

การพัฒนาระบบตรวจวัดสัญญาณสำหรับกล้องโทรทรรศน์วิทยุ

นาย อำนาจ สาธานนท์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-809-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**DEVELOPMENT OF A SIGNAL MEASUREMENT SYSTEM
FOR A RADIO TELESCOPE**

Mr. Umnart Sathanon

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Physics

Graduate school

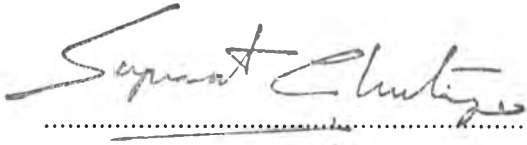
Chulalongkorn University

Academic Year 1996


ISBN 974-636-809-5

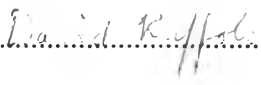
Thesis Title Development of a Signal Measurement System for a Radio
Telescope
By Mr. Umnart Sathanon
Department Physics
Thesis Advisor David Ruffolo, Ph.D.

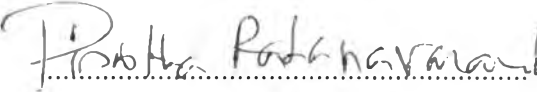
Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in Partial
Fulfilment of the Requirements for Master's Degree.

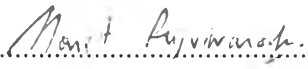

..... Dean of Graduate School
(Professor Supawat Chutivongse, M.D.)

Thesis Committee


..... Chairman
(Associate Professor Yuth Akkaramas, M.S.)


..... Thesis Advisor
(David Ruffolo, Ph.D.)


..... Member
(Assistant Professor Pisistha Ratanavararaksa, Ph.D.)


..... Member
(Assistant Professor Mani Rujiwarodom, M.Sc.)

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

C625465 : MAJOR PHYSICS

KEY WORD: RADIO TELESCOPE / RADIO ASTRONOMY

UMNART SATHANON: DEVELOPMENT OF A SIGNAL MEASUREMENT SYSTEM FOR A RADIO TELESCOPE. THESIS ADVISOR: DAVID RUFFOLO, Ph.D. 200 pp. ISBN 974-636-809-5.

We developed a measurement system for a radio telescope. The data acquisition is controlled by a personal computer, which facilitates accurate data analysis by the aid of numerical methods. The characteristics of the many pieces of equipment in the system are also measured more precisely in order to determine the important parameters for the estimation of some physical quantities. Observations were made in the rural area of Saraburi province to minimize the effects of the man-made noise. The system is verified to be able to detect small signals from many intensive terrestrial radio sources. However, the long-term measurement suffers from the instability of the system even when the calibration is applied. If the gain instability and the minor lobe of antenna have a small effect, the equivalent blackbody temperature measured from the thermal noise when the Sun appears should be on the order of 1 to 10 million Kelvin, which is comparable to the value of a million Kelvin which is measured by previous radio astronomers in the same wavelength at the time of the quiet Sun.

ภาควิชา.....ฟิสิกส์.....

สาขาวิชา.....ฟิสิกส์.....

ปีการศึกษา.....2539.....

ลายมือชื่อนิสิต.....*Uml Sath*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....*David Ruffolo*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....*-*.....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว



อำนาจ สาธารณนที : การพัฒนาระบบตรวจวัดสัญญาณสำหรับกล้องโทรทรรศน์วิทยุ

(DEVELOPMENT OF A SIGNAL MEASUREMENT SYSTEM FOR A RADIO TELESCOPE)

อ. ที่ปรึกษา : ดร. เดวิด รุฟโฟโล. 200 หน้า. ISBN 974-636-809-5.

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบกล้องโทรทรรศน์วิทยุ ได้มีการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ช่วยในการเก็บข้อมูลและประมวลผลโดยการควบคุมของเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ในการวิจัยนี้ ได้มีการตรวจวัดคุณสมบัติของเครื่องมือที่ใช้โดยละเอียด เพื่อที่จะสามารถนำผลที่ได้ไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณเชิงฟิสิกส์จากข้อมูลที่ได้จากการวัดจริงซึ่งได้ทำการวัดที่บริเวณชานเมืองจังหวัดสระบุรีเพื่อหลีกเลี่ยงผลของสัญญาณรบกวนที่มนุษย์สร้างขึ้น ข้อมูลที่ได้จากการวัดโดยใช้เครื่องมือที่สร้างได้แสดงให้เห็นว่าระบบกล้องโทรทรรศน์วิทยุสามารถใช้ตรวจจับสัญญาณซึ่งเกิดจากแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนความเข้มสูงภายในโลกได้ แต่การวัดสัญญาณจากวัตถุท้องฟ้าในเวลานานๆยังคงมีปัญหาทางด้านความไม่เสถียรภาพของระบบ แม้ว่าจะมีการปรับเทียบเป็นระยะแล้วก็ตาม อย่างไรก็ตามค่าของอุณหภูมิเทียบเท่าวัตถุดำของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการวัดแสดงให้เห็นว่ามีค่าอยู่ในระหว่าง 1 ถึง 10 ล้านเคลวิน ซึ่งอยู่ในระดับเดียวกับค่าที่เคยมีการวัดไว้แล้ว (ประมาณ 1 ล้านเคลวิน) ที่ความยาวคลื่นเดียวกัน

ภาควิชา ฟิสิกส์
สาขาวิชา ฟิสิกส์
ปีการศึกษา 2539

ลายมือชื่อนิสิต *Amel Suwz*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *เดวิด รุฟโฟโล*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to express my sincere gratitude to my thesis adviser, Dr. David Ruffolo, for his encouragement not only in his useful comments but also in his researcher's spirit. I feel indebted to Dr. Pirapat Sirisomboonlarp for many contributions including the equatorial mounting. I also wish to express my thanks to the Office of the National Research Council of Thailand for the financial supports.

I would like to express my appreciation for the warm welcome of the Mr. Rangsun Konchanartnikorn, Mr. Suriya and Mr. Suthep Punpeng whose resident was used as the observation site. The thesis is not complete if that observation had never done there. Also, I have to thank to Mr. Rangsee Konchanartnikorn for his vehicle used to convey my equipment back to Bangkok.

I have to thank to Dr. Ahpisit Ungkitchanukit whose kindness permit me to take a computer for the expedition. Thanks to the staffs of the General Physics Laboratory for many apparatus used to test my equipment. Thanks to Mr. Chaiwat Kittinunprakorn for his log-periodic dipole antenna which I use for the thesis.

The specially thanks is taken to Mr. Porncharoen Palotaidamkerng and Mr. Chatchai Srinitiworawong. Their uncountable helps contribute greatly to the thesis including the literature preparation. Also, I feel indebted to the many people whose name is not referred here but their supports are so impressive to me.

Finally, I would like to dedicate the thesis for my parents, the late father who gave me the scientific encouragement not only in the time I was working on the thesis but in the whole life of him, and my dedicated mother, who is working hard for her children.

TABLE OF CONTENTS

ABSTRACT IN ENGLISH	iv
ABSTRACT IN THAI	v
ACKNOWLEDGEMENTS	vi
LIST OF FIGURES	x
LIST OF TABLES	xiii
CHAPTER I INTRODUCTION	1
The Early Years of Radio Astronomy	3
Radio Telescope System	4
Thesis Purposes and Confinements	6
CHAPTER II RADIO ASTRONOMY FUNDAMENTALS	8
Blackbody Radiation	8
Brightness Distribution and Incident Power	11
Temperature and Noise	14
Flux Density	19
Minimum Detectable Temperature and Flux Density	22
Astronomical Coordinate and Time	24
CHAPTER III ANTENNA AND RECEIVER	33
Definitions	33

	Beam Width, Beam Solid angle, Directivity and Effective Aperture	35
	Measurement of the Antenna Pattern	42
	Log-periodic dipole antenna	46
	Radio Telescope Receivers	47
	Superheterodyne Receiver and Mixer	49
	Calibration of the Receiver	52
CHAPTER IV	COMPUTER INTERFACING	53
	IBM PC Architecture	54
	Digital Decoder and Buffer Circuit	59
	Counter and Timer	63
	Basic I/O Interface	66
	Digital Converter	67
	Operational and Instrumentation Amplifier	71
	Sampling Theorem and Anti-Aliasing Filter	82
	Digital Filter	92
CHAPTER V	SYSTEM DESIGN AND CALIBRATION RESULTS	100
	General Description of the System	100
	AT Prototype Card	102
	Data Acquisition Module	105
	Signal Conditioner	108
	Antenna Pattern Measurement	110
	Receiver Parameters' Estimation	119

Digital Low-pass Filter Test	125
CHAPTER VI OBSERVATION RESULTS AND CONCLUSION	128
Observation Site and Treatment	128
Local Noise Survey Results	129
Observational Result	135
Conclusion and Discussion	136
REFERENCES	141
APPENDIX A NUMERICAL METHODS	144
APPENDIX B SOFTWARE CONSIDERATIONS	156
APPENDIX C SCHEMATIC DIAGRAMS	163
APPENDIX D AD1674 DATA SHEETS	186
CURRICULUM VITAE	200

LIST OF FIGURES

Fig. 1.1	The transparency of the Earth's atmosphere for electromagnetic energy	2
Fig. 2.1	Blackbody radiation curve	9
Fig. 2.2	Antenna power pattern and the brightness distribution of the sky	11
Fig. 2.3	Thermal noise at terminals of the resistor and antenna	15
Fig. 2.4	Horizontal coordinate system	24
Fig. 2.5	Equatorial coordinate system	26
Fig. 2.6	Sidereal and solar day in comparison	28
Fig. 2.7	Position of NCP compared to the observer horizon	30
Fig. 2.8	Local sidereal time of the observer at longitude λ	31
Fig. 3.1	Power pattern of an antenna in polar coordinate and in rectangular coordinate	34
Fig. 3.2	Antenna pattern plot in terms of directive gain	38
Fig. 3.3	Radiation from aperture A with uniform field E_a	39
Fig. 3.4	Amplitude distribution on an aperture	40
Fig. 3.5	Measurement for the horizontally polarized antenna power pattern	43
Fig. 3.6	The longest element of an antenna in the electric field of the point source.....	44
Fig. 3.7	Log-periodic dipole antenna	46
Fig. 3.8	Power pattern of a log-periodic dipole antenna	47

Fig. 3.9	A superheterodyne radio telescope receiver	49
Fig. 4.1	Block diagram for a typical computer system	55
Fig. 4.2	PC-AT 16-bit extension slot	60
Fig. 4.3	Crystal oscillator	64
Fig. 4.4	Timing diagram for T Flip-Flop	65
Fig. 4.5	Direct conversion ADC block diagram	69
Fig. 4.6	Successive conversion ADC block diagram	70
Fig. 4.7	Differential amplifier circuit	73
Fig. 4.8	Differential amplifier with the input buffers	77
Fig. 4.9	Instrumentation amplifier	77
Fig. 4.10	Bode plot for dynamic response of an realistic op-amp	79
Fig. 4.11	Trimming method for offset voltage for LF351	81
Fig. 4.12	Compensation of the offset voltage for instrumentation amplifier ...	81
Fig. 4.13	Frequency aliasing	83
Fig. 4.14	First order low-pass filter	85
Fig. 4.15	Frequency response of the low-pass filters with difference order	86
Fig. 4.16	Second order low-pass filter	88
Fig. 4.17	Digital filter block diagram	94
Fig. 4.18	Transfer function of low-pass filter in complex notation	95
Fig. 4.19	Transfer function of a low-pass filter with and without window	98
Fig. 5.1	Radio telescope system block diagram	100
Fig. 5.2	Block diagram for AT prototype card	103
Fig. 5.3	Block diagram for DAM	106

Fig. 5.4	Block diagram of the signal conditioner	109
Fig. 5.5	3-D log-periodic dipole pattern in linear scale	117
Fig. 5.6	3-D log-periodic dipole pattern in logarithmic scale	118
Fig. 5.7	Partial block diagram for the RF tuner	120
Fig. 5.8	Characteristic curve of IF amplifier	120
Fig. 5.9	Curve fit for IF amplifier compare to the original data	124
Fig. 5.10	Effect of digital low-pass filter to the sinusoidal wave at frequency 5 Hz at the cut-off frequency 50 Hz (a) and 0.01 Hz (b)	126
Fig. 5.11	Effect of the truncation of the Fourier's series for the input signals of frequency near the cut-off frequency (20 Hz). The frequency of the input signal is 5 Hz (a) and 50 Hz (b)	126
Fig. 5.12	Effect of a filter for the signal of two frequency component	127
Fig. 6.1	Noise from operation of the hard disk and effects of the filter	131
Fig. 6.2	System temperature from the passing motorcycle	132
Fig. 6.3	System temperature detected in thunderstorms	133
Fig. 6.4	Drift pattern of the receiver temperature	134
Fig. 6.5	System temperature observed in 22-Mar-1997	137
Fig. 6.6	System temperature observed in 23-Mar-1997	138
Fig. 6.7	System temperature observed in 24-Mar-1997	139
Fig. 6.8	Temperature of the Sun at difference wavelength	140

List of Tables

Table 4.1	Interrupt assignments in IBM AT	58
Table 4.2	Function table for 74LS139	62
Table 5.1	Dimension for each elements of the used log-periodic dipole antenna	110
Table 5.2	The measurement data for E-plane of the log-periodic dipole antenna	111
Table 5.3	The measurement data for H-plane of the log-periodic dipole antenna	113
Table 5.4	IF amplifier characteristic data	123