

[船舶电气]

用于逆变器驱动的多脉波整流方法分析^{*}

刘文山 何家伟 吕孝铭

(708 研究所 上海 200011)

[关键词]多脉波;整流;移相;外延三角形

[摘要]文章对舰船用于逆变器驱动的多脉波整流方法进行了论述,并对24脉波整流电路构成作了详细说明和计算。

[中图分类号]TM464 [文献标识码]A [文章编号]1001-9855(2006)05-0035-04

Multiple pulse communication method for converter driver

Liu Wenshan He Jiawei Lü Xiaoming

Keywords: multiple pulse; communication; phase-shifting; lengthened triangular**Abstract:** This paper presents the multiple pulse communication method for converter driver of naval ship and makes specific explanation and calculation on the composing of 24-pulse commutation circuit.**1 概 述**

感应电动机的变频调速,从调速范围、平滑性、调速前后电动机的性能都较好。近年来由于电力电子技术的发展,大大地促进了变频调速的应用。当前电力推进已发展成为舰船推进最好形式之一,不论民船,还是军舰采用电力推进的越来越多。

静止变频器有多种类型。中小功率感应电动机常用变频器是交-直-交变频器,它把工频交流电网电压经过整流器变成直流电压,然后由逆变器把直流电压转换成电压、频率可调的交流输出电压。为了解决变频后的交流电网侧的谐波含量,必须采用一个合适的整流器——多脉波(多相)整流器,这是抑制谐波含量的有效措施之一。由于舰船使用要求不同,可采用6脉波、12脉波、24脉波等整流器。

2 整流器方案的选型

整流器方案选型原则是首先进行方案选型设计分析、比较,以达到设备经济、装置运行安全可靠和效率高的选型目的。

舰船电源都为三相交流电源,均可构成三相桥式6脉波整流电路,这个是最简单的多相电路。由两个6脉波整流电路可构成一个12脉波整流电路,同样可由两个12脉波整流电路构成一个24脉波整流电路。

2.1 6脉波整流电路

6脉波整流电路就是三相桥式整流电路。在三相桥式整流电路中,设有6只整流二极管。整流后的直流有6个波头,也称作6脉波。6脉波整流是多脉波整流的基础,由6脉波整流电路可构成12、24脉冲等多脉波整流电路。

* [收稿日期]2006-6-15

[作者简介]刘文山(1937.12-),男,本溪人,研究员,从事舰船电气研究与设计。

何家伟(1983.1-),男,秦皇岛人,助理工程师,从事电气工程及其自动化研究与设计。

吕孝铭(1983.2-),男,沈阳人,助理工程师,从事电气工程及其自动化研究与设计。

2.2 12脉波整流电路

为了减少直流电路中谐波含量,由6脉波整流电路提升为12脉波整流电路,整流后的波头数由6个波头增加到12个波头。脉波数越多,其整流元件的导通角的间隔越小,直流成分越高,谐波含量越少。

为了得到12脉波电源,需要两个6脉波电源,且两组间的相位差为 30° 。众所周知,三相桥式整流电路就是6脉波电源,首先需要两组三相桥式整流电路,其次是这两组等效的三相桥式整流电路的电源的相位差应是 30° 。

通常采用三绕组变压器,原边为一个三相绕组,副边为二个三相绕组。例如,联结组号为Dy11d0。y11联结组的三相变压器构成星形连接的三相桥式6脉波整流电路,d0联结组的三相变压器构成三角形连接的三相桥式6脉波整流电路,而y11组号与d0组号的线电压相位相差 30° 。将y11组号与d0组号的两个三相桥式整流电路并联,即可得到输出为12脉波整流电路。为了使两组整流桥的输出电压相等,要求副边二个三相绕组的输出线电压相等,即三角形联结绕组的线电压应等于星形联结的绕组相电压的 $\sqrt{3}$ 倍。

2.3 24脉波整流电路

24脉波与12脉波整流很相似,都是采用三绕组变压器,副边均为两个三相绕组;区别是24脉波整流变压器两原边应组成移相 7.5° 的联结方式。每相一个周期的电角度为 360° ,对于24个脉波数,必须每隔 15° 就有一个整流二极管导通,这样来组成24脉波整流电路。

如上所述,由于两变压器原边移相 $\pm 7.5^\circ$,即线电压相位差 15° ,将两个12脉波整流电路并联后,即可得24脉波整流电路。

3 24脉波整流电路的构建

通常都采用两只三绕组整流变压器,每一只整流变压器副边均为两个三相绕组,可构成两个12脉波整流电路;要构成24脉波整流,通常将两变压器原边组成移相 7.5° 的联结方式,即可组成相角差为 15° 的24脉波整流电路。

当三绕组整流变压器的原边接成D三角形时,则接成外延三角形联结;当三绕组整流变压器的原边接成Y星形时,则接成曲折形联结。

3.1 外延三角形联结时移相整流变压器的构成

以 $\pm 7.5^\circ$ 外延三角形为例,说明其构成原理。外

延三角形联结相量图,如图1(a)、(b)。由图可知 $\angle AOZ$ 为 $+7.5^\circ$ 和 $\angle ZOA$ 为 -7.5° 外延三角形联结的相量图叠加,便得到 15° 的相位差,即可得到 $(360^\circ/15^\circ)$ 24脉波整流电路。24脉波整流电路框图,如图2所示。

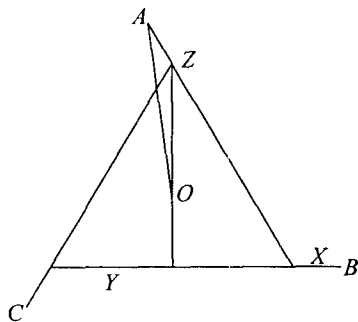


图1(a) $+7.5^\circ$ 外延三角形相量图

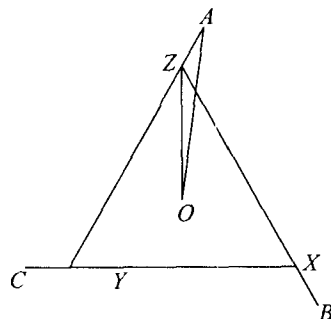


图1(b) -7.5° 外延三角形相量图

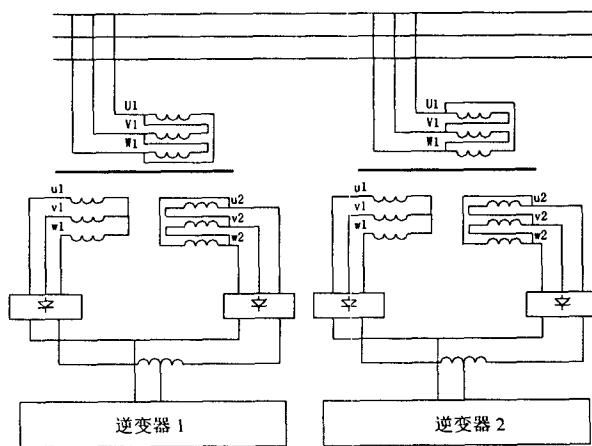


图2 $\pm 7.5^\circ$ 外延三角形整流变压器构成24脉波整流电路框图

3.2 外延三角形联结时移相整流变压器匝数和电流的确定

由图3中可得:

$$AZ = BX = CY = W_{\text{总}}$$

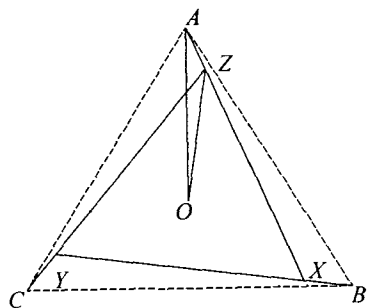


图3 +7.5°外延三角形移相图

$$\begin{aligned} ZX = XY = YZ &= W_{\text{基}} \\ AB = BC = CA &= \frac{U}{e_1} \\ CZ = CY + YZ &= AZ + ZX \\ &= BX + XY = W_{\text{延}} + W_{\text{基}} \end{aligned}$$

在 $\triangle ACZ$ 中,可以证明 $\angle ACZ = 7.5^\circ$,由正弦定律得:

$$\frac{AZ}{AC} = \frac{\sin 7.5^\circ}{\sin 120^\circ} = \frac{W_{\text{延}}}{U/e_1}$$

$$W_{\text{延}} = \frac{\sin 7.5^\circ}{\sin 120^\circ} \times \frac{U}{e_1} = 0.1507 \frac{U}{e_1} \quad (1)$$

$$\text{又} \because \frac{CZ}{AC} = \frac{\sin 52.5^\circ}{\sin 120^\circ} = \frac{W_{\text{延}} + W_{\text{基}}}{U/e_1}$$

$$\begin{aligned} \therefore W_{\text{基}} &= \frac{\sin 52.5^\circ}{\sin 120^\circ} \times \frac{U}{e_1} - W_{\text{延}} \\ &= \frac{\sin 52.5^\circ - \sin 7.5^\circ}{\sin 120^\circ} \times \frac{U}{e_1} \end{aligned}$$

$$= 0.7654 \times \frac{U}{e_1} \quad (2)$$

式中 $W_{\text{基}}$ ——绕组基本段匝数

$$W_{\text{基}} = ZX = XY = YZ$$

$W_{\text{延}}$ ——绕组外延段段匝数

$$W_{\text{延}} = AZ = BX = CY$$

U ——外加电源电压, V

e_1 ——变压器每匝电压, V

电流的确定,如图4。

根据基尔霍夫电流定律:

$$I_{AZ} = I_{ZX} + (-I_{YZ})$$

$$\therefore \frac{1}{2} I_{AZ} = I_{ZX} \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{ZX} \quad (3)$$

$$\therefore I_{AZ} = \sqrt{3} I_{ZX}$$

$$\therefore I_{\text{延}} = \sqrt{3} I_{\text{基}}$$

由磁势方程(激磁电流略)得:

$$I_{\text{延}} W_{\text{延}} + I_{\text{基}} W_{\text{基}} = I_2 W_2 \quad (4)$$

$$\text{则: } \sqrt{3} I_{\text{基}} W_{\text{延}} + I_{\text{基}} W_{\text{基}} = I_2 W_2$$

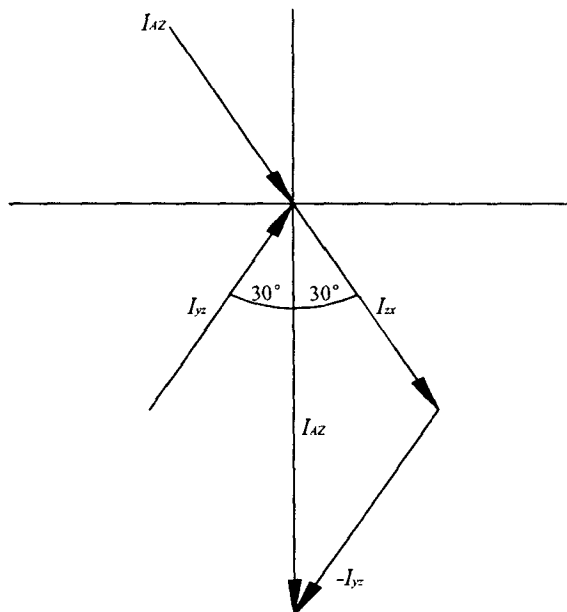


图4

$$\therefore I_{\text{基}} = \frac{I_2 W_2}{\sqrt{3} W_{\text{延}} + W_{\text{基}}} \quad (5)$$

$$I_{\text{延}} = \frac{\sqrt{3} I_2 W_2}{W_{\text{延}} + W_{\text{基}}} \quad (6)$$

式中 $I_{\text{延}}$ ——绕组外延段电流, A

$I_{\text{基}}$ ——绕组基本段电流, A

I_2 ——变压器副边电流, A

W_2 ——变压器副边匝数。

3.3 Y星形接法时曲折联结的移相整流变压器参数确定

以移相+7.5°为例,其相量图如图5。

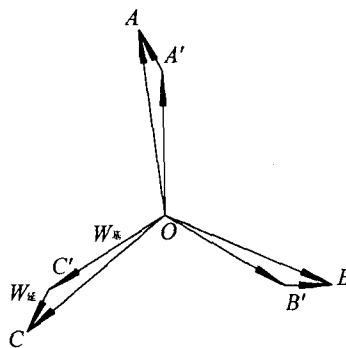


图5 +7.5°曲折形移相向量图

绕组匝数的确定

$$\frac{AA'}{AO} = \frac{\sin 7.5^\circ}{\sin 20^\circ} = \frac{W'_{\text{延}}}{\frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{U}{e_1}}$$

由正弦定律得:

$$\begin{aligned} W_{\text{延}} &= AA' = BB' = CC' \\ &= \frac{\sin 7.5^\circ}{\sin 120^\circ} \times \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{U}{e_1} \\ &= 0.0087 \times \frac{U}{e_1} \end{aligned} \quad (7)$$

同理可得:

$$\begin{aligned} W'_{\text{基}} &= A'O = B'O = C'O \\ &= \frac{\sin 52.5^\circ}{\sin 120^\circ} \times \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{U}{e_1} \\ &= 0.5289 \times \frac{U}{e_1} \end{aligned} \quad (8)$$

电流的确定

由图5可得

$$I_{A'A} \cos 52.5^\circ + I_{OA'} \cos 7.5^\circ = I_{OA} = I_1 \quad (9)$$

由磁势平衡方程(忽略激磁电流)可得:

$$I_{A'A} W'_{\text{延}} + I_{OA'} W'_{\text{基}} = I_2 W_2 \quad (10)$$

$$\therefore I_{OA'} = \frac{I_2 W_2 - I_{A'A} W'_{\text{延}}}{W'_{\text{基}}} \quad (11)$$

将式(11)代入式(9)得:

$$I_{A'A} \cos 52.5^\circ + \frac{I_2 W_2 - I_{A'A} W'_{\text{延}}}{W'_{\text{基}}} \cos 7.5^\circ = I_1$$

$$\text{则 } I_{A'A} \cos 52.5^\circ W'_{\text{基}} + (I_2 W_2 - I_{A'A} W'_{\text{延}}) \cos 7.5^\circ = I_1 W'_{\text{基}}$$

$$\therefore I_{A'A} (\cos 52.5^\circ W'_{\text{基}} - \cos 7.5^\circ W'_{\text{延}}) = I_1 W'_{\text{基}} - I_2 W_2 \cos 7.5^\circ$$

$$\begin{aligned} \therefore I'_{\text{延}} &= I_{A'A} = I_{B'B} = I_{C'C} \\ &= \frac{I_1 W'_{\text{基}} - I_2 W_2 \cos 7.5^\circ}{\cos 52.5^\circ W'_{\text{基}} - \cos 7.5^\circ W'_{\text{延}}} \\ &= \frac{I_1 W'_{\text{基}} - 0.991 \times I_2 W_2}{0.609 \times W'_{\text{基}} - 0.991 W'_{\text{延}}} \end{aligned} \quad (12)$$

将式(12)代入式(9)得:

$$\begin{aligned} \therefore I'_{\text{基}} &= I_{OA'} = I_{OB'} = I_{OC'} \\ &= \frac{I_1 - \left(\frac{I_1 W'_{\text{基}} - I_2 W_2 \cos 7.5^\circ}{\cos 52.5^\circ W'_{\text{基}} - \cos 7.5^\circ W'_{\text{延}}} \right) \cos 52.5^\circ}{\cos 7.5^\circ} \\ &= 1.008 \times I_1 - 0.614 \times I'_{\text{延}} \end{aligned} \quad (13)$$

式中 I_1 ——星形曲折联结绕组相电流, A

$I'_{\text{延}}$ ——星形曲折联结绕组外延段电流, A

$I'_{\text{基}}$ ——星形曲折联结绕组基本段电流, A

$W'_{\text{延}}$ ——星形曲折联结绕组外延段匝数

$W'_{\text{基}}$ ——星形曲折联结绕组基本段匝数

I_2 ——副边绕组相电流, A

W_2 ——副边绕组匝数

U ——外加电源电压, V

e_1 ——变压器每匝电压, V

4 保 护

4.1 整流变压器保护

(1) 变压器绕组内部短路保护。即在绕组发生短路故障时,以最短的动作时限,切断故障点的短路电流保护。当执行短路保护动作时,断路器瞬时跳闸,从系统中切出短路点。

(2) 短路短延时保护。过电流保护的设置其电流应大于最大负荷电流,当电流大于其整定电流时,断路器经短延时动作开断电路。

(3) 过电流保护。按变压器额定电流进行设定,当变压器的负荷电流超过额定电流而达到设定值时,经延时发出报警信号。

(4) 温度保护。其温度保护装置根据绕组绝缘等级设定输出温度报警和开断其供电断路器,运行时可实时显示绕组温度和铁芯的温度。

4.2 整流器保护

整流器保护有整流二极管故障保护、整流二极管过压保护、温度保护等。

整流二极管故障保护,当整流二极管失去单向性能时,变压器产生二相短路,产生短路电流。此时串接在整流二极管电路中快熔断器熔断来进行保护,并输出触点信号,将接通报警电路或断开断路器。还设有过电压RC保护电路,防止整流二极管换相时过压而损坏;在交流侧加RC过压抑制回路和氧化锌压敏电阻,构成交流侧过压保护;在直流侧加RC过压抑制回路和放电电阻,防止直流快速开关或断路器开断和闭合时产生操作过电压,并在整流器输出端并接一个压敏电阻,抑制残余过电压,构成直流侧过电压保护。

整流器温度保护,为了防止整流器温度过高,在整流器散热器上或在直流母排上设置温度传感器,用于监视整流二极管散热器或母排的温度情况,可分级设定报警和分断断路器的温度值,并发出报警和断路器分断信号。整流器一般配有自动化数据采集装置,可进行数据显示和报警。∞

[参考文献]

- [1] Document, Information of SIEMENS
- [2] 黄俊、王兆安. 电力电子变流技术[M]. 机械出版社, 2003. 1