



# 目次

まえがき

## 序章 電力技術と技術者の使命 1

---

巨大かつ緻密な生きた有機的集合体	1
新陳代謝による生命維持と成長	1
エネルギー摂取と消費の収支同時・等量性	2
タフさと繊細性を併せ持つ有機体	2
能力を超える酷使が招く結果	3
最高度の精密な技	3

## 第1章 送電線の回路定数 5

---

1.1 $LR$ のみからなる送電線の特性	5
1.1.1 $LR$ からなる1回線送電線の特性(架空地線なしの場合)	5
1.1.2 架空地線のある1回線送電線の関係式	11
1.1.3 $LR$ のみからなる平行2回線送電線の関係式	12
1.2 送電線の漏れキャパシタンス	13
1.2.1 1回線送電線の漏れキャパシタンス	13
1.2.2 架空地線のある1回線送電線の漏れキャパシタンス	18
1.2.3 平行2回線送電線の漏れキャパシタンス	18
1.3 作用インダクタンスと作用キャパシタンス	19
1.3.1 作用インダクタンスの導入	19
1.3.2 作用キャパシタンスの導入	22
1.3.3 作用インダクタンスおよび作用キャパシタンスの特質	23
1.3.4 MKS有理単位系と電気系の実用単位	24

## 第2章 対称座標法 29

---

2.1 対称座標法の基本的考え方(変数変換法)	29
2.2 対称座標法の定義	30
2.2.1 対称座標法の定義	30
2.2.2 対称座標法による変換式の意味	32
2.3 3相回路から対称座標法回路への変換	35
2.4 送電線の対称座標法による表示	36
2.4.1 $LR$ からなる1回線送電線の対称座標法関係式と等価回路	36
2.4.2 $LR$ からなる平行2回線送電線の対称座標法関係式と等価回路	37
2.4.3 1回線送電線の漏れキャパシタンスに関する対称座標法等価回路	40
2.4.4 2回線送電線の漏れキャパシタンスに関する対称座標法等価回路	41
2.5 送電線の標準的な回路定数	43
2.5.1 架空送電線とパワーケーブルのLCR定数	43
2.5.2 進行波伝搬速度, サージインピーダンスから求める標準的 $L, C$ 値	43
2.6 発電機の対称座標法による表示	47
2.6.1 対称座標法関係式と等価回路の導入	47

2・6・2	発電機等価回路のリアクタンス定数について	49
2・7	3相負荷の対称座標法による表示	49
<b>第3章 対称座標法による故障計算</b>		<b>53</b>
3・1	対称座標法による故障計算の考え方	53
3・2	a相1線地絡故障	54
3・2・1	故障発生前の状況	54
3・2・2	a相故障発生	55
3・2・3	f点仮想端子0-1-2相電圧・電流の計算	55
3・2・4	故障時における任意の地点mの電圧・電流	56
3・2・5	負荷電流がゼロの場合	57
3・3	各種の故障計算	58
3・4	断線故障	58
3・4・1	a相1相断線故障	58
3・4・2	b-c相2線断線	63
<b>第4章 平行2回線の故障計算（多重故障を含む）</b>		<b>65</b>
4・1	2相回路の対称座標法（2相回路理論）	65
4・2	基本形回路の2相回路変換（2相回路の対称座標法変換）	66
4・3	平行2回線正・逆・零相回路の2相回路変換	68
4・4	平行2回線系統の対称分第1回路・第2回路の等価回路	69
4・5	平行2回線系統の故障計算（一般的手順）	71
4・6	平行2回線の片回線故障（単純事故）	74
4・6・1	1号線a相1線地絡故障	74
4・6・2	その他の故障種類の片回線（1号線）単純故障	75
4・7	平行2回線同時故障（同一地点多重事故）	75
4・7・1	同一地点（f点）1号線a相1線地絡・2号線b-c相短絡故障	75
4・7・2	同一地点1号線a相地絡・2号線b相地絡故障（解法1）	76
4・7・3	同一地点1号線a相地絡・2号線b相地絡故障（解法2）	77
4・7・4	その他の故障種類の同一地点両回線同時故障	79
4・8	平行2回線異地点同時故障	79
4・8・1	故障地点をf地点およびF地点とする系統回路条件	79
4・8・2	f地点1号線a相地絡・F地点2号線b相地絡故障	81
4・8・3	その他の種類の平行2回線異地点同時故障	81
<b>第5章 PU法の導入と変圧器の取り扱い方</b>		<b>83</b>
5・1	PU法の考え方（単相回路のPU法）	83
5・1・1	単相回路のPU法	83
5・1・2	単相3巻線変圧器のPU化とその等価回路	84
5・2	3相回路のPU法	88
5・2・1	3相回路のPU法のベース量	88
5・2・2	3相回路関係式のPU化	88
5・3	3相3巻線変圧器の対称座標法関係式と等価回路	89
5・3・1	Y-Y- $\Delta$ 接続3巻線変圧器のPU法等価回路	89
5・3・2	3相変圧器の各種巻線方式対称座標法等価回路	96
5・3・3	変圧器鉄心構造と零相励磁インピーダンス $Z_{ex0}$ の関係	96

5・3・4	変圧器デルタ巻線	98
5・3・5	高調波電流成分の0-1-2相変換	98
5・4	PU法インピーダンスのベース変換	100
5・5	オートトランス(単巻変圧器)	101
5・6	系統の対称座標法PU等価回路の作成(計算例)	102
<hr/>		
<b>第6章</b>	<b><math>\alpha</math>-<math>\beta</math>-0法とその応用</b>	<b>115</b>
<hr/>		
6・1	$\alpha$ - $\beta$ -0法の定義	115
6・2	$\alpha$ - $\beta$ -0法と対称座標法の相互関係と任意波形電気量の表現	117
6・2・1	対称座標法における任意波形電気量の表現	118
6・2・2	$\alpha$ - $\beta$ -0法における任意波形電気量の表現	118
6・2・3	$\alpha$ - $\beta$ -0法と対称座標法の相互関係	119
6・3	$\alpha$ - $\beta$ -0法におけるインピーダンス	121
6・4	3相回路の $\alpha$ - $\beta$ -0法基本式と等価回路	122
6・4・1	1回線送電線	122
6・4・2	平行2回線送電線	122
6・4・3	発電機	124
6・4・4	負荷インピーダンスおよび変圧器インピーダンス	125
6・5	$\alpha$ - $\beta$ -0法による故障計算	126
6・5・1	a相1線地絡の故障計算	126
6・5・2	b-c相2線地絡, b-c相2線短絡・3線短絡の場合	127
6・5・3	断線故障	127
6・5・4	$\alpha$ - $\beta$ -0法の評価	127
<hr/>		
<b>第7章</b>	<b>対称座標法・<math>\alpha</math>-<math>\beta</math>-0法と過渡現象解析</b>	<b>131</b>
<hr/>		
7・1	過渡現象電気量の実数瞬時値表現と複素数瞬時値表現	131
7・2	対称座標法・ $\alpha$ - $\beta$ -0法による過渡現象解析	131
7・3	対称座標法と $\alpha$ - $\beta$ -0法による系統故障時過渡現象計算の比較	134
<hr/>		
<b>第8章</b>	<b>中性点接地方式</b>	<b>137</b>
<hr/>		
8・1	各種の中性点接地方式とその特徴	137
8・2	1線地絡時の健全相電圧の上昇	139
8・3	消孤リアクトル(ペターゼンコイル)	142
8・4	電圧共振の可能性	143
<hr/>		
<b>第9章</b>	<b>送電線の事故時電圧・電流の図式解法とその傾向</b>	<b>145</b>
<hr/>		
9・1	3相短絡時の電圧・電流の傾向(直接接地系・高抵抗接地系とも)	145
9・2	b-c相2相短絡時の電圧・電流の傾向(直接接地系・高抵抗接地系とも)	146
9・3	直接接地系a相1線地絡時の電圧・電流の傾向(線路抵抗, アーク抵抗無視)	148
9・4	直接接地系b-c相2線地絡時の電圧・電流の傾向(アーク抵抗無視)	151
9・5	高抵抗接地系a相1線地絡時の電圧・電流の傾向(アーク抵抗考慮)	153
9・6	高抵抗接地系b-c相2線地絡時の電圧・電流の傾向(アーク抵抗無視)	155

<b>第 10 章 発電機の理論</b>	<b>159</b>
10・1 発電機の a-b-c 相電気量によるモデリング	159
10・1・1 発電機の基本回路	159
10・1・2 発電機の a-b-c 相基本関係式の導入	161
10・1・3 a-b-c 相基本式中のインダクタンスの性質	163
10・2 d-q-0 法の導入	167
10・2・1 d-q-0 法の定義	167
10・2・2 d-q-0 領域と a-b-c 領域, 0-1-2 領域の相互関係	168
10・2・3 d-q-0 領域電気量の特徴	169
10・3 d-q-0 領域への変換	170
10・3・1 発電機 a-b-c 相関係式の d-q-0 法変換	170
10・3・2 d-q-0 領域上で発電機基本式の意味するもの	173
10・3・3 発電機 d-q-0 基本式の PU 化	176
10・3・4 d-q-0 法等価回路の導入	181
10・4 発電機の定常運転時の d-q-0 領域上のベクトル図 (正相定常状態)	182
10・5 発電機の過渡現象と d 軸, q 軸各種リアクタンス	185
10・5・1 急変発生直前の初期条件	185
10・5・2 系統急変直後の過渡現象状態における d 軸, q 軸リアクタンス	186
10・6 発電機急変後の初期過渡・過渡・定常対称分等価回路	187
10・6・1 正相等価回路	187
10・6・2 逆相等価回路	190
10・6・3 零相等価回路	192
10・7 発電機の基本式のラプラス変換と発電機の各種時定数	192
10・7・1 ラプラス形式によるステータ電圧・電流の基本式	192
10・7・2 発電機の開路時定数	193
10・7・3 発電機の短絡時定数	194
10・7・4 発電機の電機子時定数	195
10・8 各種リアクタンスの測定法	196
10・8・1 d-軸同期リアクタンス $\bar{x}_d$ の測定法と短絡比	197
10・8・2 逆相リアクタンス $\bar{x}_2$ と零相リアクタンス $\bar{x}_0$ の測定	199
10・9 d-q-0 領域電気量と $\alpha$ - $\beta$ -0 領域電気量の関係	200
10・10 発電機の短絡時の過渡現象計算	200
10・10・1 有負荷時の 3 相突発短絡	200
10・10・2 無負荷時の 3 相突発端短絡	204
<b>第 11 章 皮相電力と対称座標法・d-q-0 法</b>	<b>211</b>
11・1 任意波形電圧・電流に対する皮相電力とその記号法表示	211
11・1・1 皮相電力の定義	211
11・1・2 一般波形への拡張	212
11・2 対称座標法による皮相電力	213
11・3 d-q-0 法による皮相電力	215
<b>第 12 章 発電機の発生電力と定態安定度 (Park 理論の電力への拡張)</b>	<b>219</b>
12・1 発電機の発生電力と $P$ - $\delta$ 曲線・ $Q$ - $\delta$ 曲線	219
12・2 発電機から系統への皮相電力送電限界 (定態安定度)	222

- 12・2・1 1機無限大母線系統と2機系統の等価性 222
- 12・2・2 発電機の皮相電力 ( $P$ - $\delta$  曲線と  $Q$ - $\delta$  曲線) 223
- 12・2・3 発電機の送出可能な最大皮相電力 (定態安定度限界) 224
- 12・2・4 発電機の最大皮相電力の可視化 224

## 第13章 電気機械としての発電機 227

- 13・1 発電機の機械入力と発生電力 .....227
  - 13・1・1 機械入力と電気出力の関係 227
- 13・2 発電機の運動方程式 .....229
  - 13・2・1 発電機の力学的特性 (機械的運動方程式) 229
  - 13・2・2 発電機の運動方程式 (電氣的表現) 231
- 13・3 機械入力から電気出力へのパワー伝達のメカニズム .....231
- 13・4 発電機の回転速度調整: スピードガバナ .....236

## 第14章 系統の $P$ - $Q$ - $V$ 特性と過渡・動態安定度および電圧安定度 241

- 14・1 定態・過渡・動態安定度の概念 .....241
- 14・2 2機系統の動揺方程式と外乱による応動 .....242
- 14・3 過渡安定度と動態安定度ケーススタディ .....243
  - 14・3・1 過渡安定度 243
  - 14・3・2 動態安定度 244
- 14・4 4端子回路の皮相電力と発電機からみる特性インピーダンス .....245
  - 14・4・1 特性インピーダンス 245
  - 14・4・2 事故時の送電可能電力 ( $P$ - $\delta$  曲線のピーク値) の試算 247
- 14・5 系統全系の  $P$ - $Q$ - $V$  特性と電圧安定度 (電圧不安定現象) .....248
  - 14・5・1 送受両端の皮相電力 248
  - 14・5・2  $P$ ,  $Q$  の微小変化  $\Delta P$ ,  $\Delta Q$  に対する電圧感度 249
  - 14・5・3 電力円線図 249
  - 14・5・4  $P$ - $Q$ - $V$  特性と  $P$ - $V$  曲線,  $Q$ - $V$  曲線 250
  - 14・5・5 系統・負荷の  $P$ - $Q$ - $V$  特性と電圧不安定現象 252
  - 14・5・6  $V$ - $Q$  制御 (電圧・無効電力制御) 254

## 第15章 AVR を含む発電機系と負荷の全体応動特性 259

- 15・1 AVR の理論と発電機系伝達関数 .....259
  - 15・1・1 発電機固有の伝達関数 259
  - 15・1・2 「発電機+負荷」の伝達関数 261
- 15・2 AVR 系を含めた発電機全体系の伝達関数と応動特性 .....263
- 15・3 「発電機+励磁器+AVR+負荷」全系の応動特性と運転限界 .....265
  - 15・3・1 「発電機+励磁器+AVR+負荷」全系の  $s$  関数式の導入 265
  - 15・3・2 運転限界とその  $p$ - $q$  座標表示 268
- 15・4 線路充電運転の安定限界と AVR .....269

## 第16章 発電機の運転とその運転性能限界 273

- 16・1 発電機運転状態の一般式導入 .....273
- 16・2 発電機の定格事項と能力曲線 .....275
  - 16・2・1 定格事項と能力曲線 275

16・2・2	各種運転条件での軌跡	278
16・3	発電機進相力率（低励磁領域）運転の問題と UEL 機能	280
16・3・1	発電機の無効電力発生源としての役割	280
16・3・2	発電機の進相運転（低励磁運転）による固定子鉄心端部の過熱問題	281
16・3・3	AVR による UEL (Under Excitation Limit) 保護	284
16・3・4	過励磁領域の運転	285
16・4	AVR による発電機の電圧・無効電力 ( $V-Q$ ) 制御	285
16・4・1	発電機並列運転時の無効電力の配分と横流補償	285
16・4・2	$P-f$ 制御と $V-Q$ 制御	287
16・5	発電機の苦手現象（逆相電流・高調波電流・軸ねじれ）	288
16・5・1	発電機の体格と定格容量の関係	288
16・5・2	逆相電流によるロータの異常過熱現象	289
16・5・3	発電機の逆相電流耐量	289
16・5・4	高調波・直流電流による異常過熱現象	291
16・5・5	過渡トルクによるタービン発電機の軸ねじれ現象	293
16・6	火力・原子力発電機の新鋭機の動向	297
16・6・1	蒸気火力のボイラー・タービン系	297
16・6・2	コンバインドサイクル機（ガスタービン／蒸気タービン複合型火力）	299
16・6・3	原子力発電所用蒸気タービン (ST)	301

## 第 17 章 $R-X$ 座標と方向距離継電器 (DZ リレー) の理論 305

17・1	保護リレーの使命と分類	305
17・2	方向距離リレーの原理と $R-X$ 座標	306
17・2・1	方向距離リレー (DZ-Ry) の基本的機能	306
17・2・2	$R-X$ 座標と $P-Q$ 座標および $p-q$ 座標の関係	306
17・2・3	距離リレーの動作特性	307
17・3	無負荷事故時のインピーダンス軌跡	308
17・3・1	b-c 相 2 線短絡時の方向短絡距離リレー (44 S-1, 2, 3) の応動	308
17・3・2	a 相 1 線地絡時の方向地絡距離リレー (44 G-1, 2, 3) の応動	311
17・3・3	b-c 相 2 線短絡時の方向地絡距離リレー (44 G-1, 2, 3) の応動	313
17・4	平常時と脱調時のインピーダンス軌跡	314
17・4・1	平常時・動揺時のインピーダンス軌跡	314
17・4・2	方向距離リレーによる脱調検出とトリップ阻止	317
17・5	有負荷事故時のインピーダンス軌跡	318
17・6	発電機の界磁喪失リレー	319
17・6・1	界磁喪失リレーの特性	319

## 第 18 章 進行波の現象 325

18・1	送電線（分布定数回路）の進行波理論	325
18・1・1	送電線（架空送電線・ケーブル）の波動方程式と進行波のイメージ	325
18・1・2	ラプラス変換領域における電圧・電流の一般解	330
18・1・3	任意の 2 点間の 4 端子回路行列式	331
18・1・4	定数の吟味	333
18・2	分布定数回路の近似化と集中定数回路の精度	334
18・3	進行波の透過と反射	335
18・3・1	変移点における透過と反射の一般式	335

18・3・2	電圧・電流侵入波の変移点における様相	336
18・4	サージ過電圧, 紛らわしい三つの表記法	338
18・5	雷直撃地点に発生する進行波	340
18・6	3相送電線のサージインピーダンスと落雷現象	341
18・6・1	3相送電線のサージインピーダンス	341
18・6・2	対称座標法によるサージ解析 (a相への雷撃の場合)	342
18・7	3相回路の対地波と線間波 (対地波・線間波変換法)	343
18・8	格子図法によるサージ解析および過渡現象のモード	345
18・8・1	格子図法 (Reflection lattice)	345
18・8・2	サージ波の振動性と非振動性	347

## 第19章 開閉 (遮断・投入) 現象

351

19・1	単相回路の遮断過渡現象の計算	351
19・1・1	短絡電流遮断時の過渡電圧計算	351
19・1・2	左右に電源系統がある場合の回路遮断の過渡電圧計算	354
19・2	3相回路の遮断過渡現象の計算	359
19・2・1	遮断第1相の回復電圧	359
19・2・2	第1・2・3相遮断計算 (3相短絡の場合)	361
19・3	遮断器の概念	367
19・3・1	遮断器の概念	367
19・3・2	遮断性能や開閉現象に関する主な用語	369
19・4	実際の遮断現象	370
19・4・1	短絡電流 (遅相電流) 遮断	370
19・4・2	進み小電流 (線路の充電電流) 遮断	370
19・4・3	近距離故障遮断 (SLF)	374
19・4・4	遅れ小電流遮断・励磁突入電流遮断時のチョッピング現象	376
19・4・5	脱調遮断	378
19・4・6	電流ゼロミス現象 (current-zero missing)	378
19・5	遮断器投入時の過電圧現象 (投入サージ)	379
19・5・1	遮断器投入による過電圧現象	379
19・5・2	投入サージの試算	380
19・6	遮断器の抵抗遮断方式と抵抗投入方式	381
19・6・1	抵抗遮断方式と抵抗投入方式の原理	381
19・6・2	抵抗遮断方式と抵抗投入方式の採用選択	382
19・6・3	抵抗遮断方式遮断器による遮断現象	382
19・6・4	投入時の現象 (抵抗投入方式)	384
19・7	断路器の開閉サージ	386
19・7・1	断路器サージ現象	386
19・7・2	断路器サージの影響	388

## 第20章 過電圧現象

393

20・1	過電圧現象の分類	393
20・2	持続性・短時間過電圧現象 (非共振性 AC 過電圧)	394
20・2・1	フェラントイ効果	394
20・2・2	発電機の自己励磁	395
20・2・3	負荷遮断	396



20・2・4	1線地絡時健全相電圧上昇	397
20・3	持続性・短時間過電圧現象（共振性過電圧）	397
20・3・1	比較的広範囲な系統の共振現象（低周波線形共振）	397
20・3・2	局所的な共振現象（高周波領域の線形共振，鉄心飽和による非直線共振など）	399
20・3・3	中性点非接地（あるいは微小接地方式）系のケーブル間欠地絡	400
20・4	開閉過電圧現象（開閉サージ）	401
20・4・1	遮断器投入時（投入サージ）	401
20・4・2	遮断器の遮断時（遮断サージ）	401
20・4・3	断路器の開閉サージ	402
20・5	雷過電圧現象	402
20・5・1	直撃雷	402
20・5・2	架空地線・鉄塔への直撃雷（逆せん絡，逆フラッシュオーバ）	403
20・5・3	誘導雷（静電誘導雷・電磁誘導雷）	404

## 第21章 絶縁協調

409

21・1	絶縁に対するストレスとしての過電圧	409
21・1・1	導電と絶縁（Conduction and insulation）	409
21・1・2	過電圧の分類	410
21・2	絶縁協調の基本概念	414
21・2・1	絶縁協調の概念	414
21・2・2	絶縁強度とブレイクダウンに関する基本原則	415
21・3	架空送電線の過電圧抑制と防護策	416
21・3・1	架空地線（OGW，OPGW）の採用	417
21・3・2	3相導体・地線の適切なクリアランスと配置の確保	417
21・3・3	鉄塔のサージインピーダンス低減	417
21・3・4	アークホーン（arcing horns）の採用	418
21・3・5	送電線用避雷装置	418
21・3・6	不平衡絶縁の採用（並行2回線送電線の場合）	419
21・3・7	高速度再閉路方式の採用	420
21・4	発電所における過電圧保護	421
21・4・1	避雷器によるサージ過電圧保護	421
21・4・2	酸化亜鉛型避雷器（Metal-oxide arresters）	423
21・4・3	避雷器の定格と選定区分	427
21・4・4	避雷器の隔離効果の問題	428
21・4・5	変電所の架空地線 OWG と接地抵抗低減による防護	430
21・5	絶縁強調	432
21・5・1	絶縁強調の規格に関する定義とその基本的コンセプト	432
21・5・2	絶縁構成（Insulation configuration）	433
21・5・3	絶縁耐電圧レベルと BIL，BSL の定義	434
21・5・4	標準耐電圧値（Standard withstand voltages）（IEC，IEEE の場合）	435
21・5・5	JEC 規格の耐電圧値	440
21・5・6	ケーブルの絶縁保護	444
21・6	変圧器の移行電圧現象と発電機保護	444
21・6・1	静電移行サージ過電圧	445
21・6・2	静電移行電圧の防護対策	451
21・6・3	変圧器の電磁移行電圧	451
21・7	サージによる変圧器巻線の電圧振動	452

21・7・1	変圧器のサージ現象に対する等価回路	453
21・7・2	サージ侵入による変圧器内部の振動性過渡電圧とその計算	453
21・7・3	変圧器内部のサージ性電圧振動の抑制	456
21・8	油変圧器とガス変圧器	458

## 第22章 波形ひずみ（低次高調波）現象 461

22・1	波形ひずみ（低次高調波）現象の発生要因と影響	461
22・1・1	発生要因の分類	461
22・1・2	波形ひずみの発生	463
22・2	事故時のケーブル系波形ひずみ現象	464
22・2・1	波形ひずみの発生メカニズムとその計算	464
22・2・2	電流ひずみ成分（式(22・10)の過渡成分）の吟味	467
22・2・3	電圧・電流波形ひずみの保護リレーなどへの影響	469

## 第23章 電カケーブル線路 471

23・1	CVケーブルとOFケーブル	471
23・1・1	電力用ケーブルの種類	471
23・1・2	電力ケーブルの特徴	475
23・1・3	電力ケーブルの許容電流	476
23・1・4	ケーブルの絶縁に関する諸元と試験電圧値	477
23・2	ケーブルの電気回路定数	479
23・2・1	ケーブルのインダクタンス	479
23・2・2	ケーブルのキャパシタンスおよびサージインピーダンス	483
23・3	金属シースと防食層	485
23・3・1	金属シースと防食層の役割	485
23・3・2	シースの両端接地方式と片端接地方式	486
23・4	クロスボンド接続方式	487
23・4・1	クロスボンド接続方式	487
23・4・2	クロスボンド接続方式のサージ現象とその防護策	489
23・4・3	クロスボンド接続単心3相ケーブル線路のシース異常電圧対策	490
23・5	ケーブル接続終端における導体・シースのサージ性異常電圧	491
23・5・1	架空送電線とケーブル接続点のサージ現象	491
23・5・2	サージ過電圧のケーブル区間伝搬	491
23・5・3	金属シースの両端接地と片端接地の選択と対策	494
23・6	架空送電線とケーブルの接続系統のサージ過電圧	494
23・7	開閉サージのケーブル線路への襲来	496
23・8	GIS・ケーブル接続終端のサージ性異常シース電位	496

## 第24章 特別な回路の場合 499

24・1	負荷時タップ切換変圧器	499
24・2	位相調整変圧器（移相変圧器）	501
24・2・1	基本式の導入	501
24・2・2	ループ系統への適用	503
24・3	ウッドブリッジ変圧器とスコット変圧器	504
24・3・1	ウッドブリッジ変圧器	504
24・3・2	スコット変圧器	506

24・4	零相接地変圧器	506
24・5	相順の誤接続回路の計算	508
24・5・1	ケース1 a-b-c相 ⇔ a-c-b相の誤接続の場合	508
24・5・2	ケース2 a-b-c相 ⇔ b-c-a相の誤接続の場合	510
付録1.	数学公式	513
付録2.	回路方程式の行列記法	515
分類別解説箇所一覧		519

休憩室

1.	電気の夜明け：先駆的役割を果たした19世紀前半の大科学者たち	27
2.	Faraday と Henry, 電気エネルギー利用への道を開いた巨人	51
3.	Weber と他の開拓者たち	63
4.	Maxwell, 19世紀で最も偉大な科学者	110
5.	Hertz による電波の発見と現代の始まり	136
6.	実用工学の輝かしい夜明け：1885-1900年代	157
7.	電気工学の巨人 Heaviside	208
8.	複素記号法の誕生と創始者 Arthur Kennelly	239
9.	電気・電力工学の大先駆者 Steinmetz	255
10.	電力技術理論：初期の先駆者の人々	271
11.	対称座標法, その生みの親：Fortescue と育ての親：別宮貞俊	303
12.	$\alpha$ - $\beta$ -0法 (Clarke Components) の登場	323
13.	d-q-0法の登場	349
14.	アメリカ, 電気事業・電気メーカー誕生のころ	390
15.	日本, 電気事業・電気メーカーの誕生のころ	406
16.	雷撃解析, そして絶縁強調	460

