);
void EVSYS_Init(void);

/* IO 端口初始化 */
void PORT_Init(void)
{
    /* 禁止 PE3 上的数字输入缓冲区和上拉电阻*/
    PORTE.PIN3CTRL = PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;

    /* 禁止 PD1 上的数字输入缓冲区和上拉电阻*/
    PORTD.PIN1CTRL = PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;

    /* 将 PB2 设置为输出*/
```

```
    PORTB.OUTSET |= PIN2_bm;
    PORTB.DIRSET |= PIN2_bm;

    /* 将 PC2 设置为输出*/
    PORTC.OUTSET |= PIN2_bm;
    PORTC.DIRSET |= PIN2_bm;
}

/* 过零检测器初始化 */
void ZCD0_Init(void)
{
    ZCD0.CTRLA = ZCD_ENABLE_bm;     /* 使能 ZCD0 */
}

void ZCD1_Init(void)
{
    ZCD1.CTRLA = ZCD_ENABLE_bm      /* 使能 ZCD1 */
            | ZCD_INVERT_bm;    /* 反转 ZCD1 输出 */
}

/* 使能从 ZCD 到事件系统输出 I/O 引脚的事件生成 */
void EVSYS_Init(void)
{
    /* 过零检测器 0 输出链接至事件通道 0 */
    EVSYS.CHANNEL0 = EVSYS_CHANNEL0_ZCD0_gc;
    /* 事件系统输出 B (PINB2)使用事件通道 0 */
    EVSYS.USEREVSYSEVOUTB = EVSYS_CHANNEL00_bm;

    /* 过零检测器 1 输出链接至事件通道 1 */
    EVSYS.CHANNEL1 = EVSYS_CHANNEL1_ZCD1_gc;
    /* 事件系统输出 C (PINC2)使用事件通道 1 */
    EVSYS.USEREVSYSEVOUTC = EVSYS_CHANNEL01_bm;
}

int main(void)
{
    EVSYS_Init();
    ZCD0_Init();
    ZCD1_Init();
    PORT_Init();

    while(1)
    {
        ;
    }
}
```

8. 版本历史

文档版本	日期	说明
D	2020 年 5 月	根据最新商标声明，将 AVR® MCU DA (AVR-DA)更新为 AVR® DA MCU，将 AVR-DA 更新为 AVR DA
C	2020 年 3 月	根据最新商标声明，将 AVR-DA 更新为 AVR® MCU DA (AVR-DA)
B	2020 年 3 月	更新了代码库链接
A	2020 年 2 月	文档初始版本

Microchip 网站

Microchip 网站（www.microchip.com/）为客户提供在线支持。客户可通过该网站方便地获取文件和信息。我们的网站提供以下内容：

- **产品支持**——数据手册和勘误表、应用笔记和示例程序、设计资源、用户指南以及硬件支持文档、最新的软件版本以及归档软件
- **一般技术支持**——常见问题解答（FAQ）、技术支持请求、在线讨论组以及 Microchip 设计伙伴计划成员名单
- **Microchip 业务**——产品选型和订购指南、最新 Microchip 新闻稿、研讨会和活动安排表、Microchip 销售办事处、代理商以及工厂代表列表

产品变更通知服务

Microchip 的产品变更通知服务有助于客户了解 Microchip 产品的最新信息。注册客户可在他们感兴趣的某个产品系列或开发工具发生变更、更新、发布新版本或勘误表时，收到电子邮件通知。

欲注册，请访问 www.microchip.com/pcn，然后按照注册说明进行操作。

客户支持

Microchip 产品的用户可通过以下渠道获得帮助：

- 代理商或代表
- 当地销售办事处
- 应用工程师（ESE）
- 技术支持

客户应联系其代理商、代表或 ESE 寻求支持。当地销售办事处也可为客户提供帮助。本文档后附有销售办事处的联系方式。

也可通过 www.microchip.com/support 获得网上技术支持。

Microchip 器件代码保护功能

请注意以下有关 Microchip 器件代码保护功能的要点：

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术指标。
- Microchip 确信：在正常使用的情况下，Microchip 系列产品是当今市场上同类产品中最安全的产品之一。
- 目前，仍存在着恶意、甚至是非法破坏代码保护功能的行为。就我们所知，所有这些行为都不是以 Microchip 数据手册中规定的操作规范来使用 Microchip 产品的。这样做的人极可能侵犯了知识产权。
- Microchip 愿意与关心代码完整性的客户合作。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。

代码保护功能处于持续发展中。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。任何试图破坏 Microchip 代码保护功能的行为均可视为违反了《数字器件千年版权法案（Digital Millennium Copyright Act）》。如果这种行为导致他人在未经授权的情况下，能访问您的软件或其他受版权保护的成果，您有权依据该法案提起诉讼，从而制止这种行为。

法律声明

提供本文档的中文版本仅为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分，因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc.及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc.的英文原版文档。

本出版物中提供的信息仅仅是为方便您使用 Microchip 产品或使用这些产品来进行设计。本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利，它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范，是您自身应负的责任。

Microchip“按原样”提供这些信息。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对非侵权性、适销性和特定用途的适用性的暗示担保，或针对其使用情况、质量或性能的担保。

在任何情况下，对于因这些信息或使用这些信息而产生的任何间接的、特殊的、惩罚性的、偶然的或间接的损失、损害或任何类型的开销，Microchip 概不承担任何责任，即使 Microchip 已被告知可能发生损害或损害可以预见。在法律允许的最大范围内，对于因这些信息或使用这些信息而产生的所有索赔，Microchip 在任何情况下所承担的全部责任均不超出您为获得这些信息向 Microchip 直接支付的金额（如有）。如果将 Microchip 器件用于生命维持和/或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切损害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任。除非另外声明，在 Microchip 知识产权保护下，不得暗中或以其他方式转让任何许可证。

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、Adaptec、AnyRate、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、chipKIT、chipKIT 徽标、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemi 徽标、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PackeTime、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron 和 XMEGA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的注册商标。

AgileSwitch、APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、FlashTec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、Libero、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus 徽标、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、WinPath 和 ZL 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、Augmented Switching、BlueSky、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、Espresso T1S、EtherGREEN、IdealBridge、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、maxCrypto、maxView、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、RTAX、RTG4、SAM-ICE、Serial Quad I/O、simpleMAP、SimpliPHY、SmartBuffer、SMART-I.S.、storClad、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Switchtec、SynchroPHY、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、VectorBlox、VeriPHY、ViewSpan、WiperLock、XpressConnect 和 ZENA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 是 Microchip Technology Incorporated 在美国的服务标记。

Adaptec 徽标、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology 和 Symmcom 为 Microchip Technology Inc.在其他国家或地区的注册商标。

GestIC 是 Microchip Technology Inc.的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. KG 在其他国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2021，Microchip Technology Incorporated，中国印制。版权所有。

ISBN：978-1-5224-8293-2

质量管理体系

有关 Microchip 的质量管理体系的信息，请访问 www.microchip.com/quality。

全球销售及服务网点

美洲	亚太地区	亚太地区	欧洲
公司总部 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 电话：480-792-7200 传真：480-792-7277 技术支持： www.microchip.com/support 网址： www.microchip.com **亚特兰大** 德卢斯，佐治亚州 电话：678-957-9614 传真：678-957-1455 **奥斯汀，德克萨斯州** 电话：512-257-3370 **波士顿** 韦斯特伯鲁，马萨诸塞州 电话：774-760-0087 传真：774-760-0088 **芝加哥** 艾塔斯卡，伊利诺伊州 电话：630-285-0071 传真：630-285-0075 **达拉斯** 阿迪森，德克萨斯州 电话：972-818-7423 传真：972-818-2924 **底特律** 诺维，密歇根州 电话：248-848-4000 **休斯顿，德克萨斯州** 电话：281-894-5983 **印第安纳波利斯** 诺布尔斯维尔，印第安纳州 电话：317-773-8323 传真：317-773-5453 电话：317-536-2380 **洛杉矶** 米慎维荷，加利福尼亚州 电话：949-462-9523 传真：949-462-9608 电话：951-273-7800 **罗利，北卡罗来纳州** 电话：919-844-7510 **纽约，纽约州** 电话：631-435-6000 **圣何塞，加利福尼亚州** 电话：408-735-9110 电话：408-436-4270 **加拿大 - 多伦多** 电话：905-695-1980 传真：905-695-2078	**澳大利亚 - 悉尼** 电话：61-2-9868-6733 **中国 - 北京** 电话：86-10-8569-7000 **中国 - 成都** 电话：86-28-8665-5511 **中国 - 重庆** 电话：86-23-8980-9588 **中国 - 东莞** 电话：86-769-8702-9880 **中国 - 广州** 电话：86-20-8755-8029 **中国 - 杭州** 电话：86-571-8792-8115 **中国 - 香港特别行政区** 电话：852-2943-5100 **中国 - 南京** 电话：86-25-8473-2460 **中国 - 青岛** 电话：86-532-8502-7355 **中国 - 上海** 电话：86-21-3326-8000 **中国 - 沈阳** 电话：86-24-2334-2829 **中国 - 深圳** 电话：86-755-8864-2200 **中国 - 苏州** 电话：86-186-6233-1526 **中国 - 武汉** 电话：86-27-5980-5300 **中国 - 西安** 电话：86-29-8833-7252 **中国 - 厦门** 电话：86-592-2388138 **中国 - 珠海** 电话：86-756-3210040	**印度 - 班加罗尔** 电话：91-80-3090-4444 **印度 - 新德里** 电话：91-11-4160-8631 **印度 - 浦那** 电话：91-20-4121-0141 **日本 - 大阪** 电话：81-6-6152-7160 **日本 - 东京** 电话：81-3-6880-3770 **韩国 - 大邱** 电话：82-53-744-4301 **韩国 - 首尔** 电话：82-2-554-7200 **马来西亚 - 吉隆坡** 电话：60-3-7651-7906 **马来西亚 - 槟榔屿** 电话：60-4-227-8870 **菲律宾 - 马尼拉** 电话：63-2-634-9065 **新加坡** 电话：65-6334-8870 **台湾地区 - 新竹** 电话：886-3-577-8366 **台湾地区 - 高雄** 电话：886-7-213-7830 **台湾地区 - 台北** 电话：886-2-2508-8600 **泰国 - 曼谷** 电话：66-2-694-1351 **越南 - 胡志明市** 电话：84-28-5448-2100	**奥地利 - 韦尔斯** 电话：43-7242-2244-39 传真：43-7242-2244-393 **丹麦 - 哥本哈根** 电话：45-4485-5910 传真：45-4485-2829 **芬兰 - 埃斯波** 电话：358-9-4520-820 **法国 - 巴黎** 电话：33-1-69-53-63-20 传真：33-1-69-30-90-79 **德国 - 加兴** 电话：49-8931-9700 **德国 - 哈恩** 电话：49-2129-3766400 **德国 - 海尔布隆** 电话：49-7131-72400 **德国 - 卡尔斯鲁厄** 电话：49-721-625370 **德国 - 慕尼黑** 电话：49-89-627-144-0 传真：49-89-627-144-44 **德国 - 罗森海姆** 电话：49-8031-354-560 **以色列 - 若那那市** 电话：972-9-744-7705 **意大利 - 米兰** 电话：39-0331-742611 传真：39-0331-466781 **意大利 - 帕多瓦** 电话：39-049-7625286 **荷兰 - 德卢内市** 电话：31-416-690399 传真：31-416-690340 **挪威 - 特隆赫姆** 电话：47-72884388 **波兰 - 华沙** 电话：48-22-3325737 **罗马尼亚 - 布加勒斯特** 电话：40-21-407-87-50 **西班牙 - 马德里** 电话：34-91-708-08-90 传真：34-91-708-08-91 **瑞典 - 哥德堡** 电话：46-31-704-60-40 **瑞典 - 斯德哥尔摩** 电话：46-8-5090-4654 **英国 - 沃金厄姆** 电话：44-118-921-5800 传真：44-118-921-5820