

第十八讲

交交变频和矩阵式变频电路

教师：孔祥新

地点：JA202

曲阜师范大学 电气信息与自动化学院



交交变频和矩阵式变频电路—内容

- 18.1 交交变频电路
 - 18.1.1 单相交交变频电路
 - 18.1.2 三相交交变频电路
- 18.2 矩阵式变频电路



18.1.1 单相交交变频器

- 晶闸管交交变频电路，也称周波变流器 (Cycloconverter)
- ◆ 把电网频率的交流电变成可调频率的交流电的变流电路，属于直接变频电路。
- ◆ 广泛用于大功率交流电动机调速传动系统，实际使用的主要是三相输出交交变频电路。

18.1.1 单相交交变频器

1) 电路构成和基本工作原理

电路构成

如图 4-18，由 P 组和 N 组反并联的晶闸管变流电路构成，和直流电动机可逆调速用的四象限变流电路完全相同。

变流器 P 和 N 都是相控整流电路。

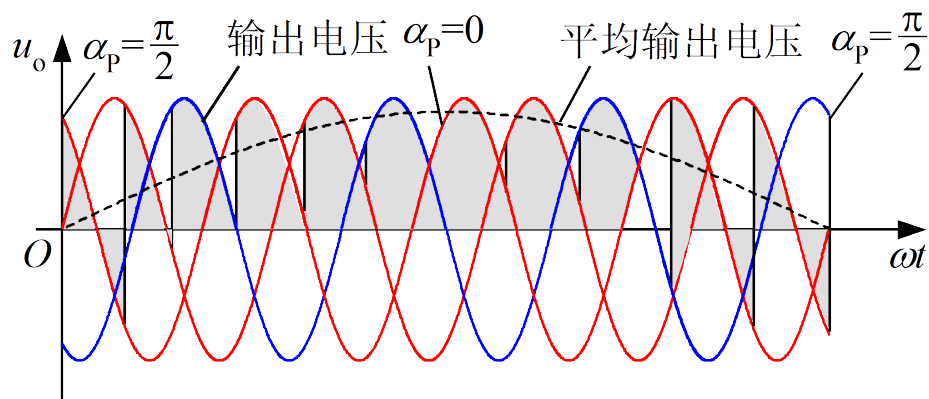
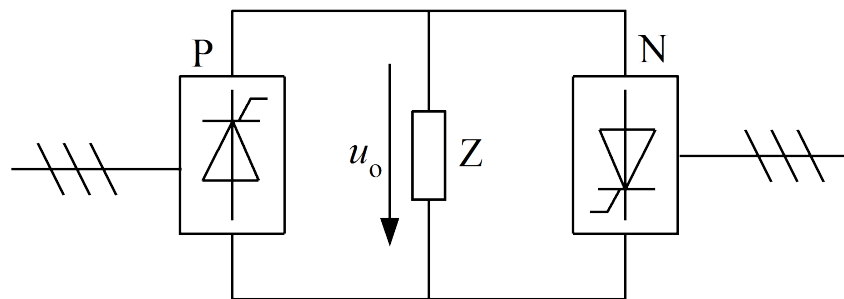


图 4-18 单相交交变频电路原理图和输出电压波形

18.1.1 单相交交变频器

工作原理

- P组工作时，负载电流 i_o 为**正**。
- N组工作时， i_o 为**负**。
- 两组变流器按一定的频率交替工作，负载就得到该频率的交流电。
 - 改变两组变流器的切换频率，就可改变输出频率 ω 。
 - 改变变流电路的控制角 α ，就可以改变交流输出电压的幅值。

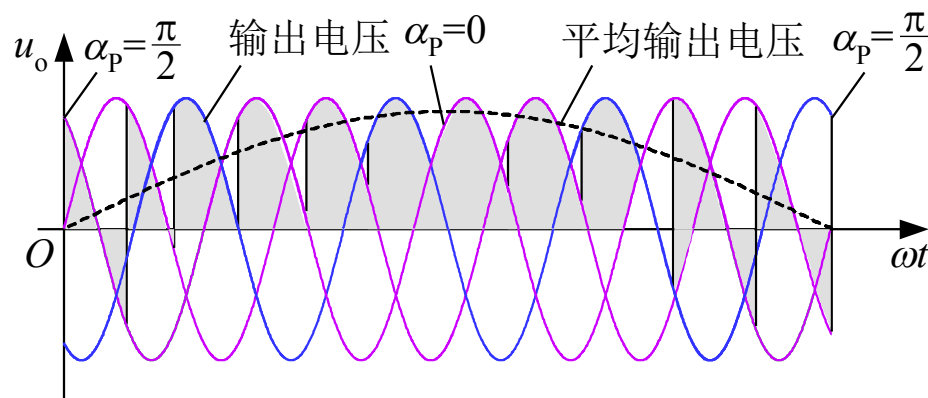
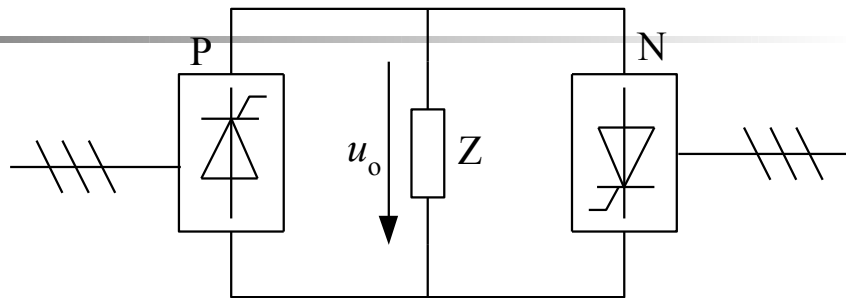
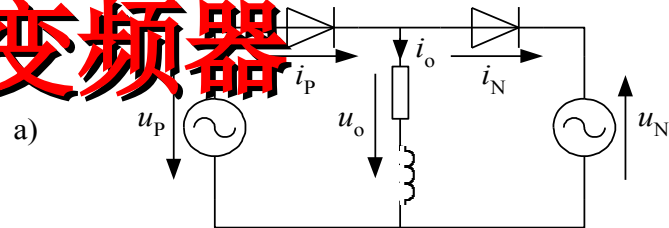


图 4-18 单相交交变频电路原理图和输出电压波形

18.1.1 单相交交变频器

- 为使 u_o 波形接近正弦波，可按正弦规律对 α 角进行调制。
- ⊕ 在半周期内让 P 组 α 角按正弦规律从 90° 减到 0° 或某个值，再增加到 90° ，每个控制间隔内的平均输出电压就按正弦规律从零增至最高，再减到零。另外半个周期可对 N 组进行同样的控制。
- ⊕ u_o 由若干段电源电压拼接而成，在 u_o 的一个周期内，包含的电源电压段数越多，其波形就越接近正弦波。

18.1.1 单相交交变频器



2) 整流与逆变工作

状态

- 阻感负载为例，也适用于交流电动机负载。
- 把交交变频电路理想化，忽略变流电路换相时 u_o 的脉动分量，就可把电路等效成图 4-19a 所示的正弦波交流电源和二极管的串联。

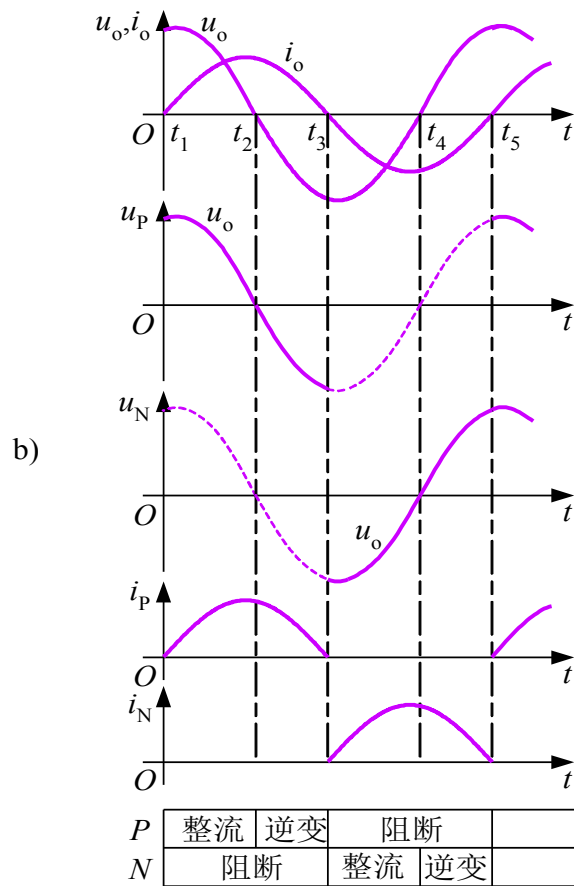
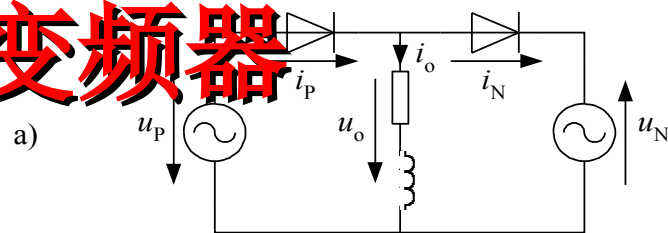


图 4-19 理想化交交变频电路的整流和逆变工作状态

18.1.1 单相交交变频器



- 设负载阻抗角为 φ ，则输出电流滞后输出电压 φ 角。
- 两组变流电路采取无环流工作方式，即一组变流电路工作时，封锁另一组变流电路的触发脉冲。

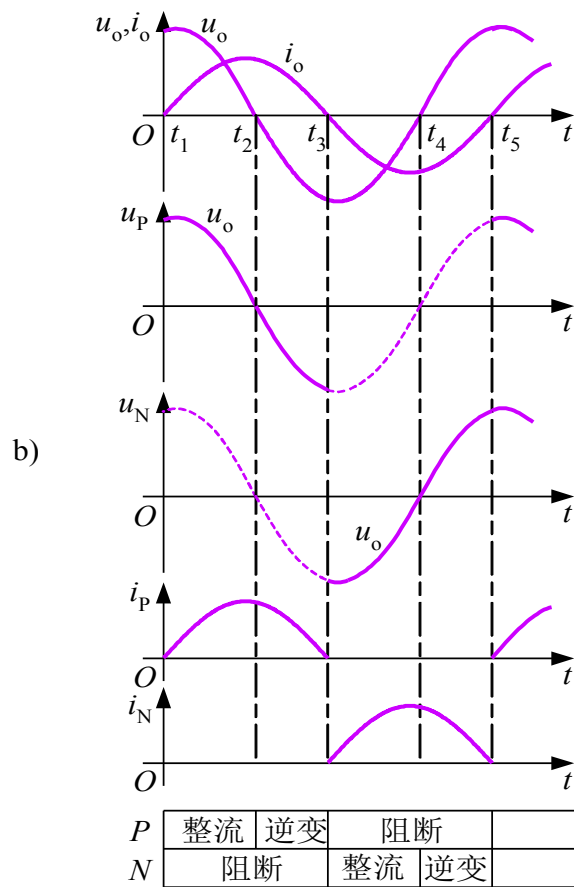
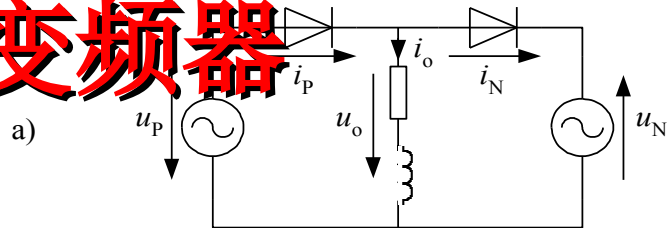


图 4-19 理想化交交变频电路的整流和逆变工作状态

18.1.1 单相交交变频器



工作状态

✦ $t_1 \sim t_3$ 期间： i_o 正半周，正组工作，反组被封锁。

✦ $t_1 \sim t_2$ ： u_o 和 i_o 均为正，正组整流，输出功率为正。

✦ $t_2 \sim t_3$ ： u_o 反向， i_o 仍为正，正组逆变，输出功率为负。

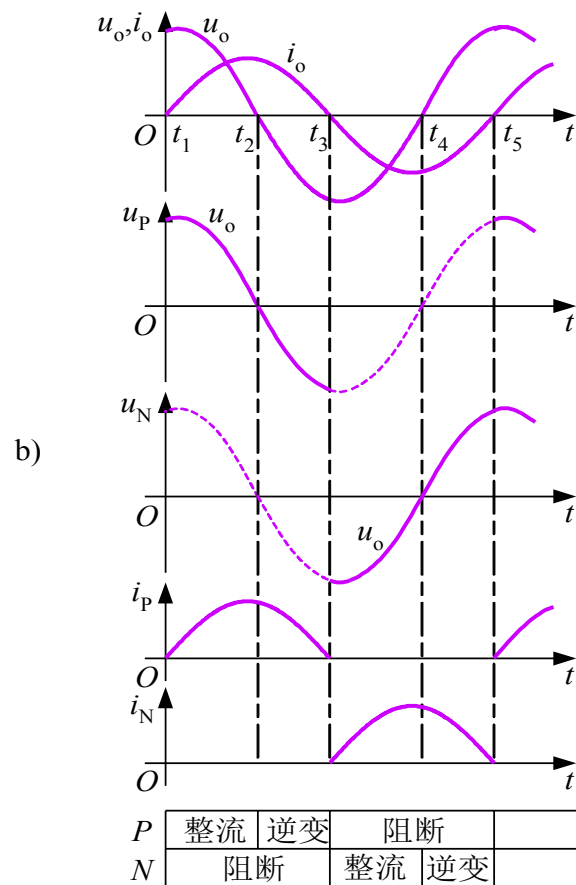
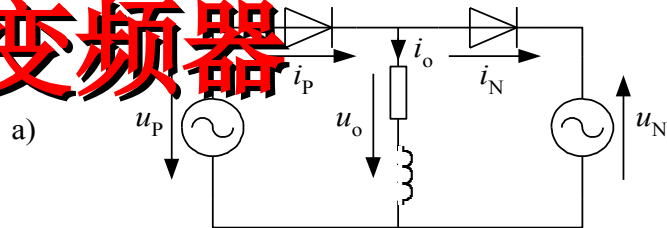


图 4-19 理想化交交变频电路的整流和逆变工作状态

18.1.1 单相交交变频器



• $t_3 \sim t_5$ 期间: i_o 负半周, 反组工作, 正组被封锁。

• $t_3 \sim t_4$: u_o 和 i_o 均为负, 反组整流, 输出功率为正。

小结:

- ➔ 哪一组工作由 i_o 方向决定, 仍为极性无关。输出功率为负。
- ➔ 工作在整流还是逆变, 则根据 u_o 方向与 i_o 方向是否相同确定。

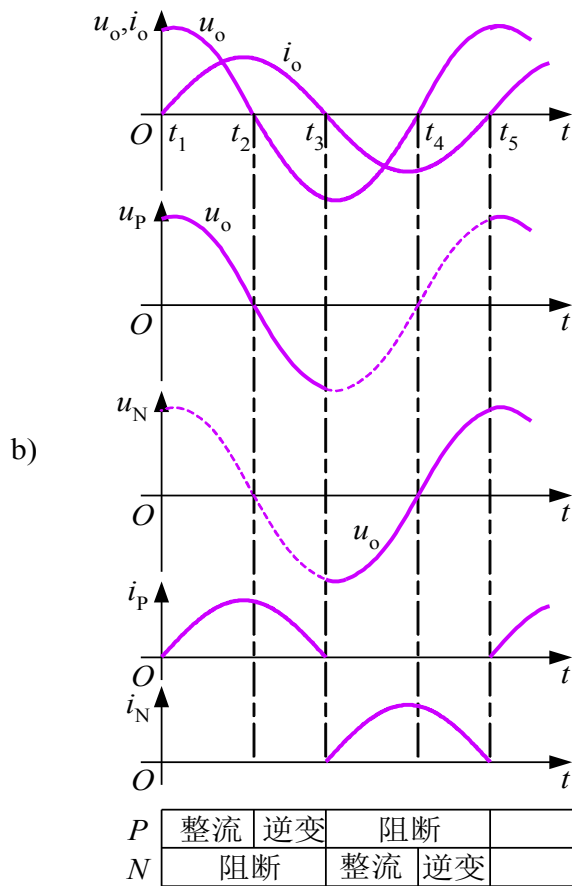
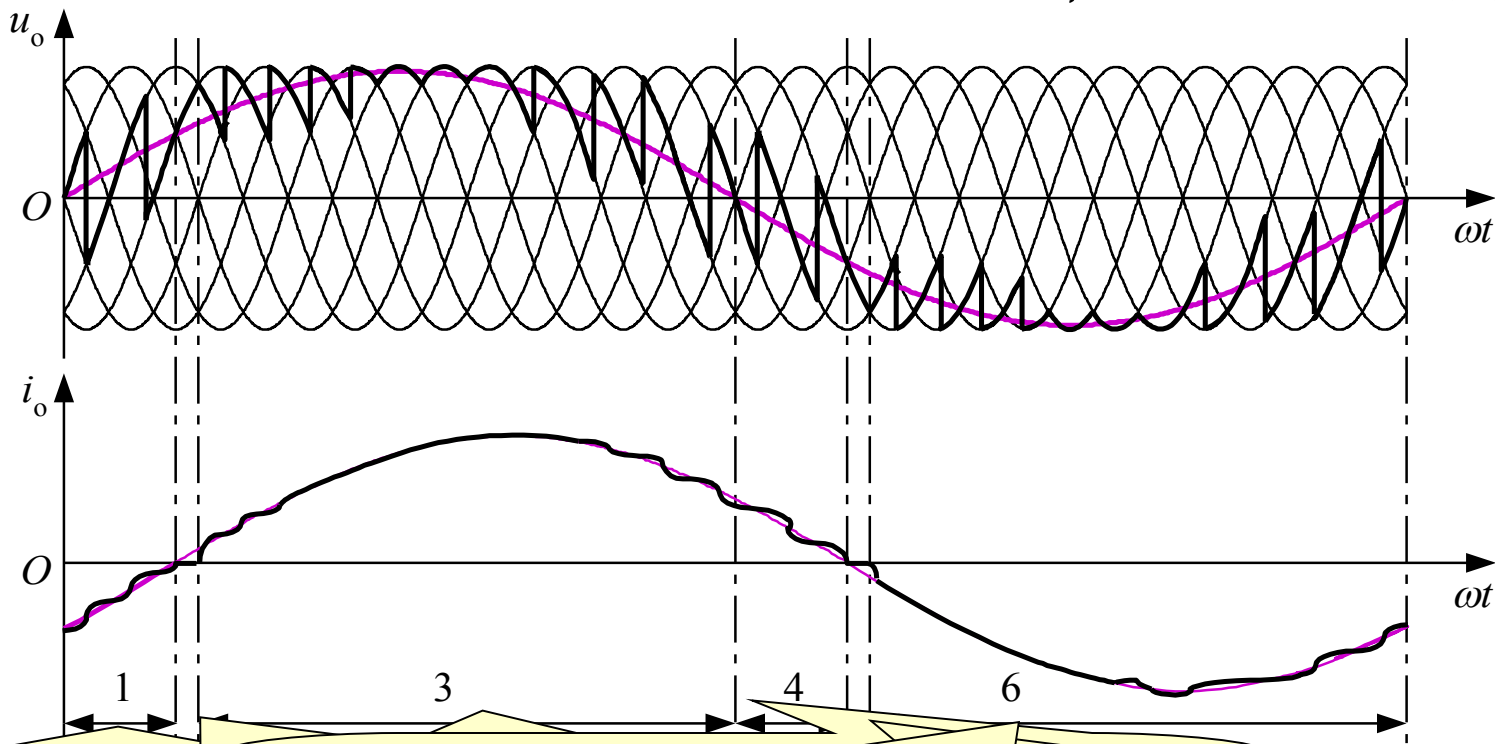


图 4-19 理想化交交变频电路的整流和逆变工作状态

18.1.1 单相交交变频器

- 当 u_o 和 i_o 的相位差小于 90° 时，一周期内电网向负载提供能量的平均值为正，电动机工作在电动状态。
- 当二者相位差大于 90° 时，一周期内电网向负载提供能量的平均值为负，电网吸收能量，电动机为发电状态。
- 考虑无环流工作方式下 i_o 过零的死区时间，一周期可分为 6 段。



第 1 段 第 6 段 $i_o < 0$, $u_o < 0$, 为反组整

18.1.1 单相交交变频器

3) 输出正弦波电压的调制方法

介绍最基本的、广泛使用的余弦交点法。

设 U_{d0} 为 $\alpha = 0$ 时整流电路的理想空载电压，则有

+

$$\bar{u}_o = U_{d0} \cos \alpha \quad (4-15)$$

每次控制时 α 角不同，

表示每次控制间隔内 u_o 的平均值。

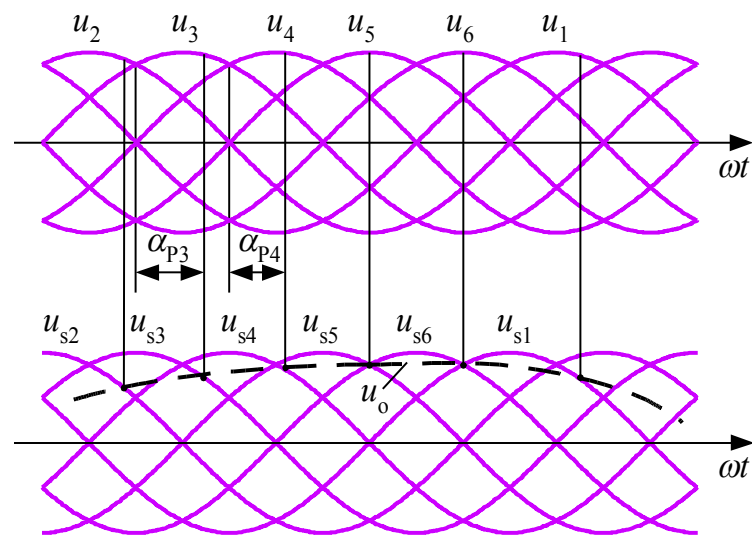


图 4-21 余弦交点法原理

18.1.1 单相交变频器

◆ 设期望的正弦波输出电压为

$$u_o = U_{om} \sin \omega_o t \quad (4-1)$$

6)

◆ 比较式(4-15)和(4-16)，应使

$$\cos \alpha = \frac{U_{om}}{U_{d0}} \sin \omega_o t = \gamma \sin \omega_o t$$

$$(4-1)$$

7)

◆ γ 称为输出电压比: $(0 \leq \gamma \leq 1)$

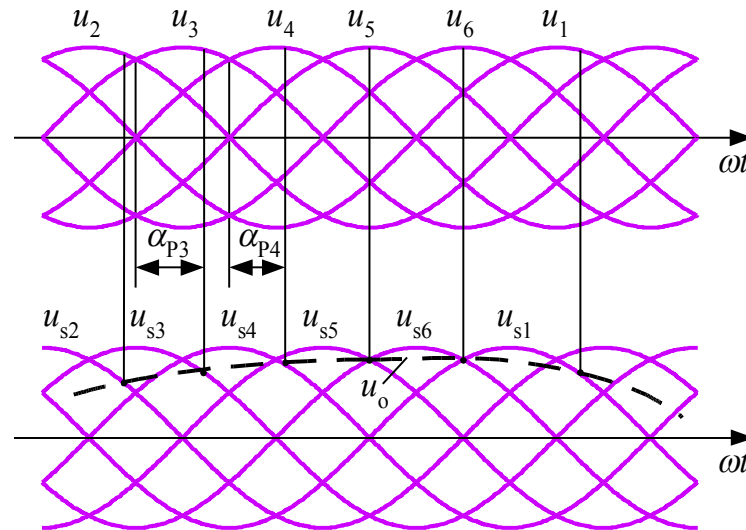


图 4-21 余弦交点法原理

18.1.1 单相交交变频器

余弦交点法基本公式

$$\alpha = \cos^{-1}(\gamma \sin \omega_0 t) \quad (4-18)$$

余弦交点法图解

线电压 u_{ab} 、 u_{ac} 、 u_{bc} 、 u_{ba}

u_{ca} 和 u_{cb} 依次用 $u_1 \sim u_6$ 表示。

相邻两个线电压的交点对应于 $\alpha = 0$ 。

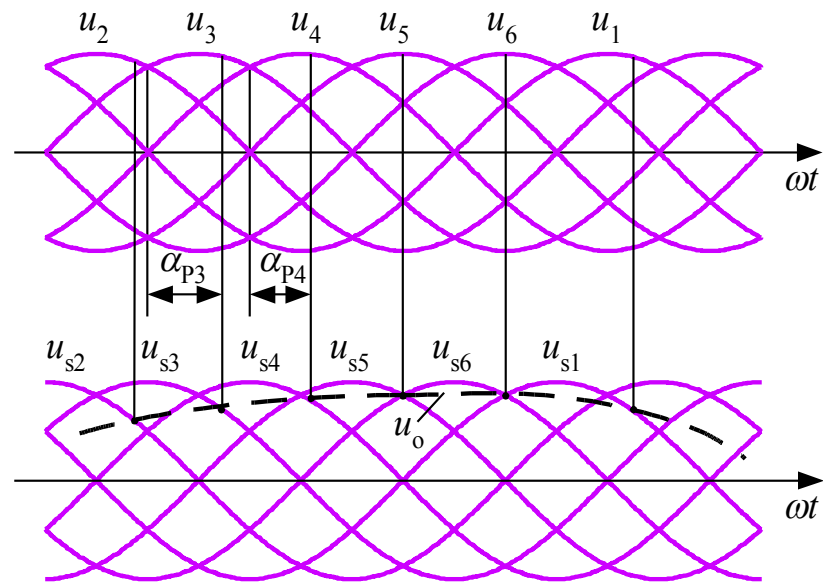


图 4-21 余弦交点法原理

18.1.1 单相交变频器

- $u_1 \sim u_6$ 所对应的同步信号分别用 $u_{s1} \sim u_{s6}$ 表示
- $u_{s1} \sim u_{s6}$ 比相应的 $u_1 \sim u_6$ 超前 30° ， $u_{s1} \sim u_{s6}$ 的最大值和相应线电压 $a=0$ 的时刻对应。
- 以 $a=0$ 为零时刻，则 $u_{s1} \sim u_{s6}$ 为余弦信号。
- 希望输出电压为 u_0 ，则各晶闸管触发时刻由相应的同步电压 $u_{s1} \sim u_{s6}$ 的下降段和 u_0 的交点来决定。

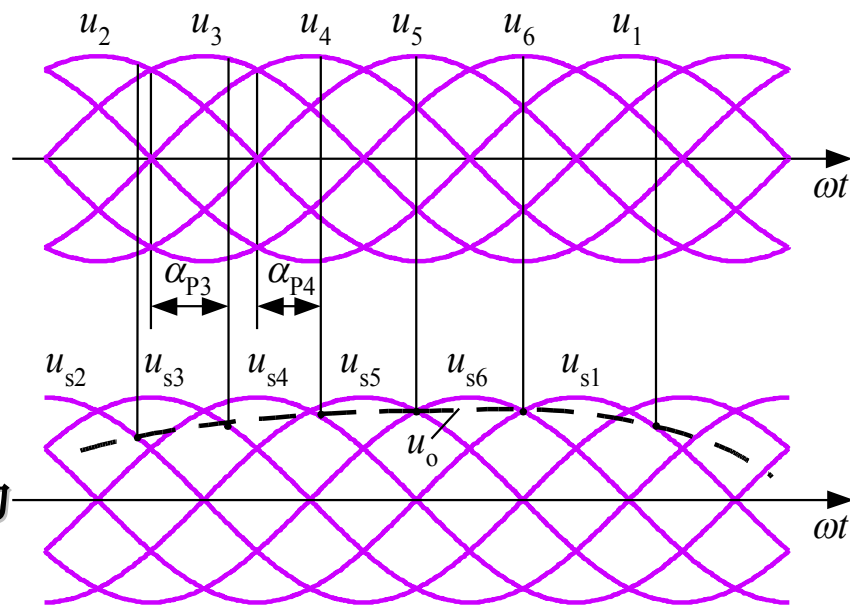


图 4-21 余弦交点法原理

18.1.1 单相交交变频器

- 不同 g 时，在 u_o 一周期内， α 随 $\omega_o t$ 变化的情况。图中，

$$\alpha = \cos^{-1}(\gamma \sin \omega_o t)$$

$$= \frac{\pi}{2} - \sin^{-1}(\gamma \sin \omega_o t)$$

- γ 较小，即输出电压较低时， α 只在离 90° 很近的范围内变化，电路的输入功率因数非常低。

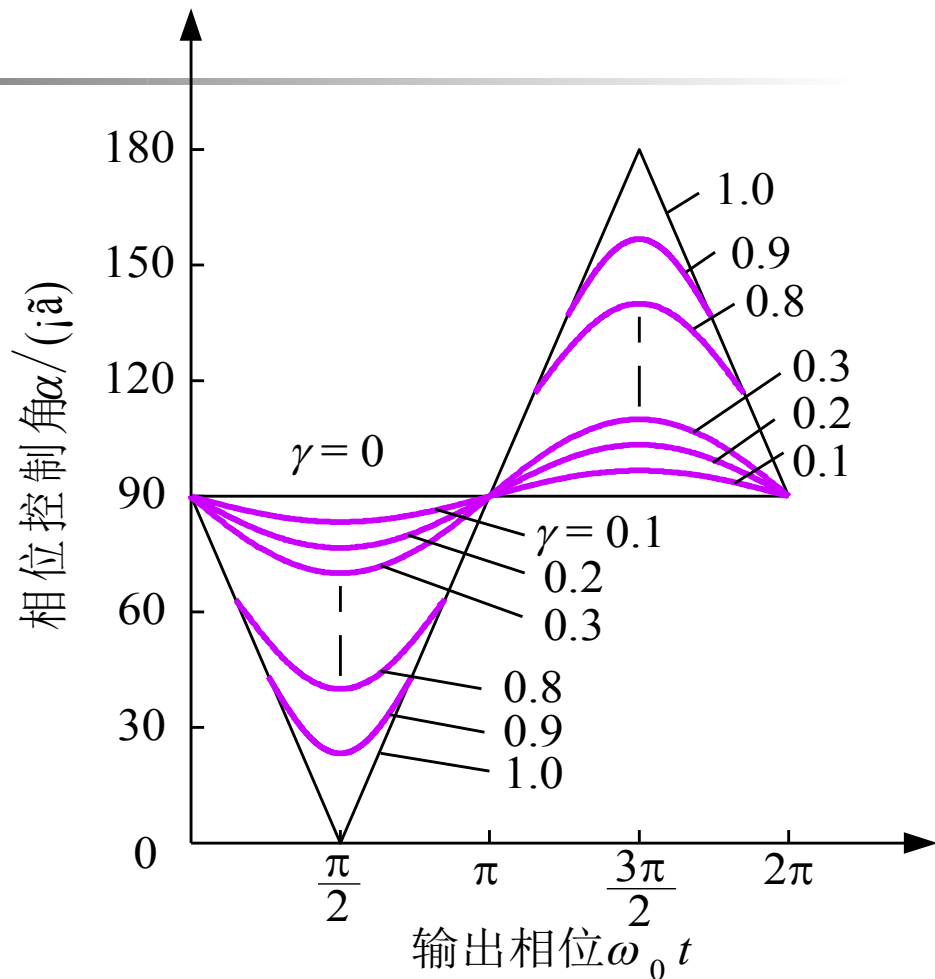


图 4-22 不同 γ 时 α 和 $\omega_o t$ 的关系

18.1.1 单相交交变频

器

4) 输入输出特性

(1) 输出上限频率

- 输出频率增高时，输出电压一周期所含电网电压段数减少，波形畸变严重。
- 电压波形畸变及其导致的电流波形畸变和转矩脉动是限制输出频率提高的主要因素。
- 就输出波形畸变和输出上限频率的关系而言，很难确定一个明确的界限。
- 当采用 6 脉波三相桥式电路时，输出上限频率不高于电网频率的 $1/3 \sim 1/2$ 。电网频率为 50Hz 时，交交变频电路的输出上限频率约为 20Hz。

18.1.1 单相交变频

器

(2) 输入功率因数

- 输入电流相位滞后于输入电压，需要电网提供无功功率。
- 一周期内， α 角以 90° 为中心变化。
- 输出电压比 γ 越小，半周期内 α 的平均值越靠近 90° 。
- 负载功率因数越低，输入功率因数也越低。
- 不论负载功率因数是滞后的还是超前的，输入的无功电流总是滞后。

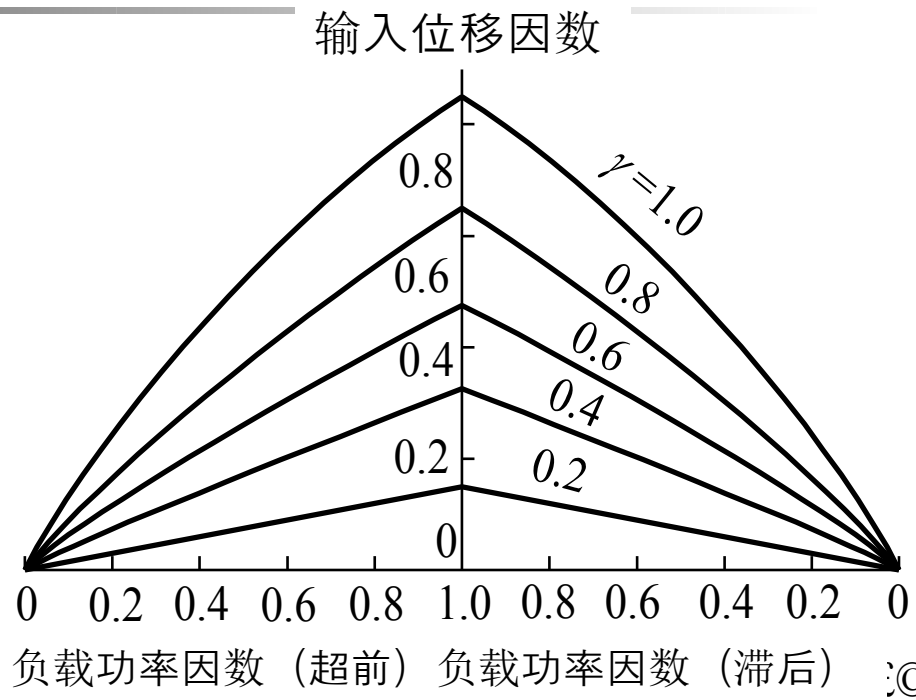


图 4-23 单相交变频电路的功率因数



18.1.1 单相交交变频器

(3) 输出电压谐波

- 输出电压的谐波频谱非常复杂，既和电网频率 f_i 以及变流电路的脉波数有关，也和输出频率 f_o 有关。
- 采用三相桥时，输出电压所含主要谐波的频率为
 - ⊕ $6f_i \pm f_o, 6f_i \pm 3f_o, 6f_i \pm 5f_o, \dots$
 - ⊕ $12f_i \pm f_o, 12f_i \pm 3f_o, 12f_i \pm 5f_o, \dots$
- 采用无环流控制方式时，由于电流方向改变时死区的影响，将增加 $5f_o$ 、 $7f_o$ 等次谐波。

18.1.1 单相交交变频器

■ (4) 输入电流谐波

- 输入电流波形和可控整流电路的输入波形类似，但其幅值和相位均按正弦规律被调制。
- 采用三相桥式电路的交交变频电路输入电流谐波频率

$$■ \quad f_{\text{in}} = |(6k \pm 1)f_i \pm 2lf_o| \quad (4-19)$$

$$■ \quad \text{和} \quad f_{\text{in}} = f_i \pm 2kf_o$$

(4-20)

- 式中， $k=1,2,3,\dots$ ； $l=0,1,2,\dots$ 。

18.1.2 三相交交变频电路

交交变频电路主要应用于大功率交流电机调速系统，使用的是三相交交变频系统。

- 由三组输出电压相位各差 120° 的单相交交变频电路组成。

1) 电路接线方式

公共交流母线进线方式

输出星形联结方式

18.1.2 三相交交变频电路

■ (1) 公共交流母线进线方式

- 由三组彼此独立的、输出电压相位相互错开 120° 的单相交交变频电路构成。
- 电源进线通过进线电抗器接在公共的交流母线上。
- 因为电源进线端公用，所以三组的输出端必须隔离。为此，交流电动机的三个绕组必须拆开。
- 主要用于中等。容量的交流调速系统。

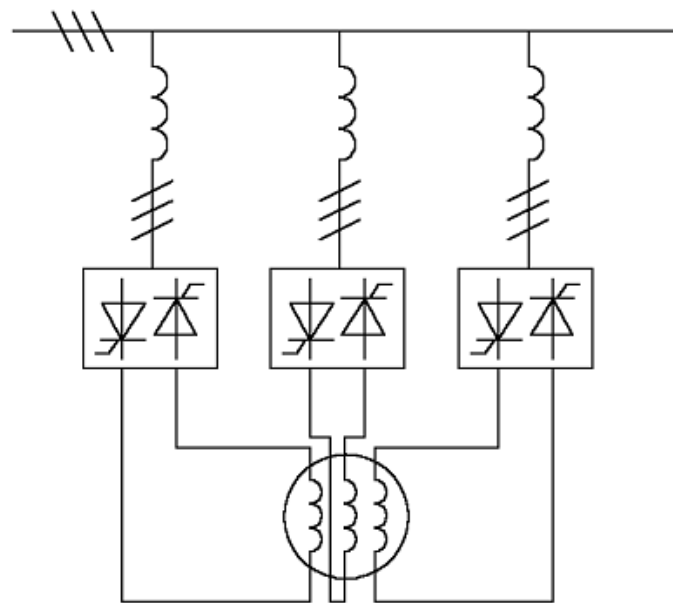


图 4-24 公共交流母线进线三相交

交变频电路（简

图）

18.1.2 三相交交变频电路

(2) 输出星形联结方式

- 三组的输出端是星形联结，电动机的三个绕组也是星形联结。
- 电动机中点不和变频器中点接在一起，电动机只引出三根线即可。
- 因为三组的输出联接在一起，其电源进线必须隔离，因此分别用三个变压器供电。
- 由于输出端中点不和负载中点相联接，所以在构成三相变频电路的六组桥式电路中，至少要有不同输出相的两组桥中的四个晶闸管同时导通才能构成回路，形成电流。

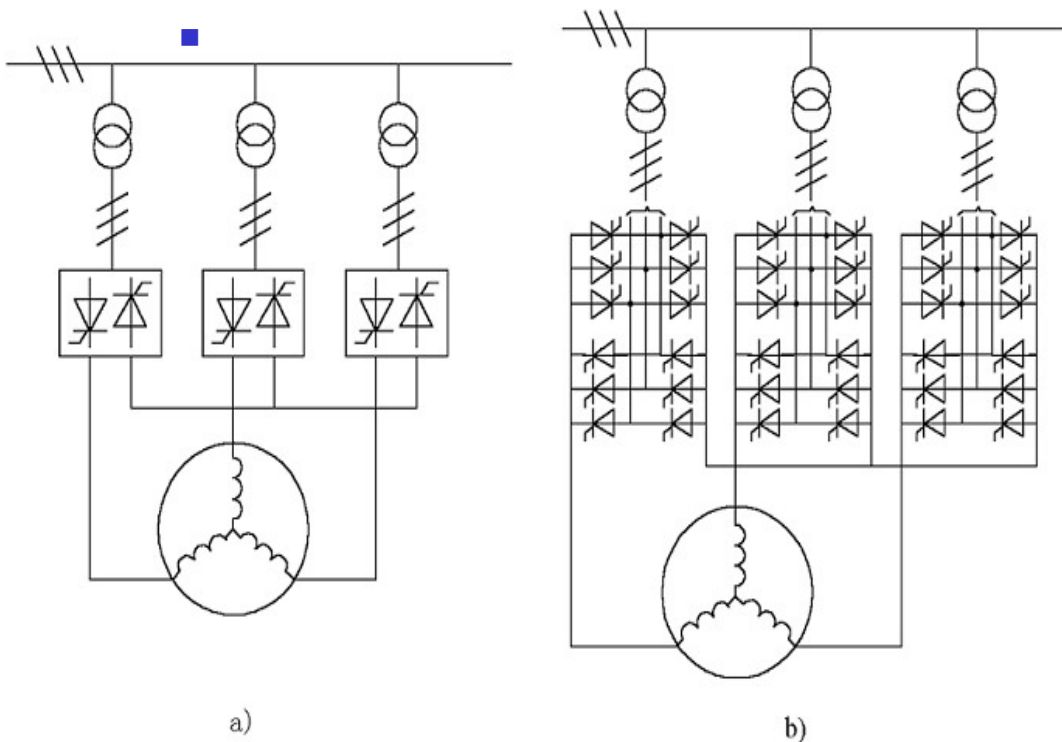


图 4-25 输出星形联结方式三相交交变频电路

a) 简图

b) 详图

18.1.2 三相交交变频电路

- 和整流电路一样，同一组桥内的两个晶闸管靠双触发脉冲保证同时导通。
- 两组桥之间则是靠各自的触发脉冲有足够的宽度，以保证同时导通。

18.1.2 三相交交变频电路

2) 输入输出特性

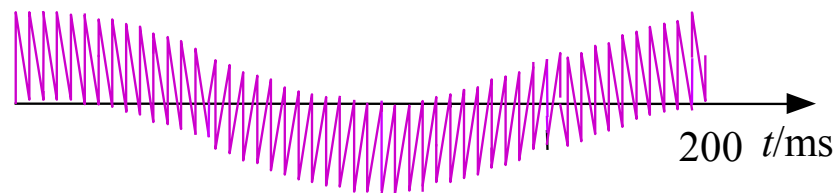
- 输出上限频率和输出电压谐波和单相交交变频电路是一致的。

输入电流

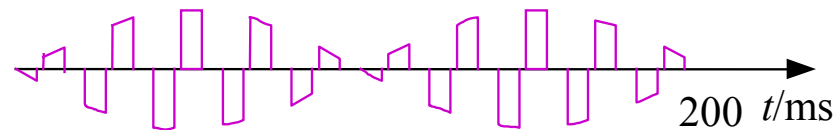
⊕总输入电流由三个单相的同一相输入电流合成而得到。

⊕有些谐波相互抵消，谐波种类有所减少，总的谐波幅值也有所降低。

输出电压



单相输出时
U相输入电流



三相输出时
U相输入电流

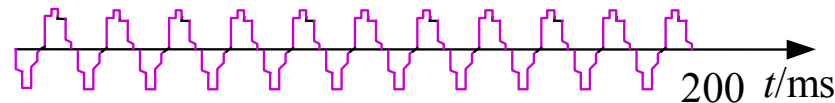


图 4-26 交交变频电路的输入电流波形

18.1.2 三相交交变频电路

- 谐波频率为

- $$f_{in} = |(6k \pm 1)f_i \pm 6lf_0| \quad (4-21)$$

- 和
$$f_{in} = f_i \pm 6kf_0 \quad (4-22)$$

- 式中 $k=1,2,3,\dots, l=0,1,2,\dots$ 。

➤ 采用三相桥式电路时，输入谐波电流的主要频率为 $f_i \pm 6f_0$ 、 $5f_i$ 、 $5f_i \pm 6f_0$ 、 $7f_i$ 、 $7f_i \pm 6f_0$ 、 $11f_i$ 、 $11f_i \pm 6f_0$ 、 $f_i \pm 12f_0$ 等。其中 $5f_i$ 次谐波的幅值最大。

18.1.2 三相交交变频电路

- 输入功率因数
- 三相总输入功率因数应为

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{P_a + P_b + P_c}{S} \quad (4-23)$$

- ⊕ 三相电路总的有功功率为各相有功功率之和
- ⊕ 但视在功率却不能简单相加，而应由总输入电流有效值和输入电压有效值来计算，比三相各自的视在功率之和要小
- ⊕ 三相总输入功率因数要高于单相交交变频电路

18.1.2 三相交交变频电路

3) 改善输入功率因数和提高输出电压

基本思路

- ⊕ 各相输出的是相电压，而加在负载上的是线电压。
- ⊕ 在各相电压中叠加同样的直流分量或 3 倍于输出频率的谐波分量，它们都不会在线电压中反映出来，因而也加不到负载上。利用这一特性可以使输入功率因数得到改善并提高输出电压。

直流偏置

- ⊕ 负载电动机低速运行时，变频器输出电压很低，各组桥式电路的 α 角都在 90° 附近，因此输入功率因数很低。
- ⊕ 给各相输出电压叠加上同样的直流分量，控制角 α 将减小，但变频器输出线电压并不改变。

18.1.2 三相交交变频电路

交流偏置

- ◆ 梯形波输出控制方式。
- ◆ 使三组单相变频器的输出均为梯形波（也称准梯形波），主要谐波成分是三次谐波。
- ◆ 在线电压中三次谐波相互抵消，线电压仍为正弦波。
- ◆ 因为桥式电路较长时间工作在高输出电压区域（即梯形波的平顶区）， α 角较小，因此输入功率因数可提高 15% 左右。
- ◆ 图 4-20 正弦波输出控制方式中，最大输出正弦波相电压的幅值为 U_{d0} 。
- ◆ 在同样幅值的情况下，梯形波中的基波幅值可提高 15% 左右。

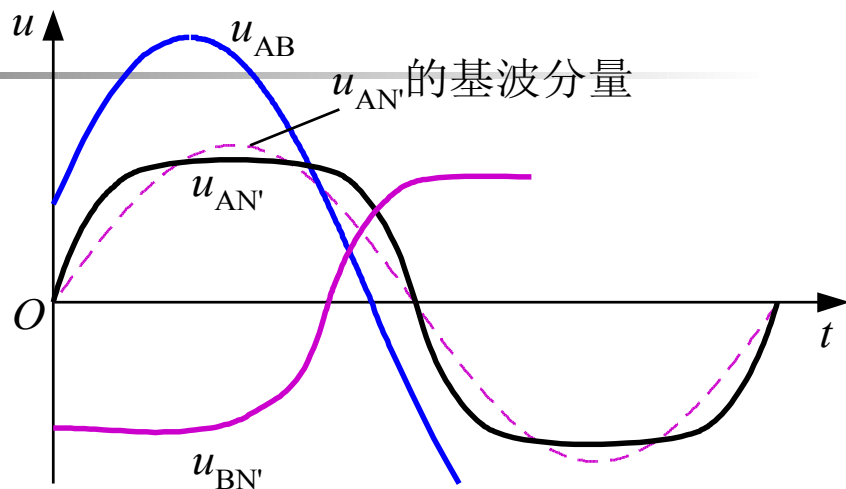


图 4-27 梯形波控制方式的理想输出电压波形

18.1.2 三相交交变频电路

交交变频和交直交变频的比较

- 8.1 节中介绍间接变频电路，先把交流变换成直流，再把直流逆变成可变频率的交流，称交直交变频电路。

- 交交变频电路的**优点**:
 - 效率较高（一次变流）
 - 可方便地实现四象限工作
 - 低频输出波形接近正弦波

- 交交变频电路的**缺点**:
 - 接线复杂，采用三相桥式电路的三相交交变频器至少要用 36 只晶闸管。
 - 受电网频率和变流电路脉波数的限制，输出频率较低。
 - 输入功率因数较低。
 - 输入电流谐波含量大，频谱复杂。



18.1.2 三相交交变频电路

应用

- 主要用于 500kW 或 1000kW 以上的大功率、低转速的交流调速电路中。目前已在轧机主传动装置、鼓风机、矿石破碎机、球磨机、卷扬机等场合应用。
- 既可用于异步电动机，也可用于同步电动机传动。

18.2 矩阵式变频器

简介:

- 是近年出现的一种新颖的变频电路。
- 是直接变频电路，采用的开关器件是全控型。
- 控制方式是斩波控制。

拓扑结构:

- 三相输入电压为 u_a 、 u_b 和 u_c
- 三相输出电压为 u_u 、 u_v 和 u_w

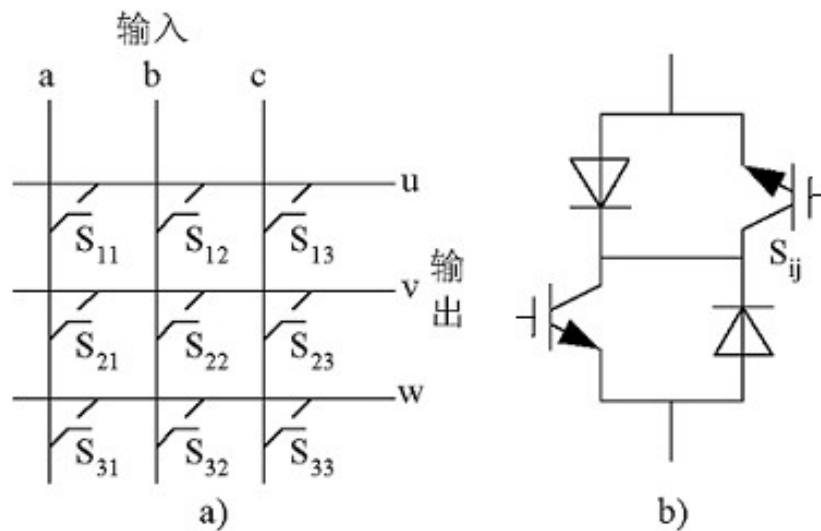


图 4-28 矩阵式变频器

18.2 矩阵式变频器

- 9 个开关器件组成 3×3 矩阵，因此该电路被称为矩阵式变频电路 (Matrix Converter — MC) 或矩阵变换器。
- 图中每个开关都是矩阵中的一个元素，采用双向可控开关，图 4-28b 给出了应用较多的一种开关单元。

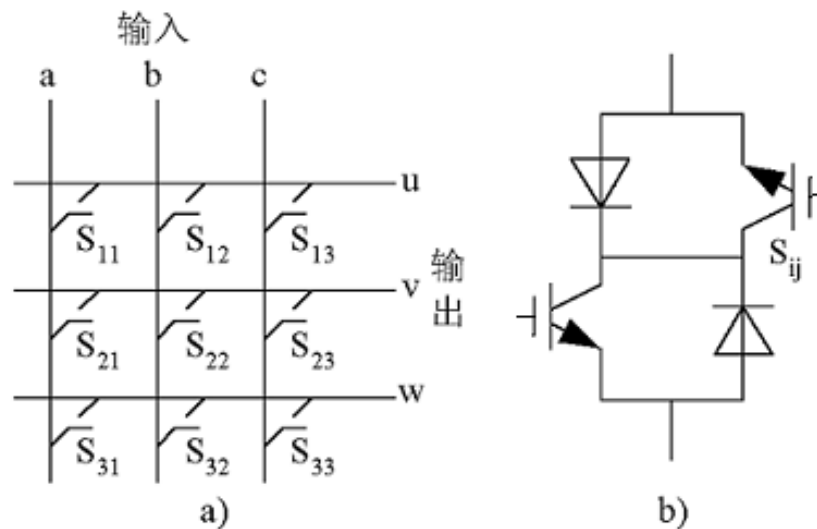


图 4-28 矩阵式变频器



18.2 矩阵式变频器

• 优点

- ⊕ 输出电压为正弦波。
- ⊕ 输出频率不受电网频率的限制。
- ⊕ 输入电流也可控制为正弦波且和电压同相。
- ⊕ 功率因数为 **1**，也可控制为需要的功率因数。
- ⊕ 能量可双向流动，适用于交流电动机的四象限运行。
- ⊕ 不通过中间直流环节而直接实现变频，效率较高。

18.2 矩阵式变频器

● 矩阵式变频电路的基本工作原理

⊕ 单相输入

- 对单相交流电压 u_s 进行斩波控制，即进行 PWM 控制时，输出电压 u_o 为：

$$u_o = \frac{t_{on}}{T_c} u_s = \sigma u_s \quad (4-2)$$

4)

- 式中， T_c ——开关周期； t_{on} ——一个开关周期内开关导通时间； σ ——占空比。

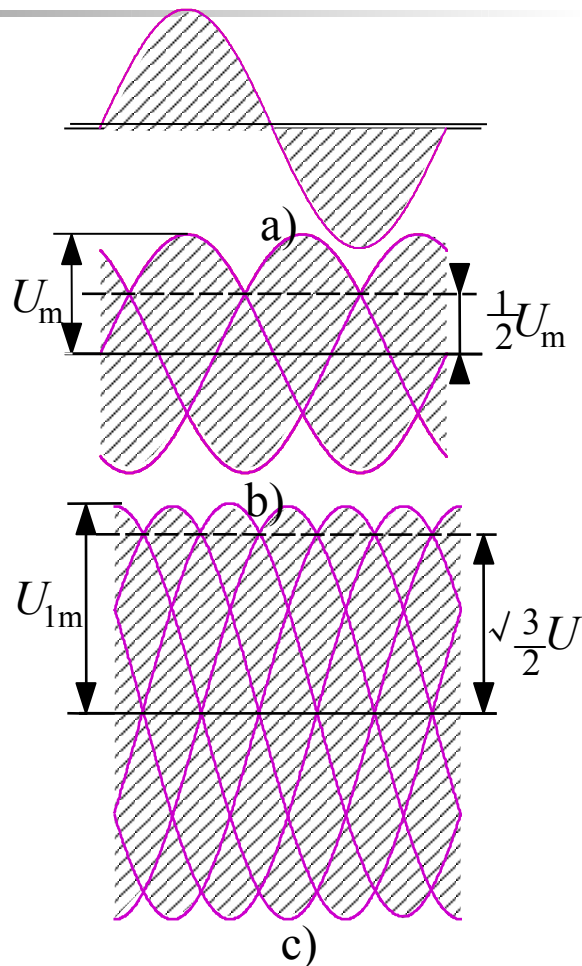


图 4-29 构造输出电压时可利用的输入电压部分
a) 单相输入 b) 三相输入构造输出相电压 c) 三相输出构造输出线电压

18.2 矩阵式变频器

- 不同的开关周期中采用不同的 s ，可得到与 u_s 频率和波形都不同的 u_o 。
- 由于单相交流 u_s 波形为正弦波，可利用的输入电压部分只有如图 4-29a 所示的单相电压阴影部分，因此 u_o 将受到很大的局限，无法得到所需输出波形。

利用三相相电压

- 把输入改为三相，就可利用图 4-29 b 所示的三相相电压包络线中所有的阴影部分。

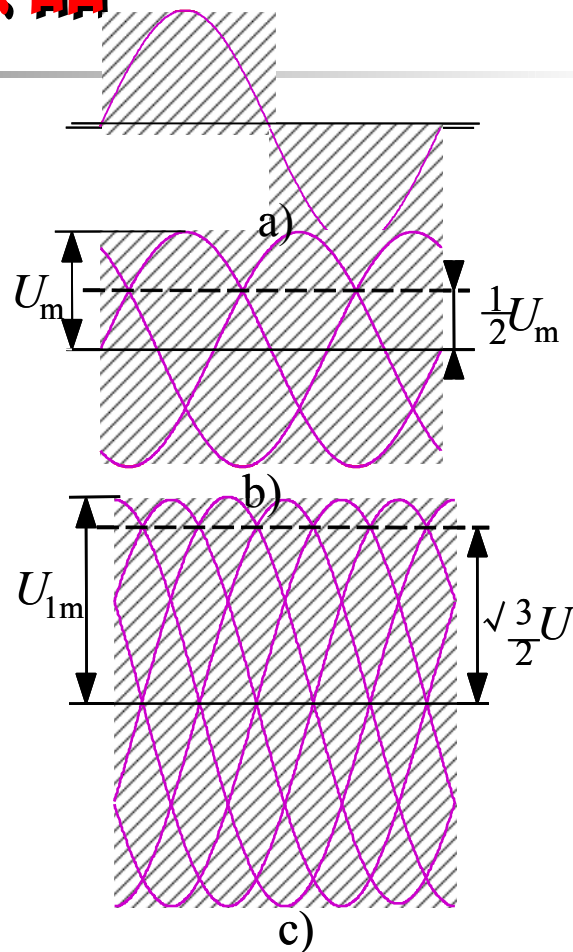


图 4-29 构造输出电压时可利用的输入电压部分
a) 单相输入 b) 三相输入构造输出相电压 c) 三相输出构造输出线电压

18.2 矩阵式变频器

- 理论上所构造的 u_u 的频率可不受限制。
- 但如 u_u 必须为正弦波，则其最大幅值仅为输入相电压 u_a 幅值的 0.5 倍。

利用三相线电压

- 用图 4-28a 中第一行和第二行的 6 个开关共同作用来构造输出线电压 u_{uv} 。

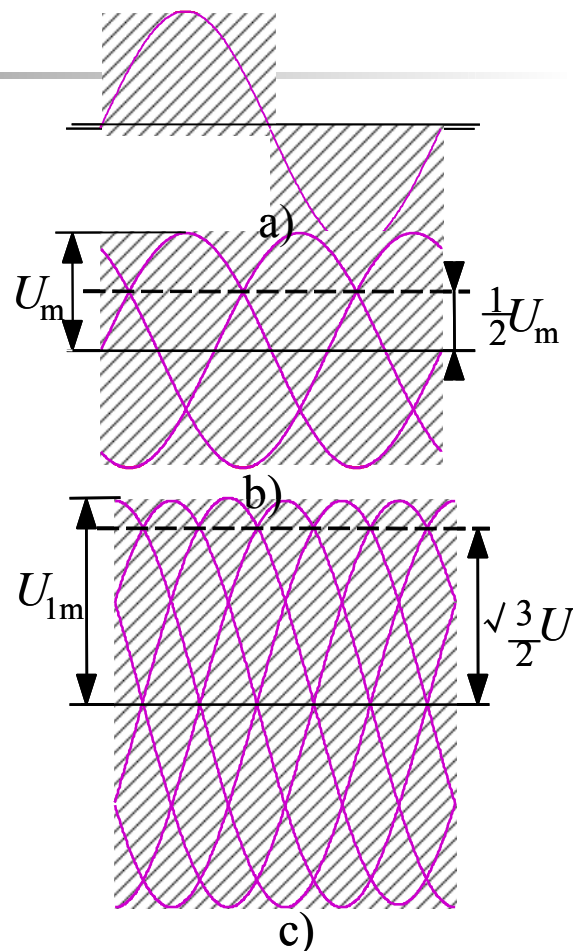


图 4-29 构造输出电压时可利用的输入电压部分
a) 单相输入 b) 三相输入构造输出相电压 c) 三相输出构造输出线电压

18.2 矩阵式变频器

- 可利用图 4-29c 中 6 个线电压包络线中所有的阴影部分。
- 当 u_{uv} 必须为正弦波时，最大幅值就可达到输入线电压幅值的 **0.866** 倍。
- 正弦波输出条件下矩阵式变频电路理论上最大的输出输入电压比。

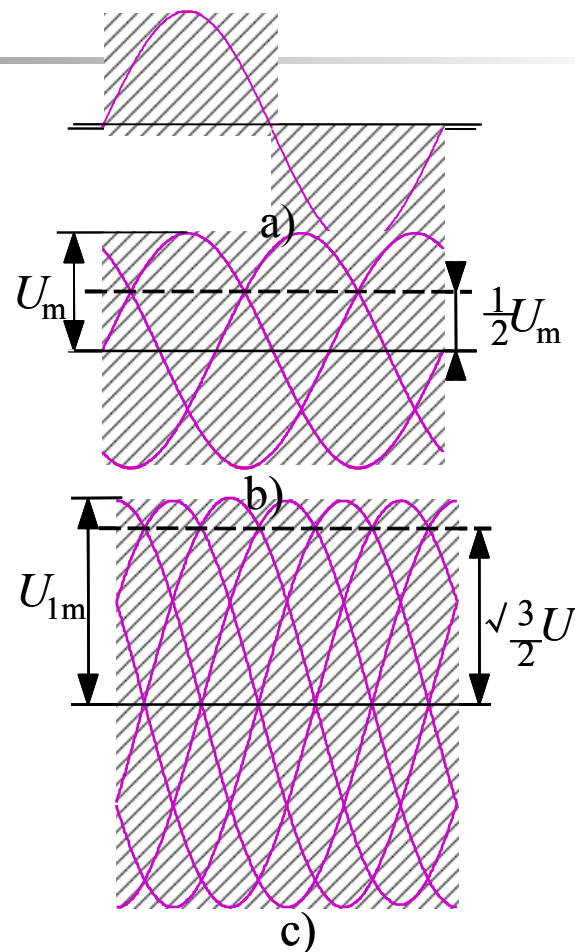


图 4-29 构造输出电压时可利用的输入电压部分
a) 单相输入 b) 三相输入构造输出相电压 c) 三相输出构造输出线电压

18.2 矩阵式变频器

- 以相电压输出方式为例分析矩阵式交交变频电路的控制
 - 利用对开关 S_{11} 、 S_{12} 和 S_{13} 的控制构造输出电压 u_u 。
 - 为防止输入电源短路，任何时刻只能有一个开关接通。
 - 负载一般是阻感负载，负载电流具有电流源性质，为使负载不开路，任一时刻必须有一个开关接通。

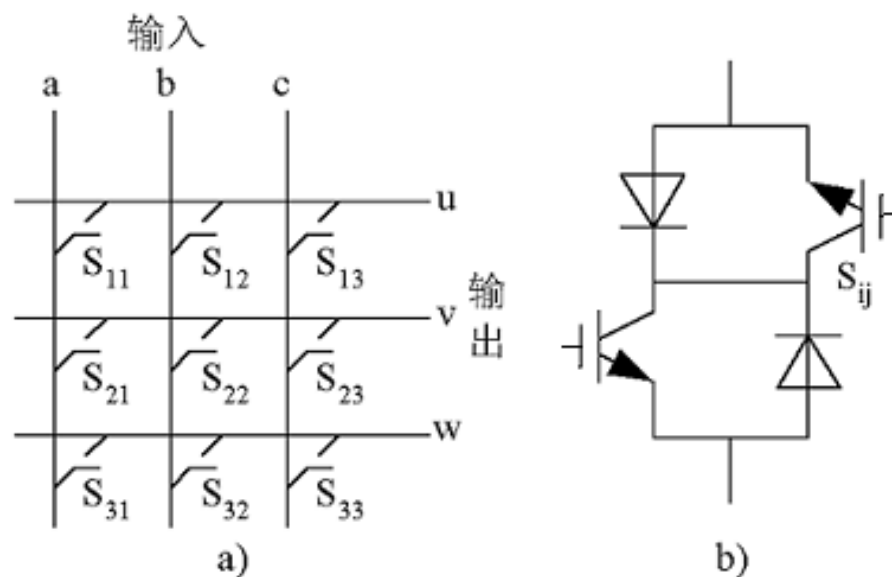


图 4-28 矩阵式变频器

18.2 矩阵式变频器

- u 相输出电压 u_u 和各相输入电压的关系为

$$\vec{u}_u = \sigma_{11} u_a + \sigma_{12} u_b + \sigma_{13} u_c \quad (4-25)$$

- 式中 s_{11} 、 s_{12} 和 s_{13} 一个开关周期内开关 S_{11} 、 s_{11} 、 s_{12} 、 s_{13} 的导通占空比

$$(4-26)$$

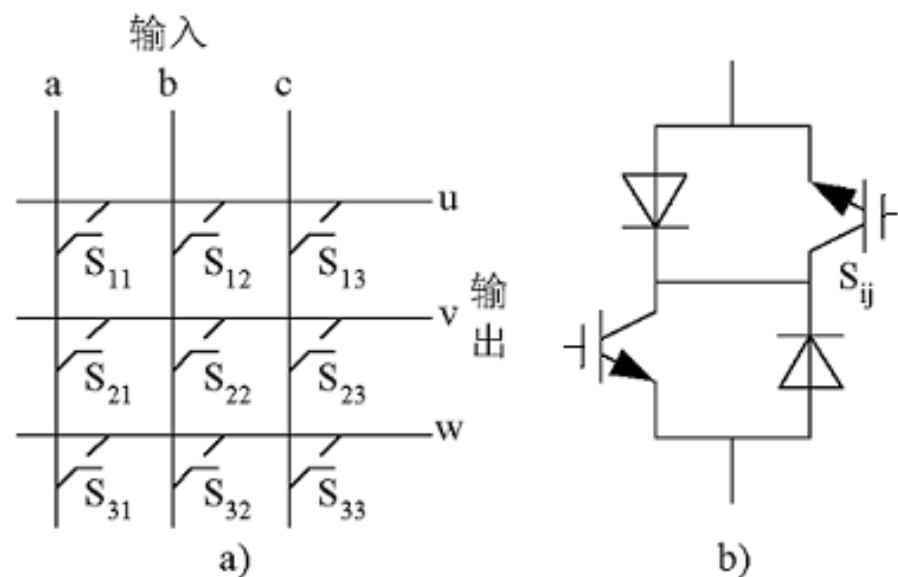


图 4-28 矩阵式变频器

18.2 矩阵式变频器

用同样的方法控图中第 2, 3 行的各开关, 得到类似于

$$u_u = \sigma_{11}u_a + \sigma_{12}u_b + \sigma_{13}u_c \quad (4-25)$$

的表达式。合写成矩阵的形式

$$\begin{bmatrix} u_u \\ u_v \\ u_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix}$$

可缩写为: $u_o = S u_i \quad (4-28)$

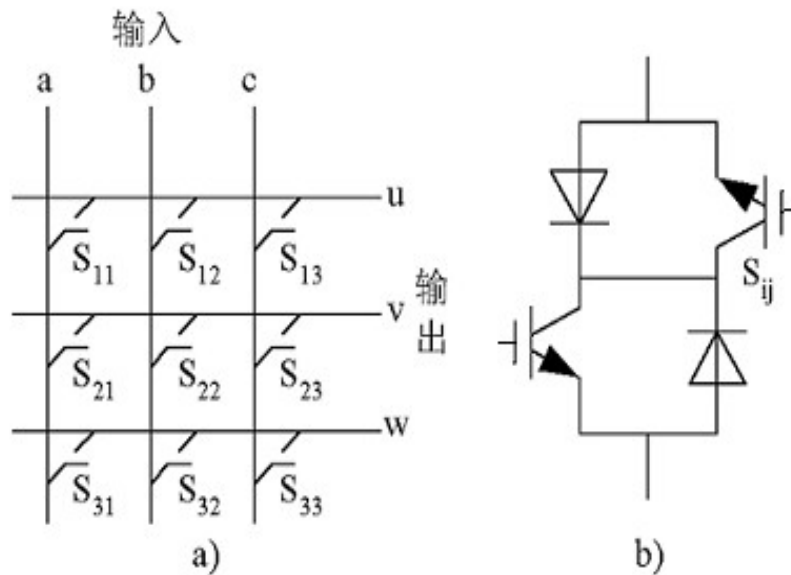


图 4-28 矩阵式变频器

18.2 矩阵式变频器

矩阵式变频电路确定后，输入电流和输出电流的关系也确定了。

$$\mathbf{i}_i = \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{21} & \sigma_{31} \\ \sigma_{12} & \sigma_{22} & \sigma_{32} \\ \sigma_{13} & \sigma_{23} & \sigma_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_u \\ i_v \\ i_w \end{bmatrix} \quad (4-29)$$

缩写形式 $\mathbf{i}_i = \begin{bmatrix} i_a & i_b & i_c \end{bmatrix}^T = \mathbf{S} \mathbf{i}_o$

式中 $\mathbf{i}_i = \begin{bmatrix} i_u & i_v & i_w \end{bmatrix}^T$

\mathbf{i}_o

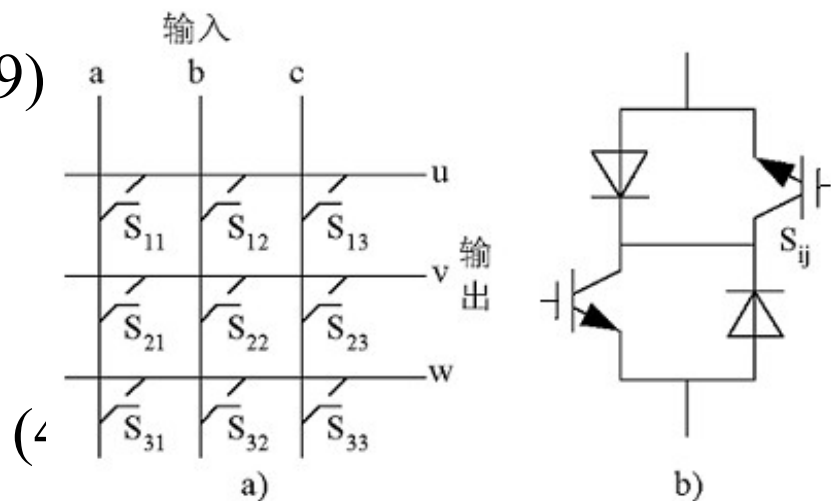


图 4-28 矩阵式变频器

18.2 矩阵式变频器

- 对实际系统来说，输入电压和所需要的输出电流是已知的。设为：

$$\begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{im} \cos \omega_i t \\ U_{im} \cos \left(\omega_i t - \frac{2\pi}{3} \right) \\ U_{im} \cos \left(\omega_i t - \frac{4\pi}{3} \right) \end{bmatrix} \quad (4-31)$$

式中：

U_{im} 、 I_{om} 为输入电压和输出电流的幅值；

ω_i 、 ω_o 为输入电压和输出电流的角频率；

j_o 为相应于输出频率的负载阻抗角。

$$\begin{bmatrix} i_u \\ i_v \\ i_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{om} \cos(\omega_o t - \varphi_o) \\ I_{om} \cos \left(\omega_o t - \frac{2\pi}{3} - \varphi_o \right) \\ I_{om} \cos \left(\omega_o t - \frac{4\pi}{3} - \varphi_o \right) \end{bmatrix}$$

(4-32)

18.2 矩阵式变频器

- 变频电路希望的输出电压和输入电流分别为：

$$\begin{bmatrix} u_u \\ u_v \\ u_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{om} \cos \omega_o t \\ U_{om} \cos \left(\omega_o t - \frac{2\pi}{3} \right) \\ U_{om} \cos \left(\omega_o t - \frac{4\pi}{3} \right) \end{bmatrix} \quad (4-33)$$

式中： U_{om} 、 I_{im} 为输出电压和输入电流的幅值；
 j_i 为输入电流滞后于电压的相位角。

$$\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{im} \cos(\omega_i t - \varphi_i) \\ I_{im} \cos \left(\omega_i t - \frac{2\pi}{3} - \varphi_i \right) \\ I_{im} \cos \left(\omega_i t - \frac{4\pi}{3} - \varphi_i \right) \end{bmatrix} \quad (4-34)$$

18.2 矩阵式变频器

当期望的输入功率因数为 1 时, $j_i = 0$ 。把式 (4-31)~ 式 (4-34) 代入式 (4-27) 和式 (4-29), 可得

$$\begin{bmatrix} U_{om} \cos \omega_o t \\ U_{om} \cos \left(\omega_o t - \frac{2\pi}{3} \right) \\ U_{om} \cos \left(\omega_o t - \frac{4\pi}{3} \right) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{im} \cos \omega_i t \\ U_{im} \cos \left(\omega_i t - \frac{2\pi}{3} \right) \\ U_{im} \cos \left(\omega_i t - \frac{4\pi}{3} \right) \end{bmatrix} \quad (4-35)$$

如能求得满足式 (4-35) 和式 (4-36) 的 s , 就可得到希望的输出电压和输入电流。

$$\begin{bmatrix} I_{im} \cos(\omega_i t) \\ I_{im} \cos \left(\omega_i t - \frac{2\pi}{3} \right) \\ I_{im} \cos \left(\omega_i t - \frac{4\pi}{3} \right) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{om} \cos(\omega_o t - \varphi_o) \\ I_{om} \cos \left(\omega_o t - \frac{2\pi}{3} - \varphi_o \right) \\ I_{om} \cos \left(\omega_o t - \frac{4\pi}{3} - \varphi_o \right) \end{bmatrix} \quad (4-36)$$

18.2 矩阵式变频器

- 要使矩阵式变频电路能够很好地工作，需解决的两个基本问题：

- ✦ 如何求取理想的调制矩阵 s 。
- ✦ 开关切换时如何实现既无交叠又无死区。

● 现状

尚未进入实用化，主要原因：

- ✦ 所用的开关器件为 18 个，电路结构较复杂，成本较高，控制方法还不算成熟。
- ✦ 输出输入最大电压比只有 0.866，用于交流电机调速时输出电压偏低。

18.2 矩阵式变频器

- 十分突出的优点：
 - ✦ 有十分理想的电气性能。
 - ✦ 和目前广泛应用的交直交变频电路相比，虽多用了6个开关器件，却省去了直流侧大电容，将使体积减小，且容易实现集成化和功率模块化。
- 在器件制造技术飞速进步和计算机技术日新月异的今天，矩阵式变频电路将有很好的发展前景。