

ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบอัตโนมัติ



นายพีระพงษ์ เสงี่ยมิ

002096

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

แผนกวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. ๒๕๒๐

I16715081

AUTOMATIC SOLAR TRACKING SYSTEM

Mr. Peerapong Hengrassamee

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1977

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

Visid Prachuabmoh
.....
(Professor Dr. Visid Prachuabmoh)
Dean

Thesis Committee *Tienchai Praditthayon* Chairman
(Assistant Professor Dr. Thienchai Praditthayon)

..... *Charuay Boonyubol* Advisor
(Assistant Professor Dr. Charuay Boonyubol)



..... *Boonmee Yangtara* Member
(Dr. Boonmee Yangtara)

..... *Chatree Sripaipan* Member
(Dr. Chatree Sripaipan)

Thesis Advisor: Assistant Professor Dr. Charuay Boonyubol

Copyright 1967

by

The Graduate School
Chulalongkorn University

Thesis Title: Automatic Solar Tracking System.

By : Mr. Peerapong Hengrassamee

Department : Electrical Engineering

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบอัตโนมัติ
 ชื่อ นายพีระพงษ์ เสงี่ยมิ แผนกวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
 ปีการศึกษา ๒๕๑๔



บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้แสดงการออกแบบและสร้างระบบที่สามารถติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ได้อย่างอัตโนมัติ โดยการใส่เซลล์แสงอาทิตย์ ๒ อันเป็นตัวตีเทคเตอร์จากการเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง ๒ อัน เมื่อดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ไปจากตำแหน่งเดิมจะเกิดสัญญาณผิดพลาดขึ้น สัญญาณผิดพลาดดังกล่าวจะถูกขยายด้วยโอเปอเรชันแนลแอมพลิไฟเออร์ เพื่อไปขับเคลื่อนมอเตอร์ให้หมุนไปตามทิศทางเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ และมอเตอร์จะหยุดหมุนต่อเมื่อไม่มีสัญญาณผิดพลาด นั่นคือ การเคลื่อนที่จะหยุดตรงกับตำแหน่งใหม่ของดวงอาทิตย์พอดี.

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์จะกล่าวถึงทฤษฎี และการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์, อินเวอร์ตติงแอมพลิไฟเออร์, ซีโรครอสซิงตีเทคเตอร์, แอดจัสเตเบิลโวลเตจออกพุเคคโชน, เพาเวอร์แอมพลิไฟเออร์ และ คี.ซี.เซอร์โวมอเตอร์ ต่อจากนั้นจะกล่าวถึงการนำส่วนต่างๆ ดังกล่าวมาสร้างเป็นระบบ และการวิเคราะห์การทำงานของระบบ.

Thesis Title Automatic Solar Tracking System

Name Mr. Peerapong Hengrassamee

Department Electrical Engineering

Academic Year 1976

ABSTRACT

This thesis presents a design and construction of a system that can automatically track the sun by using two solar cells as detectors. By comparing the output voltage of the solar cells, it yields an error voltage when the sun moves. The error voltage will be amplified by an operational amplifier in order to drive the motor to a new position. The motor will stop when error voltage is zero. That is the movement stops at the new position of the sun.

The thesis includes the basic theory of solar cells, an inverting amplifier, a zero-crossing detector, an adjustable voltage of dead zone, a power amplifier, geartrains and a d.c. servomotor. The design and analysis of the system using these components are also discussed.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author wishes to express his sincere appreciation to Assistant Professor Dr. Charuay Boonyubol, his thesis supervisor, for his valuable suggestions and assistance, especially his encouragement in the research and writing of this thesis.

A debt of gratitude is also owed to Mr. Samphant Hanchalay who provides and orders some system components from U.S.A.



TABLE OF CONTENTS

	Page
Abstract in Thai	i
Abstract in English	ii
Acknowledgements	iii
Table of Contents	iv
List of Figures	v
List of Symbols	viii
 Chapter	
I INTRODUCTION	1
II PRELIMINARY DESIGN OF SOLAR TRACKING SYSTEM	6
III DISCUSSION ON SELECTION OF SYSTEM COMPONENTS	11
IV DESIGN OF THE COMPLETE SYSTEM	28
V RESULTS AND ANALYSIS	48
VI DISCUSSION	73
VII CONCLUSION	78
Reference and Bibliography	80
Appendix	82
Vita	99



List of Figures

Figure	Page
1.1 Remote Control Positional Servomechanism	3
1.2 A Solar Tracking Servomechanism	4
2.1 Block Diagram of the Tracking System	8
2.2 Block Diagram with Transfer Functions for the Tracking System	8
3.1 Essential Parts of a Solar Cell	12
3.2 Solar Cell as a D.C. Generator	12
3.3 Operational Amplifier	14
3.4 Inverting Operational Amplifier	15
3.5 Operational Adder or Summing Amplifier	16
3.6 A Zero-crossing Detector Converts a Sinusoidal v_i into a Square Wave v_o	17
3.7 The Schematic of a Permanent-magnet Motor	20
3.8 A Permanent-magnet Motor	20
3.9 Armature-controlled D.C. Servomotor Schematic Diagram	21
3.10 Block Diagram of an Armature-controlled D.C. Motor.	24
3.11 A Servomotor Geared to Load	27
4.1 A Solar Cell as a Detector	28
4.2 Two Solar Cells in Parallel Connection As a Detector	30
4.3 Two Solar Cells in Series with Opposite Polarity ..	31

Figure	Page
4.4 Capture Range Determination on a Cell	32
4.5 Capture Range of a Solar Detector on both Cells	33
4.6 Detector Angles	34
4.7 Block Diagram of Figure 2.2 Showing the Characteristic of each Block	36
4.8 An Inverting Amplifier and Its Characteristics	37
4.9 An Inverting Amplifier and Its Characteristics	38
4.10 Zero-crossing Detector and Its Characteristics	39
4.11 The Adjustable Voltage of Dead Zone and Its Characteristics	40
4.12 An Adder and Its Characteristics	41
4.13 Power Amplifier and Its Characteristics	42
4.14 Regulated Power Supply of ± 15 V, and 2.5 amp.	43
4.15 Circuit Diagram of an Automatic Solar Tracking System	45
5.1 Moving Part of the System	48
5.2 Plot of Difference Voltage ($V=V_1-V_2$) vs. Light Angle	50
5.3 Experiment on Motor Time Constant Measurement	53
5.4 Motor Time Constant with Load	54
5.5 Block Diagram of the Complete System	53

Figure	Page
5.6 Response with Unit Step and Unit Ramp Input	58
5.7 A Representative Control System	62
5.8 Block Diagram with Nonlinear Characteristics	63
5.9 An Analog Representation for the T.F. of the Motor ..	64
5.10 Analog Computer Diagram for Simulation of the System	65
5.11 Step Response	67
5.12 Ramp Response	70
6.1 Detector Angles	75

List of Symbols

B_L	=	load damping
E_e	=	error voltage, volt
E_l	=	voltage at load, volt
E_r	=	reference voltage, volt
J_L	=	moment of inertia of the load
J_m	=	moment of inertia of the motor
K_1	=	detector gain
K_2	=	amplifier gain
K_e	=	voltage constant of the motor, volts/(rad./sec)
K_m	=	$1/K_e$, rad./(volts-sec)
K_T	=	torque constant of the motor, foot-pound/ampere
L_a	=	armature inductance, henry
n	=	gear ratio
R_a	=	armature resistance, ohm
T_a	=	electrical time constant, sec
T_D	=	developed torque, foot-pound
T_L	=	mechanical time constant, sec
T_S	=	torque required to prevent the motor from rotating, foot-pound
V	=	output voltage from the detector, volt
V_m	=	output voltage from amplifier, volt
θ_R	=	reference angle at solar cell 1, degree
θ_L	=	load angle at solar cell 2, degree

- θ_e = error angle, degree
- α_L = angular acceleration at the load, rad./sec²
- f = damping ratio
- ω_n = undamped natural frequency, cycle/sec