

目 次

第 1 章 変圧器諸問題の一般的性質

1・1	電気技術発達上の要因としての変圧器	1
1・2	変圧器の進歩の有力要因	1
1・3	入力と出力の対等性をもつ実際の意義	2
1・4	変圧器の問題の多様性とその起源	2
1・5	解析の簡素化	3
1・6	直列リアクタンスとしての変圧器	4
1・7	直列インピーダンスとしての変圧器	4
1・8	分路インピーダンスとしての変圧器	5
1・9	損失熱の放散	5
1・10	直列および分路インピーダンスに影響するその他の点	6
1・11	分布静電容量としての変圧器	7

第 2 章 変圧器の励磁特性，励磁電流ならびに鉄損

2・1	励磁電流の意義	8
2・2	励磁電流の実用限界	10
2・3	無負荷試験	10
2・4	鉄損測定値の正弦波ベースへの換算	11
2・5	全負荷時の鉄損	14
2・6	励磁電流の求め方	16
2・7	正弦波電圧印加時の励磁電流波形	20
2・8	励磁電流の高調波分	21
2・9	励磁突流	23
2・10	三相バンクの突流	32

2・11	最大突流の確率	34
2・12	突流の低減法	34

第 3 章 変圧器の励磁電流による非 3 倍調波現象

3・1	3 倍調波と非 3 倍調波とに分類する理由	36
3・2	注意を引く理由	37
3・3	非 3 倍調波の発生条件	37
3・4	現象の性質と等価回路	38
3・5	共振現象の計算	40
3・6	高調波電圧の線路に沿った分布	43
3・7	線路につながる負荷の影響	44
3・8	共振に関する実験	45
3・9	実験回路	45
3・10	データ	46

第 4 章 変圧器のインピーダンス特性

4・1	インピーダンス損	51
4・2	インピーダンス測定用試験回路	51
4・3	インピーダンス損の成分	52
4・4	インピーダンスボルトの成分	53
4・5	インピーダンス損と実効抵抗の計算	54
4・6	うず電流損	54
4・7	うず電流損の計算	55
4・8	うず電流損の低減	56
4・9	転位の方法	57
4・10	漂遊損	59
4・11	%インピーダンス	61
4・12	ベクトル図と等価回路	62

4・13	等価回路	65
4・14	励磁特性とインピーダンス特性の相互関係	66
4・15	リアクタンス	67
4・16	フラックス-プロットイング	80
4・17	イメージ法	80
4・18	巻線が多い場合の一般式	82
4・19	リアクタンスの許容値	84
4・20	漏れインピーダンスによる電圧変動	85

第 5 章 多巻線変圧器のインピーダンス特性

5・1	多巻線変圧器の必要性	88
5・2	多巻線変圧器の問題点	89
5・3	3巻線変圧器	89
5・3・1	等価回路法	89
5・3・2	3巻線変圧器の星形等価回路	90
5・3・3	試験による星形等価回路の求め方	91
5・3・4	3巻線変圧器の電圧変動率	92
5・3・5	3巻線変圧器の効率	96
5・3・6	負荷の分担	97
5・3・7	実効短路インピーダンス	97
5・3・8	3巻線変圧器と2巻線変圧器の並列運転	98
5・3・9	並列運転条件が適切でない場合の負荷曲線	100
5・3・10	3巻線変圧器2台の並列運転	101
5・3・11	2個の巻線を直列にした場合の実効インピーダンス	102
5・3・12	星形等価回路の物理的意味	103
5・3・13	負の漏れリアクタンスの意味	104
5・3・14	負の抵抗の意味	105
5・3・15	負のインピーダンスの意義	107
5・3・16	環状等価回路	108
5・3・17	試験による環状等価回路の求め方	108
5・3・18	千鳥形多相3巻線変圧器	109
5・4	4巻線以上の変圧器	112

5・4・1	等価回路	112
5・4・2	環状等価回路要素の試験による求め方	114
5・4・3	等価回路のリンクがもつ物理的意義	117
5・4・4	環状等価回路要素を漏れインピーダンスから求める方法	118
5・4・5	計算盤用の等価回路	123
5・5	5巻線変圧器の等価回路	124
5・5・1	多巻線変圧器の電圧変動率	124
5・6	5巻線以上の変圧器の電圧変動率	127

第 6 章 対称座標法による短絡電流と電圧

6・1	短絡電流	129
6・1・1	緒言	129
6・1・2	一般式	130
6・1・3	対称分の意味	130
6・1・4	線路ベクトルと巻線ベクトルとの関係	131
6・1・5	非対称三相ベクトルにおける各対称分の求め方	134
6・1・6	正相、逆相および零相インピーダンスの意味	140
6・1・7	対称分インピーダンスの簡単な応用	141
6・1・8	各種変圧器結線の零相インピーダンス	143
6・1・9	表記以外の結線	152
6・1・10	零相インピーダンスの測定法	152
6・2	短絡電圧	156
6・2・1	緒言	156
6・2・2	一般式	156
6・2・3	インピーダンス接地系統	157
6・2・4	抵抗接地系統	160
6・2・5	数式の誘導	161
6・2・6	“中性点”の説明	162

第 7 章 変圧器の結線

7・1	単相変圧器の結線	164
7・1・1	単相変圧器の並列運転—一般原則	164
7・1・2	単相変圧器の並列運転条件	164

7・1・3	電圧比が異なりインピーダンスが等しい場合	165
7・1・4	電圧比が等しく、インピーダンスが異なる場合	166
7・1・5	2台の変圧器に対する正確な図式解法	166
7・1・6	任意の変圧器数に対する解析法	167
7・1・7	電圧比とインピーダンス比がともに異なる場合	168
7・1・8	相互接続リードがもつインピーダンスの影響	169
7・1・9	インピーダンスの異なる変圧器の並列運転	169
7・2	三相変圧器の結線	170
7・2・1	変圧器の利用率と装置の経済性	170
7・2・2	対称性と高調波電圧ならびに電流	170
7・2・3	Δ - Δ 対 Δ -Y	171
7・2・4	Δ - Δ と Δ -Yバンクにおける負荷の配分	172
7・3	Δ - Δ 結線	173
7・3・1	Δ - Δ 結線の融通性	173
7・3・2	異容量 Δ - Δ バンクの最大三相出力	175
7・3・3	図式解法	176
7・3・4	不等変圧器 3 台 と線路の平衡負荷	177
7・3・5	式の誘導	178
7・3・6	Δ - Δ バンクの循環電流	179
7・3・7	Δ - Δ 結線内の電流分担	180
7・3・8	Δ - Δ 変圧器バンク内の電流分担の一般的な求め方	181
7・3・9	V結線	183
7・3・10	V結線バンクの電圧変動率	184
7・3・11	同時二重二次負荷	185
7・3・12	二次の全巻線と一次の 50% タップとでの同時負荷	186
7・4	Y-Y結線	186
7・4・1	中性点の不安定	186
7・4・2	磁化電流	187
7・4・3	線路と中性点間の不平衡負荷	188
7・4・4	第3調波磁化電流の抑制	188
7・4・5	第3調波現象におよぼす回路接続の影響	189
7・4・6	三相内鉄形変圧器のY-Y結線	190
7・4・7	千鳥結線(内接Y結線)	192
7・4・8	第3調波磁束を除去する方法	193

7・4・9	千鳥接地変圧器	194
7・5	Y- Δ 結線	198
7・5・1	一般的考察	198
7・5・2	Δ -Y バンクの非常運転	199
7・5・3	Y- Δ 変圧器バンク系統の中性点接地	200
7・5・4	Y- Δ バンクの磁化電流	203
7・5・5	第3調波磁化電流を供給するためのY- Δ バンクの使用	203
7・5・6	Y- Δ 変圧器の残留第3調波電圧	204
7・5・7	配電用 Δ -Y変圧器の線路と中性点間の単相負荷	205
7・6	Y-Y- Δ 結線	205
7・6・1	第3調波電位によるストレス	206
7・6・2	第3調波接地電流による通信線への誘導障害	206
7・6・3	基本周波数電圧の中性点を安定させる場合	206
7・6・4	三次巻線が負荷を供給する場合	208
7・7	非接地のY- Δ 変圧器バンクに単相と三相の同時負荷	208
7・7・1	代数計算法	208
7・7・2	許容単相負荷の求め方(単相負荷の力率1の場合)	210
7・7・3	最大合成負荷曲線	210
7・7・4	許容単相負荷の求め方(単相負荷の力率任意の場合)	212
7・7・5	同時負荷に関する変圧器定格曲線	213
7・8	三相系統にかかる単相負荷	214
7・8・1	単相負荷に供給している Δ 結線発電機とY結線発電機	219
7・8・2	単相と三相の同時負荷	219
7・8・3	変圧器バンク各相における不平衡負荷の配分	220
7・9	三相-二相変換	220
7・9・1	スコット結線(平衡T結線)	221
7・9・2	スコット結線の解析	221
7・9・3	スコット結線変圧器の電圧変動率	222
7・9・4	不平衡T結線	223
7・9・5	タップや巻数比の異なる変圧器による近似T結線	223
7・9・6	解析の一般的方法	224
7・9・7	相変換にY- Δ 変圧器バンクを使用	229

第 8 章 単巻変圧器の結線

8・1 単巻変圧器の長所	230
8・2 単巻変圧器の短所と限界	233
8・3 設計上の問題点	235
8・4 定 格	235
8・5 三相結線	238
8・5・1 Y結線	238
8・5・2 単相負荷	239
8・5・3 千鳥結線	241
8・5・4 二重千鳥結線	243
8・5・5 Δ 結線	244
8・5・6 辺延 Δ 結線	245
8・5・7 V結線	246
8・5・8 T結線	247
8・5・9 単巻変圧器のY, 千鳥, Δ , 辺延 Δ , V, ならびにT結線の比較	247
8・6 単巻変圧器の電圧ストレス	250
8・7 三相-二相変換	250
8・8 三相-六相変換	254
8・9 電動機起動用単巻変圧器	255
8・9・1 結 線	256

第 9 章 変圧器の温度特性

9・1 変圧器温度の算出式の発達	258
9・1・1 最終温度上昇	258
9・1・2 過渡的溫度上昇	258
9・1・3 数式の一般的適用	258
9・2 絶縁物に及ぼす温度の影響	259
9・3 劣化の研究結果	260
9・3・1 油に及ぼす温度の影響	264
9・3・2 短時間の高温	264

9・4 変圧器定格の温度規格	264
9・4・1 許容過負荷	266
9・5 変圧器の冷却方式による分類	266
9・5・1 油入自冷式	267
9・5・2 油入水冷式	267
9・5・3 送油式	267
9・5・4 油入風冷式	268
9・5・5 乾式自冷および乾式風冷式	268
9・6 熱伝達の様式	269
9・6・1 伝 導	270
9・6・2 放 射	272
9・6・3 対 流	275
9・6・4 大気圧と空気密度におよぼす標高の影響	279
9・6・5 強制対流	279
9・6・6 変圧器の温度上昇に及ぼす風の影響	280
9・6・7 放射と対流の両方による熱伝達	280
9・7 油入変圧器の定常温度上昇	283
9・7・1 自冷式変圧器の油温上昇	283
9・7・2 水冷式変圧器の油温上昇	286
9・7・3 冷却水、油および空気の所要流量	288
9・7・4 油に対する巻線の温度上昇	288
9・7・5 周囲温度に対する巻線の温度上昇	292
9・7・6 周囲温度による容量の変化	294
9・7・7 変圧器の温度上昇に及ぼす標高の影響	296
9・7・8 温度上昇に及ぼすタンクの色の影響	297
9・7・9 結 論	300
9・8 ケーブルの温度上昇	301
9・9 過渡的溫度上昇	304
9・9・1 油と巻線の過渡的溫度上昇計算用の記号	309
9・9・2 最高油温度上昇	310
9・10 油温度上昇算出の実用式	315
9・10・1 最高油温度に対する最高点温度上昇	315
9・10・2 過渡的溫度試験	316

9・10・3	通電停止後の冷却	319
9・10・4	変圧器の期待寿命に及ぼす短時間過負荷の影響とその評価	327
9・10・5	絶縁物の劣化判定に関する温度-時間面積の積分	327
9・11	過負荷運転指針	329
9・11・1	一般	329
9・12・2	周囲温度と正規の期待寿命が得られる運転法	331
9・11・3	周囲温度	331
9・11・4	寿命を犠牲にしない特定条件での運転	332

第10章 負荷時電圧調整回路の特性

10・1	負荷時電圧調整の原理	336
10・1・1	非対称位置と橋絡位置を交互に操作する方式	340
10・1・2	対称位置と橋絡位置を交互に操作する方式	342
10・1・3	対称位置だけで運転する方式	342
10・1・4	開閉器の機構	344
10・1・5	変圧器自体のリアクタンスで循環電流を制限する結線方式	345

第11章 負荷時タップ切換変圧器の代表的結線

11・1	負荷時タップ切換変圧器	347
11・2	直接式負荷時電圧調整器-1鉄心式	348
11・3	間接式負荷時電圧調整器-2鉄心式	349
11・4	小容量器の設計	350
11・5	電流しゃ断用に設計したタップ選択器	351
11・6	高速度開閉	351
11・7	閉磁路の直列リアクトル	352
11・8	単極開閉器	355

第12章 電圧調整装置の自動運転

12・1	電圧検出回路と線路電圧降下補償器	357
12・2	調整装置	358

12・3	時間遅れ	359
12・4	電動操作機構	359
12・5	発電制動	361
12・6	スプリング駆動式タップ切換器の電動機制御	361
12・7	直接駆動式の電動機制御 - 交流電動機の場合	362
12・8	直接駆動式の電動機制御 - 直流電動機の場合	363
12・9	電圧のステップ数	364

第 13 章 電圧調整器の応用

13・1	連係系統の電圧ならびに力率制御	366
13・2	連係系統での負荷時電圧調整器と同期調相機の比較	371

第 14 章 位 相 調 整

14・1	系統の定電圧維持点数と電圧調整器台数との関係	374
14・2	連係線ループ開放端間の電圧	374
14・3	ループ閉路の影響	375
14・4	発電所と負荷が各 1 個のループ	376
14・5	ループ内損失を最小にする電流分布	379
14・6	位相調整用変圧器結線	380

第 15 章 絶 縁 特 性

15・1	概 説	383
15・2	変圧器用固体ならびに液体絶縁物	384
15・3	絶縁強度に及ぼす電極形状の影響	384
15・4	厚さによる破壊強度の変化	385
15・5	気体絶縁物	386
15・6	固体絶縁物 - 試験基準	388
15・6・1	絶縁強度に及ぼす電圧印加時間の影響	390

15・6・2	絶縁強度に及ぼす周波数の影響	393
15・6・3	絶縁強度に及ぼす電圧印加時間と周波数の影響	394
15・7	絶縁物の衝撃絶縁強度	395
15・7・1	雷波形を模した試験電圧波形	395
15・7・2	衝撃電圧の V-t 曲線	396
15・7・3	温度の影響	402
15・8	変圧器油	403
15・8・1	絶縁強度に及ぼす電極形状の影響	403
15・8・2	絶縁強度に及ぼす油中溶存空気の影響	405
15・8・3	油の絶縁強度に及ぼす電圧印加時間の影響	409
15・8・4	油の絶縁強度に及ぼす周波数の影響	410
15・8・5	油の絶縁強度に及ぼす温度の影響	410
15・8・6	誘電率	411
15・8・7	油の粘度，比重および体積膨張率	411
15・8・8	比熱	412
15・9	アスカレル	412
15・9・1	概要	412
15・9・2	物理的性質	412
15・9・3	化学的安定性	413
15・9・4	揮発性	413
15・9・5	生理的性質	413
15・9・6	解乳化作用	414
15・9・7	誘電率	414
15・9・8	他の材料に及ぼすアスカレルの影響	416
15・10	誘電体損失	416
15・10・1	気体絶縁物	416
15・10・2	液体絶縁物	416
15・10・3	固体絶縁物	416
15・11	吸湿防止処理の効果	420
15・12	誘電率	420
15・13	電位傾度	422
15・13・1	交流平等電界内の複合誘電体	422
15・13・2	同心円筒間の電位傾度	424

15・13・3	平行な直線導体間の電位傾度	425
---------	---------------	-----

第 16 章 単巻変圧器の Y 結線における電圧ストレス

16・1	単巻変圧器の中性点と系統の中性点が共に接地の場合	428
16・1・1	1 線地絡の影響	430
16・1・2	第 3 調波特性	430
16・2	単巻変圧器の中性点と系統の中性点が共に非接地の場合	430
16・2・1	1 線地絡の影響	431
16・2・2	第 3 調波特性	432
16・2・3	線路の過渡現象	433
16・2・4	中性点過渡反転からの保護	433
16・3	単巻変圧器の中性点が非接地で系統の中性点が接地の場合	434
16・3・1	1 線地絡の影響	435
16・3・2	昇降単巻変圧器	435
16・3・3	降降単巻変圧器	437
16・3・4	中性点過渡反転	439
16・4	単巻変圧器の中性点が接地で系統の中性点が非接地の場合	439
16・4・1	1 線地絡の影響	439
16・4・2	第 3 調波特性	440
16・4・3	第 3 調波に関する結論	442

第 17 章 変圧器の過渡電圧特性

17・1	変圧器巻線と送電線の対比	444
17・2	定在波理論	447
17・2・1	初期電位分布	447
17・2・2	遷移期	449
17・3	波形の影響	452
17・3・1	波形の影響	452
17・3・2	変圧器巻線内部での減衰	453
17・3・3	実際の巻線設計	453
17・3・4	静電板	454
17・3・5	静電しゃ蔽, 非共振設計の原理	455

第 18 章 変圧器の絶縁協調

18・1 過電圧	462
18・1・1 絶縁協調が取り上げられるに至る経緯	462
18・1・2 各種の系統過電圧の大きさ と 性質	463
18・1・3 無拘束過電圧	463
18・1・4 開閉サージ	464
18・1・5 アーク地絡による過電圧	465
18・1・6 雷サージ	465
18・1・7 進行波ならびに直撃を摸した変圧器の衝撃電圧試験	467
18・2 保護装置	469
18・2・1 直撃防止装置	469
18・2・2 弁形避雷器	470
18・2・3 放出形避雷器	470
18・2・4 気中間げき	470
18・3 保護装置の配置	471
18・3・1 完全保護	471
18・3・2 部分保護	471
付録 1 変圧器内外規格対照表	476
付録 2 最高系統電圧と試験電圧一覧表 (油入変圧器)	488
付録 3 CSA 乾式変圧器の裕度 (CSAC 9-1966)	490