

[船舶电力推进]

电力推进系统技术分析与评价方法

方 萌 史 涛 吴斐文

[关键词] 电力推进系统;变频器;技术分析;评价方法

[摘 要] 本文对电力推进系统采用的各种变频器,特别是电压型变频器作了详细性能比较,列出了选用变频器的主要原则。提出了电力推进系统的技术经济性能评价方法,包括评价内容及评价模式。有助于船东和设计部门对投标方案进行分析比较和选择。

[中图分类号] U664.4 [文献标识码] A [文章编号] 1001-9855(2002)03-0052-004

The technical analysis and appreciative method of the electrical propulsion system

Fang Meng Shi Tao Wu Feiwen

Keywords: electrical propulsion system; frequency converter; technical analysis; Appraisal method

Abstract: This paper compares in detail the characteristics of various frequency converters, particularly voltage source frequency converter applied in electrical propulsion system, sets out the main principles for frequency converter selection, puts forward an appraisal method for technical and economic performance index of the electrical propulsion system including appraisal contents and appraisal module. These will help ship owners and designers for comparing and selecting tendering specifications.

1 概 述

电力推进系统是以电动机为推进动力的一整套装置的总成。常规包括发电机组、配电装置、变压器、调速装置、电动机、控制及监测装置,广义上还包括原动机及推进器。

随着电力电子及计算机技术的发展,在电力推进领域中目前已普遍采用交流变频调速系统,交流变频调速系统的核心是采用全数字化技术的交流变频器。在中小功率等级范围中,普遍采用电压源型的交-直-交变频器。这种变频器的品牌已有几十种,多数在 1 000 kW 功率以下,约有十余种在 1 000~4 000 kW 之间,其中有低压 400~690 V 以及中压 2 300~6 600 V 两种电压等级。

国外以德国西门子(SIEMENS)、芬兰阿布勒(ABB),法国阿尔斯通(ALSTOM)等公司为代表,采用其本公司的变频器及电动机成套供应了几百艘船舶的电力推进系统。国内如上海中海机电设备有限公司采用了西门子公司标准品牌变频器,自行开发系统设计制造,已有 2×30 kW 应用于小船。另外,海军也已开展了综合全电力推进系统的课题预研工作。以上三种模式是当前我国开发电力推进系统的主流。

本文拟对中小功率等级的电力推进系统作出较全面的技术形态分析,在此基础上能对国内外公司提供的投标方案进行技术经济性能的比较与评价,得出较适合具体船舶要求的结论,以此作为确定供应商的依据。

* [收稿日期] 2002-5-8

[作者简介] 同上。

2 交流变频器类型

变频器

在选用和确定交流变频器之前应对不同类型的交流变频器的电路特征、性能区别及应用范围等有

了解

表 1 变频器类型及其主要性能比较

项 目	交-直-交变频器		交-交变频器
型 式	电压型(PWM 控制)	电流型(同步型)	循环型
电 动 机	异 步	异步(或同步)	同步(或异步)
电力电子器件	二极管整流 IGBT 逆变	晶闸管整流逆变	晶闸管两组反并联
换流方式	强 迫	负 载	电源电压
直流环节	电 容 器	电 抗 器	
调频范围	0~额定(可弱磁超额定)	0~额定(可弱磁超额定)	0~1/3 额定
动态响应	<50 ms	稍 慢	<100 ms
转矩脉动	平 滑	波 动	平 滑
零速过渡	平 滑	波 动	平 滑
低速电流	小(近似空载)	取决于转矩	取决于转矩
功率因数	>0.95(恒定)	0~0.9(正比于转速)	0~0.76(正比于转速)
满载效率	高	高	高
谐 波	低速≈0 高速取决于转矩	大、取决于转矩	较大,取决于转矩
电动机匹配要求	无	有	部 分
适用范围	通用大中小功率	专用特大功率	专用特大功率

有

表 2 电压型变频器分类及其主要性能比较

整流环节	晶闸管	二极管	IGBT**
逆变环节	IGBT/IGCT	IGBT/IGCT	IGBT/IGCT
控制方式	矢量控制/直接转矩控制		矢量控制/直接转矩控制
谐 波	有		基本无
脉冲数	6 或 12		6 或 12
能量反馈	不可*		可
制动电阻	需		不需
电压等级	低压	低压或中压	低压或中压
冷却方式	空冷或水冷		空冷或水冷

注：* 在 6 脉冲整流二组反并联时可能量反馈。

** 西门子公司称为 AFE。

出合

3 变频器选用的主要原则

点

谐波

使用变频器会产生谐波电流,对电网造成污染,其主要影响是对电网中的其它设备如发电机、电动

一个基本的了解,不同类型变频器的比较见表 1。

中小功率适用的电压型变频器的分类及性能比较见表 2。

机、电缆及电器设备产生附加发热、脉动转矩、振动等,严重的还会使继电保护的整定动作值产生偏差。船舶建造规范规定,电网电压畸变率 THD 不超过 5%。

典型的谐波电流分布情况可见图 1,谐波电流值与电网的短路容量、谐波次数、电压等级及畸变率有关,其中短路容量对 380 V 电网应为 10 MVA。

为了抑制谐波,从变频器角度可采用增加变频器的脉动波数的方法,在技术上通常采用改变变压器接线方式组成多相整流电路或者采用一定相位差的多组三相整流桥串联或并联来增加脉动波数。标准产品变频器采用后者方式较多,分为 6 脉冲、12 脉冲、24 脉冲及二电平、三电平等多脉冲多电平电路型式,以满足不同用户的需求,其中以 12 脉冲三电平电路最佳。此外,还有最先进的采用 IGBT 器件的整流电路产品,电网侧电流近似为正弦波,基本无谐波,并可调节功率因数。从电网角度可采用增设高次谐波滤波器的方法,分为无源滤波及有源滤波两种型式。无源滤波广泛采用电容和电感串联谐振的原理,使电路对某一频率的响应电抗为 0,该频率谐

波电流消耗在纯电阻上被吸收,达到滤去该频率谐波的目的。通常取主要几个谐波支路,对6脉冲电路,即为5、7次谐波。也可用改变发电机的“d参数”的方法,一般较少采用。

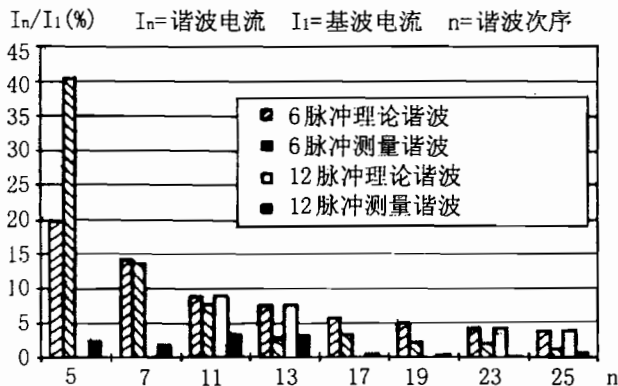


图1 典型的谐波电流分布

3.2 电压等级

由表2可知,电压型变频器多数产品具有低压和中压两种电压可选,低压产品功率极限在2300~4300 kW,而中压产品功率范围在315~6000 kW。可见,在315~4300 kW之间相当宽的范围内可以选用低压也可选用中压。

目前我国拟采用电力推进的船舶,其功率等级一般在1000~3000 kW,个别可能达到4000 kW左右,因此也存在电压等级的选择问题。

船舶电网电压等级的选择是一个全船性的重要参数,受发电机功率及数量、用电负荷的性质、大功率负荷的比率及数量而影响,需通过开关断路容量的计算及全船电缆用量的比较后再作出合理的选择。而电力推进系统电压等级的选择就比较单纯,因为这是一个独立的系统,变频器输出就是推进电动机一个负载,与船舶其它负载是隔离的,而变频器的输入,除了6脉冲的允许从电网直接受电外,12脉冲必需通过一个三绕组变压器供电,因此其初级绕组和次级绕组的电压等级完全可允许不是相同的。所以,在决定采用12脉冲变频器时,完全允许电力推进系统具有和船舶电网不同的电压等级。

船舶电网标准电压是400 V,据分析目前功率极限约 4×1500 kW,若电力推进系统功率加上船舶电网其它用电负荷的总和小于这个极限功率,并且电力推进系统是采用12脉冲变频器,则电网电压完全可采用400 V电压等级,这样船舶电网其它用电负荷可以直接从主配电板供电。如果采用其它电

压等级,则其它用电负荷需通过2台降压变压器(1台备用)供电,配电板也分成两组电压等级,比较大和复杂。

目前,电源为400 V的变频器规格,西门子公司单机至710 kW,并联至1300 kW;ABB公司单机至1861 kW,并联至3190 kW(空冷)。而电源为690 V的,西门子公司单机至1500 kW,并联至2300 kW;ABB公司单机至3152 kW,并联至4798 kW(空冷或水冷)。因此,可以根据电力推进电动机的功率值来选择合适的变频器电源电压,上述变频器规格中均包括6脉冲、12脉冲和IGBT整流各种型式,但IGBT整流型式功率稍小一些。

目前,中压变频器规格,西门子公司至6000 kW(空冷或水冷),电压为2300 V、3300 V、4160 V及6600 V;ABB公司至1800 kW(空冷)和5000 kW(水冷),电压为2300 V、3300 V及4160 V。均为12脉冲三电平电路,西门子公司还有AFE产品。中压变频器尺寸比低压变频器在长度上要小一些而在深度上要大一些。

3.3 能量反馈

船舶电力推进系统有能量反馈。当从高速前进突然改为高速后退操纵时,船舶由于巨大的惯性带动螺旋桨保持正向转动,所以对于已有反向转动信号的电动机来说,承受的还是正向的动能,需要通过电动机释放出去,电动机不可能立即反馈,一般需要二十几秒钟后电动机转速降至零,然后才开始反转加速,而一般在船舶静止状态时直接起动只需几秒钟就能加速到额定转速。在这二十几秒钟内,电动机就是一种发电能量反馈(制动)状态。能量反馈虽不会经常发生,但系统设计必须考虑。

变频器可有两种方法来接受能量反馈。一种是在中间直流环节上设置制动单元(晶闸管斩波器),利用直流电压升高的信号来导通斩波器,将电流引向一个制动电阻消耗掉。另一种是将整流环节设置成两组反并联连接,直流电通向另一组整流桥逆变成交流电反馈到电网中去。

选择何种能量反馈方法,可从制动电阻发热功率分析及反馈电网能量能否吸收两种结果的比较中得出。制动电阻功率一般可估算为额定功率乘以螺旋桨效率的平方,再根据船舶运行操纵的特点,即能量反馈的频繁程度,按照发热等效原理折算成一个长期运行功率来选择电阻。反馈电网功率则需与电网其它用电负荷值进行比较,必须保证不会造

成发电机逆功率保护动作。

3.4 变频器结构

对船用变频器结构的考虑主要是冷却方式,有空气冷却和水冷却两种。空气冷却的变频器均自带风机,水冷却的变频器均自带水泵及热交换器。

变频器虽效率很高,一般为 97~98%,但由于功率大,其损耗绝对值也不小。1 000 kW 等级就有 20~30 kW 损耗功率需排放,2 000 kW 等级则有 40~60 kW。

采用风冷变频器,则变频器舱需设置较大功率的送风机及排风机,组成较好的对流风路,将热量排出舱外,不使舱室的环境温度升高。采用水冷变频器,则需设置中央淡水冷却系统,再经海水冷却系统排出船外。

风冷变频器噪声较高,约有 70~74 dBA;而水冷变频器噪声较低,约 65~70 dBA。水冷变频器的尺寸比风冷变频器在长度上要小一些而在深度上要大一些。

可以按照船舶类型、尺度及运行环境要求的需要选用不同冷却方式的变频器。

3.5 品牌

目前无论陆用或船用,在中小功率范围,包括部分大功率的电压型变频器中,以规模及市场占有率来看,应以西门子和 ABB 两家为主,而阿尔斯通还有阿特拉斯似乎更注重电流型及循环型产品。

另外,从控制方式来看,西门子与 ABB 有重要区别。西门子采用 IGBT 器件矢量控制方式,ABB 采用 IGCT 器件直接转矩控制方式(DTC)。从控制原理上来说,两者都是利用数字技术,通过计算机将电动机电流分解成转矩分量和磁通分量分别进行控制,以达到类似于直流电机的动态性能。后者不需要

矢量旋转变换,具有良好的转矩响应特性,系统结构简单,静态速度误差 $\pm 0.1 \sim \pm 0.5\%$,转矩响应时间 2 ms。预计 DTC 技术在新的世纪会超过矢量控制技术。

4 电力推进系统的技术经济性能评价方法

4.1 评价的主要内容

① 制订 2~3 个综合方案

综合方案中包含两部分内容:

a. 柴油发电机组配置及负荷率分析

柴油发电机组的单机功率及数量可根据不同机型选择几种,列出在各种运行工况时的组合情况及其负荷率估算,以得出可接受的 2~3 种配置方案。

b. 环绕变频器选择确定系统类型及参数

包括上述谐波、电压、能量反馈、结构在内的分析,必要时还需结合可靠性分析增加冗余度的研究,以得出几种配置方案,分别确定每个方案的配电板、变压器、变频器、电动机、滤波器等设备的规格参数。

将 a 和 b 两部分方案进行综合组合,可得出 2~3 个或更多的综合方案。

② 对综合方案进行重量、尺寸和价格的经济性比较

③ 进行各种方案的技术经济性能评价

4.2 评价的几种模式

① 系统设计者在搜集资料的基础上自行制订方案、询价和评价。

② 系统设计者在供应商报价的基础上进行评价,必要时对供应商报价方案提出修改建议。✕



[李明勇供稿]