การออกแบบและสร้างเครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเชิงเลข

นาย สำริต ดุละสัมพะ

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 fullfillment of the requirements for the Master's degree.

..... S. Bunnag ..... Dean of Graduate School

(Assoc. Prof. Supradit Bunnag, Ph.D.)

Thesis Committee

..... Chairman

(Assoc. Prof. Pramoht Unhavaithaya, Dr-Ing.)

..... Member

(Assoc. Prof. Mongkol Dejnakarintra, Ph.D.)

..... Member

(Asst. Prof. Chatri Sripaipan, Ph.D.)

..... Member

(Asst. Prof. Krisada Visavateeranon)

Copyright of the Graduate School, Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและสร้างเครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเชิงเลข
ชื่อนิสิต	นาย สาธิต ดุละสัมพะ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กฤษดา วิศวธีรานนท์
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา	2524

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

ส่วนสำคัญที่สุดของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเชิงเลข คือวงจรคูณแบบอนาลอกชนิดสี่ควอดแร็นท์ จากการศึกษาถึงวิธีที่จะเป็นไปได้ของวงจรคูณแบบอนาลอกชนิดต่าง ๆ โดยพยายามหลีกเลี่ยงจากความซับซ้อนของวิธีการสร้างและอุปสรรคในเรื่องส่วนประกอบแล้วพบว่าวิธี พัลส์วิดท์มอดูเลชัน ที่พัฒนามาจากวงจร พัลส์วิดท์มอดูเลชัน จะเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด และจากการที่มีวงจรคูณอยู่ในเครื่องวัดนี้ ทำให้เราสามารถใช้วัดค่าประสิทธิผลของแรงดันและกระแสได้อีกด้วย โดยใช้วิธีการแปลงสัญญาณประสิทธิผลที่มีพื้นฐานมาจากวิธีสตีปเปลส์ดิเฮนต์ อันเป็นแบบหนึ่งนอกเหนือจากวิธีแปลงโดยใช้ความร้อนเป็นตัวกลางซึ่งมีความยุ่งยากมาก การวิจัยครั้งนี้มุ่งให้เครื่องวัดที่ได้สร้างสามารถครอบคลุมถึงการวัด แรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าในวงจรกระแสสลับชนิดรูปคลื่นไซน์ และที่ผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์ได้ด้วย เช่นในวงจรไทริสเตอร์ ที่ใช้ควบคุมกำลังไฟฟ้า วงจรของอุปกรณ์ทางไฟฟ้ากำลัง และในวงจรสนามแม่เหล็กต่าง ๆ ทั้งให้มีพิสัยการวัดอยู่ในบริเวณที่ใช้กันมากคือ ด้านแรงดันจาก 1 ถึง 600 โวลต์ กระแสจาก 30 มิลลิแอมป์ ถึง 30 แอมแปร์ และกำลังไฟฟ้าจาก 30 มิลลิวัตต์ ถึง 18 กิโลวัตต์ โดยวัดได้ตลอดทุกค่าของตัวประกอบกำลังไฟ และแสดงผลของการวัดในเชิงเลขชนิด 4 หลักครึ่ง

การทำงานวิจัยครั้งนี้สรุปว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจ เพราะสามารถสร้างเครื่องมือวัดได้ตามจุดประสงค์ สรุปความแม่นยำของวงจรคูณได้ต่ำกว่า $\pm$ 0.5% และความแม่นยำในการใช้วัดค่าต่าง 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%.

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

ACKNOWLEDGEMENT

The author wishes to express his sincere gratitude to Asst. Prof. Krisada Visavateeranon and Assoc. Prof. Mongkol Dejnakarintra, Ph.D, for their constant encouragement, advice and criticism , without which this study would not have been successful. Appreciations are due to Assoc. Prof. Pramoht 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

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Page

CHAPTER

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 Vrms and Arms 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

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 to D-26	Printed circuit board and components lay out of AS:0 to AS:10	153
E-1	Current transformer T102 installation	167
F-1 to F-12	Instrument test curves	180

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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