

符合军用车载 电源瞬变指标

(Arthur Jordan · Vicor高级应用工程师)



军用车载之电器系统常要符合严苛的瞬变要求，有关的指标一般为美国的 MIL-STD-1275B 及英国的 DEF-STAN-61-5(第六章)第 5 版本，虽然那些规定的浪涌突波及尖峰都超出怀格第二代模块的承受能力，但仍极有可能利用简单的电路，使 24V 输入(18-36V 输入范围)的 DC-DC 转换模块符合这些 28V 输入车载电压系统的应用标准。其它电磁兼容要求如 MIL-STD-461E 及/或 DEF-STAN59-41 也适用在军用车载系统，但这点并非本文所要阐述，要符合附加的传导发射要求，需在本文说明的瞬态保护电路之前加上一个输入滤波器。

这些 28V 电压涉及的瞬态分两类：

- 1) 尖峰：一般为高电压上升，短时间及低能量
- 2) 浪涌：一般为较低电压上升，长时间及高能量

很多系统是由电池加上发电机供电，只须用滤波及瞬态保护模块 M-FIAM5，就能容易满足那些尖峰及浪涌的要求。然而，MIL-STD-1275 及 DEF-STAN61-5 所设之免疫要求需要本文所述的附加保护才能达到。无独有偶，尖峰与浪涌两项都在只用发电机供电的系统上特别严重。表 1 总结了两个标准之最高尖峰及浪涌要求。

表 1. 最高的瞬态要求水平

	MIL-STAD-1275B	DEF-STAN61-5
尖峰	±250V 波幅， 50µs 尖峰波宽之脉冲 群持续 1ms， 每尖峰波最高能量 15mJ	最高+270V 及-220V 波 幅，10µs，加上+110V 之尖峰波脉持续达 5ms
浪涌	源阻抗为 0.5Ω 之 100V， 50ms 浪涌重复 5 次， 每秒 1 次	源阻抗为 0.55Ω 之 100V(+5%-0%)，50ms 浪涌重复 5 次，每秒 1 次。(附件 C)

注：两项标准标示低线输入至 15V，很可能使 DC-DC 模块在该时段停机。低线摆动电压也会激发欠压锁定动作。

要保护功率转换模块免受这些瞬态冲击，分别需两项技巧。对于尖峰，并联瞬态滤波器，例如瞬态吸收器 (TransZorbs) 很容易就能去除这些高电压，低能量突波。需要用三个串联的 P6KE33A 管并联在输入端，或单个 1.5KE100A 管也可替代。对于浪涌，由于它的持续时间及能量量值，只有串接的浪涌抑制电路才可行，即适当控制的功率半导体串联在输入线。由于 24V 输入模块最高输入为 36V，理想的浪涌保护电路要让负载电流通过，同时本身压降那些有关的浪涌过压。这个串联的导通元件需耗散有关的过压及电流功耗。重载需有可观的功率接收能力。最适当的器件为场效应管 MOSFET，双极结晶体管 BJT 也可以用，但须忍受它的正常操作时 0.5-1V 的压降。

电路说明

图 1 为瞬态/浪涌保护电路。高压、低能量尖峰波由跨接在输入端之电容及瞬态抑制器吸收。余下的电路都用作处理高能量的浪涌，主要是实现两项功能：(1) 当输入上升超出 35V 时，输出箝定在 35V；(2) 若过压情况持续超过 55ms，利用 PC 端关掉转换器。正常操作时，电荷泵偏压场效应管之栅极使之饱和导通，该功能由 ICM7555 定时器 U1 实现。它产生 109kHz 之方波并由 R3，C4，D1 及 D3 进行峰值检波及电平位移。电容 C7 限制输入电压上升速率在 160-170ms 之间，从而限制浪涌电流在 1000µF(C5)储能电容情况下不超出 3.5A。24V 输入系列模块具备欠压锁定在 17V 电平以及软起动特性。经过欠压锁定之 17V 临界点后起动会超出 10ms。稳压管 D5 限定加在瞬态保护场效应管之栅极对源极电压最高为 15V。若输入电压超出 35.3Vdc，这电路表现为串联导通之线性稳压器。

输出电压与 LM10 之参考电压(1.95V)比较, LM10 输出之误差信号用以控制三极管 Q2(2N5550),使场效应管 Q1(IXTH75N10)作为稳压器。电容 C6 是主要的尖峰消除器件(瞬态抑制器只作为辅助保护)。C6 也能帮助减低一些高频振环波,但如不倚赖瞬态抑制器需串入小值阻尼电阻。

加上 D4 用以限制 C7 之最高电压,然而在高线输

入时,可减慢此电路之反应时间。通常,此电路应放在系统 EMI 滤波器之后,这是因为它需要源差模电感,建议最少为 10uH 以确保在高陡率输入情况下,Q1 不受过度冲击;然而要符合军用 EMI 要求需比此值更大的差模电感。C5 量值取决于模块及应用细节;但对此电路应用不能超出 1000uF。通常单个模块取值 330uF 已足够大。

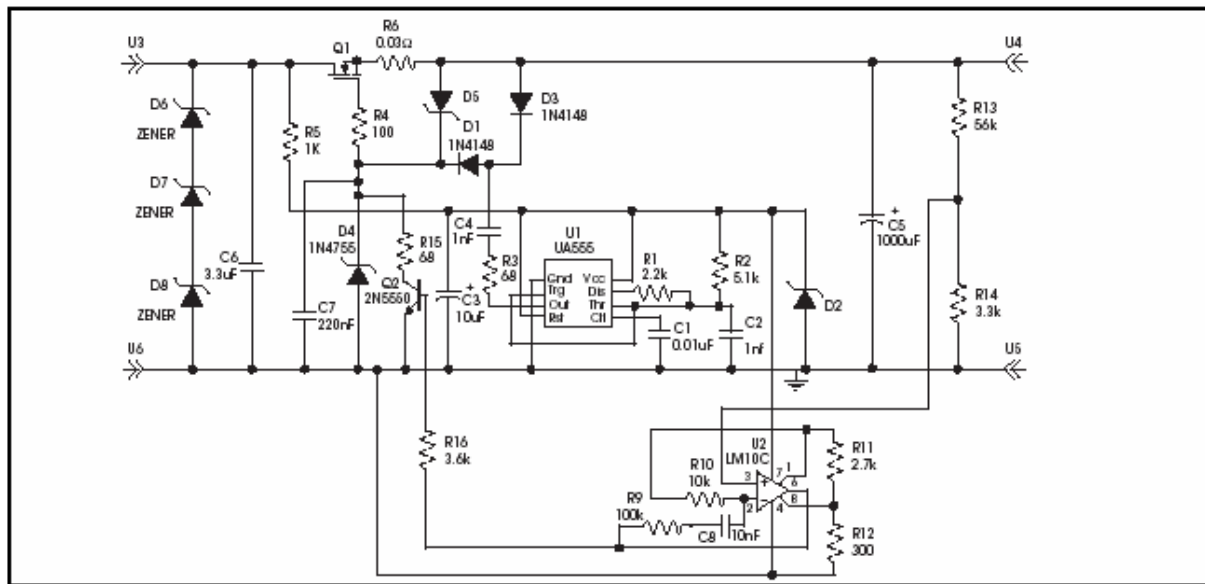


图 1 瞬态保护滤波电路

在图 1 之电路,功率处理能力,特别是在浪涌发生时,受场效应管 Q1 所限。附录里简析场效管的功率处理能力之理论基础。简单地说,此场效应管的外壳温度若能保持低于 70 ,就能对 125W 负载(单个微型模块满载下),在 100V 浪涌维持 50ms 情况下足够保护。一个简单的附加电路如图 2,能对持续的过压作额外保护,如浪涌超出 50-60ms,或重复快过每秒一次,这电路会使模块停机。由于瞬态保护电路场效应管功耗与负载成正比,这表示它在未加载情况下,几乎可长时间抵受 100V 浪涌。此附加电路应实行在大部份的应用情形。

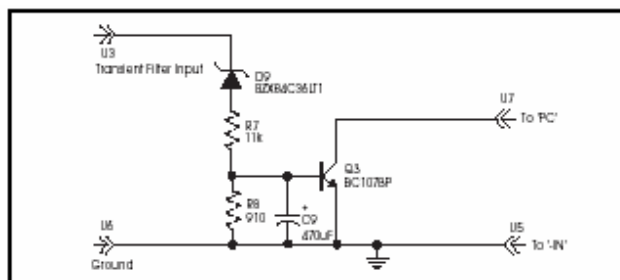


图 2 浪涌时段保护电路

低线电压操作

图 1 所示电路操作在建议之功率下会有约 120mV 压降,这是来自场效应管的导通电阻(ON resistance)。也须进一步考虑 EMI 滤波器及导线电阻压降。因此,改进低线输入表现可使用较大或并联的场效应管。虽然

“V24”系列模块之最高欠压锁定激活电压为 18.0V，可它们大多能在激活后操作低至 16.5V(须减额)输入。须留意多数应用上无须要求在电压下降摆动情况下操作，但必须操作低至 22V(DEF STAN61-5 要求 4V 最大纹波)及 MIL-STD-1275B 要求之最低 18.4V(包括纹波在内)。

对较高功率模块之滤波

对较高功率模块例如小型及全型模块进行瞬态保护，须使用较大安全操作区(SOA)之场效管或使用并联场效管阵。目前达到所需之低热阻抗的大管芯供应有限，可是多数生产商都能供应高功率之场效管封装器件，例如：IRFK6J150(六个并联的场效管封装成 TO-240 形式)，这便有足够的安全操作区保护单个满载的小型模块，然而需确保这种“六管器件”外壳温度在浪涌发生前不超出 57。可是由于分销及供货商不

常有这种器件存量，只能指望特制的场效管阵。在符合下列情况下场效管阵会在浪涌发生时足够均流。

- a) 阵内全部场效管为相同类别，最理想是来自同一生产批次。
- b) 阵内全部场效管都放在同一散热器（即要场效管具相同温度）。
- c) 阵内全部场效管具本身栅极电阻（即具独立的 22-100Ω，R4 电阻）。
- d) 漏、栅及源极电流导线须相约长度及阻抗。
- e) 如有需要，可加上细小的 R6 电阻以改良均流。

这些条件背后之理论在附录内有所讨论；在上述理想的情况下，均流应是非常精准的。但是，论点(a)及(b)似难经常达到，故使用上应有一些减额。表(2)所示为 IXTH75N10 在 50，60，70 及 80 外壳温度下之建议功率处理能力。

表 2 IXTH75N10 功率处理与外壳温度

外壳温度	Q1	Q1x2	Q1x3	Q1x4
50	163W	288W	403W	500W
60	144W	250W	346W	424W
70	125W	212W	289W	348W
80	106W	174W	232W	272W

因此，为每个模块设计独立的瞬态保护更为可靠。

附录

图 1 电路之元件清单

电路称号	型号	备注
U1	ICM7555	CMOS 555 定时器 (Intersil)
U2	LM10CN	运放及间隙参考
Q1	IXTH75N10	100V，75A 功率场效管 (IXYS)*
Q2	2N5550	NPN 外延膜 双极结晶体管 BJT (Fairchild)
Q3	BC107B	NPN 双极结晶体管 BJT (飞利浦)
D1	1N4148	硅信号二极管
D2	BZX85C12	12V 稳压管 (1.3W)
D3	1N4148	硅信号二极管

D4	1N4755	43V 稳压管
D5	1N5245	15V 稳压管
D6	P6KE33A	瞬态吸收器(600W)
D7	P6KE33A	瞬态吸收器(600W)
D8	P6KE33A	瞬态吸收器(600W)
D9	BZX84C36	36V 稳压器
C1		金属薄膜电容 10nF(63V)
C2		金属薄膜电容 1nF(63V)
C3		电容 10 μ F(16V)
C4		金属薄膜电容 1nF(63V)
C5		模块输入电容, 220 μ F-1000 μ F
C6		金属薄膜电容 3.3 μ F(100V)
C7		金属薄膜电容 220nF(63V)
C8		金属薄膜电容 10nF(63V)
C9		电容 470 μ F(6.3V)
R1		电阻 2.2k(0.125W)
R2		电阻 5.1k(0.125W)
R3		电阻 68 Ω (0.125W)
R4		电阻 100 Ω (0.125W) *
R5		金属氧化电阻 1k(2W)
R6		金属氧化电阻 30m Ω (2.5W) **
R7		电阻 11k(0.4W)
R8		电阻 910 Ω (0.125W)
R9		电阻 100k(0.125W)
R10		电阻 10k(0.125W)
R11		电阻 2.7k(0.125W)
R12		电阻 300 Ω (0.125W)
R13		电阻 56k(0.125W)
R14		电阻 3.3k(0.125W)
R15		电阻 68 Ω (0.125W)
R16		电阻 3.6k(0.125W)

* 较高功率应用须附加场效管并联及栅极电阻, 例如 400W 模块须用上 4 个管。

** 只用在并联场效管且均流差情况下。

场效应管安全操作区(SOA)

一个器件如场效管的功率处理能力是指它的安全操作区(SOA)。典型曲线如图 3 所示。

有关器件的更有用数据可取自它的瞬态热阻抗图表。

从此资料可决定一特定场效管在特定管芯温度下之功率处理能力。通常，安全操作区(SOA)数据只给出在 25 结温。而瞬态热阻抗数据，在该场效管面对已知能量脉冲下能用作计算它的安全初始温度。

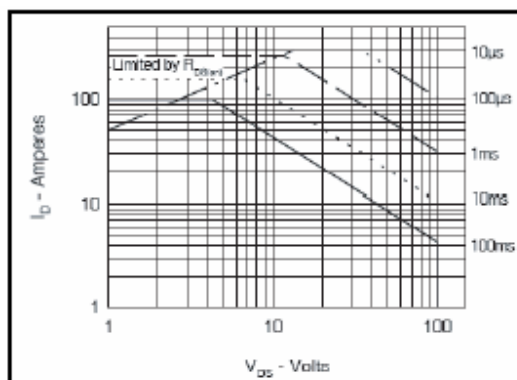


图 3 IXTH75N10 之安全操作区(SOA)

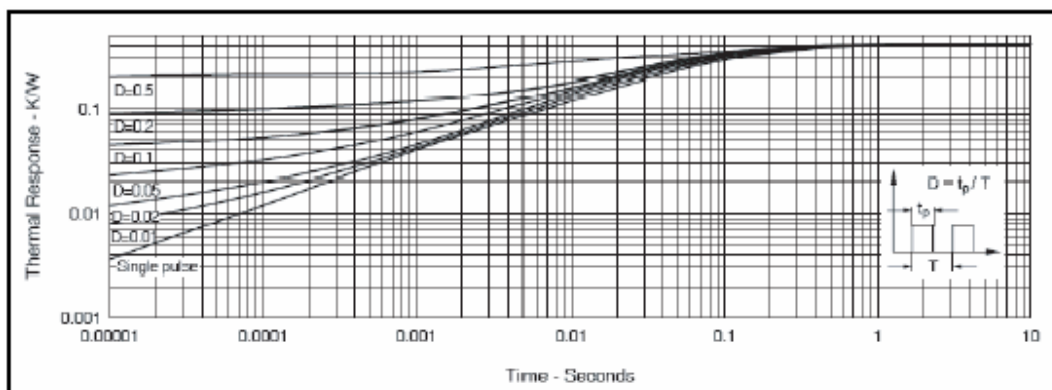


图 4 瞬态热阻抗曲线

例如 IXTH75N10 在 0.05 占空比(1 秒内之 50ms) 的 50ms 脉冲之瞬态热阻抗约为 0.28 /W。所以在 100V 浪涌时,如 3.5A 电流流经单个场效管(瞬态保护电路应用下; 35.3V 电压跨过模块),则可预期管芯温升估算为:

$$\Delta T = 63.4 = (100V - 35.3V) \times 3.5A \times 0.28 \text{ /W}$$

而此场效管之最高操作结温为 150 (部份生产商声称可有更高之结温²)这就限定瞬态发生前之温度只可在 86 以下; 由于浪涌重复 5 次,预计会有进一步 5 温升,限定初始结温应是 81。这就是本文提过的建议的最高初始外壳温度的因由。建议的最高值已引入一些适当余量,以及浪涌发生前之正常操作结对外壳温升。

(注: 较大 C5 值也可缩小安全操作区(SOA),这是由于 C5 在浪涌开始时被快速充电至 35.3V,场效管产生额外功耗)

扩充功率处理能力

理想方案是选一较大场效管,但这条件通常不具备。因此另外选择是并联场效管,在符合上文(a)及(b)要求下,多个场效管能大致均流^{1,3,4},场效管阵需个别栅极电阻(c)以预防高频振荡,特别是在线性模式应用时⁵。通常建议是 22-100Ω,但在这项应用上不要求快速对模块输入电容充电 - 这点也会使系统可靠性下降,故 100Ω 较为合适; 100Ω 电阻同时或可减轻对输入阻抗之要求。(d)项是上佳的手段,有助加在场效管栅极之瞬时电压大致相同。

(e)点所述之 R6 理想的取值应是 $R6 > 1/g_m$, 因使用 IXTH75N10 时, $R6 > 1/25=0.04\Omega$, R6 越大, 均流越好, 但加重功耗及影响低线输入³, 例如 100m Ω 就会使此滤波器在低线输入时压降 0.7V, 这对怀格 24V 输入模块操作范围来说很可能不被接受。更甚是

每个这些电阻耗散约 2W。不过, 如下例波图所示, 即使为细小量值的场效应管源极电阻已有裨益。对 IXTH75N10 来说, R6 取值在 30-50m Ω 间似是上佳的折衷选择, 如布线良好, 不需该件。

波形及数据图

注: 机械式开关器串入一 100V 电源用作模仿浪涌

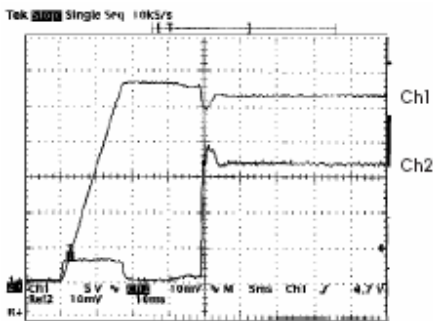


图 5 在 400W 负载时之激活特性
Ch1 = 24V 模块输入电压
Ch2 = 1275 滤波器输入电流, 每格 5A, 四个 IXTH75N10 并联

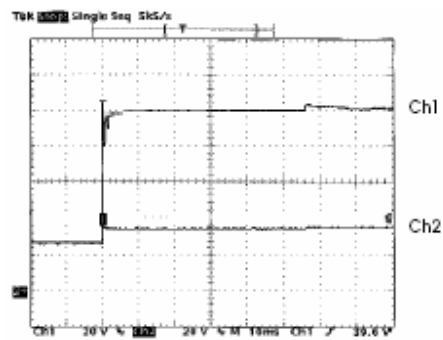


图 6 浪涌表现
Ch1 = 加在滤波器之电压
Ch2 = 加在满载的 V24A28C400AL 电压

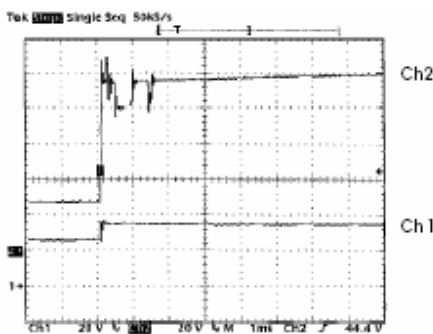


图 7 浪涌表现
Ch1 = 加在满载的 V24A28C400AL 电压
Ch2 = 加在滤波器的电压

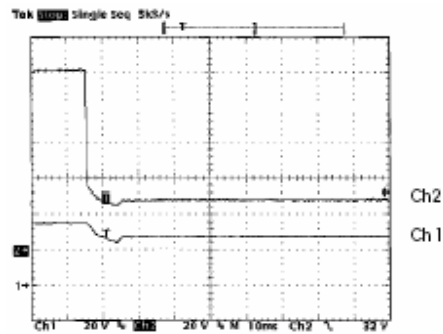


图 8 输入及输出电压 (浪涌完结, 700W 负载)
Ch1 = 加在 V24A28C400AL 之电压
Ch2 = 加在滤波器之电压

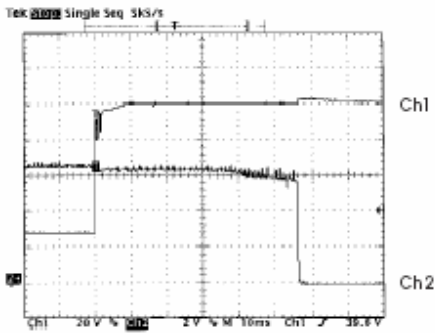


图 9 浪涌下之 PC 电压

Ch1 = 加在 1275 滤波器输入电压
Ch2 = 浪涌下之 PC 电压

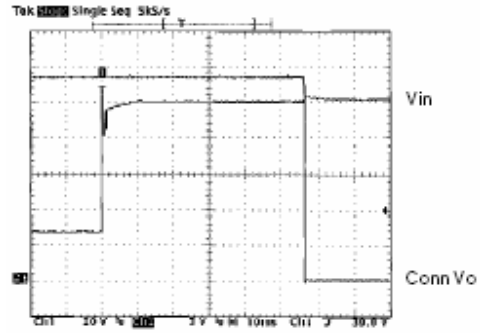


图 10 输入及输出特性

Ch1 = 1275 滤波器输入电压
Ch2 = V24A28C400A 满载时输出电压

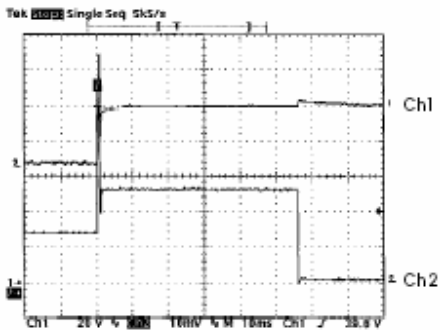


图 11 输入电流及电压

Ch1 = 1275 滤波器输入电压
Ch2 = 滤波器满载时输入电流, 每格 5A

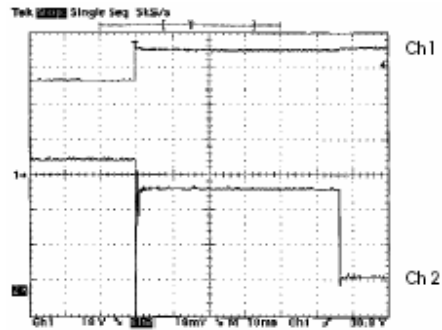


图 12 模块输入电压及系统电流

Ch1 = V24A28C400A 之输入电压
Ch2 = 滤波器输入电流 17-13A(每格 5A)

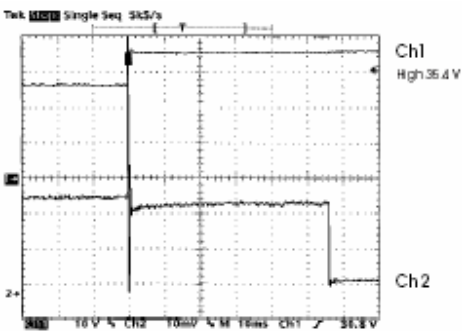


图 13 场效应管 1 之电流及模块的 Vin

Ch1 = V24A28C400A 之输入电压 (满载)
Ch2 = 场效应管 1 电流, 每格 2A

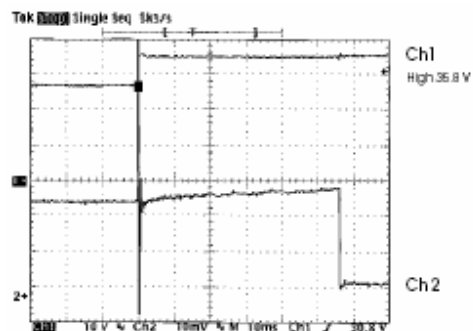


图 14 场效应管 2 电流

Ch1 = V24A28C400A 之输入电压 (满载)
Ch2 = 场效应管 2 电流, 每格 2A

注: 场效应管 3 及 4 与场效应管 1 及 2 置放有所距离, 以示一般表现变差情形

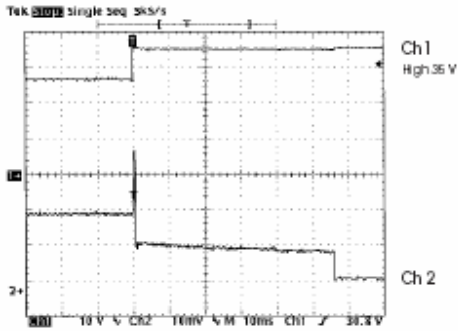


图 15 场效管 3 电流

Ch1 = V24A28C400A 之输入电压 (满载)
Ch2 = 场效管 3 电流, 每格 2A

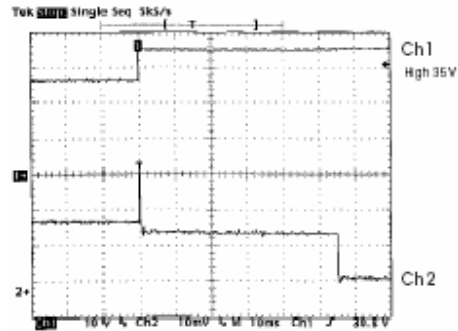


图 16 场效管 4 电流

Ch1 = V24A28C400A 之输入电压 (满载)
Ch2 = 场效管 4 电流, 每格 2A

每个场效管加上个别 30mΩ 源极电阻之效应

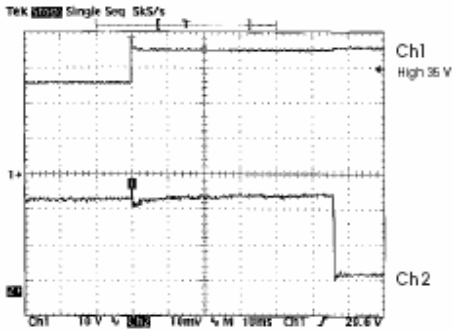


图 17 30mΩ 效应, 场效管 2 电流

Ch1 = V24A28C400A 之输入电压 (满载)
Ch2 = 场效管 2 电流, 每格 2A

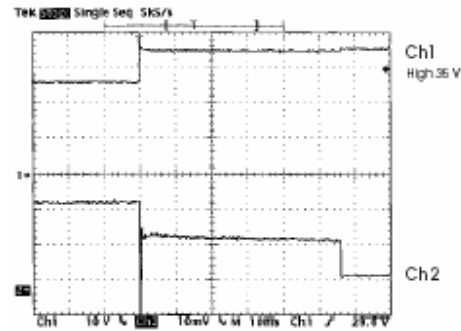


图 18 30mΩ 效应, 场效管 3 电流

Ch1 = V24A28C400A 之输入电压 (满载)
Ch2 = 场效管 3 电流, 每格 2A

参考著作:

- (1) MOSFET Linear Operation by Mark Alexander.
- (2) Safe Operating Area and Thermal Design for MOSPOWER Transistors by Rudy Severns.
- (3) Parallel Operation of Power MOSFETs by Rudy Severns.
- (4) Thermally Forced Current Sharing in Paralleled Power MOSFETs by John G. Kassakian.
- (5) An Analysis and Experimental Verification of Parasitic Oscillations in Paralleled Power MOSFETs by David Lau (IEEE 电子器件会报, Vol. ED-31 No. 1984 年 7 月).

怀格香港有限公司

香港 沙田乡事会路 138 号
新城市中央广场第 1 座 1016-19 室
电话: 852-2956-1782 传真: 852-29560782
网址: www.vicor-china.com
电子邮件: vicorhk@vicor.com



Component Solutions For Your Power System