

Triac 双向可控硅光耦驱动设计

Steven Qiu

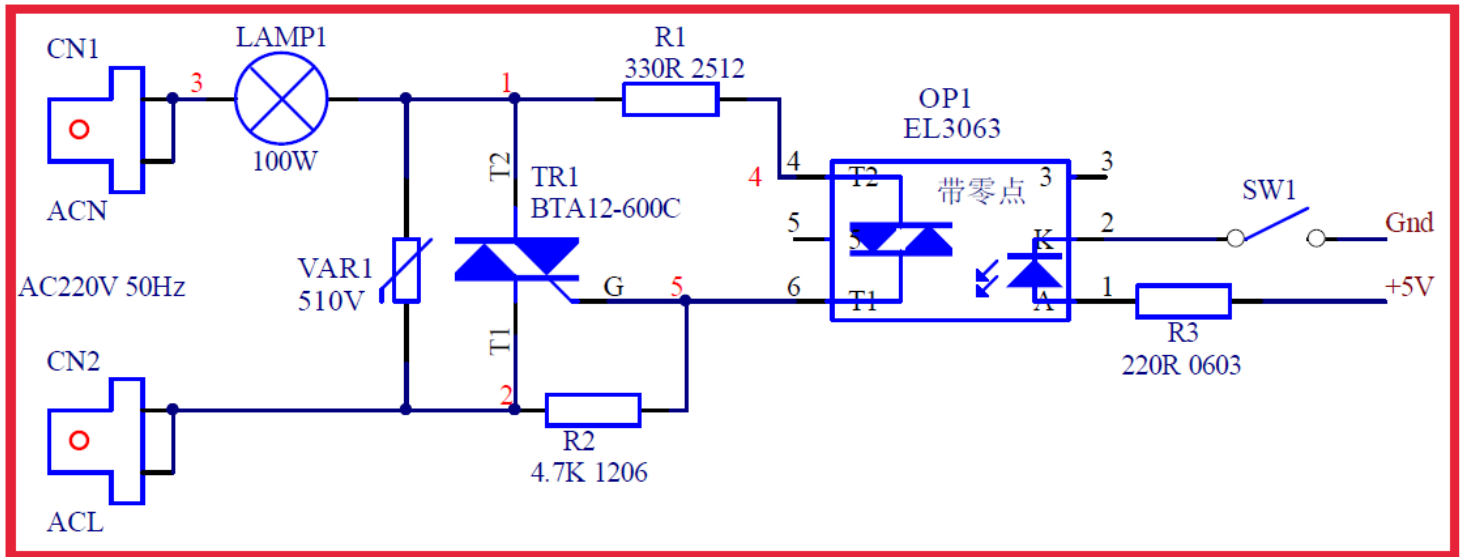
9/8/2024

一、 Triac 双向可控硅在电路设计和应用，常用的“10 条黄金法则”有助于确保器件的可靠性和性能：

- 1、 确保栅极电流足够：栅极触发电流 IGT 必须足够大，以确保 Triac 能够可靠地导通。栅极电流应当满足数据手册中规定的最小触发电流，并且在实际应用中通常留有裕量。
- 2、 使用限流电阻：在栅极电路中添加限流电阻，以限制栅极电流，保护 Triac 免受过大电流的损坏。
- 3、 避免在高 dv/dt 条件下直接触发：在高 dv/dt（电压变化率）环境下，Triac 可能会误触发。为了防止这种情况，可以在主电路中增加一个 RC 吸收电路 (snubber)，以减少 dv/dt 对 Triac 的影响。
- 4、 选用合适的栅极触发模式：Triac 有不同的工作象限 (quadrants)。在某些象限下，Triac 可能比其他象限更容易触发。因此，在设计电路时应考虑合适的栅极触发象限，以确保稳定触发。
- 5、 注意温度和散热：高温会影响 Triac 的工作性能。确保 Triac 的散热设计足够，必要时使用散热片或强制冷却，以维持合适的结温。
- 6、 防止误触发：设计中应采取措施避免噪声或其他外部因素导致的误触发。例如，可以在栅极驱动电路中添加电容，滤除高频干扰。
- 7、 关注电压和电流规格：选择 Triac 时，确保器件的电压 (V_{DRM} 、 V_{RRM}) 和电流 ($I_T(RMS)$) 额定值高于实际应用中的最大工作电压和电流，留有足够的安全裕量。
- 8、 注意负载类型：不同类型的负载对 Triac 的要求不同。例如，感性负载会产生高的反向电动势，可能导致 Triac 关断时产生过压，应考虑加入适当的保护电路，如压敏电阻 (MOV) 或 TVS 二极管。
- 9、 关断后的恢复时间：Triac 在导通后转为关断状态时，需要一定的时间恢复到可重新触发的状态（称为恢复时间）。在高频开关应用中，确保关断后留有足够的时间，避免过早触发。
- 10、 电气隔离：在许多应用中，Triac 的控制端与负载部分需要电气隔离，通常通过光耦合器（如 EL3063）实现。这种隔离不仅保护控制电路，还能有效防止噪声影响。

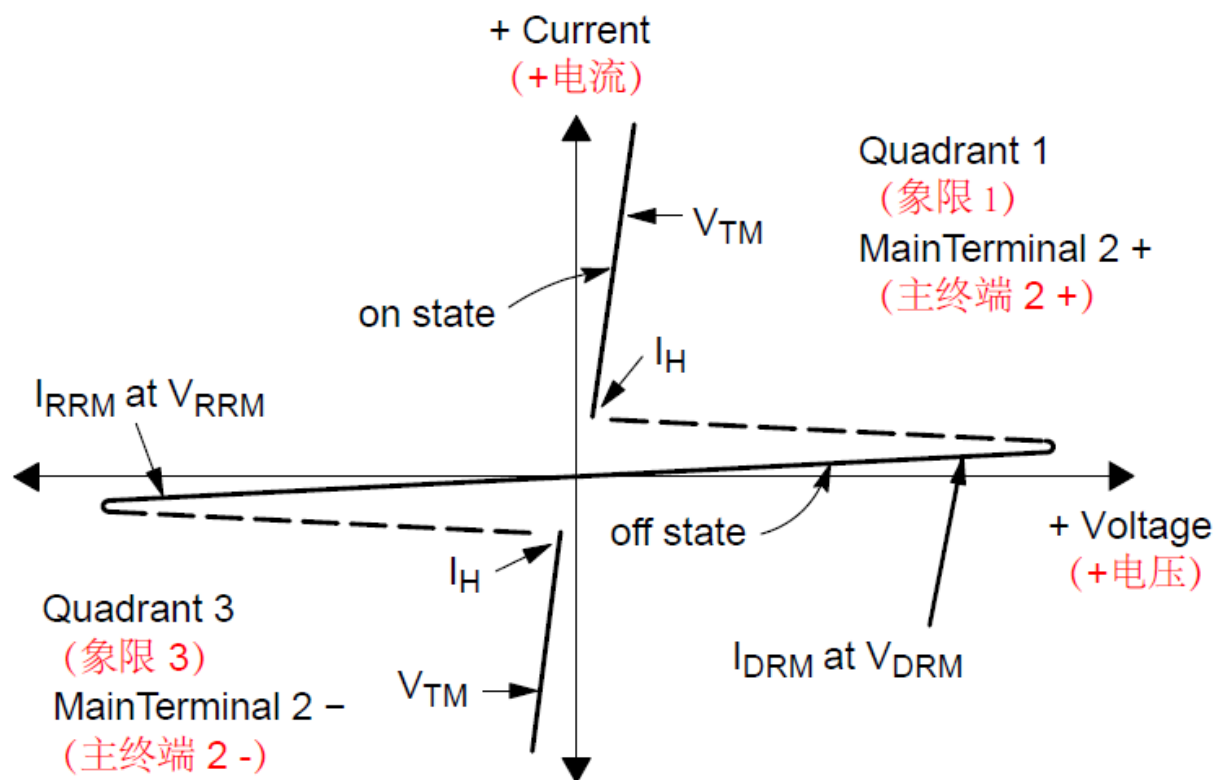
二、 Triac 双向可控硅光耦驱动电流：

1. Triac 双向可控硅光耦驱动典型电路：



- 分析驱动电路的电流参数选型，R1 触发限流电阻：取值优先考虑流过光耦 OP1 最大峰值电流（R1 阻值越小开启电压越低）和 TR1 设计的最小开启电压且来选择，R2 防误触发电阻：即双向可控硅的门极电阻，当可控硅灵敏度较高时，门极阻抗也很高，并上 R2 降低阻抗可提高抗干扰能力防止误触发。
- 流过光耦 OP1 的峰值电流不能超过光耦 OP1 所能承受的值，否则有损坏光耦风险。如 EL3063 光耦规格书 I_{TSM} : 1A，输入电压 AC220V, $R=U/I$ 套入公式 $R=220V*1.414/1=311$ 欧姆，即 $R1>311$ 欧姆，设计可选通用阻值 330 欧姆。
- TR1 最大的导通电压 V_{TM} 估算。
- $V_{TM}=V_{R1}$ (R1 压降约等于 $I_{GT}*R1$) + OP1 V_{TM} (光耦压降) + V_{GT} (栅极压降);
- 查规格书参数可知(最大的电流、电压，一般最小的电流、电压不会给出): $I_{GT}=35mA_{max}$, OP1 $V_{TM}=3V_{max}$, $V_{GT}=1.3V$ (Vpeak);
- $V_{TM}=0.035*330+3+1.3$ (Vpeak);
- $V_{TM}=11.55+3+1.3$ (Vpeak);
- $V_{TM}=15.85$ (Vpeak) max 【实际测试显示输入电压 8.5Vpeak (RMS AC6V 50Hz) 就开始导通】。

3. Triac 双向可控硅伏安特性:



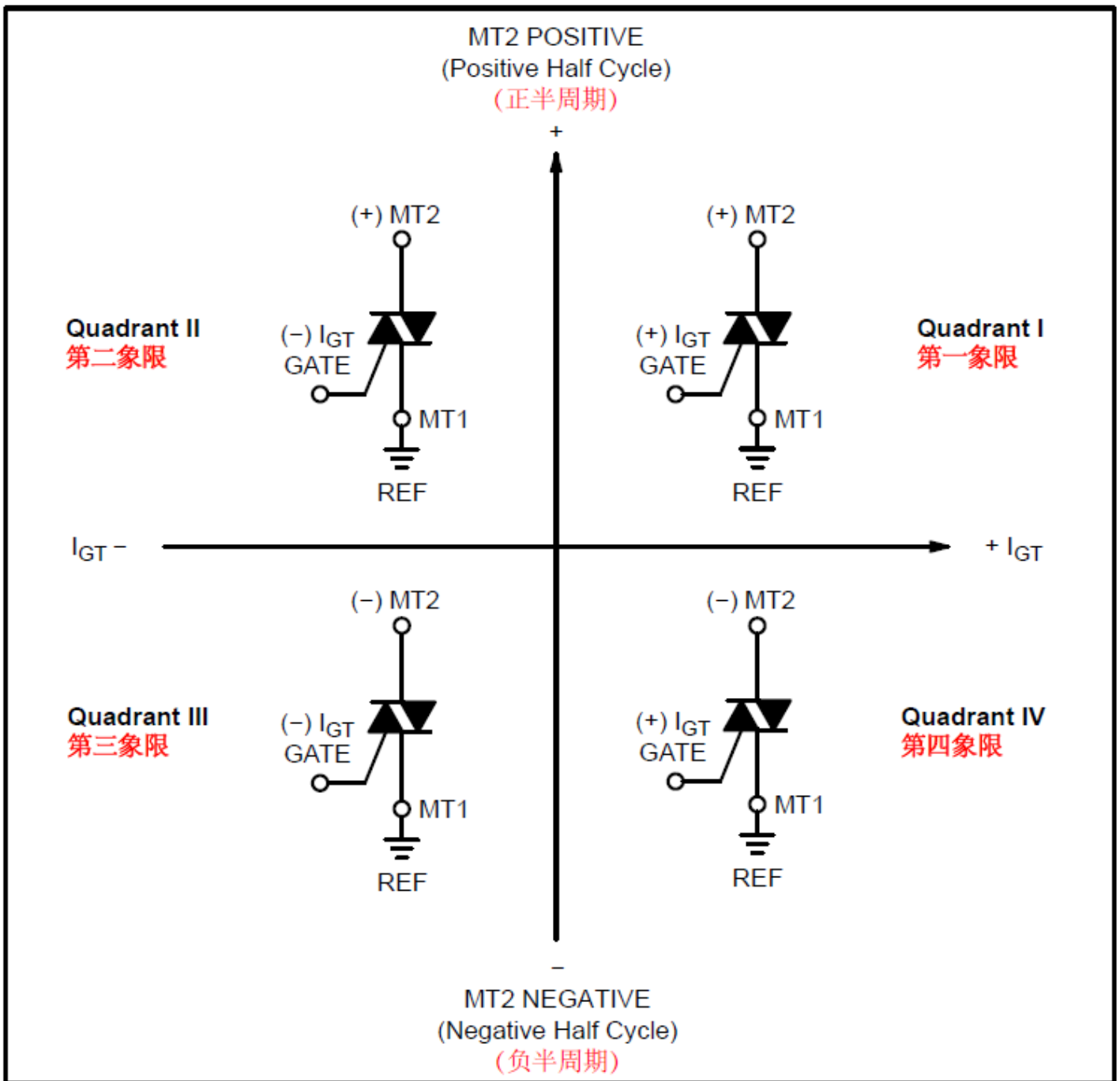
Symbol	Parameter
V_{DRM}	Peak Repetitive Forward Off State Voltage
I_{DRM}	Peak Forward Blocking Current
V_{RRM}	Peak Repetitive Reverse Off State Voltage
I_{RRM}	Peak Reverse Blocking Current
V_{TM}	Maximum On State Voltage
I_H	Holding Current

Symbol	Parameter
V_{DRM}	峰值重复正向关断电压
I_{DRM}	峰值正向阻断电流
V_{RRM}	峰值重复反向关断电压
I_{RRM}	峰值反向阻断电流
V_{TM}	最大导通电压
I_H	保持电流

注: T1/T2 之间的电流, I_L (Latching Current **保持电流**) 指触发脉冲移除后, 可控硅能够保持导通状态所需的最小电流, 保持电流是触发后的初始电流要求, 确保器件从触发脉冲移除后仍能保持导通, 关注的是从关断状态到导通状态的过渡。 I_H (Holding Current **维持电流**) 指当可控硅已经导通后, 为了维持导通状态, 所需的最小电流, 维持电流是导通状态下的最低电流要求, 关注的是在导通后的稳态工作。

4. Triac 双向可控硅向限定义:

Quadrant Definitions for a Triac 三端双向可控硅开关的象限定义



All polarities are referenced to MT1.

(所有极性均参考MT1)

With in-phase signals (using standard AC lines) quadrants I and III are used.

【对于同相信号（使用标准交流线路），使用象限I和III】

注：双向可控硅非隔离直流驱动电路工作于第二象限和第三象限（双向可控硅采用共正极方式，单向可控硅采用共负极方式），可控硅 I_{GT} 电流 $\approx (V_{CC} - V_{GT}) / R$ 限流电阻（如驱动电流较大需加三极管驱动）。

5. Triac 双向可控硅 BTA12-600CW 特性:

Table 2. Absolute maximum ratings

Symbol	Parameter		Value	Unit	
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current (full sine wave)	$I^2PAK / D^2PAK / TO-220AB$	$T_c = 105^\circ C$	12	A
		TO-220AB Ins.	$T_c = 90^\circ C$		
I_{TSM}	Non repetitive surge peak on-state current (full cycle, T_j initial = $25^\circ C$)	F = 50 Hz	t = 20 ms	120	A
		F = 60 Hz	t = 16.7 ms	126	
I^2t	I^2t Value for fusing	$t_p = 10$ ms		78	A^2s
dI/dt	Critical rate of rise of on-state current $I_G = 2 \times I_{GT}$, $t_r \leq 100$ ns	F = 120 Hz	$T_j = 125^\circ C$	50	A/ μs
V_{DSM}/V_{RSM}	Non repetitive surge peak off-state voltage	$t_p = 10$ ms	$T_j = 25^\circ C$	$V_{DRM}/V_{RRM} + 100$	V
I_{GM}	Peak gate current	$t_p = 20$ μs	$T_j = 125^\circ C$	4	A
$P_{G(AV)}$	Average gate power dissipation		$T_j = 125^\circ C$	1	W
T_{stg} T_j	Storage junction temperature range Operating junction temperature range			- 40 to + 150 - 40 to + 125	$^\circ C$

**Table 3. Electrical characteristics ($T_j = 25^\circ C$, unless otherwise specified)
Snubberless and logic level (3 quadrants)**

Symbol	Test conditions	Quadrant		T12xx			BTA12 / BTB12				Unit
				T1210	T1235	T1250	TW	SW	CW	BW	
$I_{GT}^{(1)}$	$V_D = 12$ V	I - II - III	MAX.	10	35	50	5	10	35	50	mA
V_{GT}	$R_L = 30$ Ω										
V_{GD}	$V_D = V_{DRM}$ $R_L = 3.3$ k Ω $T_j = 125^\circ C$	I - II - III	MIN.	0.2						V	
$I_H^{(2)}$	$I_T = 100$ mA		MAX.	15	35	50	10	15	35	50	mA
I_L	$I_G = 1.2$ I_{GT}	I - III	MAX.	25	50	70	10	25	50	70	mA
		II		30	60	80	15	30	60	80	
dV/dt ⁽²⁾	$V_D = 67\% V_{DRM}$ gate open $T_j = 125^\circ C$		MIN.	40	500	1000	20	40	500	1000	V/ μs
(dI/dt) ⁽²⁾	$(dV/dt)_c = 0.1$ V/ μs $T_j = 125^\circ C$		MIN.	6.5			3.5	6.5			A/ms
	$(dV/dt)_c = 10$ V/ μs $T_j = 125^\circ C$			2.9			1	2.9			
	Without snubber $T_j = 125^\circ C$				6.5	12			6.5	12	

Table 5. Static characteristics

Symbol	Test conditions		Value	Unit		
$V_T^{(1)}$	$I_{TM} = 17$ A	$t_p = 380$ μs	$T_j = 25^\circ C$	MAX.	1.55	V
$V_{T0}^{(1)}$	Threshold voltage		$T_j = 125^\circ C$	MAX.	0.85	V
$R_d^{(1)}$	Dynamic resistance		$T_j = 125^\circ C$	MAX.	35	m Ω
I_{DRM} I_{RRM}	$V_{DRM} = V_{RRM}$		$T_j = 25^\circ C$	MAX.	5	μA
			$T_j = 125^\circ C$		1	mA

6. Triac 可控硅光耦 EL3063 特性 (EL3023 无零点/EL3063 有零点):

Absolute Maximum Ratings (Ta=25°C)

Parameter		Symbol	Rating	Unit
Input	Forward current	I_F	60	mA
	Reverse voltage	V_R	6	V
	Power dissipation Derating factor (above $T_a = 85^\circ\text{C}$)	P_D	100 3.8	mW mW/°C
Output	EL303X		250	
	Off-state Output Terminal Voltage	V_{DRM}	400	V
	EL306X		600	
	EL308X		800	
Peak Repetitive Surge Current ($p_w=1\text{ms}, 120\text{pps}$)		I_{TSM}	1	A
On-State RMS Current		$I_{T(RMS)}$	100	mA
Power dissipation Derating factor (above $T_a = 85^\circ\text{C}$)		P_C	300 7.6	mW mW/°C
Total power dissipation		P_{TOT}	330	mW
Isolation voltage ^{*1}		V_{ISO}	5000	Vrms
Operating temperature		T_{OPR}	-55 to 100	°C
Storage temperature		T_{STG}	-55 to 125	°C
Soldering Temperature ^{*2}		T_{SOL}	260	°C

Electro-Optical Characteristics (Ta=25°C unless specified otherwise)

Input

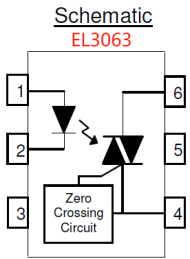
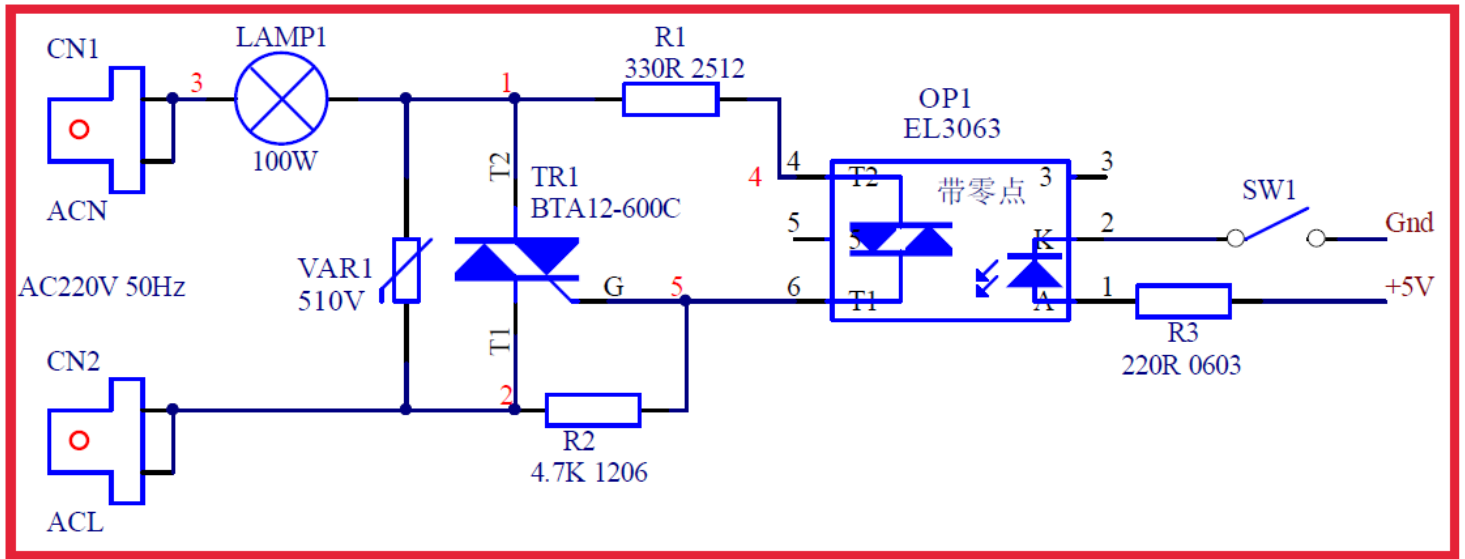
Parameter	Symbol	Min.	Typ.*	Max.	Unit	Condition
Forward Voltage	V_F	-	-	1.5	V	$I_F = 30\text{mA}$
Reverse Leakage current	I_R	-	-	10	μA	$V_R = 6\text{V}$

Output

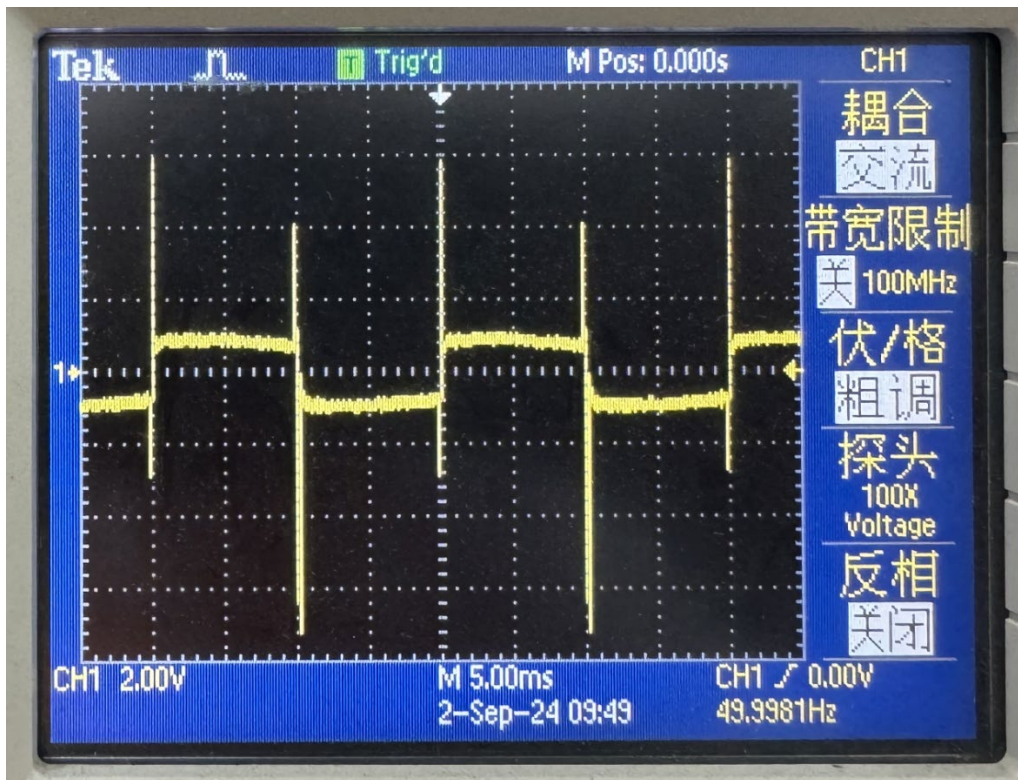
Parameter	Symbol	Min.	Typ.*	Max.	Unit	Condition
Peak Blocking Current	I_{DRM1}	-	-	100 500	nA	$V_{DRM} = \text{Rated } V_{DRM}$ $I_F = 0\text{mA}$
Peak On-state Voltage	V_{TM}	-	-	3	V	$I_{TM} = 100\text{mA peak},$ $I_F = \text{Rated } I_{FT}$
Critical Rate of Rise off-state Voltage	dv/dt	1000 600	-	-	V/ μs	$V_{PEAK} = \text{Rated } V_{DRM}, I_F = 0$ (Fig. 10)
Inhibit Voltage (MT1-MT2 voltage above which device will not trigger)	V_{INH}	-	-	20	V	$I_F = \text{Rated } I_{FT}$
Leakage in Inhibited State	I_{DRM2}	-	-	500	μA	$I_F = \text{Rated } I_{FT},$ $V_{DRM} = \text{Rated } V_{DRM},$ off state

三、 Triac 双向可控硅光耦驱动电路测试波形：

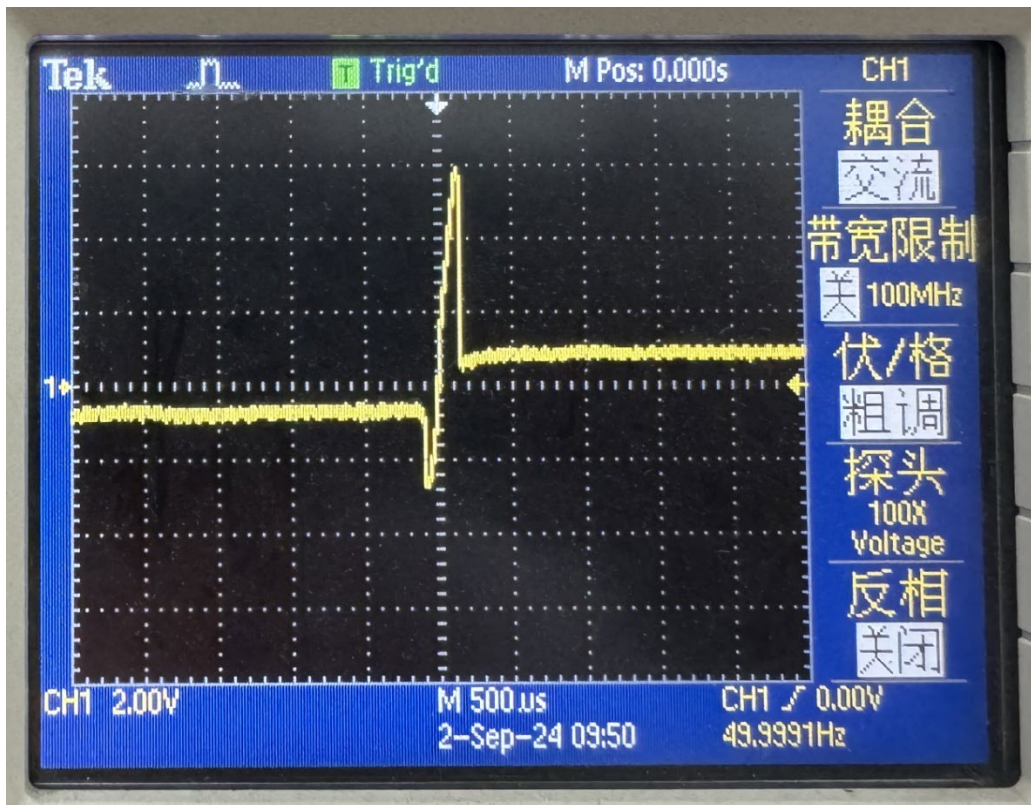
1. Triac 双向可控硅驱动光耦使用 EL3063 带零点的电路图（不可实现砍波控制只能丢波控制）：



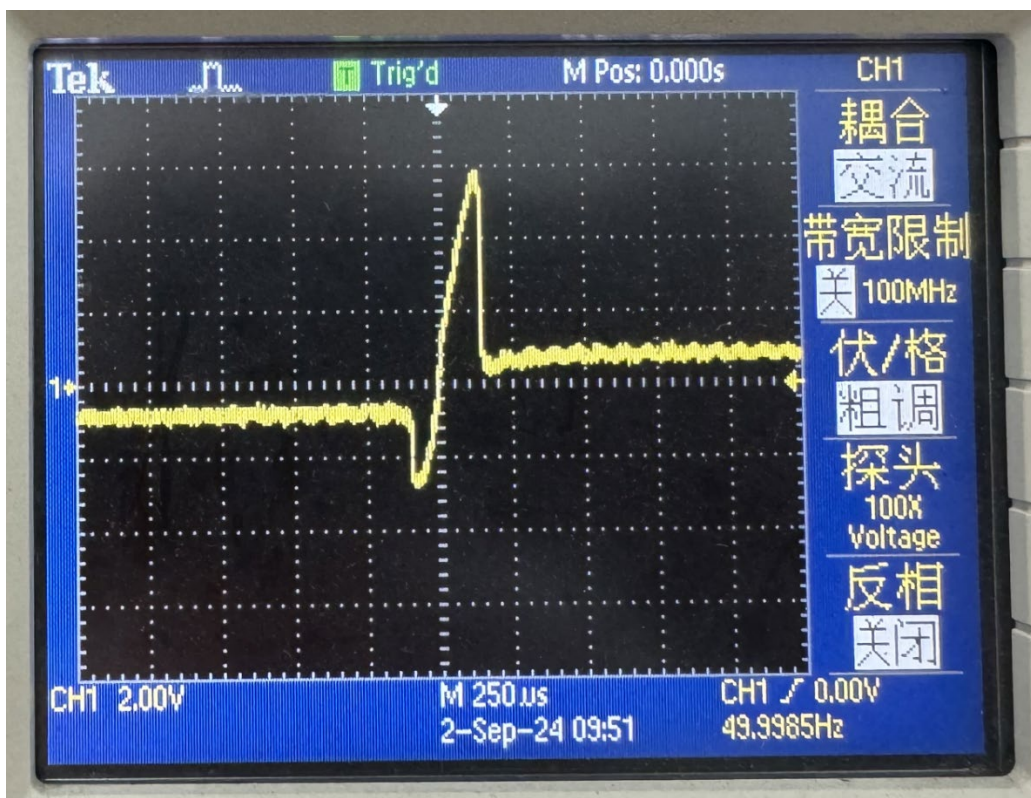
2. 输入 RMS AC220V 50Hz，示波器连接测试点 1-2，测试可控硅导通 T1/T2 二端波形（5ms），导通峰值电压约 0.9V 最大脉冲峰值电压约 6V:



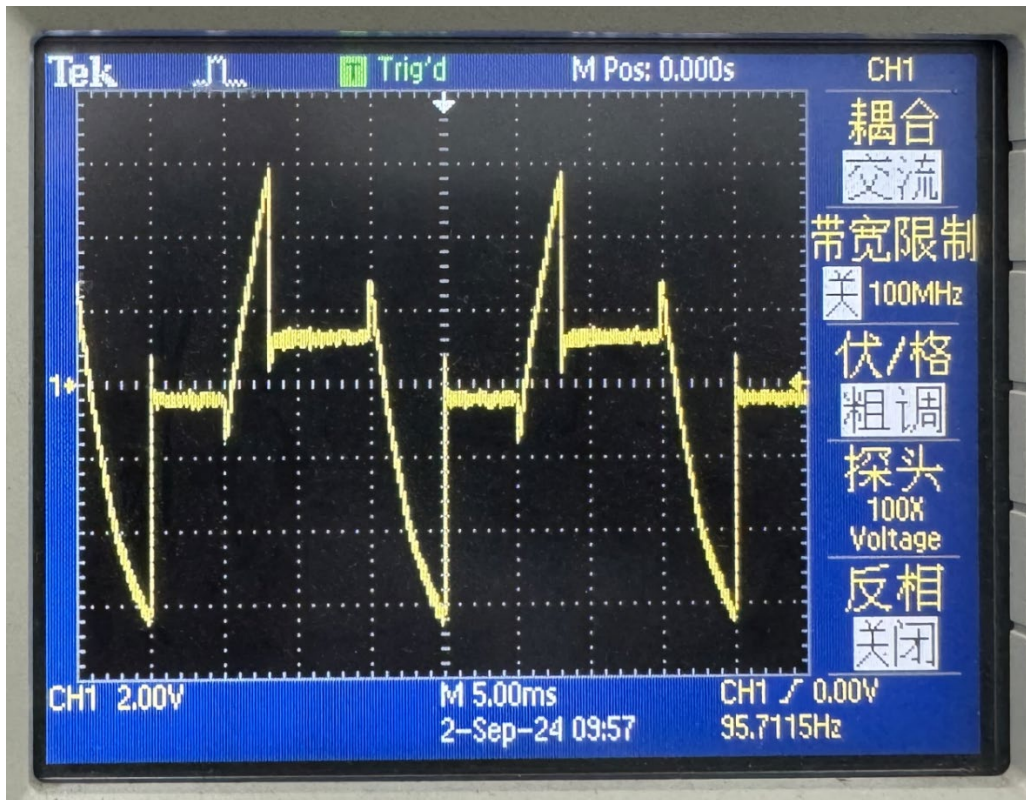
3. 输入 RMS AC220V 50Hz, 示波器连接测试点 1-2, 测试可控硅导通 T1/T2 二端波形 (500us), 导通峰值电压约 0.9V 最大脉冲峰值电压约 6V:



4. 输入 RMS AC220V 50Hz, 示波器连接测试点 1-2, 测试可控硅导通 T1/T2 二端波形 (250us), 导通峰值电压约 0.9V 最大脉冲峰值电压约 6V:



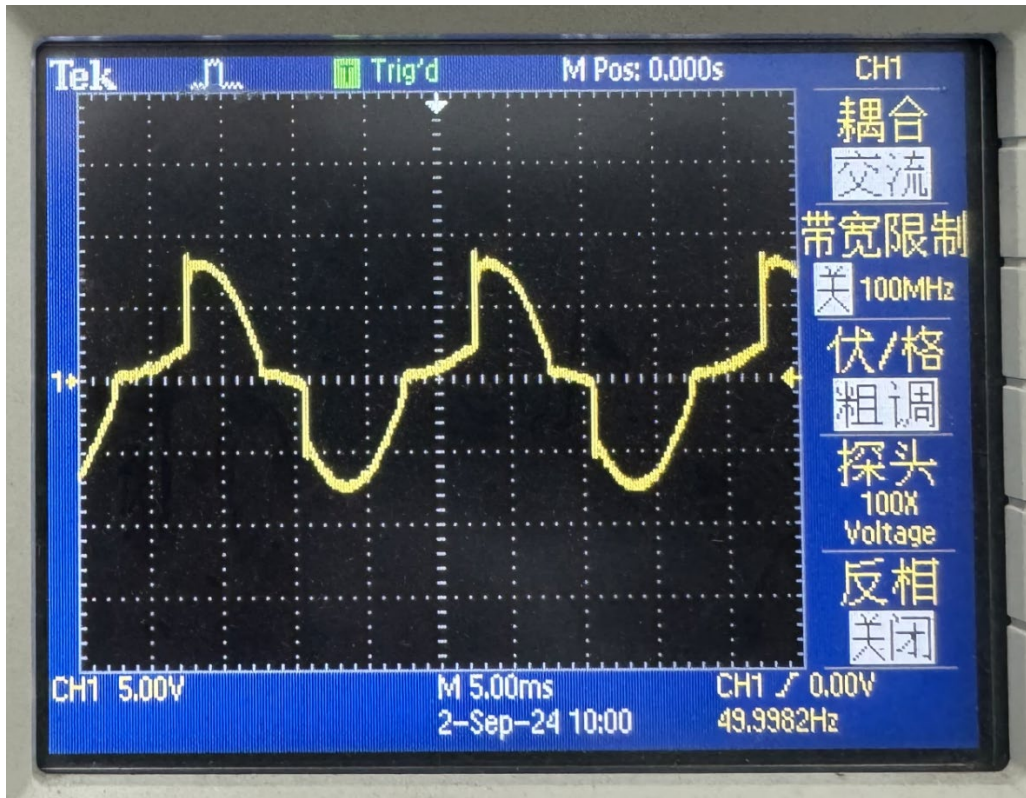
5. 输入电压从 0 开始慢慢升高到 RMS AC6V 50Hz，示波器连接测试点 1-2，测试可控硅导通 T1/T2 二端波形 (5ms)，可控硅开始导通波形：



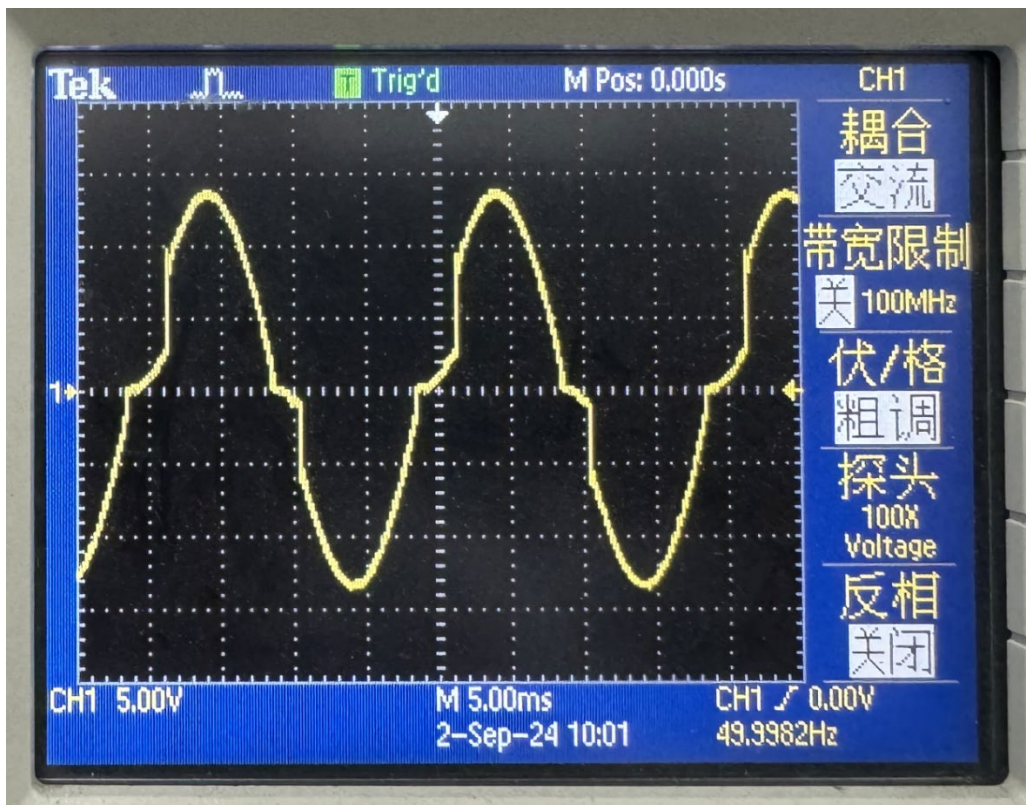
6. 输入电压升高到 RMS AC8V 50Hz，示波器连接测试点 1-2，测试可控硅导通 T1/T2 二端波形 (5ms)，导通峰值电压约 0.9V 最大脉冲峰值电压约 6V：



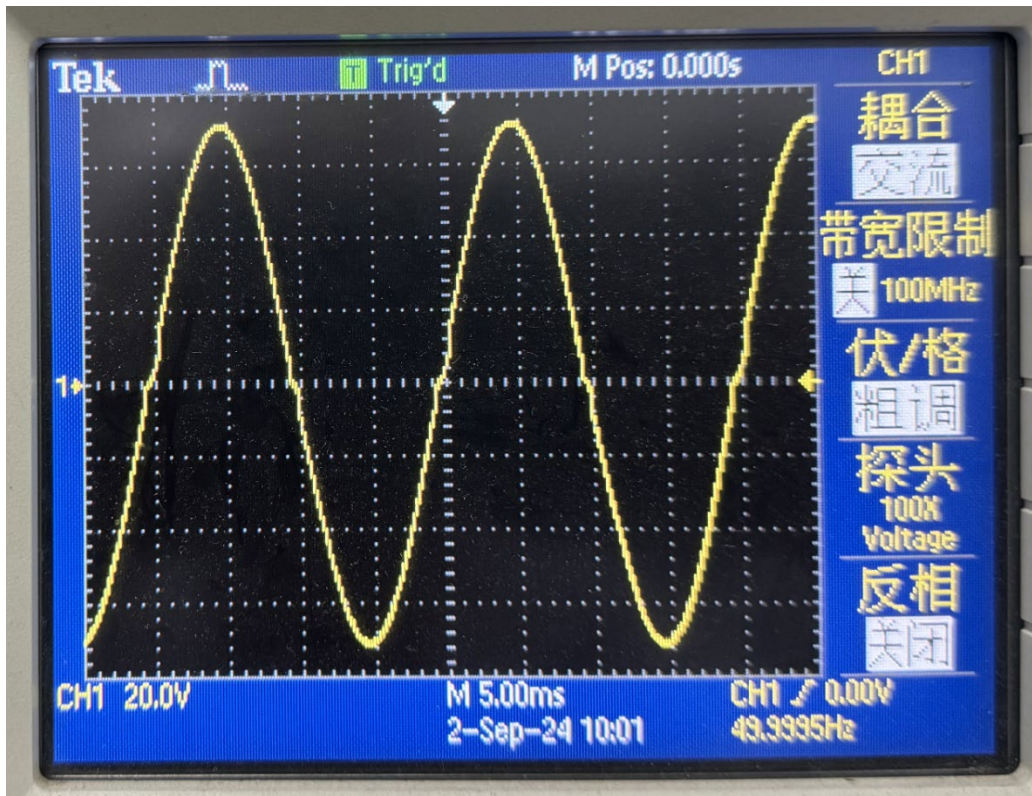
7. 输入电压从 0 开始慢慢升高到 RMS AC6V 50Hz，示波器连接测试点 1-3，测试负载二端波形峰值电压约 7.5V:



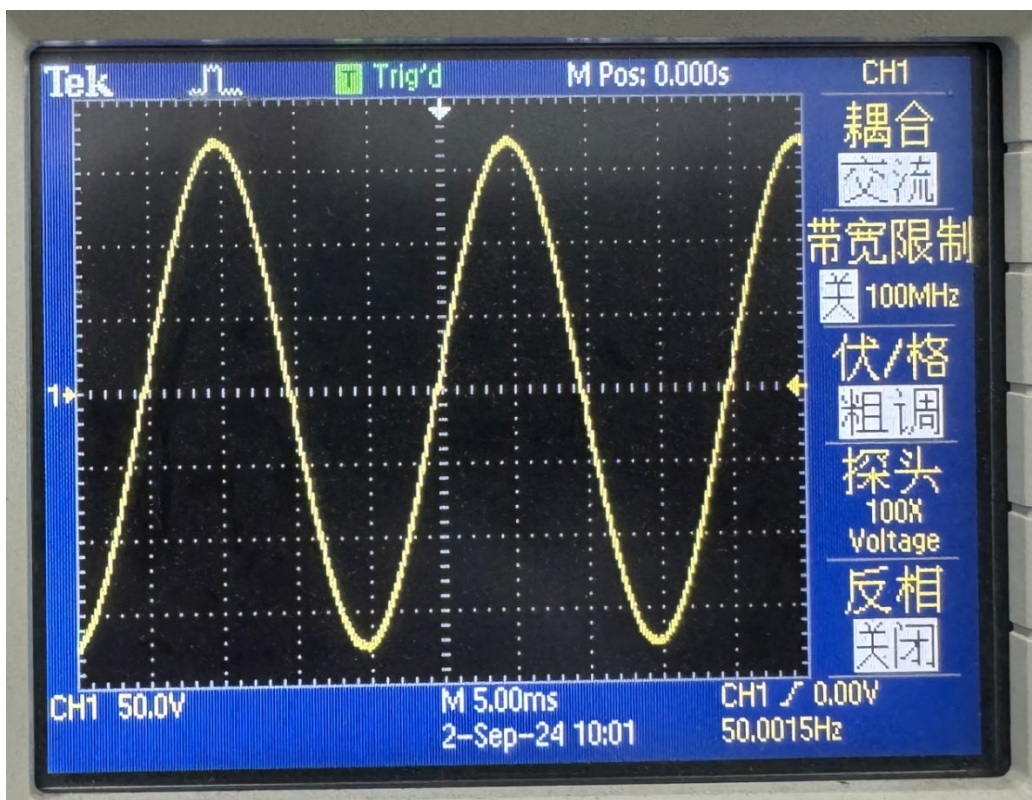
8. 输入电压升高到 RMS AC10V 50Hz，示波器连接测试点 1-3，测试负载二端波形峰值电压约 14.2V:



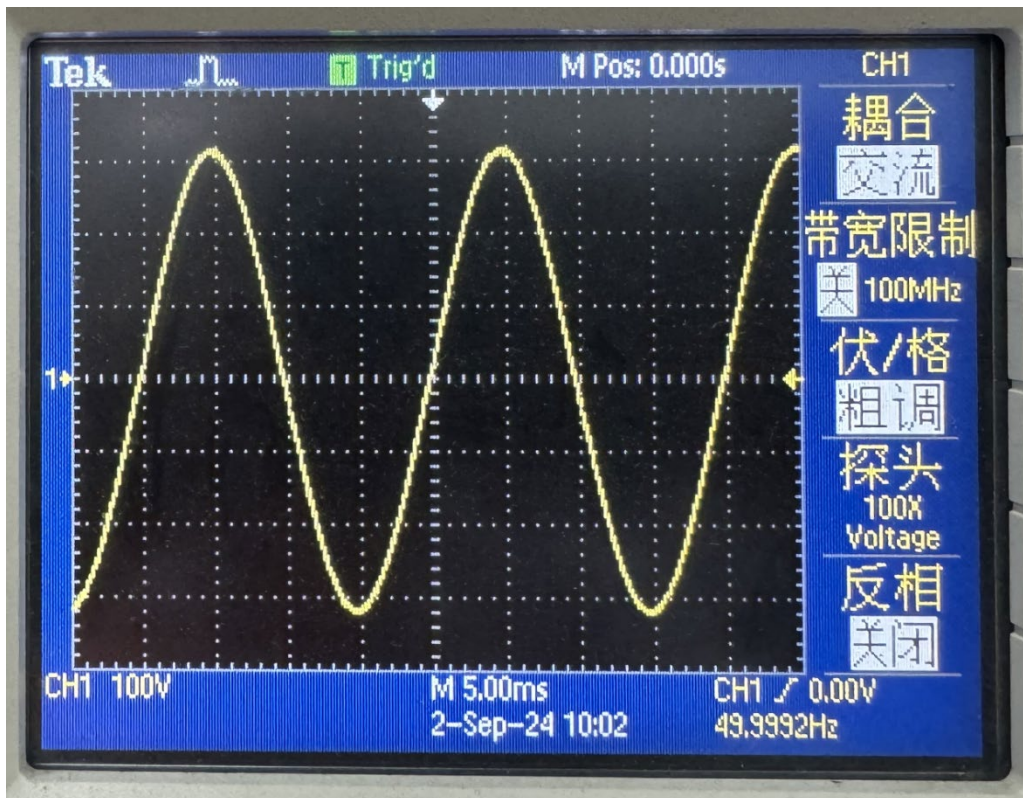
9. 输入电压升高到 RMS AC50V 50Hz, 示波器连接测试点 1-3, 测试负载二端波形峰值电压约 70V:



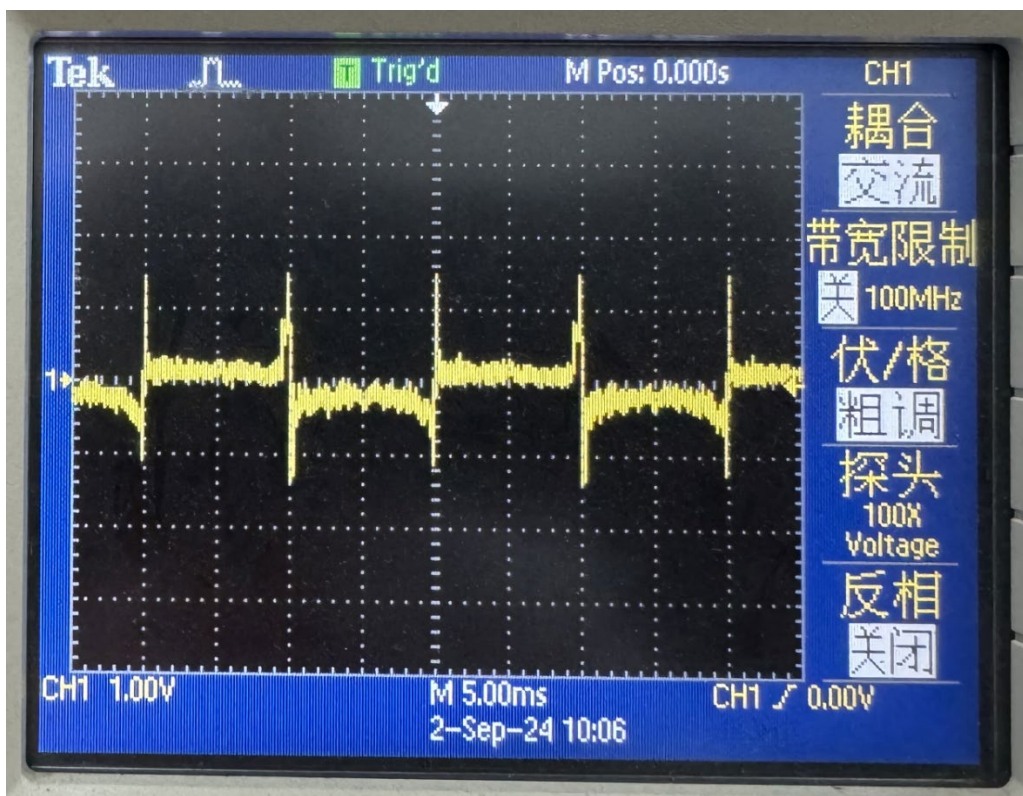
10. 输入电压升高到 RMS AC120V 50Hz, 示波器连接测试点 1-3, 测试负载二端波形峰值电压约 170V:



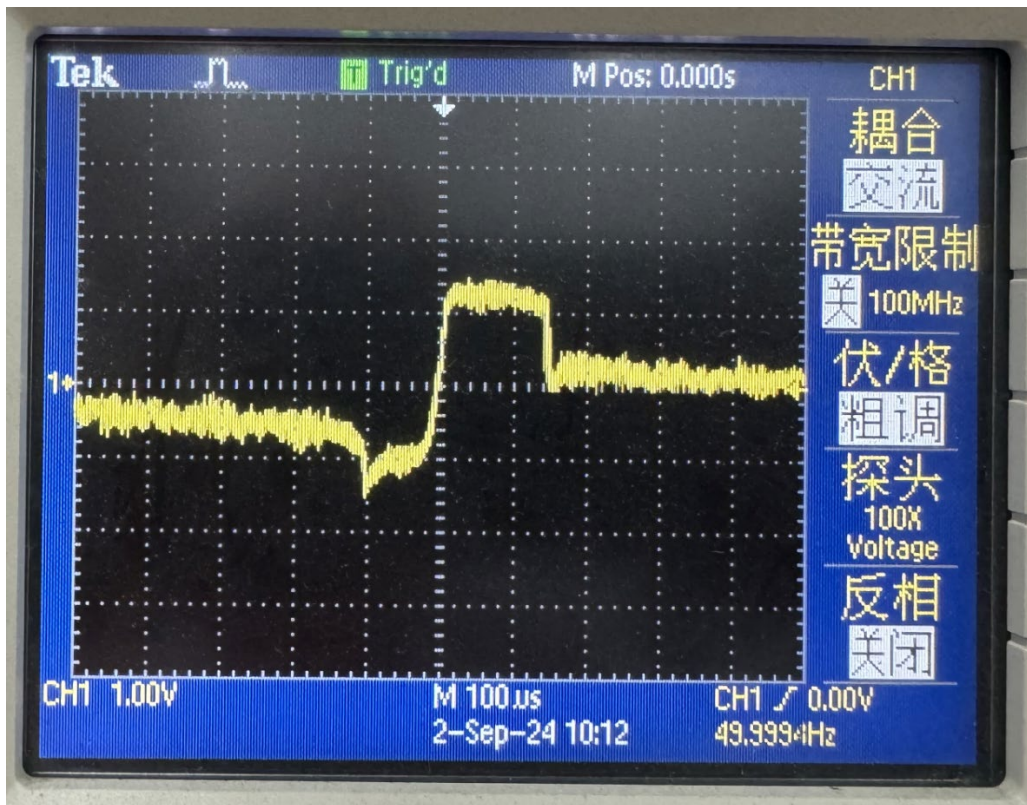
11. 输入电压升高到 RMS AC220V 50Hz, 示波器连接测试点 1-3, 测试负载二端波形峰值电压约 311V:



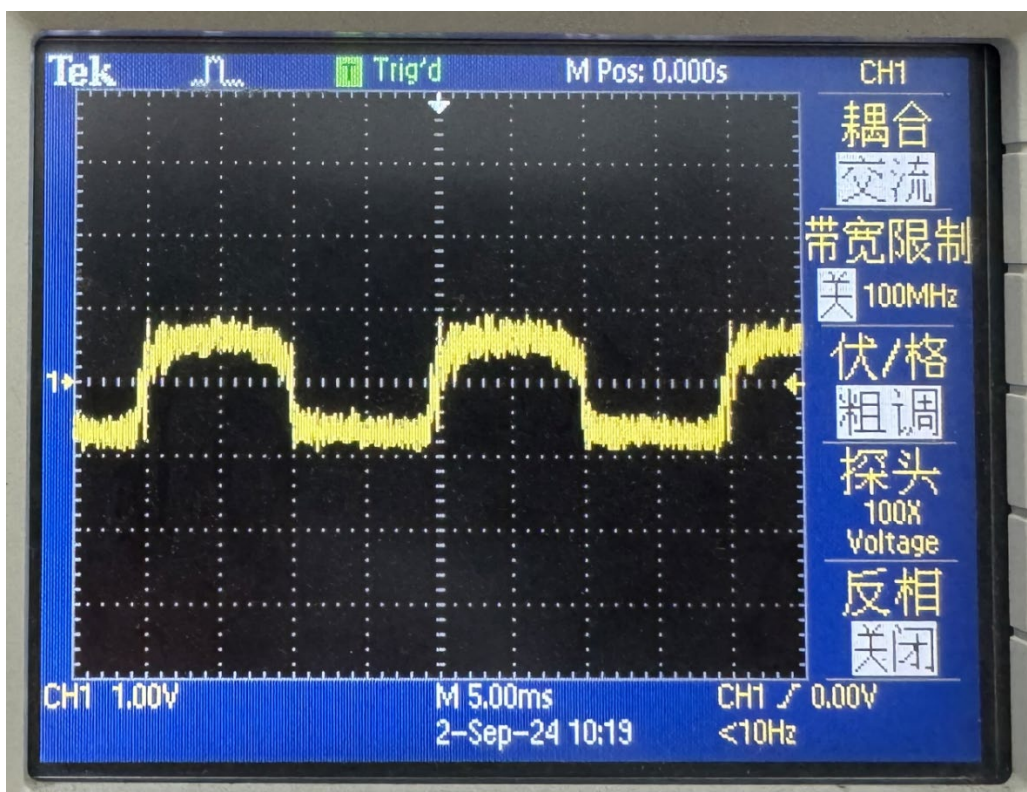
12. 示波器连接测试点 4-5, 输入电压 RMS AC220V 50Hz, 光耦 T1/T2 二端波形峰值电压约 0.5V 最大脉冲峰值电压约 1.5V (5ms):



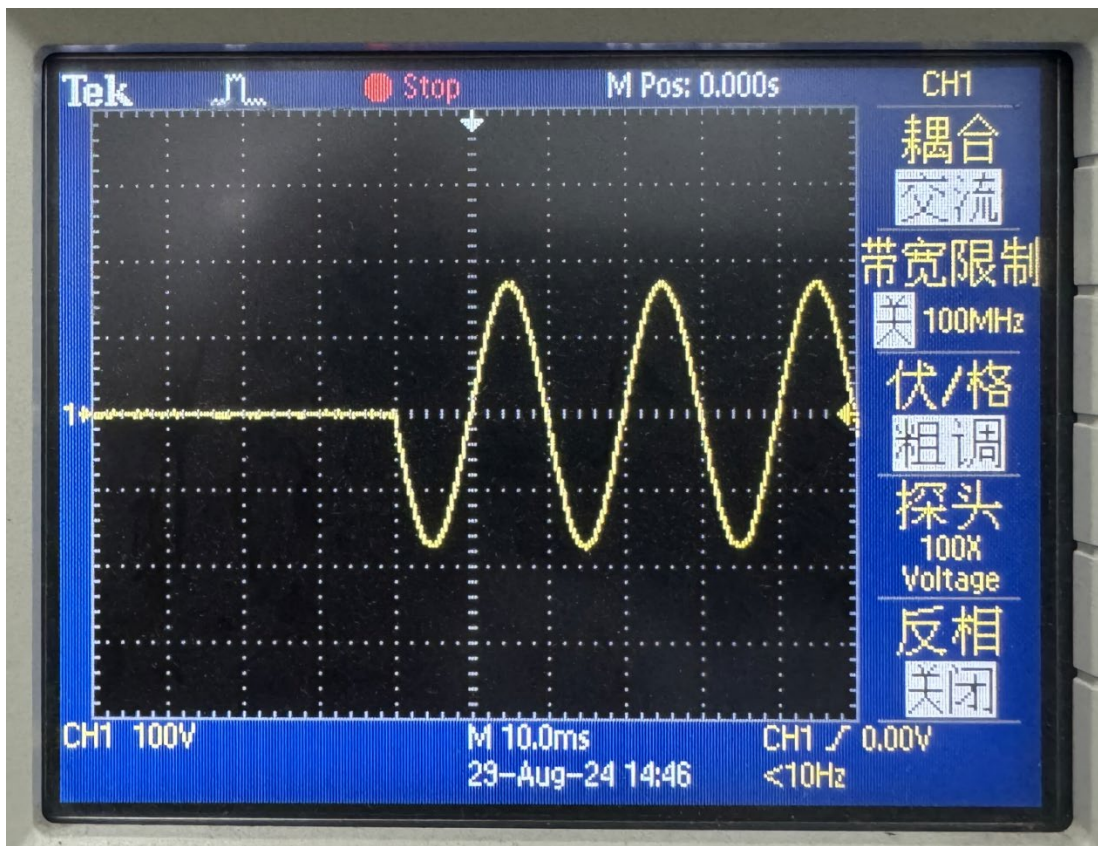
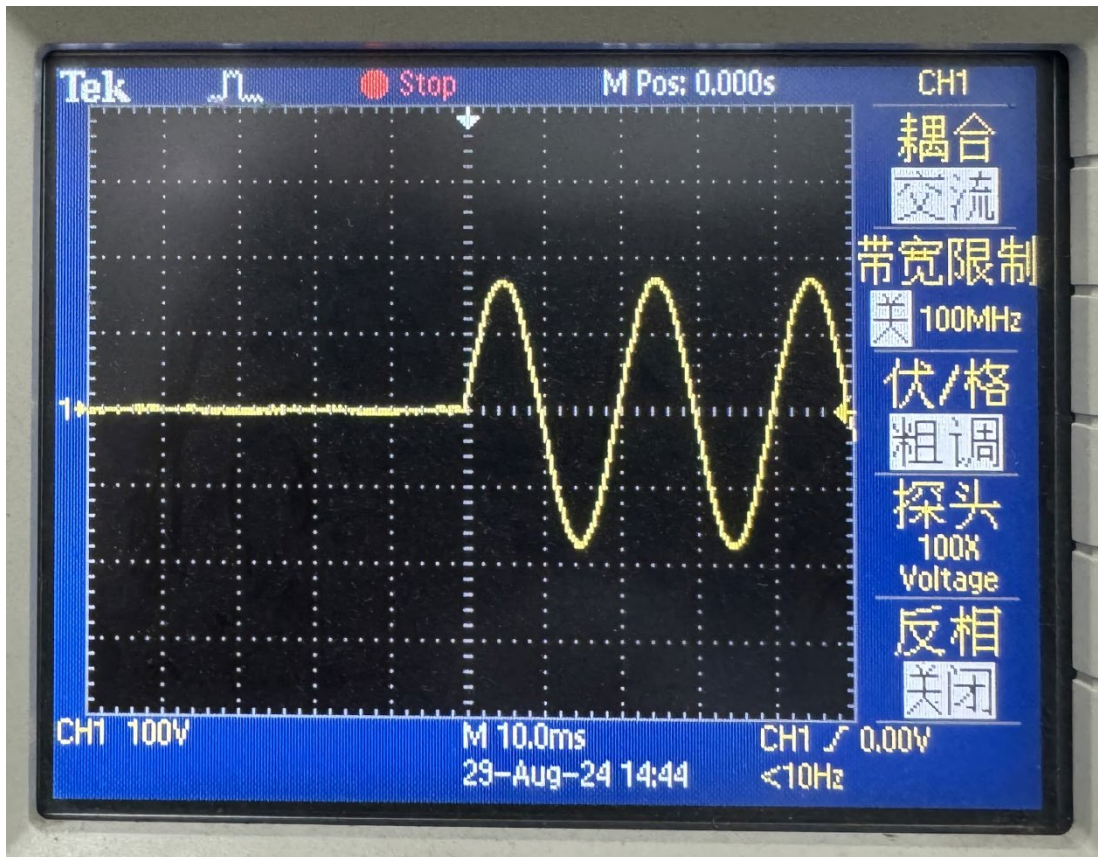
13. 示波器连接测试点 4-5，输入电压 RMS AC220V 50Hz，光耦 T1/T2 二端波形峰值电压约 0.5V 最大脉冲峰值电压约 1.5V (100us):



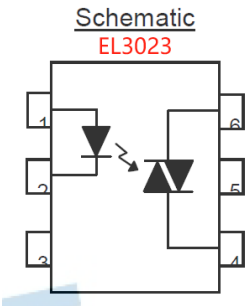
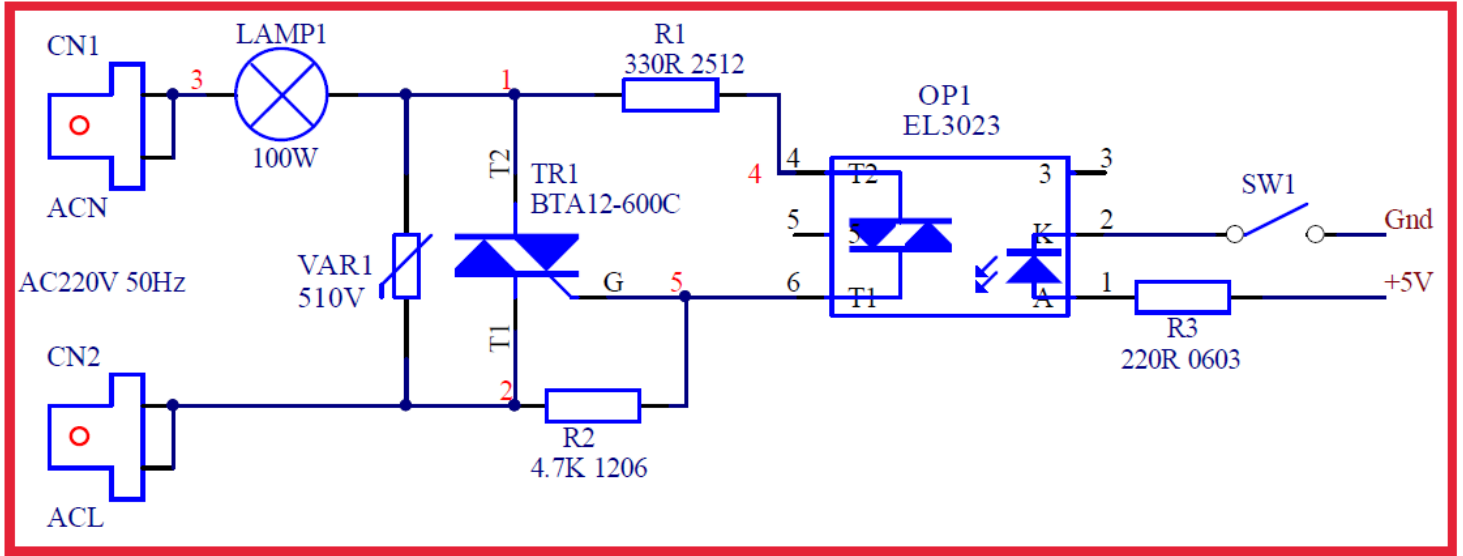
14. 示波器连接测试点 2-5，输入电压 RMS AC220V 50Hz，可控硅 G/T1 二端波形峰值电压约 0.6V (5ms):



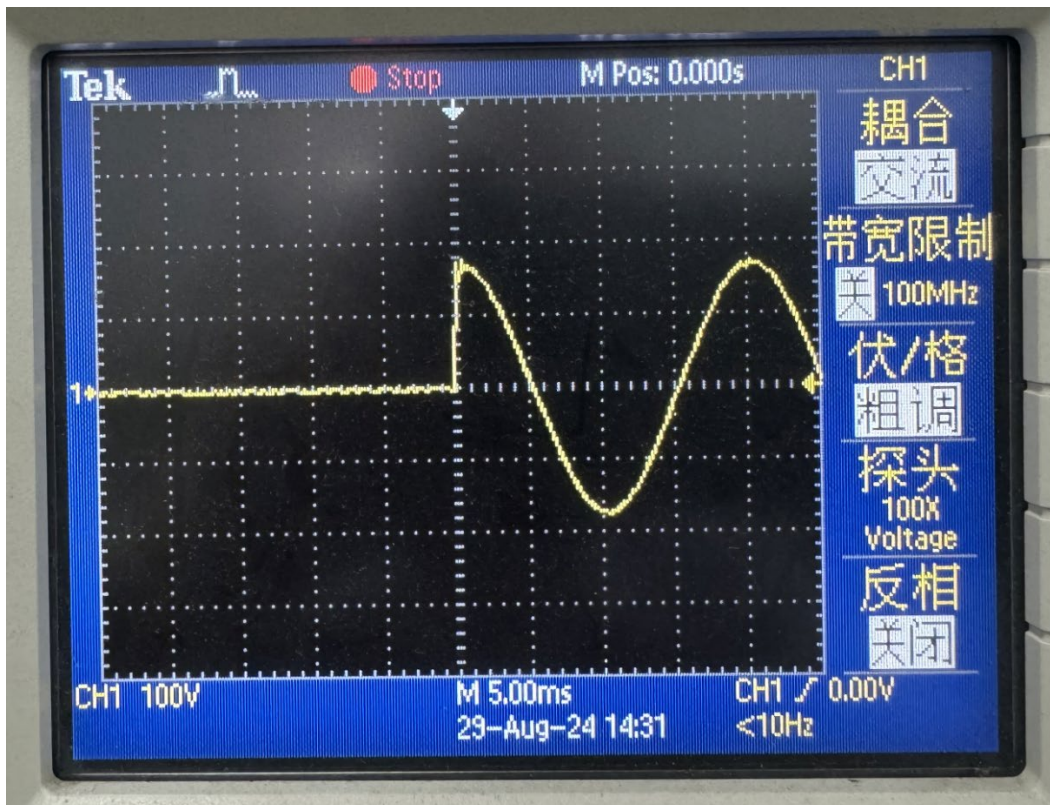
15. 示波器连接测试点 1-3, 输入电压 RMS AC120V 50Hz 可控硅导通, 随机打开 SW1 负载二端均在零点导通的波形峰值电压约 170V:



16. Triac 双向可控硅驱动光耦使用 EL3023 不带零点的电路图（可实现砍波控制）：



17. 示波器连接测试点 1-3，输入电压 RMS AC120V 50Hz 可控硅导通，随机打开 SW1 负载二端非零点随机导通的砍波波形峰值电压约 170V：



Tek

Stop

M Pos: 0.000s

CH1

耦合
交流

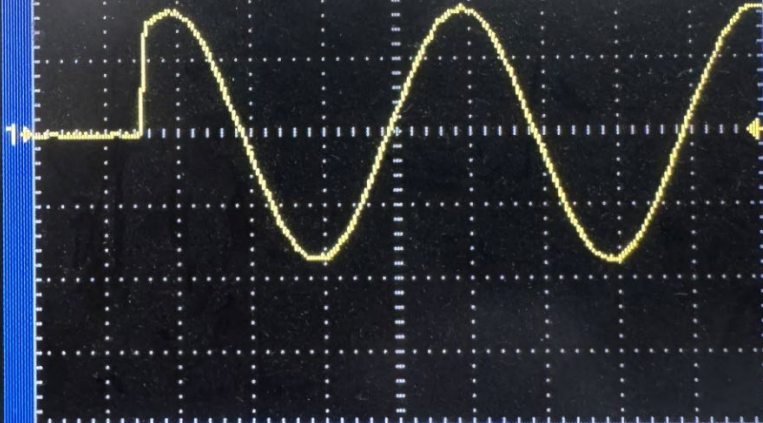
带宽限制

100MHz

伏/格
粗调

探头
100X
Voltage

反相
关闭



CH1 100V

M 5.00ms

CH1 0.00V

29-Aug-24 14:32

<10Hz