

浅谈 fuse 选型的几种折减特性

AEM 科技（苏州）股份有限公司 郭田青

电路的安全设计方面，选择合适的 FUSE 为线路加一道安全闸门是一种高可靠和高性价比的选择方案。设计工程师都会十分关注电路中稳态工作电流 I 对 fuse 的影响，为了确保 fuse 与整个产品同寿命周期，避免异常熔断，有的工程师会根据经验，直接将 fuse 的额定规格选为线路稳态工作电流的 1.5 倍，从而留有一定的安全余量，实际上这类做法并非精确选型，而我们强调的原则是：“该断时及时断，不该断时不能断，时时保证安全”，满足上述的选型原则，关键是做好 fuse 的折减特性。总体来讲，fuse 的折减特性分为三大部分：

一、电流的折减

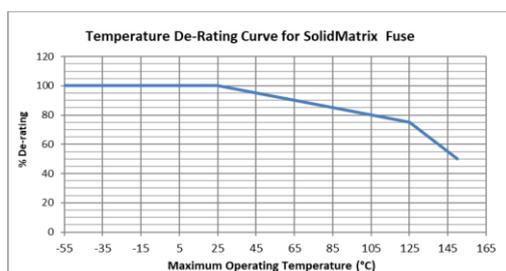
在线路稳态电流的评估中，为了 fuse 长期稳定工作而不异常熔断，会考虑寿命的折减。业界通常的做法，但根据每家制造商的产品特点和水准不同，电流折减系数并非统一的标准。例如 AEM 的几种技术工艺平台的不同，电流折减系数都有略微差异，根据产品规格书的“life”所做的测试，电流的折减幅度等于寿命测试测试电流，也等于计算 MTTF 的工作电流参数。

Life	SolidMatrix	No electrical "opens" during testing, voltage drop change shall be less than $\pm 20\%$ of initial value	80% rated current (75% for < 1 A fuses) for 2000 hours at ambient temperature between +20°C and +30°C	Refer to AEM QIQ106
Life	AF2	25°C, 2000 hours, voltage drop changes $\leq \pm 20\%$	80% rated current (75% for < 1 A)	Refer to AEM QIQ106
Life	AF1206	25°C, 2000 hours, voltage drop change $\leq \pm 20\%$	80% rated current	Refer to AEM QIQ106
Life	Thin Film	Change of voltage drop within $\pm 10\%$, no open circuit	75% rated current, 2000 hours, ambient temperature +20°C to 30°C	Refer to AEM QIQ106

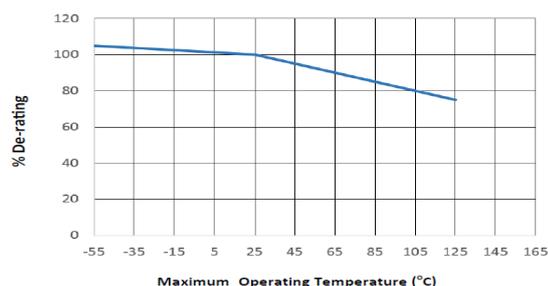
综上所述，本着折减方面就低不就高的原则计算选型时统一作 75% 的折减。

二、温度的折减

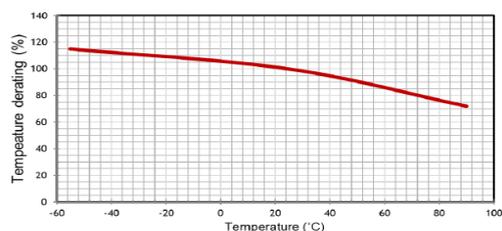
FUSE 作为温度敏感的组件，当其周围小环境的温度变化，尤其高于室温 25°C 时，需要作温度的折减。品牌制造厂家应提供温度折减曲线供设计人员选择对应的温度折减率参数 K。不同材料工艺的平台产品对温度折减不同，需要尽可能细致了解。如下 AEM 温度曲线：



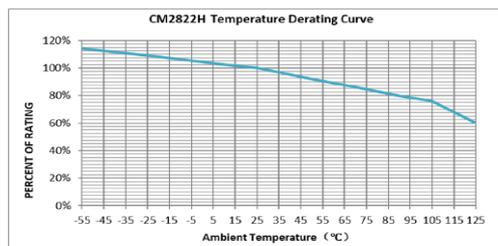
(一) SolidMarix® 陶瓷产品



(二) AirMatrix® 中空平台 AF 产品



(三) ThinFilm 薄膜平台产品



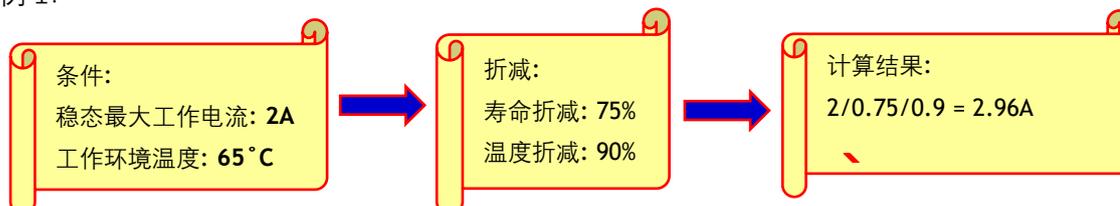
(四) 高功率 CM2822 平台

做好上述两大项折减就为 FUSE 留下足够的余量, 我们可以得出选择 FUSE 的额定值的公式:

$$I_{n} = I / (0.75 \times K)$$

Fuse 的额定电流 I_n = 电路稳态工作电流 I / 电流折减系数 0.75 / 温度折减率 K

举例 1:



上述的温度折减率 90% 是跟据相关产品规格书的 SolidMatrix® 温度折减曲线查得。而 2.96A 接近 3A, 建议选择 3A FUSE。

以上只是找出了电路稳态工作电流下的合适额定规格保险丝, 而电路中常见的瞬态脉冲电流下的规格选择, 这就涉及到了第三部分的折减——脉冲电流折减。

三、脉冲的折减

我们知道大部分电路由于线路中有储能组件, 如电容和电感的存在, 在通电或关闭电源瞬间, 都会产生脉冲电流。也包括外界因素, 如电磁感应等, 也能产生瞬时脉冲。绝大部分情况下我们希望 FUSE 能耐受多次脉冲冲击, 这就涉及了熔化热值 I^2t 的计算了, 它指的是脉冲电流流过保险丝所释放的能量值, 而 I^2t 是 fuse 熔体熔断需要的能量值。

I^2t 是指 FUSE 承受脉冲能力的技术指标, 其中 I 是为脉冲电流峰值, t 为熔断时间。下表是几种常见脉冲波形的计算方式。脉冲电流的热熔值是通过对其有效作业区域参数的积分计算得到。

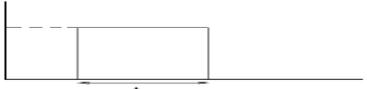
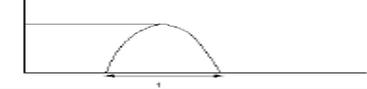
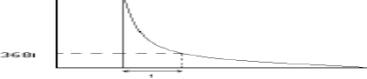
脉冲波形类型	脉冲波形图	热熔值计算公式
方波		$I^2 t$
正弦波		$1/2 (I^2 t)$
三角波		$1/3 (I^2 t)$
衰减波		$1/2 (I^2 t)$

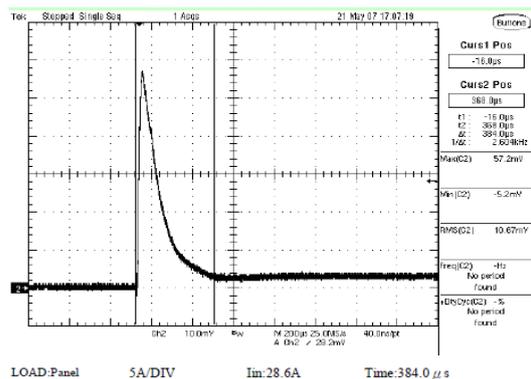
表 2 几种常见脉冲电流热熔值计算

这里选择 FUSE 的原则是: $I^2t > I_r^2t$, 即 FUSE 的熔化热值必须大于通过 FUSE 的脉冲电流释放的能量, 这样, FUSE 才能耐受多次的脉冲冲击。品牌制造商应提供反应 fuse 在不同熔断时间上的 I^2t , 这就是产品规格书里的 I^2t-t 曲线, 因为熔断时间的不同会有不同的 I^2t , 也说明了 I^2t 不是一个常数。 I^2t-t 曲线也是选用 FUSE 的重要参考工具。

铺垫了这么多, 这就要讲到 FUSE 耐受脉冲的次数问题: 通过计算和选择 I^2t 和 I_r^2t 的关系, 可以知道 FUSE 能够承受的脉冲次数, AEM fuse 的 I^2t 和 I_r^2t 大致关系如下:

脉冲电流的热熔值 I_r^2t 与保险丝的熔化热值 I^2t 的比例	耐受脉冲次数
$I_r^2t \leq 20\% I^2t$	100,000
$I_r^2t \leq 30\% I^2t$	10,000
$I_r^2t \leq 40\% I^2t$	1,000

补充举例 1 条件下瞬态脉冲波形并进行计算来说明:



提取如下有效参数，并按衰减波计算：

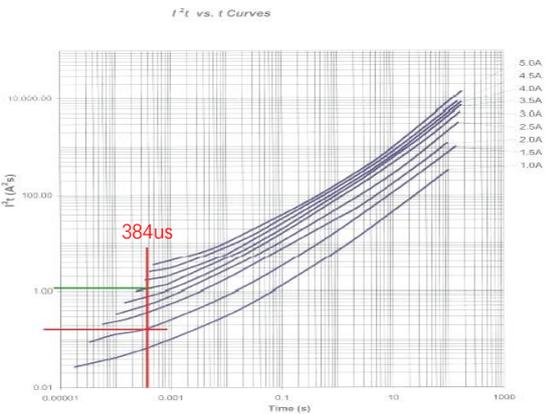
脉冲对大电流 (I) = 28.6A

脉冲宽度 (t) = 384 µs

脉冲 $I^2t = \frac{1}{2} * 28.6 * 28.6 * 0.000384 = 0.157A^2S$



脉冲承受次数	Fuse I²t 折减比率	Fuse I²t 需求
1,000	40%	0.157/0.4=0.392
1,0000	30%	0.157/0.3=0.523
1,00000	20%	0.157/0.2=0.785



若希望 Fuse 承受超过 10 万次冲击，查询规格书 I²t-t 曲线得出 3A 规格的 I²t > 0.785A²S,故满足选择要求。需要说明的是规格书 I²t-t 曲线是在 25°C 下数值，若工作温度超过 25°C，则还须要作温度折减计算。

综上所述，我们通过做好 FUSE 的稳态电流折减、温度折减以及脉冲的折减，可以为 FUSE 在长期工作中留好合适余量，真正做到精确选型，满足 FUSE 及时保护的电路要求。