

四代线性高压 LED 驱动方案及其发展趋势

中国半导体照明/LED 产业与联盟 李明峰 张占松

摘要：文章对比传统开关电源驱动 LED，分析无高频开关电源的线性高压 LED 系统的优缺点。针对目前市场上大量涌现的线性高压驱动芯片，描述了各种类型方案及其发展趋势。针对未来高压 LED 关键技术和市场前景做了详细分析论述。

关键词：LED 恒流控制 线性高压恒流源驱动集成电路 HV LEDs 模组

The Trend of High Voltage Linear LED Driving Solution

China Solid State Lighting Alliance Li Mingfeng Zhang Zhansong

Abstract: This paper presents advantages and disadvantages of high voltage linear LED driving system compare with traditional switching power driving system. The variety of linear HV LED driving solutions are analyzed and divided into 4 generations. The future key technical and cost factors that may influence the development of HV LED market are listed and analyzed in details.

Keyword: LED Constant Current Control / Linear HV LED Driving IC

一. 高压 LED

“高压 LED”，一种是 LED 生产厂家提供串联好的小功率 LED，如图 1 左图所示，它只是集成 LED 的一种，而右图所示的集成 LED 和前者的主要区别是，前者是全部串联，后者是串并联。集成 LED 的特点是在大晶片上采用开槽的方法，将其切割成若干小 LED，然后用绝缘层把这些沟槽填平，按照串并联要求铺设连接各个 LED 的导线。

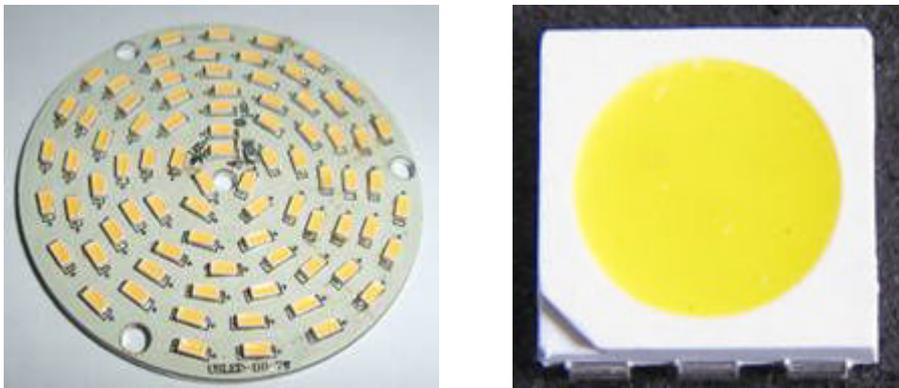


图 1 高压 LED

无论哪种“高压 LED”，本文所讨论的线性高压 LED 驱动方案，是较小电流(理论小于 100mA)，较高电压的 LED 驱动方案。

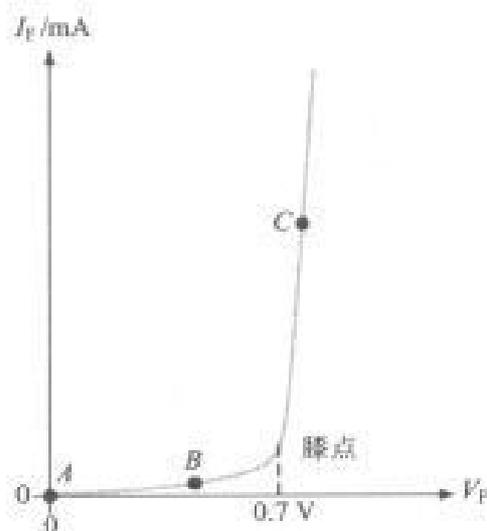


图 2 LED 负载特性

LED 的负载特性如图 2 所示，根据 LED 的负载特性，需要有一种可控恒流源来控制。经过整流的工频交流电电压，如果将此电压直接加到输出 LED 上面，这样的问题是无法实现恒流，即整个工频周期内通过 LED 电流不恒定。一. 无法实现亮度的控制。二. LED 灯珠寿命大大缩短。

而高频开关电源，做 CC(恒流)控制是一种常见的办法。但性能提高的同时，成本大大提高。

在 LED 灯珠负载里串接有源或无源器件，使线路产生“恒流—变压”效果，这样在 LED 负载通过的就是恒定电流，而外接线路承受了变化的电压。这就是类似 LDO (Low Dropout Regulator 低压差线性稳压器) 的工作原理。下面详细介绍这种实现恒流的驱动方式及其发展趋势。

相比与高频开关电源，线性高压方案的优点主要有：一.省去了输入电解电容、输出电容，是一种无电解电容的线路。电解电容寿命是电源寿命的瓶颈，省去了电解电容，驱动电源寿命就延长了。二. 电路工作在工频线性模式，不是工作在高频模式，省去了高频电感，同时没有EMI的问题，省去了EMC电路。三，省去了高频电感等外围元件，进一步降低成本。

二. 四代 HV LED 驱动方法

线性高压 LED 驱动方案发展到今天，已经经历了四代。

2.1 第一代 阻容控制方法

阻容降压工作原理是利用电容在一定的交流信号频率下产生的容抗来限制最大工作电流，电容降压实际上是利用容抗限流，而电容器实际上起到一个限制电流和动态分配电容器和负载两端电压的角色。如图 3 所示，由于整流管的导通电阻只有几欧姆，稳压管 VS 的动态电阻为 10 欧姆左右，限流电阻 R1 及负载电阻 R_L 一般为 100~200，而滤波电容一般为 100uF~1000uF，其容抗非常小，可以忽略。若用 R 代表除 C1 以外所有元器件的等效电阻，可以画出图 3 下图的交流等效电路。同时满足了 $X_{C1} > R$ 的条件，所以可以画出电压向量由于 R

甚小于 X_{C1} , R 上的压降 V_R 也远小于 $C1$ 上的压降, 所以 V_{C1} 与电源电压 V 近似相等, 即 $V_{C1}=V$ 。

根据电工原理可知: 串联电容的容抗为 $\frac{1}{2\pi fC}$, 以 $1\mu\text{F}$ 、 50Hz 交流电为例, 其容抗 $X_C=3185$

欧姆, 整流后的直流电流平均值 I_d 与交流电平均值 I 的关系为 $I_d=\frac{V}{Z_c}$ 。

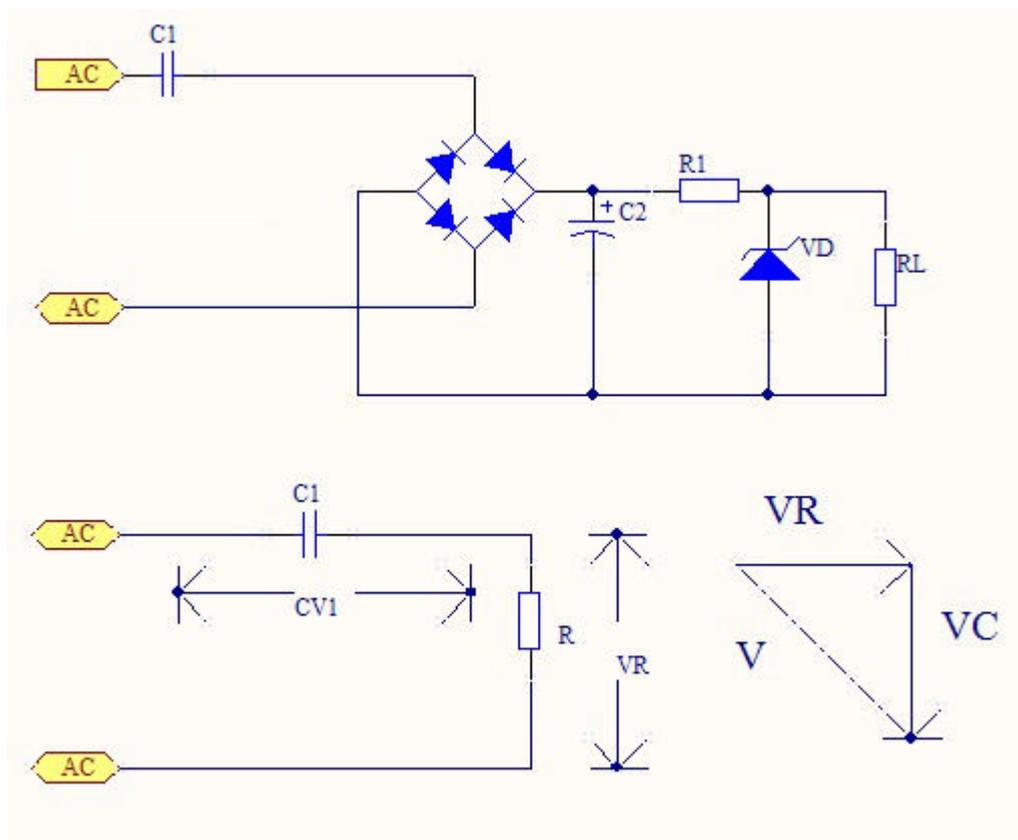


图 3 阻容降压驱动高压 LED 示意

阻容降压线路极简, 主要优点是低成本。缺点如下: 1. 恒流不准, 输入电压波动时, 电流随之波动。2. PF 值低, 从输入端看, 负载呈容性。3. 电容耐受高压, 选型较困难, 寿命较短。

2.2 第二代 单开关线性控制方法

恒流二极管(CRD, Current Regulative Diode)、恒流三极管(CCT, Constant Current Transistor)以及MOSFET(压控恒流源), 按照控制方式来说, 也是单开关控制方法。恒流二极管不同于普通的二极管, 它的负载曲线有一段较长的“恒流—变压”区, 类似三极管的可变电阻区, 如图4所示:

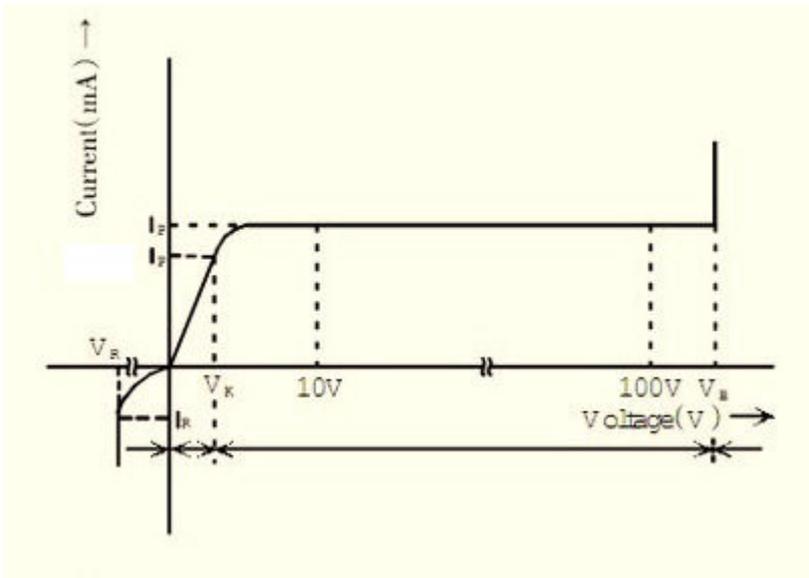


图4 恒流二极管I-V曲线

恒流三极管比恒流二极管多一个控制管脚,特点是输出的恒流可以利用调整端加外部元器件进行调整,较适合做LED调光电路。另外一个特点是,若不使用调整电流时,它和CRD的性能及使用完全相同,工作曲线如下:

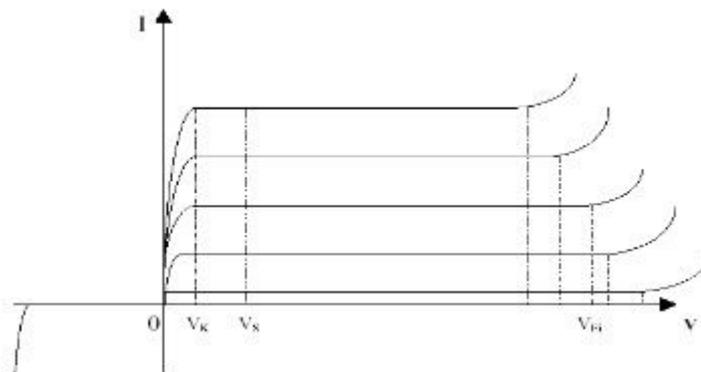


图5 恒流三极管I-V曲线

MOSFET和恒流三极管的区别是:前者是压控电流源,后者是电流控制电流源。

LED灯珠负载中串接单个MOSFET,其工作在可变电阻区,检测输入交流电压幅值,按比例控制MOSFET门极,从而控制MOSFET漏极到源极压降,这样使多个串联LED灯珠的压降保持恒定,就保证了在一个半波导通的周期内LED的恒流。比较典型的是占空比半导体公司的高压工艺芯片DU1501,单芯片内集成控制器和高压MOSFET,是第二代单开关控制的经典简化方案。

相比与第一代阻容降压方式,以上控制方式的优点是:一. LED灯珠电流恒定,灯珠寿命增长。二. LED灯珠电流可控,亮度可控。

这样的线路非常简单,但缺点也很明显。如图2所示,每颗LED灯珠两端必须有足够的正向压降才能够导通,也就是说,多个LED串联的高压LED,必须有足够的正向压降才会导通。以60个LED灯珠串联为例,正常工作大约总压降是180V,而使其导通需要

$V_F=60*2.5V=150V$ 的压降。这就意味着，当整流以后的半波压降低于150V时，LED灯珠串是不亮的。整个线路“暗灯时间”（后文统一称为死区）较长，按工频倍频周期（100Hz或120Hz）交叠出现。

人眼的重要特性是视觉惰性，即光一旦在视网膜成像，视觉对此光像的感觉会维持一个有限时间值，这种生理现象叫做视觉暂留性。对中等亮度光刺激，视觉暂留时间约为0.05至0.2秒，这就是为什么50Hz电脑屏幕刷新频率人眼无法感到闪烁而相机可以捕捉到。所以，工频倍频也就是100Hz~120Hz的闪烁人眼是无法感觉到的。但长期、剧烈的闪烁依然可能危害到健康。所以线性高压驱动继续发展的目标，是要减少乃至消除这种闪烁。第三代分段式开关线性控制方法应运而生。

2.3 第三代分段式开关线性控制方法

针对第一代单开关控制的缺点，发展出了第三代分段式控制方法。这种控制方法原理是一个控制芯片检测输入交流电压，来给几个串接在LED负载的MOSFET提供门极信号，根据输入交流电压的高低，分段的开通LED负载。

还是以60串为例子，将60串分成3个20串的组合，检测交流输入电压值，分3段开通，每段开通20串。这就意味着，当输入交流电大于 $20*2.5V=50V$ 时，LED灯珠串就开始导通。死区时间大大减少。同时，分段开通使得每个MOSFET承担的线性区压降降低，从而使效率升高。

相比与第一代、第二代控制方法，分段式控制使PF值有了提高，电路整体效率也有了提高。外置MOSFET，在配置不同的负载时电流选择比较灵活，通过接不同Rdson的MOSFET，来对应不同的负载。但外置MOSFET封装成本将是制约成本因素，灵活配置不同负载可以通过后文第四代优化分段的并联方式完成。

从输入交流电网看进去，这种分段开通的线路，电流不但相位跟随正弦电压波形，形状也相近，可以认为是一种接近纯阻性的负载，所以：1. PF值很高。2. 可控硅调光兼容性好（因为传统的可控硅调光，是针对纯阻性负载的白炽灯设计的，PF值很高意味着负载呈纯阻性，可控硅调光兼容性必然很好）。3. 相比第二代，效率有提高。

第三代分段式开关线性控制方法，在第二代的基础上，迈出了一大步，但还存在以下问题：1. 死区边缘的高尖峰。结果是影响PF值并引入高次谐波。2. 外置MOSFET，多个MOSFET的封装成本制约了整体成本。3. 没有足够的智能化保护和附加功能。

2.4 第四代优化分段式开关线性控制方法

线性高压技术继续发展，进入第四代优化分段式控制阶段。第四代分段式开关线性控制，是在第三代的基础上发展起来的。市场对第四代控制电路提出了以下具体要求：

1. 效率 >0.9
2. PF >0.95
3. 90%以上可控硅调光器兼容性
4. 开关调光功能
5. 内置线性温度补偿和过温保护
6. 更低系统成本

占空比半导体公司针对第四代分段式开关线性控制要求，推出了四款产品：

DU1703 三段线性LED驱动芯片

DU1733 三段线性可开关调光LED驱动芯片

DU1804 四段线性LED驱动芯片

DU1834 四段线性可开关调光LED驱动芯片

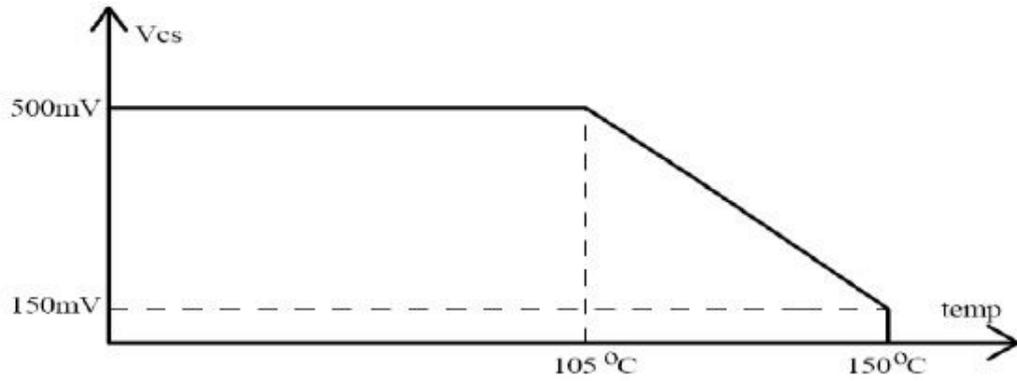


图6 第四代线性高压驱动代表DU1703温度补偿

图6显示的是DU1703内置的电流温度补偿功能。当芯片结温上升到105度，输出电流参考从100%下降到30%，这不是简单的温度保护，而是一种补偿式温度保护功能。在实际使用中会大大提高电路的可靠性。

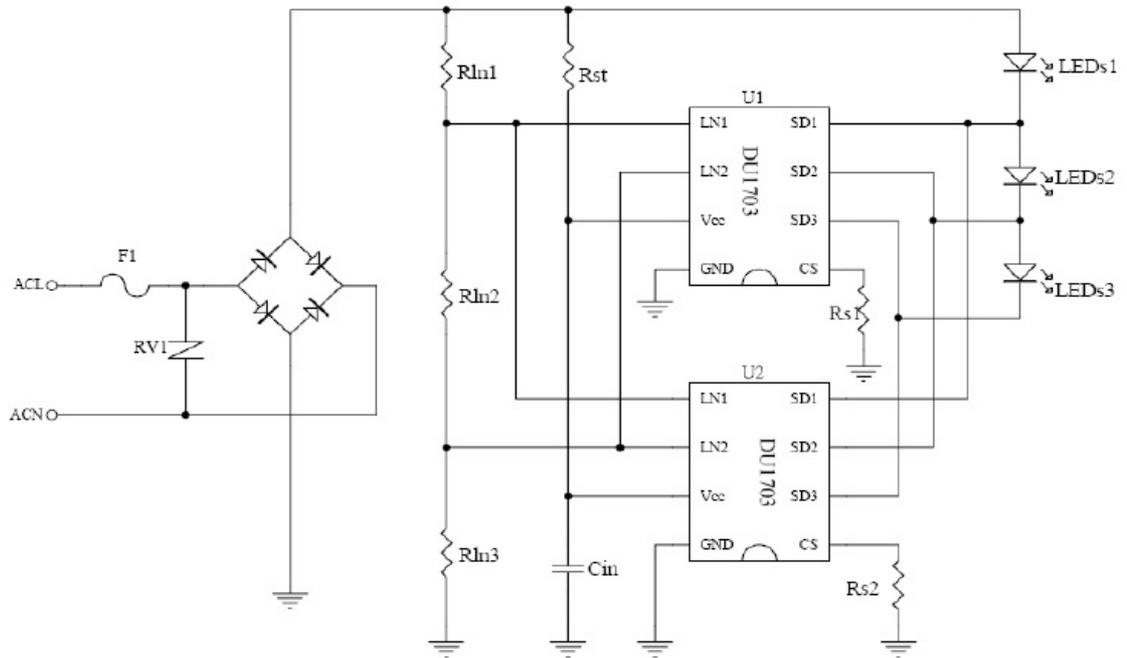


图7 DU1703增大电流，并联应用

针对较大电流的应用，可以将DU1703做成如图7的并联。

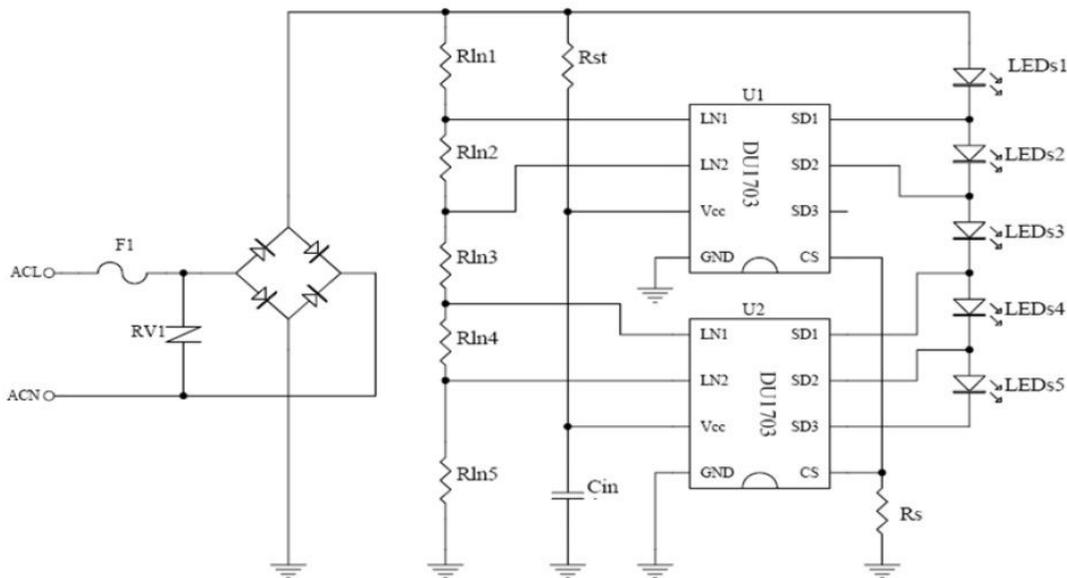


图8 DU1703串联应用

DU1703（三段式）可以按照图8的接法做串联控制，若要做更精细的控制，可以和DU1804（四段式）组合，分4段、5段、6段，甚至更多。更多的分段，意味着更高的PF和更高的效率，当然，成本也相应增加。

另外，开关式调光，是第四代线性高压技术的一种智能化的要求。要求利用普通墙壁开关，在较快时间里动作1次、2次、3次时，分别有30%、70%、100%的亮度，以上DU1733、DU1834集成的专利技术，实现了此智能化要求。

三. 市场前景展望

随着 LED 市场的爆发，已经开始进入红海、竞争异常激烈。但完全牺牲性能，盲目追求恶性低价竞争，对于整个行业长期健康发展极为不利。目前线性高压 LED 方案，作为一种降成本方案，必然有它的生存、发展的空间。不管哪家芯片厂商提供的方案，客观而论，原理上依然有一些问题，需要应对，例如：1. 无可避免的死区时间，带来的工频倍频闪，是否对人眼有伤害？ 2. 高压 LED 串分段开通，降低了 LED 灯珠使用率。 3. 电网大幅剧烈波动时，效率依然无法保证。

某些笔者为了推广产品，盲目掩盖其缺点，极力夸大优点，是一种不严谨的态度。有公司提出“去电源化”的概念，认为整灯失效，80%以上都是因为电源故障，因此电源是 LED 灯的瓶颈。笔者认为，LED 光源，作为一种通过电流控制亮度的负载，具有很强的可控制性，高频开关电源驱动 LED，不但不会退出历史舞台，反而会因为其极方便的恒流可控性而深入发展，针对 LED 色温、亮度控制等要求，向智能化方向发展。

同时，“去电源”的线性高压 LED 方案，由于其线路及其简单，并且性能也逐渐提升，成本、可靠性的优势使其也会有很大的发展。日后中国的 LED 市场会有明显的层次化划分，针对消费者的需要，高、中、低端都会有大量相应产品涌现。无可否认，目前的线性高压 LED 驱动方案还不是终极方案，但发展到第四代，相比与前三代，已经有了长足进步。高压 LED 的发展，主要取决与高压 LED 灯珠大量生产后，生产制造成本的大幅下降。一切的答案等待市场来揭晓！

参考文献:

- [1] 高压 LED 的优缺点 中国照明网 茅于海
- [2] 恒流三极管 2THLxxx 系列 《电子世界》 2011 年 03 期 方佩敏

定稿日期: 2012-09-23

作者简介:

李明峰, 2003 年浙江大学电力电子专业硕士毕业。曾就职于艾默生网络能源、美国 IR 公司全球技术支持中心、BCD 半导体。在 IEEE 及国内核心电力电子期刊发表数十篇技术论文, 近年来专注于 LED 照明市场趋势研究及行业优势资源整合。

张占松: 广东省电源行业协会/学会理事长。1960 年毕业于华中理工大学工业企业电气化与自动化专业。先后工作于中国科学院、科技学院工学院, 现工作于广东工业大学。编著有《高频开关稳压电源》、《开关电源的原理与设计》、《电气技师实用手册》、《网络监控系统原理与应用》以及《电路和系统的仿真实践》等著作。

应用方案下载
www.duty-cycle.com

TRUE C²

真正的全闭环恒流驱动 IC

AC/DC LED 照明恒流驱动芯片

非隔离降压型全闭环恒流 LED 驱动芯片 · DU8608

非隔离降压型集成型小功率 LED 恒流控制芯片 · DU8623

非隔离降压型集成型中功率 LED 恒流控制芯片 · DU8633

DC/DC LED 照明恒流驱动芯片

降压恒流 LED 驱动芯片 · DU2702

AC/DC 线性高压 LED 照明
恒流驱动芯片

线性单通道恒流 LED 驱动芯片 · DU1501

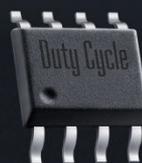
线性三通道恒流 LED 驱动芯片 · DU1703

线性三通道可开关调光恒流 LED 驱动芯片 · DU1733

线性四通道恒流 LED 驱动芯片 · DU1804

线性四通道可开关调光恒流 LED 驱动芯片 · DU1834

占空比 LED 照明驱动专家



上海总部

地址：上海市浦东南路 500 号国家开发银行大厦 15 楼 邮编：200120

电话：86-21-68889362 传真：86-21-68889359

电子邮箱：sales@duty-cycle.com