LED应用中需要注意的问题

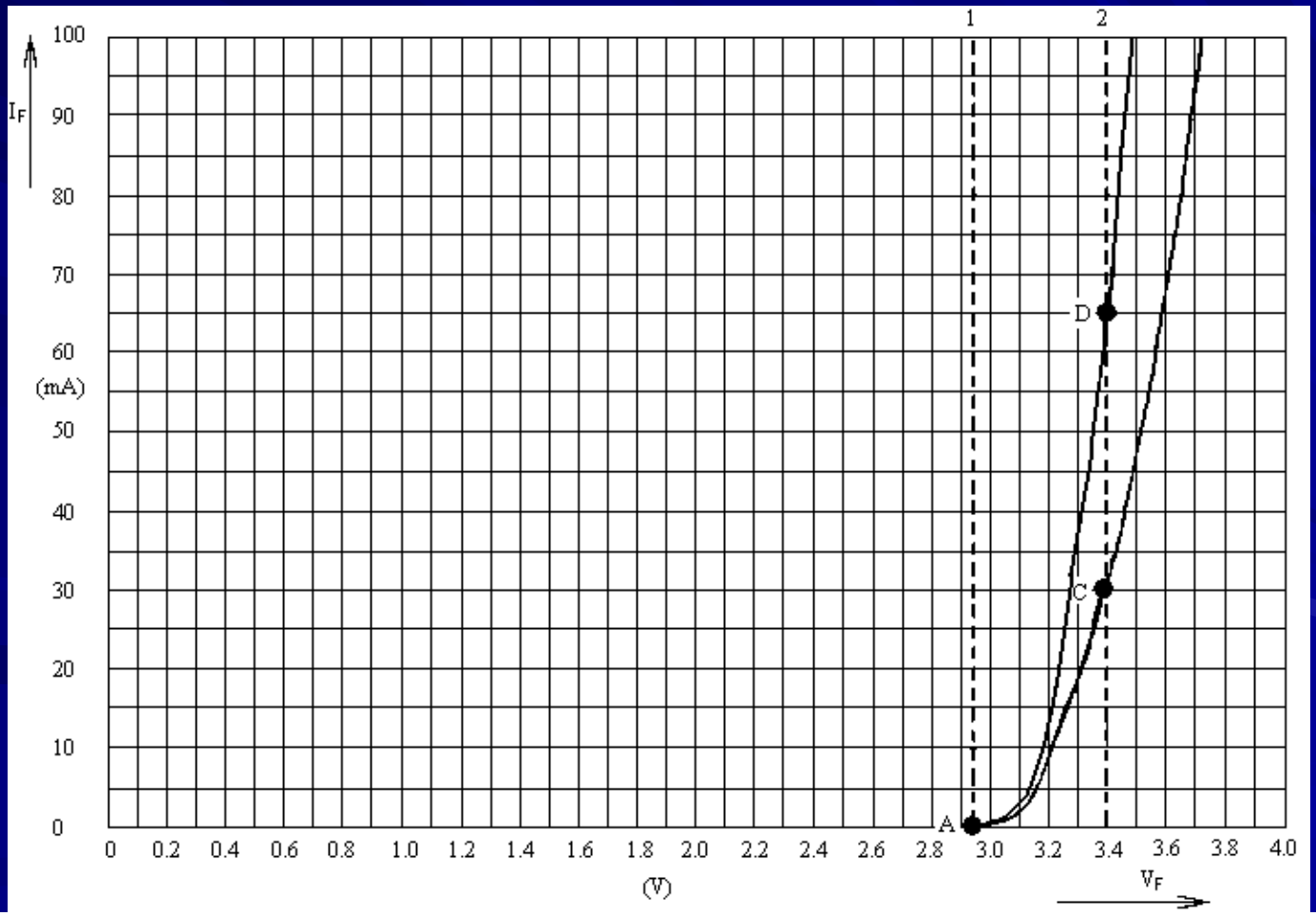
陈永真
辽宁工业大学
0416chenyongzhen@163.com
13841685729

1、 多组LED驱动的电流均流与LED开路保护

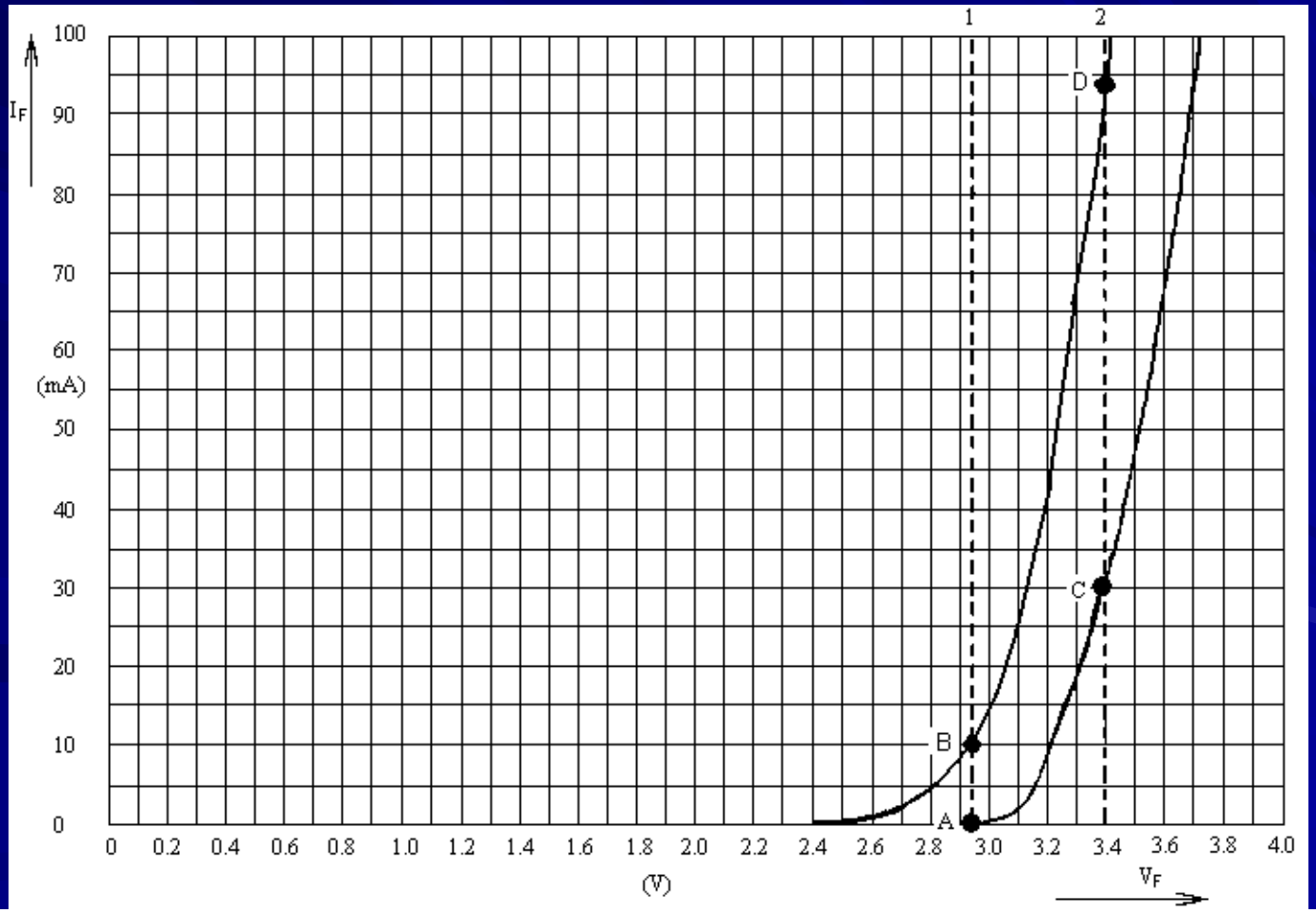
- 由于现在可以应用的HB LED功率很小，如果作为照明应用仅仅单只HB LED就显得远远不够，需要用多只HB LED组合使用。
- 仅从HB LED自身特性来说，HB LED驱动最好是一个HB LED驱动电路进驱动一个HB LED，但是在实际应用中这样做显然非常不经济的，因此往往采用多只串联或多只并联的方式来节省驱动电路。
- 由于HB LED自身特性的制约，在实际应用中最好不采用直接并联方式。其原因是：只要HB LED的正向特性稍有差异，并联时就会导致电流分配的巨大差异。如图

- 从图中看到，两只不同正向电压的HB LED并联时由于HB LED端电压相同，正向电压低的HB LED的实际电流要比正向电压高的HB LED大得多，如上图中的C电电流和D点电流，而这电流相差一倍以上！
- 这种差异随着HB LED的结温升高而加大。流过电流越大的HB LED结温越高，它的正向电压就会相对更低，流入它的电流也会更大。如图

- 在相同电压下的LED正向特特变化对正向电流的影响



- 不同结温和不同的正向电压并联时的电流分配



- 随着导通电压低的HB LED结温上升，其正向电压随结温的上升而进一步降低，导致正向电压低的HB LED流过的电流越来越大，而原来导通电压高的HB LED流过的电流会越来越低。这样的恶性循环甚至最终导致这个电流过大的HB LED很快就失效了。
- 尽管很多文献将HB LED直接并联，而且在最初的感觉也似乎没有什么问题，但是对于HB LED驱动电路设计工程师来说仅凭感觉是远远不够的，需要确保驱动电路安全可靠的驱动每一个HB LED，这就需要对并联中的每一个HB LED的电流均分。
- 如果仅采用HB LED直接并联的方式，则要求同一个并联组中的所有HB LED的正向特性要尽可能抑制，否则必须采取均流措施。如电阻均流方式、恒流源均流方式以及多只HB LED并联后对驱动电路的要求等。

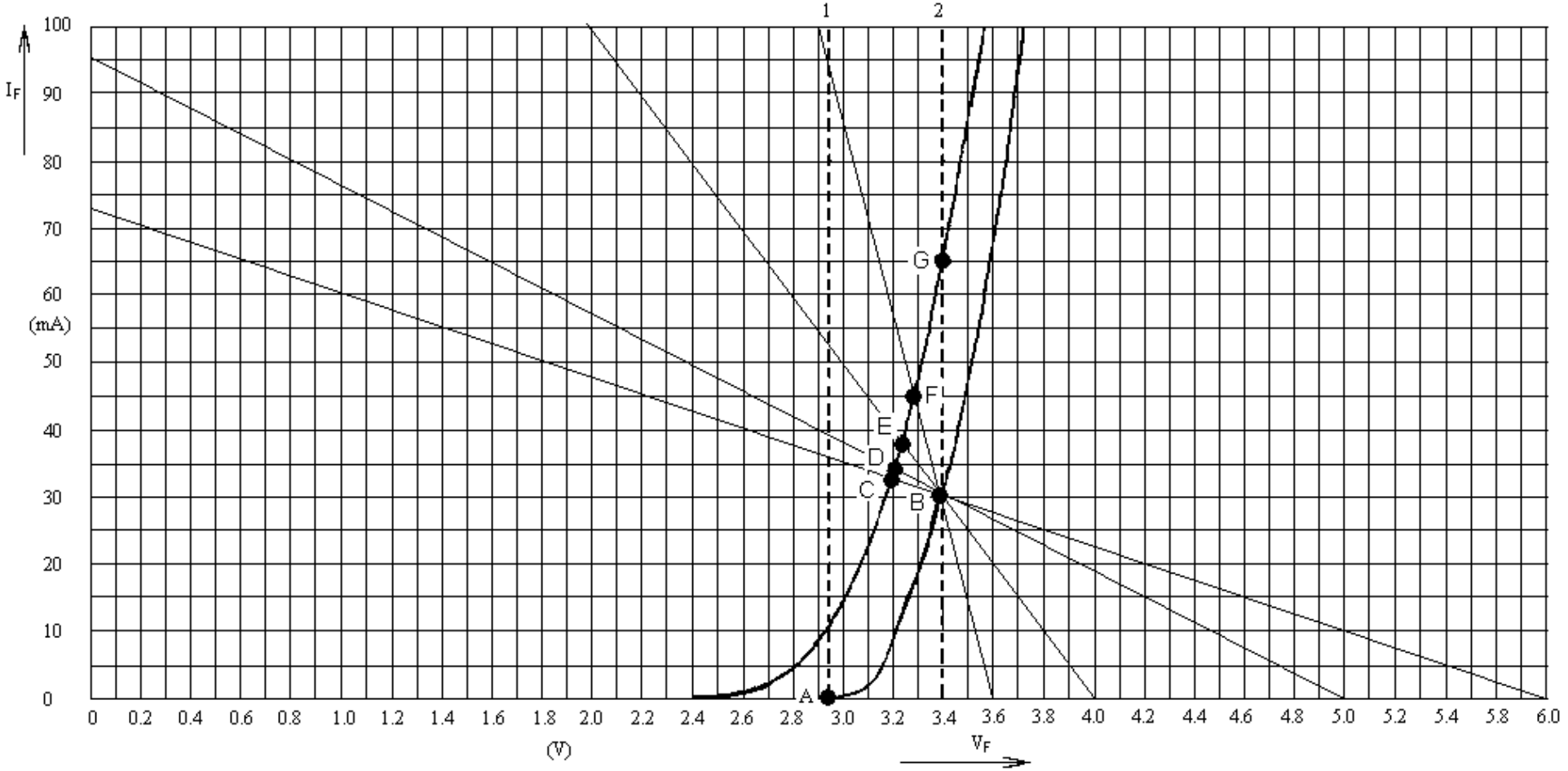
1.1 对驱动电路性能的要求

- 多只HB LED并联后需要注意的问题是：如果并联的HB LED中一个或多个（一组或多组串联的HB LED）出现断路时，断路的那一个或多个HB LED的电流就会流入没有断路的个组中，导致它们流过的电流超过设定值。假设两只HB LED并联，其中的一只开路，在恒流驱动状态下会导致原本驱动两只HB LED的电流流入一只HB LED中，导致其承受2倍的电流冲击。是的导通的HB LED过电流和过功率的冲击，最终导致HB LED的过热甚至过热损坏。如果这种冲击是短时的，如数码照相机的闪光灯，从HB LED过热而导致HB LED的损坏就不会发生。
- 如果是长期工作，则过电流现象将是不允许发生的。要解决多只并联的HB LED中个别开路时的HB LED电流控制就需要将驱动电路特性改变。而这种改变的最简单的形式就是采用恒压供电，用均流电阻限制每一个（组）HB LED的电流，这样就回到了用电阻限制电流的思路中。

1.2 电阻均流方式

- 电阻均流实际上就是在恒定驱动电压下采用电阻限制HB LED电流。需要注意的是：电阻的阻值越大恒流特性越好，但是阻值越大损耗越大。

不同电阻值对恒流效果的影响

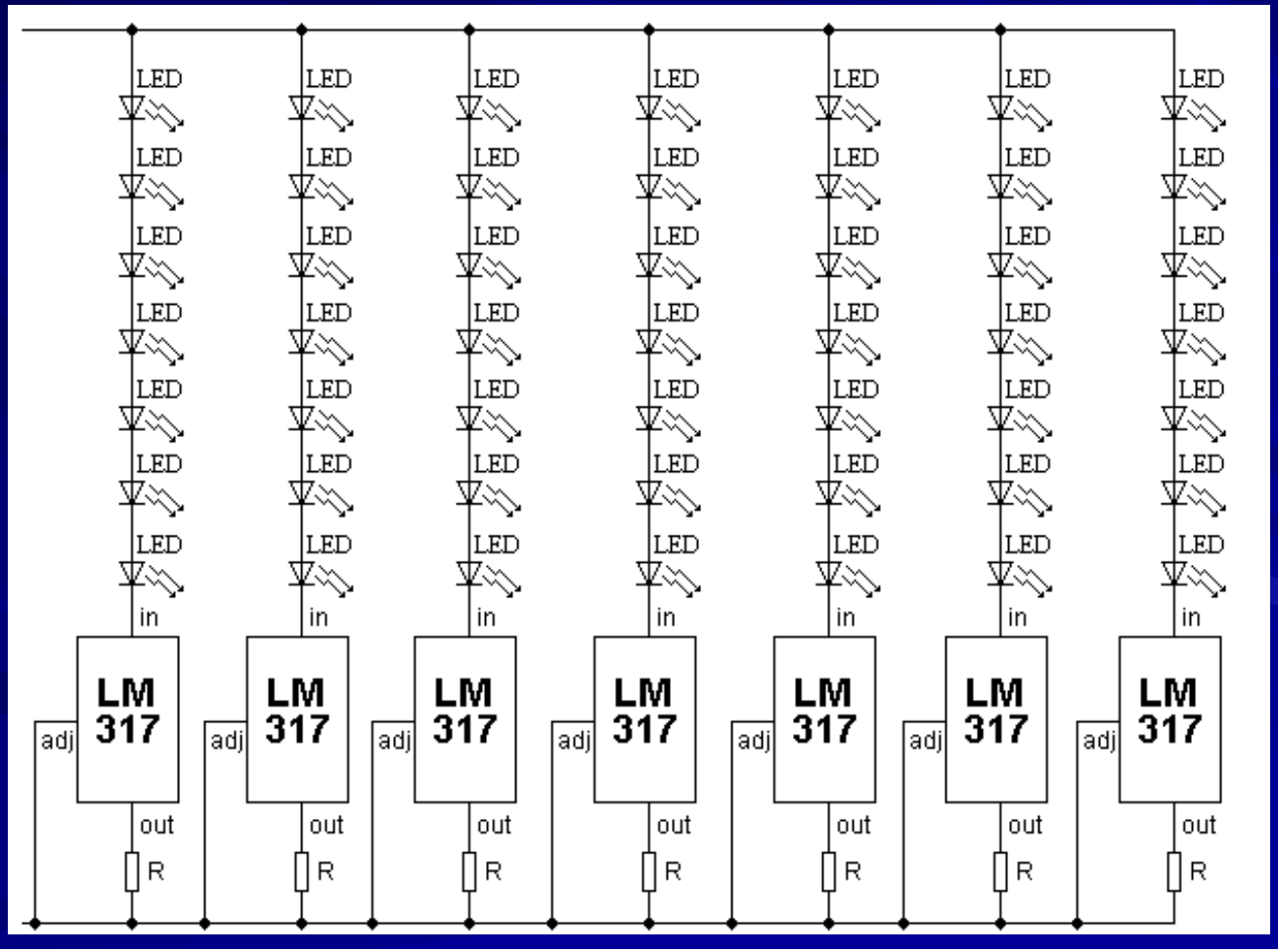


- 从图中可以看到，随着结温的升高，HB LED正向电压降低，如果不用电阻限制电流，在3.4V的恒定电压时，电流就会从30mA上升到65mA；采用3.6V恒定电压供电、串联6.8Ω电阻时在同样的结温上升条件下，HB LED正向电流从3.4V恒压供电的65mA下降到45mA；如果采用4V恒定电压和20Ω限流电阻后，在高结温时的电流下降到38mA左右；如果采用4V恒定电压和56Ω限流电阻后，在高结温时的电流下降到34mA左右；采用6V恒定电压和82Ω限流电阻后，在高结温时的电流下降到33mA左右。
- 从以上分析可以得知：限流电阻越大，恒流效果越好，但是附带的损耗越大，因此需要折中恒流效果和均流电阻损耗的关系。
- 这种均流方法尽管效果并不十分理想，但是价格便宜，还是有很多的应用。

1.3 恒流源均流方式

- 在多只并联并且多只串联应用时，HB LED的均流选用恒流源控制HB LED电流的方式比较好。可以选用专用均流芯片，甚至也可与选用集成稳压器来实现恒流控制。
- 以上两个方案中，集成稳压器相对容易买到、价格最低，在数十只HB LED串联时可以获得恒流与损耗的最佳折中。
- 采用输出电压可调的集成稳压器LM317是一个比较好的解决方案。其原因是：对于小电流可以采用单价不高于0.4元人民币的LM317L实现50mA以下的恒流控制；对于比较大的电流如数百毫安应用时可以选用单价不高于1元人民币的LM317；
- 这个解决方案另一个特点就是不需要辅助电源！
- 采用集成稳压器均流的实际电路如图

- 采用集成稳压器均流的解决方案



- 其中电阻的选择为：

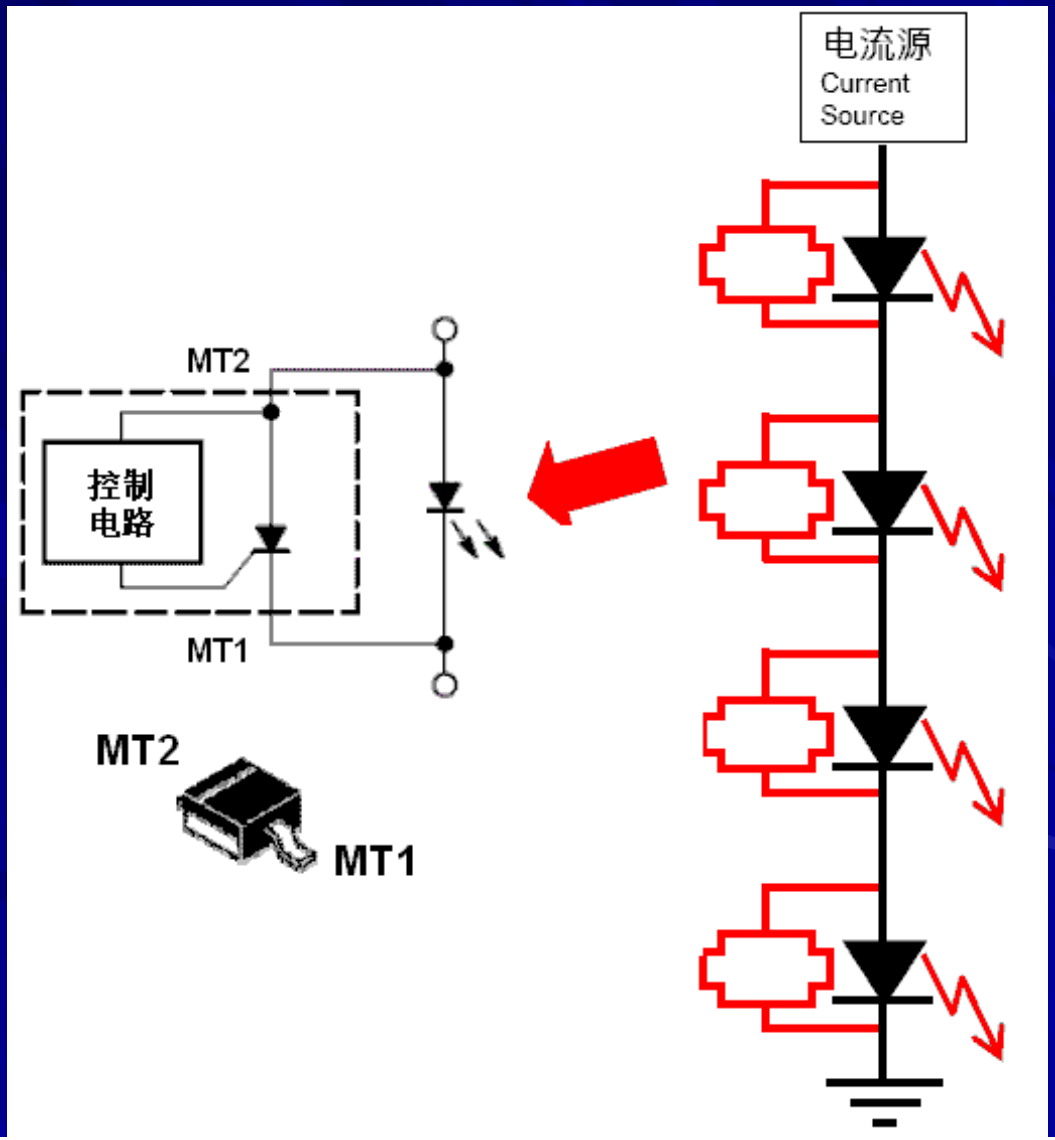
$$R = \frac{1.25V}{I_{LED}}$$

- 式中的1.25V是集成稳压器输出端与调节端的基准电压；ILED为HB LED的工作电流。
- 采用集成稳压器均流的电路最低电压约3.3V（与一只HB LED电压降接近），其中有1.25V的电阻电压和约2V的集成稳压器的最低输入输出电压降。在驱动电路为恒压供电时，均压电路的电压降可以设置在3.5V~4V即可。
- 如果HB LED串联组是十只以上的HB LED串联，则均流电路损耗仅为HB LED功率的10%以下，串联数越多均流电路损耗相对越低。这对于照明用的数十瓦输出，多只串联、多路HB LED并联的应用具有实际应用的意义。

1.4 高亮度（HB）LED串联时需要注意的问题

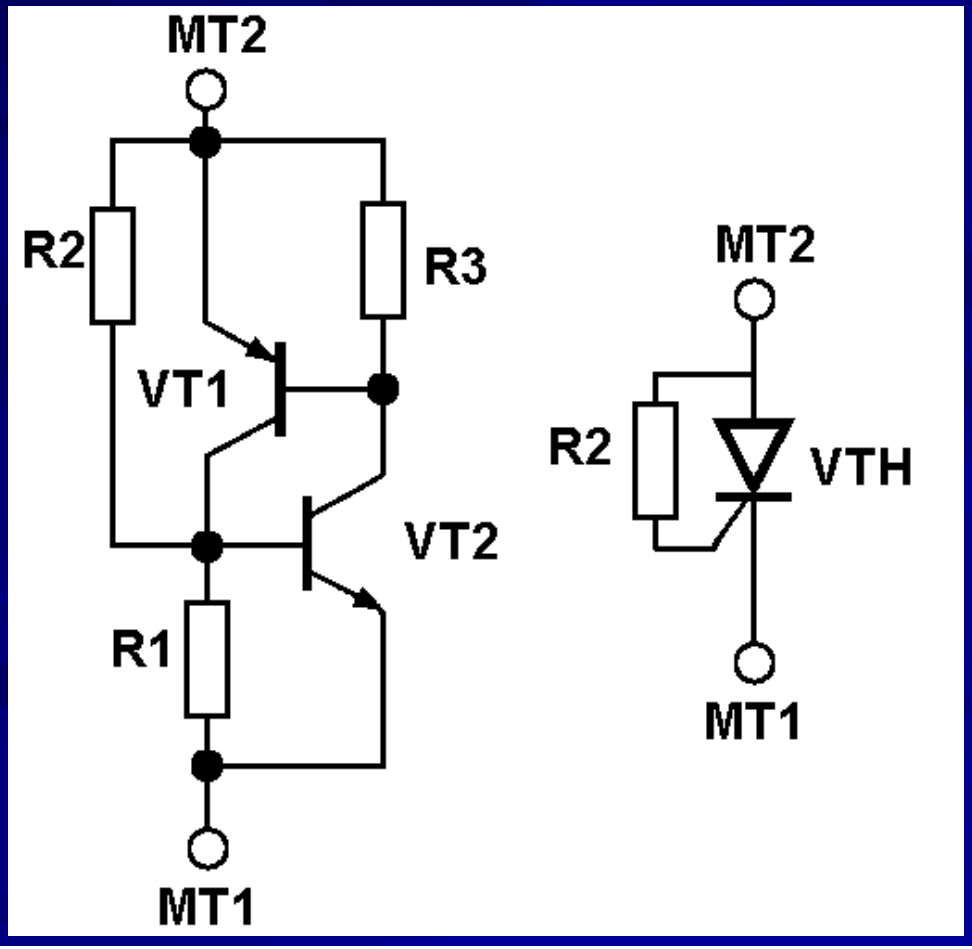
- 多只HB LED串联时会遇到的问题是：如果其中的一只HB LED开路，整个电路将随之开路，不仅开路的那只HB LED不能工作，与其串联的所有正常的HN LED也不能工作！因此必须解决HB LED串联时的单只HB LED开路保护问题。
- 解决的思路是在每个HB LED两端并联一个来路保护器件。如图

- 串联的HB LED



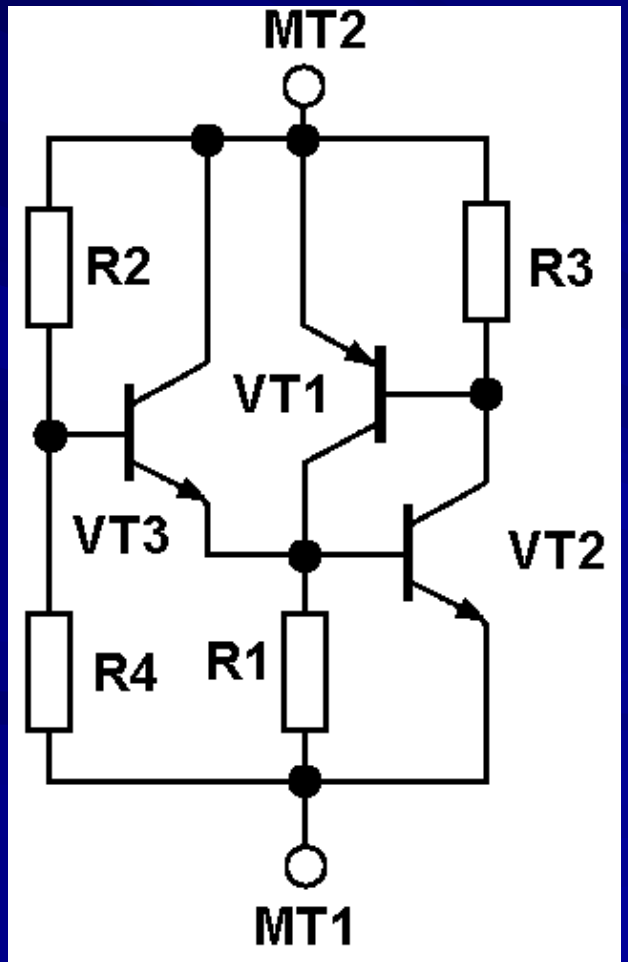
- 从图中看到，这个HB LED开路保护电路实际上可以用晶闸管和控制电路来实现。当HB LED开路时，开路的HB LED端电压明显高于HB LED正常工作时的正向电压。这时控制电路检测到这个“过电压”而控制开路保护驱动保护电路中的晶闸管导通。
- 晶闸管有一个特点就是导通后可以自锁，不再需要控制信号，因为晶闸管导通后会使开路的HB LED端电压下降约到1V，低于正常导通时的正向电压，控制信号肯定不再存在了，这就是为什么要用晶闸管作为HB LED开路保护器件的原因。
- 对于大多数应用工程是来说，上面讲到的HB LED开路保护控制“IC”可能很难买到或很贵，自己是否可以用简单的分立元件设计出具有相同功能的HB LED开路保护电路？结论是肯定的，而且整个保护电路的成本可以低于0.5元人民币。
- 其基本思路是：用两只可以承受大约1A连续电流的小信号晶体管搭建成晶闸管。接下来的问题是什么样的小信号晶体管可以承受1A的连续电流？这就是耐压40V，额定电流2A的S8050（NPN型）和S8550（PNP型）。电路如图

- 用小信号晶体管搭建的HB LED开路保护电路



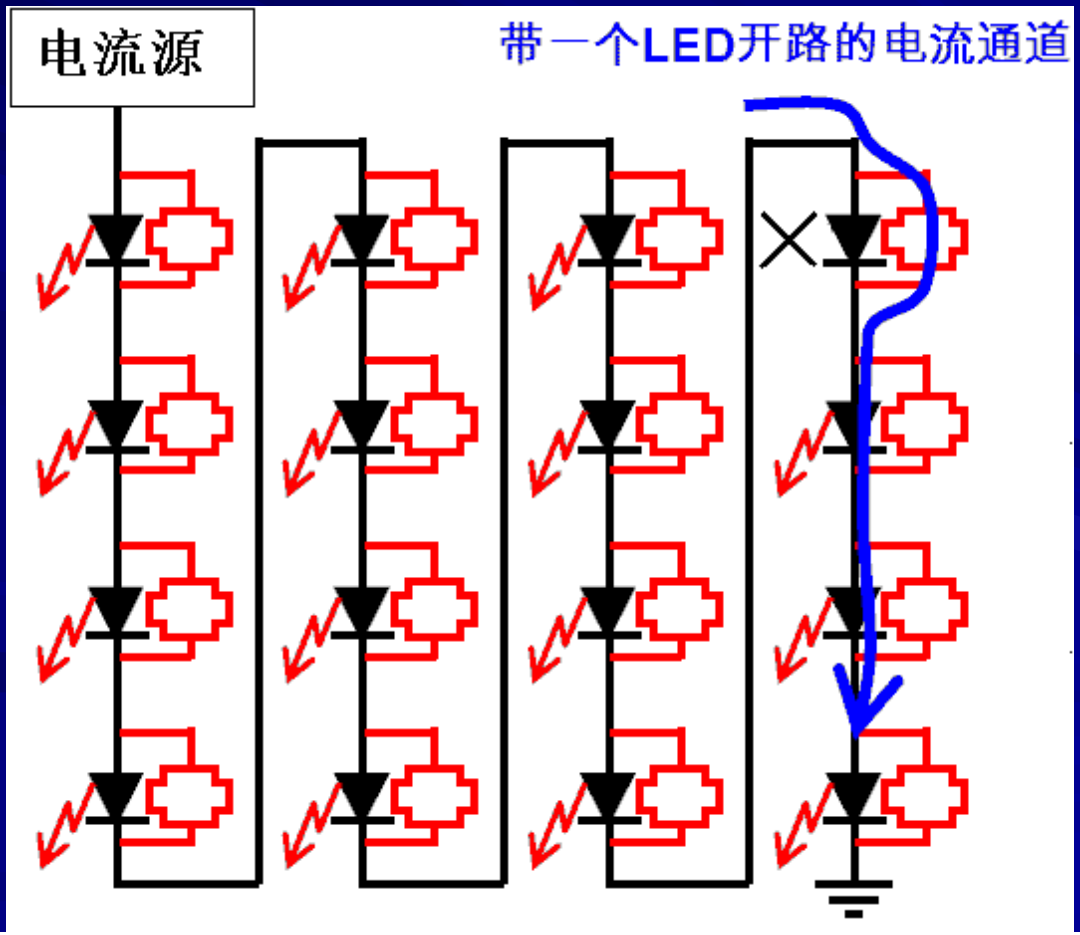
- 上图中的右图为实际用晶体管搭建的电路，左图为等效晶闸管电路。需要注意的是，图9.6电路可能不大实用，其原因是小信号晶体管的最大基极电流远小于集电极额定电流，这是因为小信号晶体管的β远高于功率晶体管，至少可以达到100，而现在多数小信号晶体管的β值很容易达到或超过200。这时晶体管制造水平提高的体现。
- 需要之一到的是上图电路中的集电极电流是流如另一个晶体管的基极，如果保护电流达到近1A时，晶体管的基极肯定承受不了，为了改变这一问题，可以采用下图电路。

- 采用复合连接的HB LED开路保护电路



- 电路的基本思路是：为了降低流如晶体管基极的电流需要在晶体管的基极-发射极之间并接电阻，使得大部分晶体管的集电极电流从这个分流电阻分流，电路中的分流电阻为R1、R3。
- 上图中电路的电阻R1、R3选择依据为：在晶体管VT1、VT2导通时，电阻R1、R3流过300~599mA电流，晶体管VT1、VT2导通时的基极-发射极电压为0.7V，对应电阻的阻值为1.5Ω~2.2Ω，功率为0.5W。电阻R4选择可以根据在电路不动作时的静态电流小于0.1mA就可以了，对应电阻值为10kΩ。电阻R2选择56kΩ。晶体管VT3可以选择S8050或S9014。这样做就可以实现500mA的HB LED开路保护。
- 采用了HB LED开路保护电路就可以给开路的HB LED提供通路，如图

- HB LED开路保护电路的HB LED串联组在个别HB LED开路时的电流通路



- 在HB LED开路保护动作后，电路的导通电压大约为1V左右。
- 上图电路的成本核算：三个晶体管的批量价格大概在0.5元人民币，四个电阻也不会超过0.2元人民币。总成本可以低于1元人民币。与每只十多元的HB LED还是很合算的解决方案。

2、 LED驱动电源及大功率LED的散热器设计

2.1 LED的热管理与散热器的基本原理

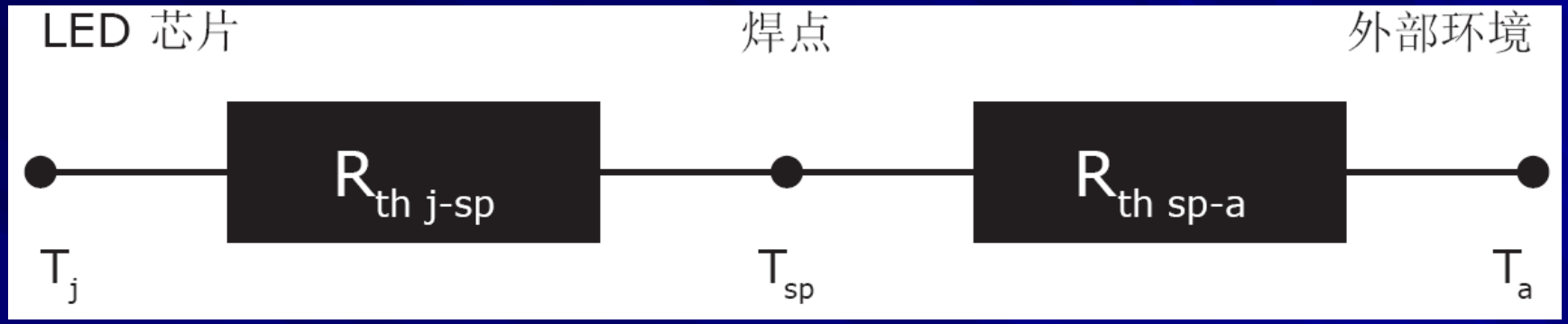
- 当设计使用LED 的照明系统时，最关键的设计参数之一就是该系统从LED 管芯排除热量的能力。 LED 管芯很高的工作温度会破坏LED 的性能，导致光输出衰减和工作寿命减少。
- 而散热最有效的方法就是将LED贴在散热器上，为了避免LED的电极与散热器的接触，LED的焊接底座与管芯之间有绝缘，这个绝缘在某种程度上导致了LED管芯向外传输热量的变差。

- 除了有效的散热之外。大多数LED 失效机制都和温度密切相关。LED管芯温度的升高会导致光输出的减少，每种产品系列的最高管芯温度都已在产品数据表中列明。 管芯温度主要受到三个参数的影响
- 1．LED 周边环境的温度
- 2．在LED 管芯和外部条件间的导热通道
- 3．LED 释放的能量

- 在设计带有高功率LED 的照明系统时，应当遵循以下通用指导原则：
- 1．成功进行散热设计要考虑的最重要因素是，将需要移除的热量降至最低。将LED 驱动电路和LED 电路板隔开非常重要，只有这样驱动器所产生的热能才不会导致LED 管芯温度升高。
- 2．下一个最有效的策略是将固灯具置里面的温度降至最低。只要注意几个设计参数，这个目标就能实现，比如说考虑防止整个系统达到整体功率密度的上限值的保守封装设计。保证进行自然对流冷却的通路洁净、畅通无阻也非常重要。
- 3．提高散热器和LED 间的热传导性对于热管理非常有必要。尽管从散热器上移除热量是通过对流实现，从LED 到散热器的通道却是通过传导方式。
- 4．最后，LED PCB电路板/散热器的朝向在设计时也需要慎重考虑。 正确安装电路板/散热器非常重要，使散热面保持垂直。
- 如果电路板平面是水平的，那么它将会阻止空气对流的形成，这样就会显著降低系统的冷却性能。

热阻

- 两点间的热阻被定义为温差和被释放功率的比率。本文档中计算所采用的单位是° C/W。对于LED，两个重要散热通道的热阻会影响LED管芯的温度：
- 1．从LED 管芯到封装底部的热接触点的热阻。该热阻由封装设计控制。它被当作焊点和外部环境间的热阻(Rth j-sp)。
- 2．从热接触点到外部环境条件， 这种热阻被定义为焊点和外部环境间的通路。它被当作焊点和外部环境间的热阻(Rth sp-a)
- 在LED 管芯和外部环境(Rth j-a) 间的总热阻可以通过数学模型公式表示为数列热阻Rth j-sp 和 Rth sp-a 的和。



耗散功率

由LED（Pd）所释放的总功率等于LED 驱动电压(Vf) 和驱动电流(If) 的乘积。

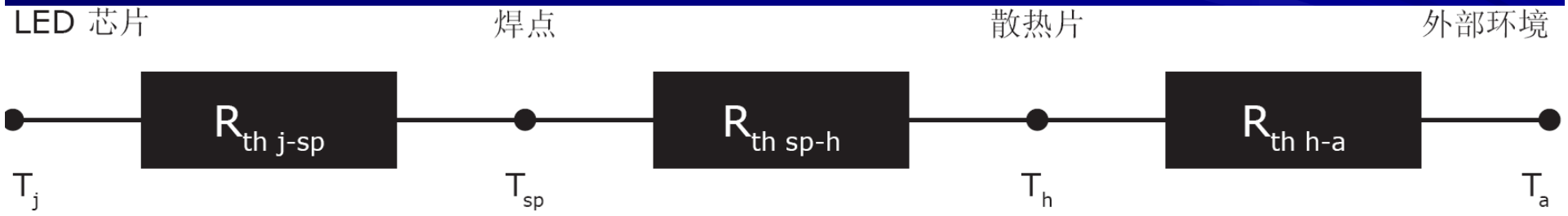
管芯温度

LED 管芯的温度 (Tj)是外部环境温度(Ta) 与释放功率和结点与外部环境热阻之乘积的和。

Tj = Ta + (Rth j-a x Pd)

计算

在大多数情况下，高功率LED 将被安装在金属核心印刷电路板（MCPCB）上，该板会和一个散热器相连接。热量通过传导方式从LED 管芯流经MCPCB，到达散热器。散热器通过对流方式将热量散发到外部环境中去。在大多数LED 应用中，与LED 管芯和导热板之间，以及导热板到外界环境之间相比，LED和MCPCB 和/ 或散热器之间的接触热阻还是相对较小的。



包含散热器的热阻模型

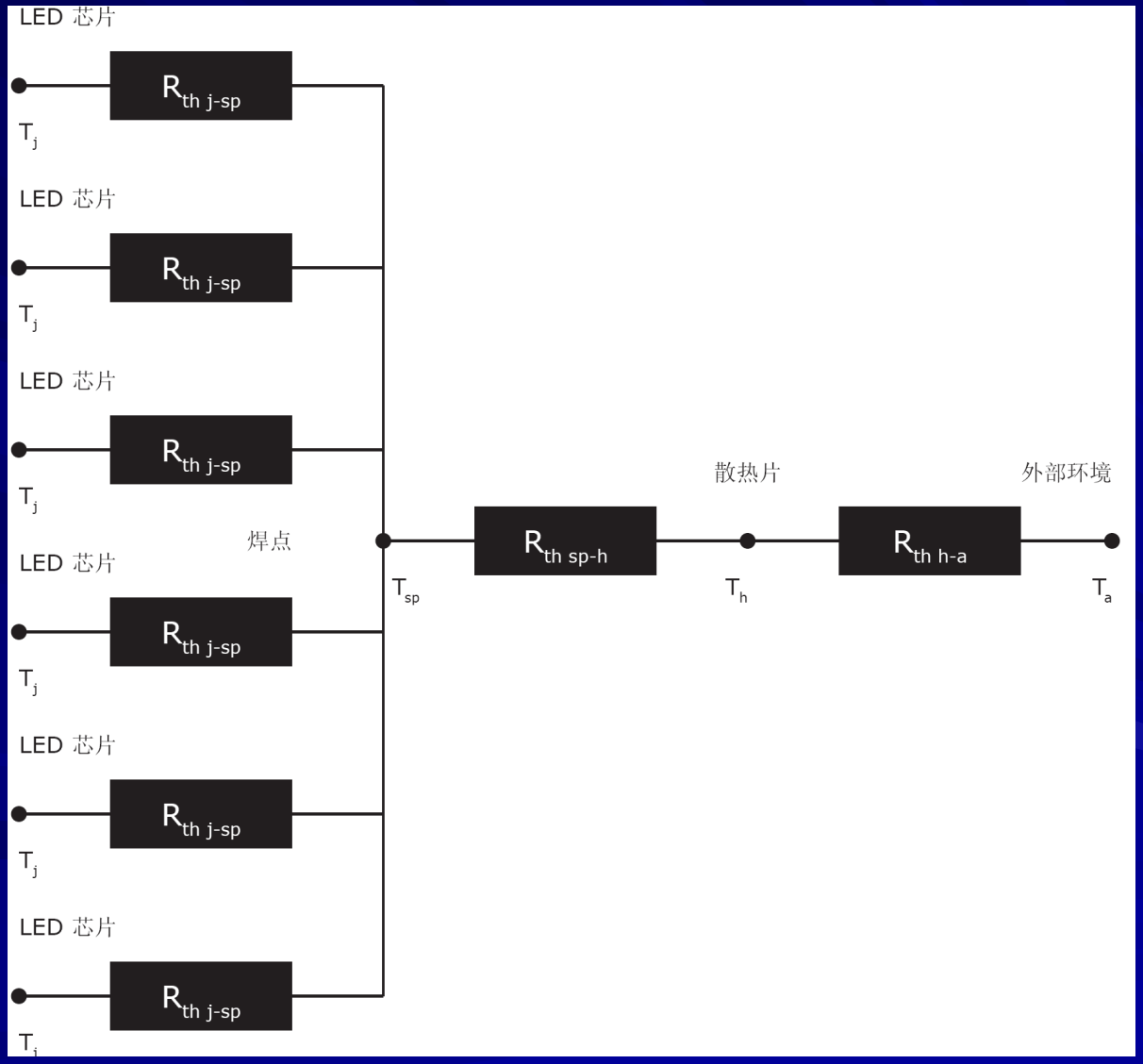
- 当使用散热器时，总的热阻是三个串联电阻之和，它们分别是从管芯到焊接点(Rth j-sp) 间的热阻与从焊接点到散热器间的热阻(Rth sp-h)，及从散热器到外部环境间的热阻(Rth h-a)。
- Rth j-a = Rth j-sp + Rth sp-h + Rth h-a
- 应当注意的是从LED封装到外部环境的直接热损失量非常小，以至于在计算时可以忽略不计。
- 决定所需散热器的尺寸规格和种类的总体设计，目标就是计算出散热器最大热阻值(Rth h-a)，该热阻值将能够使管芯温度保持低于最恶劣工作环境下的最大值。

- 为LED加装散热器可以有两种方法：
- 将LED贴在铝基电路板上，这种方法既可以使LED获得散热器，也可以将LED焊接在电路板上，特别是多只LED时，铝基电路板的成本比铝散热器高。
- 将LED装配在散热器上，这种方法相对铝基电路板的散热效果好。但是LED的连线变得复杂。
- 也可以将焊接好的铝基电路板装配在散热器上，以获得良好的连线方式和良好的散热效果。

- 需要注意的是：一旦散热器裸露在外面就不能带电。因此交流电输入的LED驱动电路必须是隔离型的；
- 如果没有散热器或散热器不裸露在外面并于外界具有有效的的电气隔离，如做成应该光灯管形状的LED灯具，LED和散热器不裸露在外面，驱动电路可以是不绝缘的。
- 如果是比较大功率的LED灯，为了良好的散热，散热器的体积将是比较大的。

- 例1：散热器的热阻
- 在本例中，6个白色Xlamp 7090 LED被应用于最高外部环境温度达55℃℃的情形中。假设在本例中，典型正向电压为3.25V,驱动电流为350mA，且电源在固定装置的外面，那么LED所消耗的总功率为：
- Ptotal = 6 x 0.350 A x 3.25 V = 6.825 W

含六（6）个XLamp LED的热阻模型

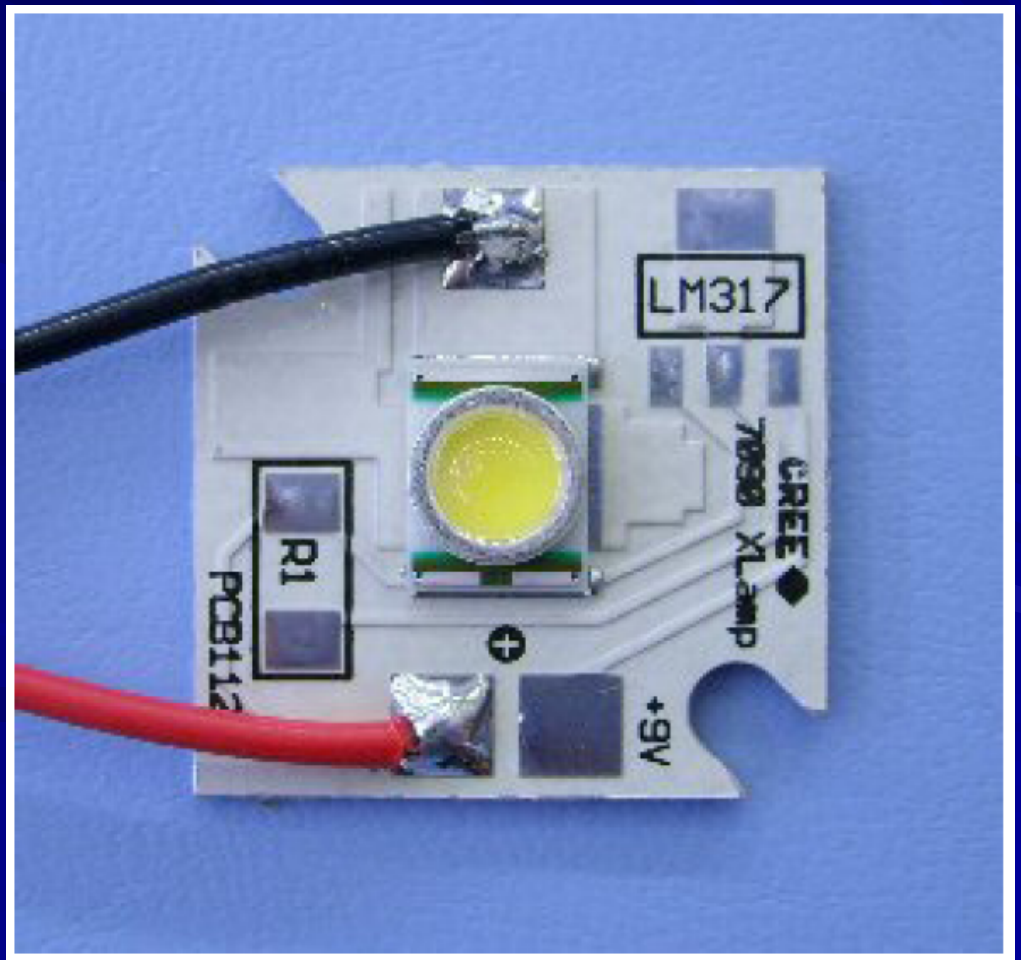


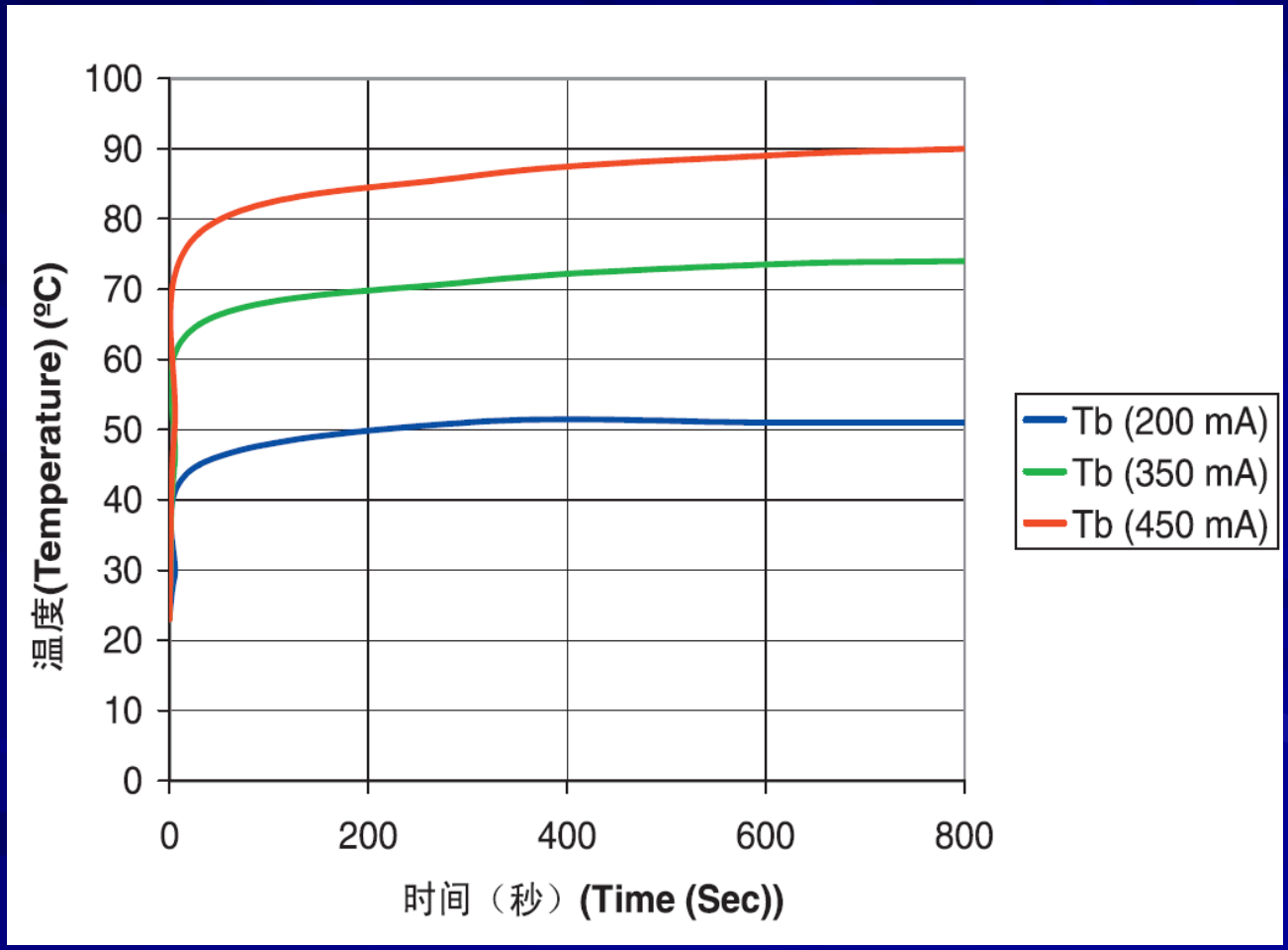
2.2 大功率LED散热器的设计方法

- 数据表单上所列出的从管芯到焊接点(Rth j-sp)的热阻值为8℃/W，最高管芯温度为145℃。 所以，
- Tj = Ta + Ptotal (Rth j-sp/6 + Rth sp-h + Rth h-a)
- 在LED焊接点和散热器间的热阻值Rth sp-h 取决于包括表面抛光度、平整度、所施加的安装应力、接触面积以及接口材料类型及其厚度在内的多种因素。 如果有好的设计，那么它可以最低降至小于1℃/W。
- 能够计算得出从散热器到外部环境的最大热阻(Rth h-a)。使用前面的等式，然后导出Rth h-a:
- Rth h-a = (145℃ - 55℃ –8℃/W x 6.825 W/6 – 1℃/W x 6.825 W)/6.825 W = 10.85℃/W
- 为了使得管芯的温度在最恶劣工作环境下低于145℃，我们必须选择从散热器到空气间热阻值低于10.85℃/W的散热器。也可以根据散热器制造商所公布的数据或者通过建模和检测来选择具有所需特性的散热器。

- 例2：热敏电阻的测试和计算
- 在没有散热器的情况下使用LED。本例演示了安装在一块1平方英寸的MCPCB板上的LED的热阻和最高工作温度的运算过程。
- 由于在本例中没有更多的散热器，MCPCB本身就起到了散热器和通向外部的热接口的作用。为了能够计算出从管芯到外部环境间的热阻，一定要测量LED背面的温度。在本例中，LED 被以回流焊接的方式焊接到MCPCB板上。板卡温度可以通过直接把热电偶用于MCPCB板的方式测量出来。
- 然而，在大多数应用中，使热电偶和LED焊接点接触是不可能的。所选择的检测点应该和LED背面或者MCPCB板背面温度最高的点尽可能地接近。

- MCPCB上的白色LED




100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
温度(Temperature) (ºC)
0
200
400
600
800
时间（秒）(Time (Sec))
Tb (200 mA)
Tb (350 mA)
Tb (450 mA)

- 当输入不同正向电流时，板卡的温度也能被分别测量出来。如果从管芯到焊板间的热阻值为8℃/W，并且我们假设从焊接点至MCPCB板之间的热阻为1℃/W（基于安装的方法，该值处于上限水平），那么不同电流输入条件下的管芯温度值可以通过以下方法计算得出：
- Tj = Ta + Ptotal x Rth j-a
- 其中，
- Rth j-a = Rth j-b + Rth b-a
- Rth j-b = Rth j-sp + Rth sp-b =8℃/W + 1℃/W = 9℃/W
- Rth b-a = (Tb - Ta) / Ptotal
- Ptotal = If x Vf
- Ta = 23℃

- 管芯温度的计算

If (mA)	Vf (V)	Tb (℃)	Rth b-a (℃/W)	Rth j-a (℃/W)	Tj (℃)
200	2.95	51	47	56	56
350	3.11	74	47	56	84
450	3.21	90	46	55	102

- 从检测结果来看，1平方英寸的铝基电路板的热阻大约为56 ℃/W ，一般来说仅能满足1只350mA的HB LED的散热，如果需要更高功率 得散热，可以采用多只LED分散的装配在面积更大的铝基电路板上，如果很紧密的装配在铝基电路板上，则需要另外装配散热器，以获得足够低的热阻。
- 我们可以得出结论：若使用一平方英寸的MCPCB作为散热器，且驱动电流为在350mA时，LED能够在室温下安全工作。允许的最大外部温度为84℃。不过在室温条件下，LED管芯的温度将会很快到达84℃。为了能够获得更好的结果，设计者应当使用第二块散热器。

2.3 散热器的设计和选择

- 为了设计和选择散热器，了解散热器的工作原理非常有益。如果热量从热源（如一个LED的管芯）通过散热器被传送到周围介质中，通常会经过以下四个连续步骤：
- 1. 从热源传送到散热器
- 2. 从散热器内部传导至其表面
- 3. 通过对流方式从散热器表面传送到周围介质中
- 4. 基于散热器表面的特性进行热辐射

- 散热器的效率和性能是所采用的热量传输模式的一项功能。散热器为热量从LED传导流动提供了通道。“埋在”在散热器内的热量必须要移除，这样才能使能量从热源开始进行连续流动。如果热量一直“埋在”散热器里，那么温度将上升，这最终会导致热源温度过高。
- 散热器能够以下列三种方式释放能量：传导（从一个固体传导到另一个固体）、对流（热量从一个固体转移到一种流体，对于大多数LED应用来说这种流体是空气）或者辐射（热量从两个具有不同表面温度的物体通过电磁波方式传输）。

- 散热器通常有三种：平板式散热器、印模压铸翼式散热器和冲压翼式散热器。尽管铜应用于平板式散热器时性能出色，但是从成本角度考虑，用于制造散热片的材料通常是铝。
- 散热器热辐射是表面抛光度的一项功能，尤其是在散热器温度较高时。涂漆的表面比光亮但没有着漆的表面拥有更好的热辐射性能。效果最显著的是平板式散热器，这种散热器有大约三分之一的热量都通过辐射移除。所用的漆色相对来说并不重要。与同样规格的表面粗糙且涂黑色漆的散热器相比,涂白漆且表面光滑的平板式散热器的热阻只高出 30%。对于翼式散热器，涂漆就不那么有效了，这是因为从大多数翼片所辐射出来的热能最终会落在临近的翼片上，尽管如此，涂漆仍然有其价值。阳极氧化和蚀刻将会降低热阻。

- 在选择一个散热器时，设计者应当考虑一系列因素：
- 1．表面积 热传输只会发生在散热器的表面。所以，散热器在设计时应当拥有相对比较大的表面积。使用许多优质翼片或增加散热片尺寸规格，都能够达到这个目的。
- 2．空气动力学特性 散热器的设计需要要能使空气很容易且很快速地流通。有许多个相互间距小的优质散热翼片的散热器,可能不能使空气气流很好地流通。必须在高表面积（许多个相互间距小的翼片）和良好空气动力学特性间进行权衡。
- 3．在散热器内部的热传输：如果热量不能到达它们，那么这些冷却翼片就是无效的。散热器设计应当使其允许足够的热量从热源传输到翼片。比较厚一点的翼片具有更好的热传导性；所以必须要在在较大表面积（多个薄翼片）和良好热传输性（更厚的翼片）间实现平衡。所使用的材料对于散热器内部的热传输有着显著的影响。

- 4．接触面积的平整性：和LED或MCPCB相接触的散热器部分必须绝对平整。平整的接触面允许使用一层更薄的热敏化合物层，它能够减少散热器和LED源间的热阻。
- 5．安装方法：为了实现更好的热传输，散热器和热源间的压力必须比较高。散热器夹在设计时要考虑能够提供高压，同时很容易安装。通常带螺钉或弹簧的散热器固定架要比一般的夹子要更好。当不能使用夹子或螺钉时，只能使用热传导膏体或胶带。

- 散热器热阻值取决于多项不能提前确定的参数。这些参数包括（但不仅限于）LED在散热器上的位置、空气能够畅通无阻地流动的程度、附近元件的屏蔽效果和固定装置内其他元件的散热情况。建议在最恶劣的工作环境下核查灯具中的重要温度项，并计算出LED管芯的温度。所选择的测温点应当和LED背部尽可能地接近。

裸露式灯具散热器

裸露式灯具散热器

裸露式灯具散热器

将散热器装配在灯泡之内

将散热器装配在灯泡之内

- 相对于一般的开关电源，LED驱动电源工作在高温状态，应按高温工作状态的开关电源设计，因此散热要更加有效，以降低发热元件的工作温度在安全范围内。这样，散热器的体积将会明显大于常规开关电源中散热器的体积。
- 在设计时为了简化结构，可以将LED驱动电路与LED共用散热器。
- 如果允许的话，可以将LED驱动电路与LED分离，这样可以将驱动电路的散热更容易。

- 让我们继续努力！