

利用热模型仿真技术实现功率半导体的结温估计

David Divins

资深应用工程师

国际整流器公司

设计师在减轻热问题时常常需要做出很多折衷,包括电源变换拓扑结构的选择、开关频率的选择、半导体封装形式的

选择,还有半导体类型、散热方式、变换电路的具体位置、电路板材料以及成本等。对于大功率应用来说,使问题更加

复杂的是需要考虑强迫对流通风,或者液体冷却问题。考虑到有这么多的选择和约束,在实现具体设计之前,确有必要

进行温度估计,以便确定各种选择对设计的影响。

在绝大多数电源变换电路中,温度最高的器件是那些功率半导体器件,包括二极管、MOSFET和IGBT。对于给定的电路拓扑结构,这些器件的热量的上升是所加电压、负载电流、开关频率、栅极驱动电路、封装类型以及安装方法等多种因素的函数。在上述因素中,前四个产生功耗,建模为热源,而后两个则应该建模为吸热体,因为它们从系统中转移出热量。

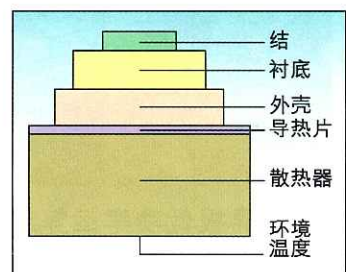


图2: 功率半导体的热堆由以上多个部分组成。

在开关模式电路里,对功率半导体功耗的一个较好的一个阶估计是: $P=DI$ 。这里 I 是通过功率半导体的平均传导周期电流; V 是器件上的平均传导周期电压; 而 D 则是占空比。在实际电路中,电流是电路的函数,而电压则是电流、器件类型、结温和半导体控制方法的函数。例如,二极管的正向电压只是电流和温度的函数。工作状态中的MOSFET上的电压为 $I_D/R_{DS(on)}$, 即漏极电流与沟道电阻的乘积, $R_{DS(on)}$ 则又是 I_D 、栅极驱动和温度的函数。通态中的IGBT上的电压为 $V=V_{CE(sat)}$ 则是电流栅极驱动和温度的函数。

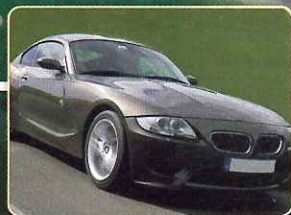
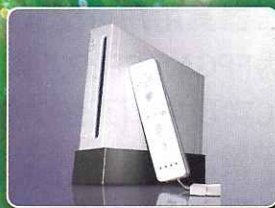
利用功耗乘以热阻来确定半导体的温升。这种分析方法的限制在于它过于简单化了功耗计算,没有考虑瞬态条件。虽然功率器件的数据表里都给出了热响应曲线,但是利用它无法克服那些限制(图1详见本刊网站)。

曲线中假定在占空比为 D 的功率脉冲为矩形,持续时间

下接96页 ▶

茂达电子每个时刻与您相伴 提供全方位产品技术应用

Your faithful Partner



- 电源转换及电源管理 IC
- 马达驱动器 IC
- 音频功放器 IC
- 离散式功率元件

► 业务联络

深圳办事处

地址: 深圳市福田区天安数码城科技创业园A座507室

电话: 86-755-82049356

传真: 86-755-82049359

苏州办事处

地址: 苏州工业园区机场路328号国际科技园1610室

电话: 86-512-62522212

传真: 86-512-62522126

global sources CMP
国际集成电路
研讨会暨展览会
上海展场 2008年3月10~11日
上海世贸商城
展位号: 4S67

www.anpec.com.tw

利用热模型仿真技术实现功率半导体的结温估计

► 上接92页

为 t ，幅度为 P 。沿着曲线找到适合于电路占空比的点，对应到代表脉冲持续时间的水平轴

应，然后用功耗乘以该响应的值，便可以得到从外壳到半导体结的温升。

该热响应曲线只能够解决从外壳到结的温升。但是却没有办法考虑外壳的具体安装方法，安装方法贡献环境温度以上的温升，如完整的热堆模型所指示(如92页图2所示)。

利用电路仿真器能够计算总的

热响应，用的是解决问题的每个部分的不同工具和数据来源，而不是一部分部分解决问题的方案。该仿真器还允许观察热系统对电路参数性能的影响，而这仅依靠手工计算或数据表分析的方法来实现则是极为困难的。

该电路仿真采用元器件模型和网络分析，非常接近每个器件在电路中的真实工作条件。该仿真器自动地计算功率器件的功耗，考虑到了电路的整个工作范围和器件模型，包括门极驱动、开关瞬变以及二极管反向恢复等。

不过，传统的电路仿真器计算功率是基于静态的热模型。换句话说，它们只适应于仅与温度有关的器件行为。这对于低功率IC仿真来说是足够的，因为这种电路中的器件本身只产生很少的温升。但功率半导体有自身的发热，精确的仿真必须考虑器件特性的温度关联性。在静态的25℃器件模型的基础上，加上一个准动态的热分析模型，就可以克服上述的局限性(图3)。

Spice作为电子工程领域中的事实上的仿真器标准，能够实现宏模型中的热封包。常用的其它仿真器也能够实现带宏模型的热封包(thermal wrapper)。可以选择硬件描述语言来实现热封包，这些语言包括用于Ansoft公司Simplorer的VHDL-AMS，Synopsys公司Saber所使用的MAST，还有Cadence公司Spector仿真器所用的Verilog。由于这些仿真器都可以使用宏模型，本文将重点集中到方案上，并且以一个功率MOSFET作为一个实例进行建模。

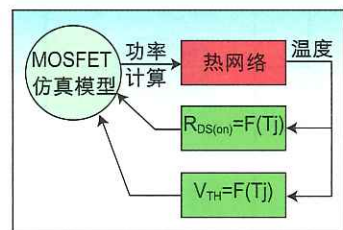


图3: 准动态热分析模型计算了功率器件的参数对温度的关联度。

在我们的例子中，热封包必须实现两个与MOSFET参数相关的温度，这些参数包括门限电压 V_{TH} ，还有充分提升了的通道阻抗， $R_{DS(on)}$ 。 V_{TH} 的温

下接98页 ►

激发您的模拟混合信号设计灵感



赞助商:



analog.eetchina.com为您提供优化您模拟混合信号设计所需的全部资讯。

您可以通过该网站获取相关信息、业界趋势和技术指南，从而进行先进的模拟混合信号设计。

网站还开设在线论坛，让您与其他设计人员进行实时交流，讨论有关影响模拟混合信号设计和应用软件等领域的当前业界趋势和技术议题。

analog.eetchina.com是您随时随地获取技术实现方法的资讯来源，网站致力于帮助您提高技术水平，缩短设计周期。

要在下一代模拟混合信号创新设计中保持领先地位，请立即访问www.analog.eetchina.com!

20

周年
激励亚洲
设计创新者

global sources
电子工程专辑

global sources

电子工程专辑

www.eetchina.com

利用热模型仿真技术实现功率半导体的结温估计

► 上接96页

度系数近似为 $-7\text{mV}/^\circ\text{C}$ 。 $R_{\text{DS(on)}}$ 的温度关联性模型用二次方程来描述比较好。实现这些数学关系是容易的,但如何导出激

励这些函数的工作温度却是一个挑战。

热系统的模型通常是一个由 R_s 和 C_s 构成的梯形网络,具有一个与图1中的单个脉冲曲

线相类似的阶跃冲激响应。绝大多数的MOSFET的数据表中都有图1中所示的梯形网络;而老式的数据表只提供曲线。在此梯形模型中,功率类似于

电流,而温度则与电压相似。

为热分析模型求得的第一项是通道电阻 $R_{\text{DS(on)}}(T_j)$,它是温度的函数,所有的MOSFET数据表都以特性曲线的形式提

供。利用一个简单的二次方程拟合程序可以提供该模型所需的3个系数:

$$R_{\text{DS(on)}}(T_j) = R_{\text{DS(on)}}(25^\circ\text{C}) (aT_j^2 + bT_j + c)$$

仿真器根据器件的Spice模型来计算 $R_{\text{DS(on)}}(25^\circ\text{C})$ 。利用与温度相关的通道电阻的导出值,得到对 $R_{\text{DS(on)}}$ 产生影响的自升温效应的表达式:

$$dR_{\text{DS(on)}} = R_{\text{DS(on)}}(25^\circ\text{C}) (2aT_j + b) dT_j$$

增加 $dR_{\text{DS(on)}}$ 作为与MOSFET漏极串连的电阻。

下一步是计算MOSFET的瞬时功率。忽略门极内连接电阻 R_G 中的开关损耗,则瞬时功率被简化为:

$$P = i_D v_{\text{DS}}$$

该功率项被用作热梯形网络的源(图4详见本刊网站)。注意,数字应该是绝对值,因为无论电压或电流的符号正负与否,功耗始终为系统增加热量。该模型的输出是一个对应于 T_j 的电压。

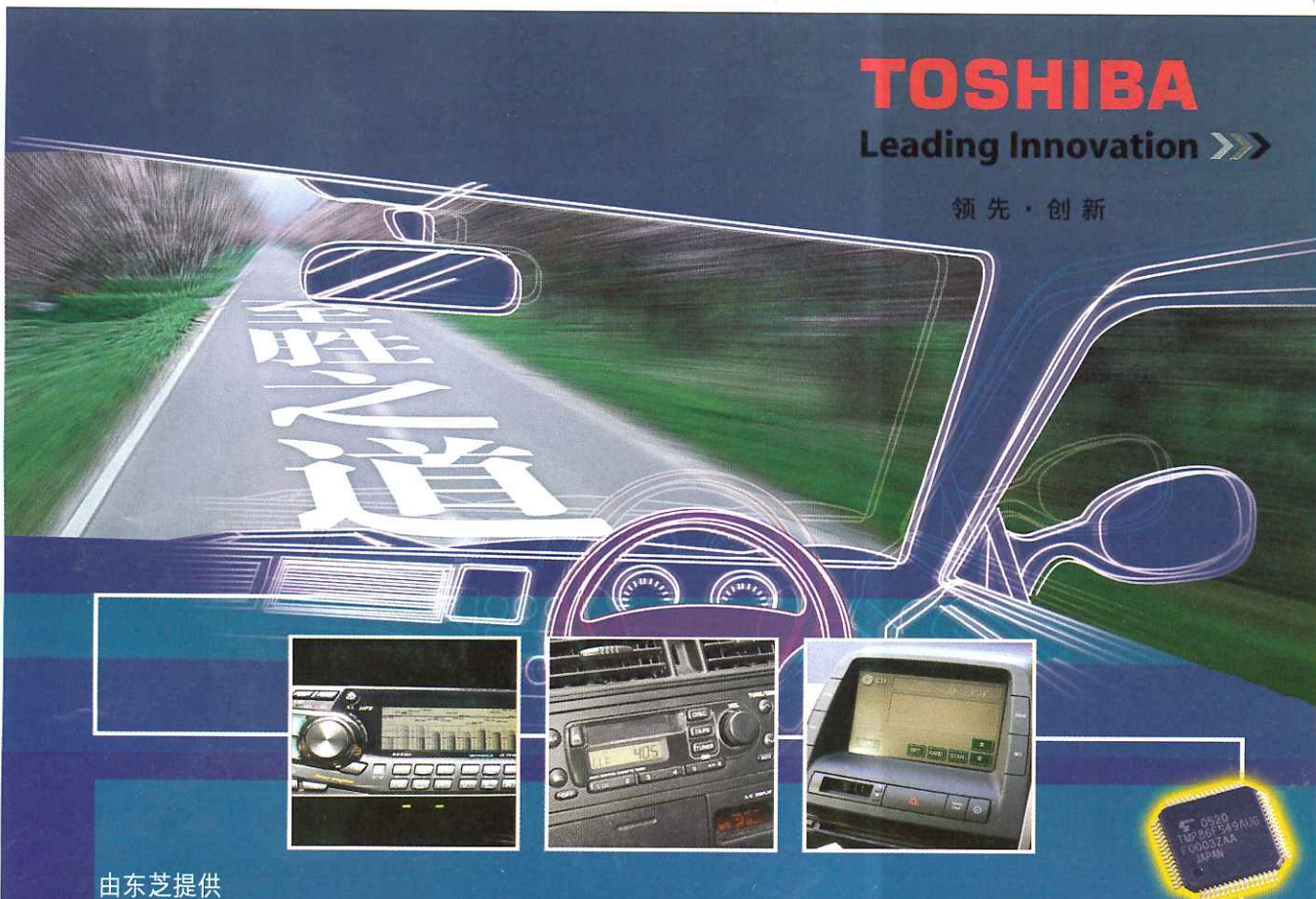
最后, V_{TH} 中相对于额定的 25°C 门限的变化被简化为:

$$dV_{\text{TH}}(T_j) = -7(\text{mV}/^\circ\text{C}) (T_j - 25^\circ\text{C})$$

这一项被表示为一个与MOSFET门极相串联的浮动电压源。

利用手头的特性方程产生一个模型是很简单的事情,MOSFET数据表、Spice模型和热网络都可以从制造商获得,最新的MOSFET数据表都包括热网络。然后求出或计算出描述 $R_{\text{DS(on)}}$ 温度系数的二次方程系数。最后,实现包括计算 $dR_{\text{DS(on)}}(T_j)$ 方程,瞬时功率的绝对值,以及 $dV_{\text{TH}}(T_j)$ 的宏模型(图5详见本刊网站)。

图5中的if-else语句说明仿真期间MOSFET的状态。如果 V_{DS} 大于 100mV ,在通道中加入一个 $1\mu\Omega$ 的电阻。该模型假定MOSFET充分导通,如果 V_{DS} 小于 100mV ,将加入温度关联度电阻 $dR_{\text{DS(on)}}$ 。在这个简单的模型中, T_a 为外壳温度。对这个热网络进行扩展是容易的,不过要包括散热器性能以及它对系统的影响。



由东芝提供

新8位闪存嵌入微型控制器 - TMP86FS49AUG 多次可编程方案

在家用电器、通信及移动产品趋向小规模、多样化之生产模式下,开发、生产周期越来越短,市场要求产品有一个灵活及可靠的系统平台。东芝提供高性能、高保安闪存嵌入式微型控制器,实现在开发、生产及完成产品当中之多次可编程方案。

芯片特点:

- 高速、低功耗 — 东芝独家之TLCS-870/C系列, 8位CPU核
- 采用低耗电、短工序为优点之SuperFlash® 闪存技术, 在数据保全的性能上有实际的品质保证
- 高保安 — 防止第三者窃取代码, 备有编程者读取用密码功能
- ISP(In System Programming)系统内可编程功能, 实现固件(Firmware)下载用途
- 多种外围设备 — UART/SIO串行口、AD转换、双时钟、乘法及累积计算功能(MAC)等

应用例子:

- 汽车、家用音响(DVD、CDMP3系统)
- 白色家电(空调、冰箱、洗衣机、抽湿机、电磁炉、微波炉)
- 通信产品(FRS对讲机、无绳电话) ...等

P/N	Features	Package
TMP86FH09NG	26 I/O, 10bit ADC	SDIP32
TMP86FH12MG	IGBT timer control	SSOP30
TMP86FH46ANG	UART/SIO, 10bit ADC	SDIP42
TMP86FH47AUG	UART/SIO, 10bit ADC	uQFP44
TMP86FS49AUG	UARTx2, I2C	LQFP64
TMP86FS23UG	32x4 LCD, MAC	LQFP64
TMP86FS64FG	60KB Flash, 91 I/O	QFP100

以上产品由 SST 公司(Silicon Storage Technology, Inc.)之特许下, 采用SuperFlash® 闪存技术。SuperFlash® 乃 SST 公司之注册商标。

如需上述产品资讯, 请浏览: <http://www.toshiba-electronics.com.hk/chi/news/mcu.htm> (中文版)
<http://www.toshiba-electronics.com.hk/eng/news/mcu.htm> (English version)
 电邮查询: marketing@teal.toshiba.co.jp

东芝电子亚洲有限公司
 北京事务所
 成都事务所
 青岛事务所
 东芝电子(深圳)有限公司
 东芝电子(大连)有限公司
 厦门象屿芝荣贸易有限公司

中国香港九龙太子道西193号新世纪广场第2座11楼
 中国北京市朝阳区东三环北路5号北京发展大厦814室
 中国四川省成都市总府路2号时代广场2508A室
 中国山东省青岛市香港中路59号国际金融中心24楼4(D-E)号
 中国深圳市福田区益田路4068号卓越时代广场28楼
 中国大连市西岗区中山路147号森茂大厦14楼
 中国厦门鹭江道8号国际银行大厦14G

邮编: 100004
 邮编: 610016
 邮编: 266071
 邮编: 518048
 邮编: 116011
 邮编: 361001

电话: (852) 2375 6111
 电话: (86) 10-6590 8796
 电话: (86) 28-8675 1773
 电话: (86) 532 - 8579 3328
 电话: (86) 755-2399 6897
 电话: (86) 411-8368 6882
 电话: (86) 592-226 1398