



DC/DC 变换器应用说明

高可靠级

查询: info@fookee.com

28V母线供电的航空/军用电子设备用DC/DC变换器模块

1. 概述

1.1 引言

该应用说明着重介绍28V母线供电的航空和军用电子设备对DC/DC变换器的不同要求,以及GAIA变换器模块如何满足这些要求。

DC/DC变换器模块都装在综合电路板上。目前,航空和军用DC/DC变换器可以分为以下两类:

- 经筛选的全军用密封DC/DC变换器模块
- 准军用DC/DC变换器模块

1.2 经筛选的全军用密封DC/DC变换器模块

经筛选的全军用密封DC/DC变换器模块具有很高的技术条件,并具有很宽的温度范围。为了获得较好的一致性,这类模块在工艺、制造和测试等方面都有非常严格的质量要求。

在工艺方面,这类模块采用混合电路工艺制作,为了使其能够承受非常严格的环境条件特别是-55°C至+125°C极宽的工作温度范围,该模块还密封在金属外壳中。在生产 and 测试方面,每一只模块都遵守一些严格的要求,这些要求主要是美国军标MIL在各个专门的范围内提出的,比如:

- 装备 (MIL-STD-1772)
- 采用的加工程序 (MIL-STD-38534)
- 筛选 (MIL-STD-883C)

鉴定程序必须遵守鉴定管理机构认可并支持的每种形式。

1.3 准军用DC/DC变换模块

在目前机载电子设备的价格压力下,准军用DC/DC变换器模块是一种越来越有效的廉价解决方案。

由於准军用DC/DC变换器模块工作於较窄的温度范围-40°C至+105°C,根据工艺要求,不需要采用0沁合电路,也不需要密封封装。在生产 and 测试方面,质量要求包括与产品鉴定方案一起的设备总的质量认证。

1.4 选择决定

在一些超过额定工作温度或极端的机械条件的应用中,经过筛选的全军用密封DC/DC变换器模块很可能具有较长的寿命。但是,装在印刷电路上的高可靠性电子设备,不需要严格遵守重要的环境要求时,准军用产品是目前最好的解决方案。

GAIA变换器具有全范围准军用产品。

下面着重说明全部满足航空/军用电子设备要求的模块,在冢下主要方面的不同点:

- 输入电压范围要求
- 电磁兼容要求
- 输出噪声
- 环境条件要求
- 热管理



2. 产品选型

由28V蓄电池或飞机发电机直接供电的航空和军用机载电子设备,应当能承受范围很宽的输入电压变化。这些变化包括输入电压瞬变、尖峰和中断等。

输入电压的这些变化由不同的标准确定,其中最常用的标准有:

- MIL-STD-704美国军用标准:
 <<飞机电源特性>>
- MIL-STD-1275美国军用标准:
 <<军用飞行器28V电子系统的特性>>
- DO-160C国际标准:
 <<机载设备环境条件和测试程序>>
- EN2282欧洲标准:
 <<飞行器电源特性>>
- BSI 3G100英国标准:
 <<飞行器电源特性>>
- SP-P-90001欧洲标准:
 <<电子电源特性>>
- AIR2021E法国标准
 <<机载电子设备特性>>

- 在正常、非正常和备用状态下的正常输入电压值。
- 在正常和非正常状态下的降压和瞬变输入电压值:
- 输入电压尖峰值:
- 起动手输入电压值:
- 输入电源中断(或不导通)。

采用标准的GAIA变换器模块,不需外加任何器件就可以达到要求的正常输入电压范围。

降压、输入电压瞬变和浪涌对模块具有更大的破坏性,因此可采用GAIA变换器前端模块PGDS,消除这些电压对变换器模块的影响。

采用GAIA变换器前端模块PGDS,也能获得最低起动手电压。输入电源中断可利用外接维持器件,例如,电容和GAIA变换器维持模块《HUGD-50》来获得所需的输出功率。

不同的输出电压求与GAIA DC/DC变换器的性能列于表1和表2中。

2.1 对正常输入电压范围的要求

所有GAIA 28VDC输入DC/DC变换器模块的输入电压范围都超出了标准的要求的额定输入电压范围,下表列出了不同标准对正常输出电压在正常、非正常和备用工作状态下的要求,也列出了单独GAIA变换器模块的性能。

标准	稳定(正常)状态	稳定(非正常)状态	备用工作	GAIA DC/DC模块性能
MIL-STD-704A(A级)	25-28.5V	23.5-30V	17-24V	16-40V
MIL-STD-704A(C级)	23-28.5V	21.5-30V	15-24V	15V 与工厂联系
MIL-STD-7040	22-29V	20-31.5V	16-29V	16-40V
MIL-STD-1275AT(发电机)	25-30V	40V	/	16-40V
MIL-STD-1275AT(电池)	20-27V	40V	/	16-40V
D0-160C(A和Z级)	22-29.5V	20.5V-32.2V	18-29.5V	16-40V
D0-160C(B级)	24.8-30.3V	22-32.2V	20-30.5V	16-40V
EN2282	24-30V	21-32V	18-29V	16-40V
SP.P90001(A级)	25-29V	23.5-30.5V	17-29V	16-40V
SP.P90001(C级)	23-29V	21.5-30.5V	15-29V	15V 与工厂联系
BSI 3G100 3部份	24-29V	21-32V	18-29V	16-40V
AIR2021E	24-30.3V	20.5V-32.2V	17V-/	16-40V



2.2 起动、瞬变、降压和浪涌输入电压要求

机载电子设备应当避免输入电压短期过高或过低, 以免设备在这种状态下损坏或发生故障。输入电压过高、过低的幅值、持续时间、阻抗源, 由各种不同的标准确定, 如表2所列。

单独的GAIA DC/DC变换器模块不能承受如此宽的输入电压波动, 因此必需外加现成的前端元件:

- 前置稳压器PGDS-50 系列, 可承受常见的输入电压波动:
 - 电源电压过低 10V/15s,
 - 浪涌电压 80V/100ms,
 - 尖峰电压 600V/20 μ s,
- 维持模块HUGD-50, 允许在输入电源中断的情况下工作。输入电源中断后, 保持输出的传统方法是采用大容量电容的缓冲系统。这种方法的缺点是: 由于在失去电源的低电压下, 对缓冲电容器充电, 所以要求缓冲电容器的容量非常大。为了克服这缺点, GAIA变换器采用HUGD-50维持模块。该模块可在较高电压下对电容充电, 所以, 可减小模块的体积。

下表中根据不同的标准列出了各种电压的要求:

在最坏情况(非正常状态)下, 引擎起动最低电压、降压电压、瞬变电压、尖峰和中断电压。还列出了GAIA变换器前端模块的性能, 2-3节还给出了GAIA变换器前端模块与DCDC变换器模块组成的实用电路构图。

标准	引擎起动	降压 (不正常)	瞬变 (非正常) (峰值/持续期)	尖峰 (峰值/持续期)	关断 (非正常)	带前置稳压器和保持模块(需极 性接反保护)时加KG9501时 gaia模块性能
MIL-STD-704A(C级)	15V/TBD / / /	10V/50ms / / /	/ 80V/75ms / /	/ / $\pm 600V/10\mu s$ /	/ / / 0V/7s	PGDS-50-N-K: 10V/15s 80V/100ms 600V/20 μ s/50W HUGD-50: 带电容器
MIL-STD-704D	12V/TBD / / /	/	/	/	/	PGDS-50-M-K: 10V/15s 60V/100ms HUGD-50: 带电容器
MIL-STD-461C CS06 b级	/	/	/	/	/	PGDS-50-M-K: 10V/15s / KG9501: 允许
MIL-STD-1275A (电池) 单一故障	6V/1s / / /	15V/500ms / / /	100V/50ms / / /	/	/	不允许
DO-160C Z级 尖峰A级	10V/15s / / /	12V/7s / / /	/	/	/	PGDS-50-N-K: 10V/15s 80V/100ms 600V/20 μ s/50W HUGD-50: 带电容器
DO-160C A, B级 尖峰A级	10V/15s / / /	12V/7s / / /	/	/	/	PGDS-50-N-K: 10V/15s 60V/100ms 600V/20 μ s/50W HUGD-50: 带电容器
EN2282	12V/TBD / / /	12V/30ms / / /	/	/	/	PGDS-50-N-K: 10V/15s 80V/100ms 400V/100 μ s/50W HUGD-50: 带电容器
SP.P 90001	/	7V/100ms / / /	/	/	/	PGDS-50-N-K: 10V/15s 80V/100ms 250V/5 μ s/15W HUGD-50: 带电容器
BSI 3G100 Part 3 (变频发电机供电)	/	9V/100ms / / /	/	/	/	PGDS-50-N-K: 10V/15s 80V/100ms 600V/20 μ s/50W HUGD-50: 带电容器
AIR2021E	/	12V/50ms / / /	/	/	/	PGDS-50-N-K: 10V/15s 60V/100ms 600V/20 μ s/50W HUGD-50: 带电容器

TBD = 由设备规格厘定

2.3 对输入母线中断的要求

2.3.1 大容量电容的解决方案

输入电源中断后，航空和军用系统要求维持救助系统继续工作。要求电源中断的持续时间在各种标准中有明确规定，例如在表2中列出的允许中断时间可达7秒。

输入电源中断期间，为了维持电子设备持续工作，传统的方法是在变换器的输入端接入一只大容量电容器，为电子设备供电。所需电容器的容量决定于电子系统的要求、负载和DC/DC变换器的效率。给定维持时间时，所需电容器的容量由下式表示：

$$C1 = \frac{(2 \times P \times Dt)}{\{h \times (V1^2 - V2^2)\}}$$

式中：
 C1 : 所需电容器的容量 (单位为F)，
 P : 负载功率(变换器输出功率)，单位为W，
 h : 额定负载时，变换器的效率，
 Dt : 所需的维持时间，单位为秒，
 V1 : 电容器起始充电电压，单位为V，
 V2 : DC/DC变换器最低电源电压。

典型维持时间为50ms，变换器效率为80%，变换器输入功率为50W，且变换器接在MIL-STD-704D 28V母线。该母线电压可降到22V。考虑到GAIA变换器模块长期工作最低输入电压16V，所需电容器的额定容量为18,000μF/40V，该电容的体积将非常大。

2.3.2 维持模块解决方案

为了减小维持电容的体积，可以采用GAIA变换器前端维持模块。利用该模块，将由更高的电压(典型值为38V)对维持电容充电。此外，维持模块还允许选用最低的电容器开始给变换器供电的门限电压。在这种情况下，给定维持时间时，维持电容的容量由下式决定：

$$C2 = \frac{2 \times P \times (Dt + 0.01)}{\{h \times (38^2 - V2^2)\}}$$

式中：
 C2 : 所需电容器的容量 (单位为F)，
 P : 负载功率(变换器输出功率)，单位为W，
 h : 额定负载时，变换器的效率，
 Dt : 所需的维持时间，单位为秒，
 V2 : DC/DC变换器最低电源电压。

典型维持时间为50ms，变换器效率为80%，变换器输入功率为50W，且变换器接在MIL-STD-704D 28V母线。采用维持模块后，维持电容的额定容量可减小到5000pF/40V。

同时，维持模块还可提供电容充电、放电、电源中断等监控信号，还可能迫使复杂的航空系统微观中断，冷却和开始加热...

2.4 典型工作模式

考虑到表2所列的不同限制，GAIA变换器提供以下两种互补的附件：

- 前置稳压器模块PGDS-50
- 维持模块HUGD-50

这两种附件适应于表3列出的各种工作模式，这种工作模式决定于电源母线输入状态：

母线输入电压	工作模式	有效模块	性能	说明的章节
>37VDC	瞬态尖峰	PGDS-50	600V/20μs 80V/100ms	2-2
18-37VDC	不导通	DC/DC	/	2-1
10-18VDC	降压	PGDS-50	10V/15s	2-2
<10VDC	维持	HUGD-50	决定于电容	2-3-2

2.5 典型应用电路

考虑到表2所列不同限制, GAIA变换器建议采用图1所示的应用电路, 其中前置稳压器模块PGDS-20用来满足瞬变、尖峰和电源电压过低的要求, 维持模块HUGD-50和大容量电容可保证电源中断后在一定时间内维持输出电压。

典型应用电路由以下部份组成:

- 维持模块HUGD-50

- 设置<<电源故障门限电压Vth>>(可在9V~16V之间调整)。该门限电压, 决定仅利用电容器的能量系统在维持状态下工作的电压极限值。该门限电压是由接在Vth和G脚之间的电阻Rth设定的。
- Rth: 不接Vth脚时, 门限电压约为16V。
- Rth: Vth脚接地时, 门限电压约为9V。
- PGDS-50模块与HUGD模块连接在一起时, Vth脚可悬空。
- 设定<<充电电流值>>, 根据充电时间, 充电电流可在100mA~2A之间设定。在Vcl脚与Go脚之间接入1KΩ电阻Rcl时, 充电时间为150μs/μF, Rcl为2KΩ时, 充电时间约为475μs/μF。

设定故障门限电压和充电电流的更详细说明, 请参考HUGD-50模块的数据表。

- PGDS-50模块

PGDS-50模块不需要设定参数, 只需要调整在电源母电上经滤波的输入电压基准。

PGDS-50更详细的说明可参看PGDS技术数据表。

- 大容量维持电容

维持电容的容量由下式决定:

$$C2 = \frac{2 \times P \times (Dt + 0.01)}{\{h \times (38^2 - V2^2)\}}$$

式中:

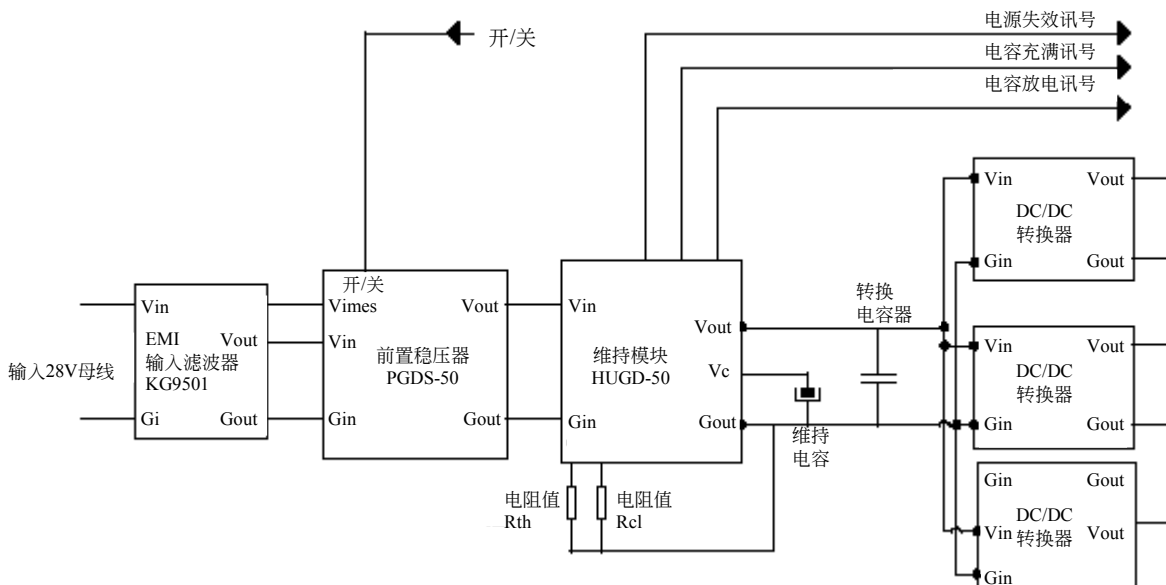
- C2 : 所需电容器的容量 (单位为F),
- P : 负载功率(变换器输出功率), 单位为W,
- h : 额定负载时, 变换器的效率,
- Dt : 所需的维持时间, 单位为秒,
- V2 : DC/DC变换器最低电源电压。

- 转换电容器

为了保持系统在不同的工作模式下转换, GAIA变换器应采用转换电容器。负载功率为50W时, 可选用100μF电解电容器。负载减小时, 该电容的容量可适当减小。更详细的说明请参看HUGD数据表。

- EMI滤波器

为了满足EMI要求, 还应当加入EMI输入滤波器, 该滤波器将在第3节详细介绍。



3. 电磁兼容性要求

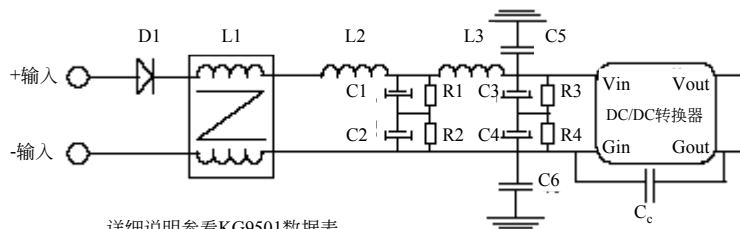
航空和军用电子系统还应当承受较高的电磁干扰。这些干扰电平由以下不同的禁准确定:

- MIL-STD-461C美国标准:
 <<机载的电磁干扰特性、要求>>
- MIL-STD-461D美国标准:
 <<控制电磁干扰辐射和灵敏度的要求>>
- MIL-STD-462美国标准:
 <<电磁辐射灵敏度测试方法>>
- DO-160C标准:
 <<机载设备环境条件和测试程序>>
- GAM-EG 13 B法国标准:
 <<Essais Generaux et Environnement des Materiele>>
- Def-stan59-41美国标准
 <<电磁兼容性1-7部份>>
 - 传导辐射
 - 传导灵敏度
 - 发射辐射
 - 发射灵敏度

单独的GAIA DC/DC变换器模块可以承受这些要求的一部份, 为了完全满足MIL-STD-461的要求, GAIA变换器必须加入前端滤波器组件KG9501。

3.1 前端滤波器组件KG9501电路

GAIA DC/DC变换器模块或前置稳压器模块的输入端, 加上EMI前端滤波器组件KG9501, 如下图所示。可完全满足MIL-STD-461C标准的要求。



详细说明参看KG9501数据表

共模噪声电容 $C_c = 10nF$

3.2 外接滤波器组件KG9501满足电磁兼容的要求

特性	MIL-STD-461C	MIL-STD-461D	GAM EG 13	DO 160C	单独模块 (和共模噪声电容)	带KG9501的模块
传导辐射 低频30Hz~15KHz 带宽15KHz~50MHz	CE 01 CE 03	CE 101 CE 102	62 C1 62 C2	21节	CE 01 /	CE 01 CE 03
传导灵敏度 带宽1.5Hz~50KHz 带宽50KHz~400MHz	CS 01 CS 02	CS 101	62 C1 63 C2	20节	/ /	CS 01 CS 02
发射辐射 带宽30Hz~15KHz (H场) 带宽14KHz~1GHz (E场)	RE 01 RE 02	RE 101 RE 102	62 R1 62 R3	21节	RE 01 RE 02	RE 02 RE 02
发射灵敏度 带宽30Hz~50KHz 带宽14KHz~10GHz	RS 01 RS 03	RS 101 RS 103	63 R1 63 R3	20节	RS 01 RS 03	RS 01 RS 03

4. 输出噪声

即使在最好的条件下, 输出噪声的测量都是非常困难的。GAIA变换器专门应用说明“输出纹波与噪声”对噪声测试有详细介绍。

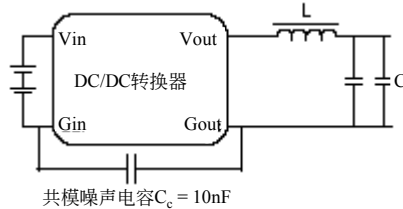
4.1 GAIA模块的输出噪声

各种输入电压的GAIA DC/DC变换器模块, 最大输出噪声如下表所列。

输出电压	输出噪声
3.3-5V	40mVp-p(使用20MHz带宽示波器)
12V	50mVp-p(使用20MHz带宽示波器)
15V	60mVp-p(使用20MHz带宽示波器)

4.2 GAIA模块外加滤波器时的输出噪声

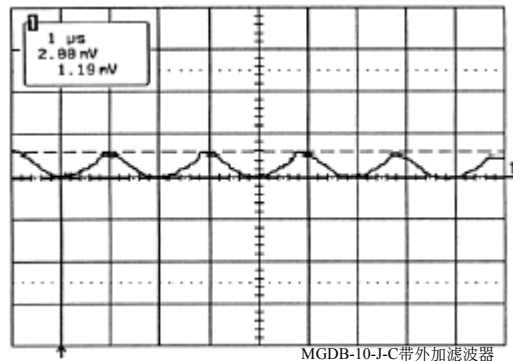
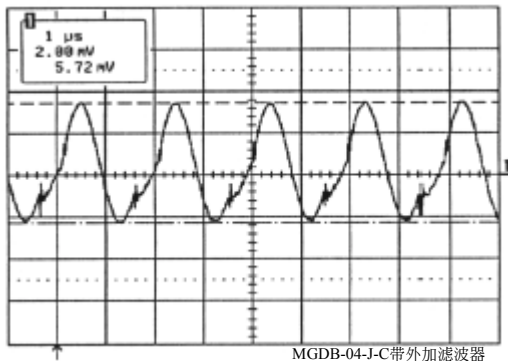
输出噪声满足不了要求时, 每只GAIA变换器模块都应加入简单的LC输出滤波器和共模滤波电容, 如下图所示。



输出电流	小於1A	1A-2A	2A-9A	
电感L	4.7 μH , D01608C	1 μH , D01608C	1 μH , D03316C	
输出电压	0-5V	12V	15V	24V
电容C的容量	47 μF /10V 钽电容 293D476	22 μF /20V 钽电容 293D226	10 μF /35V 钽电容 293D106	10 μF /35V 钽电容 293D106
电容的数量	每2A一只电容	每1A一只电容	每0.7A一只电容	每0.7A一只电容

加入该滤波元件後, 输出噪声如下表所列, 输出噪声的变化如下图所示。

输出电压	外加滤波器後的输出噪声
3.3和5V	<10mVp-p(使用20MHz带宽示波器)
12V	<10mVp-p(使用20MHz带宽示波器)
15V	<10mVp-p(使用20MHz带宽示波器)



5. 满足环境条件的要求

航空和军用电子系统, 根据其应用的场所, 都要求较高的环境条件。这些条件由各种不同的标准确定, 其中最常用的禁准有:

- RTCA/DO-160C标准
 <<机载设备环境条件和测试程序>>
- MIL-STD-810美国标准
 <<环境测试方法>>
- MIL-STD-202美国标准
 <<环境测试方法>>
- MIL-STD-883美国标准
 <<筛选程序>>
- GAM-EG 13 B法国标准
 “Essais de comptabilite a lenvironnement climatique, mecanique”
- BS3G100英国标准
 <<环境条件测试方法>>

为了验证GAIA变换器模块的适用性, 法国防护机构CELAR在独立的实验室内进行了完整的质量鉴定试验, 试验结果如下表所列。

试验参数	MIL-STD-810D	DO-160C	GAIA DC/DC变换器符合规格
工作温度范围	方法 501.2、502.1	4节	-40°C/+105°C外壳 -40°C/+85°C环境
存储温度范围	方法 501.2、502.1	4节	-55°C/+125°C
热冲击	MIL-STD-883C 方法1010	5节	循环次数: 200 温度: -40°C/+105°C 转换时间: 20秒
热循环	MIL-STD-883C 方法1010	5节	循环次数: 200 温度范围: -40°C/+85°C 转换时间: 40分钟 稳态时间: 20分钟
海拔	方法 500.3 程序III	4节	40,000英尺, 整体工作 1,000英尺/分钟至70,000英尺, 整体工作
湿度	方法 507.2	6节	湿热: 88%H.R. 循环: 240小时
盐雾	方法509.1	14节	持续期: 40小时
振动 频率范围 加速度	方法514.3	8节	3轴向 频率: 10至60Hz/60至2KHz 加速度: 0.7mm/10g
冲击(半正弦) 峰值加速度 持续期	方法 516.3 程序V	7节	3轴向 峰值加速率: 100g 持续期: 6ms
撞击	方法 516.3	8节	每个方向撞击2000次 持续期: 6ms 峰值加速度: 40g



6. 热管理

GAIA变换器模块给定最高外壳温度为105°C。该壳温相应的内部元件温度远低于它的最高结温(设计降额温度)。通常,对设计者来说,环境条件都是用周围温度来表示的,为了迅速判定这个环境条件是否与最高壳温一致,首先应计算变换器的功耗,该功耗可按下式计算:

$$P_{\text{dissipation}} = P_{\text{out}} / \text{efficiency} - P_{\text{out}}$$

(每种模块的效率由技术数据给出)

GAIA每种高可靠变换器都提供外壳到环境的热阻Rth(单位为°C/W)。这样,最高环境温度可由下式给出:

$$T_{\text{ambient}} = 105^{\circ}\text{C} - P_{\text{dissipation}} * R_{\text{th}}$$

式中,环境温度的单位为°C

例如,采用MGDM-10模块,该模块为10W变换器,效率为86%,在最坏条件下(静止空气)该模块的热阻Rth为12°C/W,环境温度应为:

$$T_{\text{ambient}} = 105^{\circ}\text{C} - (10/86\% - 10) * 12 = 85^{\circ}\text{C}$$

如果计算出的环境温度与要求的温度不一致,应当采取以下措施降低热阻:

- 加散热器
- 强制风冷
- 加大印刷电路的面积

为了降低温度,GAIA变换器模块的外壳应直接与散热器相接。

下图给出的应用实例中,模块的导热金属外壳的顶部作散热器。

