

永磁式大步距步进电机环行分配器的逻辑设计

陈志斌 李 威

一、概 述

在我厂研制的太阳磁场望远镜中，小方孔扫描器的电驱动选用了科学院电工所研制的永磁式大步距（60°/30°）步进电机。该电机为三相异极性通电方式。它通过改变流过电机绕组的电流大小和方向来使电机一步一步的旋转。要求与它相配的环行分配器采用六相六位（3-3制）和六相十二位（3-2制）的工作方式。下面介绍一下，该环行分配器的逻辑设计方法及其电路。

二、设计方法

设计逻辑电路的简单而有效的方法是卡诺图化简法。其步骤是：在设计电路前，应根据环行分配器的所有状态，列出该电路的真值表。由真值表写出电路的逻辑表达式，再根据卡诺图合并最小项的规律，来简化逻辑表达式。从而，设计出使用最少元件的电路。

由于本电机在电路中要实现步距角为60°的正转、反转控制；也要实现步距角为30°的正转、反转控制，因此，要设计出四种相应的环行分配器的逻辑电路，再应用门电路来组合成一个完整的环行分配器电路。

为适应电机的三相异极性工作方式，环行分配器要有六种状态的输出。在用卡诺图化简时，就要有六个变量。由此，首先画出六变量的卡诺图的格式。如图一所示：

1. 60°步距角正转

工作状态为：ABC→BCD→CDE→DEF→EFA→FAB

其真值表由表一所示：

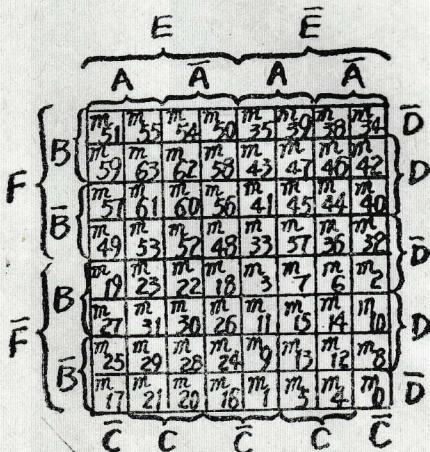


图 1

表 1

拍序	有用项	各相D脉冲的D输出端						未脉冲后状态变化	各相D脉冲的D输入端					
		F	E	D	C	B	A		f	e	d	c	b	a
1	m7	0	0	0	1	1	1		0	0	1	1	1	0
2	m14	0	0	1	1	1	0		0	1	1	1	0	0
3	m28	0	1	1	1	0	0		1	1	1	0	0	0
4	m56	1	1	1	0	0	0		1	1	0	0	0	1
5	m45	1	1	0	0	0	1		1	0	0	0	1	1
6	m35	1	0	0	0	1	1		0	0	0	1	1	1

由表一可排出六个逻辑方程式：

$$\begin{aligned} a &= m_{56} + m_{49} + m_{35} & d &= m_7 + m_{14} + m_{28} \\ b &= m_7 + m_{49} + m_{35} & e &= m_{14} + m_{28} + m_{56} \\ c &= m_7 + m_{14} + m_{35} & f &= m_{28} + m_{56} + m_{49} \end{aligned}$$

将这六个方程式代入图一，就可得到图二的①~⑥。图中打“×”表示禁止项，它既可表示“1”，也可表示“0”，化简时可以利用它。按照合并最小项的规律，画出了图二中的(1)~(6)的虚线框子，由虚线框经过的范围，有些项就可抵消掉，将不能抵消的项留下来，这样就使逻辑式简化了，这个方法比较直观。

例如：图二(1)中，根据虚线框绕一周，很直观地看出： $B, \bar{B}; D, \bar{D}; A, \bar{A}; E, \bar{E}$ ， C, \bar{C} 都相消了，只剩下F相没有相消，由此得 $a=F$ 用同样的方法看图二中的(2)~(6)，得出下列各式： $b=A \quad c=B \quad d=C \quad e=D \quad f=E$

2. 60°步距角反转：

工作状态为：

$$ABC \rightarrow FAB \rightarrow EFA \rightarrow EFD \rightarrow CDE \rightarrow BCD$$

其真值表由表二所示

由表二可排出六个逻辑方程式：

$$\begin{aligned} a &= m_7 + m_{35} + m_{14} & d &= m_{49} + m_{56} + m_{28} \\ b &= m_7 + m_{28} + m_{14} & e &= m_{35} + m_{49} + m_{56} \\ c &= m_{56} + m_{28} + m_{14} & f &= m_7 + m_{35} + m_{49} \end{aligned}$$

将这六个方程式代入表一，就可得到图三的(1)~(6)。按照合并最小项的规律，画出了图三中的(1)~(6)虚线框子，由虚线框经过的范围可抵消掉一些项，得下列各式：

表 2

$$a=B \quad b=C \quad c=D \quad d=E \quad e=F \quad f=A$$

拍 序	有 用 项	各相D触发器的D输出端						表 序 后 状 态 变 化	各相D触发器的D输入端					
		F	E	D	C	B	A		f	e	d	c	b	a
1	m_7	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1
2	m_{35}	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1
3	m_{49}	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
4	m_{56}	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0
5	m_{28}	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0
6	m_{14}	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1

3. 30°步距角正转：

工作状态为：

$$ABC \rightarrow BC \rightarrow BCD \rightarrow CD \rightarrow CDE \rightarrow DE \rightarrow DEF \rightarrow EF \rightarrow EFA \rightarrow FA \rightarrow FAB \rightarrow AB.$$

其真值表由表三所示

由表三可排出六个逻辑方程式：

$$\begin{aligned} a &= m_{48} + m_{49} + m_{33} + m_{35} + m_3 \\ b &= m_7 + m_6 + m_{33} + m_{35} + m_3 \end{aligned}$$

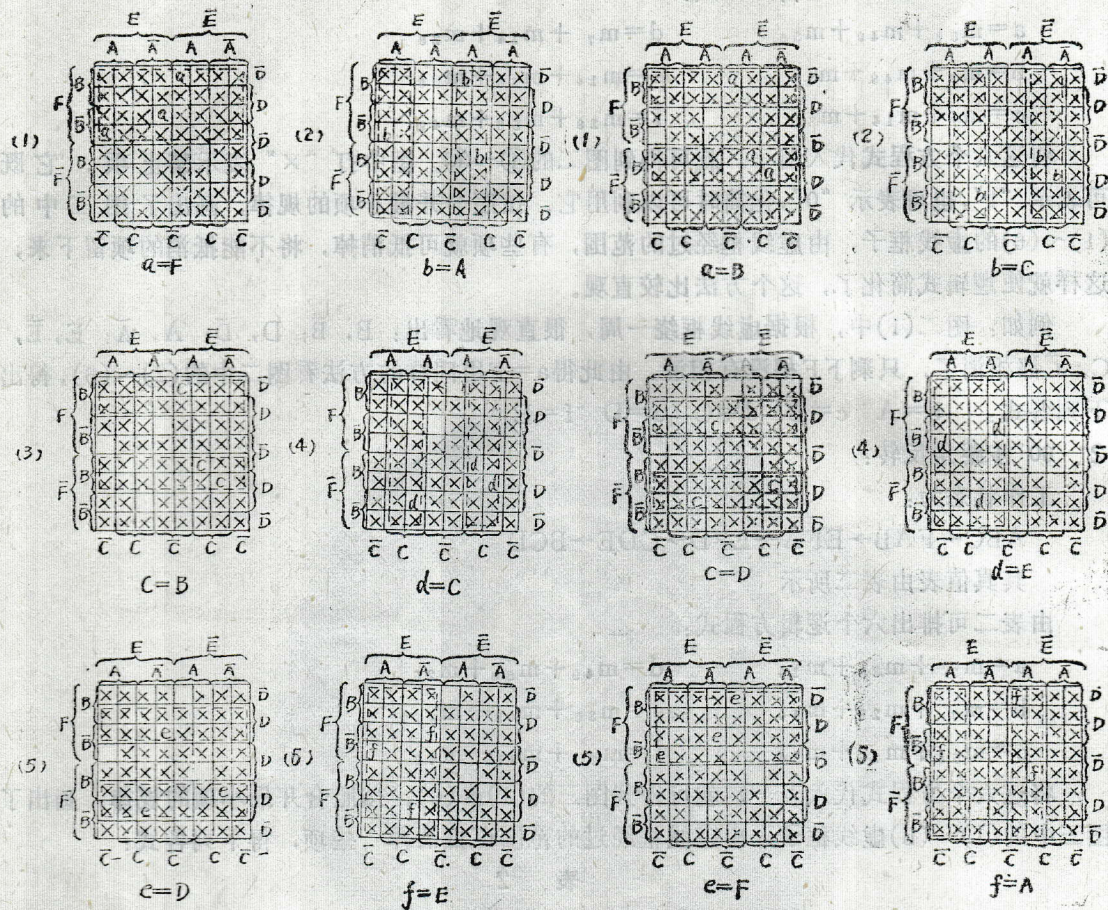


图 2

图 3

表 3

拍序	有用项	各种触发器的D输出端						末级冲后 状态变化	各种D触发器的D输入端					
		F	E	D	C	B	A		f	e	d	c	b	a
1	m_7	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	
2	m_6	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	
3	m_{14}	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	
4	m_{12}	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	
5	m_{20}	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	
6	m_{24}	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	
7	m_{56}	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	
8	m_{46}	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	
9	m_{49}	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	
10	m_{33}	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	
11	m_{35}	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	
12	m_3	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	

$$\begin{aligned}
 c &= m_7 + m_6 + m_{14} + m_{12} + m_3 \\
 d &= m_6 + m_{14} + m_{12} + m_{28} + m_{24} \\
 e &= m_{12} + m_{28} + m_{24} + m_{56} + m_{48} \\
 f &= m_{24} + m_{56} + m_{48} + m_{40} + m_{33}
 \end{aligned}$$

将这六个方程式代入图一，就可得到图四的(1)~(6)。按照合并最小项的规律，画出了图四中的(1)~(6)的虚线框子，由虚线框经过的范围可抵消掉一些项，得到如下最简各式：

$$\begin{aligned}
 a &= \bar{D} \cdot \bar{C} & b &= \bar{D} \cdot \bar{E} & c &= \bar{E} \cdot \bar{F} \\
 d &= \bar{F} \cdot \bar{A} & e &= \bar{A} \cdot \bar{B} & f &= \bar{B} \cdot \bar{C}
 \end{aligned}$$

4. 30°步距角反转：

工作状态为：

ABC → AB → FAB → FA → FAE → FE → FED → ED → EDC → CD → CDB → BC

其真值表由表四所示：

由表四可排出六个方程式：

$$\begin{aligned}
 a &= m_7 + m_3 + m_{35} + m_{33} + m_6 \\
 b &= m_7 + m_3 + m_{12} + m_{14} + m_6 \\
 c &= m_{24} + m_{28} + m_{12} + m_{14} + m_6 \\
 d &= m_{48} + m_{56} + m_{24} + m_{28} + m_{12} \\
 e &= m_{33} + m_{40} + m_{48} + m_{56} + m_{24}
 \end{aligned}$$

表 4

拍 序	有 用 项	各相D触发器的B输出端					未脉冲后 状态变化	各相D触发器的D输入端					
		F	E	D	C	B		A	f	e	d	c	b
1	m ₇	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1
2	m ₃	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1
3	m ₃₅	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1
4	m ₃₃	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1
5	m ₄₉	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
6	m ₄₆	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
7	m ₅₆	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0
8	m ₂₄	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0
9	m ₂₈	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0
10	m ₁₂	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1
11	m ₁₄	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1
12	m ₆	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1

$$f = m_3 + m_{35} + m_{33} + m_{40} + m_{48}$$

将这六个方程式代入图一，就可得到图五的(1)~(6)。按照合并最小项的规律，画出了图五中的(1)~(6)的虚线框子，由虚线框经过的范围可抵消掉一些项，得到如下最简各式：

$$\begin{aligned}
 a &= \bar{D} \cdot \bar{E} & b &= \bar{E} \cdot \bar{F} & c &= \bar{F} \cdot \bar{A} \\
 d &= \bar{A} \cdot \bar{B} & e &= \bar{B} \cdot \bar{C} & f &= \bar{C} \cdot \bar{D}
 \end{aligned}$$

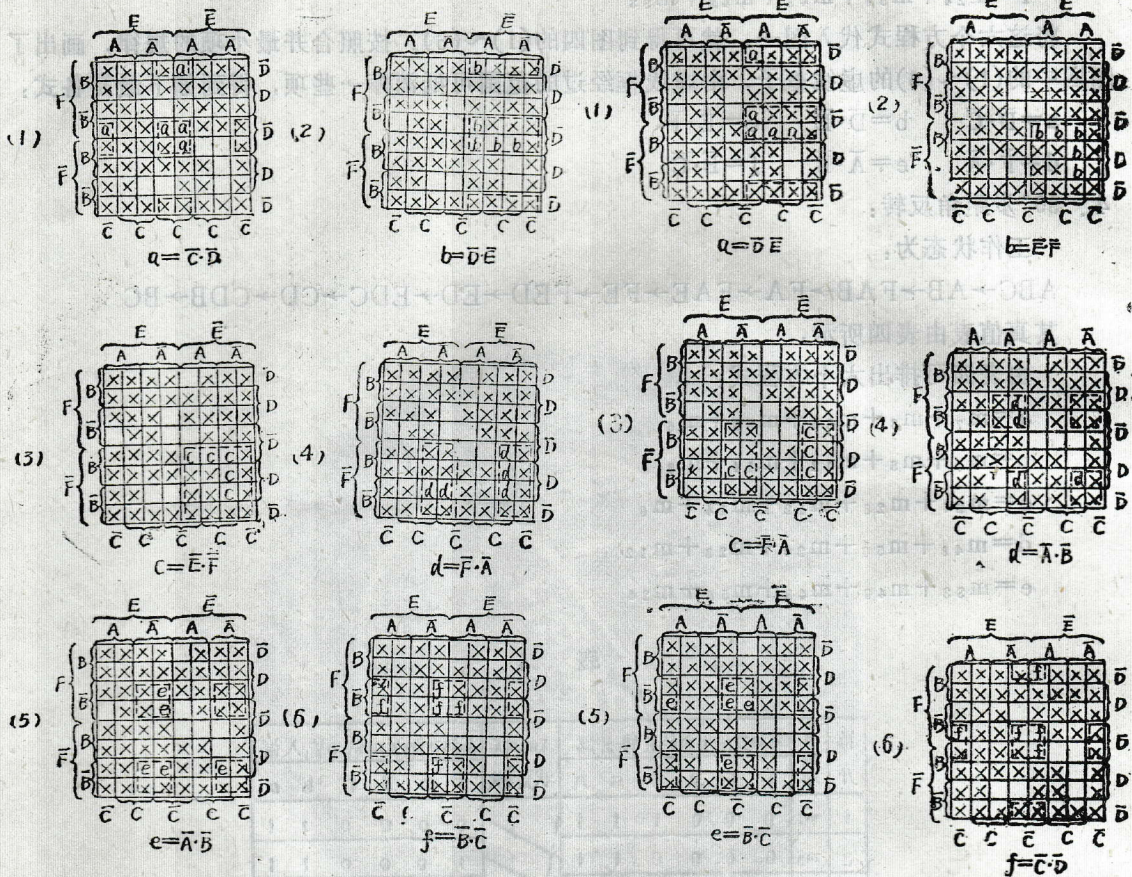


图 4

图 5

三、电 路

由上面四种工作状态所得到的各相最简方程，立表于五：

因为这四种工作状态不是同时存在的，而每次只有一种状态工作，因此可应用“与非门”元件，使每次只有一路工作，而其它三路用低电平封锁。用六只D触发器和六只与非门就能将电路组成。用卡诺图最小项的化简方法所得到的电路结构，与科学院电工所提供给我们的电路结构相符合。图六画出了该电路原理图。该电路已经得到实际应用。

表 5

各相D触发器的D输入端	a	b	c	d	e	f
60°步距角正转反馈连接	F	A	B	C	D	E
60°步距角反转反馈连接	B	C	D	E	F	A
30°步距角正转反馈连接	$\bar{D} \cdot \bar{C}$	$\bar{D} \cdot \bar{E}$	$\bar{E} \cdot \bar{F}$	$\bar{F} \cdot \bar{A}$	$\bar{A} \cdot \bar{B}$	$\bar{B} \cdot \bar{C}$
30°步距角反转反馈连接	$\bar{D} \cdot \bar{E}$	$\bar{E} \cdot \bar{F}$	$\bar{F} \cdot \bar{A}$	$\bar{A} \cdot \bar{B}$	$\bar{B} \cdot \bar{C}$	$\bar{C} \cdot \bar{D}$

参 考 文 献

- (1) 电子数字计算机原理 第一册
《北京大学电子仪器厂编》P123~132
- (2) 沈盘安“反应式步进电机环行分配器逻辑设计” 《电气传动》1979年2期P42.

THE LOGICAL DESIGN OF A LOOP DISTRIBUTOR FOR PERMANENT MAGNETIC STEPMOTOR WITH LARGE STEP

Chen Zhibin

(*Nanjing Astronomical Instrument Factory*)

Li Wei

(*Beijing Observatory*)

In the X-Y scanner of the photoelectric detectvie system, the scanning pi-nhole is driven by permanent magnetic stepmotors with $60^{\circ}/30^{\circ}$ step angle and working mode of three-phase and double pole. This kind of motor is rotated step by step through changing the intensity and the direction of the current fed to the motor coil, so the six-phase and six-beat (3-3 system) or six-phase and twelve-beat (3-2 system) mode is used for the loop distridutor. In this paper, the Karnaugh diagram is introduced for describing the logical design of the loop distributor, and the applied electronic scheme is given.