

目 次

第 1 章 電気機器の基本事項

1.1 電気機器発展の簡易史	1
1.2 関連する電磁気学の基本法則	3
1.2.1 誘導起電力	3
1.2.2 アンペアの周回路の法則	4
1.3 フェーザと空間ベクトル	5
1.3.1 フェーザ	6
1.3.2 空間ベクトル	6
1.3.3 空間ベクトルの表記	9
1.4 多様化する電源	9
1.4.1 電圧源と電流源	11
1.4.2 三相一体化電源	13
1.5 発電機と電動機の可逆性	15
1.6 回転方向の定義	16
総合問題	16

第 2 章 強磁性材料の物性と静止形機器

2.1 強磁性材料の物性	17
2.2 鉄心入りコイルの特性	20
2.3 リアクトルの損失と等価回路	22
2.3.1 銅損と鉄損	22
1. ヒステリシス損	23
2. 渦電流損	24
2.3.2 リアクトルの等価回路	24
2.3.3 二巻線リアクトルと変圧器	25
2.3.4 変圧器回路	27
2.3.5 変圧器の等価回路	28
1. 一次側換算等価回路	30
2. 二次側換算等価回路	31

3. 特殊なターン数比で換算された等価回路	32
2.3.6 多巻線リアクトルと変圧器の利用の諸形態	33
1. 変換器用二巻線リアクトルとして	34
2. 変換器用変圧器として	35
3. インピーダンス変成器として	35
4. コモンモードフィルタとして	36
5. 直流リアクトルとして	37
6. 空隙入りリアクトルとして	38
2.4 永久磁石を含む磁気回路とその特性計算	40
2.4.1 代表的な永久磁石の特性	40
2.4.2 永久磁石を含む磁気回路の計算	41
2.4.3 永久磁石の不可逆減磁	44
2.5 電力用変圧器の特性	46
2.5.1 電力用変圧器の等価回路	46
2.5.2 変圧器回路のフェーザ図	48
2.5.3 規格、定格と変圧器の諸特性	49
1. 規格と定格	49
2. 電圧変動率	50
3. 損失と効率	53
4. 変圧器の定数測定	54
2.5.4 電力用変圧器の過渡現象	55
1. 突入電流	55
2. 短絡電流	57
3. 電位振動	57
2.6 電力用変圧器の構成と各種変圧器	58
2.6.1 電力用変圧器の基本構成	58
2.6.2 三相変圧器の構成	60
2.6.3 三相を含む多相変圧器とその結線	61
1. 対称三相結線	61
2. V結線	62
3. 千鳥結線	63
4. スコット結線	63
2.6.4 単巻変圧器	65
2.6.5 誘導電圧調整器	66
2.6.6 漏れ変圧器	67
2.6.7 計器用変成器	68
1. 変流器	69
2. 計器用変圧器	70
2.6.8 高周波用変圧器とリアクトル	70
総合問題	71

第3章 誘導機の古典的解析

3.1 電動機の原理と回転磁界	73
3.1.1 固定子巻線による磁界と巻線係数	75
1. 巻線の構成	76
2. 巻線電流による磁界の分布	77
3. 巻線係数	80
4. 短節巻とその巻線係数	80
5. 等価集中巻線とその有効ターン数	82
3.1.2 三相固定子巻線による回転磁界	82
3.1.3 極対数、同期角速度と同期速度	84
3.1.4 空間高調波による回転磁界	86
3.2 商用電源による誘導機の駆動	87
3.2.1 誘導機の構造と特性	87
3.2.2 巻線の誘導起電力とインダクタンス	88
3.2.3 誘導機の特性とその応用	92
1. フェーザで表現された誘導機の等価回路	92
2. 誘導機等価回路の換算	94
3. 誘導機の損失、出力とトルク	96
4. 特性算出	97
5. 円線図	98
6. 比例推移	100
7. 静止セルビウス装置	102
3.2.4 三相誘導機の定数測定	104
1. 固定子抵抗測定試験	104
2. 無負荷試験	105
3. 拘束試験	106
3.2.5 回転子かご巻線の変換	106
3.3 単相誘導電動機	108
3.3.1 単相誘導電動機の始動	109
3.3.2 くま取りコイル形単相誘導機	110
総合問題	111

第4章 同期機の古典的解析

4.1 同期機の原理と構造	112
4.2 同期機の等価回路と特性	114
4.2.1 界磁による誘導起電力と等価回路	114
4.2.2 空間的なベクトル量とフェーザの関連	116
4.2.3 同期機のトルク特性	119
4.2.4 巻線抵抗無視の場合のトルク特性	121

xii	目次	
4.2.5	パラメータの調整に伴う特性の推移——V曲線	123
	1. 巻線抵抗無視の場合	123
	2. 巻線抵抗考慮の場合	124
	3. ブロンデル線図の作図法と特性演算	125
4.2.6	突極同期機	127
	1. dq軸法による突極同期機の解析	128
	2. 突極同期機のトルク特性	131
	3. リラクタンスマータ	134
4.2.7	発電機の運転と電力調整	134
	1. 無効電力の調整	135
	2. 同期化作用	136
	3. 制動巻線とその機能	137
4.2.8	電力工学が培った伝統的手法	140
	1. 電機子反作用	140
	2. 単位法(百分率法)によるパラメータの表示	143
4.2.9	同期機の基本的定常特性と定数測定	145
	1. 無負荷特性	145
	2. 短絡特性	146
	3. 負荷特性	147
	4. 突極同期機の特性測定	148
4.3	同期機の付帯的問題	149
	4.3.1 同期機の始動	149
	4.3.2 ブラシレス化	150
	総合問題	151

第5章 直流機とその解析

5.1	直流機の構造と原理	153
	5.1.1 電機子電流の整流	155
	5.1.2 抵抗整流	156
	5.1.3 電機子反作用とその影響	157
	5.1.4 電圧整流	158
	5.1.5 極対数と電機子巻線方法	158
5.2	直流機の動作	160
	5.2.1 誘導起電力	160
	5.2.2 出力トルク	161
	5.2.3 直流機の等価回路と特性方程式	162
	5.2.4 直流機の基本特性	163
	1. 無負荷飽和特性	163
	2. 無負荷界磁速度特性	164
	3. 負荷速度特性	164

	目次	xiii
5.2.5	接続方式と出力特性	166
	1. 他励直流機と速度制御	166
	2. 分巻直流機	167
	3. 直巻直流機	168
5.3	交流整流子電動機	169
5.4	ブラシレスDCモータ	170
	総合問題	170

第6章 空間ベクトル法による電気機器理論

6.1	座標変換による三相量の一括処理——空間ベクトル法	171
	6.1.1 三相量の空間ベクトル表示	171
	6.1.2 三相交流回路の空間ベクトル表示	174
	6.1.3 回転座標系における空間ベクトル	177
	6.1.4 空間ベクトルの時間微分	179
	1. 静止座標系の場合	179
	2. 回転座標系の場合	180
6.2	回転機器における空間ベクトル法の適用	183
	6.2.1 磁束空間ベクトルと電流空間ベクトルの定義	184
	6.2.2 空間ベクトルに基づく回転機方程式	185
	1. 三相合成の電流空間ベクトル	185
	2. 空間座標における回路インピーダンス	186
	3. 固定子回路方程式	188
	4. 回転子回路の方程式と基本方程式	189
	5. 実機方程式からの直接変換	194
	6. 空間ベクトル値によるトルクの演算	198
	6.2.3 電気機器理論の注意点	200
	総合問題	203

第7章 誘導機の現代理論

7.1	商用電源による誘導機の駆動	205
	7.1.1 かご形誘導機の定常特性	205
	7.1.2 T形とL形等価回路	209
	7.1.3 古典的方法との対照およびその結果の転用	210
	7.1.4 始動など過渡現象の解析	211
7.2	制御電圧源による誘導機の駆動	214
	7.2.1 高調波成分が多い場合の解析	214

xiv	目 次	
7.2.2	E/f 比例推移と V/f 制御	219
7.2.3	両側給電誘導機の駆動	221
	1. 定常方程式	223
	2. 交流励磁同期発電電動機としての動作	223
	3. 両側給電誘導機としての動作	226
	4. 両側給電誘導機の特徴と制御	227
	5. 短絡バーによる保護	228
7.2.4	直接トルク制御	228
7.3	制御電流源による誘導機の駆動	231
7.3.1	電流源駆動に適したかご形誘導機の基本等価回路	231
7.3.2	滑り周波数制御	233
	1. 線形トルク制御方式	234
	2. 最大効率方式	235
	3. 空間ベクトル制御方式：過渡特性考慮の線形トルク制御	238
	4. 空間ベクトル制御システムとシミュレーション	241
	5. 誘導機空間ベクトル制御の実務：電圧補償	246
	6. 電圧制限下の空間ベクトル制御	248
	7. 電圧制限下の実務的制御法：定出力制御	252
7.3.3	磁束オリエンテーション制御	254
	1. 電圧モデルから磁束を演算する方式	255
	2. 電流モデルから磁束を演算する方式	255
総合問題		256

第 8 章 同期機の現代理論

8.1	同期機の基本方程式および商用電圧源駆動特性	258
8.1.1	同期機の方程式と動作原理	258
	1. 同期電動機としての動作	259
	2. 同期発電機としての動作	262
8.1.2	円筒形同期機の特性	263
8.1.3	突極同期機の特性	264
8.1.4	制動巻線を有する同期機の特性	267
	1. 電氣的な過渡的特性	268
	2. 機械的な過渡特性	272
8.2	制御電圧源による同期機の駆動	274
8.2.1	制御電圧源による同期機の V/f 制御	274
8.2.2	大容量同期機の電圧源駆動	275
8.2.3	小容量同期機の電圧源駆動	276
8.2.4	交流励磁同期機	276
8.3	制御電流源による大容量同期機の駆動	277

	目 次	xv
8.3.1	線形トルク制御の原理	277
8.3.2	線形トルク制御の実現	282
8.4	制御電流源による永久磁石同期機の駆動	283
8.4.1	永久磁石同期機の構造	283
	1. 回転子の構造	284
	2. 固定子巻線の構造	287
8.4.2	埋込磁石同期機とその制御	289
	1. IPMSM 制御用空間ベクトル図——SM チャート	291
	2. SM チャートの作図法	294
	3. 最大トルク制御	294
	4. 100% 力率制御	301
	5. 最大効率制御	302
	6. 電圧制限下の空間ベクトル制御	307
	7. IPMSM のトルクの構成と電動機の種類	310
	8. 弱い磁石を持つ IPMSM 制御の特殊性	312
8.4.3	表面磁石同期機とその制御	314
8.4.4	SM チャートの意義	315
8.4.5	永久磁石同期機駆動の問題点	316
	1. 高速回転時における電源喪失	316
	2. インダクタンスの飽和現象とその測定	316
	3. 中小容量電動機の機能比較	319
総合問題		320

第 9 章 その他の可変速電動機

9.1	ステッピングモータ(スイッチトリラクタンスモータ)	321
9.2	高分解能ステッピングモータ	324
総合問題		325

第 10 章 可変速駆動システム構成時の問題点

10.1	特殊な電圧波形による電動機巻線の絶縁劣化	326
10.2	コモンモード電流によるベアリングの腐食	327
10.3	放射ノイズに関連する EMC の問題	328
10.4	コグギングトルクと騒音	329
10.5	センサレス制御とパラメータ同定	329
10.6	システム電圧の選定	330
総合問題		331

参 考 文 献	332
総合問題の解答	336
索 引	346