

船用交流発電機用サイリスタ式 自動電圧調整装置

井 原 健 策* 森 安 正 司**

Kensaku Ihara

Shoji Moriyasu

Thyristor-type AVR for Marine Use Self-excited AC Generator

Synopsis

Along with the tendency to build increasingly large vessels in recent years, the capacity of generators used for a marine power source has become huge. On the other hand, various trends such as an increase of efficiency, the strengthening of operating safety, and a decrease of crew members resulted from the rationalization and automation of marine equipment based on recent technical innovations have many additional requirements on generators.

In order to meet these requirements, Fuji Electric Co., Ltd. has developed a new type automatic voltage regulating system, which is formed by installing a by-pass circuit of thyristors in the Fuji-Siemens type exciting system. The new system has already applied for several ships and every one of them is operating with excellent results. An outline of this system is introduced in this paper.

I. ま え が き

産業界は革新的な生産技術を競って導入し、製造コストの引き下げにめざましい効果をあげてきた。しかしコストの引き下げは、生産工程の合理化の段階だけではもはや限界に近く、その努力は輸送コストの引き下げに向けられてきている。すなわち、専用船はますます大形化の傾向をたどり、最近では 20 万トンクラスのオイルタンカも出現し、近い将来さらに大形化することは必定となってきた。また、一般貨物船においても、コンテナリゼーションの採用などにより従来の常識であった 1 万トンクラスのものから 2 万トンクラスのものへと移行しつつある。

一方、船舶乗組員の削減と、船舶運航の信頼性と経済性の向上を目的とする船舶諸設備の合理化・自動化のすう勢は、いまや完全に地についた観があり、最近建造される船舶で大なり小なり自動化装置を採用しない船はないといっても過言ではない。

これら船舶界の諸傾向は、船内発電設備に対して、ますます大容量化・小形軽量化ならびに高性能化を強く要求してきている。

当社では、1958 年に国内の業界にさがけて自励複巻交流発電機第 1 号機を日本郵船長良丸に納入して以来、今日まで 500 台近くを内・外船に納入してきた。その大半は自動電圧調整装置を持たない富士シーメンス式励磁方式を採用したものであったが、最近では前述の傾向により、第 1 表に見られるごとく、自動電圧調整装置

第 1 表 当社における船用自励交流発電機の製作実績

Table 1. Manufacturing list of Fuji marine use self-excited AC generator of different types

納入年	励磁方式 富士シーメンス方式 (%)	自動電圧調整装置付 (%)
1963 年 3 月以前	100	0
1963 年 4 月～1964 年 3 月	77	23
1964 年 4 月～1965 年 3 月	73	27
1965 年 4 月～1966 年 3 月	82	18
1966 年 4 月以降	55	45

を付属するケースが多くなってきている。

当社ではこれらの要求に応えるために、このほど従来の富士シーメンス式励磁方式の特長をそのまま生かした画期的な自動電圧調整装置“サイリスタ式自動電圧調整装置”(以下 TR 式 AVR と略称する)を開発した。そのうちいくつかはすでに好評裏に運転中である。以下、本装置の概要を紹介する。

II. TR 式 AVR 付自励交流発電機の動作

TR 式 AVR 付自励交流発電機は第 1 図に示すように、富士シーメンス式自励装置、TR 式 AVR、横流補償回路および分流回路から構成される。

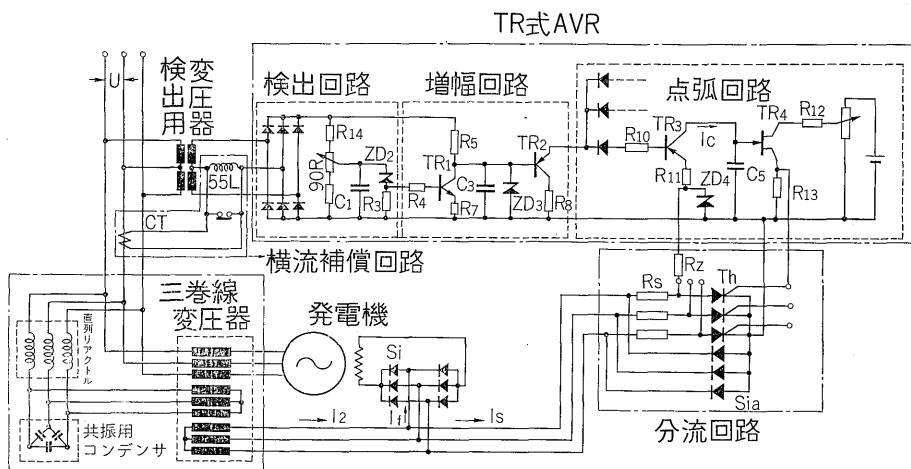
さらに TR 式 AVR は機能上から検出回路、増幅回路および点弧回路からなり、検出回路と増幅回路は各相共通であるが、点弧回路は各相ごとにそれぞれ 1 個の回路をもっている。

1. 富士シーメンス式自励装置

富士シーメンス式自励装置は自励交流発電機としてはもっとも基本的な回路構成であり、直列リアクトルから

* 工業技術部

** 川崎工場回転機部



ZD_2, ZD_3, ZD_4 : ツェナダイオード
 TR_1, TR_2, TR_3 : トランジスタ
 TR_4 : ダブルベーストランジスタ

第1図 TR 式 AVR 付自励交流発電機の結線図

Fig. 1. Schematic connection diagram of a self-excited AC generator equipped with the Thyristor-type AVR.

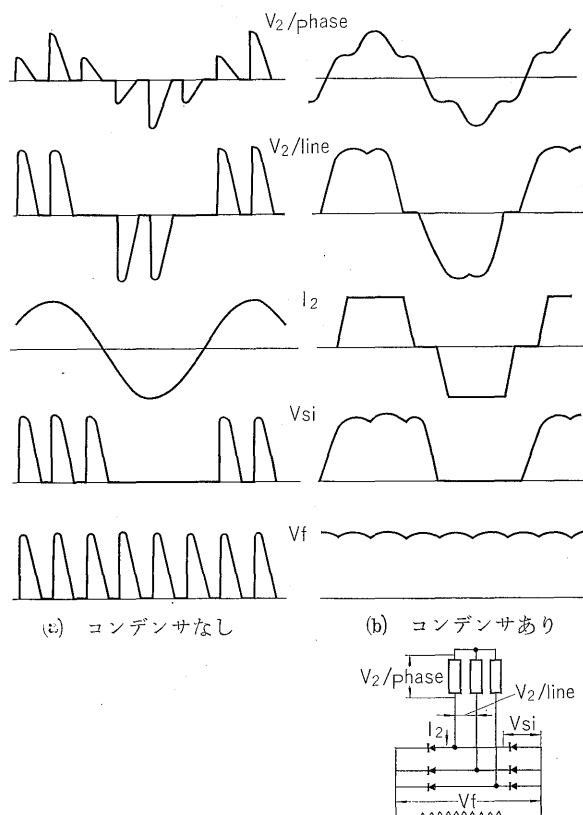
富士シーメンス式自励装置

の端子電圧に比例した電流が 3 巻線変圧器によって負荷電流に比例した電流とベクトル合成されて界磁巻線に供給される。

いま U , X , X_e , R_f , I_B および I_f をそれぞれ 3 巻線変圧器の出力巻線側（界磁巻線側）に換算した発電機相電圧，直列リアクトル 1 相当りのリアクタンス，共振用コンデンサ 1 相当りのインピーダンス，界磁巻線抵抗，発電機電流および界磁電流とすると

$$I_f = \frac{\frac{U}{jX} + I_B}{1 + j \frac{R_f}{X} \left(\frac{X}{X_c} - 1 \right)} \dots\dots\dots (1)$$

となる。



第2図 各部の波形

Fig. 2. Wave forms of various parts

ここで $X=X_c$ として共振をとると界磁電流 I_f は

$$I_f = \frac{U}{iX} + I_B \dots\dots\dots (2)$$

となり、 R_f の値には無関係となる。このように共振用コンデンサを付加すると I_f が R_f の変化には無関係になると同時に第 2 図に示すように励磁装置の各部の波形がコンデンサのない場合に比して大幅に異なったものとなる。

すなわち共振用コンデンサがない場合は、シリコン整流器 Si の交流側電流 I_2 が正弦波となり、共進用コンデンサがある場合にはシリコン整流器の交流側電圧 V_2 がほぼ正弦波となる。

この波形の違いは TR 式 AVR にとって非常に重要な意味をもっている。すなわち TR 式 AVR 付自励交流発電機はシリコン整流器 Si の逆方向にかかる電圧を抵抗 R_s を通して分流する方式であるため、共振用コンデンサがない場合は約 1.4 ms のパルス状電圧を精度よく位相調整して分流しなければならないことになるがこれは実際上不可能である。したがってこのような制御をおこなう自励交流発電機の励磁回路においては共振用コンデンサにより、第 2 図に示すように波形の改善を行なうことが絶対に必要である(本件実用新案申請中)。

さて、3巻線変圧器の出力巻線電流 I_2 は、式(2)からも判るように共振用コンデンサがあると、界磁抵抗 R_f および分流抵抗 R_s に関係なくほぼ一定であり、この I_2 は界磁電流 I_f と分流電流 I_s にわかれる。したがって、 $I_f = I_2 - I_s$ となり、 I_s を制御すれば I_f すなわち発電機の端子電圧を制御することができる。なお I_s はサイリスタ Th のゲート信号によって制御される。

ゲート信号の位相を端子電圧の大きさに応じて変化させる装置が TR 式 AVR である。

2. TR 式 AVR

発電機電圧は TR 式 AVR の検出回路のツェナダイオード ZD_2 によってその変化分が取り出され、その変化

分が増幅回路によって一段増幅される。点弧回路のトランジスタ TR_3 のコレクタ電流 I_c はツェナダイオード ZD_4 の電圧と増幅回路出力電圧の差に比例した値となるのでコンデンサ C_5 の充電時間を制御することができる。コンデンサ電圧がある値に達すると、ダブルベーストランジスタ TR_4 が動作し、サイリスタ Th のゲート信号となる。サイリスタ Th の順方向に電圧が印加されると、ツェナダイオード ZD_4 に定電圧が発生してコンデンサ C_5 の充電が開始されるので常に同期した点弧信号を得ることができる。

以上で説明した動作を定性的にまとめるとつぎのようになる。

発電機電圧：大(小)→検出電圧 (R_3 電圧)：大(小)→検出回路出力電圧 (TR_2 エミッタ電圧)：小(大)→充電電流 I_c ：大(小)→コンデンサ C_5 充電時間：小(大)→点弧位相：早い(遅い)→サイリスタ電流：大(小)→界磁電流：小さくする(大きくする)→端子電圧：小さくしようとする(大きくしようとする)。

なお設定電圧の変更は $90R$ の調整によって行なうことができる。

3. 複流補償回路

2機以上の発電機の並行運転は富士シーメンス方式では各機の界磁間に均圧線を設けるのであるが、本方式では横流補償回路を設けて並行運転を行なう。横流補償回路は第1図に示すように、 CT とリアクトル $55L$ によって構成される。

CT の二次電流を $I_{CT}[A]$ 、 $55L$ のリアクタンスを $X_b[\Omega]$ 、無負荷における検出用変圧器の二次電圧を $V_0[V]$ 、reactive droop の大きさを $\alpha\%$ 、力率を $\cos\varphi$ とすると、

$$\alpha = 100 \frac{X_b I_{CT}}{\sqrt{3} V_0} \sin\varphi [\%] \quad \dots\dots\dots (3)$$

となる。したがって式(3)よりつぎのことがわかる。

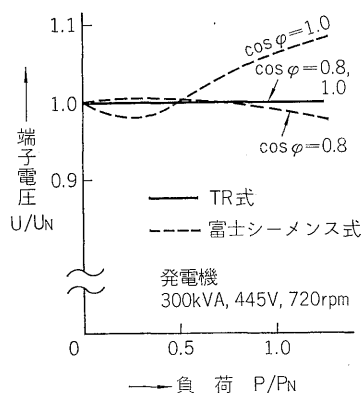
- (1) droop α は $55L$ のリアクタンス X_b に比例する。
- (2) droop α は 発電機の無効分負荷 ($I_{CT} \sin\varphi$) のみに比例し、kW 負荷には無関係である。

これは横流補償回路が理想的な特性をもっていることを示している。

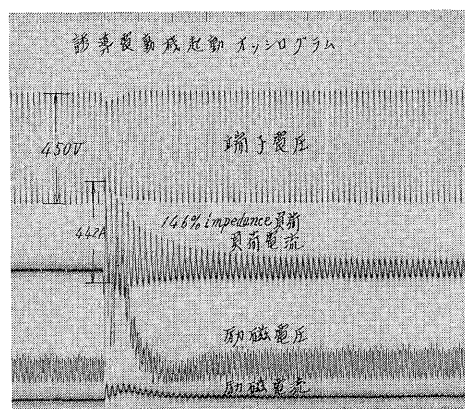
III. TR 式 AVR 付自励交流発電機の特性

第3図は漸変電圧変動特性で富士シーメンス方式と TR 式 AVR 付の場合を比較したものである。

TR 式 AVR はトランジスタ回路を用いて増幅度を大きくしてあるので理想的なフラット特性となっている。一般に漸変電圧変動特性は AVR の増幅度によって決まり、電圧調整度は操作量の大きさによって決まる。本方式における電圧調整度の大きさは、分流抵抗 R_s によっ



第3図
漸変電圧変動特性
Fig. 3.
Static voltage
regulation



第4図 誘導電動機始動時のオシログラム
(300 kVA, 720 rpm)

Fig. 4. Oscillogram upon starting of induction motor

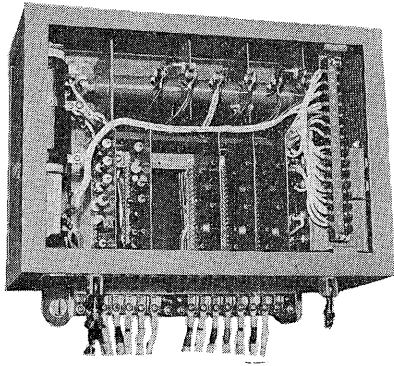
て決まる。なお第3図の特性は $\cos\varphi=0.8$ と $\cos\varphi=1.0$ は同一タップによって試験した値であるが、富士シーメンス方式における $\cos\varphi=1.0$ の電圧上昇は自動装置のタップ変更を行なえば $\cos\varphi=0.8$ の場合と同等以上の特性を得ることが可能である。

第4図は誘導電動機始動時の瞬時電圧変動特性である。TR 式 AVR 付自励交流発電機は複巻特性をもつと同時に AVR の検出遅れがほとんどないので電圧回復特性はむしろ富士シーメンス方式による場合以上の良特性である。

IV. 主要部の構造

1. 検出回路・増幅回路および点弧回路

TR 式 AVR のうち、検出回路・増幅回路および点弧回路はそれぞれ1枚のプリント板(ただし点弧回路は1相分で1枚…計3枚)に組み込み、第5図に示すようにツェナダイオード・抵抗およびコンデンサ類とともに1個の箱内に収納している。この箱は配電盤または励磁盤内に取り付けられることを標準として壁掛構造としてある。箱の前面はヒンジとびらとなっておりプリント板の取換や内部の点検が容易にできるよう考慮が払ってある。また外部電線との接続用端子はハモニカ端子として



第5図 TR 式 AVR 内部

Fig. 5. Inner view of TR type AVR

箱外下部に配置されており、盤内における配線作業の便を図っている。

全体の構造として、船内の振動に対して充分耐えるようとくに考慮が払ってある。

プリント回路を構成する電子部品に対しては、高温・高湿の船内の特殊性を考慮して、

- (1) トランジスタ、整流器、ダイオード類はすべてシリコンを使用した。
- (2) コンデンサはすべてMPコンデンサを使用した。

このほか、箱内の配線はすべて耐熱ビニル電線（撚線）を使用し、電線をすべて3種に色別けて点検・調整の際の便を図っている。またプリント板を含めて、制御回路の主要部からは試験用端子を引き出し、箱内の前面にハモニカ端子として配列して点検・調整の便を図っている。

2. 分 流 回 路

分流回路のうち大きな発熱をとまなう部分、すなわち第1図における分流抵抗 R_s およびツェナダイオード回路の抵抗 R_z は一つの抵抗器箱にまとめ、前述の箱から離して配電盤または励磁盤内の適当な場所に設置されるようになっている。

同図におけるサイリスタ Th および補助シリコン整流 Si_a は、それぞれのキャリヤ蓄積効果防止用のコンデン

サとともに1組にまとめあげ上記と同様配電盤または励磁盤に設置される。

V. む す び

富士サイリスタ式自動電圧調整装置は、従来の富士シーメンス式励磁回路にサイリスタによる分流回路を設け、端子電圧の変化に応じて界磁電流の分流量を制御し、発電機電圧を一定に制御するものである。このため、従来の富士シーメンス方式の持つ複巻特性をそのまま保持する。したがってTR式AVR方式も富士シーメンス方式と同様に突入電流に対する瞬時電圧降下の最大値が小さく電圧降下の回復が早い。そのうえ漸変電圧変動率は、自動電圧調整装置付となっているため力率0.7~1.0の間で $\pm 1.0\%$ 以内である。

本装置は小形軽量の構造に構成されており、無接点制御であるため故障の発生する恐れはほとんどない。万一分流回路ないしTR式AVRに故障が発生した場合でも、3巻線変圧器のタップ位置を変更するだけでそのまま、従来の富士シーメンス方式として使用できる利点を有している。

また最近の傾向として励磁器具を発電機上部に搭載させ搭載形発電機とするケースが多くなっている。その場合には、発電機上部には振動ならびに温度変化につよい従来の富士シーメンス方式に相当する部分を搭載するのが望ましい。しかしその場合でも配電盤内に取り付けられる検出用変圧器、横流補償回路、TR式AVRおよび分流回路は非常に簡潔な回路となっており、それを構成する器具は小形軽量であるので盤内配置上非常に有利である。

当社では本装置開発以来すでに20セット余を製作納入しておりすべて好調に運転中である。この機会に使用家各位の今後の一層のご愛顧をお願いする次第である。

参 考 文 献

- (1) 清水・中田：富士シーメンス式240kVA自励交流発電機
富士時報 31 No. 3 (昭33)



＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。