



电气精品教材丛书

止於至善

“十三五”江苏省高等学校重点教材
工业和信息化部“十四五”规划教材

电力电子技术 · Power Electronics

第10章 驱动电路

2022/12/16



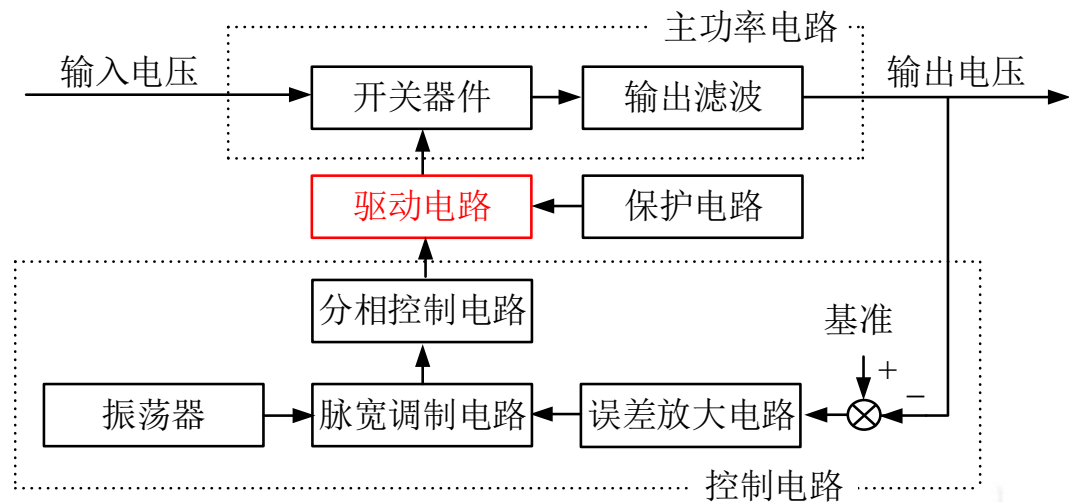
東南大學電氣工程
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING

■ 驱动电路作用：

- 将控制电路输出的PWM脉冲放大到足以驱动开关管——开关功率放大作用

■ 优良的驱动电路：

- 改善开关管的开关特性
- 减小开关损耗
- 提高整机效率和器件可靠性（即尽量快开、快关）



闭环电源系统图



10.1 MOSFET驱动

10.2 共地驱动

10.3 浮地驱动

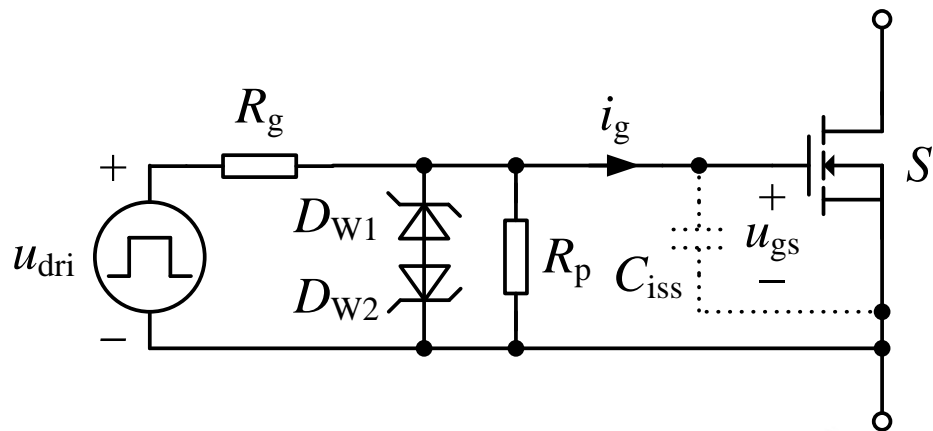
10.4 隔离驱动

10.5 IGBT驱动



MOSFET驱动

- 驱动电压源 u_{dri} ：幅值足够高，低于栅源极击穿电压，一般选择12V
- 栅极电阻 R_g ：用来限制栅极初始充电电流和放电电流，起到阻尼 u_{gs} 振荡(寄生参数导致)的作用； R_g 阻值要求较小，以达到快速开通和关断，一般取几欧姆到几十欧姆
- 栅源极并接电阻 R_p ：MOSFET栅极不允许开路或悬浮，避免因静电感应造成误导通，其大小一般选为10k
- 栅源极并接稳压管：限制 u_{gs} 最高电压，击穿电压选择稍低于开关管允许的栅极最大电压

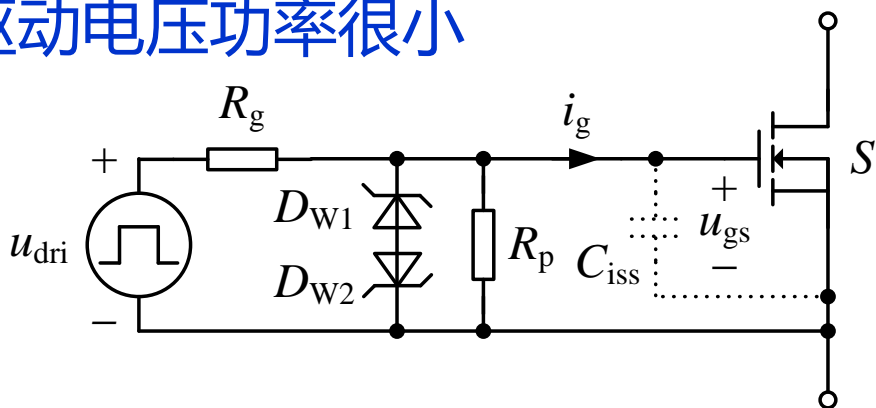


MOSFET驱动电路图

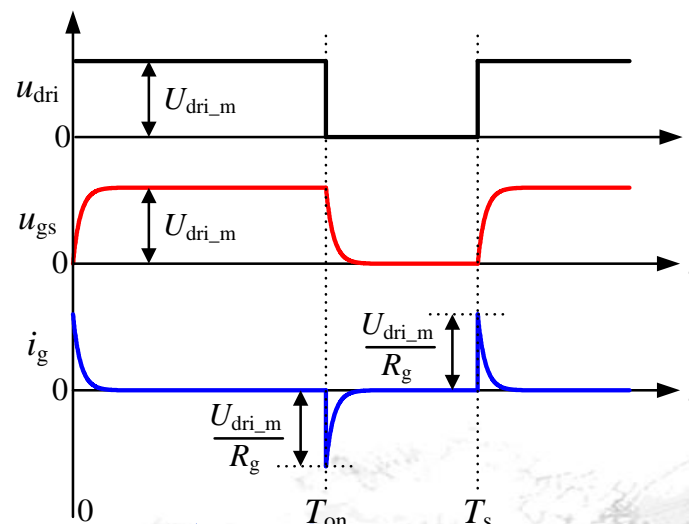


MOSFET驱动

- 驱动为高电平时，通过 R_g 给 C_{iss} 充电， u_{gs} 从零开始呈指数上升到驱动电压，驱动初始电流为 U_{dri}/R_g ，并呈指数下降到零
- 驱动为低电平时， C_{iss} 通过 R_g 放电， u_{gs} 从驱动电压呈指数下降到零，驱动电流从 U_{dri}/R_g 呈指数下降到零
- 驱动电压源仅在开通和关断瞬间提供一个充放电电流，稳态时为零，故驱动电压功率很小



MOSFET驱动电路图



主要波形





10.1 MOSFET驱动

10.2 共地驱动

10.3 浮地驱动

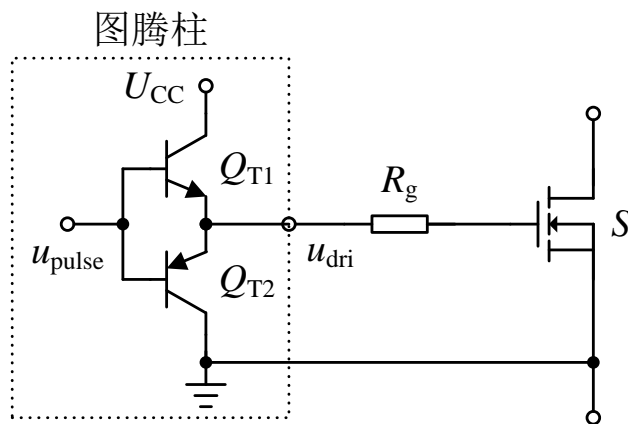
10.4 隔离驱动

10.5 IGBT驱动

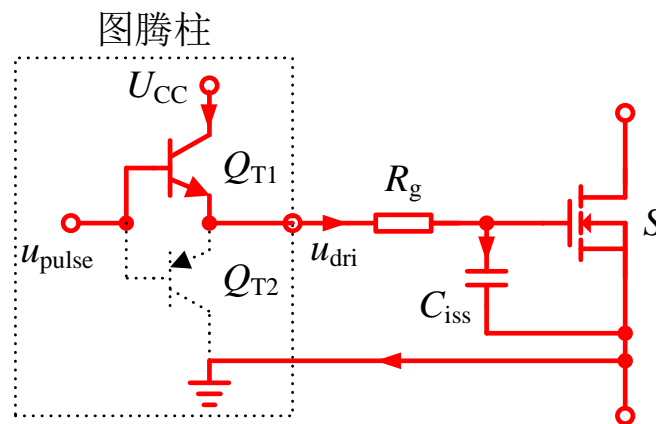


基本共地驱动电路

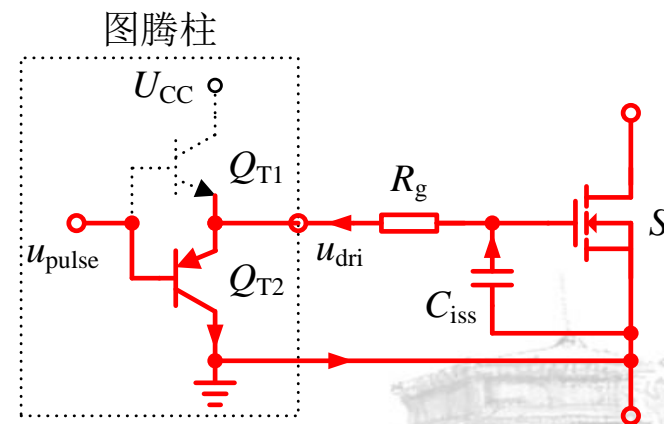
- 当控制电路与MOSFET的源极共地时，驱动电路常采用**互补式**驱动电路
- NPN型和PNP型两晶体管以**图腾柱**连接(射极跟随)
- 驱动信号高电平时， Q_{T1} 导通， Q_{T2} 截止， U_{CC} 通过 R_g 给 C_{iss} 充电；
- 驱动信号低电平时， Q_{T2} 导通， Q_{T1} 截止， C_{iss} 经由 R_g 放电
- U_{pulse} 幅值不能高于 U_{CC} ，一般设计与 U_{CC} 相等



基本的共地驱动电路



(a) 驱动信号 U_{pulse} 为高电平(U_{pul_m})



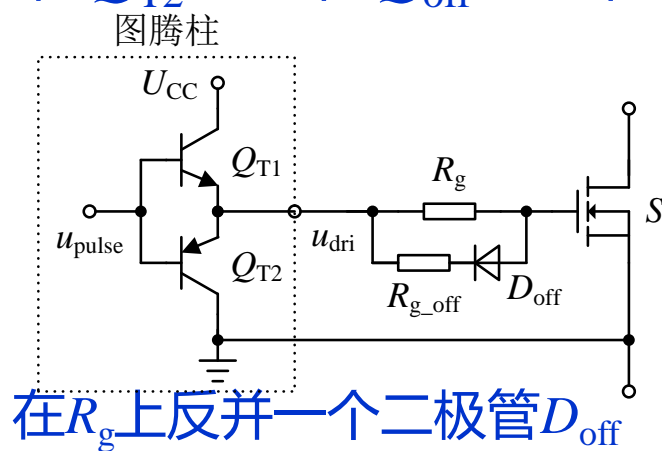
(b) 驱动信号 U_{pulse} 为低电平(0)

共地驱动电路各工作模态的等效电路

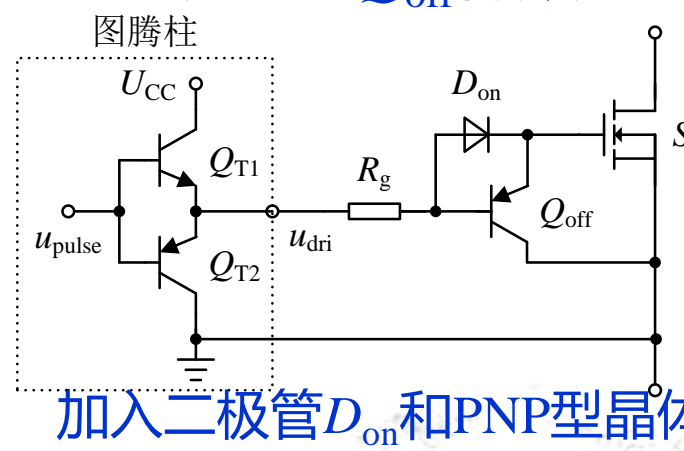


加速关断驱动电路

- 为加速关断，可在 R_g 上并联一个电阻 R_{g_off} 和二极管 D_{off} 组成的支路
- C_{iss} 放电回路的电阻为 R_g 和 R_{g_off} 的并联，有利于提高放电速度，当将 R_{g_off} 短路，放电更快
- 进一步加快关断，加入二极管 D_{on} 和PNP型晶体管 Q_{off}
- 驱动高电平时， Q_{T1} 导通， U_{CC} 通过 R_g 和 D_{on} 给 C_{iss} 充电
- 驱动低电平时， Q_{T2} 导通， Q_{off} 导通， C_{iss} 电荷直接通过 Q_{off} 释放到零，放电速度更快



在 R_g 上反并一个二极管 D_{off}

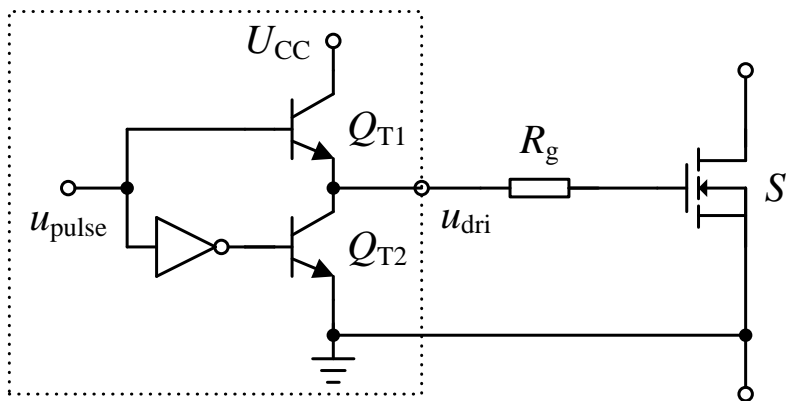


加入二极管 D_{on} 和PNP型晶体管 Q_{off}

加速关断的图腾柱驱动电路

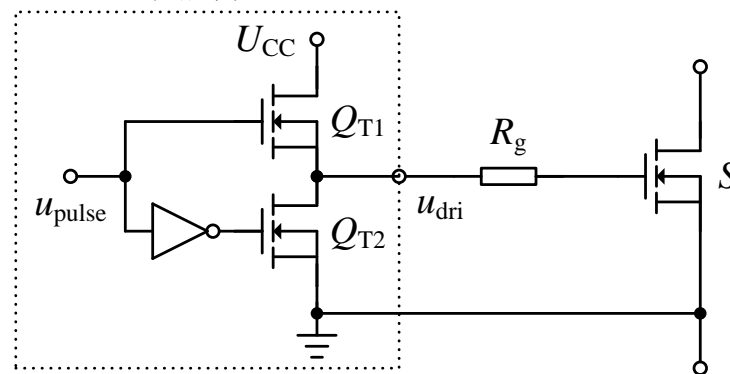
其他类型共地驱动电路

图腾柱



驱动管均为NPN型晶体管

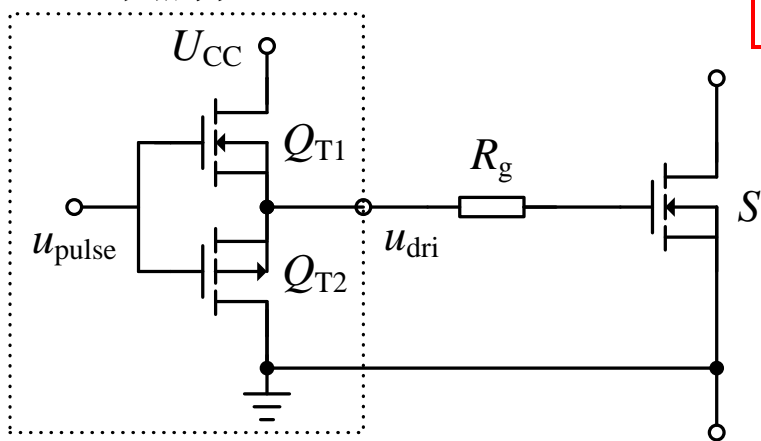
图腾柱



驱动管均为N型MOSFET

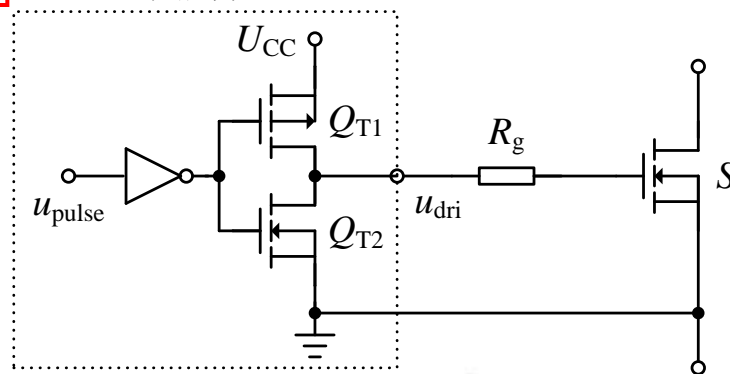
其他共地驱动电路

图腾柱



上下驱动管分别为N型和P型MOSFET

图腾柱



上下驱动管分别为P型和N型MOSFET





10.1 MOSFET驱动

10.2 共地驱动

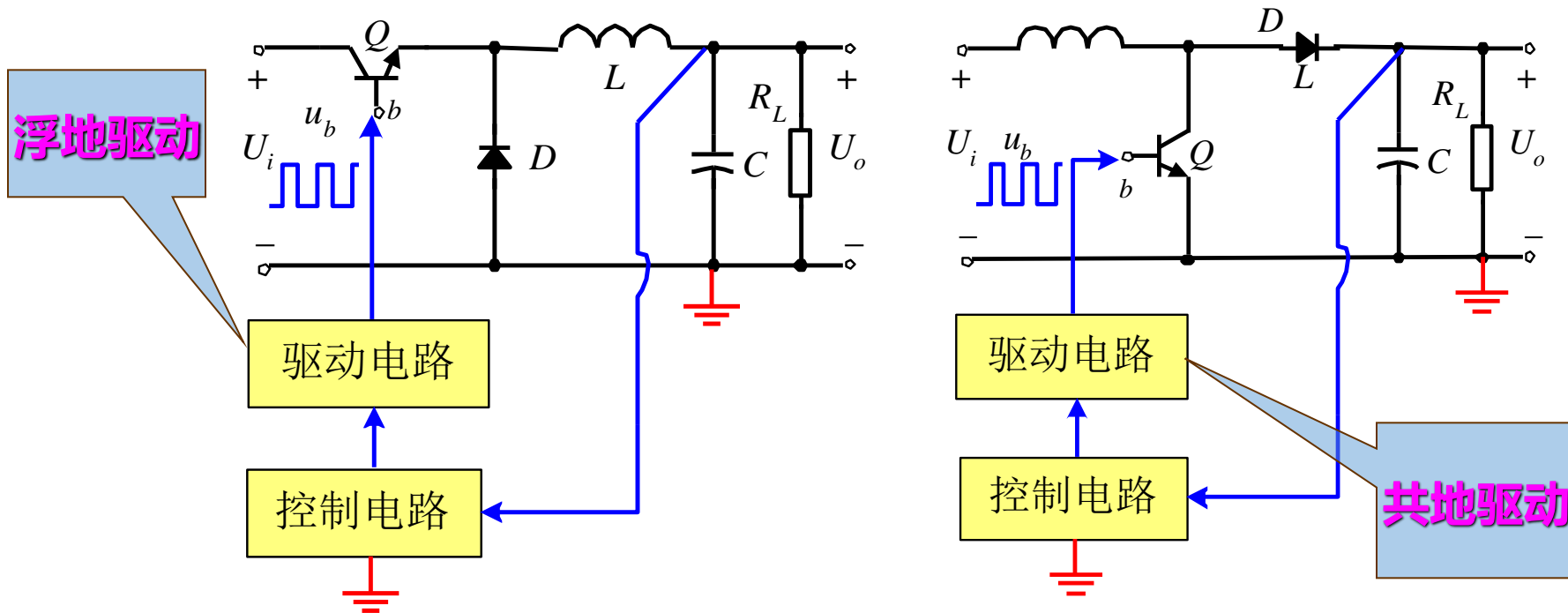
10.3 浮地驱动

10.4 隔离驱动

10.5 IGBT驱动



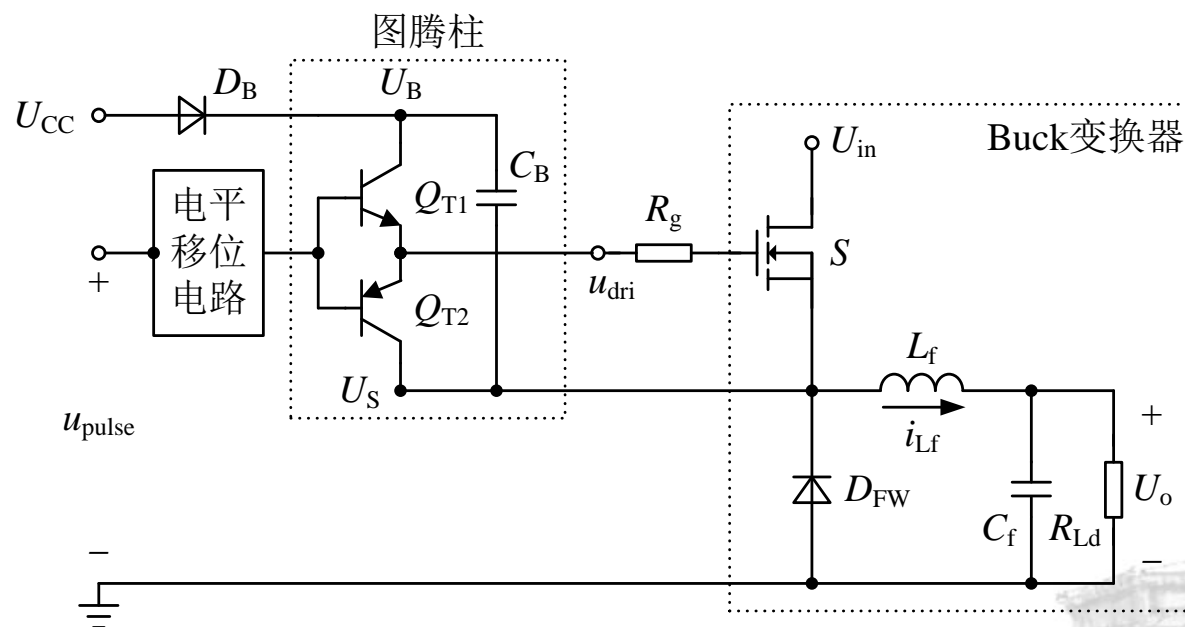
一、了解浮地隔离的概念



- 控制参考地与驱动信号参考地 (e极) 不同——浮地驱动;
- 控制参考地与驱动信号参考地 (e极) 同地——共地驱动;

单管浮地驱动电路

- 驱动信号与开关管源极不共地
- 电平移位电路用于将驱动信号进行电平移位
- Q_{T1} 和 Q_{T2} 构成图腾柱
- C_B 为图腾柱的供电电容
- D_B 为 C_B 提供充电通路
- U_{CC} 为控制电路的供电电压



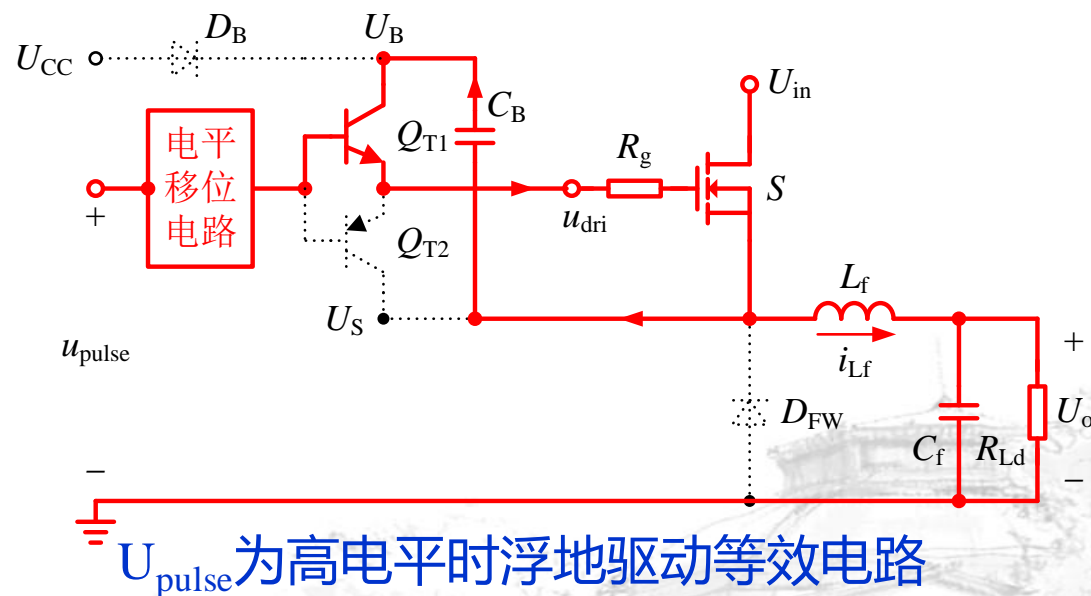
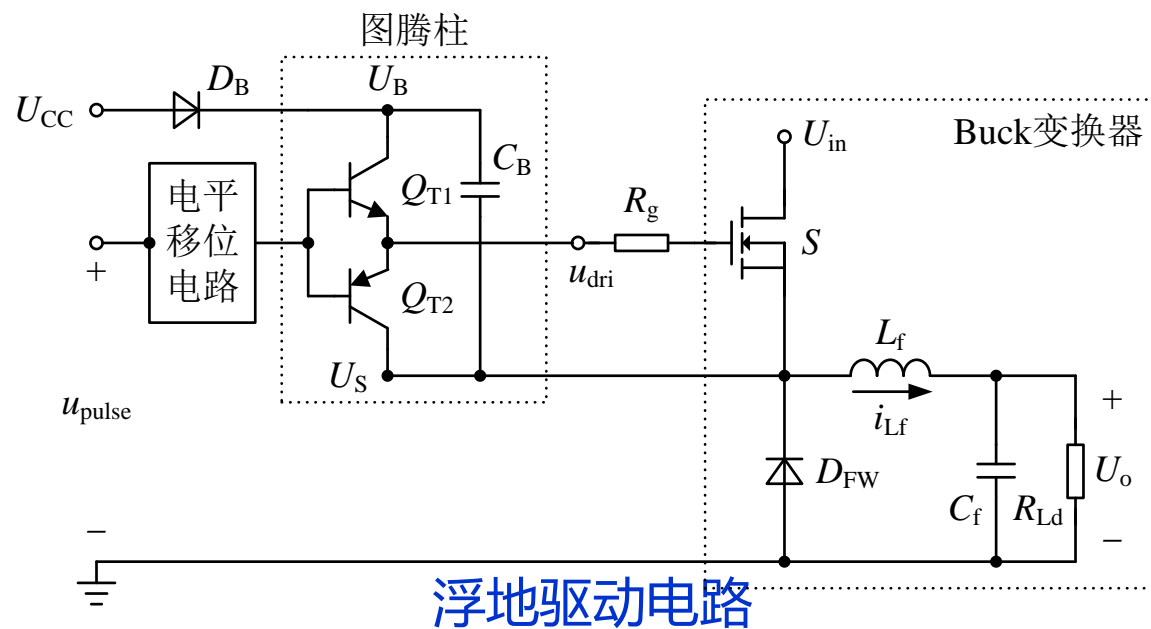
浮地驱动电路



单管浮地驱动电路

当驱动信号 U_{pulse} 高电平时:

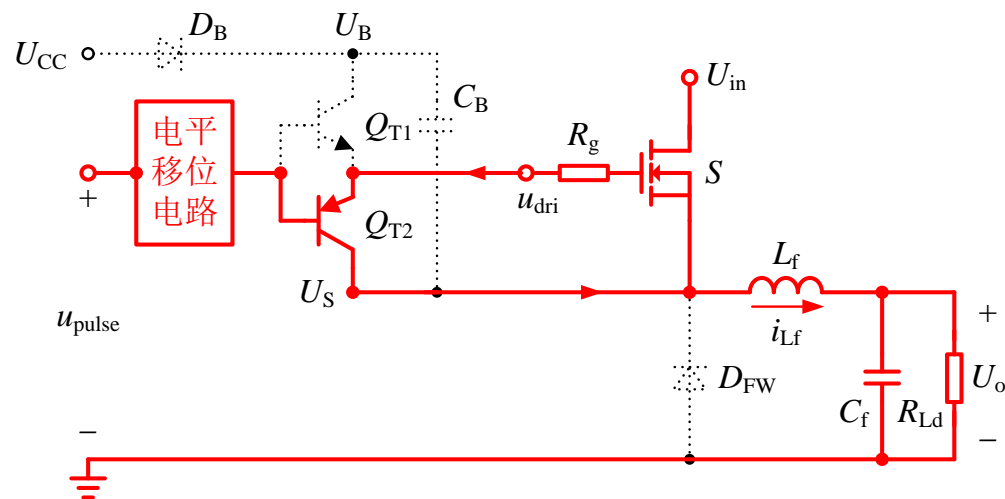
- Q_{T1} 和 Q_{T2} 的基极电压为高电平, Q_{T1} 导通
- 电容 C_B 通过 R_g 给开关管 S 输入电容充电
- 开关管 S 导通



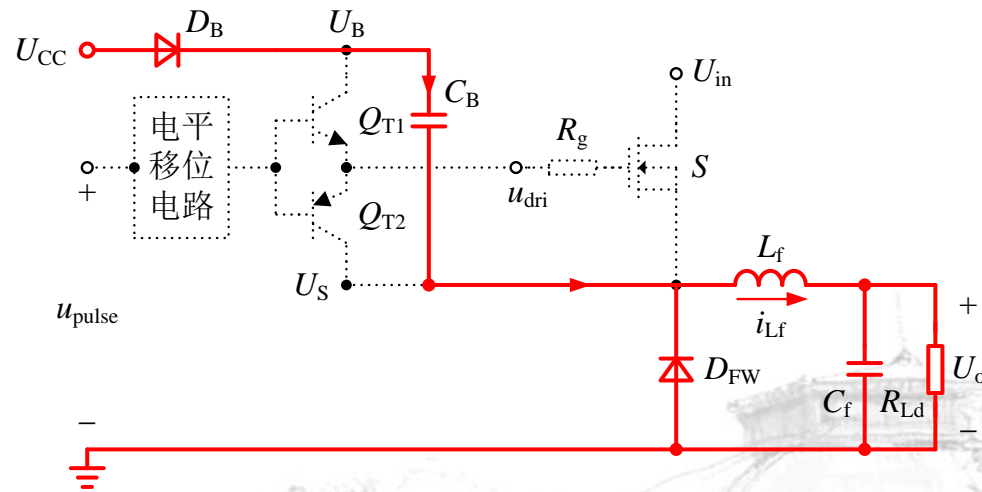
单管浮地驱动电路

当驱动信号 U_{pulse} 低电平时:

- Q_{T1} 和 Q_{T2} 基极电压低电平, Q_{T2} 导通
- 开关管 S 的输入电容经由 R_g 放电
- 当 u_{ds} 小于门槛电压 U_{TH} , S 截止, D_{FW} 导通
- S 源极电压为零, U_{CC} 通过二极管 D_B 给电容 C_B 充电



U_{pulse} 为低电平时浮地驱动等效电路

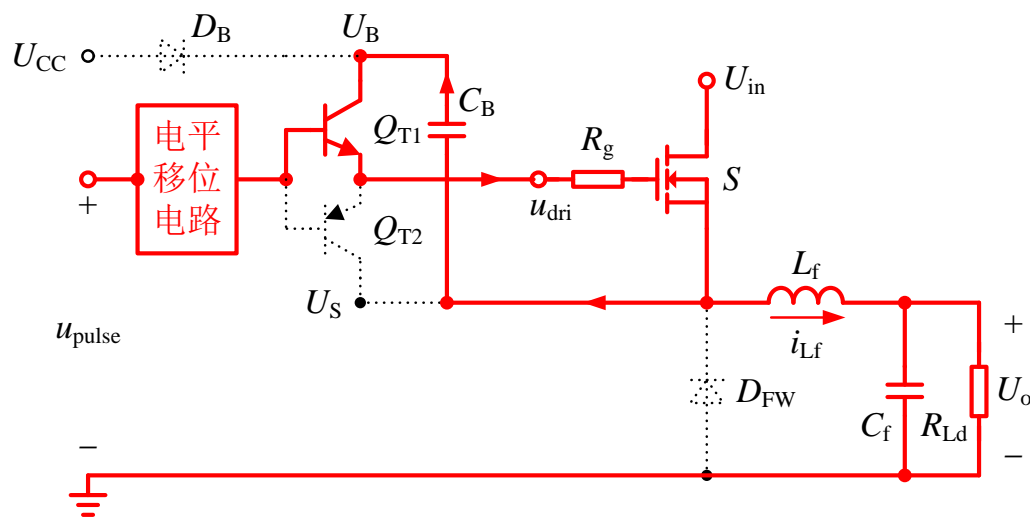


C_B 被充电时浮地驱动等效电路

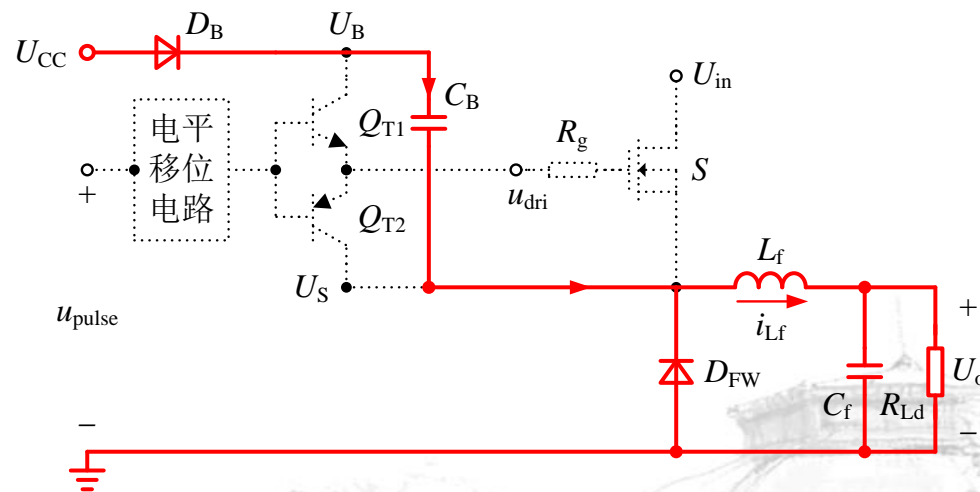


单管浮地驱动电路

- 电容 C_B 下端电位在 U_{in} 和0之间跳变
- 当开关管 S 导通、 D_{FW} 截止时，电容 C_B 下端电位将从0上举到 U_{in}
- 二极管 D_B 和电容 C_B 构成自举电路，为此称 D_B 为自举二极管， C_B 为自举电容
- 二极管 D_B 承受的反向电压为 U_{in} ，工作在开关频率，需要选用快恢复二极管



U_{pulse} 为高电平时浮地驱动等效电路



C_B 被充电时浮地驱动等效电路



-

桥臂驱动电路图



10.1 MOSFET驱动

10.2 共地驱动

10.3 浮地驱动

10.4 隔离驱动

10.5 IGBT驱动



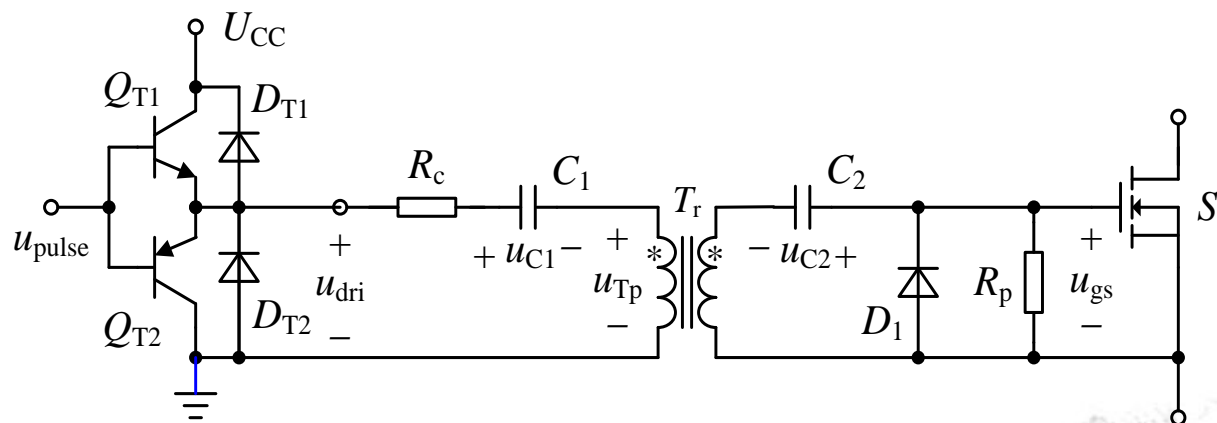
隔离驱动电路

- 在隔离型变换器中，控制电路有时与输出电压共地，其驱动需要电气隔离
- 电气隔离可采用光耦和变压器来实现
- 由于光耦存在一定的延时，适用于开关频率较低的场合
- 变压器的延时几乎可以忽略，适用于开关频率较高的场合



适用于单管的隔离驱动电路

- Q_{T1} 和 Q_{T2} 构成图腾柱, T_r 是隔离变压器
- R_c 用来阻尼电容与变压器漏感和寄生电感引起的振荡;
- C_1 是隔直电容, C_2 是驱动电压幅值恢复电容
- D_1 是驱动电压幅值恢复二极管
- R_p 用来避免断电后开关管因静电感应导致栅极过压击穿

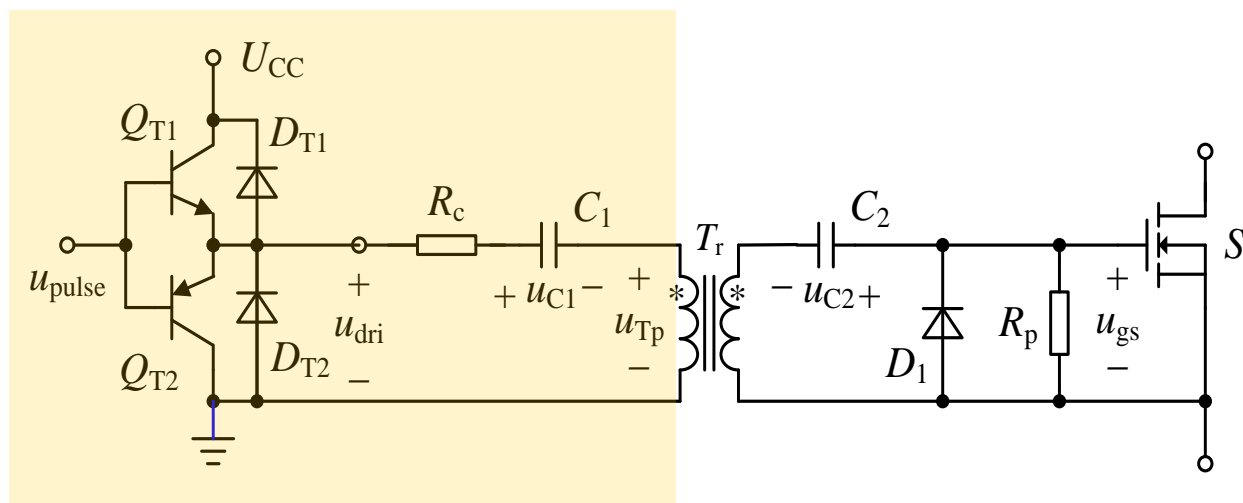


适用于单管的隔离型驱动电路图

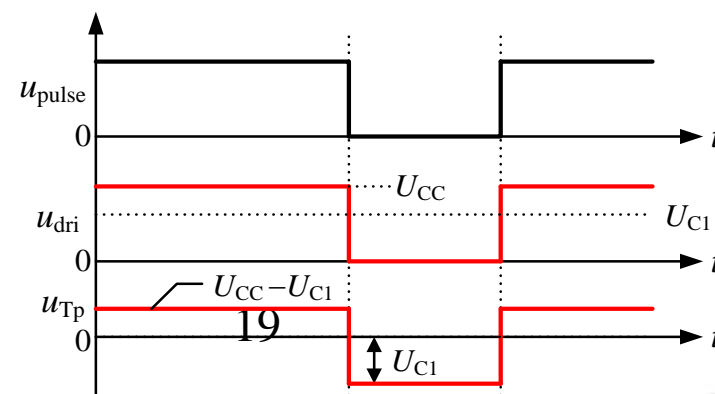


适用于单管的隔离驱动电路

- 驱动电压所含直流分量，加在隔直电容 C_1 上
- 电容上电压即为驱动电压直流分量 $U_{c1}=U_{cc}T_{on}/T_s$
- 变压器原边电压是一个交流电压，正向幅值为 $U_{cc}-U_{c1}$ ，负向幅值为 U_{c1}



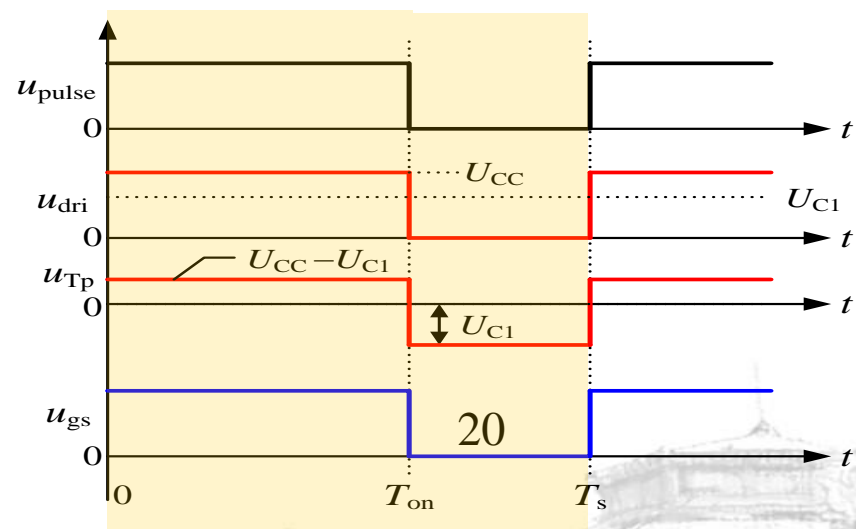
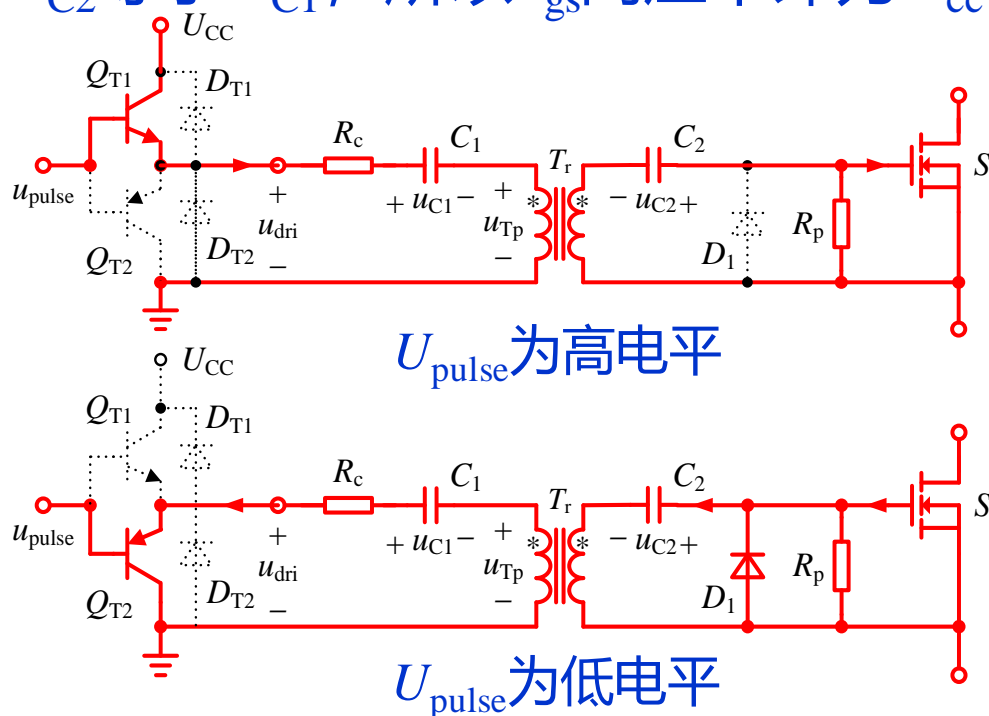
适用于单管的隔离型驱动电路图



主要波形

适用于单管的隔离驱动电路

- 变压器原边电压为交流电压，正向幅值为 $U_{cc}-U_{c1}$ ，负向幅值为 U_{c1}
- 驱动低电平时， Q_{T2} 导通， u_{gs} 为0， $U_{C2}=U_{c1}$
- 驱动高电平时， Q_{T1} 导通， u_{gs} 为 $U_{cc}-U_{c1}+U_{C2}$
- 稳态时 U_{C2} 等于 U_{C1} ，所以 u_{gs} 高压平即为 U_{cc}

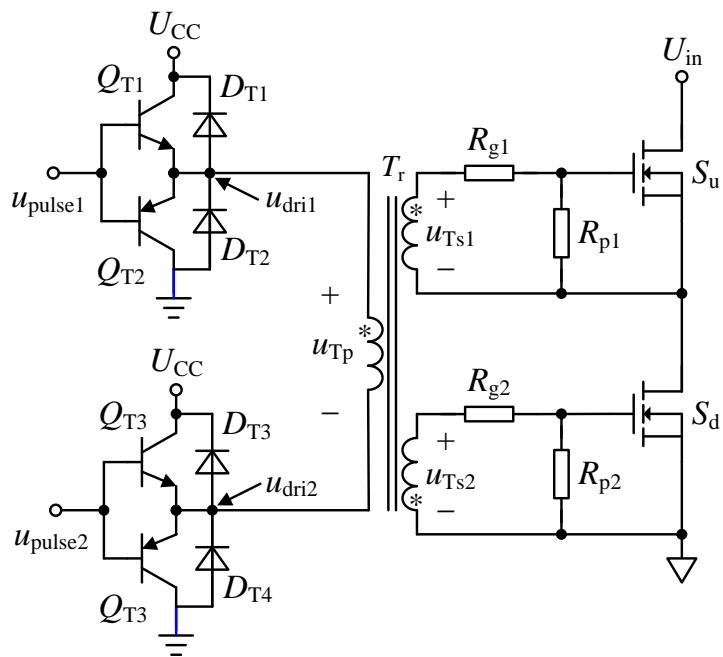


主要波形

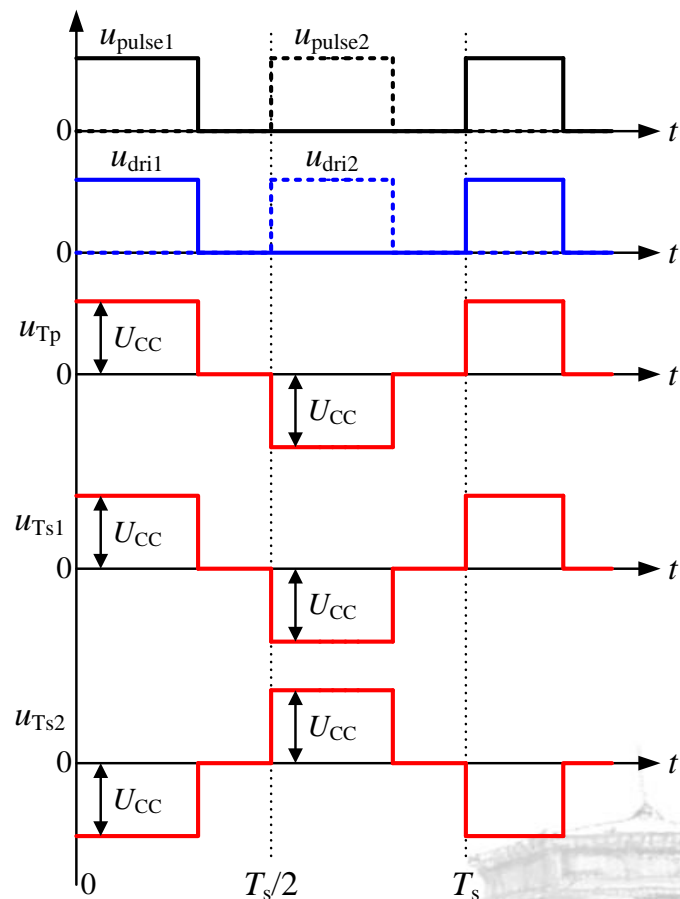


适用于桥臂的隔离驱动电路

- U_{pulse1} 高时, u_{dri1} 高; U_{pulse2} 高时, u_{dri2} 高
- $U_{\text{Tp}} = u_{\text{dri1}} - u_{\text{dri2}}$, 幅值为 U_{CC} 的交流方波电压
- 副边两驱动相位相反, 幅值为 U_{CC} 的交流方波电压, 避免直通
- 开关管驱动信号脉宽相等且相差半个开关周期



适用于桥臂的隔离型驱动电路图



主要波形





10.1 MOSFET驱动

10.2 共地驱动

10.3 浮地驱动

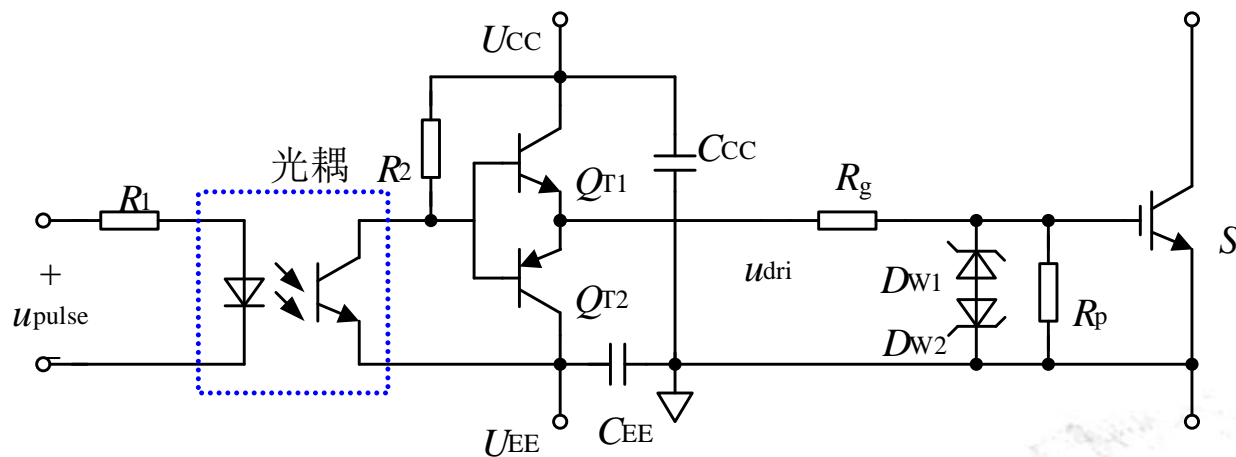
10.4 隔离驱动

10.5 IGBT驱动



IGBT驱动电路

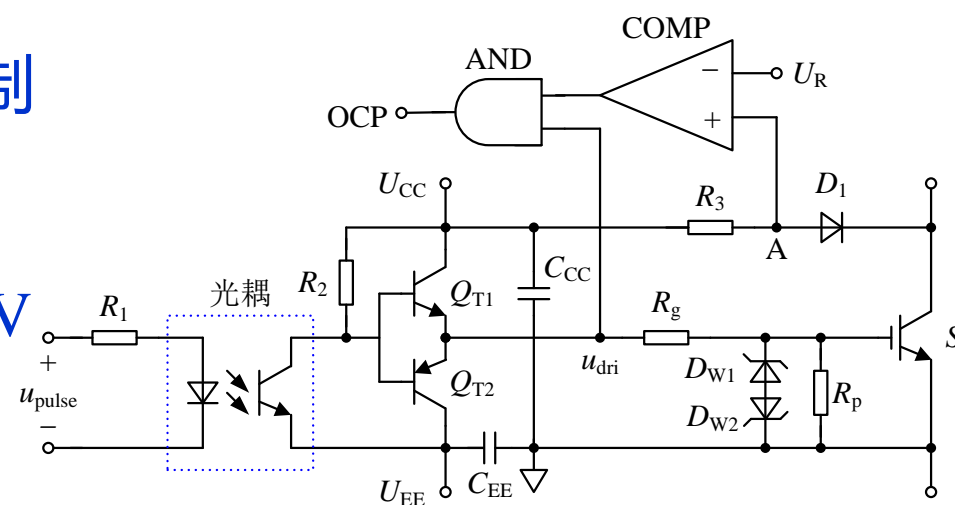
- IGBT为MOSFET驱动双极性晶体管
- IGBT驱动特性与MOSFET类似
- 供电电压为正负电压, $U_{CC}=15V$, $U_{EE}=-10V$, IGBT 关断时, 负电压驱动, 以防止误导通
- 驱动信号采用光耦隔离后, 存在反逻辑



IGBT驱动电路

■ IGBT驱动特殊要求

- $I_c < I_{CM}$ (产生擎住效应的临界电流) or 关断时避免 du_{ce}/dt 过大, 进入晶闸管状态而形成擎住效应
- 实现: 检测 u_{ce} 防止 i_c 过大导致 u_{ce} 过高, 通过控制 u_{ge} , 控制 u_{ce} 从而保护 IGBT
- 驱动图腾柱的供电采用正负电压供电, $U_{CC}=15V$, $U_{EE}=-10V$, 加速 IGBT 关断和防止误导通

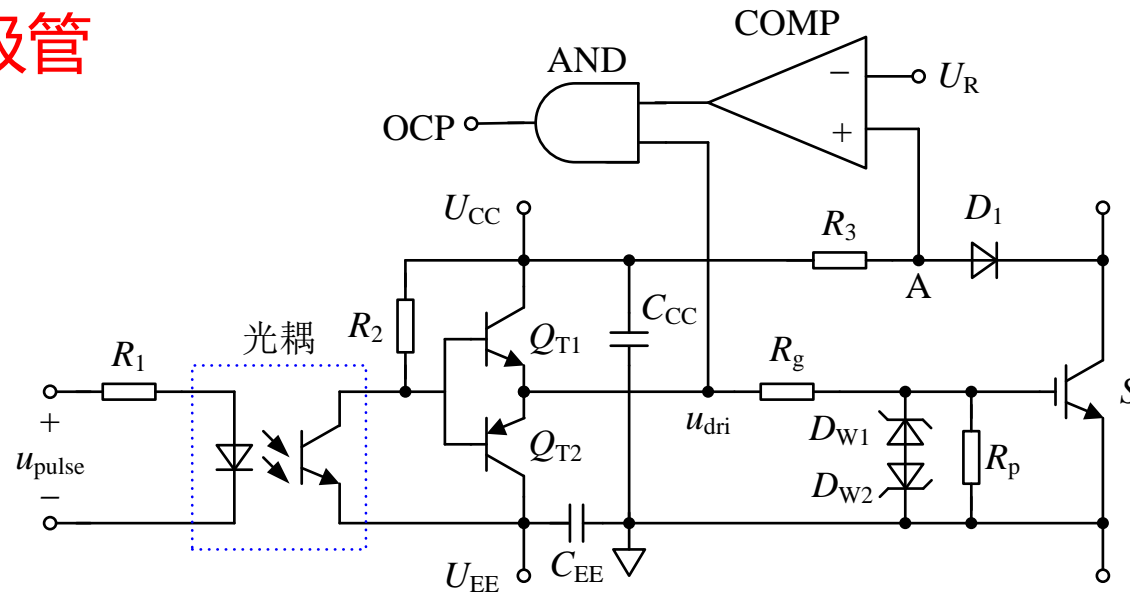


基本的IGBT驱动电路



IGBT驱动电路

- 过流保护原理：IGBT导通时， D_1 也导通，如果A点电位（ i_c 过高， u_{ce} 增加）超过上限，比较器输出高电平，与驱动信号相与后，产生过流保护信号，关闭驱动
- D_1 在IGBT关断时承受的电压与IGBT相当，故其额定电压应该与IGBT一致，且应选用快恢复二极管



基本的IGBT驱动电路

