

平成 26 年作成

# 船舶電気装備技術講座

(中級)

## 電気計算編

## は し が き

この指導書は船舶電気装備業務に従事し特に設計業務をされる方を対象とし、電気理論、電源計画など設計に必要な計算方法を広範囲にわたり記述したもので、いわば電気公式集である。

したがって、なお一層詳細に勉強したい方は他の専門図書を参考としてもらいたい。

本書はボートレースの交付金による日本財団の助成金を受けて作成したものである。

# 目 次

1. 電気理論.....	1
1.1 電流・電圧・抵抗.....	1
1.1.1 電流の大きさ.....	1
1.1.2 電圧の大きさ.....	1
1.1.3 電力.....	1
1.1.4 電力量.....	2
1.1.5 ジュールの法則とジュール熱.....	3
1.1.6 オームの法則.....	5
1.1.7 電気抵抗、抵抗率、導電率.....	5
1.1.8 温度による抵抗の変化.....	6
1.1.9 抵抗の変化を利用した温度測定.....	7
1.2 静電気・電流による磁界.....	7
1.2.1 静電容量（一般式）.....	7
1.2.2 平行板の静電容量（平行板コンデン静電容量）.....	8
1.2.3 コンデンサの接続と合成容量.....	8
1.2.4 線電流による磁界.....	9
1.2.5 環状ソレノイド内部の磁界.....	9
1.2.6 無限長単層ソレノイド内部の磁界.....	9
1.2.7 起磁力.....	9
1.2.8 磁化力.....	9
1.2.9 磁束.....	9
1.3 電磁誘導.....	10
1.3.1 誘導起電力.....	10
1.3.2 平等磁界と直角方向を軸心として等速円運動をする導体の誘導起電力.....	11
1.3.3 交番起電力.....	11
1.3.4 周波・周期・周波数.....	11
1.3.5 インダクタンス.....	12
1.3.6 相互インダクタンス、自己インダクタンス.....	12
1.3.7 磁界中の電流に働く力（フレミング左手の法則適用）.....	13
1.3.8 直線状平行2導体間の電流力.....	13
1.3.9 磁氣的吸引力.....	14
1.4 交流の測定量・電力.....	15
1.4.1 交流の測定量.....	15
1.4.2 単相交流及び三相交流の電力.....	15
1.4.3 等価抵抗、等価インピーダンス、等価リアクタンス.....	16
1.4.4 電力量.....	16
1.5 回路網.....	17
1.5.1 オームの法則（再出）.....	17
1.5.2 インピーダンス.....	17
1.5.3 回路の合成インピーダンス.....	18
1.5.4 基本交流回路.....	20

1.5.5	R・L・Cなどの直列回路.....	21
1.5.6	R・L・Cなどの並列回路.....	23
1.5.7	共振条件.....	26
1.5.8	ホイートストンブリッジ回路.....	26
1.5.9	三相回路（正弦波平衡回路の場合）.....	27
1.5.10	回転磁界.....	30
1.5.11	回転磁界の回転速度（同期速度）.....	30
1.5.12	回転磁界の回転方向と逆転（三相の例）.....	31
1.6	復習問題(1).....	32
2.	計測.....	33
2.1	指示計器の確度上からの分類と用途.....	33
2.2	誤差と補正.....	33
2.3	分流器（直流電流測定の場合）.....	33
2.4	倍率器（直流電圧測定の場合）.....	33
2.5	計器用変流器（交流電流測定の場合）略して CT.....	34
2.6	計器用変圧器（交流電圧測定の場合）略して PT.....	34
2.7	中抵抗の測定.....	34
2.7.1	被測定抵抗 R が大きい場合.....	34
2.7.2	被測定抵抗 R が小さい場合.....	34
2.7.3	ホイートストンブリッジ法.....	34
2.8	直流電力の測定.....	35
2.9	単相交流電力・力率測定.....	35
2.9.1	3電圧計法.....	35
2.9.2	3電流計法.....	35
2.10	三相交流電力の測定.....	36
2.10.1	2電力計法.....	36
2.10.2	1電力計法.....	36
2.11	三相交流力率の測定.....	36
2.12	水抵抗器の設計.....	37
2.12.1	二極平行平板電極の場合.....	37
2.12.2	三極円筒形電極の場合.....	37
2.12.3	三極平行平板電極の場合.....	37
2.12.4	液の抵抗.....	37
2.12.5	電流密度.....	38
2.13	復習問題(2).....	38
3.	配電.....	39
3.1	配電方式.....	39
3.1.1	直流又は単相2線式電線量.....	39
3.1.2	直流又は単相3線式電線量.....	39
3.1.3	三相3線式電線量.....	40
3.1.4	三相4線式電線量.....	40
3.1.5	各方式の電線量比較.....	41
3.1.6	同一断面積の導体1本当りの配電電力の比較.....	41

3.2	配電回路の電圧降下	41
3.2.1	直流 2 線式単一負荷の電圧降下	41
3.2.2	直流 2 線式多数負荷の電圧降下	42
3.2.3	交流単相 2 線式単一負荷の電圧降下	42
3.2.4	交流三相 3 線式単一負荷の電圧降下	42
3.2.5	$k_1$ と $\delta$ について (3.2.1、2、3 及び 4 項に関連)	43
3.2.6	電圧降下許容値	45
3.3	負荷力率改善用コンデンサの容量計算	46
3.4	力率改善用コンデンサ容量と設置	47
3.5	配電回路における短絡電流計算	49
3.5.1	最大推定短絡電流の目安	49
3.5.2	配電回路の短絡電流計算法の一方法 (パーセントインピーダンス法)	49
3.6	復習問題(3)	59
4.	一次電源	60
4.1	電源計画	60
4.1.1	直流	60
4.1.2	交流	60
4.1.3	発電機容量算定と電力調査表	60
4.1.4	需要率、不等率、負荷率	61
4.2	復習問題 (4)	63
4.3	発電機械	64
4.3.1	直流発電機	64
4.3.2	交流発電機	65
4.3.3	集魚灯用発電機の出力	68
4.4	復習問題 (5)	70
5.	二次電源	71
5.1	変圧器	71
5.1.1	電圧、電流と巻数比の関係	71
5.1.2	定格容量 (定格出力)	71
5.1.3	効率	71
5.1.4	等価回路	72
5.1.5	電圧変動率	72
5.1.6	変圧器の短絡インピーダンス	75
5.1.7	単相変圧器三相結線時の容量	76
5.1.8	単相変圧器 V 結線時の容量	76
5.1.9	変圧器のスコット結線 (T 結線)	77
5.1.10	並列運転の条件	79
5.1.11	単巻変圧器 (オートトランスフォーマ)	79
5.2	蓄電池 (鉛蓄電池)	80
5.2.1	鉛蓄電池の充放電反応	80
5.2.2	電解液比重	81
5.2.3	蓄電池の放電条件	81
5.2.4	容量	81

5.2.5	容量の温度換算 .....	81
5.2.6	充電中のガス発生量（蓄電池 1 セル当り） .....	81
5.2.7	蓄電池の強制換気量 .....	82
5.2.8	蓄電池の短絡電流計算式 .....	82
5.3	復習問題（6） .....	82
6.	電動機と応用 .....	83
6.1	直流電動機 .....	83
6.1.1	端子電圧・逆起電力 .....	83
6.1.2	毎分回転速度 .....	83
6.1.3	トルク（回転力） .....	83
6.1.4	入力 .....	83
6.1.5	出力 .....	83
6.1.6	効率 .....	84
6.1.7	規約効率 .....	84
6.1.8	速度変動率 .....	84
6.2	単相誘導電動機 .....	84
6.3	三相誘導電動機 .....	84
6.3.1	入力 .....	84
6.3.2	出力 .....	85
6.3.3	回転磁界の回転速度（同期速度） .....	85
6.3.4	すべり（slip） .....	85
6.3.5	電動機の回転速度 $n = \left(1 - \frac{s}{100}\right) \times n_s$ .....	85
6.3.6	効率 .....	85
6.3.7	トルク（回転力） .....	85
6.3.8	始動電圧と始動トルクとの関係 .....	87
6.3.9	始動器による始動電流 .....	87
6.3.10	負荷時間率（%ED） .....	88
6.3.11	短時間定格の定格時間と%ED との関係 .....	88
6.4	三相誘導電動機の推定始動時間 .....	88
6.4.1	理論式 .....	88
6.4.2	巻線形三相誘導電動機の場合の経験式 .....	89
6.4.3	減電圧始動方式における経験式 .....	89
6.5	電動力応力 .....	89
6.5.1	補機用電動機 .....	89
6.5.2	全電動式操舵装置 .....	93
6.5.3	ベルトコンベヤ .....	93
6.6	衝撃による応力 .....	94
6.7	振動加速度 .....	95
6.8	復讐問題（7） .....	97
7.	電気加熱 .....	98
7.1	熱量の単位 .....	98
7.2	所要加熱電力量 .....	98

7.3	所要加熱電力	98
7.4	電熱器の容量計算	99
7.4.1	湯沸器	99
7.4.2	電気暖房器	99
7.4.3	機関機器用加熱器	100
7.5	交流アーク溶接機	101
7.5.1	定格使用率	101
7.5.2	温度上昇	101
7.5.3	許容使用率	102
7.6	復習問題 (8)	103
8.	電灯照明	104
8.1	光源	104
8.1.1	タングステン電球特性	104
8.1.2	蛍光灯の特性	105
8.2	照明の基礎	106
8.2.1	光束	106
8.2.2	照度	106
8.2.3	光度	106
8.2.4	輝度 (輝き)	107
8.2.5	反射率、透過率、吸収率	108
8.2.6	光束発散度	109
8.2.7	電灯の効率	110
8.2.8	照明率	110
8.2.9	器具効率	110
8.3	照度と光度との関係	110
8.3.1	光の方向に垂直な面の照度	110
8.3.2	光の方向に対し面が角度 $\theta$ 傾いた場合の照度	110
8.4	点光源による直射照度	111
8.5	球光源による照度	112
8.6	被照面に平行な有限直線光源による直射照度	113
8.7	室内照明計算	114
8.7.1	光束法	114
8.7.2	灯数決定の簡便法	115
8.8	投光照明	116
8.8.1	投光器の位置と取付け高さ	116
8.8.2	投光器数の計算	116
8.9	航海灯の光度	117
8.10	探照灯の光度 (照射距離との関係)	117
8.11	探照灯の最大光度	118
8.12	地理学的光達距離	118
8.13	復習問題 (9)	119
9.	復習問題解答	120

10. 付録、理工学及び求積関係公式	126
10.1 理工学関係式	126
10.1.1 慣性モーメント〔J〕とはずみ車効果〔GD <sup>2</sup> 〕	126
10.1.2 各種慣性モーメント	127
10.1.3 はずみ車効果（GD <sup>2</sup> ）の測定	127
10.1.4 合成はずみ車効果の例	129
10.1.5 圧力、張力の強さ	129
10.1.6 密度	129
10.1.7 比重	129
10.1.8 運動の速さ	129
10.1.9 比熱	129
10.1.10 湿度	130
10.1.11 音波の速度測定法	130
10.1.12 うなりの定理	130
10.1.13 周期と振動数	130
10.1.14 運動のエネルギー	130
10.1.15 位置のエネルギー	130
10.2 求積の式	130
10.2.1 三角形の面積	130
10.2.2 矩形の面積	130
10.2.3 平行四辺形の面積	130
10.2.4 台形の面積	130
10.2.5 円の面積	130
10.2.6 扇形の面積	130
10.2.7 球の表面積	130
10.2.8 直角筒(直円筒)の側面積	130
10.2.9 立方体の体積	131
10.2.10 球の体積	131
10.2.11 角筒(円筒)の体積	131
10.2.12 角筒(円錐)の体積	131
10.2.13 円周の長さ	131
10.3 ギリシャ文字	132