

# 第十九讲

## 换流方式及单相电压型逆变电路

教师：孔祥新

地点：JA202

曲阜师范大学 电气信息与自动化学院

# 逆变电路 · 引言

本章讲述无源逆变

## ■ 逆变的概念

逆变——与整流相对应，直流电变成交流电。

- ⊕ 交流侧接电网，为**有源逆变**。
- ⊕ 交流侧接负载，为**无源逆变**。

## ● 逆变与变频

- ⊕ 变频电路：分为交交变频和交直交变频两种。
- ⊕ 交直交变频由交直变换（整流）和直交变换两部分组成，后一部分就是逆变。

## ■ 主要应用

- 各种直流电源，如蓄电池、干电池、太阳能电池等。
- 交流电机调速用变频器、不间断电源、感应加热电源等电力电子装置的核心部分都是逆变电路。



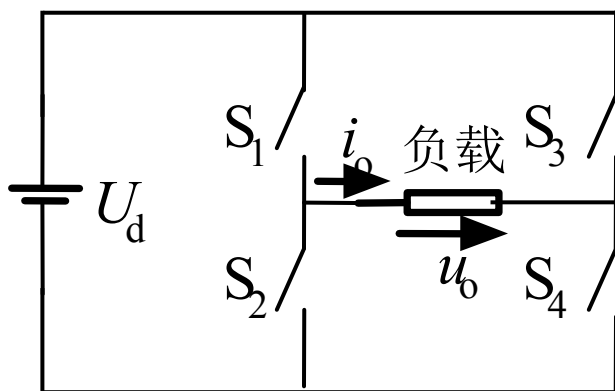
# 第十九讲 主要内容

---

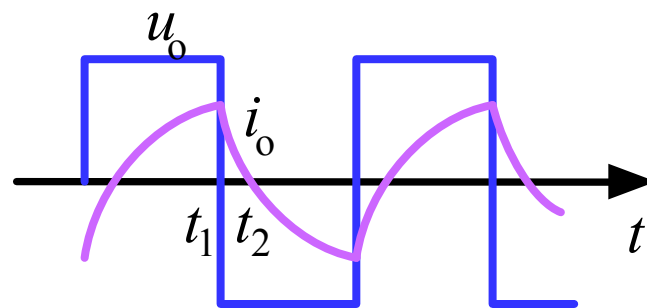
- 19.1 逆变电路的基本工作原理
- 19.2 换流方式的分类
- 19.3 单相电压型逆变电路

# 19.1 逆变电路的基本工作原理

- 以单相桥式逆变电路为例说明最基本的工作原理
  - $S_1 \sim S_4$  是桥式电路的 4 个臂，由电力电子器件及辅助电路组成。



a)



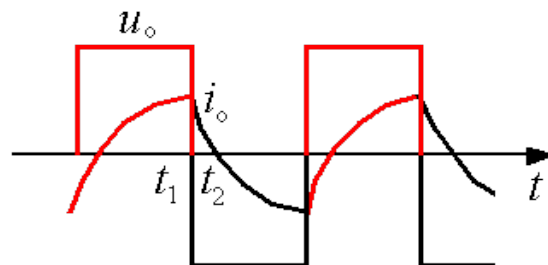
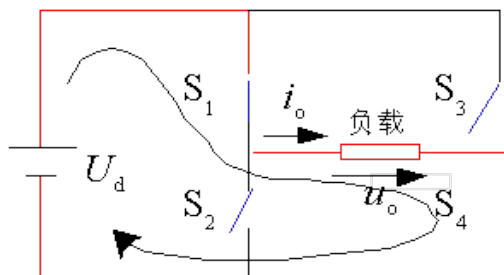
b)

图 5-1 逆变电路及其波形举例

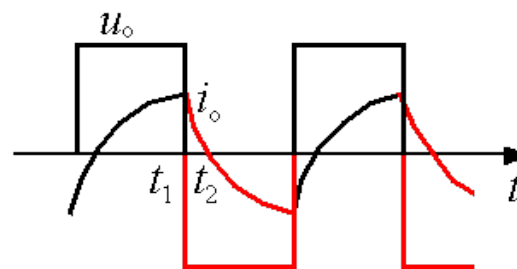
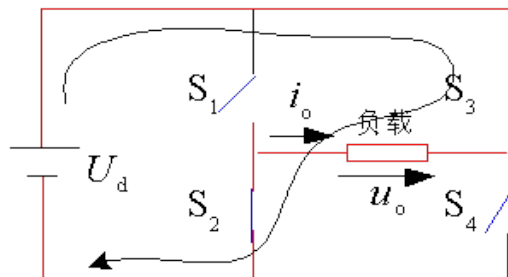
# 19.1 逆变电路的基本工作原理

- $S_1$ 、 $S_4$  闭合， $S_2$ 、 $S_3$  断开时，负载电压  $u_o$  为正。
- $S_1$ 、 $S_4$  断开， $S_2$ 、 $S_3$  闭合时，负载电压  $u_o$  为负。

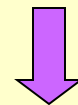
$S_1$ 、 $S_4$  闭合， $S_2$ 、 $S_3$  断开时电路和波形图



$S_2$ 、 $S_3$  闭合， $S_1$ 、 $S_4$  断开时电路和波形图



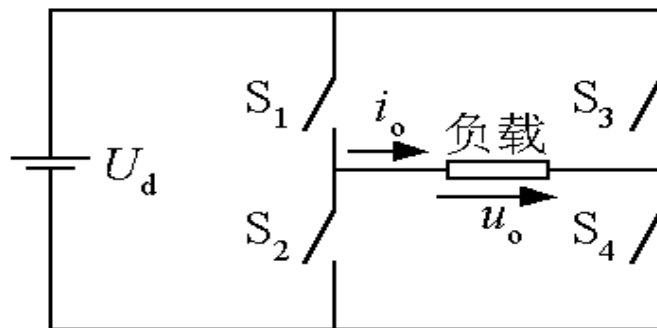
直流电



交流电

# 5.1.1 逆变电路的基本工作原理

- ◆ 逆变电路最基本的工作原理 —  
— 改变两组开关切换频率，可改变输出交流电频率。



- ◆ 电阻负载时，负载电流  $i_o$  和  $u_o$  的波形相同，相位也相同。
- ◆ 阻感负载时， $i_o$  相位滞后于  $u_o$ ，波形也不同。

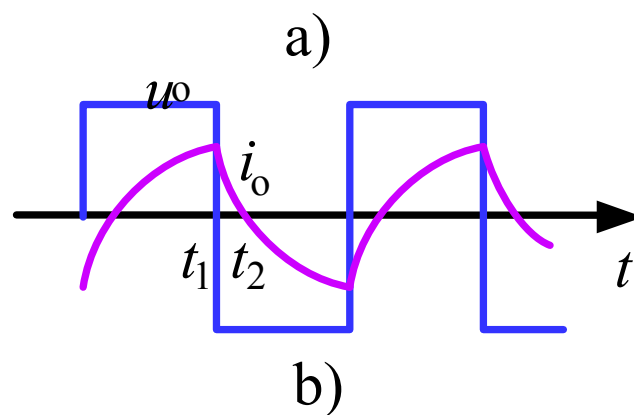


图 5-1 逆变电路及其波形举例

## 19.2 换流方式分类

- **换流**——电流从一个支路向另一个支路转移的过程，也称为**换相**。
  - ⊕ **开通**：适当的门极驱动信号就可使器件开通。
  - ⊕ **关断**：
    - 全控型器件可通过门极关断。
    - 半控型器件晶闸管，必须利用外部条件才能关断。
    - 一般在晶闸管电流过零后施加一定时间反压，才能关断。
  - ⊕ 研究换流方式主要是研究如何使器件关断。
- 本章换流及换流方式问题最为全面集中，因此安排在本章集中讲述。

## 19.2 换流方式分类

### 1) 器件换流 ( Device Commutation )

- 利用全控型器件的自关断能力进行换流。
- 在采用 IGBT 、 电力 MOSFET 、 GTO 、 GTR 等全控型器件的电路中的换流方式是器件换流。

### 2) 电网换流 ( Line Commutation )

- 电网提供换流电压的换流方式。
- 将负的电网电压施加在欲关断的晶闸管上即可使其关断。不需要器件具有门极可关断能力，但不适用于没有交流电网的无源逆变电路。

### 3) 负载换流 ( Load Commutation )

### 4) 强迫换流 ( Forced Commutation )



## 19.2 换流方式分类

- 由负载提供换流电压的换流方式。
- 负载电流的相位超前于负载电压的场合，都可实现负载换流。
- 如图是基本的负载换流电路，4个桥臂均由晶闸管组成。
- 整个负载工作在接近并联谐振状态而略呈容性。
- 直流侧串电感，工作过程可认为  $i_d$  基本没有脉动。
- 负载对基波的阻抗大而对谐波的阻抗小。所以  $u_o$  接近正弦波。
- 注意触发  $VT_2$ 、 $VT_3$  的时刻  $t_1$  必须在  $u_o$  过零前并留有足够的裕量，才能使换流顺利完成。

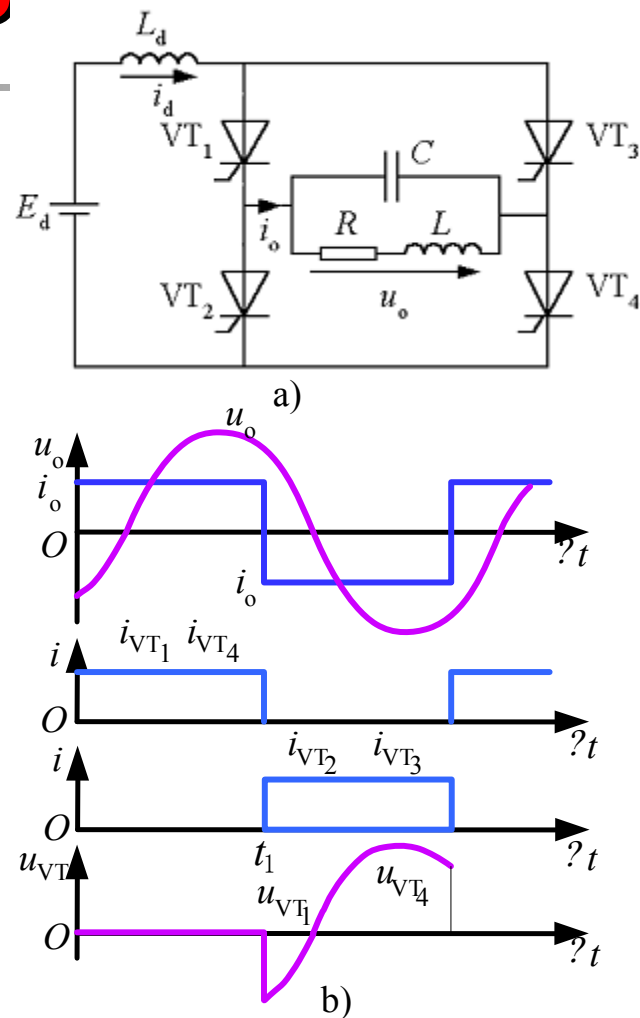


图 5-2 负载换流电路及其工作波形

# 19.2 换流方式分

## 类

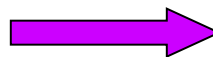
### 4) 强迫换流 ( Forced Commutation )

✦ 设置附加的换流电路，给欲关断的晶闸管强迫施加反压或反电流的换流方式称为**强迫换流**。

✦ 通常利用附加电容上所储存的能量来实现，因此也称为**电容换流**。

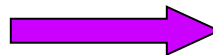
✦ 分类

由换流电路内电容直接提供换流电压



直接耦合式强迫换流

通过换流电路内的电容和电感的耦合来提供换流电压或换流电流



电感耦合式强迫换流

# 19.2 换流方式分类

## 直接耦合式强迫换流

当晶闸管 **VT** 处于通态时，预先给电容充电。当 **S** 合上，就可使 **VT** 被施加反压而关断。也叫**电压换流**。

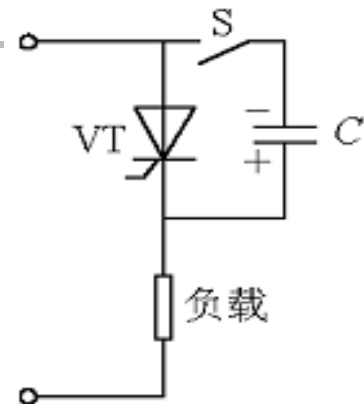


图 5-3 直接耦合式强迫换流原理图

## 电感耦合式强迫换流

先使晶闸管电流减为零，然后通过反并联二极管使其加上反向电压。也叫**电流换流**。

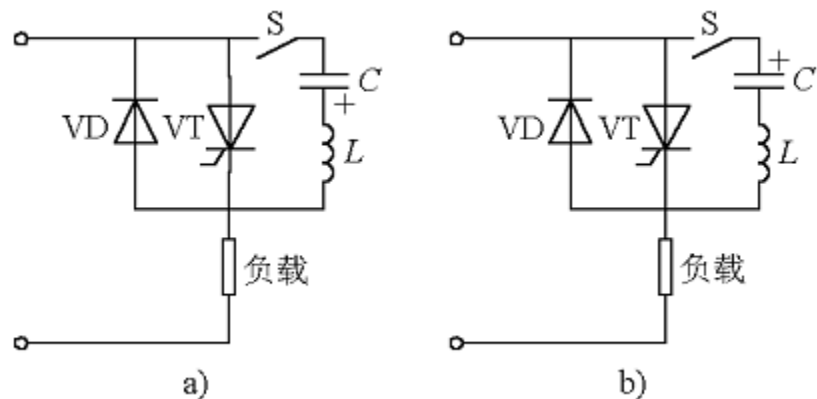


图 5-4 电感耦合式强迫换流原理图

## 19.2 换流方式分类

### ■ 换流方式总结:

- ◆ 器件换流——适用于全控型器件。
- ◆ 其余三种方式——针对晶闸管。
- ◆ 器件换流和强迫换流——属于自换流。
- ◆ 电网换流和负载换流——属于外部换流。
- ◆ 当电流不是从一个支路向另一个支路转移，而是在支路内部终止流通而变为零，则称为**熄灭**。

## 19.3 电压型逆变电路

### 1) 逆变电路的分类 — 根据直流侧电源性质的不同

直流侧是**电压源**

电压型逆变电路——又称为电压源型逆变电路

Voltage Source Type Inverter-VSTI

直流侧是**电流源**

电流型逆变电路——又称为电流源型逆变电路

Current Source Type Inverter-VSTI

# 19.3 电压型逆变电路

## 2) 电压型逆变电路的特点

- (1) 直流侧为电压源或并联大电容，直流侧电压基本**无脉动**。
- (2) 输出电压为矩形波，输出电流因负载阻抗不同而不同。
- (3) 阻感负载时需提供无功功率。为了给交流侧向直流侧反馈的无功能量提供通道，逆变桥各臂并联反馈二极管。

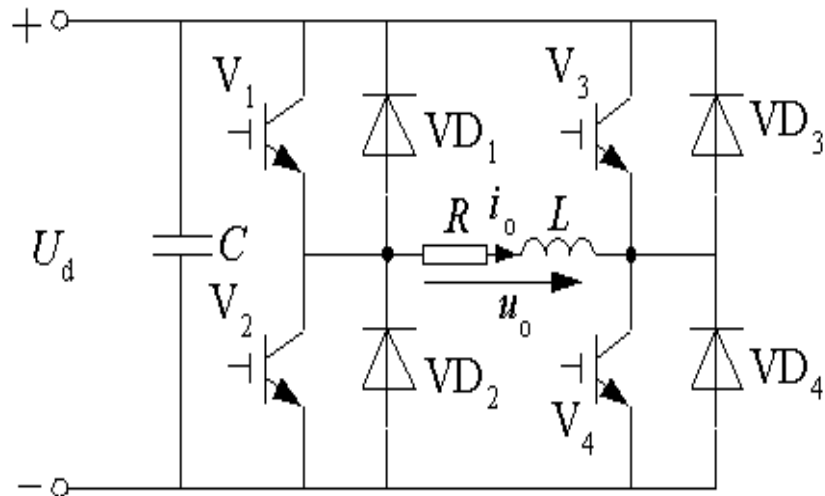


图 5-5 电压型全桥逆变电路

# 19.3 单相电压型逆变电路

## 1) 半桥逆变电路

### 工作原理

⊕  $V_1$  和  $V_2$  栅极信号在一周期内各半周正偏、半周反偏，两者互补，输出电压  $u_o$  为矩形波，幅值为  $U_m = U_d/2$ 。

⊕  $V_1$  或  $V_2$  通时， $i_o$  和  $u_o$  同方向，直流侧向负载提供能量； $VD_1$  或  $VD_2$  通时， $i_o$  和  $u_o$  反向，电感中

储能向直流侧反馈。 $VD_1$ 、 $VD_2$  称为**反馈二极管**，它又起着使负载电流连续的作用。又称**续流二极管**。

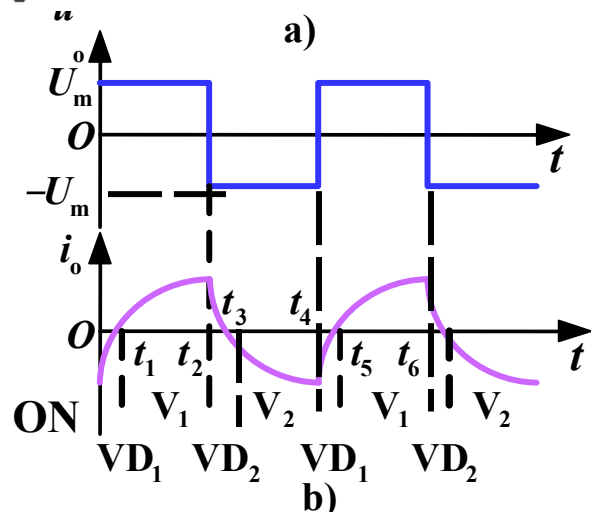
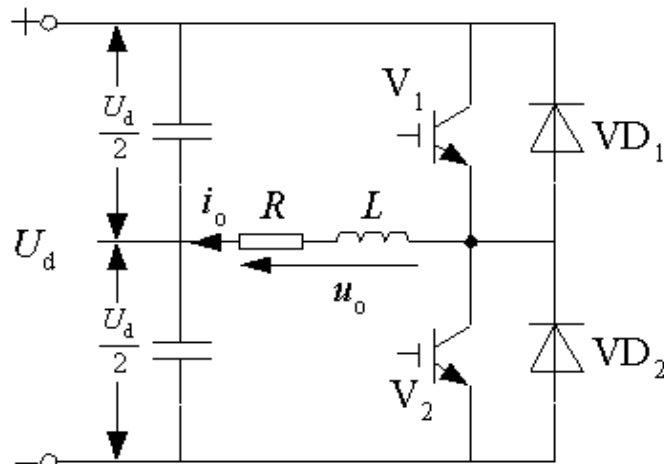


图 5-6 单相半桥电压型逆变电路及其工作波形

## 19.3 单相电压型逆变电路

- **优点：** 电路简单，使用器件少。
- **缺点：** 输出交流电压幅值为  $U_d/2$ ，且直流侧需两电容器串联，要控制两者电压均衡。
- **应用：**
  - ⊕ 用于几 kW 以下的小功率逆变电源。
  - ⊕ 单相全桥、三相桥式都可看成若干个半桥逆变电路的组合。



# 19.3 单相电压型逆变电路

路

## 2) 全桥逆变电路

- 共四个桥臂，可看成两个半桥电路组合而成。
- 两对桥臂交替导通  $180^\circ$ 。
- 输出电压合电流波形与半桥电路形状相同，幅值高出一倍。
- 改变输出交流电压的有效值只能通过改变直流电压  $U_d$  来实现。

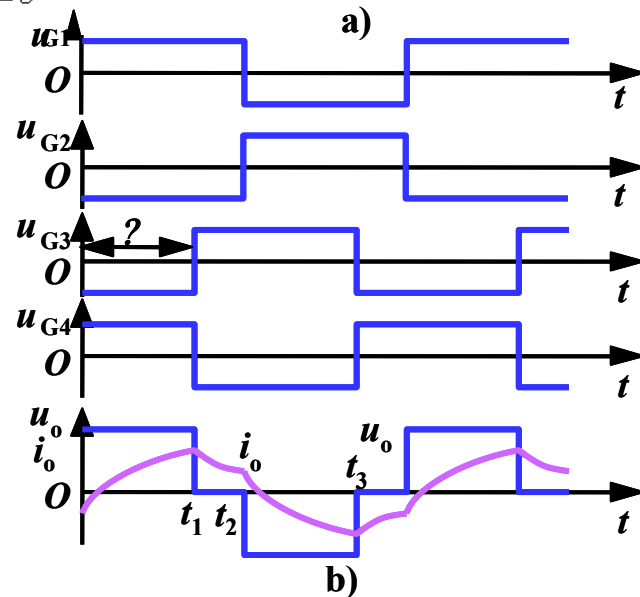
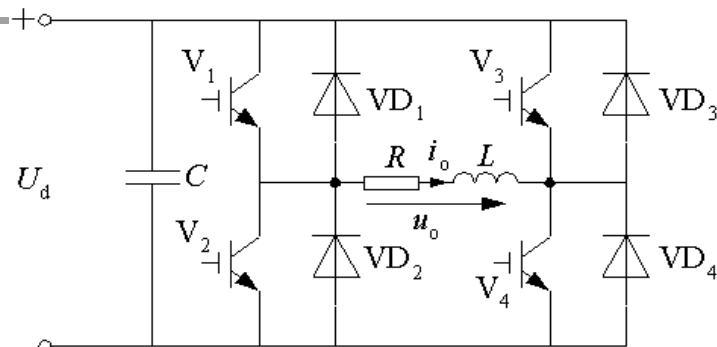


图 5-7 单相全桥逆变电路的移相调压方式

# 19.3 单相电压型逆变电路

- 阻感负载时，还可采用移相得方式来调节输出电压—**移相调压**。

⊕  $V_3$  的基极信号比  $V_1$  落后  $q$  ( $0 < q < 180^\circ$ )。  $V_3$ 、 $V_4$  的栅极信号分别比  $V_2$ 、 $V_1$  的前移  $180^\circ - q$ 。输出电压是正负各为  $q$  的脉冲。

⊕ 改变  $q$  就可调节输出电压。

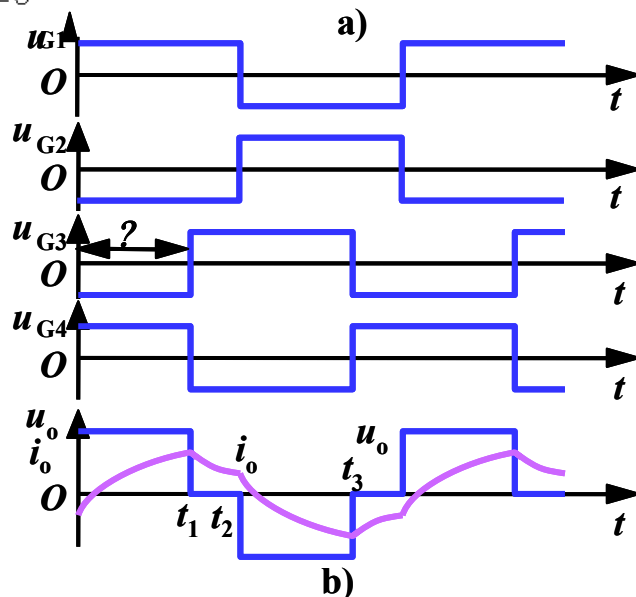
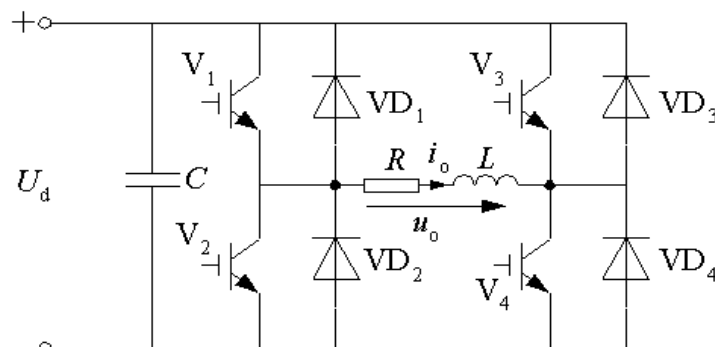


图 5-7 单相全桥逆变电路的移相调压方式

# 19.3 单相电压型逆变电路

## 3) 带中心抽头变压器的逆变电路

- ⊕ 交替驱动两个 IGBT，经变压器耦合给负载加上矩形波交流电压。
- ⊕ 两个二极管的作用也是提供无功能量的反馈通道。
- ⊕  $U_d$  和负载参数相同，变压器匝比为 1:1 时， $u_o$  和  $i_o$  波形及幅值与全桥逆变电路完全相同。
- ⊕ 与全桥电路的比较：
  - 比全桥电路少用一半开关器件。
  - 器件承受的电压为  $2U_d$ ，比全桥电路高一倍。
  - 必须有一个变压器。

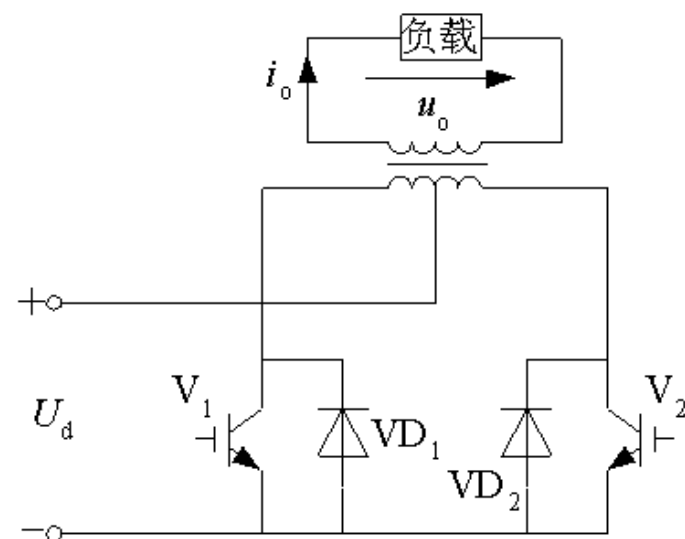


图 5-8 带中心抽头变压器的逆变电路