การออกแบบและวิเคราะห์ระบบไฟโตโวลตาอิคสำหรับหมู่บ้านชนบทไทย

นายสมชัย หิรัญวโรดม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2528

ISBN 974 - 564 - 116 - 2

008746

i 17679251

DESIGN AND ANALYSIS OF PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEMS FOR THAI VILLAGES

Mr. Somchai Hiranvarodom

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1985

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบและวิเคราะห์ระบบไฟโตโวลตาอิคสำหรับหมู่บ้านชนบทไทย

โดย นายสมชัย หิรัญวโรดม

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.จรวย บุญยุบล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ไพบูลย์ ไชยนิล)

.....กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.จรวย บุญยุบล)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา กุลวิทิต)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบและวิเคราะห์ระบบไฟโตโวลตาอิคสำหรับหมู่บ้านชนบทไทย

ชื่อนิสิต นายสมชัย หิรัญวโรดม

อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.จรวย บุญยุบล

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2527

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอการออกแบบระบบไฟโตโวลตาอิค เพื่อที่จะใช้กับหมู่บ้านชนบทไทย โดยคำนึงถึงปริมาณการใช้ไฟฟ้าภายในหมู่บ้าน ซึ่งมีขนาด 2.72, 5.44 และ 9.87 กิโลวัตต์สูงสุดที่ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 120 โวลท์ และขนาด 3.06, 6.46 และ 11.57 กิโลวัตต์สูงสุด ที่ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลท์ โดยให้มีการสะสมพลังงานไว้ใช้ได้อย่างเพียงพอ ด้วยขนาดความจุของกลุ่มแบตเตอรี่ซึ่งใช้เป็นตัวสะสมพลังงานไฟฟ้าในระบบ การวิเคราะห์ได้มีการวิจัยสมรรถนะของระบบ ด้วยการกล่าวถึงผลของการลัดวงจร การเปิดวงจรที่แผงเซลแสงอาทิตย์ และการเกิดการบังเงาขึ้นบนตัวแผงเซลแสงอาทิตย์ การประเมินราคาของระบบ

ส่วนภาคโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สามารถนำไปใช้ในการออกแบบกับจำนวนหมู่บ้านที่มีขนาดและปริมาณความต้องการไฟฟ้าขนาดต่างๆ ได้ ถึงแม้ว่าราคาของระบบไฟโตโวลตาอิคในปัจจุบันจะยังมีราคาสูง เมื่อเทียบกับการผลิตไฟฟ้าโดยวิธีอื่น แต่ด้วยเหตุผลอันสมควรทางสังคมนับว่าระบบไฟโตโวลตาอิค ยังเหมาะสมที่จะนำไปใช้ตามชนบทที่ห่างไกล โดยเฉพาะกับหมู่บ้านชนบทไทย

Thesis Title	Design And Analysis Of Photovoltaic Power Systems For Thai Villages
Name	Mr. Somchai Hiranvarodom
Thesis Advisor	Professor Charuay Boonyubol, Ph.D.
Department	Electrical Engineering
Academic Year	1984

ABSTRACT

This thesis presents the designs of photovoltaic power systems for Thai villages for three different standard sizes, namely, 2.72,5.44 and 9.87 KW_p at 120 Vdc. and 3.06,6.46,and 11.57 KW_p at 220 Vac. Considerations have been given to the self - sufficient storage of energy by battery banks. An analysis has been made to evaluate the system performance with the emphasis on the effects of short circuit, open circuit and partial shadowing of solar cells or modules. A system cost analysis has also been made.

A computer - aided design program has been developed which provides a convenient tool and a flexibility for the design. The study reveals that even though the cost of photovoltaic power system is relatively high as compared to the conventional power supplies, it is socially justified to be used in the remote rural areas. And the result of study made in order to recommend a suitable photovoltaic system for typical Thai villages.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยคำปรึกษาและแนะนำอย่างดียิ่งจาก ดร.จรวย บุญยุบล ซึ่งเป็นศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้สละเวลาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างดีมาโดยตลอด และเป็นที่ปรึกษาตั้งแต่เริ่มแรก ให้แนวทางและการดำเนินงานตามขั้นตอนต่างๆ อย่างดียิ่ง อีกทั้งผู้ช่วยศาสตราจารย์ ไพบูลย์ ไชยนิล ที่ให้คำปรึกษา แนะนำและแก้ไขในบางส่วนเป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งต่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา กุลวิทิต ที่ให้คำแนะนำการแก้ไขปัญหาที่ถูกต้องและเป็นประโยชน์ต่อการวิจัย

ขอขอบคุณ ดร. อาจอง ชุมสาย ณ อยุธยา และเจ้าหน้าที่บริษัทคาลเท็กซ์แห่งประเทศไทย ที่ได้มอบเอกสารที่เป็นประโยชน์ต่อการค้นคว้าเพื่อใช้ในงานวิจัยนี้ อีกทั้งขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว ที่ได้ให้ยืมต้นฉบับหนังสือเกี่ยวกับงานวิจัยนี้ เพื่อนำไปถ่ายเอกสาร อีกทั้งยังให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์อีกด้วย

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ไพบูลย์ ไชยนิล ศาสตราจารย์ดร.จรวย บุญยุบล รองศาสตราจารย์ ดร.สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา กุลวิทิต ในฐานะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้แนะนำและตรวจสอบให้วิทยานิพนธ์เรื่องนี้เสร็จสมบูรณ์

กราบขอบพระคุณต่อ บิดาและมารดาของผู้เขียน ที่ให้กำลังใจตลอดมาด้วยดีเสมอ

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฏ

บทที่

1. บทนำ 1

2. การประเมินปริมาณการใช้ไฟฟ้าภายในหมู่บ้าน ที่จะใช้กับระบบไฟโตไวลตาอิคสำหรับโหลดแบบกระแสตรง 3

ความต้องการของ energy ในแต่ละชั่วโมงภายในหมู่บ้าน .. 9

3. การออกแบบส่วนประกอบของระบบไฟโตไวลตาอิค 12

ขนาดของแผงเซลแสงอาทิตย์ 15

บล้อกกิ้งไดโอด 29

บายพาสไดโอด 31

การออกแบบและเลือกแบตเตอรี่ 35

สมรรถนะของแถวแผงเซลแสงอาทิตย์ ในระบบ-ไฟโตไวลตาอิคกระแสตรง 40

สมรรถนะของแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าไฟโตไวลตาอิคกระแส-ตรง 56

การควบคุมและการแมทชิ่งในระบบ 73

4. ระบบไฟฟ้าไฟโตไวลตาอิคกระแสสลับ 77

5. ระบบสายส่งไฟฟ้า 92

ระบบสายส่งไฟฟ้ากระแสตรง 92

ระบบสายส่งไฟฟ้ากระแสสลับ 102

อุปกรณ์สำหรับป้องกันระบบ 106
6. การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าโฟโตโวลตาอิคที่ออกแบบสำหรับหมู่บ้านชนบทไทย 111
เงื่อนไขผิดปกติเกี่ยวกับเซลล์ตัวงจร 112
เงื่อนไขผิดปกติเกี่ยวกับเซลวงจรเปิด 116
เงื่อนไขผิดปกติเกี่ยวกับการที่แผงเซลถูกบัง 119
การวิจัยสมรรถนะของระบบ 122
การเปรียบเทียบระบบไฟฟ้าโฟโตโวลตาอิค ชนิดโหลดที่เป็นกระแสไฟฟ้าตรงกับโหลดที่เป็นกระแสไฟฟ้าสลับ 122
เงื่อนไขความเหมาะสมที่จะนำระบบไฟฟ้าโฟโตโวลตาอิคไปใช้ในหมู่บ้านที่ห่างไกลตามชนบทไทย 128
การพิจารณาในการเลือกสถานที่ตั้งระบบไฟฟ้าโฟโตโวลตาอิค 130
แนวทางของการจัดสรรระบบ 131
ต้นเหตุของการสูญเสียในระบบ 132
7. การประเมินราคาของระบบไฟฟ้าโฟโตโวลตาอิค 133
8. สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ 136
เอกสารอ้างอิง 139
ภาคผนวก 141
ประวัติผู้เขียน 176

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ตารางเปรียบเทียบผลของการประเมินความต้องการใช้ไฟฟ้า	9
2.2	แสดงค่าของ energy เป็น KWh ตามความต้องการในแต่ละชั่วโมง	10
3.1	แสดงคุณสมบัติของแผงเซลแสงอาทิตย์ของบริษัทผู้ผลิตแห่งหนึ่ง	13
3.2	แสดงค่าเฉลี่ยแต่ละเดือนของความเข้มแสงที่จังหวัดอุดรธานี	18
3.3	ตารางเปรียบเทียบขนาดแผงเซลแสงอาทิตย์	27
3.4	ตารางเปรียบเทียบจำนวนการใช้บล๊อกกิ้งไดโอดและบายพาสไดโอด	33
3.5	สรุปวิธีการสะสมพลังงานในรูปไฟฟ้าของแบบต่างๆ	35
3.6 ก	แสดงค่า Excess A-H ในระบบ 2.72 KW_p 30 หลังคาเรือนตามโหลดที่ประเมินไว้	43
3.6 ข	แสดงค่า Excess A-H ในระบบ 5.44 KW_p 60 หลังคาเรือนตามโหลดที่ประเมินไว้	45
3.6 ค	แสดงค่า Excess A-H ในระบบ 9.87 KW_p 100 หลังคาเรือนตามโหลดที่ประเมินไว้	46
3.7	แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงค่า D_M ที่มีต่อขนาดแผงเซลแสงอาทิตย์	47
3.8	แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงค่า K_1 ที่มีผลต่อขนาดแผงเซลแสงอาทิตย์ ...	49
3.9	แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงค่า AH_{LOAD} ที่มีผลต่อขนาดแผงเซลแสงอาทิตย์	51
3.10	แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงค่า DOD ที่มีผลต่อขนาดความจุของแบตเตอรี่ .	59
3.11	แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงค่า N_L ที่มีผลต่อขนาดความจุของแบตเตอรี่ ..	60
3.12	แสดงสมรรถนะของแบตเตอรี่หรือ State of charge (C_B) ในแต่ละวันตามพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีในแต่ละวัน	64
4.1	เปรียบเทียบพิกัดของระบบไฟโตไวลตาอิคกระแสสลับ ตามโหลดที่ประเมินไว้	91
5.1	แสดงผลการคำนวณระบบสายส่งไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงเซลแสงอาทิตย์ขนาด 2.72 KW_p 120 Vdc.	101

5.2 แสดงผลการคำนวณระบบสายส่งไฟฟ้ากระแสสลับจากแผงเซลแสงอาทิตย์ขนาด 3.06 KW $_{p}$ 120 Vdc. 110

6.1 แสดงผลของการเปิดวงจรเปิด ในลักษณะจำนวนแพนเนลที่ต่างกันของระบบไฟฟ้าโฟโตโวลตาอิคที่มีขนาดและจำนวนหลังคาเรือนต่าง ๆ..... 115

6.2 ตารางเปรียบเทียบระบบไฟฟ้าโฟโตโวลตาอิคทั้งสองระบบ..... 118

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	แสดงแผนผังการใช้ไฟฟ้าของหมู่บ้าน (30 หลังคาเรือน) ตามเวลา	5
2.2	แสดงแผนผังการใช้ไฟฟ้าของหมู่บ้าน (60 หลังคาเรือน) ตามเวลา	6
2.3	แสดงแผนผังการใช้ไฟฟ้าของหมู่บ้าน (100 หลังคาเรือน) ตามเวลา ...	8
3.1	แสดงลักษณะ curve ของแผงเซลแสงอาทิตย์	14
3.2	แผงเซลแสงอาทิตย์จากบริษัทผู้ผลิต	15
3.3	การต่อเซลจากหลายโมดูลให้เป็นแผงซึ่งมีขนาดของ 1 แพนเนล ประกอบไปด้วย 10 โมดูล	26
3.4	การต่อแผงเซลให้เป็นแถวแผง (array) ขนาด 2.72 KW_p 120 Vdc...	26
3.5	แสดงการต่อบล้อกกิ้งไดโอดในแต่ละแถวของแผงเซล	30
3.6	การจัดแถวแผง (array) เซลแสงอาทิตย์ขนาด 2.72 KW_p 120 Vdc..	34
3.7	แสดงค่า Excess A-H ตามขนาดของแพนเนลที่ต่างกัน	52
3.8	แสดงค่า D_M ที่เปลี่ยนแปลงซึ่งมีผลต่อจำนวนโมดูล ที่ค่า AH_{LOAD} ต่างกัน.	53
3.9	แสดงผลของการเปลี่ยนแปลง K1 ซึ่งมีผลต่อจำนวนโมดูลที่ค่า AH_{LOAD} ต่างกัน	54
3.10	แสดงการเปลี่ยนแปลงของ AH_{LOAD} ที่มีผลต่อจำนวนโมดูล ณ ค่า D_M ต่างกัน	55
3.11	แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ DOD ที่มีผลต่อขนาดความจุของแบตเตอรี่ ณ ค่า KWH ที่ต้องการบนค่าต่างๆ กัน	62
3.12	แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ N_L ที่มีผลต่อขนาดความจุของแบตเตอรี่ ณ จุด KWH ที่ต้องการบนค่าต่างๆ กัน	63
3.13ก	แสดงค่า C_B ของแต่ละวันในรอบปีขนาด 100 ร้อยหลังคาเรือนตามโหลดที่ประเมินไว้	71
3.13ข	แสดงค่า C_B ของแต่ละวันในรอบปี เมื่อลดจำนวนแผงลง 1 string ...	72
3.14	แสดงส่วนที่ต้องมีการแมทชิ่งกันในระบบไฟฟ้าโฟโตโวลตาอิคทั่วๆ ไป	73

3.15 ลักษณะการใช้เร็คกูเลเตอร์แบบขนานในระบบไฟฟ้าไฟโตโวลตาอิค 75

3.16 แสดงส่วนที่สำคัญในการออกแบบเร็คกูเลเตอร์ 76

3.17 ลักษณะการใช้เร็คกูเลเตอร์แบบพาเชียลชั้นท์ในระบบไฟโตโวลตาอิค 76

4.1 แสดงลักษณะประกอบของระบบไฟโตโวลตาอิคกระแสสลับ 77

4.2 ระบบไฟฟ้าไฟโตโวลตาอิคกระแสสลับ แสดงรายละเอียดส่วนปรับกำลังไฟฟ้า 81

5.1 รูปสเกตท์ระบบจ่ายไฟฟ้าจากแผงเซลแสงอาทิตย์ขนาด 2.72 KW_p 94

5.2 สายส่งไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่าย 95

5.3 วงจรไดอะแกรมของสายส่งที่ใช้ในการออกแบบ 96

5.4 แสดงค่ากระแสที่ไหลผ่านในแต่ละช่วงสาย 97

5.5 แสดงเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นระหว่าง 2 ตัวนำ 102

5.6 ภาพสเกตท์ระบบไฟฟ้าไฟโตโวลตาอิคกระแสตรงขนาด 2.72 KW_p แบบแยกอิสระ 109

6.1 แสดงการต่อเซลที่อนุกรม โดยที่ตัวแผงเซลที่เลวกว่าเป็นตัวกำหนดลักษณะสมบัติรวม 112

6.2 แสดงการถูกลัดวงจรของแผงเซลแสงอาทิตย์ 113

6.3 การถูกไบอัสตามของเซลที่ถูกบังแสงในแผงเซลต่อขนาน 119

6.4ก องค์ประกอบที่สำคัญของระบบกระแสตรง 127

ข การ Cascade conversion 127