



# 変圧器・誘導機・交流整流子機

(電 気 機 器 各 論 II)

## 目 次

### 第2章 変 圧 器

2.1 構造	161
2.1.1 変圧器の構成要素	161
2.1.2 鉄心	162
2.1.3 巻線	166
巻線の形式—巻線の絶縁	
2.1.4 タンクとブッシング	168
単一形ブッシング—油入ブッシング—コンパウンドブッシング—コンデン	
サブブッシング—共油形ブッシング	
2.1.5 冷却方式	169
2.1.6 変圧器油	170
2.2 等価回路	172
2.2.1 変圧器の等価回路	172
2.2.2 励磁電流	173
励磁電流—励磁突入電流	
2.3 電圧変動率	174
2.3.1 漏れインピーダンス	174
2.3.2 百分率電圧降下	175
2.3.3 電圧変動率	176
2.4 漏れリアクタンス	177
2.4.1 漏れインダクタンス	177
2.4.2 計算方法	178
交互配置の場合—同心配置の場合	
2.5 損失および効率	181
2.5.1 変圧器の損失	181
2.5.2 無負荷損	181
2.5.3 負荷損	182
2.5.4 損失の温度補正	183
2.5.5 効 率	184

2.5.6	全日効率 .....	185
2.6	温度上昇および冷却 .....	185
2.6.1	温度上昇限度 .....	185
2.6.2	短絡電流による温度上昇 .....	187
2.6.3	熱放散 .....	188
2.7	変圧器の三相結線 .....	189
2.7.1	変圧器の極性 .....	190
2.7.2	星形星形結線 .....	190
	線間電圧と相電圧—等価回路とベクトル図—結線を誤った場合—千鳥結線	
2.7.3	三角三角結線 .....	194
	線電流と相電流—等価回路とベクトル図	
2.7.4	三角星形結線 .....	197
	等価回路とベクトル図—不平衡負荷の場合—結線の誤り	
2.7.5	星形三角結線 .....	200
	等価回路—不平衡負荷—結線の誤り	
2.7.6	V結線 .....	202
	出力—等価回路とベクトル図	
2.7.7	三相結線の比較 .....	204
	星形星形結線—三角三角結線—星形三角結線あるいは三角星形結線	
2.7.8	高調波 .....	205
	励磁電流—対地電位	
2.7.9	三相変圧器 .....	206
2.8	相数の変換 .....	208
2.8.1	三相二相間の相数変換 .....	208
	スコット結線—その他の結線	
2.8.2	三相六相間の相数変換 .....	209
	環状結線—星形結線—対角結線—二重星形結線—二重三角結線—フォーク結線	
2.8.3	六相より多い相数への変換 .....	213
2.9	並行運転 .....	214
2.9.1	単相変圧器の並行運転 .....	214
	巻数比の等しい場合—巻数比の異なる場合	
2.9.2	三相変圧器の並行運転 .....	217
	位相—負荷分担	
2.10	電圧の調整 .....	220
2.10.1	変圧器のタップ .....	220

2. 10. 2	負荷時タップ切換変圧器 リアクトル式—抵抗式	222
2. 10. 3	負荷時電圧調整器	224
2. 10. 4	負荷時電圧位相調整器	225
2. 11	短絡時の電磁機械力	227
2. 11. 1	電磁機械力の発生	227
2. 11. 2	同心配置巻線の機械力 対称配置の場合—非対称配置の場合	227
2. 11. 3	交互配置巻線の機械力	232
2. 12	変圧器の異常電圧と絶縁	234
2. 12. 1	変圧器に加わる異常電圧と絶縁協調	234
2. 12. 2	変圧器の衝撃電圧特性	235
2. 12. 3	しゃへい変圧器	236
2. 12. 4	段絶縁変圧器	238
2. 13	各種の変圧器	239
2. 13. 1	三巻線変圧器	239
2. 13. 2	単巻度変圧器 星形結線—三角結線—辺延長三角結線—V結線	240
2. 13. 3	定電流変圧器	243
2. 13. 4	ピーク波変圧器	244
2. 13. 5	計器用変成器 変流器 (CT) —計器用変圧器 (PT)	245
2. 13. 6	試験用変圧器	250
2. 13. 7	リアクトル 限流リアクトル—分路リアクトル	251
2. 13. 8	消弧装置 消弧リアクトル—接地変圧器—消弧変圧器	251
2. 13. 9	磁気増幅器	252
2. 14	試験法	254
2. 14. 1	巻線の抵抗測定	254
2. 14. 2	変圧比の測定 横流法—変圧比測定	254
2. 14. 3	極性、相回転および角変位の測定 単相変圧器の極性試験—三相変圧器の相回転および角変位の試験	255
2. 14. 4	無負荷試験	256
2. 14. 5	インピーダンス試験	256

2.14.6	温度上昇試験	257
	温度測定法—温度上昇試験に対する注意—温度上昇試験負荷法	
2.14.7	絶縁耐力試験	259
	加圧試験—誘導試験—衝撃電圧試験	
2.15	変圧器の輸送, 組立および保守	261
2.15.1	変圧器の輸送	261
	組立輸送—分解輸送	
2.15.2	変圧器の現地組立	262
2.15.3	変圧器の乾燥	262
2.15.4	変圧器の日常の保守, 点検	263
2.15.5	変圧器の定期点検	263
2.16	その他	265
2.16.1	変圧器の騒音	265
2.16.2	消防法に関する問題	267
2.17	問題	267

### 第3章 誘導機

3.1	構造	269
3.1.1	構造の大要	269
	固定子わく—軸受ブラケットおよび軸受台—軸受—軸—スパイダー—通風翼—鉄心—巻線—スリップリングおよびブラシ	
3.1.2	形式による分類	274
	無保護形—半保護形—保護形—防滴形—防まつ形—防浸形—防滴保護形—全閉自冷形—全閉外扇形—全閉内冷形—全閉水冷形—全閉油冷形—全閉防じん形—全閉防水形—全閉水中形—防食形—安全増防爆形—耐圧防爆形—内圧防爆形—開放屋外形—全閉屋外形—他力通風形—開放管通風形—全閉管通風形	
3.2	誘導機のリアクタンス	278
3.2.1	励磁リアクタンス	278
3.2.2	スロット漏れリアクタンス	280
3.2.3	ギャップ漏れリアクタンス	282
3.2.4	コイル端漏れリアクタンス	284
3.2.5	固定子および回転子巻線の漏れリアクタンス	285
3.2.6	斜めスロット漏れリアクタンス	286
3.3	特性の算定	287

3.3.1	等価回路 .....	287
3.3.2	T形円線図法 .....	291
3.3.3	特性計算法 .....	297
3.3.4	漂遊負荷損 .....	301
	固定子スロット内の磁束によって固定子巻線中に生ずるうず電流損—コイル端漏れ磁束によって金属構造物に生ずる損失—ギャップの空間高調波磁束によって生ずる損失—斜めスロットのために生ずる鉄損の増加—漂遊負荷損の測定法	
3.4	高調波磁束による現象 .....	304
3.4.1	高調波磁束の発生 .....	304
3.4.2	異常トルク .....	306
3.4.3	振動および騒音 .....	309
3.5	特殊かご形誘導電動機 .....	310
3.5.1	等価回路と電流軌跡 .....	310
3.5.2	深みぞ形電動機 .....	311
	導体がくさび形の場合—導体がL形および凸形の場合	
3.5.3	二重かご形電動機 .....	316
3.5.4	深みぞかご形と二重かご形との比較 .....	320
3.6	多相誘導電動機の始動 .....	321
	スターデルタ始動—リアクトル始動—補償器始動	
3.7	速度制御および制動 .....	324
3.7.1	電源周波数を変化する方法 .....	324
3.7.2	磁極数を変化する方法 .....	324
	同一鉄心上に極数の異なる2組の独立した巻線を設ける場合—2組の固定子および回転子を設ける場合—1組の巻線のみを設けてその接続の変更によって極数を切替える場合	
3.7.3	二次抵抗制御法 .....	326
	負荷トルク一定の場合—負荷トルクが速度の二乗に比例する場合	
3.7.4	二次励磁による方法 .....	328
3.7.5	可飽和リアクトルによる方法 .....	331
3.7.6	電磁接手を用いる方法 .....	333
3.7.7	電動機のみで制御する方法 .....	334
	回生制動—誘導制動—単相制動—発電制動	
3.7.8	制動機を用いて制動する方法 .....	337
	油圧押し上制動機を用いた低速運転方式—うず電流制動機を用いた低速運転方式	

3.8	力率の改善	341
3.8.1	力率改善の必要性	341
3.8.2	コンデンサによる力率改善	341
3.8.3	進相機による力率改善	342
3.9	特殊運転	344
3.9.1	電圧と周波数の変化 一次電流と力率—始動電流と始動トルク—効率—温度上昇—周波数の変化	344
3.9.2	不平衡電圧下の三相誘導電動機 概説—電圧の対称分—不平衡電圧下の特性—円線図による算定法	346
3.9.3	不平衡電圧下の電動機の負荷限界	351
3.9.4	不平衡電圧運転の応用 一次1相に変圧器を入れる方法—一次1相にインピーダンスを入れる方法 —単相制動—不平衡電圧による速度制御	353
3.9.5	単相運転	356
3.9.6	コンデンサによる単相運転	358
3.9.7	二次回路が不平衡な場合	360
3.9.8	単相回転子 (ゲルゲル現象)	363
3.10	誘導機を使用する周波数変換機	365
3.10.1	概 説	365
3.10.2	誘導周波数変換機 二次周波数と二次無負荷電圧—特性の動力比	365
3.10.3	誘導周波数変換機の円線図	368
3.11	誘導発電機	371
3.11.1	誘導機の自己励磁現象 自励限界—自励電圧	371
3.11.2	自励誘導発電機	373
3.11.3	誘導発電機の用途	375
3.12	単相誘導電動機	376
3.12.1	対称座標法の応用	376
3.12.2	電流トルクおよび出力	378
3.12.3	始動電流と始動トルク 始動電流—始動トルク	380
3.12.4	コンデンサ電動機	382
3.13	特殊誘導電動機	384
3.13.1	同期運転 2台による同期運転—共通二次抵抗による運転—一次単相の同期運転	384

3.13.2	位置指示器	386
3.13.3	二相誘導電動機	389
3.13.4	相変換機	391
3.14	運転と保守	392
3.14.1	使用前の注意 清掃—巻線の絶縁状態の確認—軸受—すえ付の確認—電気回路—移設時の注意	392
3.14.2	始動時の注意	393
3.14.3	運転中の注意 負荷状態—音—振動—温度上昇と通風状態—潤滑状態—スリップリングとブラシ	394
3.14.4	始動時の故障とその原因 機械的故障—電気的故障	395
3.14.5	運転中の故障とその原因 機械的故障—電気的故障	398
3.15	試験	400
3.15.1	機械的点検 ギャップ—スリップリングとブラシ関係—軸受—異状振動と騒音	400
3.15.2	抵抗および二次電圧の測定	400
3.15.3	無負荷試験	401
3.15.4	拘束試験	402
3.15.5	特殊拘束試験	402
3.15.6	特性算定 運転特性の算定—始動特性の算定	403
3.15.7	負荷試験	405
3.15.8	温度試験	405
3.15.9	絶縁抵抗測定と絶縁耐力試験	406
3.15.10	すべりの測定と損失分離法 直流ミリボルト計法—すべりコイル法—受話器法—ストロボスコープ法	407
3.15.11	トルク測定	407
3.15.12	振動測定と騒音測定 振動の測定—騒音測定	409
3.15.13	その他	409
3.16	問題	409



## 第4章 交流整流子機

4.1 緒 論 .....	416
4.1.1 総 説 .....	416
4.1.2 交流整流子電動機の分類 .....	416
相数による分類—特性による分類—給電方式による分類	
4.2 単相整流子電動機 .....	417
4.2.1 単相直巻整流子電動機 .....	417
構造—特性	
4.2.2 反発電動機 .....	419
トムソン形—デリ形—アトキンソン形—その他	
4.3 三相直巻整流子電動機 .....	422
4.3.1 構 造 .....	422
4.3.2 動作原理とベクトル図 .....	424
4.3.3 特 性 .....	427
速度トルク特性—負荷特性—始動特性	
4.3.4 整流作用 .....	428
4.4 シュラーゲモータ .....	430
4.4.1 構 造 .....	430
4.4.2 動作原理とベクトル図 .....	432
4.4.3 特 性 .....	435
速度トルク特性—負荷特性—始動特性	
4.4.4 整流作用 .....	437
4.5 特殊形三相整流子電動機 .....	438
4.5.1 固定子給電形三相分巻整流子電動機 .....	438
4.5.2 縦続接続形三相分巻整流子電動機 .....	439
4.5.3 三相複合整流子電動機 .....	440
4.6 試験, 運転, 保守 .....	441
4.6.1 試 験 .....	441
4.6.2 運転と保守 .....	441
4.7 問 題 .....	442
索引	

## 電気機器各論 I

## 第1章 直 流 機