

PWM控制芯片 SG3525工作原理及实际应用

随着电能变换技术的发展，功率 MOSFET 在开关变换器中开始广泛使用，为此美国硅通用半导体公司（Silicon General）推出 SG3525。SG3525 是用于驱动 N 沟道功率 MOSFET 其产品一推出就受到广泛好评。SG3525 系列 PWM 控制器分军品、工业品、民品三个等级。下面我们对 SG3525 特点、引脚功能、电气参数、工作原理以及典型应用进行介绍。

SG3525 是电流控制型 PWM 控制器，所谓电流控制型脉宽调制器是按照接反馈电流来调节脉宽的。在脉宽比较器的输入端直接用流过输出电感线圈的信号与误差放大器输出信号进行比较，从而调节占空比使输出的电感峰值电流跟随误差电压变化而变化。由于结构上有电压环和电流环双环系统，因此，无论开关电源的电压调整率、负载调整率和瞬态响应特性都有提高，是目前比较理想的新型控制器。

1.1.1 SG3525 引脚功能及特点简介

其内部结构和原理框图如下：

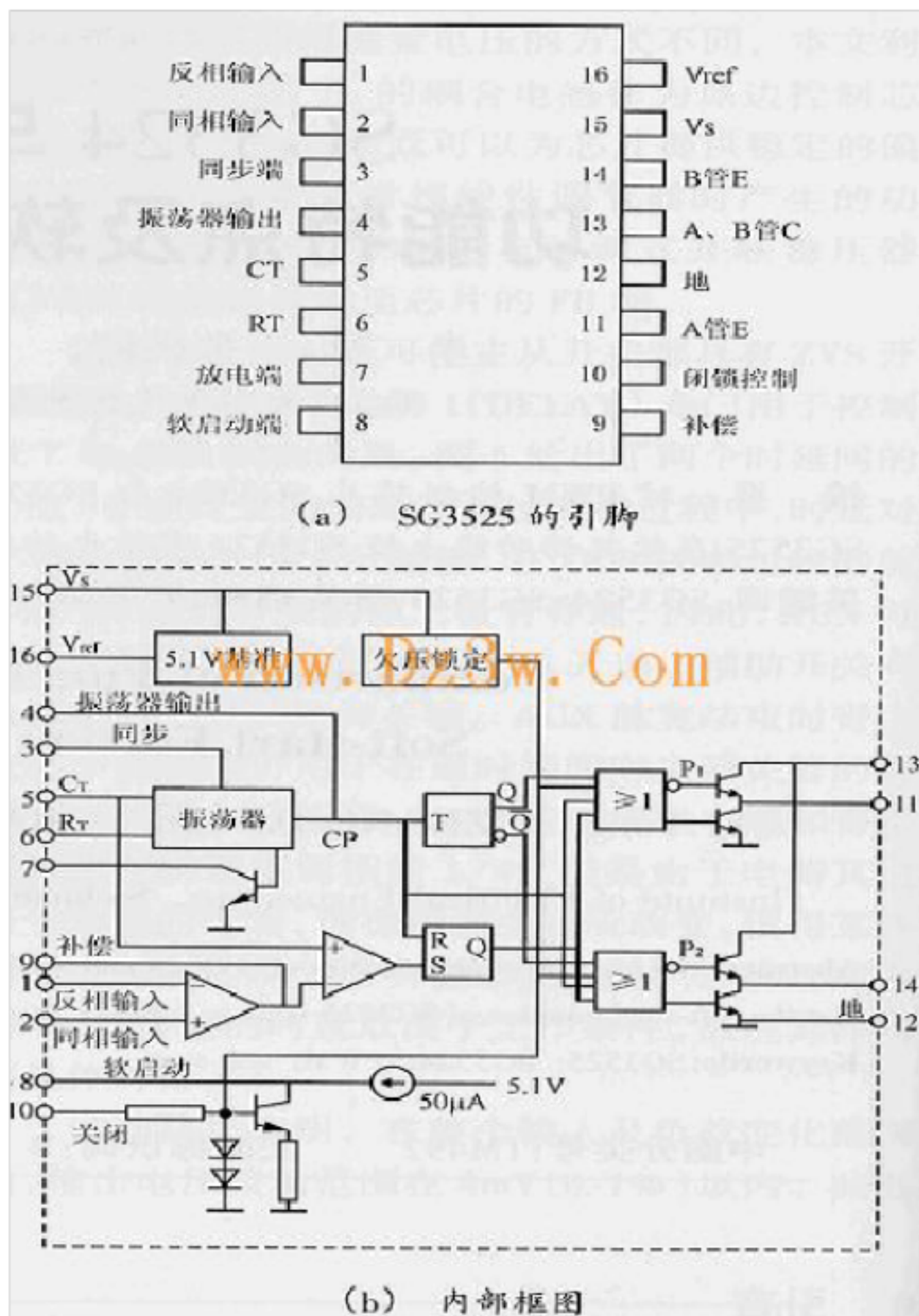


图 1

1. Inv.input(引脚 1)：误差放大器反向输入端。在闭环系统中，该引脚接反馈信号。在开环系统中，该端与补偿信号输入端（引脚 9）相连，可构成跟随器。
2. Noninv.input(引脚 2)：误差放大器同向输入端。在闭环系统和开环系统中，该端接给定信号。根据需要，在该端与补偿信号输入端（引脚 9）之间接入不同类型的反馈网络，可以构成比例、比例积分和积分等类型的调节器。
3. Sync(引脚 3)：振荡器外接同步信号输入端。该端接外部同步脉冲信号可实现与外电路同步。
4. OSC.Output(引脚 4)：振荡器输出端。
5. CT(引脚 5)：振荡器定时电容接入端。
6. RT(引脚 6)：振荡器定时电阻接入端。
7. Discharge(引脚 7)：振荡器放电端。该端与引脚 5 之间外接一只放电电阻，构成放电回路。
8. Soft-Start(引脚 8)：软启动电容接入端。该端通常接一只 5 的软启动电容。
9. Compensation(引脚 9)：PWN比较器补偿信号输入端。在该端与引脚 2 之间接

入不同类型的反馈网络，可以构成比例、比例积分和积分等类型调节器。

10.Shutdown(引脚 10)：外部关断信号输入端。该端接高电平时控制器输出被禁止。该端可与保护电路相连，以实现故障保护。

11.Output A(引脚 11)：输出端 A。引脚 11 和引脚 14 是两路互补输出端。

12.Ground(引脚 12)：信号地。

13.Vc(引脚 13)：输出级偏置电压接入端。

14.Output B(引脚 14)：输出端 B。引脚 14 和引脚 11 是两路互补输出端。

15.Vcc (引脚 15)：偏置电源接入端。

16.Vref(引脚 16)：基准电源输出端。该端可输出一温度稳定性极好的基准

其中，脚 16 为 SG3525 的基准电压源输出，精度可以达到 $(5.1 \pm 1\%) V$ ，采用了温度补偿，而且设有过流保护电路。脚 5，脚 6，脚 7 内有一个双门限比较器，内电容充放电电路，加上外接的电阻电容电路共同构成 SG3525 的振荡器。振荡器还设有外同步输入端（脚 3）。脚 1 及脚 2 分别为芯片内误差放大器的反相输入端、同相输入端。该放大器是一个两级差分放大器，直流开环增益为 70dB 左右。

特点如下：

- (1) 工作电压范围宽：8—35V。
- (2) 5.1 ($\pm 1.0\%$) V 微调基准电源。
- (3) 振荡器工作频率范围宽：100Hz—400KHz。
- (4) 具有振荡器外部同步功能。
- (5) 死区时间可调。
- (6) 内置软启动电路。
- (7) 具有输入欠电压锁定功能。
- (8) 具有 PWN 锁存功能，禁止多脉冲。
- (9) 逐个脉冲关断。
- (10) 双路输出（灌电流 / 拉电流）：mA(峰值)。

各部分功能：

a 基准电压源：基准电压源是一个三端稳压电路，其输入电压 VCC 可在 (8~35) V 内变化，通常采用 +15V，其输出电压 VST= 5.1V，精度 $\pm 1\%$ ，采用温度补偿，作为芯片内部电路的电源，也可为芯片外围电路提供标准电源，向外输出电流可达 400mA，没有过流保护电路。

b 振荡电路：由一个双门限电压均从基准电源取得，其高门限电压 $V_H=3.9 V$ ，低门限电压 $V_L=0.9$ ，内部横流源向 CT 充电，其端压 VC 线性上升，构成锯齿波的上升沿，当 $V_C=V_H$ 时比较器动作，充电过程结束，上升时间 t_1 为：

$$t_1 = 0.67RTCT$$

比较器动作时使放电电路接通，CT 放电，VC 下降并形成锯齿波的下降沿，当 $V_C=V_L$ 时比较器动作，放电过程结束，完成一个工作循环，下降时间 t_2 为：

$$t_2=1.3RDCT$$

注意：此时间即为死区时间

锯齿波的基本周期 T 为：

$$T=t_1+t_2=(0.67RT+1.3RD)CT$$

因为 $RD \ll RT \Rightarrow t_2 \ll t_1$

由上可见锯齿波的上升沿远长于下降沿，因此上升沿作为工作沿，下降沿作为回扫沿。

c 误差放大器：由两级差分放大器构成，其直流开环放大倍数为 80dB 左右，电压反馈信号 u_f 从端子 1 接至放大器反相输入端，放大器同相输入端接基准电压。该误差放大器共模输入电压范围是 1.5V-5.2V。

d PWM信号产生及分相电路：比较器的反相端接误差放大器的输出信号 u_e ，而振荡器的输出信号 u_c 则加到比较器的同相输入端，比较器的输出信号为 PWM信号，该信号经锁存器锁存，分相电路由二进制计数器和两个或非门构成，其输入信号为振荡器的时钟信号，并用时钟信号的前沿触发，输出为频率减半的互补方波，这些方波和 PWM信号输入到或非门逻辑电路。其结果是，所有的输入为负时，输出为正。这样 P1、P2 的输出每半周期交替为正，其宽度和 PWM信号的负脉冲相等。脉冲很窄的时钟信号输入到逻辑或非门电路，可使两个门的输出同时有一段低电平，以产生死区时间。

e 脉冲输出级电路：输出末级采用推挽输出电路，驱动场效应功率管时关断速度更快。11 脚和 14 脚相位相差 180° ，拉电流和灌电流峰值达 200mA 由于存在开闭滞后，使输出和吸收间出现重迭导通。在重迭处有一个电流尖脉冲，其持续时间约为 100ns。可以在 13 脚处接一个约 0.1 μ f 的电容滤去电压尖峰。

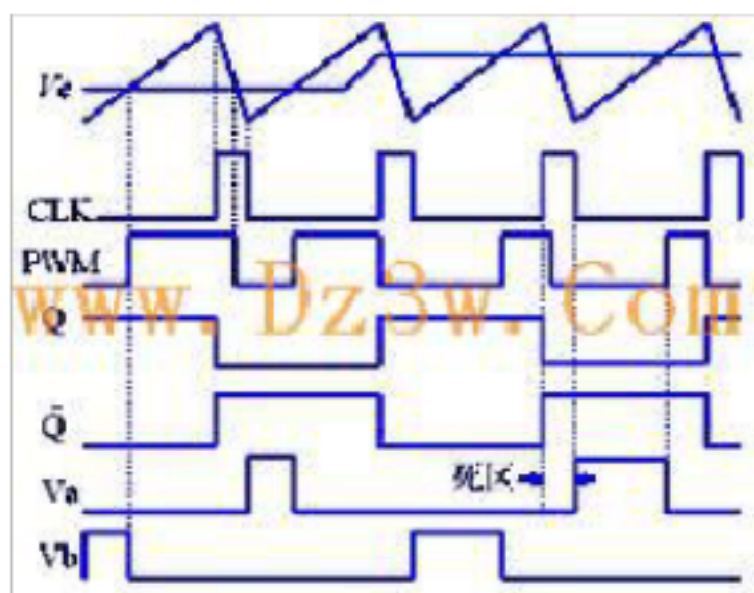


图 2 3525 各点工作波形

1.1.2 SG3525的工作原理

SG3525内置了 5.1V 精密基准电源，微调至 1.0%，在误差放大器共模输入电压范围内，无须外接分压电阻。SG3525还增加了同步功能，可以工作在主从模式，也可以与外部系统时钟信号同步，为设计提供了极大的灵活性。在 CT引脚和 Discharge 引脚之间加入一个电阻就可以实现对死区时间的调节功能。由于 SG3525内部集成了软启动电路，因此只需要一个外接定时电容。

SG3525的软启动接入端（引脚 8）上通常接一个 5 的软启动电容。上电过程中，由于电容两端的电压不能突变，因此与软启动电容接入端相连的 PWM比较器反向输入端处于低电平，PWM比较器输出高电平。此时，PWM锁存器的输出也为高电平，该高电平通过两个或非门加到输出晶体管上，使之无法导通。只有软启动电容充电至其上的电压使引脚 8 处于高电平时，SG3525才开始工作。由于实际中，基准电压通常是接在误差放大器的同相输入端上，而输出电压的采样电压则加在误差放大器的反相输入端上。当输出电压因输入电压的升高或负载的变化而升高时，误差放大器的输出将减小，这将导致 PWM比较器输出为正的时间变长，PWM锁存器输出高电平的时间也变长，因此输出晶体管的导通时间将最终变短，从而使输出电压回落到额定值，实现了稳态。反之亦然。

外接关断信号对输出级和软启动电路都起作用。当 Shutdown（引脚 10）上的信号为高电平时，PWM锁存器将立即动作，禁止 SG3525的输出，同时，软启动电容将开始放电。如果该高电平持续，软启动电容将充分放电，直到关断信号结束，才重新进入软启动过程。注意，Shutdown引脚不能悬空，应通过接地电阻可靠接地，以防止外部干扰信号耦合而影响 SG3525的正常工作。

欠电压锁定功能同样作用于输出级和软启动电路。如果输入电压过低，在 SG3525的输出被关断同时，软启动电容将开始放电。

此外，SG3525还具有以下功能，即无论因为什么原因造成 PWM脉冲中止，输出都将被中止，直到下一个时钟信号到来，PWM锁存器才被复位。

1.1.3 SG3524与 SG3525主要区别

作为 SG3524的增强版本，SG3525在以下方面进行了改进。

1 增加欠电压锁定电路。当 SG3525输入电压低于 8V时，控制器内部电路锁定，除基准电源和一些必要电路之外的所有电路停止工作，此时控制器消耗的电流极小。

2 增加了软启动电路。引脚 8 为软启动控制端，该端可外接软启动电容。软启动

电容由 SG3525内部 50 的恒流源进行充电。

3 提高了基准电源的精度。 SG3525中基准电源的精度提高了 1%, 而 SG3524中基准电源的精度只有 8%

4 去除了限流比较器。 SG3525去除了 SG3524中的限流比较器, 改由外部关断信号输入端 (引脚 10) 来实现限流功能, 同时还具有逐个脉冲关断和直流输出电流限幅功能。实际使用中, 一般在引脚 10 上接电流检测信号, 如果过电流检测信号维持时间较长, 软启动电容将被放电。

5 PWM比较器的反向输入端增加至两个。在 SG3524中, 误差放大器输出端、限流比较器输出端和外部关断信号输入电路共用 PWM比较器的反向输入端。在 SG3525中对此进行了改进, 使误差放大器输出端和外部关断信号输入电路分别送至 PWM比较器的一个反向输入端。这样做的好处在于, 避免了误差放大器和外部关断信号输入电路之间相互影响, 有利于误差放大器和补偿网络工作精度提高。

6 增加了 PWM锁存器。为了使关断电路更可靠的工作, SG3525在其内部增加了 PWM锁存器。PWM比较器输出信号首先送至 PWM锁存器, 锁存器由关断电路置位, 由振荡器输出时间脉冲复位。当关断电路工作时, 即使过电流信号立即消失, 锁存器也可以维持一个周期的关断控制, 直到下一周期时钟信号使锁存器复位为止。同时, 由于 PWM锁存器对 PWM比较器的置位信号进行锁存, 误差放大器上的噪声信号、振铃及其他信号在此过程中都被消除了。只有在下一个时钟周期才能重新复位, 可靠性大大提高。

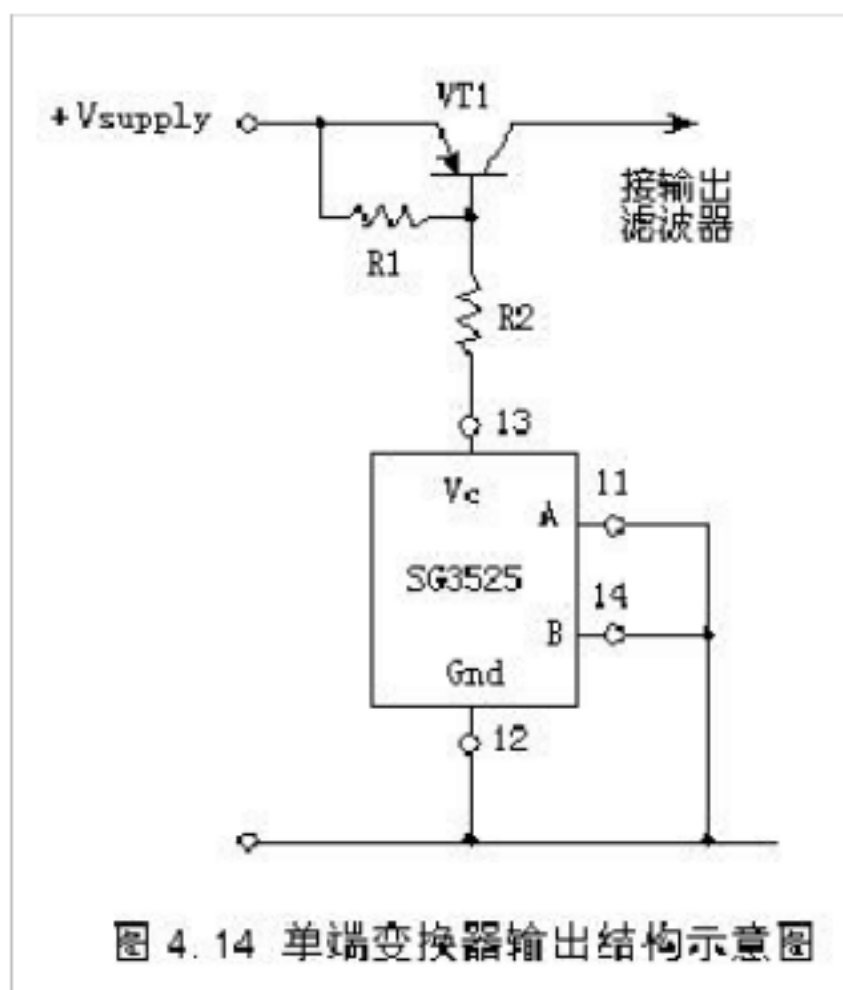
7 振荡器增加了同步端和放电端。 SG3524中的振荡器只有 CT和 RT两个引脚, 其充电和放电回路是相同的。在 SG3525中的振荡器除了 CT和 RT两个引脚外, 又增加了一个同步端 (引脚 3) 和一个放电端 (引脚 7)。RT的阻值决定了内部恒流源对 CT充电电流的大小, 而 CT的放电则由引脚 5 和引脚 7 之间的外接电阻决定。将充电回路和放电回路分开, 有利于通过引脚 5 和引脚 7 之间的外接电阻来调节死区时间。这样 SG3525的震荡频率由下式进行计算:

$$FOSC=1/[(0.7*RT+RD)*CT]$$

同步端 (引脚 3) 主要用于多只 SG3525之间的外部同步, 同步脉冲的频率应比震荡频率 FOSC略低一些。

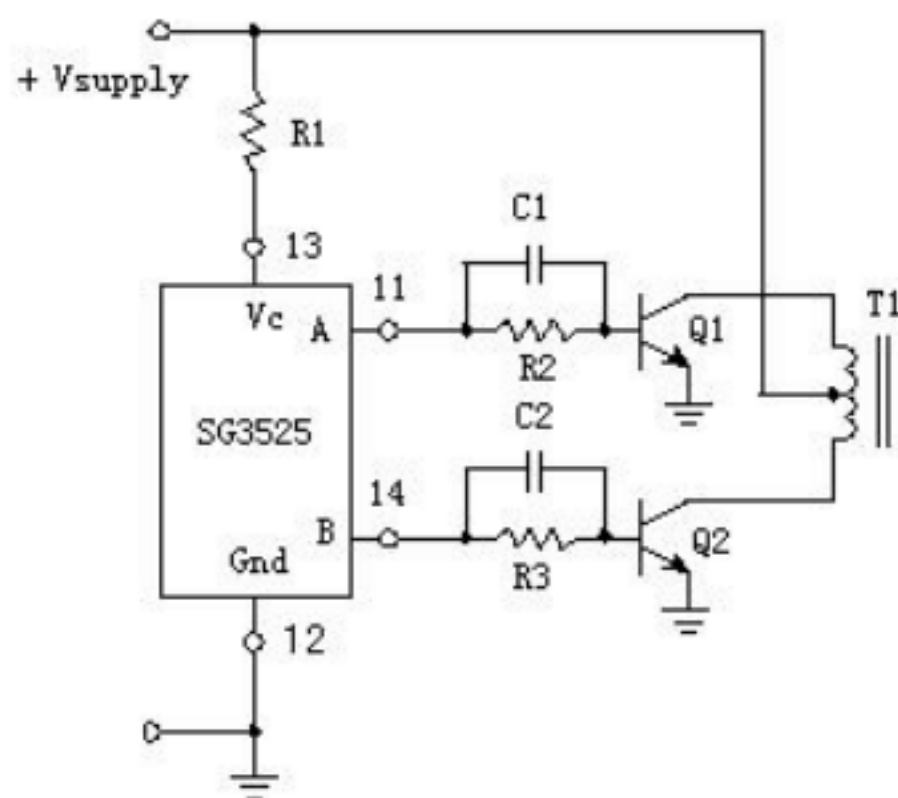
8 改进了输出级的结构。 SG3525对 SG3524输出级进行了改进, 以适应功率 MOS-FE的需要, 其末级采用了推挽式电路, 关断速度更快。

SG3525的输出级采用图腾柱式结构, 其灌电流 / 拉电流能力超过 200mA
在单端变换器应用中, SG3525的两个输出端应接地, 如图 4.14

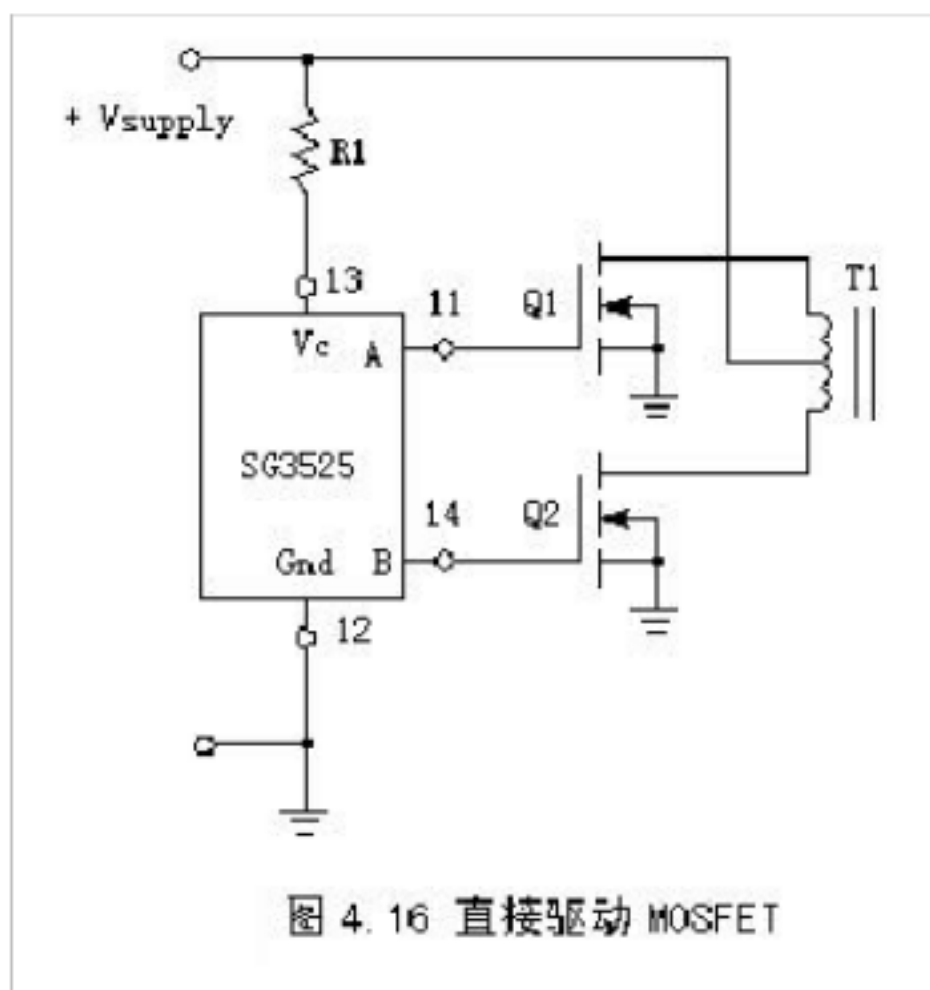


当输出晶体管开通时， $R1$ 上会有电流流过， $R1$ 上的压降将使 $VT1$ 导通。因此 $VT1$ 是在 $SG3525$ 内部的输出晶体管导通时间内导通的，因此其开关频率等于 $SG3525$ 内部振荡器的频率。

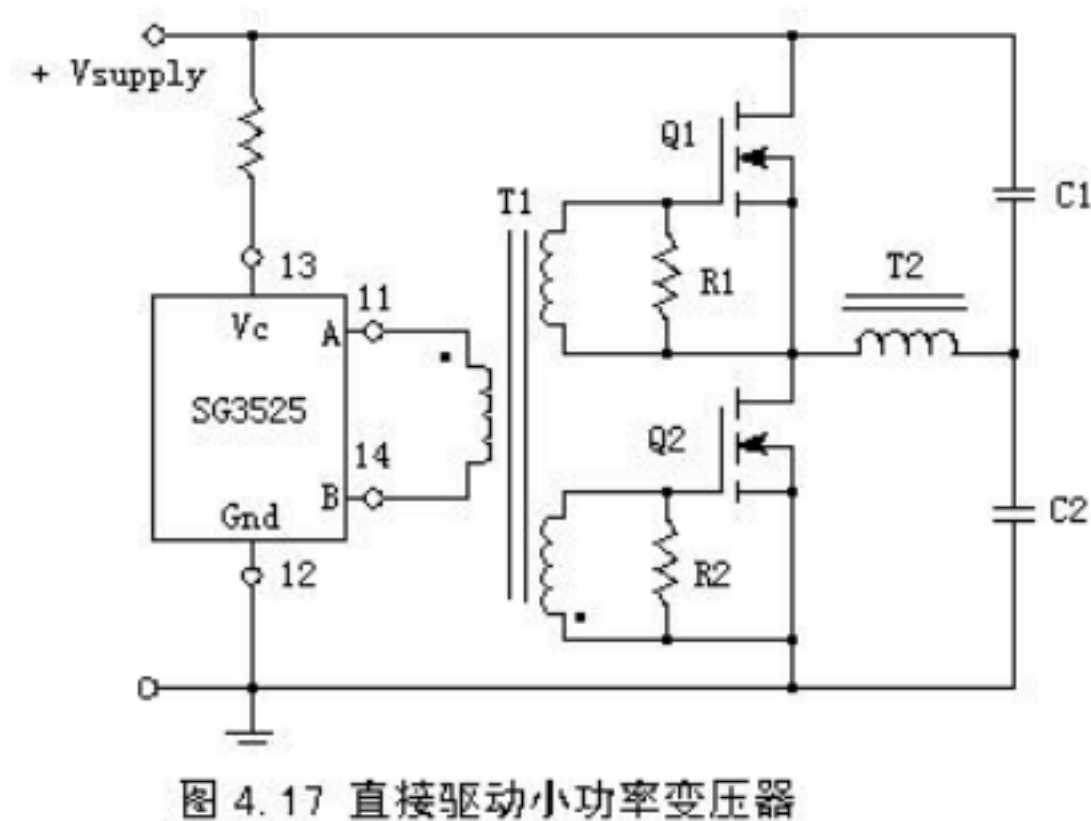
当采用推挽式输出时，应采用如下结构，如图 4.15



$VT1$ 和 $VT2$ 分别由 $SG3525$ 的输出端 A 和输出端 B 输出的正向驱动电流驱动。电阻 $R2$ 和 $R3$ 是限流电阻，是为了防止注入 $VT1$ 和 $VT2$ 的正向基极电流超出控制器所允许的输出电流。 $C1$ 和 $C2$ 是加速电容，起到加速 $VT1$ 和 $VT2$ 导通的作用。由于 $SG3525$ 的输出驱动电路是低阻抗的，而功率 MOSFE的输入阻抗很高，因此输出端 A 和输出端 B 与 $VT1$ 和 $VT2$ 栅极之间无须串接限流电阻和加速电容，就可以直接推动功率 MOSFET如图 4.16。



另外，SG3525还能够直接驱动半桥变换器中的小功率变压器。如果变压器一次绕组的两端分别直接接到 SG3525的两个输出端上，则在死区时间内可以实现变压器的自动复位，如图 4.17



SG3525在双管正激开关电源中的应用

根据 SG3525 各脚功能和双管正激电路开关管控制规律，接有如图 3 所示的 SG3525 外围电路。脚 5、脚 6、脚 7 的电容、电阻值决定了振荡器的振荡频率。脚 1 和脚 2 为 SG3525 的误差放大器的反相和同相输入端，现均通过一个电阻接地，让它处于不工作状态，因为本控制电路的误差放大器采用的是 TL431，其原因是由于隔离反馈电路采用的是比较普遍的光隔离器。但是光隔离器的电流传送比会随温度而漂移，也会随着时间增加而逐渐变差，而且各个光耦合隔离器的误差范围也相差比较大，为了补偿光耦合器的这些差异而不使用电位器，就要把误差放大器放在光耦合隔离器的输入侧。误差放大器可以检测到光隔离器

漂移引起的其输出端的偏移，然后相应地调整电流。副边的误差放大器通常采用的是 TL431，它的内部有一个具有温度补偿的电压参考源和一个放大器，反馈电路如图 4 所示。

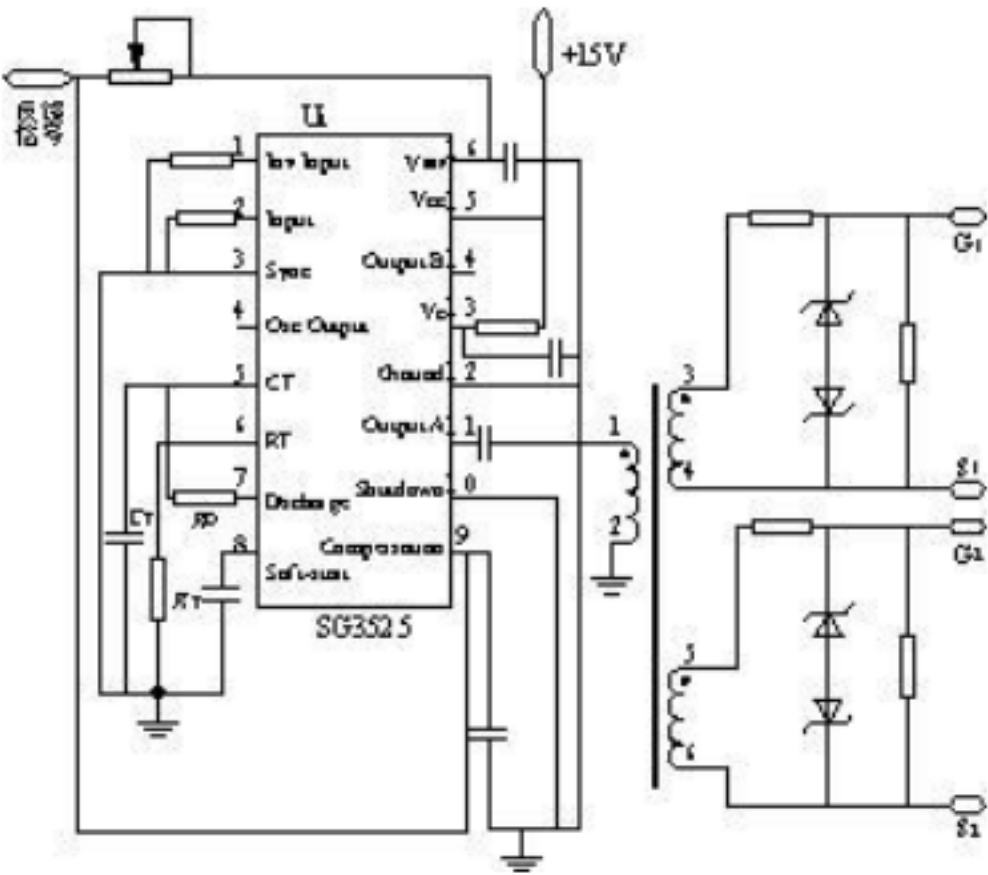


图 3 SG3525在双管正激电源中的应用

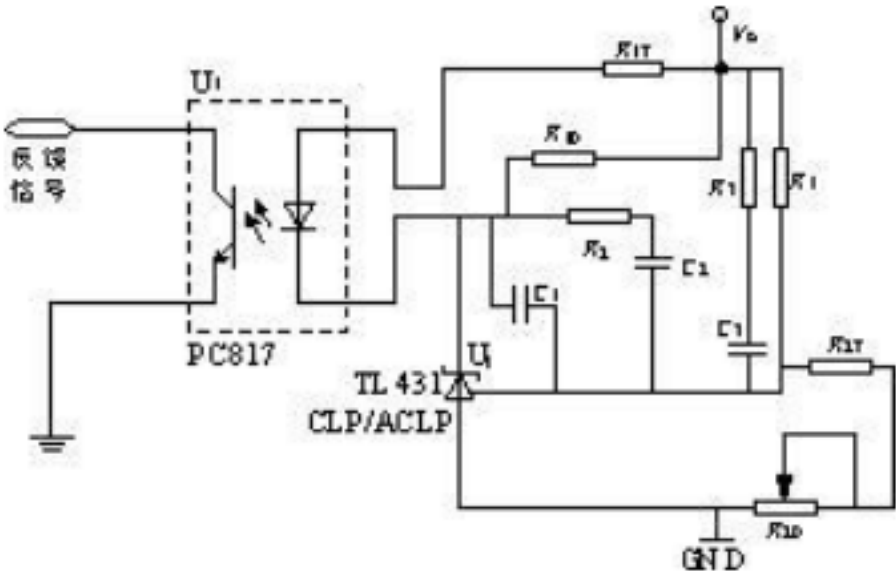


图 4 光隔离的电压反馈电路图

SG3525的脚 8 接不同的对地电容时软启动的时间不一样。例如 10 兹 F 的电容所对应的软启动时间为 0.58 s ,22 兹 F 的电容所对应的软启动时间为 1.26s 等。反馈信号直接送入脚 9（即 PWM 比较器的反相输入端），和振荡器输出的三角波进行比较输出 PWM 波。由于双管正激电路的两个主开关管是同时导通和同时关断，而 SG3525 的脚 11 和脚 14 输出的是两路占空比相等，但相位互差 180 度的驱动波形。所以只用其一路输出。通过脉冲变压器来隔离驱动两个 MOS 管的开通和关断。SG3525 的脚 11 和脉冲变压器的输入端接一电容主要是为了起到隔直的作用，避免驱动变压器出现偏磁的现象。

3 启动电路的改进

对离线式开关电源，如果启动电路始终从电源输入线获取电流，会产生很可观的损耗，特别是在高输入电压的场合下，启动电阻的热损耗很大，所

以本文采用的启动电路在电路稳定工作后就切断启动回路，其结构如图 5 所示。工作原理主要是当整个电源进入稳定工作状态后，SG3525的工作电源可以从变压器的附加绕组上获取，使得此时的三极管基射极和发射极上的二极管反偏，这样就完成了对启动电流的切断过程 [2]。

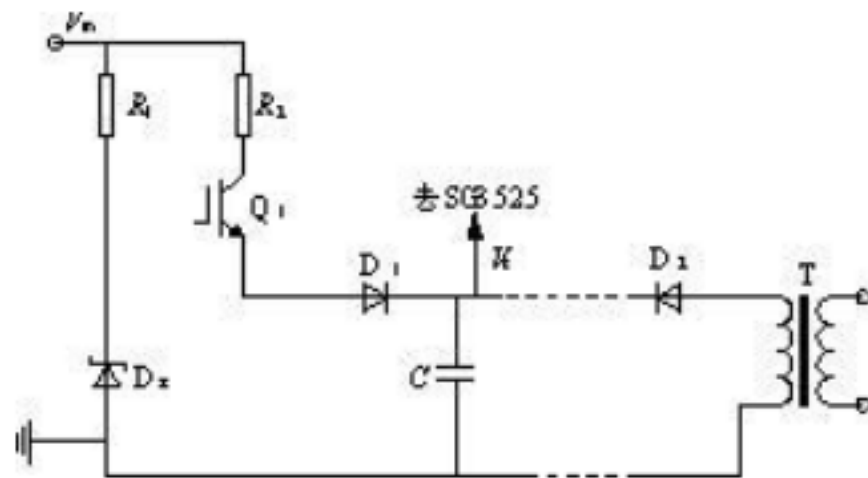


图 5 高输入电压的双管正激电路的自启动电路

4 实验结果

为了验证基于 SG3525来实现双管正激变换器的可行性，选择合适的器件参数对这种控制方法的实现进行了实验验证。输入电压为 400~800V，输出电压为 24 V，额定输出电流为 6 A，频率为 35kHz。实验波形如图 6~图 9 所示。

图 6 为 SG3525 的一路输出波形。开关频率为 35kHz, 要改变其频率很简单, 只需调节 SG3525 振荡器的频率即可。

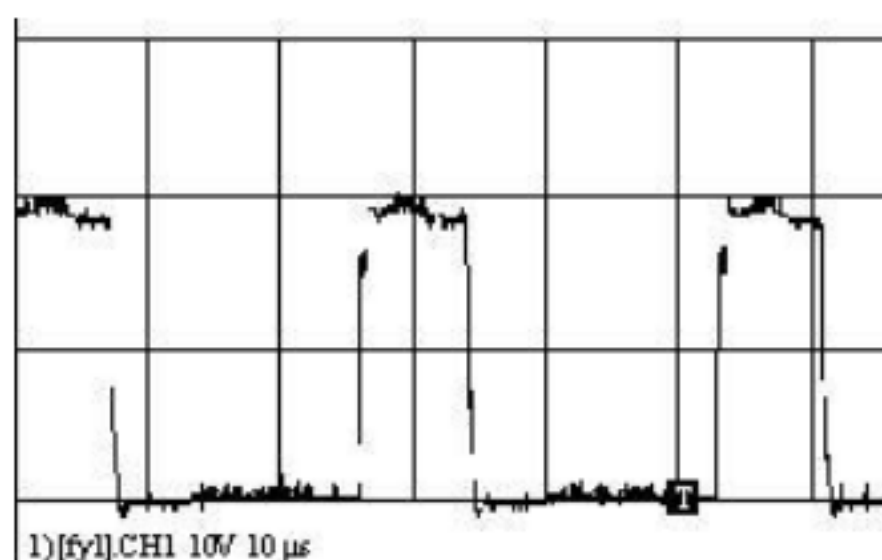


图 6 SG3525脚 11 输出的 PWM波形

图 7 为输入电压增加后 MOS 管驱动脉宽的变化，分别为输入电压等于 420V 和 570V 时的驱动波形。由此可说明以下两点：

(1) 此驱动波形为交流波形，由于 SG3525 的输出波形是单极性的，而脉冲变压器是不允许有直流成分存在，其后接一个隔直电容后再来驱动 MOS 管，故开关管的驱动波形变为交流波形；

(2) 随着输入电压升高为 570V时驱动 MOS管导通的脉宽变窄，使得输出电压稳定在恒定值。

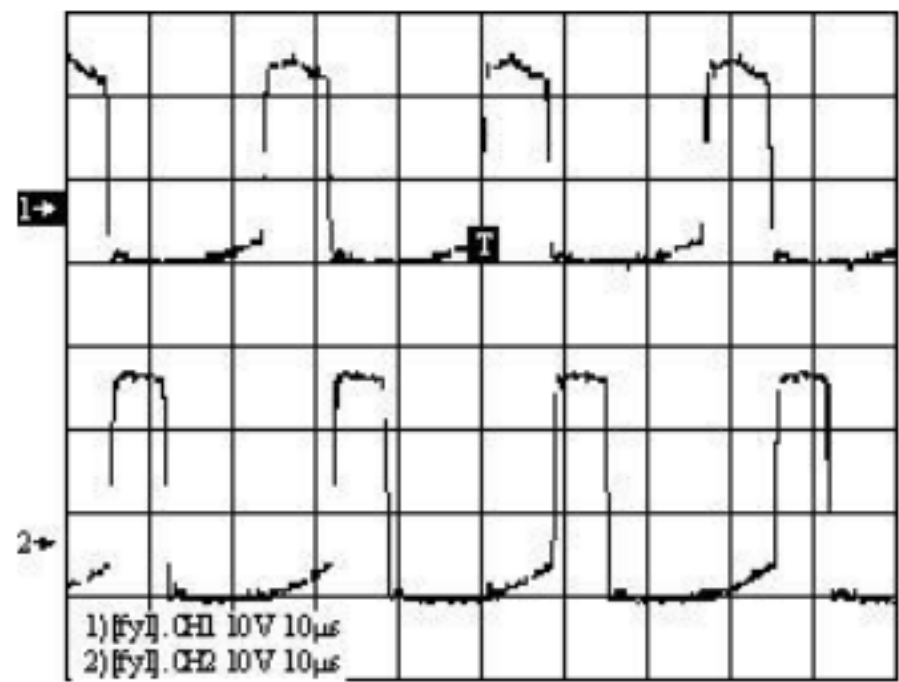


图 7 MOS管驱动脉宽的变化

图 8 为输出电压等于 24V的直流波形。

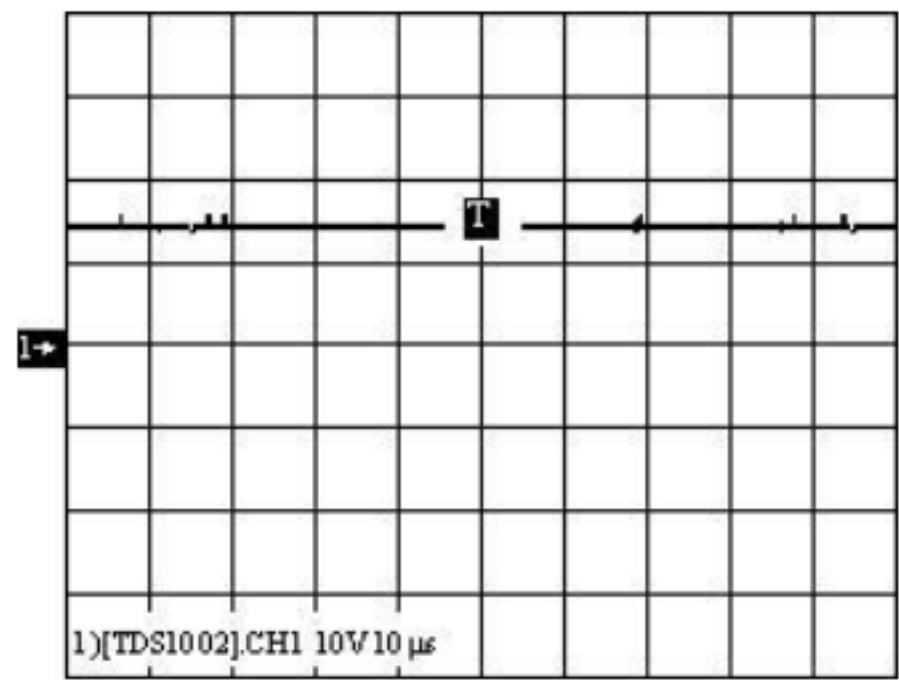


图 8 输出电压的直流波形

图 9 为输出电压为 24V的交流纹波，可见纹波小于 40mV, 电压尖峰也小于 150mV

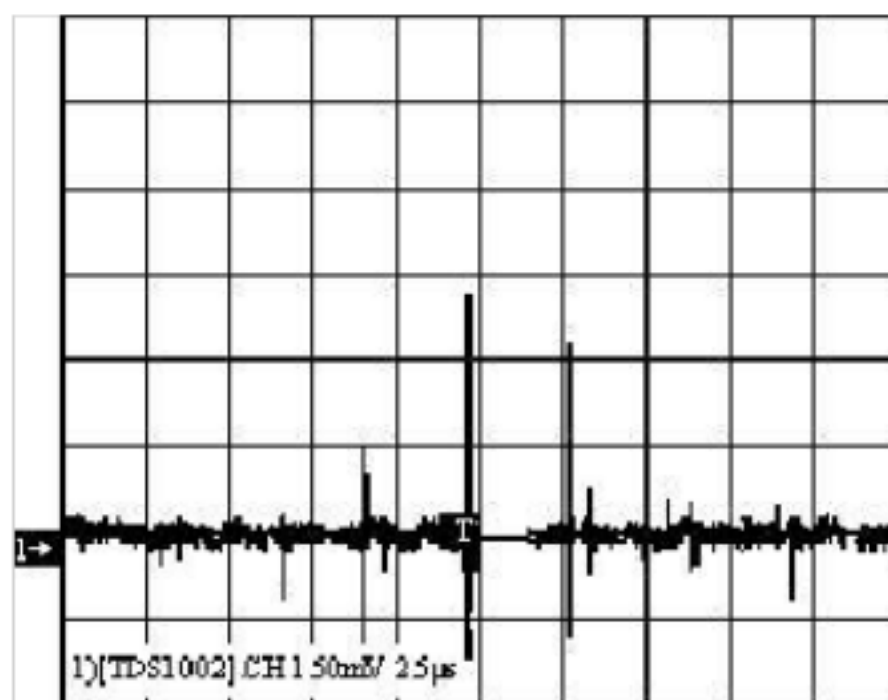


图 9 输出电压的交流纹波

5 结 语

实验证明：基于芯片 SG3525来实现双管正激稳压电路是可行的，且性能可靠，调节方便，实测的各点波形与理论波形相符，运行效果良好。