

การออกแบบและสร้างเครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเชิงเลข

นาย สวัสดิ์ ตูละสัมพันธ์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2525

ISBN 974-560-757-6

A DESIGN AND CONSTRUCTION OF A DIGITAL AC POWER METER

Mr. Sathit Dulalumpa



A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1982

Thesis Title A Design and Construction of a Digital AC Power
 Meter
By Mr. Sathit Dulalumpa
Department Electrical Engineering
Thesis Advisor Asst. Prof. Krisada Visavateeranon

Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in
partial fulfillment of the requirements for the Master's degree.

.....*S. Bunnag*..... Dean of Graduate School
(Assoc. Prof. Supradit Bunnag, Ph.D.)

Thesis Committee

.....*Pramoht Unhavaithaya*..... Chairman
(Assoc. Prof. Pramohit Unhavaithaya, Dr-Ing.)
.....*Mongkol Dejnakintra*..... Member
(Assoc. Prof. Mongkol Dejnakintra, Ph.D.)
.....*Chatri Sripaipan*..... Member
(Asst. Prof. Chatri Sripaipan, Ph.D.)
.....*Krisada Visavateeranon*..... Member
(Asst. Prof. Krisada Visavateeranon)

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบและสร้าง เครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเชิงเลข
 ชื่อผลิต นาย สารีต ตูละสัมพันธ์
 อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กฤษดา วิศว์ธรรานนท์
 ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
 ปีการศึกษา 2524

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

ส่วนสำคัญที่สุดของ เครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเชิง เลข คือวงจรคูณแบบอนาลอก ชนิดสี่ควอดแรนต์ จากการศึกษาถึงวิธีที่จะเป็นไปโดยของวงจรคูณแบบอนาลอกชนิดต่าง ๆ โดยพยายามหลีกเลี่ยงจากความซับซ้อนของวิธีการสร้างและอุปกรณ์ในเรื่องส่วนประกอบแล้วพบว่า วิธี พิดแบริคโทมิตริวียน ที่พัฒนามาจากวงจร พัลส์วิตทิงมอดูเลชัน จะเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด และจากการที่มีวงจรคูณอยู่ในเครื่องวัดนี้ ทำให้เราสามารถใช่วัดค่าประสิทธิภาพของแรงดันและกระแสได้อีกด้วย โดยใช้วิธีการแปลงสัญญาณประสิทธิภาพที่มีพื้นฐานมาจากวิธีดีพีเปิลด์ติเซนต์ อันเป็นแบบหนึ่งนอกเหนือจากวิธีแปลงโดยใช้ความร้อนเป็นตัวกลางซึ่งมีความยุ่งยากมาก การวิจัยครั้งนี้มุ่งให้เครื่องวัดที่ได้สร้าง สามารถครอบคลุมถึงการวัด แรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าในวงจรกระแสสลับชนิดรูปคลื่นไซน์ และที่ผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์ได้ด้วย เช่นในวงจรทรานส์เตอร์ ที่ใช้ควบคุมกำลังไฟฟ้า วงจรของอุปกรณ์ทางไฟฟ้ากำลัง และในวงจรสนามแม่เหล็กต่าง ๆ ทั้งให้มีพิสัยการวัดอยู่ในบริเวณที่ใช้กันมากคือ ด้านแรงดันจาก 1 ถึง 600 โวลต์ กระแสจาก 30 มิลลิแอมป์ ถึง 30 แอมแปร์ และกำลังไฟฟ้าจาก 30 มิลลิวัตต์ ถึง 18 กิโลวัตต์ โดยวัดได้ตลอดทุกค่าของตัวประกอบกำลังไฟ และแสดงผลของการวัดในเชิง เลขชนิด 4 หลักครั้ง

การทำงานวิจัยครั้งนี้สรุปว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจ เพราะสามารถสร้าง เครื่องมือวัด ได้ตามจุดประสงค์ สรุปความแม่นยำของวงจรคูณได้ต่ำกว่า $\pm 0.5\%$ และความแม่นยำในการ ใช้วัดค่าต่าง ๆ อยู่ประมาณ $\pm 0.5\%$ ถึง $\pm 1.0\%$

Thesis Title A Design and Construction of a Digital AC Power
 Meter
Name Mr. Sathit Dulalumpa
Thesis Advisor Asst. Prof. Krisada Visavateeranon
Department Electrical Engineering
Academic Year 1981

ABSTRACT

The most important part of a digital AC power meter is a four-quadrant multiplier circuit. Investigation of various types of analog multipliers indicates that a feedback time division method is the most suitable because this method is not too complicated and no critical components are required. The analog multiplier is also employed for true RMS measuring of voltages and currents in an AC circuit. This true RMS converter is based on the steepest descent method. It differs from the temperature detecting method, which is very complicated. The desired power meter in this thesis is intended for voltage, current and wattage measurements of sine wave and the other distorted waveforms, which occur in such circuits as thyristor circuits used in power control and magnetic circuits. For AC single-phase measurements, measuring ranges from 1V to 600 Vrms, 30 mA to 30 Arms, and 300 mW to 18 kW at any value of a power factor are covered and the result is displayed in $4\frac{1}{2}$ digits.

The results of this thesis appear to be satisfactory. The prototype has been built according to the desired specifications.

The accuracy of multiplier is kept to $\pm 0.5\%$ and overall measuring accuracies are between $\pm 0.5\%$ to $\pm 1.0\%$.

ห้องสมิตคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ACKNOWLEDGEMENT

The author wishes to express his sincere gratitude to Asst. Prof. Krisada Visavateeranon and Assoc. Prof. Mongkol Dejnakarindra, Ph.D, for their constant encouragement, advice and criticism , without which this study would not have been successful. Appreciations are due to Assoc. Prof. Pramoh Unhavaithaya, Dr-Ing., and Asst. Prof. Chatri Sripaipan, Ph.D., for serving as committee members, taking interests in and offering helpful criticisms of the research. Acknowledgement is also extended to Mr. Udom Tuvawong, and Mr. Sathaporn Jiranuwat for their informations and kind help.

Appreciations are also due to the Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT) for permitting and supplying the necessary precision instruments for the author's research, and the PCB making facilities offered at the Columbo Laboratory of Chulalongkorn University.

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1
 2
 3
 4
 5
 6
 7
 8
 9
 10
 11
 12
 13
 14
 15
 16
 17
 18
 19
 20
 21
 22
 23
 24
 25
 26
 27
 28
 29
 30
 31
 32
 33
 34
 35
 36
 37
 38
 39
 40
 41
 42
 43
 44
 45
 46
 47
 48
 49
 50
 51
 52
 53
 54
 55
 56
 57
 58
 59
 60
 61
 62
 63
 64
 65
 66
 67
 68
 69
 70
 71
 72
 73
 74
 75
 76
 77
 78
 79
 80
 81
 82
 83
 84
 85
 86
 87
 88
 89
 90
 91
 92
 93
 94
 95
 96
 97
 98
 99
 100
 101
 102
 103
 104
 105
 106
 107
 108
 109
 110
 111
 112
 113
 114
 115
 116
 117
 118
 119
 120
 121
 122
 123
 124
 125
 126
 127
 128
 129
 130
 131
 132
 133
 134
 135
 136
 137
 138
 139
 140
 141
 142
 143
 144
 145
 146
 147
 148
 149
 150
 151
 152
 153
 154
 155
 156
 157
 158
 159
 160
 161
 162
 163
 164
 165
 166
 167
 168
 169
 170
 171
 172
 173
 174
 175
 176
 177
 178
 179
 180
 181
 182
 183
 184
 185
 186
 187
 188
 189
 190
 191
 192
 193
 194
 195
 196
 197
 198
 199
 200
 201
 202
 203
 204
 205
 206
 207
 208
 209
 210
 211
 212
 213
 214
 215
 216
 217
 218
 219
 220
 221
 222
 223
 224
 225
 226
 227
 228
 229
 230
 231
 232
 233
 234
 235
 236
 237
 238
 239
 240
 241
 242
 243
 244
 245
 246
 247
 248
 249
 250
 251
 252
 253
 254
 255
 256
 257
 258
 259
 260
 261
 262
 263
 264
 265
 266
 267
 268
 269
 270
 271
 272
 273
 274
 275
 276
 277
 278
 279
 280
 281
 282
 283
 284
 285
 286
 287
 288
 289
 290
 291
 292
 293
 294
 295
 296
 297
 298
 299
 300
 301
 302
 303
 304
 305
 306
 307
 308
 309
 310
 311
 312
 313
 314
 315
 316
 317
 318
 319
 320
 321
 322
 323
 324
 325
 326
 327
 328
 329
 330
 331
 332
 333
 334
 335
 336
 337
 338
 339
 340
 341
 342
 343
 344
 345
 346
 347
 348
 349
 350
 351
 352
 353
 354
 355
 356
 357
 358
 359
 360
 361
 362
 363
 364
 365
 366
 367
 368
 369
 370
 371
 372
 373
 374
 375
 376
 377
 378
 379
 380
 381
 382
 383
 384
 385
 386
 387
 388
 389
 390
 391
 392
 393
 394
 395
 396
 397
 398
 399
 400
 401
 402
 403
 404
 405
 406
 407
 408
 409
 410
 411
 412
 413
 414
 415
 416
 417
 418
 419
 420
 421
 422
 423
 424
 425
 426
 427
 428
 429
 430
 431
 432
 433
 434
 435
 436
 437
 438
 439
 440
 441
 442
 443
 444
 445
 446
 447
 448
 449
 450
 451
 452
 453
 454
 455
 456
 457
 458
 459
 460
 461
 462
 463
 464
 465
 466
 467
 468
 469
 470
 471
 472
 473
 474
 475
 476
 477
 478
 479
 480
 481
 482
 483
 484
 485
 486
 487
 488
 489
 490
 491
 492
 493
 494
 495
 496
 497
 498
 499
 500
 501
 502
 503
 504
 505
 506
 507
 508
 509
 510
 511
 512
 513
 514
 515
 516
 517
 518
 519
 520
 521
 522
 523
 524
 525
 526
 527
 528
 529
 530
 531
 532
 533
 534
 535
 536
 537
 538
 539
 540
 541
 542
 543
 544
 545
 546
 547
 548
 549
 550
 551
 552
 553
 554
 555
 556
 557
 558
 559
 560
 561
 562
 563
 564
 565
 566
 567
 568
 569
 570
 571
 572
 573
 574
 575
 576
 577
 578
 579
 580
 581
 582
 583
 584
 585
 586
 587
 588
 589
 590
 591
 592
 593
 594
 595
 596
 597
 598
 599
 600
 601
 602
 603
 604
 605
 606
 607
 608
 609
 610
 611
 612
 613
 614
 615
 616
 617
 618
 619
 620
 621
 622
 623
 624
 625
 626
 627
 628
 629
 630
 631
 632
 633
 634
 635
 636
 637
 638
 639
 640
 641
 642
 643
 644
 645
 646
 647
 648
 649
 650
 651
 652
 653
 654
 655
 656
 657
 658
 659
 660
 661
 662
 663
 664
 665
 666
 667
 668
 669
 670
 671
 672
 673
 674
 675
 676
 677
 678
 679
 680
 681
 682
 683
 684
 685
 686
 687
 688
 689
 690
 691
 692
 693
 694
 695
 696
 697
 698
 699
 700
 701
 702
 703
 704
 705
 706
 707
 708
 709
 710
 711
 712
 713
 714
 715
 716
 717
 718
 719
 720
 721
 722
 723
 724
 725
 726
 727
 728
 729
 730
 731
 732
 733
 734
 735
 736
 737
 738
 739
 740
 741
 742
 743
 744
 745
 746
 747
 748
 749
 750
 751
 752
 753
 754
 755
 756
 757
 758
 759
 760
 761
 762
 763
 764
 765
 766
 767
 768
 769
 770
 771
 772
 773
 774
 775
 776
 777
 778
 779
 780
 781
 782
 783
 784
 785
 786
 787
 788
 789
 790
 791
 792
 793
 794
 795
 796
 797
 798
 799
 800
 801
 802
 803
 804
 805
 806
 807
 808
 809
 810
 811
 812
 813
 814
 815
 816
 817
 818
 819
 820
 821
 822
 823
 824
 825
 826
 827
 828
 829
 830
 831
 832
 833
 834
 835
 836
 837
 838
 839
 840
 841
 842
 843
 844
 845
 846
 847
 848
 849
 850
 851
 852
 853
 854
 855
 856
 857
 858
 859
 860
 861
 862
 863
 864
 865
 866
 867
 868
 869
 870
 871
 872
 873
 874
 875
 876
 877
 878
 879
 880
 881
 882
 883
 884
 885
 886
 887
 888
 889
 890
 891
 892
 893
 894
 895
 896
 897
 898
 899
 900
 901
 902
 903
 904
 905
 906
 907
 908
 909
 910
 911
 912
 913
 914
 915
 916
 917
 918
 919
 920
 921
 922
 923
 924
 925
 926
 927
 928
 929
 930
 931
 932
 933
 934
 935
 936
 937
 938
 939
 940
 941
 942
 943
 944
 945
 946
 947
 948
 949
 950
 951
 952
 953
 954
 955
 956
 957
 958
 959
 960
 961
 962
 963
 964
 965
 966
 967
 968
 969
 970
 971
 972
 973
 974
 975
 976
 977
 978
 979
 980
 981
 982
 983
 984
 985
 986
 987
 988
 989
 990
 991
 992
 993
 994
 995
 996
 997
 998
 999
 1000

TABLE OF CONTENTS

	Page
ABSTRACT	IV
ACKNOWLEDGEMENT	VII
TABLE OF CONTENTS	VIII
LIST OF TABLES	XI
LIST OF FIGURES	XII
LIST OF ABBREVIATIONS	XVI
CHAPTER	
I INTRODUCTION	1
1.1 General	1
1.2 Purpose of the Research	2
1.3 Capability of the Desired Instrument	3
1.4 Outline of the work	5
II THEORY OF POWER AND RMS MEASUREMENT	6
2.1 Introduction	6
2.2 Power in an AC circuit	6
2.3 AC Power Calculation	13
2.4 RMS Measurements	14
2.5 How to Measure AC Signal Accuracy	16
2.6 Source of Error	18
III POWER MEASUREMENT BY FEEDBACK TIME DIVISION MULTIPLIER	
METHOD AND RMS CONVERTER BASED ON STEEPEST DESCENT METHOD	22
3.1 Introduction	22

CHAPTER	Page
3.2 Analog Multiplier	22
3.3 Feedback Time Division Multiplier	31
3.4 Power Measurement by Feedback Time Division Multiplier Method	37
3.5 RMS Converter	38
3.6 RMS Converter Based on Steepest Descent Method	42
3.7 An RMS and Power Measuring Instrument	44
IV DESIGN AND CONSTRUCTION	48
4.1 Introduction	48
4.2 Fundamental Function of the Desired Instrument	48
4.3 General Desired Specification	49
4.4 Printed Circuit Assembly and its Description	50
V TEST, CALIBRATION, AND THE RESULTS	112
5.1 Introduction	112
5.2 Adjustment of Digital Section (AS:5 to AS:9)	112
5.3 Adjustment of Analog Section (AS:1 to AS:4)	114
5.4 Overall Test and Calibration	120
VI CONCLUSION AND SUGGESTIONS	127
6.1 Introduction	127
6.2 Conclusions	127
6.3 Applications	130
6.4 The Suggestions for Future Research	133

	Page
REFERENCE	135
Appendix A Name and function of each control	136
Appendix B Interconnection and wiring list	141
Appendix C Components list	147
Appendix D Printed circuit assembly and components lay out.	152
Appendix E Manual change	166
Appendix F Test Data and curves	168
VITA	192

LIST OF TABLES

Table	Page
2-1 Table of multiplier constants of a pure sine wave ...	17
4-1 General Specifications	49
4-2 Function code signal for AS:2	61
4-3 Relationship between ranging selection	77
4-4 Route of the input voltage and current up to ranging.	80
4-5 Functions and readings with 1.000 V applied to AUX. input terminal	85
4-6 Input and output signal of AS:8	104
4-7 AS:8, Program mapping for EPROM application	106
5-1 AS:1 Power supply check table	112
5-2 AS:5 Power supply check table	114
5-3 AS:3 Ranging check table	116
5-4 AC Waveform conversion table	125
B-1 Wiring list	142
C-1 Components list	148
F-1 Instrument test data	169

LIST OF FIGURES

Figure		Page
2-1	Basic circuit	6
2-2	Instantaneous value of AC power	8
2-3	A direct method to measure AC power	13
2-4	Perfect sine wave	17
2-5	Distorted sine wave error	19
2-6	Chopped sine wave error	20
3-1	Logarithmic multiplier	23
3-2	Quarter-square multiplier	24
3-3	Illustration of the triangle-averaging multiplier .	25
3-4	Variable transconductance multiplier	27
3-5	Current ratioing multiplier	29
3-6	The concept of feedback time division multiplier ..	31
3-7	Pulse width modulation circuit	32
3-8	Es, Ec, and Ex waveforms of PWM	34
3-9	Feedback time division multiplier circuit	35
3-10	Waveform of EX, e1, and e2	36
3-11	Power measuring circuit	37
3-12	Thermal response. The traditional method for extracting RMS	39
3-13	Equally heated method	40
3-14	Straightforward analog computation.....	41

Figure	Page
3-15 RMS Converter based on steepest descent method ..	42
3-16 Block diagram for whole instrument	44
4-1 Interconnection between each assemblies	51
4-2 Measuring voltage divider	52
4-3 Measuring voltage divider (AS:0)	54
4-4 AS:1 Regulated power supply block diagram	55
4-5 Power supply-1 (AS:1)	57
4-6 Function of AS:2 during power measurement	58
4-7 Function of AS:2 during V_{rms} and A_{rms} measurement.	58
4-8 AS:2 V, A, W selector and alarm on one-line diagram	59
4-9 Switching circuit on AS:2	60
4-10 Driver 1 circuit	62
4-11 Integrator circuit	63
4-12 Ghost trap and under range detector circuit	65
4-13 The monitor meter circuit	67
4-14 Over range detector circuit	68
4-15 V, A, W selector and alarm (AS:2)	70
4-16 AS:3 Preamplifier and ranging block diagram	71
4-17 V-preamplifier circuit	72
4-18 First stage (A-to-V converter) of A-preamplifier.	73
4-19 Second stage of A-preamplifier	74
4-20 The ranging circuit	80

Figure	Page
4-21 Preamplifier and ranging circuit (AS:3)	86
4-22 AS:4 Multiplier on one-line diagram	87
4-23 Multiplier (AS:4)	91
4-24 Power supply -2 (AS:5)	93
4-25 AS:6 Control signal isolator block diagram	94
4-26 Route and truth value of each signal isolator ..	94
4-27 Route and truth value of ranging signal isolator.	95
4-28 Signal isolator (AS:6)	97
4-29 AS:7 A-to-D converter block diagram	98
4-30 A-to-D convertor (AS:7)	101
4-31 AS:8 Point, unit, and ranging encoder block diagram	102
4-32 Point, unit, and ranging encoder (AS:8) -1	105
4-33 Point, unit, and ranging encoder (AS:8) -2	108
4-34 Display (AS:9)	109
4-35 Bypass transistors card (AS:10)	110
5-1 Waveform at TP 104 and TP 105 on AS:4	119
5-2 Wiring for calibration of the Digital AC power meter	122
5-3 Multiplier's clock waveform	126
5-4 Waveforms of comparator (U103) input and output, and switch driver (U104) output on AS:4	126

Figure	Page
6-1	Wiring for measuring range within specified value. 131
6-2	Wiring for measuring range above specified value . 132
A-1	Front panel and Rear panel of the digital AC power meter 137
A-2	Assemblies and parts location 137
B-1	One-line diagram of the instrument 142
B-2	Overall wiring (main circuit) 143
D-1	Printed circuit board and components lay out of to
D-26	AS:0 to AS:10 153
E-1	Current transformer T102 installation 167
F-1	Instrument test curves 180
to	
F-12	

LIST OF ABBREVIATIONS

AC	=	alternating current
A-to-D	=	analog to digital converter
AS	=	assembly
AUX	=	auxiliary
BCD	=	binary - coded decimal
C	=	capacitor
CCT	=	circuit
COM	=	common, ground
CONN	=	connector
CT	=	current transformer
D	=	diode
DC	=	direct current
DMM	=	digital multimeter
DVM	=	digital voltmeter
EPROM	=	erasable programmable read only memory
F	=	fuse
FET	=	field effect transistor
GND	=	ground, common
IC	=	integrated circuit
L	=	inductor, coil
LP	=	indicator lamp
M	=	VU meter

P	=	plug
PC	=	photo coupler
PCB	=	printed circuit board
POT	=	potentiometer
PT	=	potential transformer
PWM	=	pulse width modulation
Q	=	transistor, FET
R	=	resistor
RL	=	relay
RMS	=	root means square
SW	=	switch
TP	=	test point
TRANS	=	transformer
U	=	integrated circuit