SCRの船用ウィンチへの応用

橋 本 武*・武田 幸男*
細 野 正己*・武谷 俊雄**

Application of Silicon Controlled Rectifier to Ship's Service

D. C. Winch Motor

T. Hashimoto, Y. Takeda,
M. Hosono and T. Takeya

Abstract

Recently a new Static Leonard Motor with SCR (Silicon Controlled Rectifier) is used for D. C. motor driven directly from A.C. source.

The purpose of the present paper is to study a few types of marine use SCR winch.

Through the observation of the experience of this new system offers the following advantages in regard to characteristics.

- (1) As D.C. motor requires no series resistances, its efficiency becomes larger by so much.
- (2) The controlling characteristics, when hoist and lower notch are taken, are changable easily.
- (3) The high speed at low torque and low speed at heavy are taken with high efficiency.

1. 緒 言

シリコン制御整流素子 (SCR) は周知のようにシリコン単結晶を基体として、これに両側より異種元素を添加しいわゆる p 形, n 形の接合部を作つて pn 構造とし、これの整流作用を利用するもので、ゲート信号を適当な時期に加えることにより整流電圧の平均値を制御するもので、その動作は整流器とスイッチが直列に接続されたものとして理解することができる。現在では50 kw 程度のものまで製作されて居り、その利用は広範囲に検討されている。船舶に於いても速度制御が要求される場合は、直流電動機を分巻接続とし SCR によつて電機子供給電圧を制御するいわゆるレオナード・モータとして利用されるようになった。

他方貨物船の殆んど交流化された現在でもその最大の難点は電動ウィンチにあり、最近油圧ウィンチが多数搭載されるようになったのも交流電動機、特に極数変換式誘導電動機がウィンチ用

* 神戸商船大学 (神戸市東灘区本庄町深江)

** 商船三井K・K (大阪市北区宗是町)

として, heavy duty に適していない為と思われる。従来直流に於てはウインチ用に優秀な直巻特性の電動機を使用してきた。交流化の当初は優秀な交流電動ウインチがなかったため, レオナード方式を採用したが価額, 効率, 容積等の経済性の点で難があった。SCR ウインチは交流電源から直接に主電動機への供給電圧を連続的に変化することができまた制御特性もかなり自由に選択できるもので, 極めて高効率を期待できる。そこでウインチ特性としては

(1) 巻上げは軽負荷高速, 重負荷低速のいわゆる直巻特性を持つこと。

(2) 巻下しに於ては安定な電動巻下しができ, その速度がある制限値をこえない様に発電制動又は回生制動が可能なること。

が本質的に重要である。この点から見ると SCR ウインチは電力回生巻下しが原理的に実施できないという欠点があるので発電制動を考慮しなければならない。

SCR 電動機で揚げノッチで直巻特性を持たせるのに, 次の方法がある。

(1) 電動機を直巻接続とする。

(2) 分巻コイルを一定励磁し, 荷重と回転数の積がほぼ一定となるように電機子供給電圧を制御する。実際には電機子電流と供給電圧の積が一定となるよう制御する。

筆者等は SCR ウインチの基礎的な実験を行なうに当り, 上げノッチでは直巻接続, 下げノッチでは分巻接続とし発電制動についても検討した。以下動作の概要について説明する。

Fig. 1
SCK ウインチ回路

Fig. 2

主電動機と減速装置

巻上げ時の電動機総合入力 P [watt] は次式で計算できる。

$$P = \frac{W \cdot V}{6.12\eta} \quad (1)$$

W : 電動機定格荷重 [kg]

2. 実験装置

2.1 回路構成

Fig. 1 に SCR ウインチ回路を示す。定電圧電源 T_1 より単相全波整流回路へ 100V を供給する。 T_2 の 2 次巻線にツェロン回路を接続し, R の手動切替によつて SCR のゲート点孤位相 (点孤位相角 α) を定め直流出力を調節する。電動機は巻上げ, 巻下しを切換スイッチ K_1, K_2 で切替える。 K_2 は巻下し時の発電制動用抵抗器 R_B の接続スイッチである。

Fig. 2 の写真は電動機と減速装置を示す。ベルト 2 段で約 1/10 の減速比である。右端は巻取りドラムで, これから 3 個の単滑車を通じて箱を吊り上げ, 中に荷重をのせる。

主電動機は市販のユニバーサルモータ 100V, 45W のもので電機子巻線は $0.07[H]$, $20[\Omega]$, 界磁巻線は $0.26[H]$, $8.5[\Omega]$ である。

SCR は富士通 GSi-5 (220V, 6A 連続), SR は富士通 Si-5 (380V, 5A) を使用した。

V : 巻上速度 [m/min]

η : 巻上効率 [%] (約30%)

本電動機に対しては $V=13$ [m/min], $W=6.84$ [kg] を定格と見做して実測した。

2-2 点弧角制御

ソーロン回路は Fig 1a に示されている。SCR の出力電圧波形 e_m とゲートトリガ電圧 e_g (点弧制御信号), 及び一次電圧 E より遅れる制御角 α との関係を示しているのが Fig 3 で, 制御角 α は次式で与えられる。

Fig 3

SCR 出力波形(電圧) e_m
点弧制御信号波形 e_g
 $\alpha=56^\circ$

第1表 巻 上 げ

α	W	V	P	V_D	I_D	P_D	η
deg	kg	m/min	Watt	Volt	Amp	Watt	%
130	0	8.0	0	24	0.4	9.6	0
	2.76	5.5	2.48	"	0.6	14.4	17
	4.68	5.0	3.82	"	0.65	15.6	24
	6.84	3.7	4.13	"	0.7	16.8	25
	9.04	3.3	4.90	"	0.8	18.2	27
77	0	26	0	55	0.4	22.0	0
	2.76	15	6.7	"	0.6	33.3	20
	4.68	14	10.1	"	0.7	38.5	26
	6.84	12	13.1	"	0.75	41.3	32
	9.04	10	15.0	"	0.85	46.7	33
26	0	30	0	85	0.45	38.0	0
	2.76	22	9.8	"	0.6	51.0	18
	4.68	19	14.8	"	0.7	59.5	25
	6.84	17	19.2	"	0.8	68.0	28
	9.04	16	23.9	"	0.9	76.5	32

共に減少する。表の数値はスイッチ投入から約2秒後の記録である。

3.1 シンクロスコープによる観測

動作時の各部の電圧電流波形を X-Yシンクロスコープで観測した。Fig. 4 (a), (b), (c) は荷重2.76kg 巻上げ時のもので, α が 夫々 130° , 77° , 26° の場合である。右横の直線は電流電

$$\alpha = 2 \tan^{-1} \omega CR \quad (2)$$

ω は電源角周波数で R が $0 \sim \infty$ のとき, α は $0 \sim \pi$ [rad] まで変化する。 e をツェナーダイオード D_{z1} , D_{z2} に加えて各端子から矩形波信号を取り出す。このようにして G_2 は G_1 トリガより π おくれるので制御に都合がよい。

ゲート信号が与えられてから開路状態になる迄の時間遅れは約 $1 \sim 5 \mu\text{sec}$ で無視できる。使用時はベース温度上昇に注意を要する。 45°C 以上になると, 出力電流の許容値が急減するので冷却には十分な考慮が必要である。また起動電流は定格値をこえぬ様にならない。

3. 実験結果

3.1 実験記録

(1) 巻上げ (直巻接続)

各制御角 α ごとに荷重 W をかえ計測した。 V_D , I_D はそれぞれ電機子電圧, 電機子電流の平均値で, 計算値とよく一致している。 V はロープ速度, P は実機械出力, P_D は電動機入力, η は効率で夫々次式で計算される。結果を第1表に示す。

$$\left. \begin{aligned} P &= 9.8 W \cdot V / 60 \\ P_D &= V_D \cdot I_D \\ \eta &= (P / P_D) \times 100 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

(2) 巻下し (分巻接続)

励磁電流を 0.5 [A] に保った場合の巻下しの結果を第2表に示す。巻下しの時は荷重による加速が加わり, 電流値は時間と

Fig 4 巻上げ時の
電圧 e_m 、電流 i_m 波形
(a) $\alpha=130^\circ$, (b) $\alpha=77^\circ$, (c), (d)
 $\alpha=26^\circ$ (d) は直列リアクトルを含む

Fig 5
分巻巻上げ時の電圧、電流波形
 $\alpha=77^\circ$ $W=2.76\text{kg}$

第2表 巻 下 げ

α	W	V	V_D	I_D
deg	kg	m/min	Volt	Amp
130	0	5	25	0.7
	2.76	11	31	0.5
	4.68	8	40	0.4
	6.84	17	60	0.2
	9.04	35	60	0.08
77	0	25	76	0.8
	2.76	27	80	0.7
	4.68	26	88	0.5
	6.84	38	96	0.3
	9.04	43	108	0.1
26	0	29	91	0.9
	2.76	32	95	0.7
	4.68	36.5	99	0.5
	6.84	41	104	0.3
	9.04	45	110	0.2

圧の zero line を示す。(a) の電流の波高値は 1.1A である。電源電圧波形が若干歪んで居り、波高値は約 110V である。(b) は 負荷電流を平滑にする為に (c) の状態で電機子と直列にリアクトル (6H , 5Ω) を接続した場の波形で平滑効果はかなり明瞭である。但し測定値はあまり変化しなかった。

Fig. 5 は、分巻巻上げ時、 $\alpha=77^\circ$, $W=2.68\text{kg}$ の場合の波形であつて、73V, 1A (いずれも平均値) である。電圧波形の点孤していない部分 ($0\sim\alpha\text{ deg}$) に逆起電力 (約 25V) が表われている。巻下し時の波形は、電流波形の振幅が変わるだけで巻上げ時と殆んど同様である。

4. 考 察

4.1 荷重-速度特性

Fig. 6 に荷重-速度特性を示す。電動機の減速器に大きな摩擦損失がある為、直巻特性の著しい部分は見えない。 $\alpha=77^\circ$ は、ほぼ定格ノッチと考えて良く、一応ウインチとしての特性が得られている。実際には α は連続に変えられるので、例えば $\alpha=22^\circ$ 以上で操作するとして、図の 22° の線より下方全部が制御範囲となる。然し装置を単純化する意味で 3 乃至 4 ノッチ程度の切替で充分である。

巻下し速度は前述の如く定常値ではないが、一応実測値として、図に実線で表示している。点

Fig 6 荷重-速度特性
(巻上直巻, 巻下分巻)

4.2 突入電流

Fig. 7 (a) は直巻巻上げ, $\alpha=26^\circ$, $W=2.76\text{kg}$ 時の起動電流の減衰の傾向を示すもので, 最大値は2.1A, 定常値は0.6A (平均値) である。(b) は $\alpha=130^\circ$ の場合で最大値1.2A, 定常値0.6Aと減少している。

Fig 8 巻上げ時ノッチ切換突入電流
(a) $\alpha=26^\circ$, $W=9.04\text{kg}$
(b) $\alpha=26^\circ$, $W=9.04\text{kg}$
直列リアクトル含む

線は Fig. 1 ウインチ回路図の K_3 スイッチを投入し, 電動巻下し中に制動抵抗を接続した場合の特性である。この場合電源側からも電流が流入するが, 電動機の端子電圧が電源電圧より大きくなっても, 電源に電力を回生する事はないので, その電力はすべて制動抵抗 R_B で消費される。この為巻下し速度は同図点線のように安定した運転が出来る。電源 off の点線は完全な発電制動状態であつて K_2 スイッチを切つた場合の特性である。 $\alpha=26^\circ$, $W=9.04\text{kg}$ で R_B の電圧は 11V, 電流は 0.1 A である。

Fig 7 巻上げ時の突入電流
(a) $\alpha=26^\circ$, $W=2.76\text{kg}$
(b) $\alpha=130^\circ$, $W=2.76\text{kg}$

Fig. 8 はノッチ切替による突入電流を示すもので, その最大値は荷重には無関係で, 制御角によつて一定の大きさを持っている。この値を制限する為に直列リアクトルを接続すれば突入電流の最大値は勿論減少し, (b) 参照, 又その rush の勾配もゆるやかとなるが, 回路の遮断時の悪影響や, 機装上の不利を考えると使用しない方が好ましい場合もある。

4.3 効率

表1に見る如く SCR ウインチとしての効率は低い, これは主として減速器の摩擦損失によるもので, 本質的な欠点ではない。例えば $\alpha=77^\circ$, $W=6.84\text{kg}$, $V=12\text{m/min}$ (ほぼ定格状態) の場合の SCR ウインチの効率

は32%であるが、同じ負荷状態を直流電圧例えば 100VDC で駆動する時は、直列抵抗分による損失が加わるので、約20%と低い値になる。当然の事ではあるが、直列抵抗が不用という事は極めて有利である。

5. 結 語

SCR ウィンチは高効率、無段変速、無接点化、自由な制御特性等の利点を有して居り、今後の開発が予想される。筆者等は単相全波整流回路による SCR ウィンチの基礎的な検討を行つたが、3相整流回路による運転、点弧制御部の改良、制動装置等の問題に関しては次回に報告する。

最後に実験に協力をいただいた田中技官、玉木、真鍋、永田君に謝意を表します。

参 考 文 献

- (1) 吉田・梶尾：三菱電機技報 Vol.37 No.5 p52 1963
- (2) 石崎：電気学会誌 昭和36年3月 p365