

電 気 計 測 器

目 次

第 1 章 電気の単位および標準器

1. 1 総 説	1
単位——基本単位と誘導単位——国際単位系——基本単位の具備条件——原器、標準器、原子単位——単位統一に関する国際および国内組織	
1. 2 単位系	4
1. 2. 1 力学量の単位系	4
1. 2. 2 電気の単位系	4
1. 2. 3 電気の各種単位系	7
cgs 単位系——実用単位系——MKS 単位系——有理単位系と非有理単位系	
1. 3 電気単位の実験的基礎づけ	12
1. 3. 1 絶対単位と国際単位	12
絶対電気単位——国際電気単位の廃止と日本の単位	
1. 3. 2 電気単位の国際比較	13
1. 3. 3 電気の原子単位	15
1. 4 電気単位の設定法	16
1. 4. 1 概 説	16
1. 4. 2 抵抗の絶対測定（インダクタによる）	17
使用されるインダクタ——マクスウェル・ウィーンブリッジ—マクスウェルブリッジ法——ケリー・フォスターブリッジ—マクスウェルブリッジ法——キャンベルブリッジ法——ウェンナー法	
1. 4. 3 抵抗の絶対測定（コンデンサによる）	22
クロスキャパシタ——変成器ブリッジ——変成器ダブルブリッジによる抵抗絶対測定	
1. 4. 4 電流の絶対測定	26
電流てんびん——電流力計	
1. 4. 5 絶対測定の結果	29
1. 4. 6 I_P の絶対測定と電流の原子単位	31
歳差運動—— I_P の絶対測定—— I_P による電流単位の定義	
1. 5 電気標準器	33

1. 5. 1 概 説	33
電磁気単位の組立て——電気標準器の種類	
1. 5. 2 標準抵抗器	34
材料——構造——組立抵抗器	
1. 5. 3 電圧標準器	37
カドミウム標準電池——シリコン定電圧ダイオード	
1. 5. 4 容量標準器	41
シェーリングブリッジ——標準コンデンサ	
1. 5. 5 インダクタンス標準器	44
1. 6 摘 要	45
1. 7 問 題	45

第 2 章 電気計器一般

2. 1 総 説	48
電気計器発達の歴史——電気計器の定義と特色	
2. 2 電気計器概説	51
2. 2. 1 指示機構	51
可動部に働くトルク——指示点の安定と微分トルク	
2. 2. 2 電気計器の種類	53
原理別ならびに指示量別分類——用途別分類——各動作原理の特色—— 読取装置	
2. 2. 3 動作と規格	59
概説——許容差と階級——正確さと消費電力および感度——動作——応 答あるいは動特性——自己加熱の影響——影響——強度	
2. 2. 4 電気計器の校正と試験装置	63
電気計器の校正——試験装置	
2. 3 ビボット計器	65
2. 3. 1 概 説	65
2. 3. 2 ビボット	66
2. 3. 3 軸受石	66
2. 3. 4 うず巻ばね	67
構造とばね定数——材料——クリープ	
2. 3. 5 ビボットと軸受石の摩擦	69
摩擦による指示誤差——水平軸計器の摩擦トルク——垂直軸計器の摩擦 トルク——機械的良度	
2. 4 トートバンド計器	73

2. 4. 1	概説	73
2. 4. 2	可動部のたるみ	74
2. 4. 3	バンドのねじりトルク	75
	ねじりトルクの式—ねじりトルクの測定	
2. 4. 4	バンドのクリープ	76
2. 4. 5	バンドの材料	78
2. 4. 6	引張ばね	78
2. 4. 7	耐衝撃, 振動性	78
	衝撃に対する対策—振動に対する対策	
2. 4. 8	機械的良度	80
2. 4. 9	トートバンド計器の特色	81
2. 5	指示の応答	81
2. 5. 1	基本運動式	82
2. 5. 2	ステップ応答	82
	制動および制動定数—周期—ふれ過ぎ—応答時間	
2. 5. 3	応答に関する諸定数の測定法	86
	制御トルク係数 τ —固有周期 T_0 —慣性モーメント J —ふれ過ぎ —制動比 μ —制動定数 D_0 および D —応答時間	
2. 6	可動コイル形計器	89
2. 6. 1	動作原理	89
2. 6. 2	磁石装置	90
	磁石の特性—磁石材料—基本設計式—各種の磁石装置—磁化 —エージング	
2. 6. 3	感度調整	97
2. 6. 4	制動	98
2. 6. 5	温度誤差とその補償法	100
	温度誤差の原因—可動コイルだけの電流計の温度誤差—基本ミリ ボルト計の温度補償	
2. 6. 6	電流計および電圧計	103
	電流計—電圧計—多重範囲電流電圧計	
2. 6. 7	回路計	105
2. 7	可動鉄片形計器	106
2. 7. 1	動作原理および構造	106
	鉄片の形式—駆動トルク—目盛—鉄片の動作磁束密度と波形誤 差—磁気しゃへい(カップシールド)—制動装置	
2. 7. 2	特性	114
	温度の影響—周波数の影響—鉄片のヒステリシスの影響—波形	

	の影響——外部磁界の影響	
2. 7. 3	電流計および電圧計.....	119
	多重範囲計器——広角度計器——トムソン傾斜コイル計器	
2. 8	電流計形計器.....	122
2. 8. 1	動作原理.....	122
2. 8. 2	電力計の誤差と補償法.....	124
	計器の接続法による誤差——温度誤差と補償法——力率誤差と補償法 ——固定および可動コイルの相互誘導による誤差——交直誤差——周 波数誤差——静電引力による誤差	
2. 8. 3	電力計.....	131
	単相電力計——三相電力計——鉄心入広角度電力計——無効電力計	
2. 8. 4	電流計および電圧計.....	134
2. 9	熱電形計器.....	135
2. 9. 1	動作原理.....	135
2. 9. 2	熱電対一般.....	136
	直熱形と絶縁形——熱電対の回路——熱電対の材料——熱線の温度分 布と焼損	
2. 9. 3	真空熱電対.....	140
	構造——電流-熱起電力特性——周波数特性	
2. 9. 4	空冷式熱電対.....	143
2. 9. 5	電流計および電圧計.....	143
	電流計——電圧計	
2. 9. 6	電力計.....	145
2. 10	静電形計器.....	146
2. 10. 1	動作原理および特徴.....	146
	動作原理——特徴	
2. 10. 2	極板間の距離が変化する方式.....	147
2. 10. 3	極板の対向面積が変化する方式.....	150
	ケルビン形静電電圧計——単一可動極板の静電電圧計	
2. 10. 4	静電形計器の特性.....	152
	温度の影響——周波数の影響	
2. 11	誘導形計器.....	152
2. 11. 1	動作原理.....	152
	基本動作原理——電力計および積算電力計の動作——誘導形計器の特 色	
2. 11. 2	電力計.....	156
2. 11. 3	電圧計および電流計.....	157

2.12	整流形計器	159
2.12.1	概説	159
2.12.2	整流形計器の動作	159
	整流回路——整流電流の基本式	
2.12.3	計器用整流器	162
2.12.4	整流器の非直線性の影響	163
2.12.5	特性	164
	温度の影響——周波数の影響——波形の影響	
2.12.6	電流計および電圧計	167
	多重範囲計器——磁束電圧計	
2.13	電子管および半導体応用計器	169
2.13.1	概説	169
2.13.2	陽極電流と格子電圧との特性曲線の非直線性を利用したもの	170
	正弦波入力の場合——ひずみ波に対する二乗整流の場合——A形およびC形真空管電圧計	
2.13.3	格子電流と格子電圧との特性曲線の非直線性を利用したもの	172
2.13.4	二極管または半導体ダイオードの整流作用を利用したもの(P形電圧計)	173
	共振誤差——電子走行時間誤差	
2.13.5	真空管電力計	177
2.13.6	真空管波高電圧計および平均電圧計	177
	スライドバック法——オートバイアス法	
2.13.7	増幅形交流電圧計	179
2.14	周波数計	180
2.14.1	概説	180
2.14.2	振動片周波数計	181
	動作原理——特性	
2.14.3	電気的共振回路を利用した周波数計	184
	電流計比率計式周波数計——自動平衡ブリッジ式周波数計	
2.14.4	周波数-直流電流変換式周波数計	188
	コンデンサ充放電式周波数計——長方形波微分式周波数計	
2.15	力率計および同期検定器	191
2.15.1	概説	191
2.15.2	力率の定義	192
	単相回路の力率——多相回路の力率	
2.15.3	電流計比率計形力率計	192
	単相力率計——平衡三相回路用力率計——不平衡三相回路用力率計	
2.15.4	回転磁界形力率計	198

	単相用——平衡三相回路用	
2.15. 5	同期検定器	201
	ランプによる同期検定——同期検定器	
2.16	摘 要	202
2.17	問 題	204

第 3 章 検 電 器

3. 1	総 説	211
3. 2	可動コイル形直流検流計	211
3. 2. 1	概 説	211
3. 2. 2	種類および構造	212
	基本的構造——可動部の支持方式による分類——指示方式による分類	
3. 2. 3	検流計可動部の運動	214
3. 2. 4	検流計感度の表わし方	216
3. 2. 5	検流計定数と設計定数との関係	216
3. 2. 6	検流計コイル抵抗と感度との関係	218
3. 2. 7	懸垂形反照検流計の読取法 (ランプ尺度法, 望遠鏡尺度法)	219
	ランプ尺度法——望遠鏡尺度法	
3. 2. 8	検流計感度の限界	221
3. 2. 9	検流計の選び方	222
	感度, 外部臨界制動抵抗——周期——検流計の支持台	
3. 2.10	検流計用分流器	224
	普通形分流器——万能分流器——補償形分流器	
3. 3	衝撃検流計	227
3. 3. 1	概 説	227
3. 3. 2	衝撃検流計可動部の運動	227
	検流計の周期が十分長い場合——検流計の周期が短い場合	
3. 3. 3	衝撃感度の決定	230
3. 4	磁束計	231
3. 4. 1	概 説	231
3. 4. 2	構 造	231
3. 4. 3	動作原理	232
3. 4. 4	分流器	233
3. 4. 5	衝撃検流計との比較	234
3. 4. 6	校正法	234
3. 5	交流検流計	235

3. 5. 1	単線検流計	235
3. 5. 2	反照電流計	235
	ジューメンス反照電流計——ハルトマン反照電流計——アーウィン 無定位反照電流計——ローランド無定位反照電流計——ダッデル ・マザー無定位電流計——横河電機製反照電流計——リーズ交流 検流計	
3. 5. 3	熱電形検流計	237
3. 5. 4	振動検流計	237
	運動方程式——可動鉄片形振動検流計——可動コイル形振動検流計	
3. 5. 5	増幅器付交流検流計	241
	概説——トランジスタ選択増幅器——CR同調形交流検流計	
3. 6	受話器	246
3. 6. 1	概説	246
3. 6. 2	電磁形受話器の理論	247
3. 6. 3	検電器としての電磁形受話器	248
3. 6. 4	圧電形受話器	248
3. 7	電位計	248
3. 7. 1	概説	248
3. 7. 2	絶対電位計	249
3. 7. 3	線電位計および単線電位計	250
	ウルフ双線電位計——ルーツ単線電位計	
3. 7. 4	象限電位計	251
	概説——動作原理——電気的接続法	
3. 7. 5	真空管電位計	254
3. 7. 6	交流変換形電位計	255
	機械的チョップ形高感度電圧計——光導電変調形高感度電圧計——可 変容量ダイオード形高感度電圧計——振動容量形電位計	
3. 8	摘要	257
3. 9	問題	258

第4章 電位差計

4. 1	概説	260
4. 2	直流電位差計の原理	260
4. 3	直流電位差計の回路	261
4. 3. 1	クロムプトンの回路	262
4. 3. 2	測定範囲の切換えと標準電池ダイヤル	262

4. 3. 3	フォイスナーの回路	264
4. 3. 4	ケルビン・パーレーの回路	264
4. 3. 5	ディーゼルホルストの回路	265
4. 4	電位差計の内部抵抗と測定感度	266
4. 5	一般用電位差計	267
4. 5. 1	リーズアンドノースラップ社K-2形電位差計	267
4. 5. 2	フォイスナーの電位差計	269
4. 5. 3	リーズアンドノースラップ社K-3形電位差計	269
4. 5. 4	横河電機P-1 A形電位差計	272
4. 6	電位差計用分圧器・分流器	273
4. 6. 1	電位差計用分圧器	273
4. 6. 2	電位差計用分流器	274
4. 7	低電圧用電位差計	274
4. 8	熱起電力の補償	275
4. 8. 1	基本となる考え方	275
4. 8. 2	ディーゼルホルストのリング回路	276
4. 8. 3	ウェイドナー・ウォルフの回路	276
4. 8. 4	ウェンナーの回路	277
4. 8. 5	リンデックの回路	278
4. 9	低電圧電位差計の実例	278
4. 9. 1	ディーゼルホルスト電位差計	278
4. 9. 2	ウェンナーの電位差計	280
4. 9. 3	横河電機P-7 A電位差計	280
4. 10	偏読式電位差計	282
4. 10. 1	ブルックス偏読式電位差計	283
4. 11	交流電位差計	284
4. 11. 1	ドライスデー爾・チンスレイの交流電位差計	285
4. 11. 2	ゴールの交流電位差計	286
4. 12	今後の電位差計	287
4. 13	摘 要	288
4. 14	問 題	289

第5章 積算電気計器

5. 1	総 説	290
	電気料金制の変遷と積算電気計器の発達——試験と検定	
5. 2	直流積算計器	292

5. 2. 1 概説	292
5. 2. 2 水銀電動機形積算計器	293
原理と構造——特性	
5. 2. 3 整流子電動機形積算計器	294
原理と構造——鉄心入り整流子電動機形計器	
5. 2. 4 交流電力量計と磁気増幅器との組合せ方式	295
5. 2. 5 交流電力量計と直流変流器との組合せ方式	296
5. 3 交流電力量計	297
5. 3. 1 概説	297
5. 3. 2 分類	298
広範囲電力量計——精密電力量計——特別精密電力量計	
5. 3. 3 単相交流電力量計の構造	300
ケース——回転子——上部軸受および下部軸受——計量装置——磁気制動装置——駆動素子	
5. 3. 4 単相交流電力量計の調整	306
重負荷調整装置——軽負荷調整装置——位相調整装置——過負荷調整装置——潜動および始動電流調整装置	
5. 3. 5 単相交流電力量計の誤差特性と誤差補償装置	307
重負荷補償装置——位相補償装置——温度補償装置——電圧補償——周波数補償	
5. 3. 6 三相交流電力量計	310
構造——誤差調整装置——誤差特性と補償方法	
5. 3. 7 記録電力量計	312
5. 4 無効電力量計	313
5. 4. 1 概説	313
5. 4. 2 A-1方式無効電力量計	314
5. 4. 3 B-1方式無効電力量計	314
5. 4. 4 C-3方式無効電力量計	315
5. 5 最大需用電力計	315
5. 5. 1 概説	315
5. 5. 2 積算形最大需用電力計	317
5. 5. 3 最大需用電力量計	317
5. 5. 4 累算式最大需用電力計	318
5. 5. 5 熱形最大需用電力計	318
5. 6 特殊積算電気計器	320
5. 6. 1 積算皮相電力計	320
5. 6. 2 積算超過電力計	320
5. 6. 3 前納電力量計	321

5. 6. 4	積算電流計	321
5. 7	積算電気計器試験方法	321
5. 7. 1	概 説	321
5. 7. 2	秒時計法	322
5. 7. 3	マスタメータ法	322
5. 7. 4	回転標準器法	323
	精密回転標準器——RW法——RM法——RC法	
5. 7. 5	ストロボ法	326
5. 7. 6	最大需用電力計の試験方法	327
5. 8	積算器	327
5. 8. 1	概 説	327
5. 8. 2	連続形積算器	328
5. 8. 3	間欠形積算器	328
5. 8. 4	パルス形積算器	329
5. 9	摘 要	330
5.10	問 題	331

第 6 章 計器用変成器・分流器・分圧器

6. 1	総 説	333
6. 2	変流器	333
6. 2. 1	理 論	333
	等価回路——ベクトル図	
6. 2. 2	特 性	336
	一般特性——残留磁気と減磁——過電流特性——特性の改良	
6. 2. 3	構 造	341
	一次巻線による構造の分類——次絶縁による構造の分類	
6. 2. 4	使 用	346
	変流器の異常現象——変流器の結線	
6. 3	計器用変圧器	348
6. 3. 1	理 論	348
	等価回路——ベクトル図	
6. 3. 2	特 性	350
	一般特性——三次巻線の影響——分布容量の影響——特性の改良	
6. 3. 3	構 造	353
	接地形式による種別——低電圧階級の計器用変圧器——高電圧階級の計器用変圧器	

6. 3. 4 使用	355
ヒューズと直列抵抗——制限負荷と二次短絡——衝撃電圧——中性点の不安定現象——三相計器用変圧器——計器用変圧器の結線——計器用変圧器の動作電圧範囲	
6. 3. 5 コンデンサ形計器用変圧器	358
理論と特性——構造と得失——異常現象	
6. 4 その他の計器用変成器	363
6. 4. 1 計器用変圧変流器	363
6. 4. 2 直流計器用変成器	364
直流変流器——直流計器用変圧器	
6. 5 計器用変成器の試験	367
6. 5. 1 極性試験	367
6. 5. 2 誤差試験	367
変流器比較試験装置——計器用変圧器比較試験装置	
6. 5. 3 絶縁試験	371
6. 6 分流器	372
6. 6. 1 直流用分流器	372
計器付属分流器——標準分流器	
6. 6. 2 交流用分流器	373
6. 7 分圧器	374
6. 7. 1 直流用分圧器	374
倍率器——高電圧測定用抵抗器	
6. 7. 2 交流用分圧器	375
抵抗分圧器——容量分圧器	
6. 8 摘要	376
6. 9 問題	377

第7章 オシログラフ・オシロスコープ

7. 1 電磁オシログラフ	380
7. 1. 1 概説	380
7. 1. 2 構成	380
7. 1. 3 振動子	381
原理と構造——振動の方程式——周波数応答——過渡応答——1本づり振動子(可動コイル形振動子)の計算例——2本づり振動子の等価定数——電力(またはワット)オシログラフ振動子	
7. 1. 4 光学系	390

7. 1. 5	記録装置	391
	一般写真用印画紙による方式（高速度用）——紫外線感光印画紙による方式（中速度用）——電子写真方式（低速度用）	
7. 2	ペン書きオシログラフ	394
7. 2. 1	概 説	394
7. 2. 2	ペンモータ	395
7. 2. 3	記録装置	395
	ペン書きの例——条こん記録式の例——ジェット式の例	
7. 3	オシログラフ用付属装置	397
	オシログラフ用倍率器および分流器——自動閉閉器——直流増幅器——電力計測用変換器	
7. 4	オシロスコープ	400
7. 4. 1	概 説	400
7. 4. 2	ブラウン管	401
	構造——集束方法——偏向——けい光面——高速ブラウン管	
7. 5	シンクロスコープ	408
7. 5. 1	原理および構成	408
	トリガ掃引——垂直軸遅延方式	
7. 5. 2	電源回路	410
7. 5. 3	垂直回路	410
	垂直増幅器——入力回路——垂直遅延回路	
7. 5. 4	水平偏向回路（時間軸電圧発生回路）	413
	のこぎり波電圧の発生法——ミラー掃引	
7. 5. 5	同期回路	415
	トリガ掃引の安定方式——掃線消去——単掃引——遅延掃引と拡大掃引——水平増幅器	
7. 6	二現象シンクロスコープ	418
	同期切換——チャップ切換	
7. 7	サンブロスコープ	419
7. 8	メモリスコープ	421
7. 9	シンクロスコープの応用	422
7. 10	摘 要	424
7. 11	問 題	425

第8章 記 録 計 器

8. 1	総 説	427
------	-----	-----

8. 1. 1	概説	427
8. 1. 2	分類	428
	記録方式からの分類——使用している記録紙の形状からの分類——記 録計器の動作原理からの分類——用途上からの考察	
8. 1. 3	ペンおよびインキ	429
	ペン——インキ	
8. 1. 4	記録紙	431
	必要条件——種類——湿度の影響	
8. 1. 5	記録紙送り機構	433
	送り動力——送り方式	
8. 2	直動記録計	436
8. 2. 1	概説	436
8. 2. 2	ペン書き記録計	436
8. 2. 3	プロセス用直動記録計	438
8. 2. 4	打点式記録計	440
8. 3	自動平衡記録計	441
8. 3. 1	概説	441
8. 3. 2	自動平衡計器の特性	442
	原理および構成——不感動範囲——周波数特性	
8. 3. 3	構成要素	445
	すべり抵抗器および平衡機構——直流交流変換器——平衡電動機—— 増幅器——打点記録機構	
8. 3. 4	測定回路	457
	直流電位差計回路——定電圧装置——ブリッジ回路	
8. 3. 5	雑音電圧による影響	462
	線間雑音電圧——対地雑音電圧	
8. 3. 6	記録計器の実例	463
	ホール平衡式記録計——実験室用記録計（スピードサーボ記録計） ——トレンドレコーダ——X-Y 記録計	
8. 4	摘要	468
8. 5	問題	469
索引		470