荷役電力推定と船内電源計画*

橋本征弘**・高木康光**・上田敏明***

Determination of Required Electric Power for
Cargo Handling Equipment and Ship's Power Source

By Masahiro Hashimoto, Yasumitsu Takagi, Toshiaki Ueda

In ships with electric driven or electro-hydraulic driven cargo handling equipment, good care should be given in designing ship's power sources. Because the required electric power for cargo handling equipment greatly fluctuates in a short period, how to evaluate this electric power is the point in determining the capacity of generators. Various studies have been made on estimation of this electric power, and actually the results have been taken into consideration in planning power sources of ships. We present, in this paper, a statistic estimating method which has been so far studied, and describe its application to actual ships, how the generators will be affected by the fluctuating electric power and to what points attention should be paid in designing power sources of ships.

1. ま え が き

船用機関学会電気研究委員会（有賀委員長，石川島播磨重工）は，51年度より，船舶の機関補機および甲板補機の計画に重要である電動機設備について研究されており，その成果は，本紙の昨年4月号に紹介されている．ここに紹介する荷役電力の推定と船内電源計画も電気研究委員会の研究の成果の一部である．

電動または電動油圧の荷役機械を有する船舶では，船内電源，特に，発電機の計画に際して注意を要する．すなわち，荷役機械の所要電力は，短時間にひん繁に変動するため，発電機容量決定の際，この電力をいかに評価するかが問題となる．これまで，この荷役電力の推定について種々の研究がなされており，実際の船舶の電源計画に利用されている．荷役電力の推定には，統計的手法が不可欠であると思われるので，本稿では，これまで研究された統計的手法による荷役電力の推定方法を紹介するとともに，この方法を実際に適用する方法，適用例およびその問題点を述べる．また，荷役機械の変動する電力は，発電機および原動機にどのような影響を与え，電源計画に際しては，どんな点に注意すべきかについて，簡単に述べる．

2. 船内電源計画

荷役装置等負荷変動の激しい負荷がない場合には，ち

ゅう房設備，エアーコンプレッサ等の間欠負荷はあるが，常用航海中，出入港中および荷役中の各状態では船内負荷はほぼ一定であり，その電源容量は平均電力に間欠負荷を加味して決定すればよい．しかし，変動の激しい荷役装置等が負荷の中に含まれる場合は，単に平均電力から電源容量を決めれば，発電機の過熱，負荷変動による発電装置の過速，または，停止等が起こる恐れがあり不適当である．したがって，それらが発生しないような電源設備を持つ必要があり，そのため，特に下記の点を考慮して電源設備の計画をしなければならない．

- (1) 自乗平均電力
- (2) 最大電力
- (3) 逆電力
- (4) 母線電圧降下
- (5) 発電装置の電氣的，機械的特性

2.1 自乗平均電力 電気機器の温度上昇は，その中で発生する熱損失により決まり，それは鉄損と銅損よりなる．このうち鉄損は負荷電流に関係なくほぼ一定の値であるが，銅損は電流の2乗に比例する（力率および電圧を一定とすれば電力の2乗に比例する）．したがって，負荷が激しく変動する場合，電源の容量を決定する電力は，機器温度上昇と等価な自乗平均電力で表わしたほうがよい．この自乗平均電力が電源容量を超えると，温度上昇が激しくなり発電機の絶縁劣化，あるいは焼損となる．したがって，電源設備は間欠負荷の運転，自乗平均電力を考慮し決めなければならない．

2.2 最大電力 船内電源設備，すなわち，各発電

* 原稿受付 昭和54年1月31日

** 正会員 川崎重工業(株)(神戸市生田区東川崎町2-14)

*** 川崎重工業(株)(神戸市生田区東川崎町2-14)

機は過電流継電器 (OCRy) により保護されている。したがって、この最大電力により OCRy が動作し、停電等につながらないように考慮しなければならない。また、必要に応じ選択し断用、あるいは警報用 OCRy が動作しないよう考慮しなければならない。

2.3 逆電力 荷物のつり下げ時には、荷役用電動機は発電機として働き、その時、その電力を吸収できる負荷がなければ、発電機にその電力が返され発電機は電動機として働き、原動機を加速する。その結果、原動機は過速度となり危険である。これを防止するため、一般にディーゼル機関の場合 15%、タービン機関の場合 6% の逆電力で原動機をトリップさせる。したがって、逆電力がこの値以内に収まることを確認するとともに、それが規定値以上になれば逆電力が発生した時、荷役装置による発生電力を吸収するため何らかの負荷を投入する回路を設けなければならない。

2.4 母線電圧降下 母線電圧降下は、負荷の変動がゆるやかであれば、一般的に自動電圧調整器により $\pm 2.5\%$ 以内に収まり問題はないが、負荷の急激な変化に対し、自動電圧調整器の応答性、励磁回路の時定数により時間おくれを生じ、その時間おくれの間 (0.2~0.5 sec) 瞬時電圧が降下する。それが大きい場合には、機器の誤動作、電灯のちらつき等が起こるが、一般的に 15% 以内であれば実用上問題ないと考えられる。

2.5 発電装置の電氣的、機械的特性 発電機が 2 台以上並行運転している場合、負荷の変動分に対する各発電機の出分は、過渡的には電氣的特性、すなわち、%インピーダンス、定常的には機械的特性、すなわち、ガバナ特性 (ドループ) により決まる。一般に変動の少ない負荷の場合には、並行運転される発電装置の特性が多少異なっている、自動負荷分担装置等を設けることにより、発電機容量に応じた負荷分担が行える。一方、荷役電力のような周期が短く、変動の激しい負荷の場合には、自動負荷分担装置ではその変化に追従できず、各発電機の負荷の分担は電氣的、機械的特性により決定される。したがって、それらはできるだけ同一とすることが望ましく、特に、発電機容量が異なる場合、原動機の種類が異なる場合には注意を要する。

3. 荷役電力の推定方法

荷役装置はその運転特性から消費電力の変動が激しく、また、時間的にも不規則である。荷役装置を持った貨物船においては、荷役時の消費電力は荷役装置によるものが大部分を占めこのような負荷群に電力を供給する発電機の容量を決めることは難しい。

このような負荷を統計的手法を用いて処理する方法が船舶電気工学便覧¹⁾にて提案され、現在荷役電力の推定方法として広く用いられている。

3.1 荷役電力 図 1 に示す荷役サイクルを持った m 台の荷役装置が互いに独立して運転され、その電力分布

図 1 荷役サイクル

が正規分布に従うとするならば、次のことが成立する。

1 台当りの消費電力の平均値 $\bar{x}$ 、および変動の大きさ (分散) σ^2 は次のとおりである。

$$\bar{x} = \frac{\sum t_i \cdot x_i}{\sum t_i} \quad (\text{kW}) \quad (3-1)$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum t_i \cdot (x_i - \bar{x})^2}{\sum t_i} \quad (\text{kW}) \quad (3-2)$$

これらの荷役装置が m 台運転された場合の推定最大荷役電力 $P_{\max}$ は、次式により求められる。

$$P_{\max} = m \cdot \bar{x} + z \sqrt{m} \sigma \quad (\text{kW}) \quad (3-3)$$

ただし、 z は確率計算における信頼度である。

これらを図示すると図 2 のようになり、荷役電力 $P(t)$ が推定値 $P_{\max}$ を越える確率は、係数 z の関数となり図 3

図 2 荷役電力と推定値

図 3 荷役電力 $P(t)$ が推定値を越える確率

のようになる。

自乗平均電力 P_e は次式により求められる。

$$P_e = \sqrt{(m \cdot \bar{x})^2 + m \sigma^2} \quad (\text{kW}) \quad (3-4)$$

3.2 係数 z の考え方 一般に船内発電機には、それを保護するための過電流継電器 (OCRy) が設けられている。したがって、荷役電力によりこの OCRy が動作しないような係数 z を求め、発電機容量を決定しなければならない。その方法として次の方法がある。

(1) ケース 1^{1,2)} 発電機保護用 OCRy の設定は一般に

ACBトリップ用 OCRy

定格電流 $\times 125 \sim 140\% \times 20 \text{ sec}$

・選択しゃ断または警報用 OCRy

定格電流 $\times 110 \sim 130\% \times 10 \sim 20 \text{ sec}$

にて各々動作するようになっている。今計算を簡単にするため、これらの OCRy が

定格電流以上の電流 $\times$ 動作時間 (10~20 sec)

にて動作するように考えるならば、次のようになる。

荷役電力 $P(t)$ が推定値 $P_{\max}$ を越える時間を $t_1, t_2, \dots, t_n \dots$ とし (図 2 参照), 一荷役サイクルタイム T_{sec} (異なる荷役装置がある場合には、最大荷役サイクルタイムとする) 中の $t_1, t_2 \dots$ の合計を Σt_n とすると, (3-5) 式を得る。

$$\Sigma t_n = T \cdot (P(t) \geq P_{\max} \text{ なる確率}) \text{ (sec)} \quad (3-5)$$

ただし $(P(t) \geq P_{\max} \text{ なる確率})$ は図 3 により与えられる。

一方, $P(t)$ が $P_{\max}$ を連続して越える最大時間は、荷役装置が荷役サイクルタイム T_{sec} を周期とし運転されているということから, Σt_n より大きくなることはないと考えられる。したがって、発電機保護用 OCRy を動作させないためには, (3-6) 式を満足しなければならない。

$$\Sigma t_n \leq \text{OCRy 動作時間 (sec)} \quad (3-6)$$

(3-6) 式と (3-5) 式より, (3-7) 式を得る。

$$(P(t) \geq P_{\max} \text{ なる確率}) \leq \frac{\text{OCRy 動作時間}}{T} \quad (3-7)$$

したがって、係数 z は OCRy 動作時間をパラメータとした荷役サイクルタイム T の関数となり、図 4 に示すようになる。なお、日本造船学会編「船舶の荷役電力推定法」²⁾ においては、OCRy 動作時間を 10 sec とした場合の係数 z の値を推奨している。

(2) ケース 2^{3,4)} ケース 1 の方法は計算を簡単にするため OCRy の動作時間のみに着目しているが、実際の OCRy は図 5 に示すように反限時特性をもっている。したがって、動作時間のほか、設定電流 I_0 を越える電流の大きさも考慮する必要がある。すなわち、荷役電力 $P(t)$ が推定値 $P_{\max}$ を越える部分の面積 $S_1, S_2, \dots, S_n \dots$ (図 6 参照) (電圧、力率を一定とするならば、電流と時間の積分値に相当) により、OCRy が動作しないようにしなければならない。

また、OCRy の設定時間を t_0 、設定点での設定電流 I_0 を越える電流を ΔI_0 とするならば、OCRy が動作しない

図 4 荷役サイクルタイム T と係数 z

図 5 過電流継電器の動作特性

図 6 荷役電力と推定値

い条件は、近似的に (3-8) 式のようになる。

$$\Delta I_0 \cdot t_0 \geq \int_{t_1}^{t_2} \Delta i_0 dt \quad (3-8)$$

ただし、 Δi_0 は $P(t)$ と $P_{\max}$ との差分電力 ΔP に相当する電流であり、 I_0 は $P_{\max}$ に相当する電流である。また、 t_1, t_2 は、任意の値であり、いかなる期間の積分値においても (3-8) 式が成立しなければならない。

荷役装置の定格電圧を V 、力率を $\cos \varphi$ とし (3-8) 式の両辺に $\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi$ を乗ずれば, (3-9) 式を得る。

$$\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi \cdot \Delta I_0 \cdot t_0 \geq \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{3} \cdot V \cdot \Delta i_0 \cdot \cos \varphi dt \quad (3-9)$$

上式の右辺において、 Δi_0 が正である期間の右辺の値は、 $S_1, S_2, \dots$ に相当する。一方、一荷役サイクルタイ

ム T_{sec} 中の $S_1, S_2, \dots, S_n$ の合計を ΣS_n とすれば、荷役装置が荷役サイクルタイム T_{sec} を周期とし運転されているということから、(3-9) 式の右辺の最大値は、 ΣS_n より大きなことはないと考えられる。

ここで $V, \cos \varphi$ は一定、電力分布は正規分布に従うものとするならば、(3-9) 式より (3-10) 式を得る。

$$\phi(z) - z \int_z^{\infty} \phi(z) dz \leq \alpha \left(z + \frac{\bar{x}}{\sigma} \right) \quad (3-10)$$

ただし、

$$\phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} z^2} \quad (3-11)$$

$$\alpha = t_0 \cdot \frac{\Delta I_0}{I_0} \cdot \frac{1}{T} \quad (3-12)$$

であり、

$$g(z) = \phi(z) - z \int_z^{\infty} \phi(z) dz \quad (3-13)$$

$$y(z) = \alpha \left(z + \frac{\bar{x}}{\sigma} \right) \quad (3-14)$$

とするならば (3-10) 式、すなわち、(3-9) 式を満足する z の値は、 $g(z)$ と $y(z)$ の交点で与えられる z の値以上を選べば良い。(3-13) 式は z のみの関数であり、図 7 に示す。(3-14) 式は $\alpha, \bar{x}, \sigma$ をパラメータとする z の関数であるが直線であるので簡単にグラフ上に作図でき、 z の値も容易に求めることができる。

図 7 係数を求める図表

3.3 計算例 上記に述べた計算方法により荷役電力の計算例を以下に示す。対象船の荷役装置は電動油圧式デッキクレーンを 5 台装備しており要目は表 1 に示す。

(1) 係数 z の値 ケース 1 の方法では、荷役装置の最大荷役サイクルタイム T は 255 sec であるので、 z の値は図 4 より表 2 に示すようになる。

ケース 2 の方法では、発電機保護用 OCRy の設定点を $I_0 + \Delta I_0 = 105\% I_0, 110\% I_0, 120\% I_0$ および $130\% I_0$ $t_0 = 10 \text{ sec}$ および 20 sec

表 1 荷役装置の要目

荷 役 装 置	台数	平均電力 (kW)	標準偏差 (kW)	荷役サイクル (sec)
10 t CRANE	1	69.7	30.1	187
16 t CRANE	3	74.2	28.1	247
20 t CRANE	1	83.9	34.7	255

表 2 z の値 (ケース 1 の場合)

OCRy 動作時間	z の値
10 sec	1.75
20 sec	1.40

表 3 z の値 (ケース 2 の場合)

OCRy 動作電流	105 % × I_0	110 % × I_0	120 % × I_0	130 % × I_0
OCRy 動作時間				
10 sec	1.75	1.50	1.25	1.05
20 sec	1.50	1.25	0.90	0.70

とした場合の z の値は (3-14) 式および図 7 より、それぞれ表 3 に示すようになる。

(2) 推定最大電力値

ケース 1 の方法 発電機保護用 OCRy の動作時間を 10 sec とすると z の値は約 1.75 となり

$$\begin{aligned} \text{平均電力 } \bar{x} &= 69.7 + 3 \times 74.2 + 83.9 \\ &= 376.2 \text{ kW} \\ \text{分散 } \sigma &= \sqrt{30.1^2 + 3 \times 28.4^2 + 34.7^2} \\ &= 67.3 \text{ kW} \end{aligned}$$

であるので

$$\begin{aligned} \text{荷役電力} &= 376.2 \text{ kW} + 1.75 \times 67.3 \text{ kW} \\ &= 494 \text{ kW} \end{aligned}$$

となる。

ケース 2 の方法 発電機保護用 OCRy の設定点を、ACBトリップ点付近に選び、130% $I_0 \times 20 \text{ sec}$ とすると z の値は 0.7 となり

$$\begin{aligned} \text{荷役電力} &= 376.2 \text{ kW} + 0.7 \times 67.3 \text{ kW} \\ &= 423 \text{ kW} \end{aligned}$$

となる。

上記計算例で、ケース 1 とケース 2 の方法で推定荷役電力値に差があるが、この差の原因は次のようである。ケース 1 の方法では、発電機保護用 OCRy の内、選択しゃ断用または警報用 OCRy も動作させないような z の値を選んでること、ケース 2 の方法では、ACBトリップ用 OCRy のみ動作させないような z の値を選んでることである。

一般に選択しゃ断用または警報用 OCRy の設定値は、前にも述べたように定格電流 $\times 110 \sim 130\% \times 10 \sim 20 \text{ sec}$ 程度であり、これらの OCRy を動作させないためには、本計算例では表 3 より z の値は 1.1 ~ 1.5 となる。

このように、ケース 1 による方法では十分余裕のある z の値が算出され、ケース 2 による方法では、選択しゃ

断用または警報用 OCRy は動作するかもしれないが、ACBはトリップしないような最小の α の値を算出する。

したがって、実際の荷役電力推定においてはこれらのことを考慮に入れ、適切な α の値を決定しなければならない。

4. 母線電圧降下

4.1 自励交流発電機の瞬時電圧降下 発電機の電圧変動は、比較的時間をかけて少しずつ発電機の負荷を変動させた場合に生ずる電圧変動と、電源容量に対して比較的大きい負荷を投入、あるいはしゃ断時に生ずるいわゆる瞬時電圧変動とに分けられる。甲板機械や荷役機械は、他の船内負荷に比べて、特に短時間の間に、発停またはノッチ切換などを繰り返すので、発電機にかかる負荷が変動するが、このとき発電機に生ずる瞬時電圧変動値および電圧回復特性が問題となる。

瞬時電圧降下の大きさは、突入負荷の発電機定格容量に対する割合と、発電機の過渡リアクタンスおよび次過渡リアクタンスの平均値によって決定されることが、ほぼ実験的に確かめられている。

誘導電動機を始動するような場合、始動力率が非常に悪く、電流を制限するものは、ほとんど負荷リアクタンスと考え、また、発電機においても、電機子抵抗はリアクタンス分比べて小さいので省略すると、発電機が無負荷状態から負荷を投入したとき、負荷投入前の端子電圧を E_1 、負荷投入後の端子電圧を E_2 とすると、電圧変動率は近似的につぎのように表わされる。

$$\Delta E = \frac{E_1 - E_2}{E_1} = \frac{x_d'''}{x_d''' + x_l} \quad (4-1)$$

ここで、 $x_d''' = \frac{x_d' + x_d''}{2}$ ；瞬時電圧変動を決定する近似

的等価リアクタンス

x_d' ；発電機直軸過渡リアクタンス

x_d'' ；発電機次過渡リアクタンス

x_l ；外部（負荷）リアクタンス

自励式の場合、同一突入負荷に対して瞬時電圧降下は、基準負荷のある場合の方が無い場合に比べてかなり少なくなる事が経験的に知られている。この原因については、つぎのような理由によると考えられる。

基準負荷が誘導電動機の場合、発電機の端子電圧が急に降下すると、誘導電動機自体としてはもとの電圧を維持しようとする作用がある。したがって、瞬間的に誘導電動機は発電機となり、電圧降下を補償する無効電流が誘導電動機から発電機に逆流するから、この分だけ瞬時電圧降下は少なくなる。

4.2 荷役機械使用時の突入電流と自励式発電機の電圧降下 前に述べたように、甲板機械や荷役機械は短時間の間にひん繁に発停、あるいはノッチ切り替えを行う。甲板、あるいは荷役機械が1台だけの場合は、1台分の始動時、あるいは切り替え時の突入電流と使用

サイクルから、発電機の瞬時電圧変動率と電圧回復時間を考えればよい。しかし、2台以上ある場合には、発電機容量の検討の場合と同様、突入電流の重なりを考える必要がある。

つぎに甲斐氏の論文⁵⁾にしたがって突入電流の確率的考え方を説明する。

(1) 突入電流の確率的考え方 1台のウィンチは、1荷役サイクル中ほぼ決ったノッチシフトを行い、そのたびごとに異なった突入電流を発生する。計算の便宜上、それらのノッチシフトはすべて等間隔に起こり、そのたびに同じ値の突入電流が発生すると仮定する。

いま、1荷役サイクルに要する時間を T 秒、この間に等間隔に発生するノッチシフトの数を n 個とすると、 T/n 秒に1回だけある決った大きさの突入電流が発生する。発電機の端子電圧は、突入電流が発生した直後に降下し、ある時間の後にほぼ突入前の値に回復することが考えられる。回復に要する時間は一定で x 秒と仮定すると、任意の1台のウィンチの突入電流によって、端子電圧は T/n 秒に1回だけ x 秒間続く電圧降下を生ずるといえる。いいかえると任意の1台のウィンチの突入電流によって任意の瞬間に瞬時電圧降下を生じている確率 p は

$$p = \frac{x}{T/n} = \frac{nx}{T} \quad (4-2)$$

電圧降下を生じていない確率は、

$$1-p = 1 - \frac{nx}{T} \quad (4-3)$$

ある瞬間に N 台の全ウィンチ中 r 台が突入を起こし、残りの $(N-r)$ 台が突入を起こしていない確率は

$$p_r = {}_N C_r p^r (1-p)^{N-r} \quad (4-4)$$

$$= {}_N C_r \left(\frac{nx}{T}\right)^r \left(1 - \frac{nx}{T}\right)^{N-r} \quad (4-5)$$

したがって、ある瞬間に N 台の全ウィンチ中の少なくとも k 台が重複して突入を起こしている確率 p_k は

$$p_k = \sum_{r=k}^N {}_N C_r p^r (1-p)^{N-r} \quad (4-6)$$

$$= \sum_{r=k}^N {}_N C_r \left(\frac{nx}{T}\right)^r \left(1 - \frac{nx}{T}\right)^{N-1} \quad (4-7)$$

このようにして求めた p_k の値が十分に小さく、たとえば、1年間運航しても1回も起こらない程度のものであれば、その時には k 台以上のウィンチが重複して同時に突入を起こすことを心配しなくてよい。すなわち、発電機としては k 台より少ない数のウィンチが重複して突入を起こす場合の対策さえ考えておけばよい。

いま、1年間船を運航したときの荷役時間の総計を H 秒とすれば、考慮すべき最低の確率 $p_{\min}$ は

$$p_{\min} = \frac{x}{H} \quad (4-8)$$

(4-7)、(4-8)式から $p_k > p_{\min}$ 、すなわち

$$\sum_{r=k}^N N C_r \left(\frac{nx}{T} \right)^r \left(1 - \frac{nx}{T} \right)^{N-r} > \frac{x}{H} \quad (4-9)$$

を満足する k の値の中で最大値 K をとれば、 K が考慮すべき最大の重複回数である。

上式で $T/n=3.5$ 秒、 $H=1,000$ 時間として、ウィンチ台数 12 台、 k をパラメータにとり、 p_k および $p_{\min}$ を x の関数として計算した例を図 8 に、また (4-9) 式を満足する k の値中の最大値 K を表 4 に示す。

これから発電機の応答速度(回復時間) x が考慮すべき重複台数 K にかに大きく影響するかがわかる。

船の荷役機械の台数要目が決ると荷役サイクルの推定を行い、さらにその荷役機械の 1 年間の荷役時間の総計を仮定することにより、(4-7)、(4-8) 式より図 8、表 4 と同様のものができる。

重複する確率をどれくらいにするかは使用者と協議のうえ決定する必要がある。

図 8 ウィンチ突入電流の重複する確率

表 4 重複を考慮すべきウィンチ台数

x (Hz) 電圧回復時間 N (sets) ウィンチ台数	4	10	20	40	100
2	2	2	2	2	2
4	4	4	4	4	4
6	5	5	6	6	6
8	5	6	7	8	8
10	6	7	8	9	10
12	6	7	9	11	12
14	6	8	9	11	14
16	6	8	10	13	16
18	7	9	11	14	18
20	7	9	11	14	20

4.3 瞬時電圧降下と復帰時間 JEM1274(1970 年)「船用交流発電機標準仕様書」によると、瞬時電圧変動率および復帰時間は図 9 のように規定されている。

この特性は発電機、励磁機器、自動電圧調整器の特性を含み原動機の色度特性を考慮しないものである。復帰時間は励磁システムの特性により決ってくる。すなわち、復帰が始まる時、復帰の割合、復帰時間は励磁の度合、励磁システムの定数により定まるもので、個々にはその励磁システムの伝達関数を求めなければならない。

図 9 JEMによる瞬時電圧変動特性

現在、船用自励交流発電機の場合、復帰時間は 0.2 秒～0.5 秒程度である。ブラシレス発電機の場合、自励式に比べて回転励磁機の時定数分だけ復帰時間が遅れるが、この場合でも復帰時間 0.2 秒というものがかなり以前に開発されている。

4.1 項で述べたように瞬時電圧降下の大きさは、過渡リアクタンス x_d' と次過渡リアクタンス x_d'' および突入負荷の大きさによりほぼ決ってくる。いま、突入電流が発電機の定格電流の 80% で、瞬時電圧降下を 15% におさえるとすると、(4-1) 式より、 $x_1=1.25$ pu、 $\Delta E=0.15$ で

$$x_d''' = \{(1.25 \times 0.15) / (0.85)\} = 0.22$$

となる。すなわち、この仕様を満足させるためには x_d''' は 0.22 以下に設計しなければならない。

瞬時電圧降下の面からは x_d''' すなわち過渡リアクタンス、次過渡リアクタンスの値は小さいほどよい。しかし、よく知られているように、 x_d''' を小さい値に選ぶことは、突発短絡電流が大きくなる。したがって、回路保護装置は、それだけしゃ断容量の大きいものを使用しなければならない。それ故、 x_d''' は保護装置のしゃ断容量と突入負荷の大きさの両面から注意深く選定する必要がある。

瞬時電圧降下の限界は電磁接触器、継電器類が開放しないこと、あるいは、電灯のちらつきが大して気にならない程度にすべきである。制御機器類は正常動作範囲の低電圧の下限が 85% であるものが多い。

甲板機械や荷役機械の突入電流の重なりから考えると、 x_d''' は小さいほうがよく、特に復帰時間は短い方がよい。それ故、荷役サイクルが短く、ひん繁にノッチの切り替えを行う荷役機械を多数とう載する船舶は、復帰時間 0.2 秒程度の発電機を選ぶのが望しいと考える。

5. あとがき

荷役電力推定と船内電源計画について当会電気研究委員会の研究成果の一部を紹介したが、ここに、その概要をまとめるとつぎのようになる。

(1) 荷役機械の電力を推定するためには、荷役サイクルを仮定して、確率計算を行い、自乗平均電力、最大電力を計算する。

(2) 発電機容量決定に際しては、自乗平均電力、最大電力を考慮する必要がある。最大電力の限界、発電機の過電流継電器の設定値から決定する方法がある。

(3) 荷役機械用電動機の突入電流の重複については、確率計算を行い、発電機の瞬時電圧降下および電圧回復特性を十分検討する必要がある。

(4) 主電源計画に際しては荷役機械によって発生する逆電力を検討する必要がある。

荷役電力の推定は、これまで多くの研究が発表されているが、確立された方法はないのではないかと考える。ここに示したのも一方法であり、今後さらに検討しなければならない問題を多く含んでいると考える。

最初に述べたように、本稿は当会電気研究委員会で研

究された成果である。本稿を発表するに当り、ご援助いただいた同委員会の委員の皆様に深く感謝いたします。

文 献

- 1) 日本舶用機関学会：船舶電気工学便覧(昭45-4), 53
- 2) 日本造船学会：船舶の荷役電力推定法(昭49-4), 79
- 3) 糸井：舶機誌6-6(昭46-6), 69
- 4) 糸井：舶機誌7-4(昭47-4), 34
- 5) 甲斐：三菱電機33-5(昭34-5), 25