サイリスタ軸発電装置による 非常電気推進*

松島和夫**・岡田安弘***
北川重夫***・徳澄 忠****

Emergency Take Home by Thyristor Inverter Type Shaft Generator Motor System

By Kazuo Matsushima, Yasuhiro Okada, Shigeo Kitagawa,
Tadashi Tokuzumi

Thyristor-controlled shaft generator is one of fuel/maintenance cost saving methods applied to recent advanced vessels. In this paper, Emergency Take Home mode by motoring operation of the generator installed on 80,000DWT Oil/Bulk/Ore carrier is described. Test result under sea trial was satisfactory.

1. ま え が き

最近、省エネルギー、省メンテナンスの観点より、各様な一定周波数出力の主軸駆動発電機(軸発)がクローズアップされて来ているが、広く一般化されるには至っていない。この理由としては、本装置への投資効果に対する経済的評価が各国の船主にとり、一様に魅力あるレベルまで至っていないことが挙げられよう。この装置を広く一般化するためには、軸発自体の効率アップ、コスト低減はもちろんのことであるが、当面の投資/回収評価のギャップをうめる手段として、軸発装置の全体もしくは一部を使い、従来の発電装置では成し得ない新たな機能を付加させることは、有効と思われる。

本稿では、三菱重工業(株)長崎造船所建造第1909番船 WAYLAND S. A. 社向 80,000 Dwt 油/ばら積/鉱石兼用船(O/B/O)“ZARAGOZA”に採用された、サイリスタ・コンバータ/インバータ式軸発に、非常推進(EMERGENCY TAKE HOME; ETH)モードを付加したシステムについて ETH モードを中心にその概要を紹介する。

2. 構 成

本システムの基本構成を図1に示す。又各装置主要目は次のとおりである。

POWER SYSTEM CONFIGURATION

図1 1909番における発電機構成

- (1) 主 機：三菱SULZER 7RTA58
(11,410 PS, 105 rpm)
- (2) 主機切離装置：オイル・インジェクションタイプ
スリーブ・接手(最大伝達トルク 2,070,000 N・m)
- (3) ステップ・アップギア：湿式多段円盤式油圧クラ
ッチ付(ギア比 発電時：11.427, 非常電気推進時
：24.158)

* 原稿受付 昭和59年3月13日

** 正会員 三菱重工業(株)(東京都千代田区丸の内2-5-1)

*** 三菱重工業(株)長崎造船所(長崎市飽之浦町 1-1)

**** 正会員 三菱重工業(株)長崎造船所(長崎市飽之浦町
1-1)

(4) 軸発電機兼電動機(S/G or S/M)

形 式：船舶用ブラシレス同期機 1 台
 外 被：全閉形
 冷却方式：内冷空気冷却器付
 極 数：6 極
 絶 縁：F 種
 励磁方式：ブラシレス交流励磁機(AVR付)
 電気仕様： 発電機 電動機
 出 力： 1,205 kVA 800 kW(1,200 rpm)
 電 圧： 500 V, 3φ 450 V, 3φ
 力 率： 0.75 0.85
 電 流： 1,391 A 1,391 A
 出力トルク特性：— 定トルク特性
 備 考：— 起動用分配器付

(5) 周波数変換装置盤(F/C)：サイリスタ・コンバータ/インバータ方式。同期調相機との組合せによる出力特性を図2に示す。

図2 軸発の出力特性

(6) タービン発電機兼同期調相機(T/G or S/C)

形 式：船舶用ブラシレス同期機 1 台
 外 被：全閉形
 冷却方式：内冷空気冷却器付
 極 数：4 極
 絶 縁：F 種
 励磁方式：ブラシレス交流励磁機(AVR付)
 出 力：1,245 kVA (450 kW)
 電 圧：450 V, 3φ
 回転数：1,800 rpm
 同期調相機の起動方式：タービンによる

(7) ディーゼル発電機(D/G)

形 式：船舶用ブラシレス同期交流発電機 2 台
 外 被：防滴形(エアフィルタ付)
 冷却方式：自己通風形
 極 数：10 極
 絶 縁：F 種
 励磁方式：ブラシレス交流励磁機(AVR付)
 出 力：1,000 kVA (800 kW)
 電 圧：450 V, 3φ
 回転数：720 rpm

(8) 補助ボイラ：最大蒸発量 20,000 kg/h 2 台

(9) 排ガスエコノマイザ：最大蒸発量 2,360 kg/h 1 台(主機常用出力時)

3. 発電機モードの概要

本船の ETH モードも含む軸発電装置の制御ブロック図を図3に示す。軸発電モードでの制御は'83 年、新和海運株式会社殿に引渡した超省エネルギー大形撤積貨物船“新豊丸”に採用された省エネルギーに関する幾多の新技术のうち“高性能排ガス発電プラントとサイリスタ制御方式軸発電機の組合せ¹⁾”で開発された技術を改良したもので、軸発出力は次の三とおりのコントロールが可能である。

(1) タービン発電機は、排ガスエコノマイザの発生蒸気量に見合う出力に制御され、この出力と船内所要負荷電力の差分が軸発出力となるよう自動的にコントロールされるモード(本船では Pressure モードと称した)。

本船では排ガスエコノマイザ T/G 出力が船内所要電力を上回ること無いため、余剰電力分だけ主軸を加勢する Motoring 動作は考えていない。

(2) 自動負荷分担装置による各発電機の体格に応じた比例分担モード(本船では Proportional Load Sharing : PLS モードと称した)。

(3) 配電盤上のガバナースイッチによるマニュアル・モード。

また(1)の Pressure モードで運転中、ボイラ着火もしくはディーゼル発電機の気中遮断器(ACB)が投入された場合、制御系の安定性を保つため自動的に(2)の PLS モードに切換えるようになっている。上記三つのコントロール方式で、OBO 船特有の多彩な電力需要・蒸気需要に対応するよう計画されている。

軸発電機及びステップアップギア回りを写真1、周波数変換装置盤と主機回りを写真2に示す。

3.1 非常推進モード 非常推進機能とは、主機関の故障の場合でも船の安全航行が確保できるような操船上のフレキシビリティを増加させる機能であり、本船では、この推進動力源として軸発電機を電動機運転することで本モードを実現している。非常モードとは言え、電気推進に変わりはないので、使用電動機の特性及び制御方法は特に次の点に留意して決定された。

3.2 非常推進へのモード切換 非常推進を行うには、まず図1の主機嵌脱装置により、主機を切離すことから始まる。この作業の所要時間は約1時間である。本船でのETHモード起動準備完了までには、次の安全を考慮したインターロックが考えられている。

- (1) 主機嵌脱装置切離し確認信号
- (2) ステップアップギアの潤滑油油圧が正常であること。
- (3) 機関制御室内の主配電盤上の発電-ETHのモード切換スイッチがETHの位置にあること。本船では、電磁弁切換による油圧クラッチ切換えでギア比を変える遠隔操作形としている。
- (4) 実際にステップアップギアがETHモードに切換ったという確認信号。
- (5) ETHモードに必要な電力を賄う発電機ACBが投入されていること(本船では、発電機2台以上の運転が必要である)。

上記(1)~(5)が整うと、機関制御盤に“ETH READY TO START”(起動準備完了)のランプが点灯し、モード切換完了となる。この完了時に機関制御盤に差し込んでONにするKeyスイッチにより、周波数変換盤を起動させ、盤に異常がなければ電動機(軸発)のACBが投入され、ETH用電動機の運転が可能となるよう計画されている。又、この時機関制御盤のランプは“Ready to

start”より“ETH Available”(非常推進可能)に切換るようになっている。

機関制御室の主機制御コンソールを写真3に、またその中のETH制御部分の拡大を図4に示す。

3.3 ETH電気推進時の速度調整 図3の制御ブロック図に示される軸発電機(同期機)とサイリスタ・コンバータ/インバータの組合せは直流方式サイリスタモータと呼ばれ、次次に示すように電動機力率が速度及びトルク特性に関与することを除けば直流電動機と類似の特性をもつ。

$$N \propto \frac{E_D - I_D \cdot R}{P \cdot \phi \cos(\beta - \frac{u}{2}) \cos \frac{u}{2}}$$

$$T \propto P \cdot \phi \cdot I_D \cdot \cos(\beta - \frac{u}{2}) \cos \frac{u}{2}$$

N ; 電動機回転数(rps)

E_D ; 周波数変換盤中のインバータへの直流入力平均電圧

I_D ; 周波数変換盤中のインバータへの電流

P ; 電動機の極数

ϕ ; 電機子巻線の有効磁束鎖交数(実効値)

β ; インバータの制御進み角

u ; インバータ回路での転流重なり角

R ; DCLと電機子二相分の抵抗(実際はサイリスタ順電圧 drop も含む)

したがって、コンバータ側サイリスタの点弧位相(制御遅れ角)を制御することで E_D を変化させ回転数を任意に制御し、電流 I_D を変えることでトルクの大きさを制御し得る。

また電動機の始動にあたっては、電流断続始動法を採用しており分配器としては、近接スイッチ方式を採用した。

電気推進船における電動機速度制御とは、

- (1) 第1象限：前進-電動運転
- (2) 第2象限：前進中減速-回生運転
- (3) 第3象限：逆転-電動運転
- (4) 第4象限：後進中減速-回生運転

のいわゆる電動機四象限運転であって、サイリスタモータによる電気推進の場合の関係を表1に示す。

第2と第4象限で回生電力が発生するが、この回生電力の大きさもサイリスタ方式では任意に制御出来るので本船では、サイリスタモータを除く船内負荷で吸収できる範囲に回生電力を制限した。

なお本船の電気推進時の船速は0~6 knotsと、通常主機運転によるテレグラフDead Slow, Slow領域と同速度なのでDead Slow, Slowに相当する船速モードを前進/後進にそれぞれ設け、

AHEAD FULL

AHEAD MIDDLE

0

写真 3

図4 主機制御コンソールにおけるETH制御部拡大

表1 サイリスタモータによる電気推進(四象限運転)

No.	運 転 象 限 項 目		第 1 第 2 第 3 第 4			
			正 転	電 動 運 転	正 転 回 生 運 転	逆 転 電 動 運 転
1	運 転 オ ー ダ		<div>前進</div> <div>0</div> <div>後退</div>			
	プロペラ回転数		<div>⊕</div> <div>0</div> <div>⊖</div>			
2	極 性	電 圧 E_D	⊕	⊖	⊕	⊖
		電 流 I_D	⊕	⊕	⊕	⊕
3	制御角の動作範囲	順変換器	$0 < \alpha \leq 90^\circ$	$90^\circ \leq \alpha < 180^\circ$	$0 < \alpha \leq 90^\circ$	$90^\circ \leq \alpha < 180^\circ$
		逆変換器	$0 < \beta \leq 90^\circ$	$90^\circ \leq \beta < 180^\circ$	$0 < \beta \leq 90^\circ$	$90^\circ \leq \beta < 180^\circ$
4	磁極位置に対するサイリスタの導通位相		$\theta = \beta$		$\theta = \pi - \beta$	
5	電動機電圧の相順序		正 相		逆 相	
備 考	<div>AC 450 V 母線</div> <div> </div> <div>α : 順変換器の制御遅れ角 β : 逆変換器の制御進み角 重なり角 u は、無視する</div>					

ASTERN MIDDLE

ASTERN FULL

と前進2速/後進2速のレバー操作による速度制御とした。

3.4 ETHモードでの実船計測

図5は、本船の試運転時における危急停止後進時の測定結果の一部で電動機逆転までの時間は約20秒であった。この間の再生電力は十分船内負荷で消費出来る値であった。

各モードでの船速は Ballast Condition (displacement 46,270 t) で、

AHEAD FULL 6.4ノット-48 rpm

AHEAD MIDDLE 4.0ノット-35 rpm

ASTERN MIDDLE 2.2ノット-35 rpm

ASTERN FULL 3.1ノット-48 rpm

又 Full Load Condition (displacement 97,700 t)での6.2ノット船速からの危急停止試験は、

船体停止時間 18分59秒

停止距離 1691m

であり、非常用航行装置として所定の性能を発揮することができた。

なお、ETH運転中の主要電気値を図6に示す。図6はターニングテスト中のものでプロペラを通じての電気系への錯乱がどの程度のものであるかが理解いただけると思う。この中で曲線E(S/G(kW))は負側にありモータリングとして出力中であることを示している。

図5 ETHモードにおける非常後進時の電気諸量計測結果

図6 ETHモードによるターニング試験中の主要電気値計測

4. あとがき

サイリスタ軸発電機の導入で、船舶にも本格的なパワー・エレクトロニクスが適用されるようになってきた。エレクトロニクス化のメリットは、コントロールの多様化・精緻化及び応答性の良さ等をあげることが出来る。本船の軸発電性能でも軸発のガバナー応答性が良い特長を生かして pressure モードの時周波数変動は $\pm 0.3\text{Hz}$ 内であった。

本稿では、サイリスタ式軸発電装置を使った非常用電気推進装置についてのべて来たが、非常推進モードの実現は周波数変換器コンバータとインバータの両方にサイリスタ電子素子を使用することにより可能となったもの

で、当社と三菱電機が共同開発したシステムに基づいている。筆者らは今後とも船内へ、パワー・エレクトロニクスを導入して、新機能開発・省エネルギー技術の確立を計る所存である。

最後に本船の軸発/非常推進システムの玉成に協力いただいた船主・乗組員、及び製造に携った三菱電機(株)の各位に謝意を表す次第である。

文 献

- 1) 福田他, ISME-83 "Development of Fuel Efficient Machinery Plant in Engine Room for Very Large Bulk Carrier"