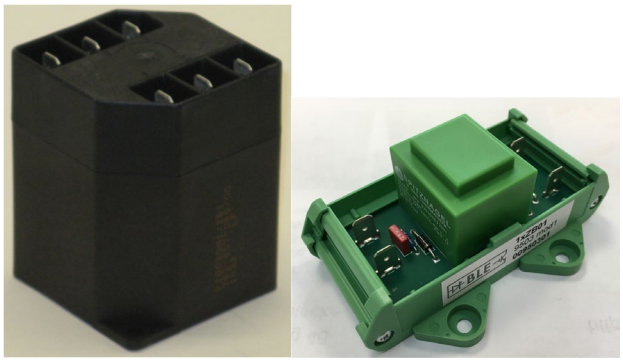
Infineon Technologies Bipolar
GmbH & Co. KG

电气触发晶闸管 ETT‘s







IFBIP TM，Juergen Schiele

2024.10.23

Infineon Technologies Bipolar
GmbH & Co. KG

摘要

电气触发晶闸管

双极型半导体如晶闸管的触发有着悠久的历史。晶闸管历经几十年的发展，早已不可与 20 世纪 60 年代的早期产品相提并论了，因为包括电压和电流在内的所有重要的参数都得到了显著提升。然而其他特性还需要继续调整，如雪崩能力和触发行为。本文概述了如何触发现代标准和高功率、高压晶闸管，并简要介绍了应用要求。通用信息请参阅 AN 2012-01。如需详细了解光触发晶闸管的触发，请参阅 AN 2018-07。



图 1. B6C 型带熔断器和触发变压器的整流器

Infineon Technologies Bipolar GmbH & Co. KG

文档修订历史

修订内容	备注	修订者	修订日期
文档创建		Juergen Schiele	20180822

目录

1 触发电触发晶闸管（ETT's） 3

2 晶闸管栅极技术 3

2.1 标准栅极 3

2.2 放大栅极 4

2.3 现代晶闸管的应用结论 5

3 ETT's 触发的一般性要求 6

3.1 触发数据 6

3.2 限制 7

3.3 静态栅极特征 7

3.4 运行条件下的动态栅极电流行为 8

3.5 其他重要的触发要求 9

3.6 建议的触发电流 10

3.7 针对晶闸管栅极的电磁干扰防护措施 12

4 晶闸管触发电路概念 12

4.1 ETT（非绝缘）的直接触发电路 1

4.2 ETT 的绝缘触发电路 1

4.2.1 ETT 的光学触发电路 1

4.2.2 ETT 的磁能触发电路 3

5 现代 ETT's 典型绝缘触发电路的设计建议 4

6 整控制通道典型 ETT 触发的可视化 1

7 应用要求 2

7.1 B6C 电路触发脉冲的可视化 2

7.2 W3C 电路的触发脉冲 3

8 控制单元要求 3

9 适用的触发变压器/触发电路示例： 3

9.1 特殊触发变压器 4

10 一体化控制器示例 5

11 标准 0

12 缩略词 0

13 表格目录 0

14 图片目录 0

15 控制器和触发电路供应商 1

16 品牌 1

17 使用条款 1

18 声明 2

19 参考文献 2

1 触发电触发晶闸管（ETT's）

双极型半导体（如晶闸管）的触发有着悠久的历史。晶闸管历经几十年的发展，早已不可与 20 世纪 60 年代的早期产品相提并论了，因为包括电压和电流在内的所有重要的参数都得到了显著提升。然而其他特性还需要继续调整，如雪崩能力和触发行为。本文概述了如何触发现代标准和高功率、高压晶闸管，并简要介绍了应用要求。通用信息请参阅 AN 2012-01。如需详细了解光触发晶闸管的触发，请参阅 AN 2018-07。

2 晶闸管栅极技术

能否合理触发晶闸管依赖于晶闸管的栅极技术。英飞凌提供两种晶闸管栅极技术：标准栅极和改进放大栅极。改进放大栅极针对中功率和高功率应用提供不同的可选项。

2.1 标准栅极

历史上所有晶闸管都配备有标准栅极。触发晶闸管需要明确定义高陡度脉冲、高源电压和高栅极电流。如今，直径< 31mm 的晶闸管芯片才配备这种栅极，但 AMPT 芯片除外。直径< 31 毫米的芯片通常使用于 20 或 34mm 功率模块以及直径<= 42 毫米的 disc 封装中。因为所有所需的触发能量都必须由触发单元提供，所以这些晶闸管在弱栅极电流或软触发时起到更为关键的作用。

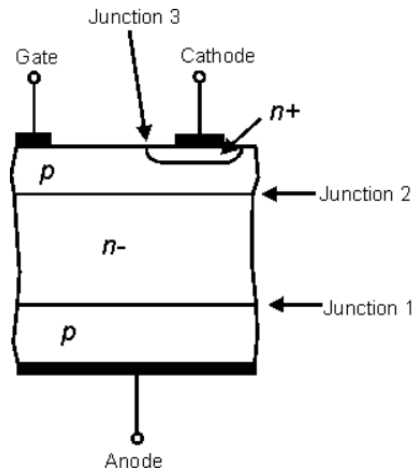


图 2. 标准栅极晶闸管的物理栅极结构

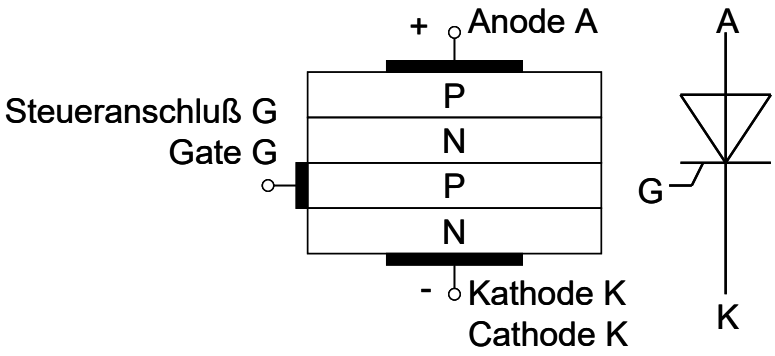


图 3. 标准栅极的晶闸管的垂直原理图。等效电路

2.2 放大栅极

触发大功率栅极脉冲需要高能量栅极脉冲。为降低触发难度，现代晶闸管的内部栅极配备了级联辅助晶闸管（见图 4）。具有放大器栅极的晶闸管在弱栅极电流下运行更为稳健，因为其主要的触发能量将由栅极电流放大器通过阳极电压生成。仅第一个（非常小的）放大晶闸管需要安全触发。触发信号的要求由第一个辅助晶闸管规定。在早期导通阶段（1-2µs），第一个辅助晶闸管会承受主电路的 di/dt。放大晶闸管（如果存在），及主晶闸管会按照正确的设计方式、独立于外部栅极电流的模式开启。

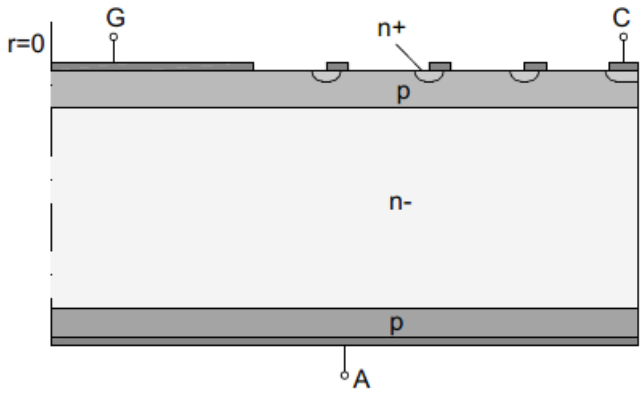


图 4. 放大栅极晶闸管的物理栅极结构（三个放大辅助晶闸管）

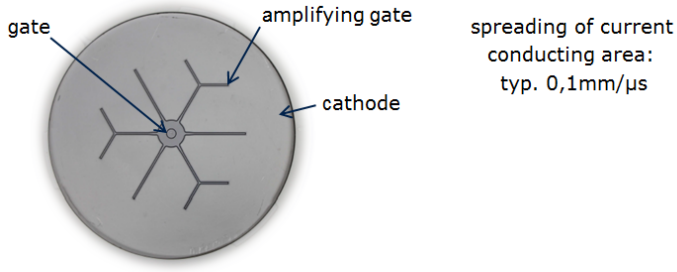


图 5. 放大栅极晶闸管阴极视图（一个放大辅助晶闸管）

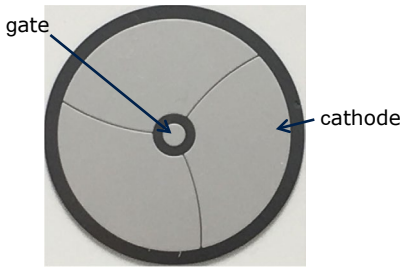


图 6. 标准栅极晶闸管的阴极视图

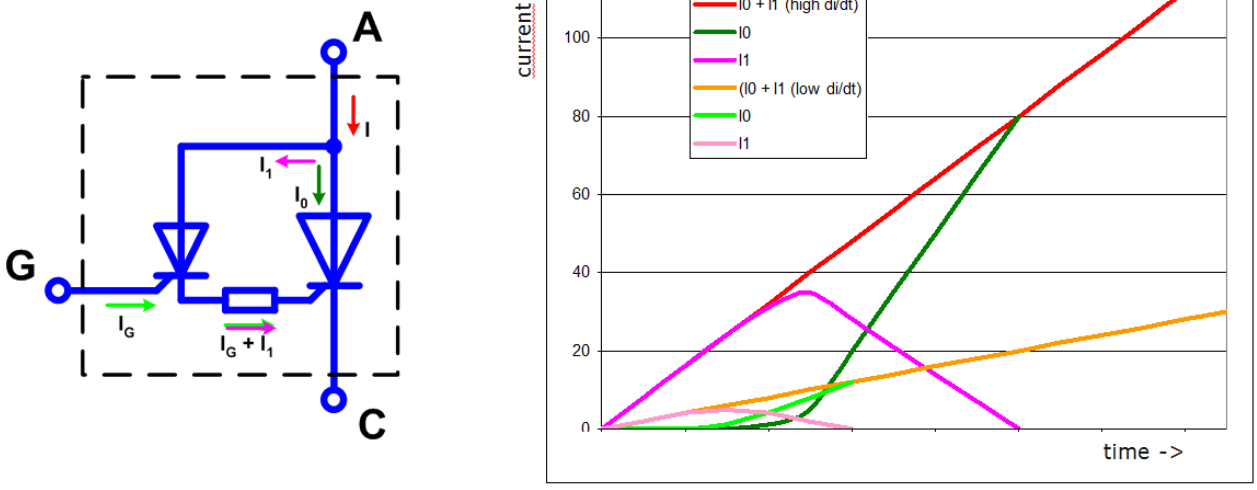


图 7. 触发放大栅极晶闸管。等效电路简图

2.3 现代晶闸管的应用结论

现代晶闸管所具备的特点能够系统设计带来多种优势。需要注意的是，晶闸管仍然是具有温度依赖特性的模拟组件，因此低温触发更为关键（例如：-25°C）。必须在整个操作温度范围内进行安全触发。

设计特性	优势	客户收益
放大栅极栅极放大	触发功率更小	尺寸更小、价格更低的触发电路
	更长的触发能量储存时间	尺寸更小、价格更低的触发电路
	减少软触发	更可靠的运行
	提高瞬态电流能力	更强大的系统设计
	更强的触发器稳健性	触发电路的设计的重要性降低
短路	dv/dt 能力增强	更强大的系统设计
雪崩条件下的行为	对 Vrrm 过电压有很强的抗性	更可靠的运行

表 1. 现代晶闸管的设计特点

3 ETT's 触发的一般性要求

3.1 触发数据

如需了解触发特性，请参阅数据表。如需详细了解指示符，请参阅 AN2012-01 [1]。

Zündstrom gate trigger current	T_{vj} = 25 °C, v_D = 12V	I_{GT}	max.	250	mA
Zündspannung gate trigger voltage	T_{vj} = 25 °C, v_D = 12V	V_{GT}	max.	2	V
Nicht zündender Steuerstrom gate non-trigger current	T_{vj} = $T_{vj\,max}$, v_D = 12V T_{vj} = $T_{vj\,max}$, v_D = 0,5 V_{DRM}	I_{GD}	max. max.	10 5	mA mA
Nicht zündende Steuerspannung gate non-trigger voltage	T_{vj} = $T_{vj\,max}$, v_D = 0,5 V_{DRM}	V_{GD}	max.	0,2	V
Haltestrom holding current	T_{vj} = 25°C, v_D = 12V	I_H	max.	500	mA
Einraststrom latching current	T_{vj} = 25°C, v_D = 12V, R_{GK} ≥ 10 Ω i_{GM} = 1 A, di_G/dt = 1 A/µs, t_g = 20 µs	I_L	max.	2500	mA
Vorwärts- und Rückwärts-Sperrstrom forward off-state and reverse current	T_{vj} = $T_{vj\,max}$ v_D = V_{DRM}, v_R = V_{RRM}	i_D, i_R	max.	150	mA
Zündverzug gate controlled delay time	DIN IEC 60747-6 T_{vj} = 25 °C, i_{GM} = 1 A, di_G/dt = 1 A/µs	t_{gd}	max.	4	µs

表 2. T1500N 的触发数据：示例。

这些数据描述了半导体的特性。真正的触发信号需要根据应用需求进行设计，因此需要对参数进行额外的考量。另见[1]

缩写	指示符	建议值	注释
I_G	栅极电流栅极电流	0,12 – 0,35A	参照所用晶闸管对应的数据表。栅极电流进阶设计的基础
di_G/dt	栅极电流摆率	0,5 – 1µs 至 i_{GM}	1-6 A/µs，具体取决于晶闸管的参数数据表。
i_{GM}	峰值栅极电流	8-10*I_G 高达 3.5A	取决于晶闸管
i_{G_roof}	屋顶栅极电流	2-4* I_G 高达 1,4A	取决于晶闸管
t_G	触发脉冲的持续时间	30-100µs	根据负载电路的电流上升时间
V_L	控制电路的开路电压	尺寸<30mm 的芯片：>30V 尺寸>30mm 的芯片：>12V	尺寸<30mm 的芯片：通常配备标准栅极。见 2.1
t_{G_min}	绝对最小栅极触发脉冲持续时间	10µs	不允许使用较短的脉冲，否则晶闸管会因为无法完全导通而受损
t_{gd}	栅极控制延迟时间	2 - 4µs	参照所用晶闸管对应的数据表。另见图 10。
t_{iGM}	栅极电流峰值的绝对最小时间	2 - 4µs	同所用晶闸管的栅极控制延迟时间。另见 $_{gd}$

表 3. 建议应用的触发数据

3.2 限制

反向操作时，禁止触发晶闸管，否则栅极电流值会不受控地增加，导致无法把控栅极的功率耗散。见第 3.3 章。此外，阻断损耗也会增加，从而增加整个转换器的损耗。

3.3 静态栅极特征

每款晶闸管的静态栅极特性都可通过相应的数据表查阅。

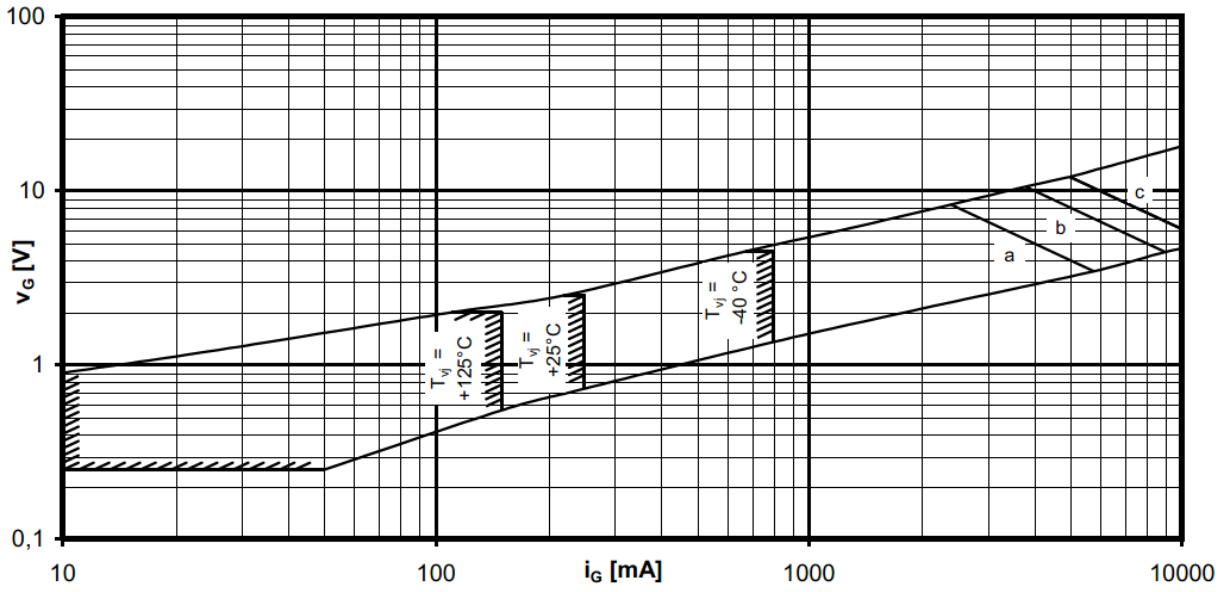


图 8. 控制特性示例

示例展示了晶闸管（V_G=f(i_g），触发电压区域为 V_D=12V）输入特性的统计分布极限。输入特性分布中详细列出了温度依赖的触发区，以及最大允许栅极功率耗散 P_{GM} 的曲线（a – 20W/10 ms, b – 40W /1 ms, c – 60W/0.5 ms）。

运行条件下的动态行为可能会有所不同。

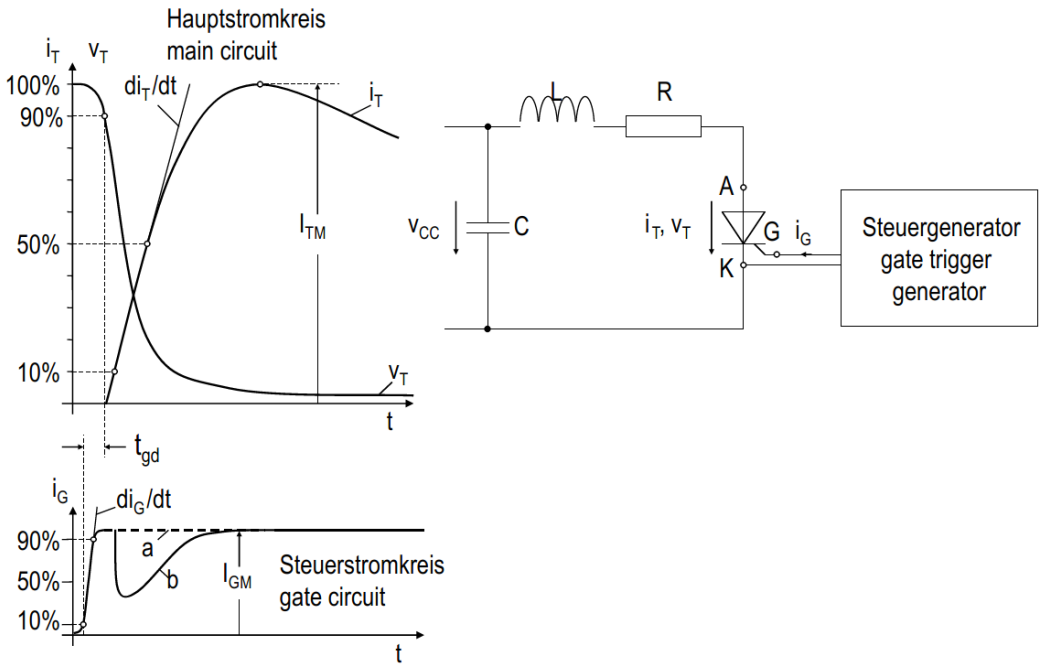
3.4 运行条件下的动态栅极电流行为

在正向导通电压 v_D 下，导通由摆率为 di_G/dt 和幅度为 i_{GM} 的栅极电流启动。在栅极控制延迟时间 t_{gd} 内，晶闸管的阻断电压下降到 90%（见图 9）。

在晶闸管导通初期，仅栅极附近的区域有电流通过，导致了高电流密度和电压的升高（见图 6）。带有峰值电流和强 di/dt 的栅极触发脉冲有助于晶闸管的正确导通。

对于带有放大栅极的晶闸管，图 7 的内部栅极电阻电压降会影响触发电流。由于内部耦合，该电压也会出现在控制端，从而导致删极触发电流的暂时下降（见图 9）。

为防止对触发电路产生反馈影响，需要在触发电路中添加去耦二极管（见图 22）。为避免栅极脉冲过低，可能需要通过提高触发电路的开路电压 V_L 进行补偿。这对于带有放大栅极的晶闸管尤为重要（见第 2.2 章）。在辅助晶闸管的早期导通阶段，主电路特定的 di/dt 可能会对其造成损害。针对低温（如-25°C）应用，触发电路的开路电压需达到 30V。可以降低开路电压，但需要在转换器的类型测试中检查所有应用参数是否能正确触发。



Schematic representation of a thyristor turn-on process
a - gate current with turned off load circuit
b - gate current with steeply rising on-state current

图 9. 阳极电流对栅极电流的影响

3.5 其他重要的触发要求

只有当阳极电流大于锁定电流 I_L 时，晶闸管才会保持导通

如果栅极触发电流过低，晶闸管可能会因导通面积的限幅而损坏，该现象称为“软触发”。软触发也可能由于触发脉冲过小或电磁干扰引起。

对于晶闸管的并联或串联，需要高、陡峭的上升脉冲和同步触发脉冲，以实现均衡导通。另请参阅图 10 中的栅极控制延迟时间值分布。

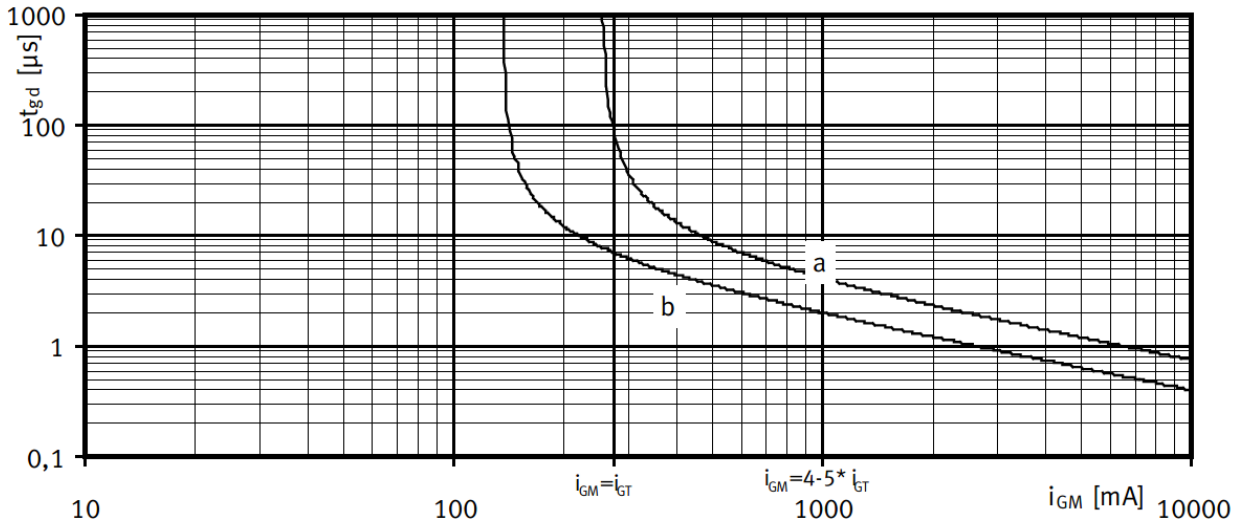


图 10. 栅极控制延迟时间 tgd 与最大栅极电流 iGM 的典型时序关系（a=最大值，b=典型值）

t_{gd}是从栅极电流达到其最大值I_{GM}的10%，与阳极-阴极电压下降到应用的正向断态电压v_D的90%以下的时间间隔（见图9, 图10）。

t_{gd}与栅极电流值呈反比（见图10）。在高功率晶闸管中，t_{gd}还取决于v_D。数据表中给出的值是根据DIN IEC 60747-6定义的，适用于T_{vj}=25°C条件下的触发脉冲。

3.6 建议的触发电流

在常规应用的设计中，应根据与通态电流上升时间、栅极控制延迟时间和锁定电流相关的控制数据设计控制电路（见图 9）。对于栅极触发电流和栅极触发电压，数据表中的最小数据仅适用于对关断电流上升时间和栅极控制延迟时间有较低要求的应用。

若实际应用对电流上升时间和栅极控制延迟时间有较高的要求，可采用 4 到 5 倍的数据表 I_{GT}，以确保安全运行。

在一些关键应用的 i_{GT} 的过驱动可能比之前描述的更高。为此，应将栅极电流在时间 t_{GM} ≈ 10-20µs 内增加到 I_{GT} 的 8 到 10 倍，然后在 t_G 足够时间内以较低的振幅继续操作。

触发电路的开路电压应至少达到 30V，以确保无损耗栅极电流足够大。大多数触发变压器的开路电压仅为约 12V。在型式测试期间，需要根据数据手册和图 9 检查栅极电压是否高于最小栅极电压。

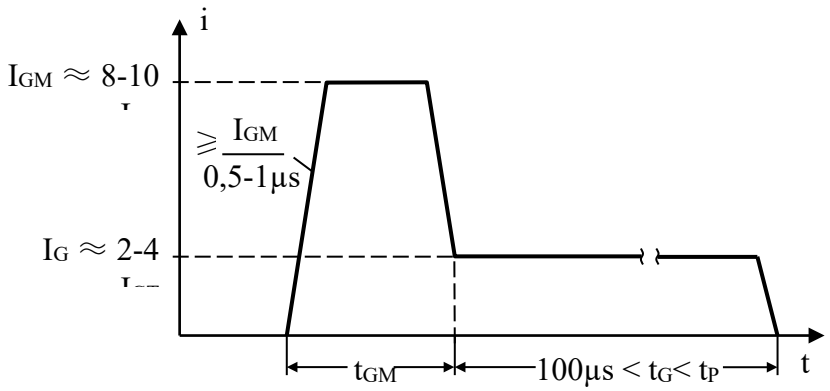


图 11. 针对复杂应用，建议的理想触发电流

所用术语：

缩写	指示符	建议值	注释
I_G	栅极电流	0,12 – 0,35A	根据所应用晶闸管的数据表
di_G/dt	栅极电流摆率	0,5 – 1µs 至 i_{GM}	1-6 A/µs，具体取决于晶闸管的参数数据表。
i_{GM}	峰值栅极电流	8-10*I_G 高达 3,5A	取决于晶闸管
t_{GM}	峰值栅极电流持续时间	10-20µs	取决于晶闸管和应用
i_{G_roof}	屋顶栅极电流	2-4* I_G 高达 1,4A	取决于晶闸管
t_G	触发脉冲的持续时间	30-100µs	根据负载电路的电流上升时间
V_L	控制电路的开路电压	>30 V	导通期间，如果 i_G 不低于 I_G，允许使用 12V。见第 3.4 章
t_{G_min}	绝对最小栅极的触发脉冲持续时间	10µs	不允许使用较短的脉冲，否则晶闸管会因为无法完全导通而受损
t_{gd}	栅极控制延迟时间	对于大 di/dt、串联或并联运行的晶闸管，应尽可能短。	参照所用晶闸管对应的数据表。另见图 10。

表 4. 触发值的缩写和指示符

3.7 针对晶闸管栅极的电磁干扰防护措施

在功率变换器中，主电路会发生陡峭的电流电压变化。控制端受到控制线路和控制电子元件受到电磁感应或电容性干扰，可能会出现干扰脉冲。因此，晶闸管会意外导通，导致系统故障。为减少干扰和避免故障，常规方案包括控制线路的扭绞和尽可能的缩短线路，以及对点火变压器和可能的控制电子设备进行防护屏蔽。另外，还可以对栅极引脚进行接线（见图12）。

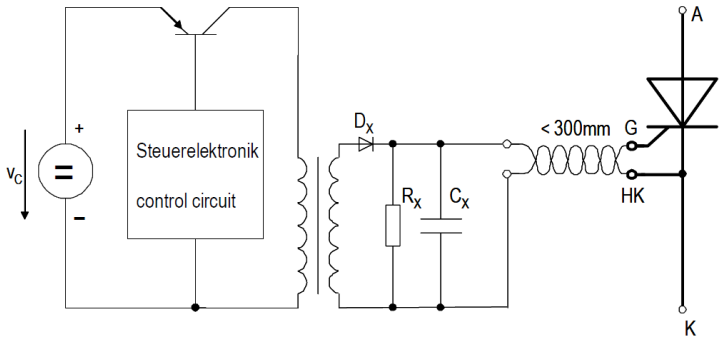


图 12. 晶闸管栅极的 EMI 防护

若使用标准功率晶闸管，建议如下：

- C_x = 10 ...47 pf

τ_X 对应的 $R_x = R_x C_x$ = 10 .. .20 µs

D_x 快速二极管

必须保留放电电阻 R_x，否则晶闸管的一些数据（如临界电压变化率$(dv/dt)_{cr}$）可能会受损。如果布线对控制电流的走向有不利影响，则必须在确定控制发电机的尺寸时加以考虑。如需进一步了解栅极驱动器设计，请参阅第 5 章。

4 晶闸管触发电路概念

不同的应用领域需要不同的晶闸管触发方案。触发电路除了提供所需的触发能量外，还必须确保线路供电电路与控制电路之间的必要绝缘。

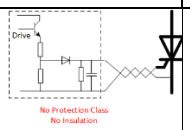
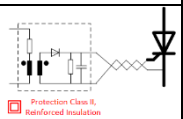
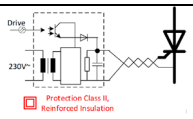
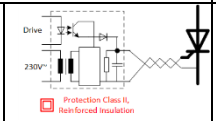
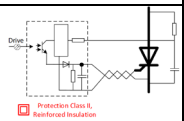
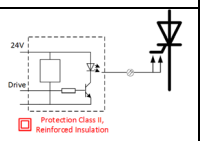
	晶闸管触发电路的概念					
	ETT					LTT
概念	直接	全磁性	磁能，光信号驱动		能量解耦，光信号驱动	全光学
触发电路						
接口	直接耦合	点火变压器（单磁芯）	变压器，光纤电缆	变压器，光耦合器	直接耦合	光纤光缆
可实现控制器绝缘	否	强化	强化	强化	强化	强化
驱动信号	电气	电气	光学（LED、激光二极管和 POF[1]、GOF[2]）	电气	光学（LED、激光二极管和 POF、GOF）	光学（激光二极管和 GOF）
脉冲模式	模块 脉冲序列	模块， 脉冲序列	模块， 脉冲序列	模块， 脉冲序列	模块， 脉冲序列	单脉冲、 脉冲序列
脉冲长度	0,5 ms， 33µs，10 kHz	0.5 ms 33µs，10 kHz	0.5 ms 33µs，10 kHz	0.5 ms 33µs，10 kHz	0.5 ms 33µs，10 kHz	10 µs 10µs，6 kHz
变换器电路（如）	单个晶闸管， 共阴极半控电路	B6C， W3C	B6C， W3C	B6C， W3C	B6C， W3C	B6C， W3C
建议的工作电压：	LV 230V 均方根 ELV 65V 均方根	LV 和 MV 6kV 均方根	LV 和 MV 6kV 均方根	LV 400V 均方根	高达 800kV 的直流 HV	高达 800kV 的直流 HV

表 5. 晶闸管触发电路概念概述

[1]塑料光纤
[2]玻璃光纤

4.1 ETT（非绝缘）的直接触发电路

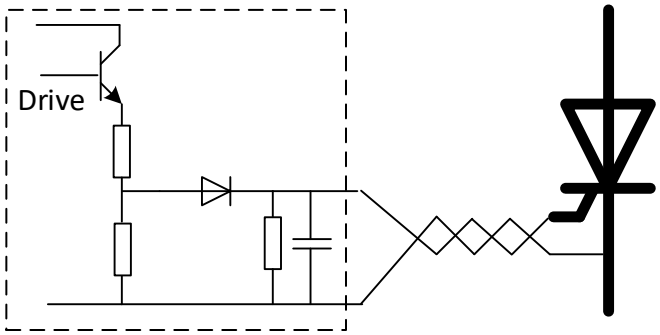


图 13. 晶闸管的直接触发

在低电压晶闸管变换器中，若控制系统的接口功能较少，通常不会在控制器与晶闸管功率级之间进行绝缘处理（例如，用于低成本软启动器）。仅适用于单个晶闸管或共阴极电路（半控电路）。控制电路和栅极驱动电路连接到晶闸管的阴极。若有必要，用户界面应通过光耦进行必要的绝缘处理。触发电流需求应根据应用需求来满足。

4.2 ETT 的绝缘触发电路

绝缘触发最重要的优势在于用户接口/控制器与晶闸管功率级（线路供电电路）之间实现了隔离。应根据应用、电网系统、线路电压和安装位置决定需求。对于某些应用来说，设计合适的绝缘确实是个挑战。安全隔离是必须满足的要求，这对中压应用是尤为重要的。而中压应用还必须满足 IV 类过电压要求（见 IEC 60950 和 IEC 60664-1）。后者只能通过磁脉冲传感器或光纤进行操作。高压系统需要根据阴极电位，从阳极电压中隔离触发能量，并通过光纤或直接光触发晶闸管。

要求	特征	优势	备注
安全绝缘	符合 IEC 60950、50178 和 60664-1 标准的绝缘防护	用户接口无触电风险	
耦合容量小	高抗干扰能力	晶闸管不会意外导通，不会软触发	
杂散电感小	高 di/dt 触发电流		
开路电压	>30V	晶闸管可在所有操作条件下安全启动	
尺寸小	小电压时序区		需要晶闸管的支持。小 t_{gd}。见第 3.6 章。
绝缘电压高	根据绝缘要求提供间隙、爬电距离、介质和 CTI	用户接口无触电风险	符合 IEC 60950、50178 和 60664-1 标准的绝缘防护
高瞬时功率传输	两个变压器站之间耦合良好。脉冲变压器与晶闸管之间的接口需优化。	晶闸管的快速安全启动	
工作温度范围：-40°C 至 85°C。		晶闸管可根据运行参数进行触发。	最关键的工作点是零下 40°C，需要高触发电流和快速的 $I_G$di/dt。
满足适用的一般和产品标准，例如 IEC 50178 驱动相关要求	正确的过压类别、正确的污染等级、正确的环境保护。	长期稳定、安全的运行	

表 6. 绝缘触发电路的要求

4.2.1 ETT 的光学触发电路

4.2.1.1 使用光耦合器

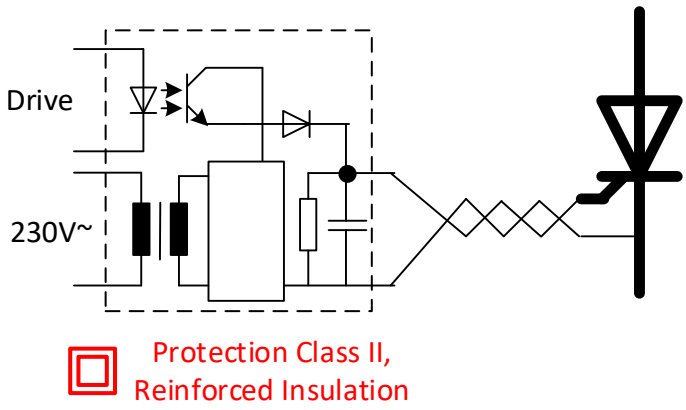


图 14. 利用光耦合器触发晶闸管

光耦触发允许长触发脉冲。由于强化绝缘光电耦合器的供应有限，因此操作电压会被限制（如 400 V_{rms}）。

4.2.1.2 利用光发送器、光纤和光接收器

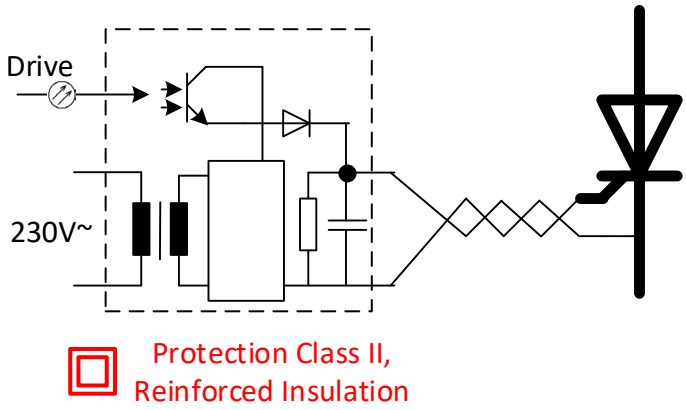


图 15. 利用光纤触发晶闸管

通过 LED、POF[3]和光接收器触发可实现长触发脉冲，触发板和控制器之间的接口受 EMI[4]保护，可实现短距离连接。

[3]塑料光纤
[4]电磁干扰

4.2.1.3 光发送器、光纤、光接收器、触发能量与阳极电压的解耦

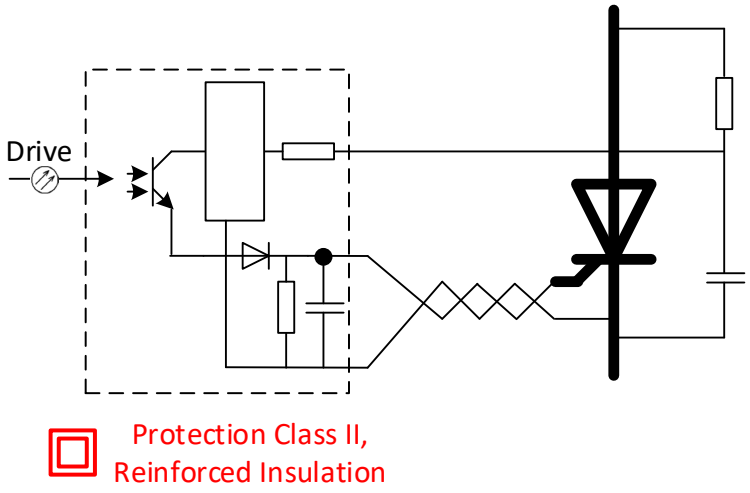


图 16. 基于从电源电路解耦的能量实现光学 ETT 的触发

这个触发电路的功能类似于直接光触发 LTT。每个 ETT 需要一个触发板。触发能量来自缓冲电路。其支持长触发脉冲，需要最小的阳极阴极电压，并能提供晶闸管状态信息。

4.2.1.4 激光二极管和光纤直接光学触发

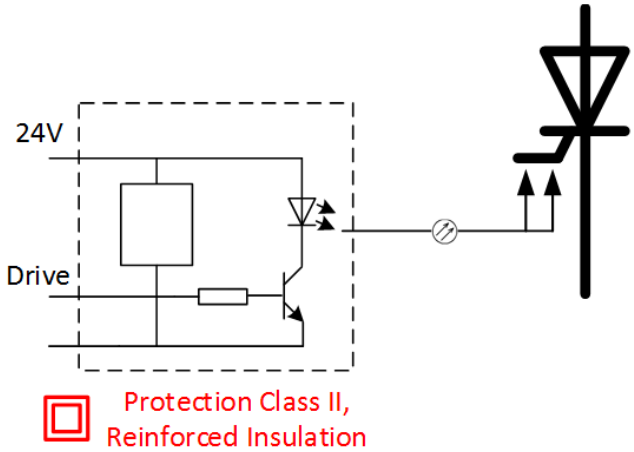


图 17. 直接光触发晶闸管

直接触发的 LTT 具备额外的保护功能。如需进一步了解，请参阅 AN 2018-07 “Triggering LTT’s"【7】。

4.2.2 ETT 的磁能触发电路

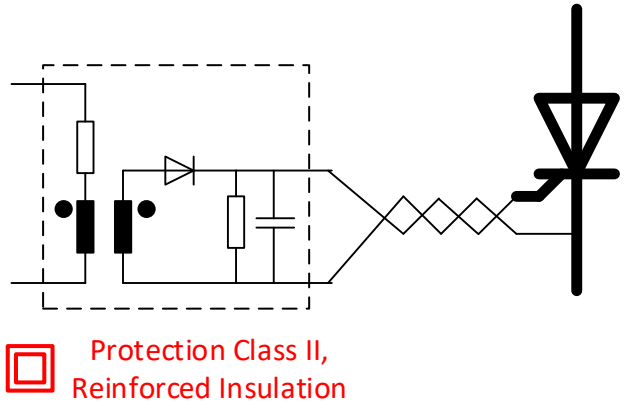


图 18. 带脉冲变压器的晶闸管触发器

这种触发电路将触发信号和触发能量的绝缘与一个元件（触发变压器）结合在一起。这是一个简单的触发概念，几乎适用于所有应用。过去主要使用长脉冲（块脉冲）触发变压器（B6C 电路为 0.5ms 至 1ms），而 W1C 电路中为 10ms（如需进一步获取具体应用信息，请参阅第 7 章）。过去的晶闸管由于低阳极电流，需要更长的时间才能正确锁定，因此会采用大电压时区的触发变压器。用于块触发脉冲的变压器较大，因此拥有更大的耦合能力（图 19）。该类变压器需要在初级和次级绕组之间添加防护，防护板需要接地（见图 22 和第 5 章）。



图 19. 触发变压器 ZB1，脉冲持续时间为 1ms，线电压为 690V（高*宽*深 = 60*40*40mm）

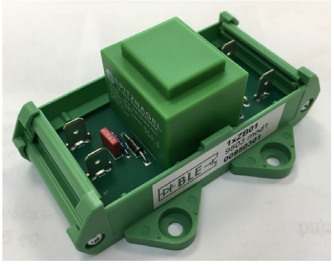


图 20. 触发变压器 ZB01，脉冲持续时间为 1ms，线电压有效值为 500V（高*宽*深 = 36*85*65mm）。

现代晶闸管更加灵敏，能够以较低的阳极电流快速闭锁，可以用脉冲序列触发。脉冲触发变压器体积更小，且耦合能力极低。图 21 展示了 VAC 公司用于挂载 PCBA 的脉冲串触发变压器示例[4]。电压上升时间约为 250µVs，脉冲持续时间约为 20µs。脉冲触发变压器通常用于低功耗应用，采用典型设计概念作为设计规范（见第 5 章）。

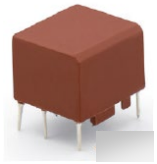


图 21. 触发变压器 ZKB 472/105-80，用于 10kHz 脉冲序列、500Vrms 线路电压（高*宽*深 = 13,5*17*18mm）

5 现代 ETT's 典型绝缘触发电路的设计建议

图 22 展示了 ETT 典型块触发电路。

触发变压器低压侧的供电电压需要根据变压器比、晶闸管系列以及应用需求进行调整。见第 7 章。该概念支持栅极电流的最大峰值（由 R_{G2} 和 C_{G2} 产生的可选峰值）。大触发变压器需要通过防护层来降低耦合能力。

触发器单元和晶闸管之间的电缆需要扭绞，以增强 EMI 能力。触发变压器的设计必须符合 EN 61140：防护等级 II 的强化绝缘标准。 Protection Class II, Reinforced Insulation

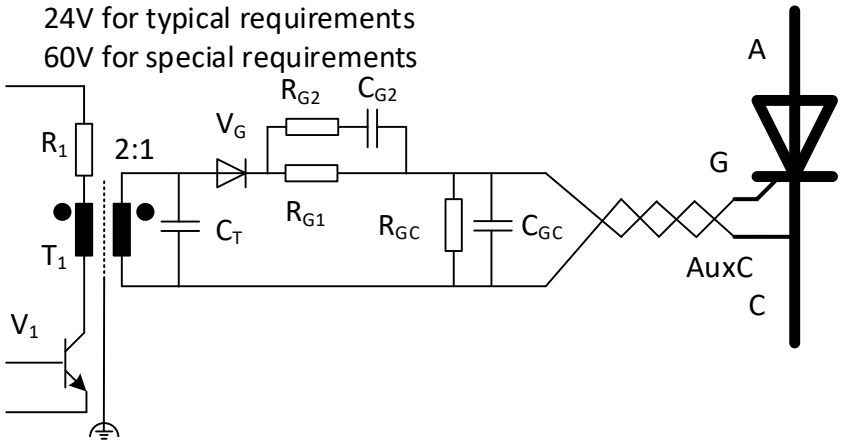


图 22. ETT's 绝缘触发电路的规格

零件	指示符	备注	典型设计	强化设计	
T_{vjop}	工作结温	根据应用	0 至 T_{vjmax}	-40 至 T_{vjmax}	°C
di/dt_{op}	操作 di/dt 负载电路	从应用角度	< 0,3 di/dt_{cr}	高达 di/dt_{cr}	A/µs
V_{supply}	触发电路供电电压	取决于变压器比率	24	60	V
V_L	触发器单元开路电压	取决于变压器比率	12	30	V
R_1	V1 的限流电阻	取决于 V1	4,7	6,8	欧姆
$T_{1\,ratio}$	带防护的变压器	防护可选	2:1	2:1	
t_{Pulse}	触发脉冲宽度		30	100	µs
t_{GM}	触发峰值脉冲宽度		10	20	µs
U^*t_{T1}	电压时区 T1	取决于变压器比率	> 0,72	6	mVs
V_1	由控制器驱动的触发晶体管	推荐的 MOS	>5A, >100V	>10A, >200V	
C_T	T1 谐振电容器，提升栅极电流的 dv/dt、di/dt		可选	需要针对触发变压器进行优化	nF
V_G	保护反馈电流二极管		快速二极管 >100V, 5A	快速二极管 >100V, 5A	
R_{G1}	栅极屋顶电流限值电阻器	取决于晶闸管	例如：6、8	例如：6、8	欧姆
R_{G2}	栅极峰值电流限制电阻	取决于晶闸管	可选	例如：6、8	欧姆
C_{G2}	峰值电流设计用电容器	取决于晶闸管	可选	5,6	µF
R_{GC}	增加 EMI 能力的电阻器		$\tau_X = R_x{*}C_x = 10..20$ µs		欧姆
C_{GC}	增加 EMI 能力的电容器		10-47	10-47	nF
$C_{T_coupling}$	变压器耦合容量		<100	<100	pF
PD	部分放电	取决于电网系统（TN、TT、IT）和对接地线电压	最高操作峰值电压下无局部放电	最高操作峰值电压下无局部放电	
V_{isol}	绝缘测试电压	符合 EN61140，EN60664-1、EN50178 标准	保护登记 II	保护等级 II	

表 7. 绝缘触发电路的参考设计

6 整控制通道典型 ETT 触发的可视化

图 23 显示了从相位差控制逻辑开始到晶闸管栅极结束的整个触发通道。整个信号路径的工作原理在细节上是协调一致的。

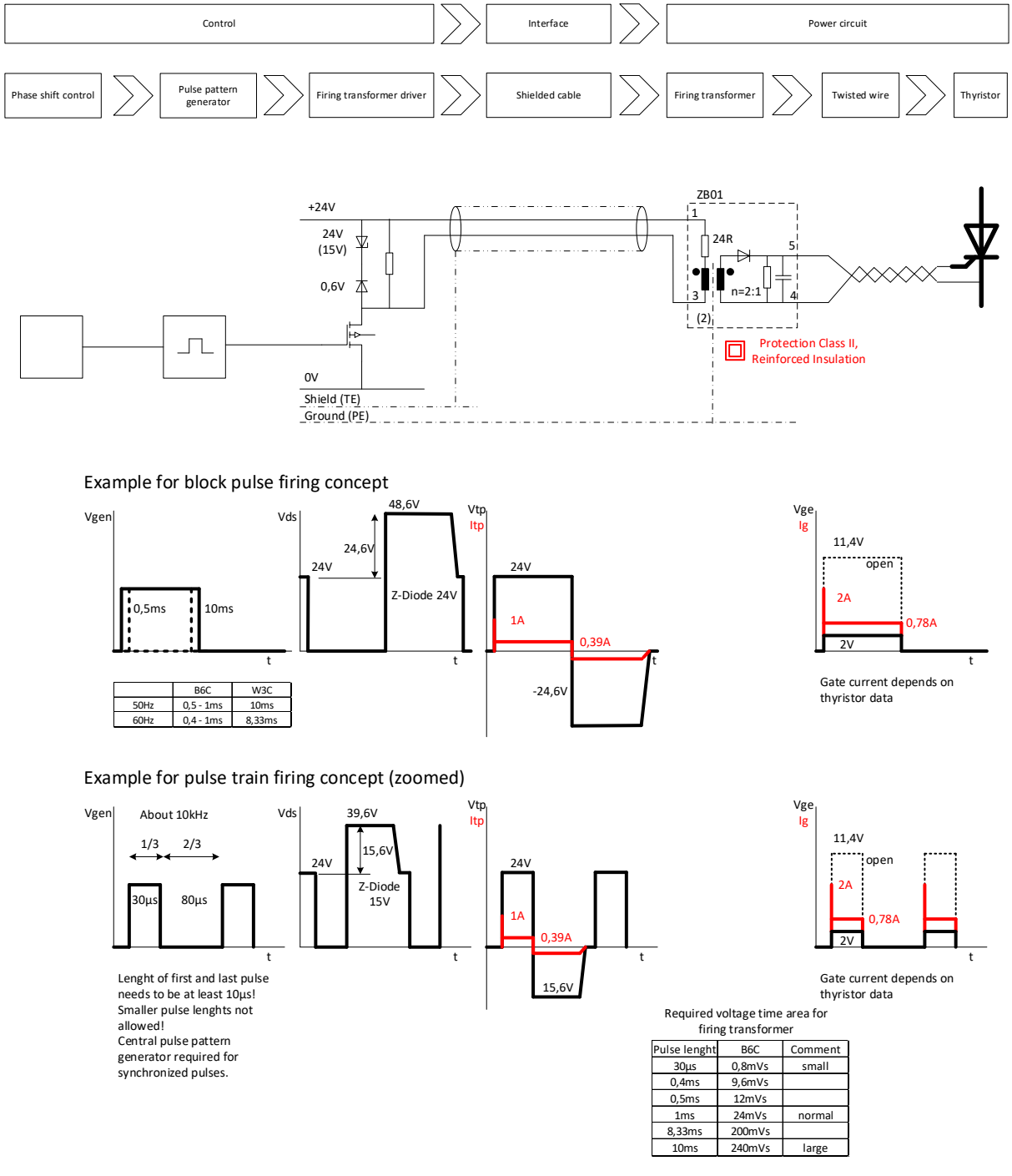


图 23. 脉冲变压器电气触发，整个控制通道

7 应用要求

7.1 B6C 电路触发脉冲的可视化

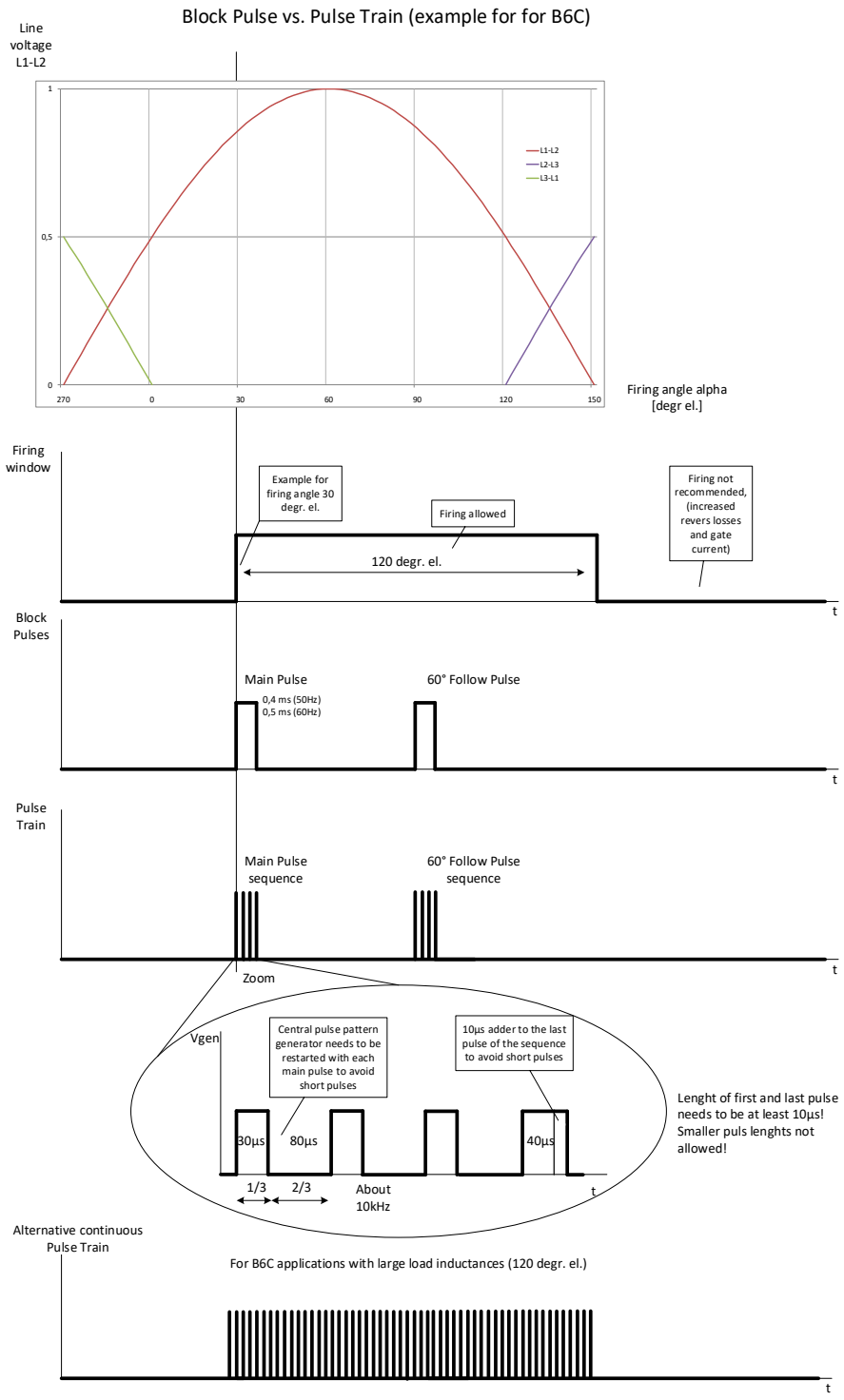


图 24. B6C 应用的块脉冲和脉冲序列触发

7.2 W3C 电路的触发脉冲

W1C 和 W3C 电路中的晶闸管需要更长的脉冲才能正确触发。晶闸管在整个可能的导通时间内（50Hz 时为 10ms，60Hz 时为 8.33ms）必须接收到触发脉冲，以此确保阳极电流。若使用单脉冲，W1C 或 W3C 可能会因负载而无法处理电流。

8 控制单元要求

控制器需要生成所有保护时间。在触发板上生成保护时间增加控制负载的难度。整个触发通道必须对短脉冲进行抑制。 特别是在脉冲序列中，所有晶闸管的脉冲必须同步，否则负载电流无法启动。在反向电压期间，不得触发晶闸管，否则反向损耗将增加，栅极损耗可能会超过允许值。

9 适用的触发变压器/触发电路示例：

负载类型：阻抗、电感

驱动器	**线路电压** [V_{rms}]	**触发概念** **能量/信号**	**脉冲类型，** **时长** t_G	**供电电压** V_{Supply}	**开路电压** V_L [V]	**设计，** **注释**
ZKB 472/105-80 *) 图 21	500	全磁性	脉冲序列 20µs	24 V_{avg}	12	典型，仅变压器
ZB01 **) 图 20	500	全磁性	模块，1ms	24 V_{avg}	11,4	典型值
ZB1-2365 图 19	690	全磁性	模块，1ms	24 V_{avg}	11,4	典型值
ZB1-12526 图 19	690	全磁性	模块，0,4ms	150/60 V	22/8,8	强化
ZB10 **) 图 19	690	全磁性	模块，10ms	24 V_{avg}	11,4	典型值
ZB1 **) 图 19	1000	全磁性	模块，1ms	24 V_{avg}	11.4	典型值
TGD1 *** 图 25	1000	全磁性	续	15 V_{avg}	30	强化值，反馈信号
ZHV400-2 **) 图 26	2000	全磁性	模块，0,4ms	24 V_{avg}	11.4	典型值

ZB1/10-3500-LWL **)	3500	230V 变压器/ POF[5]	模块，9ms	230 V_{rms}	11	典型值
2xZB1/10-3500-LWL **)	3500	230V 变压器/ POF	模块，9ms	230 V_{rms}	11	典型值
2xZB1/10-6600-LWL **)	6600	230V 变压器/ POF	模块，9ms	230 V_{rms}	11	典型值

表 8. 适用的触发变压器和触发电路示例

*）VAC 产品，德国汉诺瓦（Hanau）

**）BLE 产品，德国瓦尔施泰因（Warstein）

***）IB Billmann 产品，德国埃姆斯基兴（Emskirchen）

9.1 特殊触发变压器

IB Billmann 公司的 TGD1 可提供长脉冲和状态信号[10]。见图 25。



图 25. 长脉冲状态信号触发电路 TGD1

BLE 公司的 ZHV400-2 专为功能块脉冲设计，可承受 2kVrms 线电压，并在两个绕组之间提供防护[11]。见图 26。



图 26. 用于块脉冲和 2kVrms 线电压的触发电路 ZHV400-2

BLE 的 2xZB1-10-3500-LWL 由 POF[6]驱动，适用于块脉冲和 3,5kVrms 线电压。见图 27

[5]塑料光纤

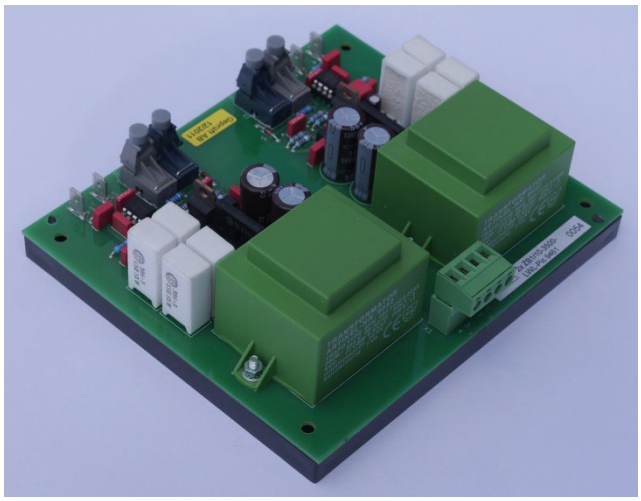


图 27. 2xZB1-10-3500-LWL

10 一体化控制器示例

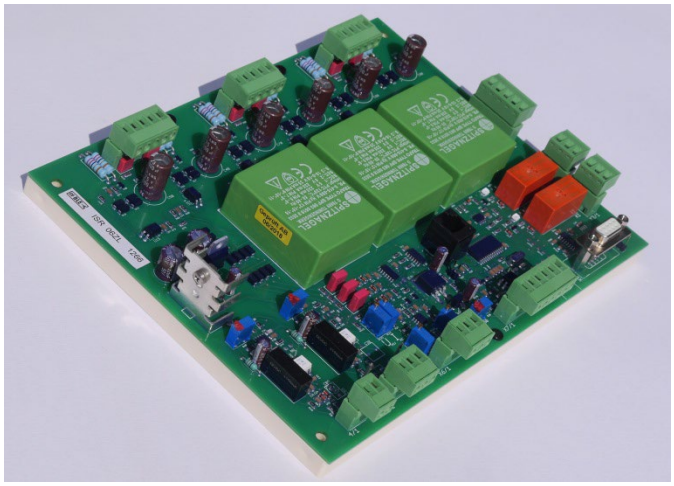


图 28. 用于 BLE 晶闸管转换器的控制器和触发电路 ISR06ZL

ISR06ZL 三相控制系统能够控制所有常见整流电路，如 B6C、M3.2C、M6C、B6HC 和 W3C，适用于电阻或感应负载，以及最高 400Vrms 线电压。该控制系统在底座的 PCBA 板上集成了控制电子元件和变压器，提供长达 10ms 的块脉冲，采用磁能量/信号触发概念。

[6]塑料光纤

11 标准

晶闸管组件是终端产品的组成部分。

它基于安装在散热片上的半导体，由于功能过于简单，不足以构成完全功能的终端产品，因此，需要为此制定应用基本标准。其中，IEC60664 绝缘配合标准最为重要，它详细描述了电气间隙和爬电距离的相关要求。

此外，产品标准中的 IEC 62040-3 适用于 UPS，IEC 61800-5-1 适用于 VSD[7]和[1]变速驱动器

适用于 EN 60146-1-1 半导体变换器—通用要求及电网换相换流器（LCC）。

12 缩略词

详见 AN2012-01。[1]

13 表格目录

表 1. 现代晶闸管的设计特点 6

表 2. T1500N 的触发数据：示例。 6

表 3. 建议应用的触发数据 7

表 4. 触发值的缩写和指示符 11

表 5. 晶闸管触发电路概念概述 0

表 6. 绝缘触发电路的要求 0

表 7. 绝缘触发电路的参考设计 1

表 8. 适用的触发变压器和触发电路示例 4

14 图片目录

图 1. B6C 型带熔断器和触发变压器的整流器 1
图 2. 标准栅极晶闸管的物理栅极结构 3
图 3. 标准栅极的晶闸管的垂直原理图。等效电路 4
图 4. 放大栅极晶闸管的物理栅极结构（三个放大辅助晶闸管） 4
图 5. 放大栅极晶闸管阴极视图（一个放大辅助晶闸管） 5
图 6. 标准栅极晶闸管的阴极视图 5
图 7. 触发放大栅极晶闸管。等效电路简图 5
图 8. 控制特性示例 8
图 9. 阳极电流对栅极电流的影响 9
图 10. 栅极控制延迟时间 tgd 与最大栅极电流 iGM 的典型时序关系（a=最大值，b=典型值） 10
图 11. 针对复杂应用，建议的理想触发电流 11
图 12. 晶闸管栅极的 EMI 防护 12
图 13. 晶闸管的直接触发 1
图 14. 利用光耦合器触发晶闸管 1
图 15. 利用光纤触发晶闸管 1
图 16. 基于从电源电路解耦的能量实现光学 ETT 的触发 2
图 17. 直接光触发晶闸管 2
图 18. 带脉冲变压器的晶闸管触发器 3
图 19. 触发变压器 ZB1，脉冲持续时间为 1ms，线电压为 690V（高*宽*深 = 60*40*40mm） 3
图 20. 触发变压器 ZB01，脉冲持续时间为 1ms，线电压有效值为 500V（高*宽*深 = 36*85*65mm）。 3
图 21. 触发变压器 ZKB 472/105-80，用于 10kHz 脉冲序列、500Vrms 线路电压（高*宽*深 = 13,5*17*18mm） 4
图 22. ETT's 绝缘触发电路的规格 4
图 23. 脉冲变压器电气触发，整个控制通道 1

图 24. B6C 应用的块脉冲和脉冲序列触发 2
图 25. 长脉冲状态信号触发电路 TGD1 4
图 26. 用于块脉冲和 2kVrms 线电压的触发电路 ZHV400-2 4
图 27. 2xZB1-10-3500-LWL 5
图 28. 用于 BLE 晶闸管转换器的控制器和触发电路 ISR06ZL 5

15 控制器和触发电路供应商

BLE，Warstein，Germany
IP Billmann，Emskirchen，Germany

16 品牌

BLE，IB Billmann，VAC

17 使用条款

本文档所含的数据仅供经过专业技术培训的人员使用。客户自身的技术部门有义务对于产品是否适宜于其预期的应用和针对该等应用而言本文档中所提供的信息是否充分自行予以评估。
我们对产品及其性能不做任何担保。
如需了解更多关于产品特性和应用的详细信息，请联系负责您所在区域的销售办公室（见 www.Infineon.com 的 sales&contact 页）。如有需要，我们可提供产品参数数据表和应用笔记。
处于技术原因，我们的产品可能含有可能对健康不利的物质。如需要了解该类特定物质，也请联系您所在区域的办事处。
若您计划将产品用于航空应用或涉及生命安全或生命维持系统，请联系英飞凌。
对于此类应用，我们强烈建议您：

- 对应用进行联合风险和质量评估，
- 制定质量保证协议，
- 建立持续的产品监控措施，并且产品交付可能取决于这些措施。

如有必要，将相应通知转发给您的客户。

此技术信息如有变动，恕不另行通知

18 声明

请注意!

本文件提供的信息概不构成任何条件或特性的保证（“品质保证”）。对于此处给出的任何示例或提示、此处所述的任何典型值以及/或有关器件应用的任何信息，英飞凌科技特此声明不承担任何及所有类型的保证和责任，包括但不限于不侵犯任何第三方知识产权的保证。

信息

如需详细了解技术、交付条款和条件以及价格等信息，请向离您最近的英飞凌科技办公室接洽（www.infineon.com）。

警告事项

出于技术要求，部件可能含有危险物质。如需了解该等物质的类型，请向离您最近的英飞凌科技办公室接洽。只有在英飞凌技术明确书面批准的情况下，才能将英飞凌的元件用于生命支持设备或系统中，如果此类元件的失效可能导致该生命支持设备或系统的失败，或者影响该设备或系统的安全或有效性。生命维持装置或系统旨在植入人体，或者支持、维持、维持和/或保护人类生命。若出现故障，则推定用户或其他人员的健康可能受到威胁。

19 参考文献

[1] Infineon Technologies Bipolar GmbH & Co. KG, "Technical Information : Bipolar Semiconductors," AN2012-01, 2012.

[2] Semikron International GmbH, A. Wintrich, U. Nicolai, W. Tursky and T. Reimann, "Application Manual Power Semiconductors", Ilmenau, Germany: ISLE Verlag, 2015.

[3]

[4] VAC, ZKB 472/105-80, Data Sheet

[5] Semikron International GmbH, U.Nicolai, “Thyristor Triggering and Protection of Diodes and Thyristors, AN 18-002”, Nürnberg, Germany, 2018

[6] TU Nuremberg, Infineon Bipolar Technologies, SWITCHING DIRECT LIGHT TRIGGERED THYRISTORS WITH POLYMER OPTICAL FIBERS

[7] Infineon Technologies Bipolar GmbH & Co. KG, “AN2018-07 – Triggering LTT’ s”

[8] IEC60335

[9] IEC 60664-1

[10] IB Billmann, TGD1 Preliminary Data Sheet

[11] BLE, ZHV400-2, Data Sheet trigger circuit

[12] BLE, ISR06ZL, Data Sheet control and trigger circuit

[13] BLE, 2xZB1-10-3500-LWL, Data Sheet trigger unit