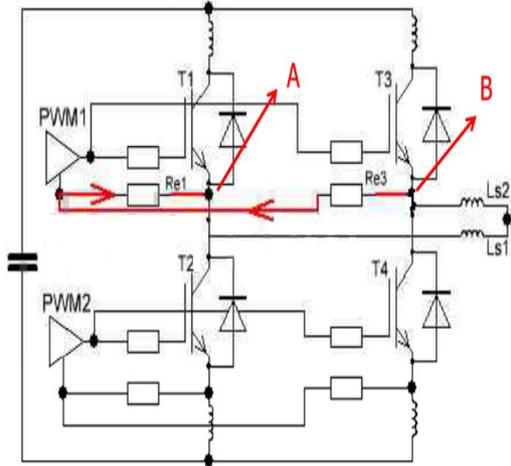


发射极环流的定义：

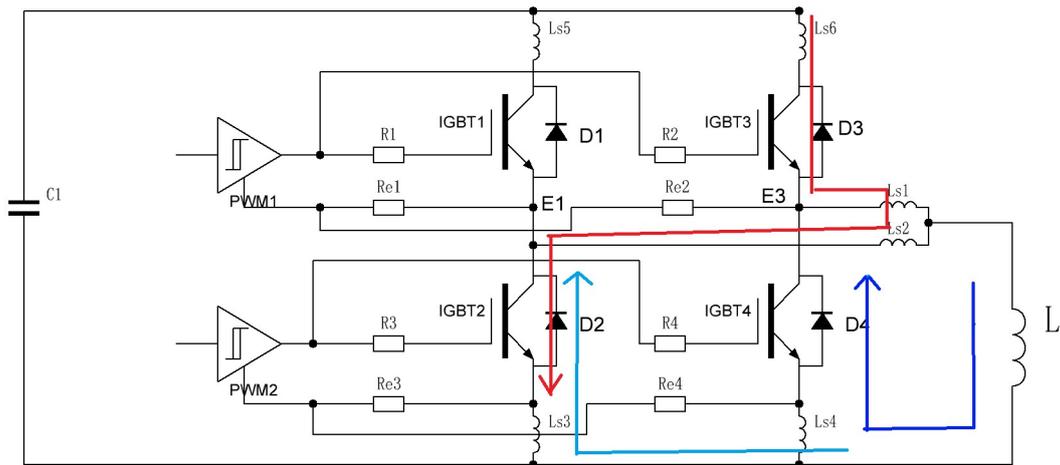


由于杂散电感不对称等因素，造成桥臂的中点（A 点和 B 点）在 IGBT 开通或关断瞬间会产生电位差。而驱动器的发射极是通过发射极电阻连在一起的，这样就会产生下图中红色路径所示的电流。我们把这个电流称为”发射极环流”

以两并联方案上管为例来分析开通和关断过程产生电位差而产生发射极环流的过程

①上管开通时刻：

下图中，L 为负载电感，蓝色和浅蓝色线为 D2, D4 的续流电流。此时 IGBT1, IGBT3 同时给指令进行开通，D2, D4 会发生反向恢复现象，假设 IGBT3 领先于 IGBT1 开通，则反向恢复电流会以图中的红线路径穿过 Ls1 和 Ls2，此时反向恢复电流的变化率是非常高的，斜率能达到 $\text{kA}/\mu\text{s}$ ，反向恢复电流分成前沿和后沿两部分，前沿时在 Ls1 和 Ls2 上产生的电压使 E3 的电位比 E1 高，前沿切换成后沿时，杂散电感上的电压的方向会发生突变，此时 E3-E1 的电压的方向还有可能发生突变，可能会出现开通时刻门极震荡的现象，门极震荡会进一步导致 IGBT 电流震荡，形成正反馈。

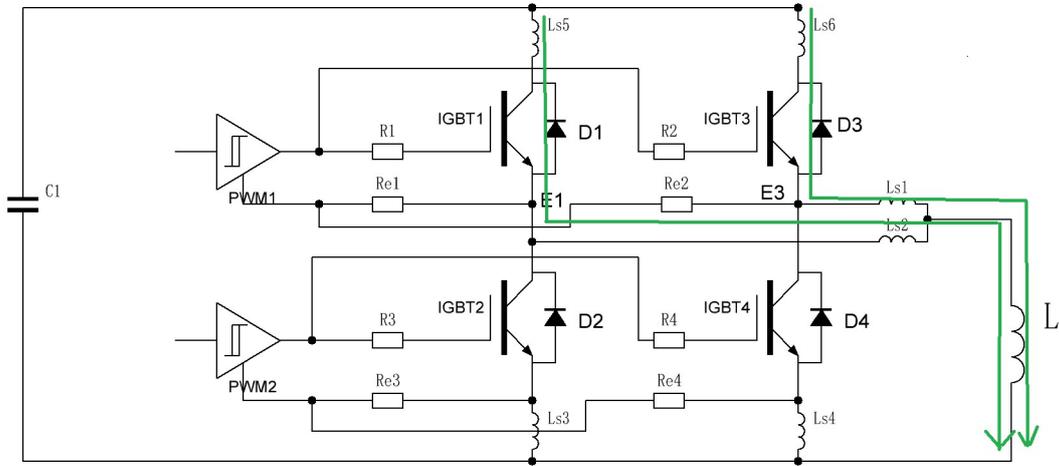


②上管关断时刻：

下图中绿线是 IGBT1, IGBT3 稳态导通时的电流，此时 IGBT1, IGBT3 同时给指令进行关断，假设 IGBT3 领先于 IGBT1 关断，则 Ls1 上的电流首先突减，Ls2 上会产生左负右正的电压，而 Ls2 要增加 Ls1 所减少的电流，出现了突增，会产生左正右负的电压。此时，E1 比 E3 的

电压高。

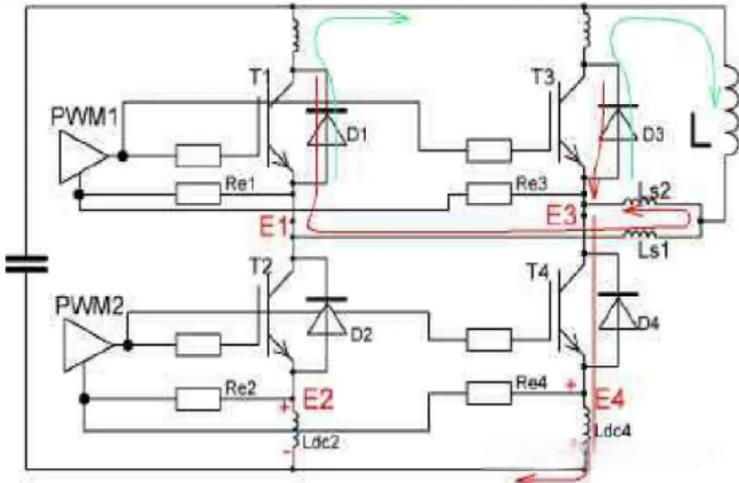
V_{ge3} 上会叠加一个正压，T3 关得更慢了； V_{ge1} 上会叠加一个负压，则 T1 会关得更快。这里引入了一个负反馈的效果，使关断速度收敛于同步。



下管开通时刻产生的发射极环流：

下图中 L 为负载电感，绿线为 D1, D3 的续流电流。此时 T2, T4 同时给指令进行开通，D1, D3 会发生反向恢复现象，假设 T4 领先于 T2 开通，则反向恢复电流会以图中的红线路径穿过 Ls1 和 Ls2。E1 的电压会比 E3 高一些，会出现发射极环流，电流穿过 Re1 和 Re3，但是 E3 与 E1 间的环流并不影响 T2 和 T4 的开通行为。Ldc2 与 Ldc4 是两个 IGBT 模块的直流母排杂散电感，当 T4 先开通，反向恢复电流穿过 Ldc4，产生了上正下负的电动势。而 Ldc2 实际上也会产生相同方向的电动势，只是会晚些，因此 E4 的电动势会出现得比 E2 早，结果是 E4 的电压比 E2 高，Re2 及 Re4 上会产生发射极环流。

因为反向恢复电流的斜率是会改变方向的，因此 Ldc4 与 Ldc2 上的电动势也是会改变方向的，且该电动势与 Ldc2 与 Ldc4 的数值有很大关系，因此没有稳定的结论。大约可以确定：下管开通时刻的发射极环流现象要比上管风险低一些。



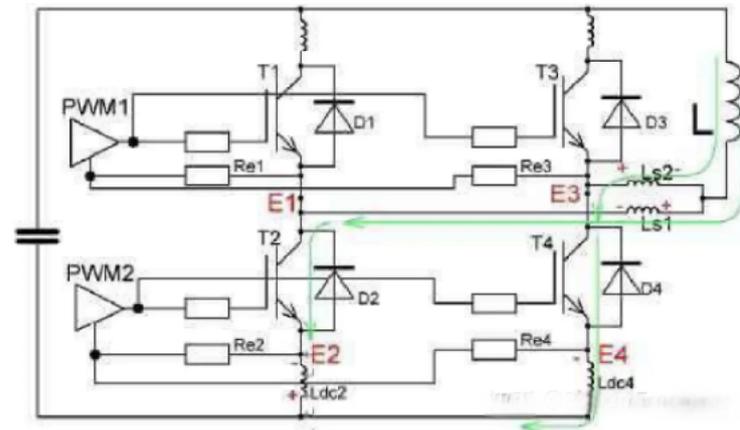
下管关断时刻产生的发射极环流：

下图中绿线是 T2, T4 稳态导通时的电流，此时 T2, T4 同时给指令进行关断，假设 T4 领先于 T2 关断，则 Ls2 上的电流首先突减，Ls2 上会产生左正右负的电势，而 Ls1 则增加了 Ls2 所减少的电流，出现了突增，会产生左负右正的电势。此时，E3 比 E1 的电压高。上管会产生发射极环流，但不影响 T2, T4 的关断行为。关断 T4 时，Ldc4 上会产生上电压，同理 Ldc2

也会产生电压，而 E_4 与 E_2 的电压差不太好确定，但是只要 T_4 和 T_2 不太同步，或者 L_{dc4} 与 L_{dc2} 差异较大，则 E_4 与 E_2 的压差会比较大。

也可以看出， L_{dc2} 与 L_{dc4} 上的电压的方向是相同的。

大约可以确定：下管关断时刻的发射极环流现象要比上管风险低一些。



上下桥臂的发射极环流的差异及其本质：

在之前关于发射极环流的分析中，可以看出，上下桥臂在这个问题上实际上是有区别的。结论是，上管的风险比下管要高。其本质在于，上管 IGBT 的发射极电位与输出杂散电感相连，主电路的不对称或不同步会与驱动回路耦合在一起，而对下管 IGBT 而言，这种耦合要弱一些，因此上下管的发射极环流风险有区别。

结论是，上管的风险比下管要高。