



高准确度 ($\pm 1^{\circ}\text{C}$) 温度检测器改善了系统性能和可靠性

凌力尔特公司

设计部负责人 **Christoph Schwoerer**
设计工程师 **Gerd Trampitsch**

趋向日益密集的计算能力之发展已经增大了与热量有关的挑战。在很多系统中，冷却系统的能力对整体性能构成了很大的限制。标准冷却组件（笨重的散热器和耗费大量功率、充满噪声的风扇、或安静但昂贵的风扇）会给组件排列紧密的电子产品增加了尺寸限制。最大限度地提高性能、最大限度地降低冷却要求并确保电子产品正常工作的惟一方法是在系统各处采用准确、精密和全面的温度监视。

考虑到这一点，凌力尔特公司开发了高度准确的温度监视器系列，该系列产品可以非常容易地放置在系统各处。这个系列包括：

- **LTC[®]2997** 可准确测量其自身的温度或一个外部二极管的温度。
- **LTC2996** 增加了监视功能，它将所测得的温度与一个高温或低温门限进行比较，通过开漏报警输出，就任何温度过高情况发出通知。
- **LTC2995** 整合了 **LTC2996** 和一个双路电源电压监视器，能测量温度、将温度与可配置门限进行比较，并监察两个电源电压。

LTC2997 是一款纤巧的高准确度温度检测器

LTC2997 采用 2mm x 3mm 6 引脚 DFN 封装，非常适合测量 **FPGA** 或微处理器的温度，如图 1 所示。

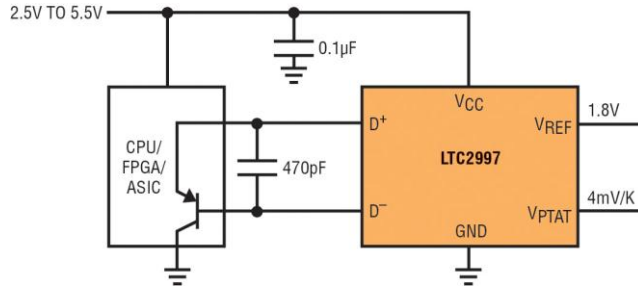


图 1: 远端 CPU 温度检测器

为此, LTC2997 向 FPGA 或微处理器的温度监视二极管发送测量电流, 并在其 V_{PTAT} 输出上产生与二极管温度成比例的电压。LTC2997 还在 V_{REF} 输出提供一个 1.8V 的基准电压, 该基准电压可用作 FPGA 或微处理器中内置 ADC 的基准电压。对于这种采用外部检测器组件的配置, 在 0°C 至 100°C 的温度范围内, 其测量误差保证为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$, 在 -40°C 至 125°C 的温度范围内保证为 $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 。典型温度测量误差会是小得多的, 如图 2 所示。

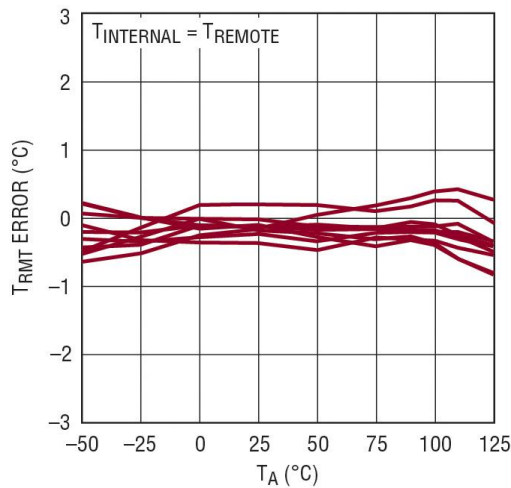


图 2: 温度误差随温度的变化 (LTC2997 与远端二极管的温度相同)

通过将 D^+ 引脚连接到 V_{CC} , 就可将 LTC2997 配置为使用其内部温度检测器。 V_{PTAT} 电压有一个 4mV/K 的斜坡, 每 3.5ms 更新一次。

工作原理

LTC2997 在多个测试电流上测量二极管电压, 并用该测量值消除任何受工艺影响的误差和串联电阻误差, 因而实现了令人赞叹的准确度。

从二极管方程中可以解出 T，其中 T 是开氏温度， I_S 是工艺影响因数，量级为 $10^{-13}A$ ， η 是二极管理想性因数，k 是波尔兹曼常数 (Boltzmann constant)，q 是电子电荷：

$$T = \frac{q}{\eta \cdot k} \cdot \frac{V_D}{\ln\left(\frac{I_D}{I_S}\right)}$$

从这个方程看出，温度和电压之间是有联系的，其联系取决于受工艺影响的变量 I_S 。在两个不同的电流上测量同一个二极管 (I_S 值相同)，产生一个与 I_S 无关的表达式。自然对数项中的值变成了两个电流的比值，该比值是不受工艺影响的：

$$T = \frac{q}{\eta \cdot k} \cdot \frac{V_{D2} - V_{D1}}{\ln\left(\frac{I_{D2}}{I_{D1}}\right)}$$

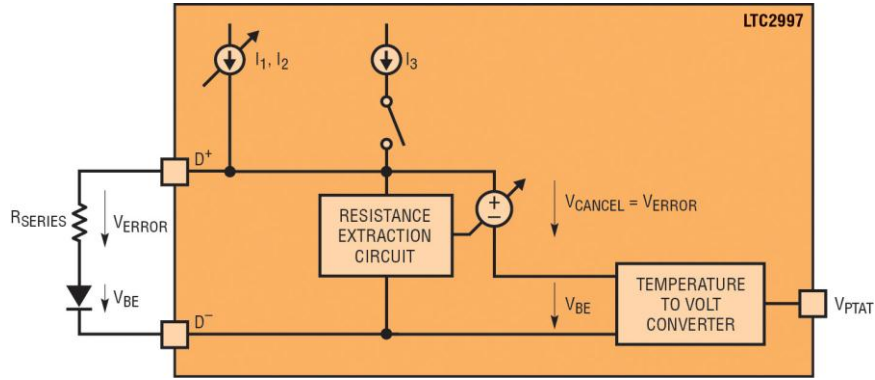
与远端二极管串联的电阻提高了在每个测试电流上所测得的电压，因此导致了正的温度误差。复合电压等于：

$$V_D + V_{ERROR} = \eta \frac{kT}{q} \cdot \ln\left(\frac{I_D}{I_S}\right) + R_S \cdot I_D$$

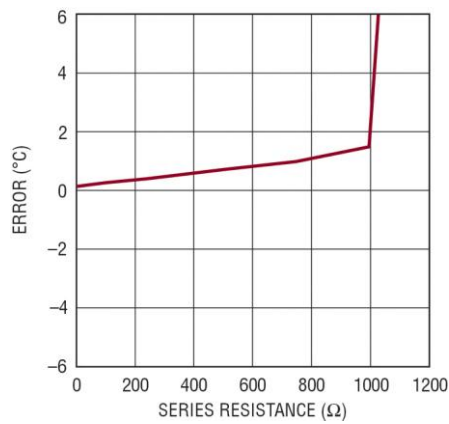
其中 R_S 是串联电阻。

LTC2997 通过减去一个消除电压 (参见图 3a)，从检测器信号中去掉了这个误差项。电阻提取电路用一个额外的测量电流 (I_3) 来确定测量通路中的串联电阻。一旦确定了正确的电阻值， V_{CANCEL} 就等于 V_{ERROR} 。现在，由于串联电阻和检测器温度可以利用电流 I_1 和 I_2 确定，所以温度至电压转换器的输入信号就免除了误差。

高达 1k 的串联电阻一般引起低于 $1^\circ C$ 的温度误差，如图 3b 所示，这使 LTC2997 成为读出与温度管理系统相距几米远的二极管检测器读数之理想器件。确实，最长距离更加受制于线路电容而不是线路电阻。大于 1nF 的电容会在各种不同的检测点上影响检测器电压的稳定性，因此引入了额外的温度读数误差。例如，一条 10m 长的 CAT 6 电缆具有大约 500pF 的电容。



(a)



(b)

图 3: 串联电阻消除。(a) 简化方框图; (b) 温度误差随串联电阻的变化

与很多远端二极管检测器不同，LTC2997 由于更新时间短 (3.5ms)，面对温度变化有可靠的温度测量算法，因此可以准确跟踪快速变化的温度，即使在测量间隔中也是如此。图 4 显示，当 LTC2997 整个置于冰水中之后立即浸入沸水中，该器件内部检测器的阶跃响应。

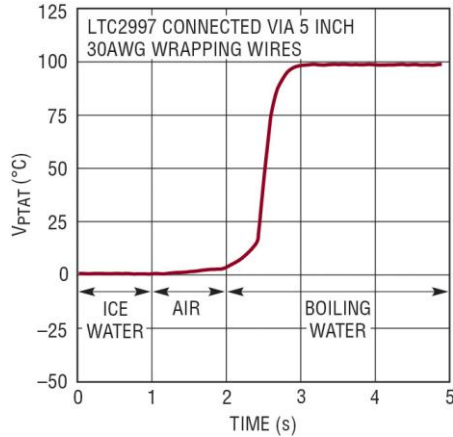


图 4: LTC2997 内部检测器的热阶跃响应

当应用于温度调节环路时，与数字同类器件相比，LTC2997 有很多优势。它的快速响应时间和模拟输出温度消除了数字系统所需的大部分复杂性。例如，图 5 显示了 LTC2997 用于一个温度稳定在 75°C 加热器中的情况。在这个应用中，基准电压（通过一个电阻分压器）用来产生 $1.392V (= [75 + 273.15]K \cdot 4mV/K)$ 的目标电压。

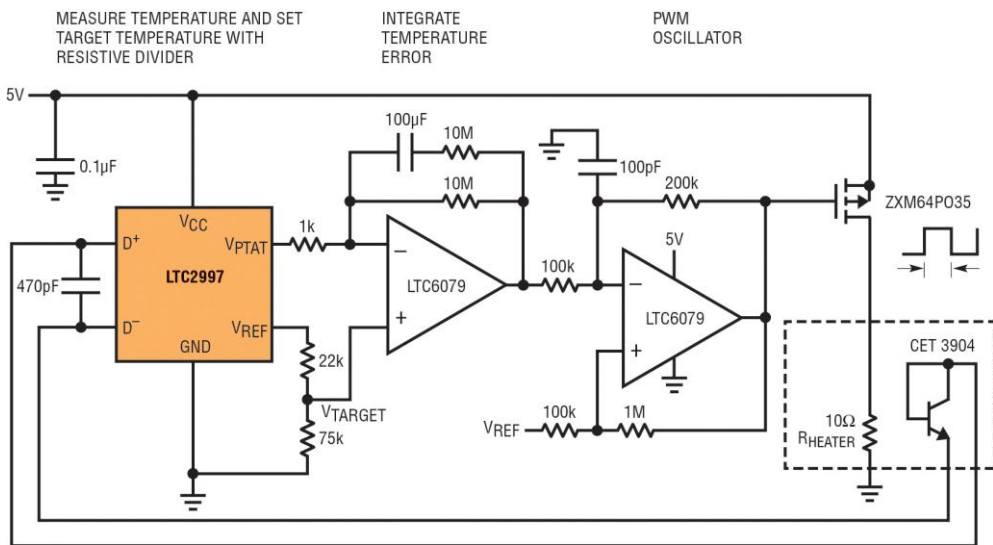


图 5: 75°C 模拟 PWM 加热器控制器

第一个微功率轨至轨放大器 LTC6079 对 LTC2997 的 V_{PTAT} 输出和目标电压之差进行积分。积分所得误差信号由 PWM 振荡器转换为脉冲宽度调制信号，该信号再驱动 PMOS 开关，控制通过加热电阻器的电流。

LTC2997 还可用来构成摄氏温度计 (图 6)、华氏温度计 (图 7)、具备冷结补偿的热电偶温度计 (图 8)、或用于其他无数需要准确升和快速温度测量的应用。

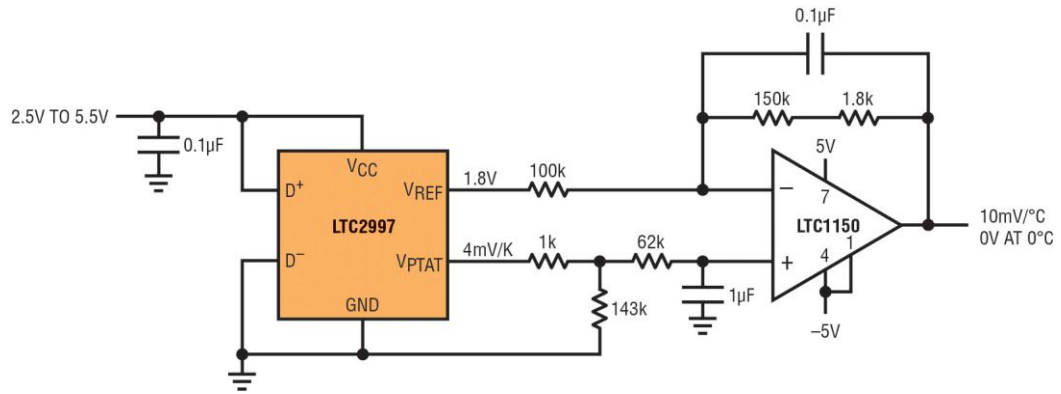


图 6: 摄氏温度计

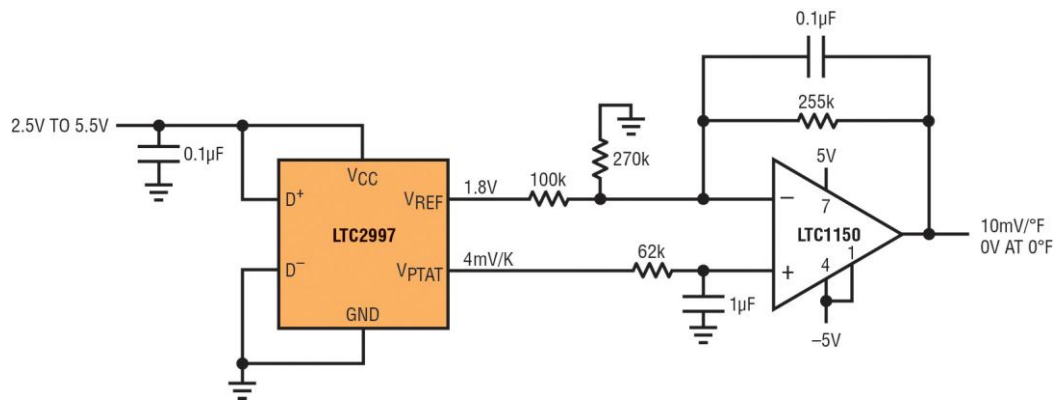


图 7: 华氏温度计

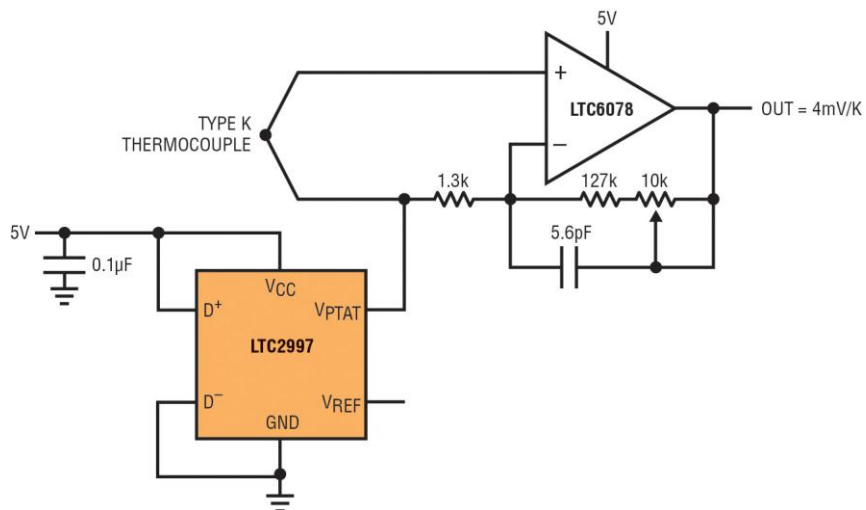


图 8: 具备冷结补偿的热电偶温度计

LTC2996 温度监视器

LTC2996 在 LTC2997 的基础上增加了门限输入 V_{TH} 和 V_{TL} ，并持续比较 V_{PTAT} 与这些门限，以检测温度过高 (OT) 或温度过低 (UT) 情况。门限输入电压可以便利地通过从内置基准电压的电阻分压器设定，如图 9 所示。

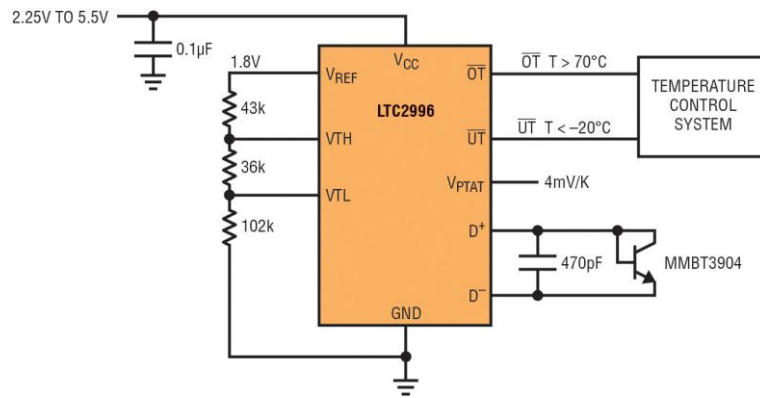


图 9: 具备过温和欠温门限的远端温度监视器

如果图 9 中远端二极管的温度升高至高于 70°C ，那么 V_{PTAT} 电压就会超过在 V_{TH} 的高温门限。LTC2996 检测到这种温度过高情况后，就将 OT 引脚拉低，以向温度控制系统报警。当温度降至低于 -20°C 时，通过 UT 引脚以同样的方式沟通。请注意，只要温度超过相应门限的时间达到 5 个连续更新间隔 (每个 3.5ms)，LTC2996 就接通开漏报警输出。OT 和 UT 引脚具有连至 V_{CC} 的内部 400k 弱上拉电阻器，因此在很多应用中无需外部电阻器。

LTC2996 可用来实现“Bang-bang”控制器，保持敏感器件 (例如电池) 的温度处于某理想温度范围内，如图 10 所示。

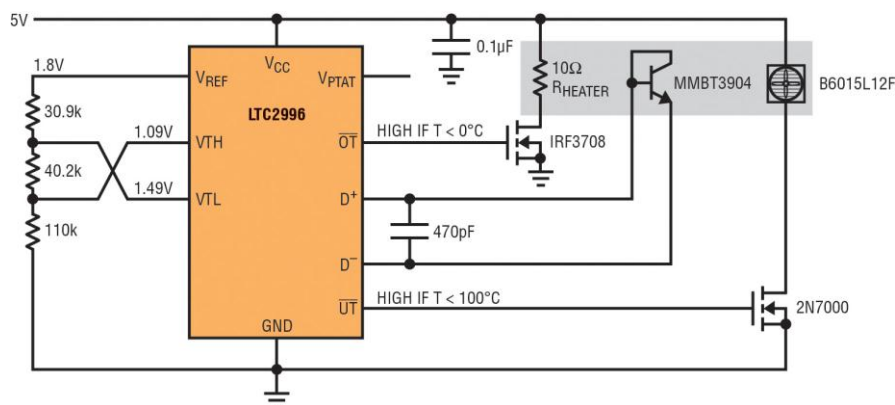


图 10: “Bang-bang” 控制器保持温度在 0°C 至 100°C 之间

在这个应用中，欠温输入门限设定为 100°C ，而过温输入门限则设定为 0°C 。这种看似颠倒的安排与以下事实有关：当超过门限时， UT 和 OT 都被拉低。因此，在这个配置中，当温度保持在想要的范围（高于过温和低于欠温）内时， UT 和 OT 将 NMOS 晶体管的栅极拉低，而且加热电阻器和冷却风扇都关断。如果温度升至高于 100°C ，那么欠温开漏输出 UT 就被拉高，并接通风扇。类似地，温度低于 0°C 时，接通加热器。

在使用电池的情况下，**LTC2996** 还可用来监察由几节不同的电池组成的大型电池之温度。损坏、短路或破坏的电池一般会发热，而且在最坏情况下，还可能引起火灾。**LTC2996** 仅需要最少的额外连线，就能单独监察每节电池的温度，如图 11 所示。

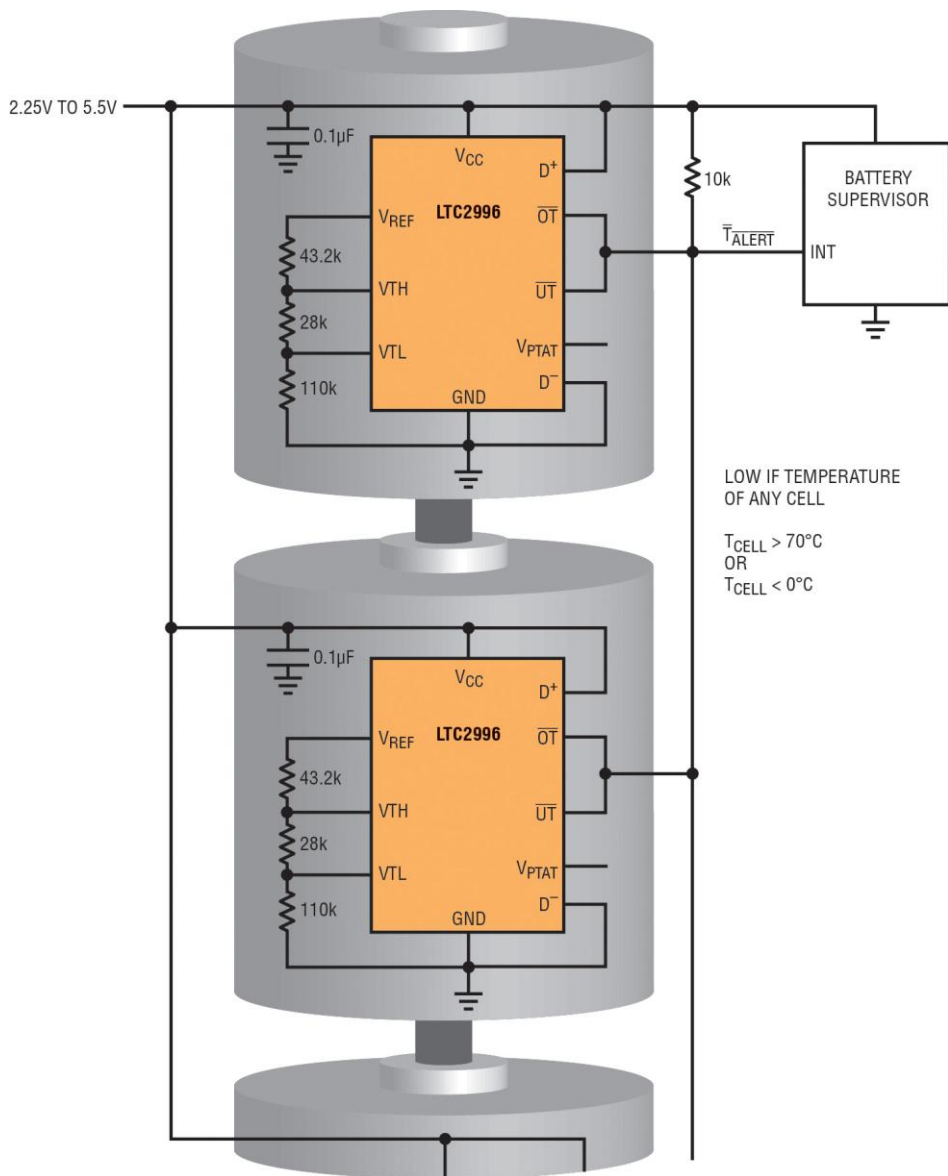


图 11：监察电池组中电池的温度

事实上，如果（电池组中）电池是串联连接的，那么仅需要 3 条额外的连线（V_{CC}、GND 和报警输出）就可以监视任何一节电池的温度是否处于所希望的工作范围之内。如果电池是并联连接，而且监视的是端电压在 2.25V 至 5.5V 之间的电池（例如锂离子电池），那么甚至仅需要一条额外的连线（报警输出）就足以监察每一节电池的温度了。

LTC2995 兼有温度和双路电压监视器 / 监察器

除了监视温度，几乎每一个电子系统都需要监察多个电源电压。为了满足这种需求，LTC2995 整合了 LTC2996 和一个双路电压监察器，从而可监视两条电源线的过压和欠压情况，如图 12 所示。

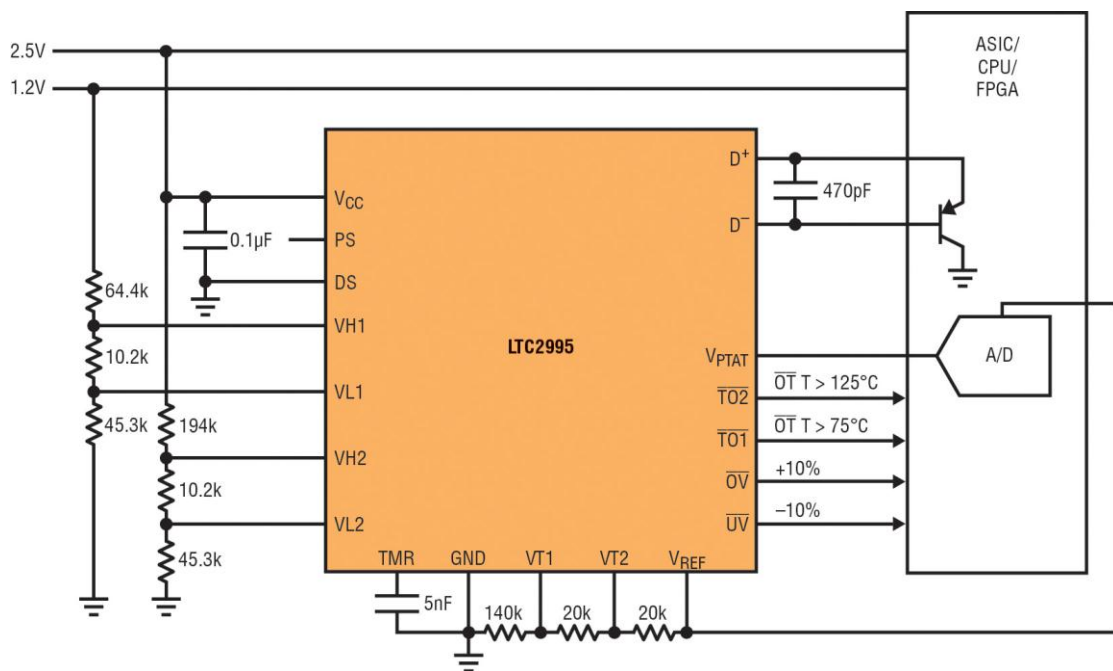


图 12: 双路 OV/UV ±10% 电源和 75°C/125°C OT/OT 远端温度监视器

LTC2995 每通道增加了额外的高压和低压输入，这两个输入持续与内部 500mV 基准比较。VH1 或 VH2 电压一低于 500mV，LTC2995 就将 UV 输出引脚拉低，以指示出现了欠压情况。类似地，如果 VL1 或 VL2 上升至高于 500mV，就拉低 OV 引脚，以指示出现了过压情况。

为了防止所监视的电源电压上的噪声导致寄生复位，在确定 UV 或 OV 之前，LTC2995 的低通滤波器允许对比较器的输出进行积分。比较器输入端的任何瞬态都必须具有足够的幅度和持续时间，比较器才能触发输出逻辑。此外，LTC2995 有一个可调的超时时长 (t_{uOTO})，在任何故障被清除之后，该超时时长可保持 UV 和 OV 处于确定状态。这种延迟最大限度地减小了频率高于 $1/t_{\text{uOTO}}$ 的输入噪声的影响。在 TMR 引脚和地之间连接一个电容器 C_{TMR} ，超时时长 (t_{uOTO}) 就可调了，这样就可以适应各种应用。

LTC2995 包括温度测量和监视功能，这些功能提供了比 LTC2997 和 LTC2996 更大的灵活性。如果连接了外部二极管，那么 LTC2997 和 LTC2996 总是切换到外部模式，因此要测量内部二极管时，需要将 D⁺ 连接到 V_{CC}，而 LTC2995 额外提供了一个二极管选择 (DS) 引脚，允许随时在内部和外部二极管之间切换。如果 DS 引脚处于浮置状态，那么 LTC2995 进入“乒乓”模式，在这种模式时，该器件以大约 20ms 为一个周期，交替进行内部和外部二极管测量。

最后，利用极性选择 (PS) 引脚，LTC2995 可以配置为两个温度门限均为过温或欠温限制。这种功能允许系统分级响应温度变化。例如，用户也许想在温度上升至超过 75°C 时，得到一次警报 (例如接通风扇)，在温度上升至超过 125°C 时，再得到一次警报 (例如关断系统)，如图 12 所示。

结论

凌力尔特公司的准确温度检测器 / 监视器新系列可以将一个内部或外部二极管用作检测器，并产生与所测温度成比例的模拟输出。该系列包括纤巧的温度检测器以及整合的温度与双路电压监察器，可针对超出范围的情况发出报警信号。这些器件使其以最低的复杂性构建模拟温度控制环路或监视温度 (和电压) 变得容易了。