

电力电子技术第 5 版知识点总结

【篇一：电力电子技术第 5 版知识点总结】

第 1 章 绪论 1 电力电子技术定义：第 1 章 绪论 1 电力电子技术定义：是使用电力电子器件对电能进行变换和控制的技术，是应用于电力领域的电子技术，主要用于电力变换。

2 电力变换的种类 (1) 交流变直流 **ac-dc**：整流 (2) 直流变交流 **dc-ac**：逆变 (3) 直流变直流 **dc-dc**：一般通过直流斩波电路实现 (4) 交流变交流 **ac-ac**：一般称作交流电力控制 3 电力电子技术分类：分为电力电子器件制造技术和变流技术。

第 2 章 电力电子器件 1 电力电子器件与主电路的关系 第 2 章 电力电子器件 1 电力电子器件与主电路的关系 (1) 主电路：指能够直接承担电能变换或控制任务的电路。

(2) 电力电子器件：指应用于主电路中，能够实现电能变换或控制的电子器件。

2 电力电子器件一般都工作于开关状态，以减小本身损耗。状态，以减小本身损耗。

3 电力电子系统基本组成与工作原理 (1) 一般由主电路、控制电路、检测电路、驱动电路、保护电路等组成。

(2) 检测主电路中的信号并送入控制电路，根据这些信号并按照系统工作要求形成电力电子器件的工作信号。

(3) 控制信号通过驱动电路去控制主电路中电力电子器件的导通或关断。

(4) 同时，在主电路和控制电路中附加一些保护电路，以保证系统正常可靠运行。

4 电力电子器件的分类 根据控制信号所控制的程度分类 4 电力电子器件的分类 根据控制信号所控制的程度分类 (1) 半控型器件：通过控制信号可以控制其导通而不能控制其关断的电力电子器件。如 **scr** 晶闸管。

(2) 全控型器件：通过控制信号既可以控制其导通，又可以控制其关断的电力电子器件。如 **gto**、**gtr**、**mosfet** 和 **igbt**。

(3) 不可控器件：不能用控制信号来控制其通断的电力电子器件。如电力二极管。

根据驱动信号的性质分类 (1) 电流型器件：通过从控制端注入或抽出电流的方式来实现导通或关断的电力电子器件。如 **scr**、**gto**、**gtr**。

(2) 电压型器件：通过在控制端和公共端之间施加一定电压信号的方式来实现导通或关断的电力电子器件。如 **mosfet** 、 **igbt** 。

根据器件内部载流子参与导电的情况分类 根据器件内部载流子参与导电的情况分类 (1) 单极型器件：内部由一种载流子参与导电的器件。如 **mosfet** 。

(2) 双极型器件：由电子和空穴两种载流子参数导电的器件。如 **scr** 、 **gto** 、 **gtr** 。

(3) 复合型器件：有单极型器件和双极型器件集成混合而成的器件。如 **igbt** 。

5 半控型器件 晶闸管 **scr** 将器件 **n1** 、 **p2** 半导体取倾斜截面，则晶闸管变成 **v1-pnp** 和 **v2-npn** 两个晶体管。

晶闸管的导通工作原理 晶闸管的导通工作原理 (1) 当 **ak** 间加正向电压 **ae** ，晶闸管不能导通，主要是中间存在反向 **pn** 结。

(2) 当 **gk** 间加正向电压 **ge** ，**npn** 晶体管基极存在驱动电流 **gi** ，**npn** 晶体管导通，产生集电极电流 **2 ci** 。

(3) 集电极电流 **2 ci** 构成 **pnp** 的基极驱动电流，**pnp** 导通，进一步放大产生 **pnp** 集电极电流 **1 ci** 。

(4) **1 ci** 与 **gi** 构成 **npn** 的驱动电流，继续上述过程，形成强烈的负反馈，这样 **npn** 和 **pnp** 两个晶体管完全饱和，晶闸管导通。

2.3.1.4.3 晶闸管是半控型器件的原因 (1) 晶闸管导通后撤掉外部门极电流 **gi** ，但是 **npn** 基极仍然存在电流，由 **pnp** 集电极电流 **1 ci** 供给，电流已经形成强烈正反馈，因此晶闸管继续维持导通。

(2) 因此，晶闸管的门极电流只能触发控制其导通而不能控制其关断。

2.3.1.4.4 晶闸管的关断工作原理 满足下面条件，晶闸管才能关断：

(1) 去掉 **ak** 间正向电压； (2) **ak** 间加反向电压； (3) 设法使流过晶闸管的电流降低到接近于零的某一数值以下。

2.3.2.1.1 晶闸管正常工作时的静态特性 2.3.2.1. 晶闸管正常工作时的静态特性 (1) 当晶闸管承受反向电压时，不论门极是否有触发电流，晶闸管都不会导通。

(2) 当晶闸管承受正向电压时，仅在门极有触发电流的情况下晶闸管才能导通。

(3) 晶闸管一旦导通，门极就失去控制作用，不论门极触发电流是否还存在，晶闸管都保持导通。

(4) 若要使已导通的晶闸管关断，只能利用外加电压和外电路的作用使流过晶闸管的电流降到接近于零的某一数值以下。

2.4.1.1 gto 的结构 (1) gto 与普通晶闸管的相同点：是 pnpn 四层半导体结构，外部引出阳极、阴极和门极。

(2) gto 与普通晶闸管的不同点：gto 是一种多元的功率集成器件，其内部包含数十个甚至数百个供阳极的小 gto 元，这些 gto 元的阴极和门极在器件内部并联在一起，正是这种特殊结构才能实现门极关断作用。

2.4.1.2 gto 的静态特性 (1) 当 gto 承受反向电压时，不论门极是否有触发电流，晶闸管都不会导通。

(2) 当 gto 承受正向电压时，仅在门极有触发电流的情况下晶闸管才能导通。

(3) gto 导通后，若门极施加反向驱动电流，则 gto 关断，也即可以通过门极电流控制 gto 导通和关断。

(4) 通过 ak 间施加反向电压同样可以保证 gto 关断。

2.4.3 电力场效应晶体管 mosfet (1) 电力 mosfet 是用栅极电压来控制漏极电流的，因此它是电压型器件。

(3) 当 g_{su} 大于某一电压值 u_t 时，栅极下 p 区表面的电子浓度将超过空穴浓度，从而使 p 型半导体反型成 n 型半导体，形成反型层。

2.4.4 绝缘栅双极晶体管 igbt (1) gtr 和 gto 是双极型电流驱动器件，其优点是通流能力强，耐压及耐电流等级高，但不足是开关速度低，所需驱动功率大，驱动电路复杂。

(2) 电力 mosfet 是单极型电压驱动器件，其优点是开关速度快、所需驱动功率小，驱动电路简单。

(3) 复合型器件：将上述两者器件相互取长补短结合而成，综合两者优点。

(4) 绝缘栅双极晶体管 igbt 是一种复合型器件，由 gtr 和 mosfet 两个器件复合而成，具有 gtr 和 mosfet 两者的优点，具有良好的特性。

(1) igbt 是三端器件，具有栅极 g、集电极 c 和发射极 e。

(2) igbt 由 mosfet 和 gtr 组合而成。

第 3 章 整流电路 (1) 整流电路定义：将交流电能变成直流电能供给直流用电设备的变流装置。

3.1.1 单相半波可控整流电路 (4) 触发角 3.1.1 单相半波可控整流电路 (4) 触发角：从晶闸管开始承受正向阳极电压起，到施加触发脉冲为止的电角度，称为触发角或控制角。

(7) 几个定义 ① 半波整流：(7) 几个定义 ① 半波整流：改变触发时刻， u_d 和 i_d 波形随之改变，直流输出电压 u_d 为极性不变但瞬时值变化的脉动直流，其波形只在 $2u$ 正半周内出现，因此称半波整流。

② 单相半波可控整流电路：如上半波整流，同时电路中采用了可控器件晶闸管，且交流输入为单相，因此为单相半波可控整流电路。

3.1.1.3 电力电子电路的基本特点及分析方法 3.1.1.3 电力电子电路的基本特点及分析方法 (1) 电力电子器件为非线性特性，因此电力电子电路是非线性电路。

(2) 电力电子器件通常工作于通态或断态状态，当忽略器件的开通过程和关断过程时，可以将器件理想化，看作理想开关，即通态时认为开关闭合，其阻抗为零；断态时认为开关断开，其阻抗为无穷大。

3.1.2 单相桥式全控整流电路 3.1.2. 带电阻负载的工作情况 (1) 单相桥式全控整流电路带电阻负载时的原理图 3.1.2 单相桥式全控整流电路 3.1.2. 带电阻负载的工作情况 (1) 单相桥式全控整流电路带电阻负载时的原理图 ① 由 4 个晶闸管 ($vt_1 \sim vt_4$) 组成单相桥式全控整流电路。

② vt_1 和 vt_4 组成一对桥臂， vt_2 和 vt_3 组成一对桥臂。

(2) 单相桥式全控整流电路带电阻负载时的波形图 (2) 单相桥式全控整流电路带电阻负载时的波形图 ① $\omega t = 0$ ： $u_a > u_b$ $vt_1 \sim vt_4$ 未触发导通，呈现断态，则 $u_d = u_a$ 、 $i_d = 0$ 、 $u_2 = u_a$ 。

$\omega t = \alpha$ $u_a > u_b$ vt_1 和 vt_4 导通， $u_d = u_a$ 、 $i_d = i_a$ 、 $u_2 = u_a$ 。

② $\omega t = \pi$ ： $u_a < u_b$ 在 α 角度时，给 vt_1 和 vt_4 加触发脉冲，此时 u_a 点电压高于 u_b 点， vt_1 和 vt_4 承受正向电压，因此可靠导通， $u_d = u_a$ 、 $i_d = i_a$ 、 $u_2 = u_a$ 。

$\omega t = \pi + \alpha$ $u_a < u_b$ 电流从 a 点经 vt_1 、 r 、 vt_4 流回 b 点。

$\omega t = 2\pi$ $u_d = u_a$ ， $i_d = i_a$ ，形状与电压相同。

③ $\omega t = \pi$ ： $u_a < u_b$ 电源 $2u$ 过零点， vt_1 和 vt_4 承受反向电压而关断， $u_d = u_b$ 、 $i_d = i_b$ 、 $u_2 = u_b$ （负半周）。

$\omega t = \pi + \alpha$ 同时， vt_2 和 vt_3 未触发导通，因此 $u_d = u_b$ 、 $i_d = i_b$ 、 $u_2 = u_b$ 。

④ $2 \sim$) (:+ $u_b > u_a$ 在) (角度时, 给 vt_2 和 vt_3 加触发脉冲, 此时 b 点电压高于 a 点, vt_2 和 vt_3 承受正向电压, 因此可靠导通, $u_{vt_2} = u_a$ 。

$u_b > u_a$ vt_1 阳极在 a 点, 阴极为 b 点; vt_4 阳极在 a 点, 阴极为 b 点; 因此 $u_{vt_1} = u_a$ 。

$u_b > u_a$ 电流从 b 点经 vt_3 、 r 、 vt_2 流回 b 点。

$u_b > u_a$ $2 du_a =$, $d i_i =$ 。

(3) 全波整流 在交流电源的正负半周都有整流输出电流流过负载, 因此该电路为全波整流。

(4) 直流输出电压平均值 $2 \cos 19.02 \cos 1 2 2) (\sin 21222 d$
 $+=+=?u_{ut} dt u_a$ (5) 负载直流电流平均值 $2 \cos 19.02 \cos 1$
 $2 2r 2 2 dd +=+= =r u u i$ (6) 晶闸管参数计算 ① 承受最大正向电压: $2 (212u$ ② 承受最大反向电压: $22u$ ③ 触发角的移相范围: $0 =$ 时, $2 d 9.0 u_a =$; $0180 =$ 时, $0d = u_a$ 。因此移相范围为 0180 。

④ 晶闸管电流平均值: vt_1 、 vt_4 与 vt_2 、 vt_3 轮流导电, 因此晶闸管电流平均值只有输出直流电流平均值的一半, 即 $2 \cos 145.0212 d dt vt += =r u i i$ 。

3.1.2.2带阻感负载的工作情况 (1) 单相桥式全控整流电路带阻感负载时的原理图 (2) 单相桥式全控整流电路带阻感负载 3.1.2.2带阻感负载的工作情况 (1) 单相桥式全控整流电路带阻感负载时的原理图 (2) 单相桥式全控整流电路带阻感负载时的波形图 $u_b > u_a$ 分析时, 假设电路已经工作于稳态下。

$u_b > u_a$ 假设负载电感很大, 负载电流不能突变, 使负载电流 i_i 连续且波形近似为一水平线。

① $\sim$: $u_b > u_a$ 在角度时, 给 vt_1 和 vt_4 加触发脉冲, 此时 a 点电压高于 b 点, vt_1 和 vt_4 承受正向电压, 因此可靠导通, $u_{vt_1} = u_a$ 。

$u_b > u_a$ 电流从 a 点经 vt_1 、 L 、 r 、 vt_4 流回 b 点, $2 du_a =$ 。

$u_b > u_a$ i_i 为一水平线, $2 d vt_1, 4 i_i = =$ 。

$u_b > u_a$ vt_2 和 vt_3 为断态, $02, 3 vt = i$ ②) ($\sim$:+ $u_b > u_a$ 虽然二次电压 $2u_a$ 已经过零点变负, 但因大电感的存在使 vt_1 和 vt_4 持续导通。

$u_b > u_a$ $04 1 vt vt = = u_a$, $2 du_a =$, $2 d vt_1, 4 i_i = =$, $02, 3 vt = i$ 。

③ $\omega t = \alpha + \pi$ 在 $\omega t = \alpha + \pi$ 角度时，给 vt_2 和 vt_3 加触发脉冲，此时 b 点电压高于 a 点， vt_2 和 vt_3 承受正向电压，因此可靠导通， $u_{VT2} = u_a$ 。

由于 vt_2 和 vt_3 的导通，使 vt_1 和 vt_4 承受反向电压而关断。此时 $i_{VT1} = i_{VT4} = 0$ 。 vt_1 阳极为 a 点，阴极为 b 点； vt_4 阳极为 a 点，阴极为 b 点；因此 $u_{VT1} = u_{VT4} = -u_a$ 。

电流从 b 点经 vt_3 、 L 、 R 、 vt_2 流回 b 点， $u_a = u_b$ 。

$\frac{di}{dt}$ 为一水平线， $\frac{d u_{VT2}}{dt} = \frac{d u_{VT3}}{dt} = 0$ 。

④ $\omega t = \alpha + 2\pi$ 虽然二次电压 u_a 已经过零点变正，但因大电感的存在使 vt_2 和 vt_3 持续导通。

此时 $u_{VT2} = u_a$ ， $u_{VT1} = -u_a$ ， $\frac{d u_a}{dt} = \frac{d u_{VT2}}{dt} = \frac{d u_{VT3}}{dt} = 0$ ， $i_{VT1} = i_{VT4} = 0$ 。

(3) 直流输出电压平均值 $U_d = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\pi} u_a \sin 2\omega t d\omega t$

$U_d = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\pi} u_m \sin \omega t \sin 2\omega t d\omega t$ (4) 触发角的移相范围 $\alpha = 0$ 时， $U_d = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} u_m \sin \omega t \sin 2\omega t d\omega t$ ； $\alpha = 90^\circ$ 时， $U_d = 0$ 。因此移相范围为 $0 \sim 90^\circ$ 。

(5) 晶闸管承受电压：正向： $2u_m \sin \alpha$ ；反向： $2u_m \sin \alpha$ 。3.1.2.3 带反电动势负载时的工作情况 (1) 单相桥式全控整流电路带反电动势负载时的原理图 ① 当负载为蓄电池、直流电动机的电枢（忽略其中的电感）等时，负载可看成一个直流电压源，即反电动势负载。正常情况下，负载电压 u_d 最低为电动势 E 。

② 负载侧只有 u_a 瞬时值的绝对值大于反电动势，即 $u_a > E$ 时，才有晶闸管承受正电压，有导通的可能。

(2) 单相桥式全控整流电路带反电动势负载时的波形图 (2) 单相桥式全控整流电路带反电动势负载时的波形图 ① $\omega t = \alpha$ 在 $\omega t = \alpha$ 角度时，给 vt_1 和 vt_4 加触发脉冲，此时 $u_a > E$ ，说明 vt_1 和 vt_4 承受正向电压，因此可靠导通， $u_d = u_a$ ， $\frac{d u_d}{dt} = \frac{d u_a}{dt}$ 。

② $\omega t = \alpha + \pi$ 在 $\omega t = \alpha + \pi$ 角度时， $u_a < E$ ，说明 vt_1 和 vt_4 已经开始承受反向电压关断。

同时，由于 vt_2 和 vt_3 还未触发导通，因此 $u_d = E$ ， $\frac{d u_d}{dt} = 0$ 。

③ $\omega t = \alpha + 2\pi$ 此过程为 vt_2 和 vt_3 导通阶段，由于是桥式全控整流，因此负载电压与电流同前一阶段， $u_d = u_a$ ， $\frac{d u_d}{dt} = \frac{d u_a}{dt}$ 。

3.2 三相可控整流电路 3.2.1 三相半波可控整流电路 3.2.1.1 电阻负载 (1) 三相半波可控整流电路带电阻负载时的原理图 3.2 三相可控整流电路 3.2.1 三相半波可控整流电路 3.2.1.1 电阻负载 (1) 三相半波可控整流电路带电阻负载时的原理图 ① 变压器一次侧接成三角形, 防止 3 次谐波流入电网。

② 变压器二次侧接成星形, 以得到零线。

③ 三个晶闸管分别接入 a、b、c 三相电源, 其所有阴极连接在一起, 为共阴极接法。

(2) 三相半波不可控整流电路带电阻负载时的波形图 (2) 三相半波不可控整流电路带电阻负载时的波形图 将上面原理图中的三个晶闸管换成不可控二极管, 分别采用 vd_1 、 vd_2 和 vd_3 表示。工作过程分析基础: 三个二极管对应的相电压中哪一个的值最大, 则该相所对应的二极管导通, 并使另两相的二极管承受反压关断, 输出整流电压即为该相的相电压。

① $0 \sim t_1$: a 相电压最高, 则 vd_1 导通, vd_2 和 vd_3 反压关断, $u_d = u_a$ 。

② $t_1 \sim t_2$: b 相电压最高, 则 vd_2 导通, vd_3 和 vd_1 反压关断, $u_d = u_b$ 。

③ $t_2 \sim t_3$: c 相电压最高, 则 vd_3 导通, vd_1 和 vd_2 反压关断, $u_d = u_c$ 。

④ 按照上述过程如此循环导通, 每个二极管导通 120° 。

⑤ 自然换向点: 在相电压的交点 t_1 、 t_2 、 t_3 处, 出现二极管换相, 即电流由一个二极管向另一个二极管转移, 这些交点为自然换向点。

(3) 三相半波可控整流电路带电阻负载时的波形图 (3) 三相半波可控整流电路带电阻负载时的波形图 ($\alpha = 0$) 自然换向点: 对于三相半波可控整流电路而言, 自然换向点是各相晶闸管能触发导通的最早时刻 (即开始承受正向电压), 该时刻为各晶闸管触发角的起点, 即 $\alpha = 0$ 。

① $0 \sim t_1$: a 相电压最高, vt_1 开始承受正压, 在 t_1 时刻触发导通, $u_d = u_a$, 而 vt_2 和 vt_3 反压关断。

$u_d = u_a$, $i_d = i_a$ 。

② $t_1 \sim t_2$: b 相电压最高, vt_2 开始承受正压, 在 t_2 时刻触发导通, $u_d = u_b$, 而 vt_3 和 vt_1 反压关断。

$u_d = u_b$, $i_d = i_b$, vt_1 承受 a 点-b 点间电压, 即 $u_{VT1} = u_{ab}$ 。

③ $43 \sim t t$: $u_b > u_c$ 相电压最高, vt_3 开始承受正压, 在 $3t$ 时刻触发导通, $u_{vt3} = u$, 而 vt_1 和 vt_2 反压关断。

$u_b > u_c$ 时 $u = u_a$, $i_{vt1} = i$, vt_1 承受 a 点- c 点间电压, 即 $u_{ac} = u$ 。

(4) 三相半波可控整流电路带电阻负载时的波形图 (图 4-10) 定义: t_1 时刻为自然换向点后 α , $2t$ 和 $3t$ 时刻依次间距 120° 。

① $0 \sim 90^\circ$ ($\alpha = 0$) : $u_a > u_b$ 相电压最高, vt_1 已经承受正压, 但在 t_1 时刻 (即 $\alpha = 0$) 时开始触发导通, $u_{vt1} = u$, 而 vt_2 和 vt_3 反压关断。

$u_a > u_b$ 时 $u = u_a$, $i_{vt1} = i$ 。

② $90^\circ \sim 180^\circ$ ($\alpha = 90^\circ$) : $u_b > u_a$ 虽然已到 a 相和 b 相的自然换向点, b 相电压高于 a 相电压, vt_2 已经开始承受正压, 但是 vt_2 没有门极触发脉冲, 因此 vt_2 保持关断。

$u_b > u_a$ 这样, 原来已经导通的 vt_1 仍然承受正向电压 (u_a) 而持续导通, $u_{vt1} = u$, $u = u_a$, $i_{vt1} = i$ 。

③ $180^\circ \sim 270^\circ$: $u_b > u_c$ 相电压最高, vt_2 已经承受正压, $2t$ 时刻 (即 $\alpha = 180^\circ$) 时开始触发导通 vt_2 , $u_{vt2} = u$, 这样 vt_1 开始承受反压而关断。

$u_b > u_c$ 时 $u = u_b$, $i_{vt1} = i$, vt_1 承受 a 点- b 点间电压, 即 $u_{ab} = u$ 。

④ $270^\circ \sim 360^\circ$: $u_c > u_b$ 相电压最高, vt_3 已经承受正压, $3t$ 时刻 (即 $\alpha = 270^\circ$) 时开始触发导通 vt_3 , $u_{vt3} = u$, 这样 vt_2 开始承受反压而关断。

$u_c > u_b$ 时 $u = u_c$, $i_{vt1} = i$, vt_1 承受 a 点- c 点间电压, 即 $u_{ac} = u$ 。

(5) 三相半波可控整流电路带电阻负载时的波形图 (图 4-11) 定义: t_1 时刻为自然换向点后 α , $2t$ 和 $3t$ 时刻依次间距 120° 。

① $0 \sim 90^\circ$ ($\alpha = 0$) : $u_a > u_b$ 相电压最高, vt_1 在 t_1 时刻 (即 $\alpha = 0$) 时开始触发导通, 即使过了自然换向点, 但因 vt_2 未导通及 u_a , 而使 vt_1 持续导通, $u_{vt1} = u$, 而 vt_2 和 vt_3 反压关断。

$u_a > u_b$ 时 $u = u_a$, $i_{vt1} = i$ 。

② $90^\circ \sim 180^\circ$ ($\alpha = 90^\circ$) : $u_a > u_b$ 相电压过零变负 (u_a), 而使 vt_1 承受反压关断, 而 vt_2 (未触发导通) 和 vt_3 仍为关断。

$u_{d1} = u_{t1} = u_{i1}$, $u_{d0} = u$ 。

③ $3\pi \sim 4\pi$ 及 $4\pi \sim 5\pi$ 期间情况分别为 u_{t2} 和 u_{t3} 导通过程，与上述相同。

(6) 三相半波可控整流电路带电阻负载不同触发角工作时的情况总结

总结 ① 当 $\alpha = 0^\circ$ 时，负载电流处于连续状态，各相导电 120° 。

② 当 $\alpha = 30^\circ$ 时，负载电流处于连续和断续的临界状态，各相仍导电 120° 。

③ 当 $\alpha > 30^\circ$ 时，负载电流处于断续状态，直到 $\alpha = 150^\circ$ 时，整流输出电压为零。

④ 结合上述分析，三相半波可控整流电路带电阻负载时 α 的移相范围为 150° ，其中经历了负载电流连续和断续的工作过程。

(7) 数值计算 ① $\alpha = 0^\circ$ 时，整流电压平均值（负载电流连续）：

$$U_d = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \sqrt{2} U_2 \sin \omega t \, d\omega t = \frac{\sqrt{2} U_2}{\pi} \int_0^\pi \sin \omega t \, d\omega t = \frac{\sqrt{2} U_2}{\pi} [-\cos \omega t]_0^\pi = \frac{\sqrt{2} U_2}{\pi} (1 + 1) = \frac{2\sqrt{2} U_2}{\pi}$$

② $\alpha = 30^\circ$ 时，整流电压平均值（负载电流断续）：

$$U_d = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{2} U_2 \sin \omega t \, d\omega t = \frac{\sqrt{2} U_2}{\pi} [-\cos \omega t]_{\alpha}^{\pi} = \frac{\sqrt{2} U_2}{\pi} (1 + \cos \alpha)$$

③ 负载电流平均值： $I_d = I_{d0}$ 。

④ 晶闸管承受的最大反向电压： $U_{RM} = \sqrt{2} U_2$ 为变压器二次侧线电压的峰值， $U_{RM} = \sqrt{2} U_2$ ⑤ 晶闸管承受的最大正向电压：如 a 相，二次侧 a 相电压与晶闸管正向电压之和为负载整流输出电压 u_d ，由于 u_d 最小为 0，因此晶闸管最大正向电压 $U_{FM} = \sqrt{2} U_2$ 。

2.2.1.2 阻感负载 (1) 三相半波可控整流电路带阻感负载时的原理

图 2.2.1.2 阻感负载 (1) 三相半波可控整流电路带阻感负载时的原

理图 ① 当阻感负载中的电感值很大时，整流获得的电流 i_d 波形基本是平直的，即流过晶闸管的电流接近矩形波。

② 当 $\alpha = 0^\circ$ 时，整流电压波形与电阻负载时相同，因为两种负载情况下，负载电流均连续。

(2) 三相半波可控整流电路带阻感负载时的波形图 (2) 三相半波可控整流电路带阻感负载时的波形图 ($\alpha = 60^\circ$) 定义： t_1 时刻为自然换向点后 60° ， $2t_1$ 和 $3t_1$ 时刻依次间距 120° 。

① $2\pi \sim 3\pi$ ： u_{t1} 承受正压并触发导通，过自然换向点后 a 相电压仍大于 0， u_{t1} 仍持续导通。

vt 1

仍持续导通。

当 $\omega t = \pi$ 时， $u_a = -U_m$ ， $i_a = 0$ ， $i_b = I_m$ ， $u_{VT1} = u_a$ 。

② $\pi \sim \frac{3\pi}{2}$ ：当 $\omega t = \frac{3\pi}{2}$ 时刻，b 相电压最高，同时触发导通，则 VT2 导通，这样 VT1 承受反压关断，由 VT2 向负载供电。

当 $\omega t = 2\pi$ 时， $u_b = -U_m$ ， $i_b = 0$ ， $i_c = I_m$ ， $u_{VT1} = u_b$ 。

③ $\frac{3\pi}{2} \sim 2\pi$ ：工作过程与上述相同。

当 $\omega t = \frac{5\pi}{2}$ 时， $u_c = -U_m$ ， $i_c = 0$ ， $i_a = I_m$ ， $u_{VT1} = u_c$ 。

(3) 三相半波可控整流电路带阻感负载不同触发角工作时的情况总结
① 阻感负载状态下，由于大电感的存在，使负载电流始终处于连续状态，各相导电 120° 。

② 当 $\alpha = 30^\circ$ 时，负载电压 u_d 波形将出现负的部分，并随着触发角的增大，使负的部分增多。

③ 当 $\alpha = 90^\circ$ 时，负载电压 u_d 波形中正负面积相等， u_d 平均值为 0。

④ 结合上述分析，三相半波可控整流电路带阻感负载时 α 的移相范围为 $0 \sim 90^\circ$ 。

(4) 数值计算 ① 整流电压平均值（负载电流始终连续）： $U_d = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} U_m \cos \alpha$ 。

② 晶闸管承受的最大正反向电压：为变压器二次侧线电压的峰值， $U_{Tm} = \sqrt{2} U_2$ 。
3.2.2 三相桥式全控整流电路
三相桥式全控整流电路原理图：3.2.2 三相桥式全控整流电路
三相桥式全控整流电路原理图：(1) 由 6 只晶闸管组成，形成三个桥臂，其中每个桥臂连接一相电源。

(2) 阴极连接在一起的 3 只晶闸管 (VT1、VT3、VT5) 称为共阴极组，处于桥臂上端。

(3) 阳极连接在一起的 3 只晶闸管 (VT4、VT6、VT2) 称为共阳极组，处于桥臂下端。

(4) 晶闸管的导通顺序：VT1、VT2、VT3、VT4、VT5、VT6。

3.2.2.1 带电阻负载时的工作情况 (3.2.2.1 带电阻负载时的工作情况 ($\alpha = 0^\circ$)) (1) 基本说明 (1) 基本说明 ① 自然换向点仍为 a、b、c 相的交点。

② 将 ωt 时刻（自然换向点）后的一个电源周期分成 6 段，每段电角度为 60° ，分别为 I、II、III、IV、V、VI。

）波形图分析 ① 阶段 I： $u_b > u_a$ 相电压最大， u_c 相电压最小，触发导通 VT_1 （事实上， VT_6 已经导通） $u_{ab} du u =$ ， $u_{VT_1} = u_a$ 。

② 阶段 II： $u_b > u_c$ 相电压最大， u_a 相电压最小，触发导通 VT_2 ，则 VT_6 承受反压（ $-u_{cb}$ ）而关断， VT_1 持续导通。

$u_{ac} du u =$ ， $u_{VT_2} = u_c$ 。

③ 阶段 III： $u_b > u_a$ 相电压最大， u_c 相电压最小，触发导通 VT_3 ，则 VT_1 承受反压（ $-u_{ab}$ ）而关断， VT_2 持续导通。

$u_{bc} du u =$ ， $u_{VT_3} = u_b$ 。

④ 阶段 IV： $u_b > u_c$ 相电压最大， u_a 相电压最小，触发导通 VT_4 ，则 VT_2 承受反压（ $-u_{ac}$ ）而关断， VT_3 持续导通。

$u_{ba} du u =$ ， $u_{VT_4} = u_b$ 。

⑤ 阶段 V： $u_c > u_a$ 相电压最大， u_b 相电压最小，触发导通 VT_5 ，则 VT_3 承受反压（ $-u_{bc}$ ）而关断， VT_4 持续导通。

$u_{ca} du u =$ ， $u_{VT_5} = u_c$ 。

⑥ 阶段 VI： $u_c > u_b$ 相电压最大， u_a 相电压最小，触发导通 VT_6 ，则 VT_4 承受反压（ $-u_{ba}$ ）而关断， VT_5 持续导通。

$u_{cb} du u =$ ， $u_{VT_6} = u_c$ 。

（3）总结 ① 对于共阴极组的 3 个晶闸管来说，阳极所接交流电压值最高的一个导通；对于共阳极组的 3 个晶闸管来说，阴极所接交流电压值最低的一个导通。

② 每个时刻均需 2 个晶闸管同时导通，形成向负载供电的回路，其中 1 个晶闸管是共阴极组的，1 个是共阳极组的，且不能为同一相的晶闸管。

③ 对触发脉冲的要求：6 个晶闸管的脉冲按 $VT_1 VT_2 VT_3 VT_4 VT_5 VT_6$ 的顺序，相位依次差 60° 。

④ 共阴极组 VT_1 、 VT_3 、 VT_5 的脉冲依次差 120° ，共阳极组 VT_2 、 VT_4 、 VT_6 的脉冲依次差 120° 。

⑤ 同一相的上下两个桥臂，即 VT_1 与 VT_4 ， VT_3 与 VT_6 ， VT_5 与 VT_2 ，脉冲相差 180° 。

⑥ 整流输出电压 u_d 一周脉动 6 次，每次脉动的波形都一样，故该电路为 6 脉动整流电路。

3.2.2.2 带电阻负载时的工作情况（3.2.2.2 带电阻负载时的工作情况

（ $\alpha = 0$ ）（1）基本说明）（1）基本说明 ① 自然换向点仍为 a 、 b 、 c 相的交点。

时刻为 a 相 $\omega t = 30^\circ$ 触发角位置，将该时刻后的一个电源周期 $\omega t = 360^\circ$ 分成 6 段，每段电角度为 60° ，分别为 I、II、III、IV、V、VI。

(2) 波形图分析 ① 阶段 I：当 $\omega t = 30^\circ$ a 相电压最大，b 相电压最小，触发导通 VT_1 （事实上， VT_6 已经导通）当过 b、c 相交点后，虽然 b 电压高于 c 相电压，但是由于未触发导通 VT_2 ，且 a 相电压仍高于 b 相，因此整个阶段 i 中， VT_1 和 VT_6 持续导通。

当 $\omega t = 30^\circ$ $u_{ab} = U_m \sin \omega t$ ， $u_{VT_1} = u_a$ ， $i_{VT_1} = i_a$ 。

② 阶段 II：当 $\omega t = 90^\circ$ 分析过程同阶段 i， VT_1 和 VT_2 持续导通。

当 $\omega t = 90^\circ$ $u_{ac} = U_m \sin \omega t$ ， $u_{VT_1} = u_a$ ， $i_{VT_1} = i_a$ 。

③ 阶段 III：当 $\omega t = 150^\circ$ 分析过程同阶段 i， VT_2 和 VT_3 持续导通。

当 $\omega t = 150^\circ$ $u_{bc} = U_m \sin \omega t$ ， $u_{VT_2} = u_b$ ， $i_{VT_2} = i_b$ 。

④ 阶段 IV：当 $\omega t = 210^\circ$ 分析过程同阶段 i， VT_3 和 VT_4 持续导通。

当 $\omega t = 210^\circ$ $u_{ba} = U_m \sin \omega t$ ， $u_{VT_3} = u_b$ ， $i_{VT_3} = i_b$ 。

⑤ 阶段 V：当 $\omega t = 270^\circ$ 分析过程同阶段 i， VT_4 和 VT_5 持续导通。

当 $\omega t = 270^\circ$ $u_{ca} = U_m \sin \omega t$ ， $u_{VT_4} = u_c$ ， $i_{VT_4} = i_c$ 。

⑥ 阶段 VI：当 $\omega t = 330^\circ$ 分析过程同阶段 i， VT_5 和 VT_6 持续导通。

当 $\omega t = 330^\circ$ $u_{cb} = U_m \sin \omega t$ ， $u_{VT_5} = u_c$ ， $i_{VT_5} = i_c$ 。

(3) 总结 ① 与 $\omega t = 0^\circ$ 时相比，晶闸管起始导通时刻推迟了 30° ，组成 u_d 的每一段线电压因此推迟 30° ， u_d 平均值降低。

② VT_1 处于通态的 120° 期间，变压器二次侧 a 相电流 i_a ，波形与同时段的 u_d 波形相同。 VT_4 处于通态的 120° 期间， i_a 波形与同时段的 u_d 波形相同，但为负值。

3.2.2.3 带电阻负载时的工作情况 (3.2.2.3 带电阻负载时的工作情况 ($\omega t = 0^\circ$) (1) 波形图分析)

(1) 波形图分析 ① 阶段 I：当 $\omega t = 30^\circ$ a 相电压最大，c 相电压最小，通过以往经验知道 VT_6 已经导通，此时触发导通 VT_1 ，不触发 VT_2 ，则整个阶段 i 中， VT_1 和 VT_6 持续导通。

当 $\omega t = 30^\circ$ $u_{ab} = U_m \sin \omega t$ ， $u_{VT_1} = u_a$ 。

② 阶段 II：当 $\omega t = 90^\circ$ b 相电压最大，c 相电压最小，此时触发导通 VT_2 ，则 VT_6 承受电压 U_{cb} 而关断，而 a 相电压仍比 c 相大，因此 VT_1 和 VT_2 持续导通。

当 $\omega t = 90^\circ$ $u_{ac} = U_m \sin \omega t$ ， $u_{VT_1} = u_a$ 。

③ 阶段 III：当 $\omega t = 150^\circ$ 分析过程同阶段 II， VT_2 和 VT_3 持续导通。

当 $\omega t = 150^\circ$ $u_{bc} = U_m \sin \omega t$ ， $u_{VT_2} = u_b$ 。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/828025047014006077>