

## 85~265V AC 输入 LED 恒流驱动电路

### 产品概述

AX2028 是一款驱动 LED 的恒流控制芯片，系统应用电压范围从 12 V 到 450 V，占空比 0~100%。支持交流 85~265 V 输入，主要应用于非隔离的 LED 驱动系统。AX2028 优化的恒流控制方法，使得 LED 电流在交流 85~265 V 范围内变化小于±5%。AX2028 优化的系统结构，使得在系统 18W 的 LED 日光灯方案中，交流 85~265V 范围内系统效率高于 90%。在交流 85~265 V 范围内，AX 2028 可以驱动 3~36W 的 LED 阵列，广泛应用于 E14 / E27 / PAR30 / PAR38 / GU10 等灯杯和 LED 日光灯。

AX2028 具有多重 LED 保护功能包括 LED 开路保护、LED 短路保护、过温保护。在系统故障出现的时候，电源系统进入保护状态，直到故障解除，系统又重新进入正常工作模式。

### 主要特点

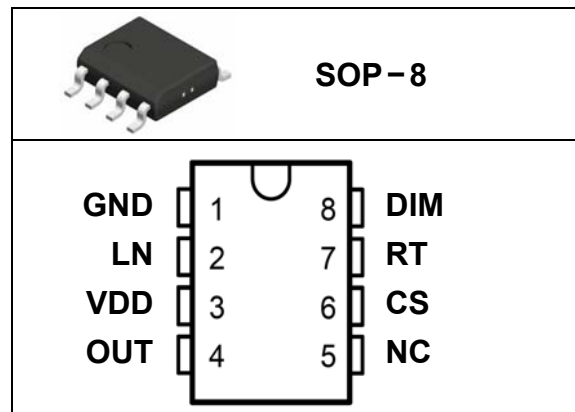
- 系统应用电压范围从 12 V 到 450 V 直流电压输入，支持交流 85~265 V 输入。
- 占空比范围 0~100%。
- ±5% 的输出电路精度。
- 高达 93% 的系统效率。
- LED 短路保护、LED 开路保护。

- 过温保护。
- 复用 DIM 引脚进行 LED 模拟调光和 PWM 调光。
- 输出可调的恒流控制方法。

### 典型应用

- LED 日光灯
- E14 / PAR30 / PAR38 / GU10 / E27 LED 射灯
- LED 投射灯
- LED 信号灯
- LED 景观灯

### 引出端排列



## 引出端功能

序号	符号	功能描述
1	GND	信号和功率地
2	LN	峰值阈值的线电压补偿, 采用 LN 和 VDD 之间的电压
3	VDD	电源输入端, 必须就近接旁路电容
4	OUT	内部功率开关的漏端, 外部功率开关的源端
5	NC	悬空
6	CS	电流采用端, 采样电阻在 CS 和 GND 之间
7	RT	设定芯片工作关断时间
8	DIM	开关使能、模拟和 PWM 调光端

## 最大额定值

符号	名称	极限值	单位
$V_{DD}$	电源电压	-0.3 ~ 18	V
LN	线电压补偿	-0.3 ~ 18	V
OUT	内部功率开关的漏端	-0.3 ~ 24	V
CS	电流采用端	-0.3 ~ 6	V
DIM	开关使能、模拟和 PWM 调光端	-0.3 ~ 6	V
$R_T$	设定芯片工作关断时间	-0.3 ~ 6	V
$I_{OUT}$	功率开关输出电流	0.8	A
$P_{D-MAX}$	功耗 (注)	0.5	W
$P_{TR}$	热阻, SOP8( $\theta_{JA}$ )	150	°C/W
$T_J$	工作结温范围	-25 ~ 85	°C
$T_{stg}$	储存温度范围	-55 ~ 150	°C
	ESD(人体模式, 100 pF 电容通过 1.5 K $\Omega$ 的电阻放电)	3000	V

注: 温度升高最大功耗一定会减小, 这也是由于  $T_{JMAX}$ ,  $\theta_{JA}$  和环境温度  $T_A$  所决定的, 最大允许功耗为  $P_{D-MAX} = (T_{JMAX} - T_A) / \theta_{JA}$  或是极限范围给出的数字中比较低的那个值。

## 推荐工作范围

符号	名称	范围	单位
$V_{DD}$	电源电压	0 ~ 16	V
$T_{OPT}$	工作温度	-25 ~ 85	°C

## 电气参数

(除特殊注明外,  $V_{DD} = 12\text{ V}$ ,  $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ )

符号	参数	条件	最小	典型	最大	单位
$V_{DD}$	电源电压		11		16	V
$V_{UVLO}$	开启电压	$V_{DD}$ 上升		8.5	10	V
$I_{ST}$	开启电流	开启前 $V_{DD} = 8\text{ V}$		30	100	$\mu\text{A}$
$V_{UVLO, HYS}$	UVLO 迟滞			2.5		V
<b>电流灵敏</b>						
$V_{CS-TH}$	CS 端的触发电压	$\Delta V_{LN} = 0$	240	250	260	mV
$T_{LEB}$	前沿消隐时间	$V_{CS} = V_{CS-TH} + 50\text{ mV}$		500		ns
$T_{DELAY}$	到输出端的延时	$V_{CS} = V_{CS-TH} + 50\text{ mV}$		600		ns
$\Delta V_{CS-TH} @ \Delta V_{LN}$	CS 端触发电压变化	$\Delta V_{LN} = 1\text{ V}$		-30		mV
<b>关断时间</b>						
$T_{OFF}$	固定关断时间	$R_T = 270\text{ k}\Omega$	9.7	10.8	12	$\mu\text{s}$
$V_{RT}$	RT 端电压		1.1	1.25	1.4	V
$I_{RT}$	RT 端电流	$R_T = 270\text{ k}\Omega$		5		$\mu\text{A}$
<b>工作电流</b>						
$I_{OFF}$	关断电流	$V_{DIM} < 0.4\text{ V}$		90		$\mu\text{A}$
$I_{OP}$	工作电流	$f_{OSC} = 50\text{ kHz}$		200		$\mu\text{A}$
<b>DIM 输入</b>						
$V_{DIM}$	DIM 端电压	DIM floating		5.2		V
$V_{DIM_H}$	DIM 输入高电位		2.8			V
$V_{DIM_L}$	DIM 输入低电位				0.8	V
$V_{DIM\_DC}$	DIM 控制亮度的直流电位范围		0.8		2.8	V
$R_{DIM}$	DIM 内部上拉电阻			150		k $\Omega$
$I_{DIM\_L}$	DIM 输出电流	$V_{DIM} = 0$		33		$\mu\text{A}$
<b>输出</b>						
$R_{SW}$	SW 端的 $R_{ON}$	$V_{DD} = 12\text{ V}$		0.8		$\Omega$
$I_{SWmean}$	连续电流				700	mA
$I_{LEAK}$	SW 漏电流			0.5	5	$\mu\text{A}$
<b>温度保护</b>						
$T_{SD}$	关断温度			150		$^\circ\text{C}$
$T_{SD-HYS}$	迟滞温度			20		$^\circ\text{C}$

## 功能说明

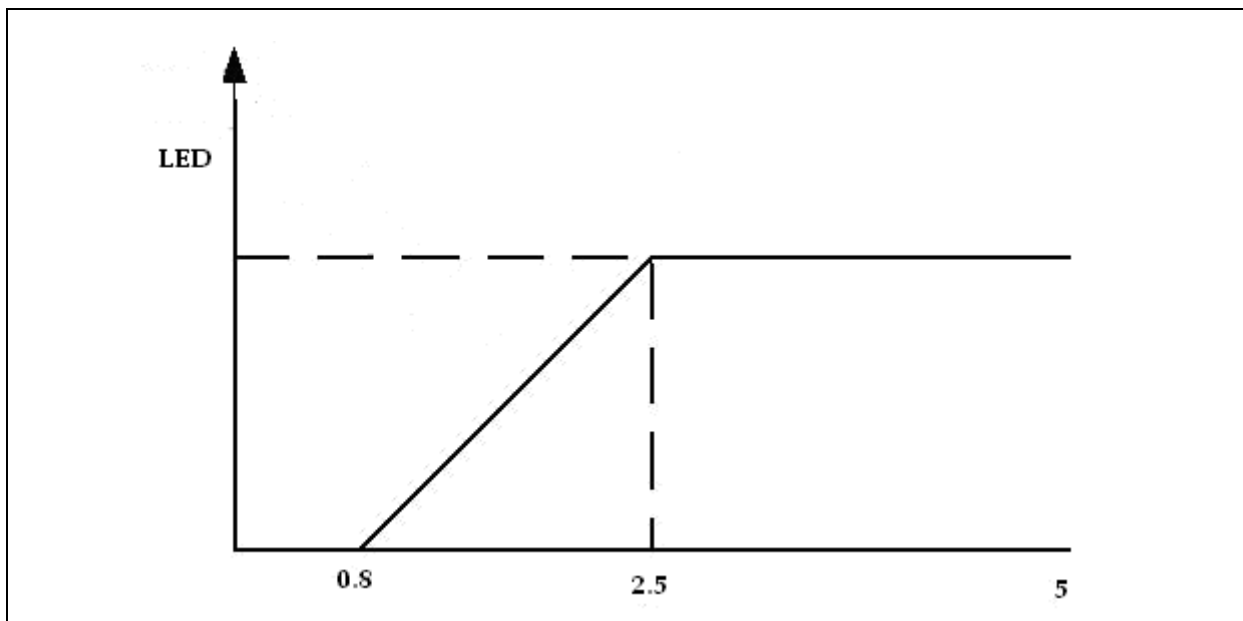
AX 2028 是专门驱动 LED 的恒流控制芯片。AX 2028 工作在连续电流模式的降压系统中，芯片通过控制 LED 峰值电流和纹波电流来实现 LED 平均电流的恒定。AX 2028 仅需使用非常少的外部元器件就可实现恒流控制、模拟调光和 PWM 调光等功能。

连接在 RT 的电阻设定 MOSFET 的关断时间。每个周期开始，MOSFET 打开直到电感电流上升到峰值  $I_P = V_{REF} / R_{CS}$  (mA)。这时 MOSFET 关断，关断时间由  $T_{OFF} = 4 \times 10^{-5} \times R_T$  (μs) 决定。过了设定的关断时间，MOSFET 又重新打开，这样周而复始的工作。关断时间控制了纹波电流  $I_R = \frac{10^3 \times T_{OFF} \times V_{LED}}{L}$  (mA)，LED 平均电流  $I_{LED} = I_P - 0.5 \times I_R$  (mA)，对于串联固定 LED 个数的系统不随输入电压变化。实际上对于固定系统来说，由于系统延时，实际的峰值电流随着输入电压的升高而升高，为了补偿这个峰值电流的变化，AX 2028 专门有一个管脚 LN，用来检测输入电压，随着输入电压升高，降低基准电压  $V_{REF}$  的值，LN 和 VDD 的差值 1 V，基准电压  $V_{REF}$  降低 30 mV。这样就能保证系统在很宽的电压范围内恒流。

为了解决 LED 正向压降不同带来的 LED 纹波电流的偏差，建议在满足电流能力的前提下增大电感值，这样可以减小 LED 纹波电流对平均电流的影响。

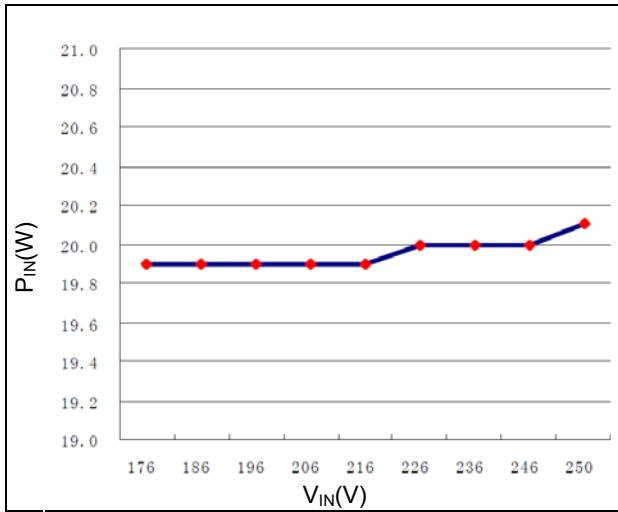
为了达到系统效率最高，AX 2028 采用独特的共栅（源极）驱动功率 MOSFET 的方法，使得芯片的工作电流非常低。同时把 MOSFET 开关损耗的电能通过馈电二极管给芯片供电，这样大大提高了系统的效率。

AX 2028 的管脚 DIM 可以接受模拟或 PWM 调光信号。模拟调光的特性曲线如下图所示：

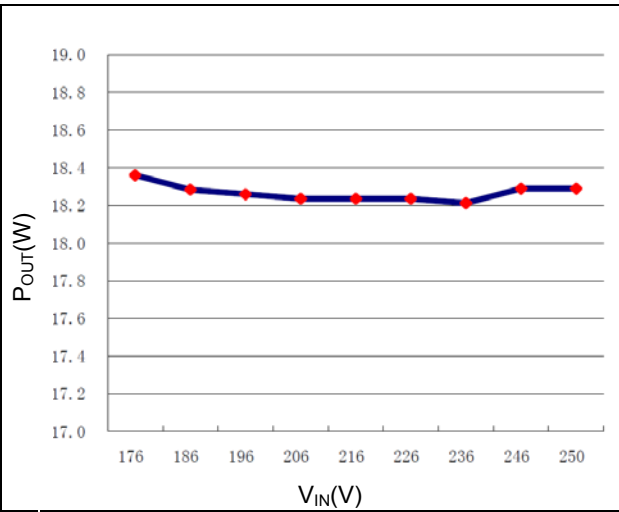


AX 2028 还有过温保护、输出 LED 短路保护和输出 LED 开路保护功能。非常适合对于系统效率要求很高的 LED 日光灯和投射灯等应用。

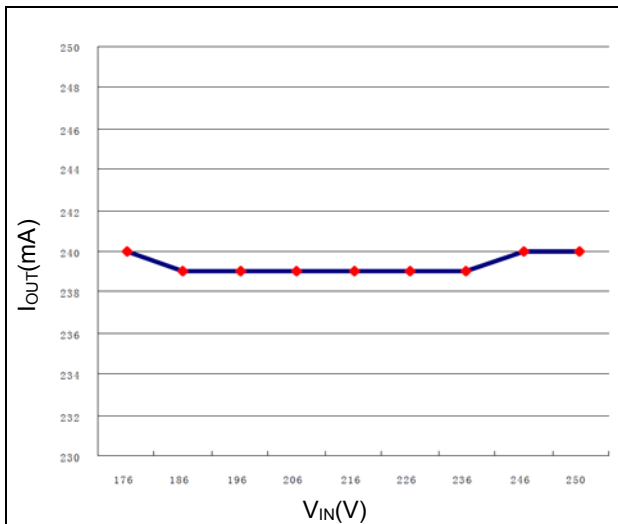
## 典型工作特性



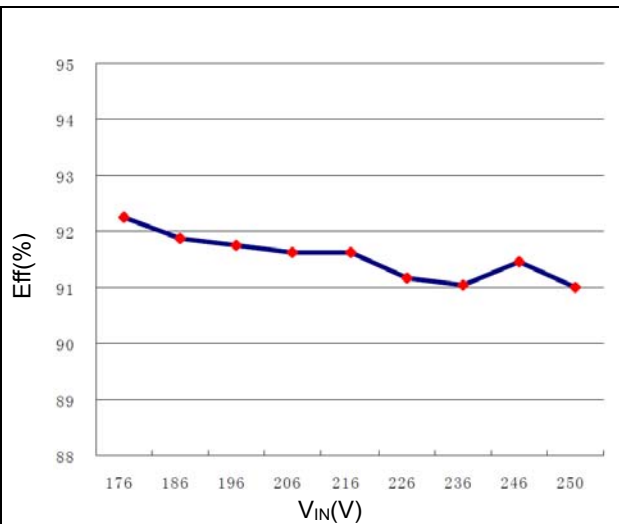
输入电压 vs 输入功率



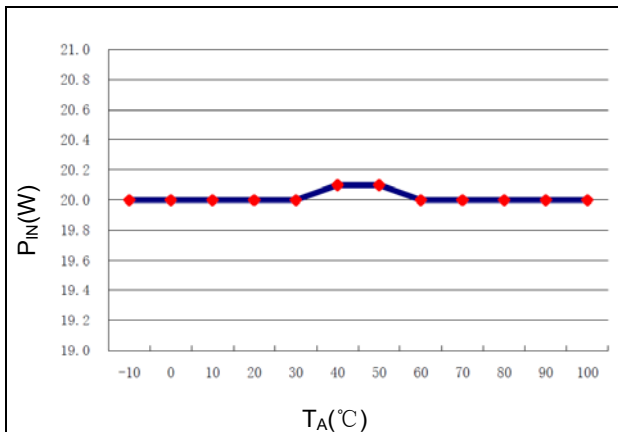
输入电压 vs 输出功率



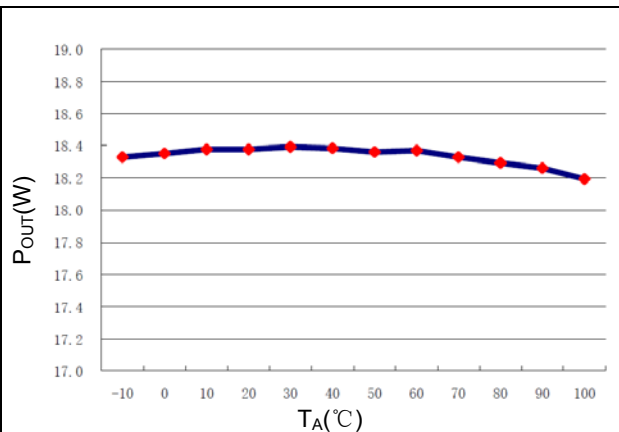
输入电压 vs 输出电流



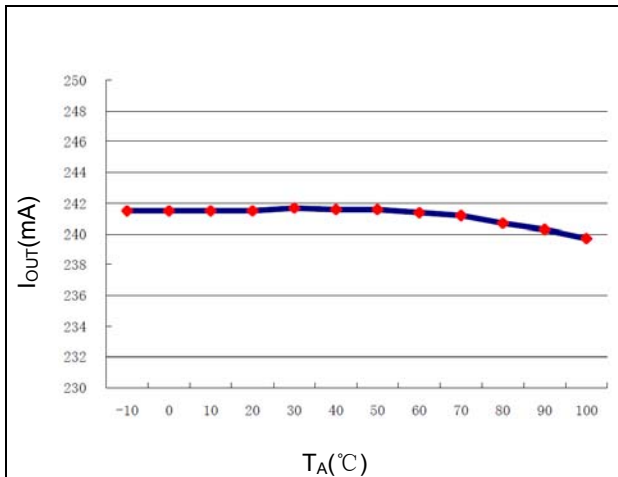
输入电压 vs 系统效率



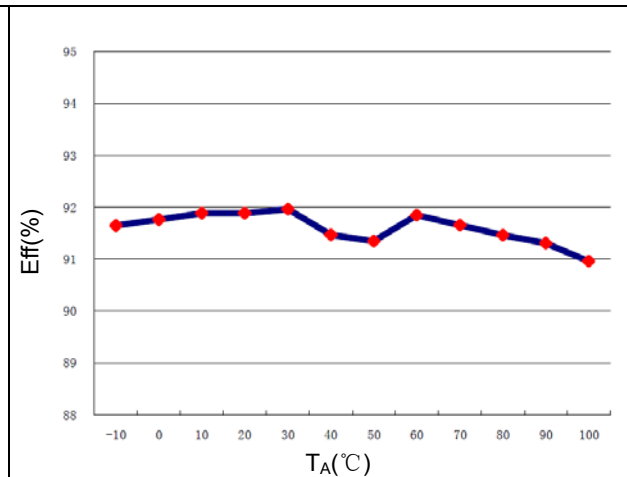
环境温度 vs 输入功率



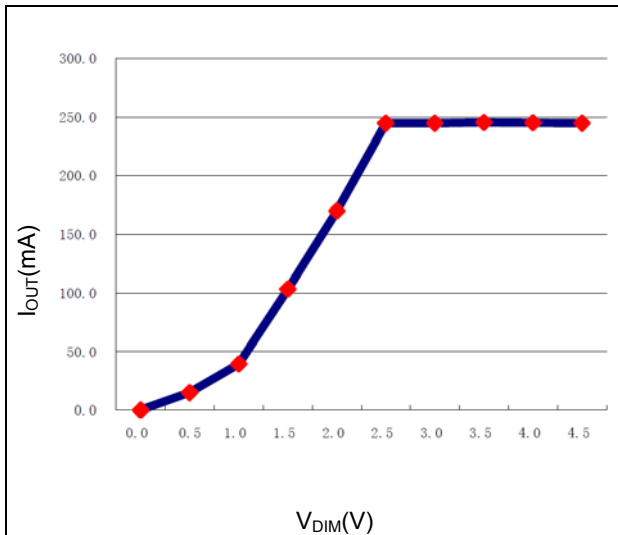
环境温度 vs 输出功率



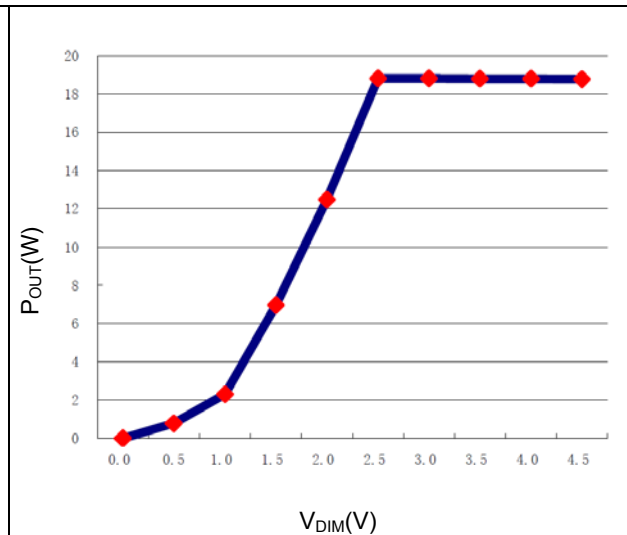
环境温度 vs 输出电流



环境温度 vs 系统效率



调光电压 (VDIM) vs 输出电流



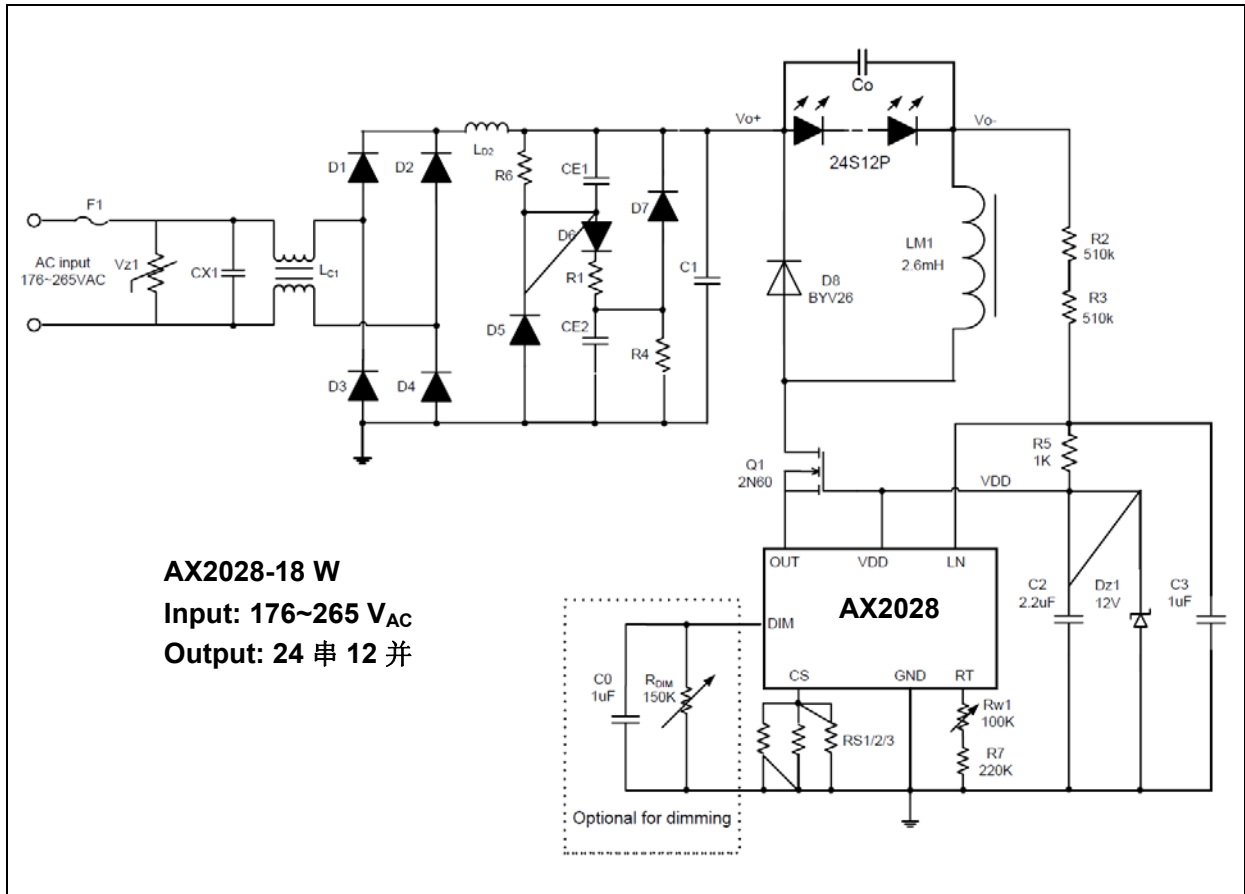
调光电压 (VDIM) vs 输出功率

## 应用示例

以下针对国内电网情况，输出为 18 W (24 串 12 并) 的应用为例，来说明 AX 2028 在 LED 驱动器中的设计方法和应用情况。

(转下页)

## 1 应用原理图



## 2 电源 SPEC.

- 输入电压:  $V_{IN} = 176 \sim 265 \text{ V}$
- 输入频率:  $F_{IN} = 50 \text{ Hz}$
- LED 电压:  $V_{LED} = 3.2 \text{ V}$
- LED 电流:  $I_{LED} = 20 \text{ mA}$
- 系统效率:  $\eta = 90 \%$
- 功率因数:  $PF = 0.9$
- 纹波系数:  $\Delta IL = 65 \%$

## 3 相关参数计算及设定

- 输出电压:  $V_{OUT} = 24 \text{ s} \times 3.2 \text{ V} = 76.8 \text{ V}$
- 输出电流:  $I_{OUT} = 12 \text{ p} \times 20 \text{ Ma} = 240 \text{ mA}$
- 输出功率:  $P_{OUT} = 76.8 \times 240 = 18.4 \text{ W}$
- 电感峰值电流:  $I_{LPK} = 240 + (240 \times 65 \%) = 396 \text{ mA}$
- 电感纹波电流:  $I_{LRP} = 2 \times (396 - 240) = 312 \text{ mA}$
- 关断时间:  $T_{OFF} = 10.8 \mu\text{S}$

## 4 关键元件参数设计:

### 1) 保险管 Fuse

A) 据其应用的地区，选择满足相应认证的保险管。常见如下：

美洲地区：UL（美国），CSA（加拿大）；

欧洲地区：CE(欧洲)，VDE（德国），SEMKO（瑞典），IMQ（意大利）；

中国大陆：CCC

日本地区：PSE

B) 额定电流：

$$I_R = \frac{2 \times P_{O\_MAX}}{V_{IN\_MIN} \times PF \times \eta_{MIN}} = [20 / (176 \times 0.85 \times 90\%)] \times 2 = 297\text{mA}$$

实际应用的保险管电流须大于 297mA。

C)  $I^2 \cdot t$ ：

计算或测量出系统的浪涌电流。根据相应的电流波形计算出  $I^2 \cdot t$  的大小。然后可据额定电流大小和  $I^2 \cdot t$  从保险管生产商的产品目录中选出能满足要求的标号。

D) 这里选择：慢断 VDE 500mA 5.5mm 15mm

### 2) 滤波电容 CE1 CE2

A) 电容容量

为提高系统的 PF 值，这里采用了逐流电路---串联充电，并联放电。在设计中，需保证  $V_{BULK}$  电压在任何时段都大于输出电压  $V_{OUT}$ ，通常预留 25 % 的余量。通过推导，可知：

$$CE = \frac{I_O \times D_{MAX}}{\eta_{MIN} \times 6 \times f_{IN\_MIN} \times (0.707 \times V_{IN\_MIN} - 1.25 \times V_{O\_MAX})} = 38.9 \mu\text{F}$$

这里  $V_{O\_MAX}$  取  $24 \times 3.6 = 86.4\text{V}_{DC}$ ， $D_{MAX} = 0.8$ ， $V_{IN\_MIN}$  取  $176\text{V}_{AC}$ ，

$\eta_{MIN} = 90\%$ ， $f_{IN\_MIN} = 50\text{Hz}$

B) 电容耐压

因为逐流电路是串联充电，所以电容两端的最高电压为：

$$V_{CE1/2} = \frac{\sqrt{2}}{2} \times V_{IN\_MAX} = 0.5 \times 1.414 \times 265 = 187\text{V}$$

这里选用 200 V 耐压就够用了。

C) 由于是并联放电，所以 CE1，CE2 在这里选用两个  $22\mu\text{F}/200\text{V } 105^\circ\text{C}$  的电解电容。

### 3) 主电感 LB

A) 电感量

$$L_B = \frac{V_{OUT}}{I_{Lrp}} \times T_{OFF} = \frac{76.8 \times 10.8}{0.32} = 2.6\text{mH}$$



## B) 绕线线径

$$D = 1.13 \times \sqrt{I_{OUT} / J} \quad J: \text{为电流密度, 这里取 } 6$$

$$= 1.13 \times \sqrt{0.24 / 6} = 0.226 \text{ mm}$$

这里取: 0.23 mm

## C) 磁芯

由于工字电感的成本比较低, 所以使用比较普遍。但工字电感会有以下几个问题:

- 镍锌工字电感: 对于镍锌由于磁芯的种类太多, 初始磁导率从几十到一两千高斯。若没有非常严格的产品检测, 很难保证电感的性能。如果选用此类电感, 须对电感的磁芯指定具体磁芯厂家的具体型号。
- 锰锌工字电感: 对于锰锌, 其初始磁导率问题虽没有镍锌那么严重, 但有绝缘的问题。如果选用这类的电感, 磁芯要先涂一层绝缘层, 然后磁芯加一个绝缘底座。
- 磁路问题: 由于工字电感的磁路为开环状态, 所以其抗干扰问题会比较突出, 尤其是在金属材料作为灯管的应用中。所以我们建议使用 EE 型或环形的锰锌磁芯来制作电感。

这里使用 EE-13 为电感。在用 0.23 mm 绕 245Ts 的情况下, 其 Bm 值为 2445Gs

## 4) 开关管 QB

### A) 耐压

需大于最高输入电压时的峰值。

$$V_{DS} = \sqrt{2} \times V_{IN\_MAX} = 1.414 \times 265 = 374.71V$$

### B) 电流

开关管中的有效值为:

$$I_{S\_RMS} = 2 \times \frac{P_{O\_MAX}}{V_{O\_MIN} \times \eta_{MIN}} = 2 \times \frac{20.7}{0.9 \times 70} = 0.64A$$

考虑降额值 (选 25%)

$$I_{MOS} = 0.64 \times 1.25 = 0.8 \text{ A}$$

C) 为提高系统效率, 可选择电流更大些 (Rdson 小) 的 MosFET。

D) 这里选择 ST 公司的 STD2HNK60Z-1(IPAK 封装)

## 5) 继流二极管 DB

### A) 耐压

需大于最高输入电压时的峰值。

$$V_{DS} = \sqrt{2} \times V_{IN\_MAX} = 1.414 \times 265 = 374.71V$$

### B) 电流

开关管中的有效值为:

$$I_{D\_RMS} = 2 \times \frac{P_{O\_MAX}}{V_{O\_MIN} \times \eta_{MIN}} = 2 \times \frac{20.7}{0.9 \times 70} = 0.64A$$

考虑降额值（选 25%）

$$I_{DB} = 0.64 \times 1.25 = 0.8 \text{ A}$$

C) 由于 DB 工作于高频状态，尽量使用超快恢复二极管。

D) 这里选择 Onsemi 公司的 MUR160（DO-15 封装）。

## 6) 采样电阻 $R_{CS}$

A) 阻值

$$R_{CS} = \frac{V_{REF}}{I_{L\_PK}} = \frac{250}{396} = 0.63 \Omega$$

B) 额定功率

$$PR_{CS} = 0.25^2 / 0.63 = 0.099 \text{ W}$$

C) 这里选择 SMD\_0805\_1.91  $\Omega \pm 1\%$ \_3 并。

## 7) $T_{OFF}$ 时间设置电阻 $R_T$

$$R_T = T_{OFF} / (4 \times 10^{-5}) = 270 \text{ k}\Omega$$

这里选择 SMD\_0805\_270K  $\pm 1\%$

## 8) 启动及前馈补偿电阻 $R_{ST1-2}$ , $R_{LN}$

A) 对于启动

$$R_{ST} + R_{LN} = \frac{V_{IN\_MIN}}{I_{ST\_MAX}} = \frac{176}{100 \mu\text{A}} = 1760 \text{ k}\Omega$$

这里选择  $R_{ST1}$ ,  $R_{ST2}$  为 510 k $\Omega$ ,

B) 对于前馈补偿

对于内部补偿系数，选择  $k \approx 0.1\%$

$$R_{LN} = k \times R_{ST} = 1020 \times 0.1\% = 1.02 \text{ k}\Omega$$

这里  $R_{LN}$  选 1.0 k $\Omega$ 。

## 9) 调光脚

可以用进行模拟调光和 PWM 调光两种。

对于模拟调光，只需要外接一个 150 K 的电位器就可以实验 0 ~ 100 % 调光。

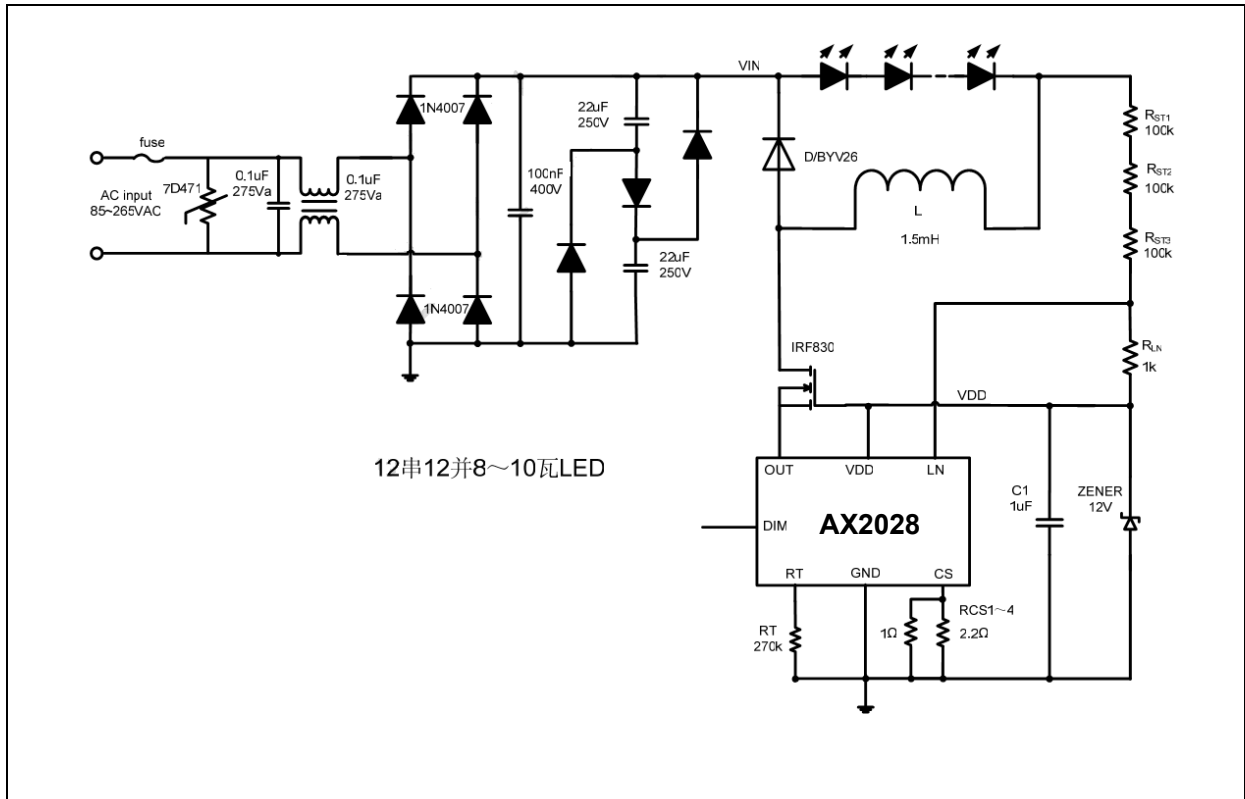
对于 PWM 调光，建议的调光频为 270 Hz。

在不用的情况，只要悬空即可。

## 5 附 LED 日光灯方案测试结果

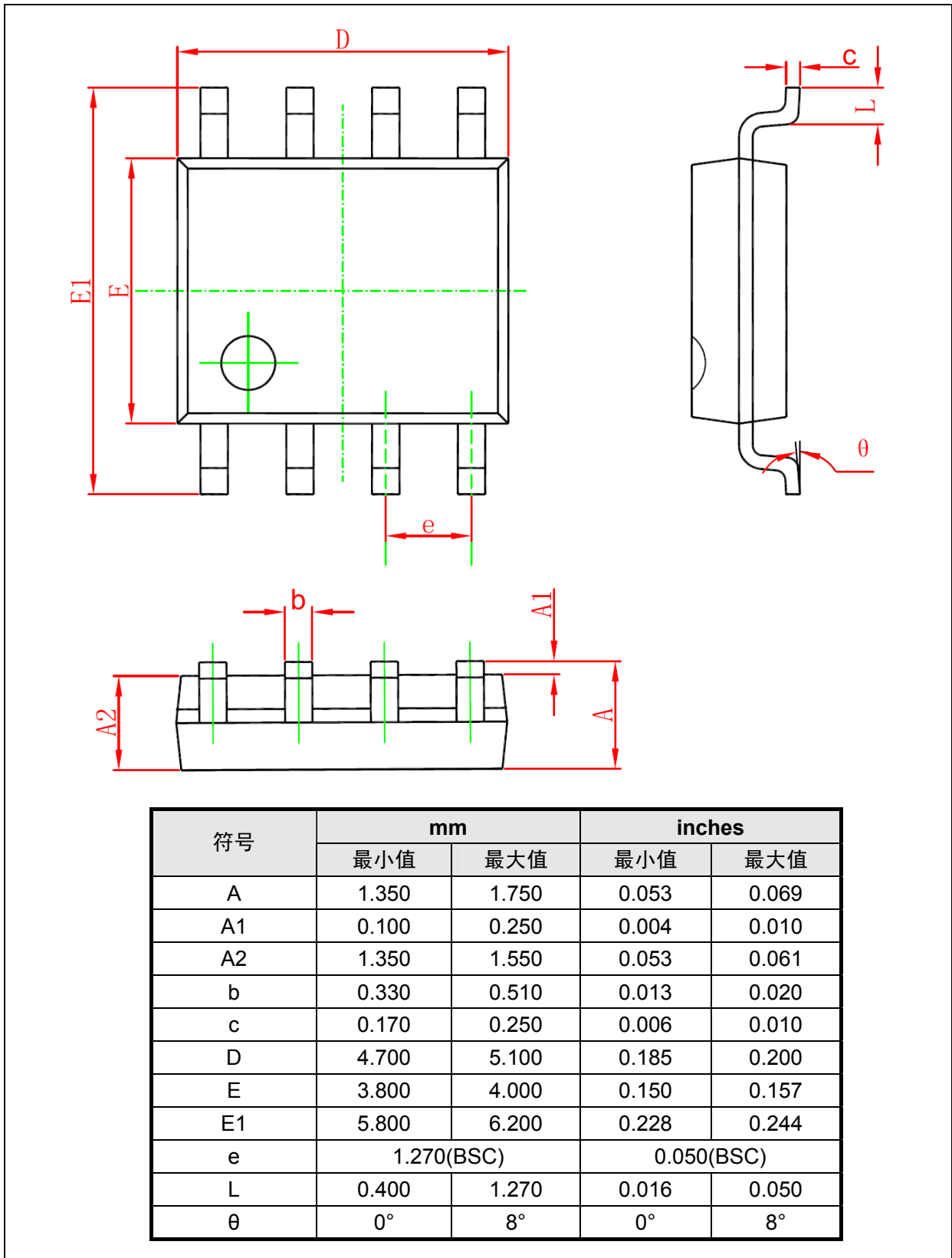
输入电压 (V <sub>AC</sub> )	输入电流 (mA)	输入功率 (W)	功率因数	输出电压 (V)	输出电流 (mA)	效率 (%)
应用方案一 (12 串 12 并, 输入 85 ~ 264 V <sub>AC</sub> )						
88	116	9.3	0.907	36	237.1	91.78 %
99	105	9.2	0.89	36	232.4	90.94 %
110	94	9.1	0.88	36	230.9	92.36 %
121	84	9	0.887	36	230	92 %
132	77	9	0.893	36	228.5	91.4 %
154	64	8.9	0.915	36	227.2	91.9 %
176	56	8.9	0.92	36	225.3	91.13 %
198	49	8.9	0.913	36	223.2	90.28 %
220	46	9.2	0.902	36	224.68	87.92 %
242	43	9.3	0.878	36	223.49	86.51 %
264	40	9.3	0.865	36	223	86.32 %
应用方案二 (24 串 6 并, 输入 176 ~ 264 V <sub>AC</sub> )						
176	65	9.6	0.85	70	126.6	92.31 %
198	56	9.5	0.865	70	124.5	91.74 %
220	50	9.5	0.875	70	124.5	91.74 %
242	45	9.7	0.887	70	124.5	89.85 %
264	40	9.7	0.9	70	124	89.48 %
应用方案三 (24 串 12 并, 输入 176 ~ 264 V <sub>AC</sub> )						
176	110	18	0.92	70	235.7	91.66 %
198	99	17.9	0.92	70	234.7	91.78 %
220	89	18.3	0.93	70	232.6	88.97 %
242	81	18.3	0.92	70	230.5	88.17 %
264	73	18.3	0.92	70	228.3	87.33 %

典型应用线路图



## 封装外形图和尺寸

### SOP8



感谢您使用本公司的产品，建议您在使用前仔细阅读本资料。  
本公司产品在不断更新和改进，希望您经常与有关部门联系，索取最新资料。  
本资料中的信息如有变化，恕不另行通知。  
本资料仅供参考，本公司不承担任何由此而引起的损失。  
本公司不承担任何在使用过程中引起的侵犯第三方专利或其它权利的责任。