

โครงข่ายวิดิทัศน์ใฝ่ระวังไร้สายซึ่งใช้การสื่อสารทาง GPRS
และใช้พลังงานจากการเหนี่ยวนำจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ



นาย ต่อเกียรติ ไต้ธงชัย

ศูนย์วิทยพัทพยากร
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A WIRELESS VIDEO SURVEILLANCE SYSTEM USING GPRS COMMUNICATION
AND POWERED BY AC ELECTROMAGNETIC FIELDS



Mr. Torkiat Taithongchai

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

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

โครงข่ายวิถีทัศนัฒเฝ้าระวังไร้สายซึ่งใช้การสื่อสารทาง GPRS
และใช้พลังงานจากการเหนี่ยวนำจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
กระแสดลัฒ

โดย

นาย ค้อเกียรดิ ใต้ธงชัย


สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

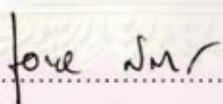
รองศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย ลีลาธรรมี

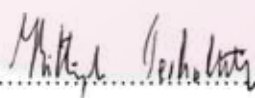
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้แนบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(ดร.สุริย์ พุ่มรินทร์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย ลีลาธรรมี)


.....กรรมการนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพันธุ์ เตชะกิตติโรจน์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ต่อเกียรติ ได้รัชชัย : โครงข่ายวีดิทัศน์ใฝ่ระวางไร้สายซึ่งใช้การสื่อสารทาง GPRS และใช้พลังงานจากการเหนี่ยวนำจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ. (A Wireless Video Surveillance System using GPRS Communication and powered by AC Electromagnetic Fields) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ดร. เอกชัย ลีลาวัศม์, 85 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอโครงข่ายวีดิทัศน์ใฝ่ระวางไร้สายที่ใช้จีพีอาร์เอสและใช้พลังงานจากการเหนี่ยวนำจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งประกอบด้วยวงจรเก็บกำลังไฟฟ้า วงจรจัดการกับแบตเตอรี่ กล้องวีดิทัศน์เชิงเลขชนิด USB หน่วยประมวลผลสถาปัตยกรรม ARM9 ที่ใช้ระบบปฏิบัติการลินุกซ์ และชุดสื่อสารจีพีอาร์เอส วงจรเก็บกำลังไฟฟ้าทำหน้าที่เก็บพลังงานไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับรอบสายส่งไฟฟ้าแรงสูง เพื่อมาจ่ายให้กับหน่วยประมวลผล ชุดสื่อสารจีพีอาร์เอส และกล้องวีดิทัศน์เชิงเลข หน่วยประมวลผลใช้ลินุกซ์ และโปรแกรมตรวจจับการเคลื่อนไหว ซึ่งใช้กรรมวิธีการลบภาพ ในการตรวจจับการเคลื่อนไหว ชุดสื่อสารจีพีอาร์เอส มีหน้าที่ส่งภาพไปยังเครื่องแม่ข่าย และส่งข้อความเตือนไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ตามที่กำหนดไว้ เมื่อมีการเคลื่อนไหวเกิดขึ้น วงจรเก็บกำลังไฟฟ้าสามารถเก็บกำลังไฟฟ้าสูงสุด 28.8 mW ที่กระแสในสายส่งไฟฟ้า 50 A ระบบวีดิทัศน์ใฝ่ระวางไร้สายที่สร้างขึ้นสามารถส่งภาพไปยังเครื่องแม่ข่าย และส่งข้อความเตือนไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ตามที่กำหนดไว้ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อนิสิต.....*ต่อรัชชัย ใจรุ่งชัย*
สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....*เอกชัย ลีลาวัศม์*
ปีการศึกษา.....2551

5070558821 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: ENERGY HARVESTING / BOOST CONVERTER / VIDEO SURVEILLANCE /EMBEDDED LINUX

TORKIAT TAITHONGCHAI : A WIRELESS VIDEO SURVEILLANCE SYSTEM USING GPRS COMMUNICATION AND POWERED BY AC ELECTROMAGNETIC FIELDS
THESIS ADVISOR : ASSOC PROF. EKACHAI LEELARASMEE, Ph.D., 85 pp.

A Linux-embedded video surveillance system using electromagnetic harvested energy and GPRS communication is described. The system consists mainly of an energy harvesting circuit, a battery management module, a USB digital camera and a Linux-embedded ARM9-based central processing unit(CPU) and a GPRS module. The energy harvesting circuit and battery management module harvest the power from the electromagnetic field energize ARM9 CPU, GPRS module and digital camera. The ARM9 CPU use Linux operating system and an open source motion detecting software which applies image subtraction technique for motion detection. The GPRS module is used to transmit images to the destined server and send alarming SMS to mobile phones. The energy harvesting circuit is capable of collecting power of 28.8 mW at 50A transmission line. The implemented system is able to transmit only motion events to the server via ftp and send both email and alarming SMS to mobile phone by using GPRS services

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Electrical Engineering..... Student's Signature..... *ทศพรศักดิ์ ใจจงยิ่ง*

Field of Study : Electrical Engineering..... Advisor's Signature..... *เอกชัย เล็ลลารสมีย์*

Academic Year : 2008.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไป ได้เป็นอย่างดี ด้วยความช่วยเหลือของ รองศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย ลีลาวัศมี ที่ให้คำปรึกษา สนับสนุนและกระตุ้นให้เกิดแรงบันดาลใจในการทำงานวิจัย ตลอดจน ดร.สุรีย หุมรินทร์ ที่ช่วยให้คำปรึกษา ในทุก ๆ ด้านมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาการความรู้ ตลอดจนอบรมป้อนิဇယ มาทำให้ข้าพเจ้ามีความรู้ความสามารถเพียงพอที่จะทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และ ประโยชน์อื่น แม้เพียงเล็กน้อยในสังคมได้

ขอขอบคุณ รุ่นพี่ เพื่อนๆ และรุ่นน้อง ทุกคน ที่คอยเป็นกำลังใจและให้คำปรึกษาที่ดี ทำให้ การทำวิทยานิพนธ์เป็นไปอย่างราบรื่น

ขอขอบคุณความไม่แน่นอน ที่บันดาลให้ทุกสิ่งทุกอย่างเกิดขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1. แนวเหตุผลในการทำวิทยานิพนธ์	1
1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3. ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4. วิธีดำเนินการวิจัย	3
1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.6. ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย	4
บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานและหลักการที่เกี่ยวข้อง	5
2.1. ระบบปฏิบัติการลินุกซ์สำหรับสมองกลฝังตัว(Linux Embedded System).....	5
2.2. สถาปัตยกรรมของระบบปฏิบัติการลินุกซ์(Linux Operating System Architecture)6	
2.2.1. ระบบแฟ้มข้อมูลเสมือน (Virtual File system).....	7
2.2.2. การจัดการกระบวนการ (Process Management).....	9
2.3. การพัฒนาาระบบสมองกลฝังตัวที่ใช้ระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Development of Linux Embedded system).....	9
2.3.1. การแปลโปรแกรมข้ามสถาปัตยกรรมและสายโซ่เครื่องมือ (Cross Compiling and Tool chain)	10

2.3.2.	ขั้นตอนในการพัฒนาระบบสมองกลฝังตัวที่ใช้ลินุกซ์ (Embedded Linux Development Process).....	11
2.3.3.	กระบวนการปลูกเครื่องของลินุกซ์ (Linux Booting Process)	13
2.3.4.	การเริ่มต้นของส่วนแก่นกลางในระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux Kernel Initialization)	13
2.3.5.	ระบบแฟ้มข้อมูลฐาน (Root File system)	15
2.4.	การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนระบบปฏิบัติการลินุกซ์	16
2.4.1.	การโปรแกรมหลายกระบวนการ	17
2.4.2.	การสร้างกระบวนการ (Process Creation)	17
2.4.3.	การติดต่อสื่อสารระหว่างกระบวนการ (Interprocess Communication)	19
2.4.4.	การจัดการทำสัญญาณ (Signal Handling)	20
2.4.5.	การปฏิบัติการกับแฟ้มข้อมูล (File Operation)	20
2.4.6.	การจัดการกับสารบบ (Directory Management)	21
2.5.	พื้นฐานของโปรแกรมขับอุปกรณ์ (Device Driver).....	21
2.6.	วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC-DC Converter)	22
2.7.	วงจรทวีแรงดัน (Voltage Multiplier)	25
บทที่ 3	การออกแบบวงจรเก็บกำลังไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ	28
3.1.	เครื่องเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ	28
3.2.	วงจรเก็บกำลังไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ.....	29
3.2.1.	วงจรทวีแรงดัน และผลการจำลองการทำงาน	33
3.2.2.	วงจรทบระดับ และผลการจำลองการทำงาน	35
3.2.3.	วงจรควบคุมเชิงเลข	36
บทที่ 4	การออกแบบระบบวีดิทัศน์ใฝ่ระวางไร้สายที่ใช้การสื่อสารทางจีพีอาร์เอส	39
4.1.	ระบบวีดิทัศน์ใฝ่ระวางไร้สายที่ใช้การสื่อสารทางจีพีอาร์เอส.....	39
4.2.	ระบบสมองกลฝังตัว	39

4.2.1.	กล้องวิดีโอทัศน.....	41
4.2.2.	ชุดสื่อสารจีพีอาร์เอส	41
4.3.	โครงสร้างระบบปฏิบัติการลินุกซ์บนระบบสมองกลฝังตัว	42
4.3.1.	โปรแกรมปลูกเครื่อง	42
4.3.2.	ส่วนแก่นกลาง	45
4.3.3.	โปรแกรมขับอุปกรณ์.....	46
4.3.1.	ระบบเพิ่มข้อมูลฐาน	46
4.4.	ซอฟต์แวร์ประยุกต์	47
4.4.1.	โปรแกรมตรวจจับการเคลื่อนไหวของวัตถุ	47
4.4.2.	โปรแกรมติดต่อสื่อสารกับชุดสื่อสารจีพีอาร์เอส	48
4.4.3.	โปรแกรมส่งสัญญาณภาพไปสู่เครื่องแม่ข่าย	53
4.4.4.	โปรแกรมหลัก (Main Program)	55
บทที่ 5	ผลการทดสอบ	58
5.1.	การทดสอบเครื่องเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ	58
5.2.	การทดสอบวงจรเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ	61
5.3.	การทดสอบการตรวจจับการเคลื่อนไหวของวัตถุ	64
5.4.	การใช้พลังงานของระบบวิดีโอทัศนใฝ่ระวางไร้สายที่ใช้การสื่อสารทางจีพีอาร์เอส	66
5.5.	การทดสอบต้นแบบระบบวิดีโอทัศนใฝ่ระวางไร้สายที่ใช้การสื่อสารทางจีพีอาร์เอส	68
บทที่ 6	ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ	70
6.1.	ข้อสรุป	70
6.2.	ข้อเสนอแนะ	70
	รายการอ้างอิง.....	72
	ภาคผนวก.....	73
	ภาคผนวก ก วงจรที่ออกแบบในวิทยานิพนธ์	74

ภาคผนวก ข	บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการ ICESIT2009	76
ภาคผนวก ค	บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการ ECTI2009	82
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....		85



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2-1	รายละเอียดโครงสร้างระบบเพิ่มข้อมูลฐานอย่างง่ายของระบบปฏิบัติการลินุกซ์ ...	15
ตารางที่ 2-2	รายละเอียดของชุดคำสั่งอรรถประโยชน์ busybox	15
ตารางที่ 2-3	คำสั่งที่ใช้ปฏิบัติการกับเพิ่มข้อมูลเสมือน	20
ตารางที่ 4-1	กลุ่มคำสั่งเอทีพีเอ็นฐานที่ใช้ควบคุมการทำงานชุดติดต่อสื่อสารจีพีอาร์เอส	42
ตารางที่ 4-2	คำสั่งที่ใช้ในโปรแกรม U-Boot	45
ตารางที่ 4-3	ค่ากำหนดของการถ่ายโอนเพิ่มข้อมูลที่กำหนดไว้ในชุดสื่อสารจีพีอาร์เอส	50
ตารางที่ 4-4	ค่ากำหนดของการส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ที่กำหนดไว้ในชุดสื่อสารจีพีอาร์เอส ...	53
ตารางที่ 5-1	คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเครื่องเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า กระแสสลับ.....	58
ตารางที่ 5-2	คุณสมบัติทางไฟฟ้าของวงจรเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า กระแสสลับ.....	62
ตารางที่ 5-3	การใช้พลังงานของระบบวิดิทัศน์ใฝ่ระวางไร้สายที่ใช้การสื่อสารทางจีพีอาร์เอสเมื่อ อุปกรณ์ทุกตัวทำงาน.....	66
ตารางที่ 5-4	การใช้พลังงานของระบบวิดิทัศน์ใฝ่ระวางไร้สายที่ใช้การสื่อสารทางจีพีอาร์เอสเมื่อ อุปกรณ์ในส่วนระบบใฝ่ระวางหลัก	66
ตารางที่ 5-5	การใช้พลังงานของระบบวิดิทัศน์ใฝ่ระวางไร้สายที่ใช้การสื่อสารทางจีพีอาร์เอสเมื่อ ปิดการใช้งานชุดสื่อสารจีพีอาร์เอสและกล่องวิดิทัศน์เชิงเลข	67

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่ 2-1 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของระบบปฏิบัติการลินุกซ์	7
รูปที่ 2-2 ระบบเพิ่มข้อมูลเสมือน	8
รูปที่ 2-3 ผังงานขั้นตอนการพัฒนาาระบบสมองกลฝังตัวที่ใช้ระบบปฏิบัติการลินุกซ์	12
รูปที่ 2-4 ผังงานการเริ่มต้นของส่วนแก่นกลางโดยสังเขป	14
รูปที่ 2-5 ตัวอย่างการใช้โปรแกรม fork() และ execv() ในการโปรแกรมหลายกระบวนการ	19
รูปที่ 2-6 การติดต่อระหว่างโปรแกรมประยุกต์กับอุปกรณ์เชื่อมต่อในระบบ	22
รูปที่ 2-7 วงจรทระดับ	23
รูปที่ 2-8 รูปคลื่นแรงดันควบคุมสวิตช์	23
รูปที่ 2-9 วงจรสมมูลของวงจรทระดับที่ต่อกับแบตเตอรี่ (ก) วงจรมมูลในรูปของหม้อแปลงอุดมคติ(ข) วงจรที่ยุบรวมหม้อแปลงแล้ว	25
รูปที่ 2-10 วงจรทวิแรงดัน 4 ชั้น	25
รูปที่ 2-11 รูปคลื่นแรงดันด้านออก(V_o) ตามเวลาเวลา	27
รูปที่ 3-1 เครื่องเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้า (ก) ภาพ 3 มิติ (ข) ภาพตัดขวาง	28
รูปที่ 3-2 วงจรเก็บกำลังไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ	30
รูปที่ 3-3 วงจรสมมูลของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในวงจรเก็บกำลังไฟฟ้า (ก) เครื่องเหนี่ยวนำ (ข) วงจรทระดับ (ค) แบตเตอรี่ (ง) วงจรเก็บกำลังไฟฟ้ารวม	31
รูปที่ 3-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัฏจักรงานกับกำลังไฟฟ้าด้านออกของ วงจรเก็บกำลังไฟฟ้า	33
รูปที่ 3-5 ผลการจำลองวงจรทวิแรงดันในสภาวะชั่วคราว	34
รูปที่ 3-6 ผลการจำลองวงจรทวิแรงดันในสภาวะอยู่ตัว	34
รูปที่ 3-7 วงจรทระดับที่ออกแบบ และจำลองผลการทำงาน	35
รูปที่ 3-8 ผลการจำลองการทำงานของวงจรทระดับในสภาวะอยู่ตัว	36
รูปที่ 3-9 แผนภาพบลิ๊กรวงจรเก็บพลังงานจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	37
รูปที่ 3-10 ผังงานวงจรควบคุมเชิงเลข	38
รูปที่ 4-1 ระบบวิถีทัศน์ใฝ่ระยะรังไร้สายที่ใช้การสื่อสารทาง GPRS	39
รูปที่ 4-2 ระบบสมองกลฝังตัวที่ใช้พัฒนาระบบวิถีทัศน์ใฝ่ระยะรังไร้ที่ใช้การสื่อสารทางจีพีอาร์เอส ..	41

รูปที่ 4-3 การลงโปรแกรมบรรจุ U-boot และตัวอย่างการใช้โปรแกรม U-boot เพื่อบรรจุระบบปฏิบัติการลินุกซ์, ระบบเพิ่มข้อมูลฐาน และบทคำสั่งเริ่มต้นลงบนสมองกลฝังตัว 44

รูปที่ 4-4 การบรรจุโปรแกรมขับอุปกรณ์กล้องวิดีโอ 46

รูปที่ 4-5 ผังงานโปรแกรมตรวจจับการเคลื่อนไหวของวัตถุ 48

รูปที่ 4-6 ผังงานการสร้างช่องสัญญาณจีพีอาร์เอส 50

รูปที่ 4-7 ผังงานการส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ด้วยชุดสื่อสารจีพีอาร์เอส 52

รูปที่ 4-8 ผังงานโปรแกรมส่งสัญญาณภาพไปสู่เครื่องแม่ข่าย 55

รูปที่ 4-9 ผังงานโปรแกรมหลัก 57

รูปที่ 5-1 เครื่องเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ 58

รูปที่ 5-2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าด้านออกกับแรงดันด้านออกของเครื่องเหนี่ยวนำ
กำลังไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ 60

รูปที่ 5-3 วงจรเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ 62

รูปที่ 5-4 ความสัมพันธ์ระหว่างวัฏจักรงานกับกำลังไฟฟ้าด้านออกที่กระแสในสายส่ง
ช่วง 50 – 100 A..... 64

รูปที่ 5-5 แผนภูมิการตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ที่ระยะ 8 เมตร และลูกตะกร้อที่
ระยะ 2 เมตรที่ค่าขีดแบ่ง threshold เป็น 1500, 2000 และ 2500 ตามลำดับ..... 65

รูปที่ 5-6 ระบบวิดีโอใฝ่ระวางไร้สายที่ใช้การสื่อสารทางจีพีอาร์เอส 68

บทที่ 1

บทนำ

1.1. แนวเหตุผลในการทำวิทยานิพนธ์

ปัญหาการก่อการร้ายในบริเวณ 4 จังหวัดชายแดนภาคใต้ และปัญหาการทำลายสายไฟฟ้าแรงสูงเพื่อนำสายไฟฟ้าไปจำหน่ายเป็นปัญหาที่สร้างความเสียหายต่อชีวิต และทรัพย์สินของประเทศไทย การเฝ้าระวังมิให้เหตุการณ์ดังกล่าวเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการลดความสูญเสียในชีวิตของประชาชนในเขต 4 จังหวัดชายแดนภาคใต้ ตลอดจนรักษาความเสียหายที่จะเกิดขึ้นแก่ทรัพย์สินของประเทศ อย่างไรก็ตามการเฝ้าระวังโดยการจัดเวรยามรักษาการณ์ต้องใช้บุคลากรจำนวนมาก อีกทั้งบุคลากรเหล่านี้ ยังต้องเสี่ยงอันตรายเมื่อรักษาการณ์อยู่ในภูมิภาคที่รกร้าง ซึ่งอาจทำให้เกิดอันตรายต่อบุคลากรเหล่านั้นได้ ทำให้การเฝ้าระวังไม่สัมฤทธิ์ผลอย่างที่คาดการณ์ไว้

วิธีการเฝ้าระวังโดยการติดตั้งกล้องวงจรปิดไว้บนสายไฟฟ้าแรงสูงเพื่อตรวจตราเฝ้าระวังผู้ก่อการร้าย เป็นวิธีการหนึ่งที่ถูกเสนอโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย วิธีการดังกล่าวจะแขวนกล้องกล้องวิดีโอไว้บนสายไฟฟ้าแรงสูงเพื่อให้ผู้ก่อการร้ายไม่สามารถขโมยหรือทำลายได้โดยง่าย กล้อง วิดีทัศน์ที่ถูกติดตั้งไว้จะทำหน้าที่ถ่ายภาพบริเวณรอบสายไฟฟ้าแรงสูง และตรวจจับการเคลื่อนไหวของผู้ก่อการร้าย หาก กล้องวิดีโอที่ติดตั้งไว้ตรวจพบการเคลื่อนไหวของผู้ก่อการร้าย กล้องวงจรปิดก็จะส่งภาพมายังเครื่องแม่ข่ายที่ศูนย์กลางเพื่อให้บุคลากรที่เกี่ยวข้องตรวจสอบภาพและดำเนินการต่อไป อย่างไรก็ตามการติดตั้งกล้องวิดีโอไว้บนสายไฟฟ้าแรงสูงไม่สามารถกระทำได้ง่าย เนื่องจากเกิดปัญหาคือ บริเวณสายไฟฟ้าแรง สูงไม่มีแหล่งจ่ายพลังงานที่รองรับการจ่ายกำลังงานให้กับกล้องวงจรปิดที่ติดตั้งอยู่ ในบางบริเวณอาจมีแหล่งจ่ายพลังงานแต่ไม่สามารถนำมาใช้ได้เนื่องจากจะเกิดอันตรายต่ออุปกรณ์ วิธีการหนึ่งสำหรับการแก้ไขปัญหานี้คือ การใช้แบตเตอรี่สำหรับจ่ายกำลังงานให้กับกล้องวิดีโอที่ติดตั้งอยู่ แต่วิธีการนี้ไม่เหมาะต่อการนำไปใช้ในทางปฏิบัติ เนื่องจากเมื่อแบตเตอรี่จ่ายกำลังไฟฟ้าจนหมด กล้องวิดีโอก็จะไม่สามารถทำงานได้ ทำให้ต้องใช้เจ้าหน้าที่เข้าไปยังจุด ที่ติดตั้งกล้องเพื่อเปลี่ยนแบตเตอรี่ซึ่งทำได้ยากลำบากมาก ปัญหาที่เกิดขึ้นอีกประการหนึ่งคือ กล้องวิดีโอที่ติดตั้งไว้จะต้องสามารถตรวจจับเฉพาะการเคลื่อนไหว โดยเฉพาะอย่างยิ่งกล้องจะต้องไม่ละเลยการเคลื่อนไหวที่เกิดจากคนร้าย และควรจะไม่ละเลยการเคลื่อนไหวที่เนื่องจากลม เช่น กิ่งไม้ หรือใบไม้ไหว

ปลิว ดังนั้นขั้นตอนวิธีของโปรแกรมที่ใช้จะต้องมีเสถียรภาพและทำงานได้อย่างถูกต้อง ปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ การส่งสัญญาณภาพจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูงมายังเครื่องแม่ข่ายที่ศูนย์กลางจะต้องเป็นแบบไร้สายเนื่องจากบริเวณดังกล่าวไม่มีสายส่งสัญญาณสำหรับให้กล้องส่งสัญญาณภาพผ่านทางสายดังกล่าวได้

ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอการออกแบบและสร้างระบบวีดิทัศน์ใฝาระวังแบบไร้สายที่ใช้การสื่อสารทาง GPRS และใช้พลังงานจากสถานีแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น

1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบเครือข่ายวีดิทัศน์ใฝาระวังไร้สายสำหรับการใฝาระวังผู้ก่อการร้ายด้วยการเขวนคล้องกล้องวีดิทัศน์ไว้กับสายไฟฟ้าแรงสูง
- 1.2.2. ศึกษาและออกแบบระบบสมองกลฝังตัวที่ใช้ระบบปฏิบัติการลินุกซ์สำหรับใช้ในระบบเครือข่ายวีดิทัศน์ใฝาระวังไร้สาย
- 1.2.3. ศึกษาและพัฒนาโปรแกรมสำหรับตรวจจับการเคลื่อนไหว
- 1.2.4. ศึกษาและสร้างวงจรสำหรับเก็บพลังงานจากสถานีแม่เหล็กไฟฟ้ารอบสายส่งไฟฟ้าแรงสูง
- 1.2.5. ศึกษาการใช้งานชุดสื่อสารข้อมูลแบบ GPRS

1.3. ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1. ออกแบบและสร้างระบบเครือข่ายวีดิทัศน์ใฝาระวังไร้สายที่ใช้การสื่อสารทาง GPRS และใช้พลังงานจากสถานีแม่เหล็กไฟฟ้า โดยมีข้อกำหนดดังนี้
 - ระบบใช้หน่วยประมวลผลสถาปัตยกรรม ARM9 ที่สามารถทำงานที่ความเร็วมากกว่า 180 ล้านคำสั่งต่อวินาที (MIPS)
 - ระบบใช้พลังงานทั้งหมดไม่เกิน 15 วัตต์
 - ระบบใช้กล้องวีดิทัศน์เชิงเลข และหรือกล้องวีดิทัศน์อินฟราเรด
 - ระบบสามารถใช้พลังงานจากการเหนี่ยวนำจากสถานีแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับที่กระแสในสายส่งในช่วง 50-100 A ได้

- ระบบสามารถส่งภาพมายังเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายผ่านการติดต่อสื่อสารทางจีพีอาร์เอสได้ด้วยความเร็ว 10 – 40 kbps
- เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายสามารถเรียกดูภาพที่ส่งมาผ่านโปรแกรมเชื่อมประสานผู้ใช้ หรือ ส่งคำสั่งไปยังระบบวีดิทัศน์ไร้สายได้

1.3.2. ใช้ระบบปฏิบัติการลินุกซ์สำหรับจัดการกับอุปกรณ์สมองกลฝังตัว ซึ่งประกอบด้วยกล้องวีดิทัศน์ หน่วยประมวลผล หน่วยความจำ และชุดอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลแบบ GPRS

1.4. วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1. ศึกษาการใช้งานระบบปฏิบัติการลินุกซ์ในระบบสมองกลฝังตัว

1.4.2. ศึกษาการเขียนโปรแกรมภาษา C และ C++ สำหรับการควบคุมการทำงานของระบบสมองกลฝังตัวที่ใช้ระบบปฏิบัติการลินุกซ์

1.4.3. ศึกษาการทำงานหลายกระบวนการ(Multiprocessing) และการเขียนโปรแกรมในสภาพแวดล้อมของการทำงานหลายกระบวนการ

1.4.4. ศึกษาขั้นตอนวิธีสำหรับการประมวลผลภาพเพื่อใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนไหวของวัตถุ

1.4.5. ศึกษาวิธีการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ได้แก่ วงจรทวิแรงดัน และ วงจรทระดับ

1.4.6. ศึกษาทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับการเหนี่ยวนำพลังงานจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ

1.4.7. ออกแบบและทดสอบอุปกรณ์เหนี่ยวนำพลังงานจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

1.4.8. ออกแบบและทดสอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง สำหรับแปลงผันพลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์เหนี่ยวนำพลังงานจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ

1.4.9. ออกแบบและเขียนโปรแกรมสำหรับตรวจจับการเคลื่อนไหวของวัตถุ และติดต่อสื่อสารทาง GPRS บนระบบสมองกลฝังตัวที่ใช้ระบบปฏิบัติการลินุกซ์

1.4.10. เขียนโปรแกรมเชื่อมประสานบนเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายสำหรับรับชมภาพ

1.4.11. ทดสอบการตรวจจับการเคลื่อนไหวของระบบ

1.4.12. รวบรวมผลการทดลอง, สรุปผล และ เขียนวิทยานิพนธ์

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1. ระบบเฝ้าระวังวิดิทัศน์ต้นแบบที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ในการเฝ้าระวังภายในที่อยู่อาศัย หรือพัฒนาต่อเพื่อนำไปใช้ในการเฝ้าระวังในย่านชุมชน หรือเขตจังหวัดชายแดนภาคใต้ได้

1.5.2. ผลจากการศึกษา ออกแบบ และ สร้างอุปกรณ์เหนี่ยวนำพลังงานจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะเป็นรากฐานต่อการออกแบบระบบที่ใช้พลังงานจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าต่อไป

1.5.3. ผลจากการศึกษา ออกแบบ และสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ใช้แปลงผันกำลังไฟฟ้า จากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถนำไปประยุกต์ใช้แปลงผันกับวงจรเก็บเกี่ยวพลังงานจาก สิ่งแวดล้อมประเภทอื่น เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานจากการสั่นไหว เป็นต้น

1.5.4. ความรู้ที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบระบบสมองกลฝังตัวที่ใช้ ระบบปฏิบัติการลินุกซ์ต่อไป

1.5.5. ความรู้ที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนางจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังอื่นๆ ต่อไป

1.6. ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท โดยบทที่ 2 จะกล่าวถึง ความรู้พื้นฐาน และหลักการที่เกี่ยวข้องซึ่งประกอบด้วย ระบบปฏิบัติการลินุกซ์ และ วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง บทที่ 3 จะกล่าวถึง การออกแบบวงจรเก็บกำลังไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งประกอบด้วย เครื่องเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้า วงจรทวิแรงดัน วงจรทบแรงดัน และการวิเคราะห์วงจรรวม บทที่ 4 กล่าวถึงการออกแบบระบบวิดิทัศน์ไร้สายที่ใช้ระบบปฏิบัติการลินุกซ์ ซึ่งประกอบด้วย คุณลักษณะของส่วนเครื่อง ระบบปฏิบัติ การลินุกซ์ ส่วนโปรแกรมตรวจจับการเคลื่อนไหว และ ส่วนโปรแกรมส่งสัญญาณภาพ บทที่ 5 จะกล่าวถึง ผลการทดสอบวงจรเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้า ผลการทดสอบโปรแกรม และ ผลการทดสอบระบบวิดิทัศน์ไร้สายที่ใช้การสื่อสารทางจีพีอาร์เอสและ ใช้พลังงานจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ ทำยที่สุด บทที่ 6 จะกล่าวถึงสรุปผลงานวิจัย และ ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อไป

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1. ระบบปฏิบัติการลินุกซ์สำหรับสมองกลฝังตัว(Linux Embedded System)

ระบบปฏิบัติการ คือ ซอฟต์แวร์ที่ทำหน้าที่ เชื่อมประสานระหว่างอุปกรณ์และทรัพยากรในระบบ กับ โปรแกรมประยุกต์ โดยระบบปฏิบัติการจะทำหน้าที่บริหารจัดการ และจัดสรรอุปกรณ์และทรัพยากรต่างๆ อาทิเช่น หน่วยประมวลผล หน่วยความจำ เมมโมรี่ แฟลช แบตเตอรี่ อักขระ(keyboard) ช่องทาง USB ฯลฯ ที่มีอยู่อย่างจำกัดให้กับโปรแกรมประยุกต์ที่กำลังดำเนินงานอยู่ใช้อย่างมีประสิทธิภาพ และ จัดให้มีส่วนเชื่อมประสานโปรแกรมประยุกต์ (Application Programming Interface) เพื่อให้โปรแกรมประยุกต์สามารถเรียกใช้บริการในระบบปฏิบัติการ หรือใช้อุปกรณ์ที่ติดตั้ง ในระบบได้โดยไม่ต้องรู้รายละเอียดเกี่ยวกับขั้นตอนในการติดต่อเชื่อมโยงกับอุปกรณ์เหล่านั้นอย่างละเอียด ซึ่งช่วยให้การพัฒนาโปรแกรมต่างๆ บนระบบปฏิบัติการสามารถทำได้ง่ายและสะดวกกว่าการพัฒนาโปรแกรมกับระบบที่ไม่ได้ติดตั้งระบบปฏิบัติการ ซึ่งต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับอุปกรณ์ต่างๆ ที่เชื่อมต่ออยู่ในระบบเป็นอย่างดี

ระบบปฏิบัติการที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีหลายโครงสร้าง เช่น ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ ระบบปฏิบัติการยูนิกซ์ เป็นต้น ระบบปฏิบัติการลินุกซ์เป็นระบบปฏิบัติการหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้นมาจากระบบปฏิบัติการยูนิกซ์เพื่อใช้สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) และต่อมาได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับอุปกรณ์สมองกลฝังตัวด้วย ข้อได้เปรียบของ ลินุกซ์ในการพัฒนาระบบสมองกลฝังตัวคือ ลินุกซ์เป็นซอฟต์แวร์เสรี(Open Source) ซึ่งหมายความว่าผู้พัฒนาโปรแกรมสามารถใช้ หรือแจกจ่าย ลินุกซ์ ตลอดจนโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นบนระบบปฏิบัติการลินุกซ์ได้อย่างเสรี โดย ไม่ต้องเสียค่าลิขสิทธิ์ให้กับบุคคลหนึ่งบุคคลใด นอกจากนี้ผู้พัฒนาโปรแกรมยังสามารถศึกษาหรือดูเนื้อหาของโปรแกรม (Source code) ได้อย่างอิสระซึ่งแตกต่างจากระบบปฏิบัติการอื่น เช่น ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ หรือ ระบบปฏิบัติการแมค ซึ่งไม่สามารถดูเนื้อหาของโปรแกรม หรือใช้ระบบปฏิบัติการโดยไม่เสีย ค่าลิขสิทธิ์ได้

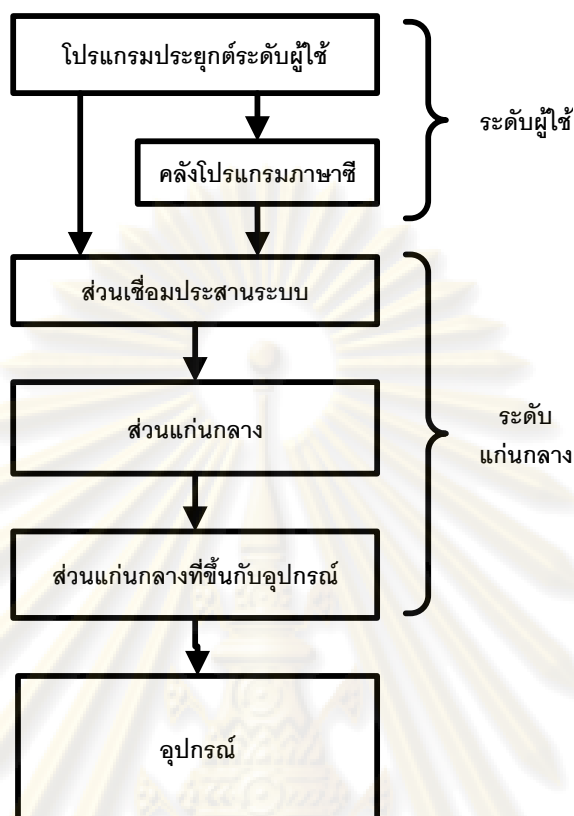
อย่างไรก็ตาม ผู้ออกแบบและพัฒนาระบบสมองกลฝังตัวโดยใช้ ลินุกซ์ จะต้องเรียนรู้เกี่ยวกับพื้นฐานการใช้งานลินุกซ์ และมีความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับโครงสร้างสถาปัตยกรรมของลินุกซ์ ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 2.2 ต่อไป

2.2. สถาปัตยกรรมของระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux Operating System Architecture)

ลินุกซ์แบ่งระดับการใช้งานเป็น 2 ระดับ [2] ได้แก่ ระดับผู้ใช้ (User-mode) และระดับแก่นกลาง (Kernel-mode) ดังแสดงในรูปที่ 2-1 โดยระดับผู้ใช้คือระดับที่โปรแกรมประยุกต์ต่างๆ ดำเนินงาน เมื่อโปรแกรมประยุกต์ในระดับนี้ต้องการใช้อุปกรณ์ หรือต้องการเรียกใช้บริการของระบบปฏิบัติการ (Kernel Routine) เช่น การเพิ่มผู้ใช้ (Add user) หรือ การสร้างกระบวนการ (Process Creation) โปรแกรมประยุกต์จะเรียกใช้ส่วนโปรแกรมเชื่อมประสานของระบบ (System Call Interface) ให้ทำหน้าที่ติดต่อกับระดับแก่นกลาง และ อุปกรณ์แทน โปรแกรมประยุกต์สามารถเรียกใช้ส่วนโปรแกรมเชื่อมประสานของระบบโดยตรง หรือเรียกใช้จากคลังโปรแกรม (Library) ก็ได้ หลังจากนั้นส่วนโปรแกรมเชื่อมประสานของระบบจะทำหน้าที่ติดต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ หรือใช้บริการของระบบปฏิบัติการตามที่โปรแกรมประยุกต์เรียกใช้ต่อไป จากรูปที่ 2-1 จะเห็นว่าโปรแกรมประยุกต์ไม่สามารถที่จะติดต่อกับอุปกรณ์ และไม่สามารถเรียกใช้บริการจากระดับแก่นกลาง(Kernel Services) ได้โดยตรงแต่จะต้องเรียกใช้ผ่านทางส่วนโปรแกรมเชื่อมประสานของระบบเท่านั้น

ระดับแก่นกลางนั้นอาจแบ่งได้เป็น 3 ส่วนย่อยๆ ได้แก่

1. ส่วนโปรแกรมเชื่อมประสานของระบบซึ่งทำหน้าที่ติดต่อกับส่วนของผู้ใช้หรือโปรแกรมประยุกต์ดังกล่าวมาแล้ว
2. ส่วนของแก่นกลางซึ่งไม่ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่ใช้ (Hardware Independent Kernel) ส่วนนี้จะประกอบด้วย โครงสร้างต่าง ๆ ของลินุกซ์ เช่น การเพิ่มและลบผู้ใช้จากระบบ (User management) การจัดการกระบวนการ (Process Management) ระบบไฟล์เสมือน (Virtual File system) การจัดการอุปกรณ์เชื่อมต่อ (Device Driver) เป็นต้น โดยส่วนนี้จะเป็นตัวกำหนดโครงสร้างหลักๆ ของลินุกซ์
3. ส่วนแก่นกลางซึ่งขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ (Hardware dependent Kernel) ส่วนนี้จะมี ความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่ใช้ เช่น หน่วยประมวลผล หน่วยความจำ ฯลฯ ส่วนนี้เป็นส่วนที่ผู้พัฒนาระบบสมองกลฝังตัวที่ใช้ลินุกซ์ต้องมีความรู้ความเข้าใจเป็นอย่างดี

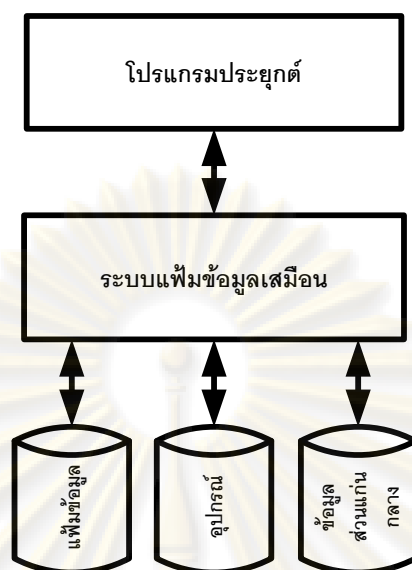


รูปที่ 2-1 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของระบบปฏิบัติการลินุกซ์

2.2.1. ระบบเพิ่มข้อมูลเสมือน (Virtual File system)

ในมุมมองของลินุกซ์สื่อกลางต่าง ๆ อาทิเช่น จานบันทึกแบบแข็ง (Hard disk) ช่องทางอนุกรม (Serial Port) และ หน่วยเก็บโครงสร้างข้อมูล ของระดับแก่นกลาง (Kernel Data Structure) เป็นเสมือนเพิ่มข้อมูลซึ่งผู้ใช้สามารถอ่านหรือเขียนข้อมูลลงไปได้ ถึงแม้ว่ารายละเอียดในการอ่านหรือเขียนข้อมูลจะแตกต่างกัน การมองสื่อกลางดังกล่าวเป็นเสมือนเพิ่มข้อมูลนั้น เรียกว่า ระบบเพิ่มข้อมูลเสมือน [3]

การทำงานของระบบเพิ่มข้อมูลเสมือนสามารถอธิบายได้โดยใช้รูปที่ 2-2



รูปที่ 2-2 ระบบเพิ่มข้อมูลเสมือน

กำหนดให้โปรแกรมจากส่วนผู้ใช้ (User-space) ในรูปที่ 2-12 เรียกใช้คำสั่งเปิดเพิ่มข้อมูล (Open) เพื่อขอส่วนแกนกลาง(Kernel-space)ใช้ช่องทางอนุกรม (Serial Port) ที่อยู่ในเพิ่มข้อมูลเสมือนที่ (/dev/ttyS0) หากช่องทางอนุกรมไม่ได้ถูกใช้งานอยู่ และผู้ใช้มีสิทธิในการใช้ช่องทางอนุกรม ระบบปฏิบัติการ จะส่งตัวบอกเพิ่มข้อมูล (File Descriptor) มายังโปรแกรมในส่วนผู้ใช้ เพื่อให้ โปรแกรมเรียกใช้ตัวบอกเพิ่มข้อมูลนี้ติดต่อกับช่องทางอนุกรมต่อไป หลังจาก เปิดเพิ่มข้อมูลแล้ว โปรแกรม ส่วนผู้ใช้จะสามารถเขียนข้อมูลลงบนช่องทางอนุกรมได้ด้วยการเรียกใช้คำสั่งเขียนข้อมูล (Write) กับตัวบอกเพิ่มข้อมูลที่ได้รับมา คำสั่งเขียนข้อมูลนี้จะร้องขอให้ส่วนแกนกลางเขียนข้อมูลลงบนช่องทางอนุกรม โดยข้อมูลที่เขียนจะอยู่ในตัวแปรชื่อ “buffer” และมีขนาดเท่ากับ “sizeof(buffer)” เมื่อส่วนแกนกลางได้รับการร้องขอให้เขียนข้อมูลไปยังช่องทางอนุกรม มันจะเขียนข้อมูลลงบนช่องทางอนุกรมให้โดยผู้ใช้ไม่ต้องทราบถึงรายละเอียดของวิธีการเขียนข้อมูลลงบนช่องทางอนุกรมแต่อย่างใด

การนำระบบเพิ่มข้อมูลเสมือนมาใช้ในลินุกซ์ทำให้การพัฒนาโปรแกรมเป็นไปได้โดยง่าย เนื่องจาก ผู้พัฒนาสามารถติดต่อกับอุปกรณ์เชื่อมต่อ ตลอดจน อ่านหรือเขียนข้อมูลเพื่อเปลี่ยนแปลงโครงสร้างข้อมูลของส่วนแกนกลางโดยใช้คำสั่งเดียวกัน เพราะลินุกซ์มองสื่อกลางเหล่านี้เสมือนว่าเป็นเพิ่มข้อมูลดังที่ได้กล่าวไปแล้ว ผู้พัฒนาจึงไม่ต้องเสียเวลาในการเรียนรู้รายละเอียดต่างๆ มากนัก และสามารถจดจ่อกับการพัฒนา โปรแกรมเพื่อใช้สำหรับงานประยุกต์เท่านั้น

2.2.2. การจัดการกระบวนการ (Process Management)

กระบวนการ(Process) คือส่วนของโปรแกรมในหน่วยความจำที่กำลังดำเนินงานอยู่ ซึ่งประกอบด้วย ชุดคำสั่ง และ ทรัพยากร ทรัพยากรของแต่ละกระบวนการประกอบด้วย แฟ้มข้อมูลที่เปิดอยู่ สัญญาณ โครงสร้างข้อมูลภายในของส่วนแก่นกลาง สถานะของหน่วยประมวลผล เป็นต้น ลินุกซ์สามารถรองรับการทำงานแบบหลายกระบวนการ (Multiprocessing) ซึ่งหมายความว่า อาจมีหลายกระบวนการอยู่ในระบบ และแต่ละกระบวนการทำงานเสมือนว่า มันทำงานอยู่ตลอด แต่ในความเป็นจริงแล้วระบบปฏิบัติการจะจัดสรรเวลา และหน่วยความจำให้แก่กระบวนการทำงานสลับกันไป

โปรแกรมส่วนผู้ใช้สามารถสร้างกระบวนการใหม่ขึ้นได้โดยเรียกใช้คำสั่งในส่วน เชื่อมประสานระบบได้แก่ fork() โดยกระบวนการใหม่ที่ได้จะมีลักษณะเช่นเดียวกับกระบวนการที่สร้างมันขึ้นมา กระบวนการที่เรียกคำสั่ง fork() นั้นจะเป็นพ่อแม่ (parents) ของกระบวนการใหม่ หรืออาจกล่าวได้ว่ากระบวนการใหม่เป็นลูก (child) ของกระบวนการที่เรียกคำสั่ง fork() ที่สร้างมันขึ้นมา เมื่อได้กระบวนการใหม่ที่มีลักษณะเหมือนกับพ่อแม่ โปรแกรมในส่วนของผู้ใช้สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงหรือการทำงานของกระบวนการใหม่ได้โดยใช้กลุ่มคำสั่ง exec**() คำสั่งนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนส่วนของชุดคำสั่ง และทรัพยากรในกระบวนการใหม่ เพื่อให้กระบวนการใหม่ทำหน้าที่แตกต่างจากพ่อแม่ของมันได้ หลังจากทำงานลุล่วง แล้ว กระบวนการจะเรียกคำสั่ง exit() เพื่อสิ้นสุดกระบวนการ หลังจากนั้น ทรัพยากรต่าง ๆ ของระบบที่กระบวนการนั้นใช้อยู่ก็จะถูกคืนให้ระบบเพื่อให้กระบวนการอื่นใช้ต่อไป นอกจากนี้กระบวนการที่เป็นพ่อแม่สามารถดูสถานะสิ้นสุดของกระบวนการลูกได้โดยใช้กลุ่มคำสั่ง wait() กระบวนการลูกใด ๆ ที่สิ้นสุด ลงโดยที่กระบวนการพ่อแม่ไม่ได้เรียกใช้กลุ่มคำสั่ง wait() เรียกว่ากระบวนการซอมบี้ (zombie process) กระบวนการเหล่านี้ภายหลังจะถูกรับเลี้ยง (adopt) โดยกระบวนการเริ่มแรกที่ชื่อว่า init ซึ่งเป็นกระบวนการพ่อแม่ของทุกกระบวนการในระบบ

2.3. การพัฒนาระบบสมองกลฝังตัวที่ใช้ระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Development of Linux Embedded system)

ลินุกซ์เป็นระบบปฏิบัติการที่มีโครงสร้างสถาปัตยกรรมรองรับการพัฒนา โปรแกรมที่หลากหลาย ทำให้ผู้พัฒนาโปรแกรม และระบบสมองกลฝังตัวสามารถพัฒนางานประยุกต์ได้โดยง่าย อย่างไรก็ตาม นอกจากผู้พัฒนาจะต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับสถาปัตยกรรมของลินุกซ์แล้ว ยังต้องเข้าใจการพัฒนาโปรแกรมบนระบบสมองกลฝังตัว ซึ่งแตกต่างจากการ

พัฒนาบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เนื่องจากทรัพยากรต่างๆ อาทิเช่น หน่วยประมวลผล หน่วยความจำ ฯลฯ ในระบบสมองกลฝังตัวนั้นจะแตกต่างจากเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ตัวอย่างเช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลส่วนใหญ่จะใช้หน่วยประมวลผลสถาปัตยกรรม x86 ส่วนระบบสมองกลฝังตัวจะใช้หน่วยประมวลผลสถาปัตยกรรม ARM หรือ MIPS นอกจากนี้ เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลส่วนใหญ่จะมีหน่วยความจำสำรอง (Secondary Storage) เป็นจานบันทึกแบบแข็ง (Hard disk) ส่วนระบบสมองกลฝังตัวจะใช้หน่วยความจำสำรองเป็นหน่วยความจำแบบแฟลช (Flash memory) หรือ บัตรบันทึกข้อมูลแบบแฟลช (CF-card) เป็นต้น ความแตกต่างดังกล่าวทำให้การพัฒนาในระบบสมองกลฝังตัวที่ใช้ลินุกซ์ แตกต่างจากการพัฒนาโปรแกรมบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

เนื่องจากลินุกซ์ได้แบ่งระดับการใช้งานเป็น 2 ระดับคือระดับผู้ใช้ และ ระดับแก่นกลาง โดยโปรแกรมในระดับผู้ใช้จะต้องติดต่อกับ ส่วนแก่นกลางผ่านส่วนโปรแกรมเชื่อมประสานของระบบ ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.2 ดังนั้นผู้พัฒนาระบบสมองกลฝังตัวสำหรับลินุกซ์ จะต้องเปลี่ยนแปลงโปรแกรมในระดับแก่นกลางให้เข้ากับสถาปัตยกรรม หรืออุปกรณ์ที่ใช้ แต่ ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงโปรแกรมในระดับผู้ใช้ สิ่งนี้เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาระบบสมองกลฝังตัว เนื่องจากผู้พัฒนาสามารถทำงานแยกกัน โดยผู้พัฒนาคนหนึ่งพัฒนาโปรแกรมในระดับผู้ใช้ และผู้พัฒนาอีกคนหนึ่งพัฒนาโปรแกรมในระดับแก่นกลางให้เข้ากันได้กับอุปกรณ์สมองกลฝังตัว ภายหลังจากผู้พัฒนาทั้งสองคนนี้สามารถนำโปรแกรมมารวมกันเพื่อผลิตเป็นสินค้าได้ นอกจากนี้ ผู้พัฒนายังสามารถใช้โปรแกรมประยุกต์ในระดับผู้ใช้ที่ถูกพัฒนาบนสถาปัตยกรรมอื่น มาแปลโปรแกรมข้ามสถาปัตยกรรม (Cross compile) เพื่อให้โปรแกรมประยุกต์ดังกล่าวสามารถใช้กับระบบสมองกลฝังตัวของผู้พัฒนาได้โดยไม่ต้องเขียนโปรแกรมในระดับผู้ใช้นั้น ๆ ขึ้นมาใหม่ รายละเอียดเกี่ยวกับการแปลโปรแกรมข้ามสถาปัตยกรรมและสายโซ่เครื่องมือที่ใช้ในการแปลโปรแกรมข้ามสถาปัตยกรรมจะกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.3.1

2.3.1. การแปลโปรแกรมข้ามสถาปัตยกรรมและสายโซ่เครื่องมือ (Cross Compiling and Tool chain)

การแปลโปรแกรมข้ามสถาปัตยกรรม (Cross compile) คือ การนำโปรแกรม ที่ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับสถาปัตยกรรมหนึ่ง มาแปลใหม่เพื่อให้โปรแกรมนั้นสามารถทำงานบนอีกสถาปัตยกรรมหนึ่งได้โดยไม่ต้องแก้ไขส่วนของโปรแกรม หรือเขียนโปรแกรม นั้นขึ้นใหม่ การแปล

โปรแกรมข้ามสถาปัตยกรรม ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยลดเวลา ในการพัฒนาโปรแกรมบนระบบ สมองกลฝังตัว

เครื่องมือที่ใช้ในการแปลโปรแกรมข้ามสถาปัตยกรรมมีหลายเครื่องมือ ซึ่งรวม เรียกว่า สายโซ่เครื่องมือ (Toolchain) สายโซ่เครื่องมือจะประกอบด้วยเครื่องมือที่สำคัญดังนี้

ชุดตัวแปลโปรแกรม (Compiler collection) เป็นเครื่องมือที่ใช้แปลโปรแกรม ชุด ตัวแปลโปรแกรมที่นิยมใช้ในลินุกซ์คือ GCC ซึ่งสามารถแปลโปรแกรมข้ามสถาปัตยกรรมได้หลาย สถาปัตยกรรม เช่น x86 x86-64 ARM MIPS Blackfin ฯลฯ

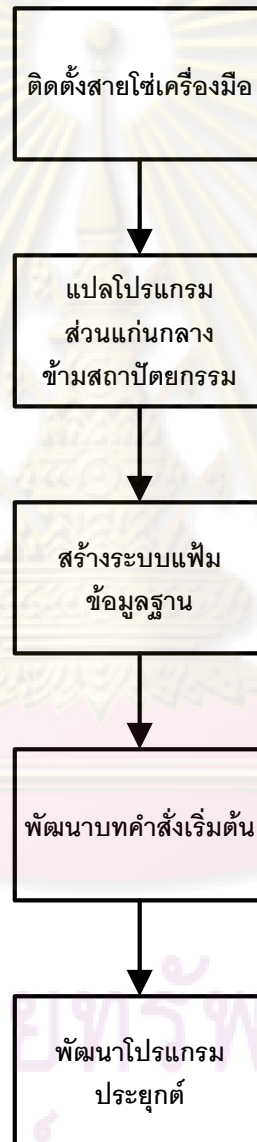
ชุดโปรแกรมอรรถประโยชน์ (Utility Program) เป็นชุดโปรแกรมที่ช่วยผู้พัฒนา ทำงานระบบอื่น ๆ ที่ ไม่เกี่ยวข้องกับการแปลโปรแกรม เช่น การบีบอัดแฟ้มข้อมูล การทำสำเนา แฟ้มข้อมูล (copy) และการจัดรูปแบบข้อมูล (format) เป็นต้น โปรแกรมอรรถป ระโยชน์ที่นิยมใช้ ในการพัฒนาระบบสมองกลฝังตัวในลินุกซ์คือ binutils

คลังโปรแกรม หรือไลบรารี (Library) เป็นแหล่งเก็บโปรแกรมให้ตัวโปรแกรมต่าง ๆ เรียกใช้ คลังโปรแกรมที่ใช้ในการแปลโปรแกรมข้ามสถาปัตยกรรมได้แก่ glibc uClibc libm libjpeg เป็นต้น

2.3.2. ขั้นตอนในการพัฒนาระบบสมองกลฝังตัวที่ใช้ลินุกซ์(Embedded Linux Development Process)

ขั้นตอนในการพัฒนาระบบสมองกลฝังตัวที่ใช้ลินุกซ์ อาจอธิบายได้ดังรูปที่ 2-3 ขั้นแรกผู้พัฒนาจะต้องติดตั้งสายโซ่เครื่องมือลงบนเครื่องแม่ข่าย (host) ซึ่งอาจเป็นเครื่อง คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ใช้หน่วยประมวลผลสถาปัตยกรรม x86 หรือ PowerPC โดยเริ่มต้นจาก การติดตั้งชุดตัวแปลโปรแกรม ซึ่งผู้พัฒนาจะต้องปรับค่ากำหนด (Configuration) ของชุด ตัวแปลโปรแกรมให้แปลโปรแกรมไปยังสถาปัตยกรรมที่ต้องการ เช่น ARM หรือ MIPS ขั้นตอน ต่อไป คือ การสร้างคลังโปรแกรม ซึ่งอาจใช้ glibc หรือ uClibc ก็ได้เมื่อติดตั้งสายโซ่เครื่องมือ เสร็จแล้ว ขั้นตอนถัดมา คือ การแปลโปรแกรมในส่วนของแก่นกลาง ในขั้นตอนนี้ผู้พัฒนาต้องนำ รหัสคำสั่งส่วนแก่นกลางของลินุกซ์มาแปลโปรแกรมข้ามสถาปัตยกรรมโดยใช้สายโซ่เครื่องมือที่ ติดตั้งไว้บนเครื่องแม่ข่าย ในขั้นตอนนี้ผู้พัฒนาจะต้องปรับค่ากำหนดของส่วนแก่นกลางของ ระบบปฏิบัติการให้รองรับอุปกรณ์ที่ต่ออยู่กับระบบสมองกลฝังตัว หลังจากเสร็จขั้นตอนนี้ ผู้พัฒนา จะได้โปรแกรมของลินุกซ์สำหรับสถาปัตยกรรมที่ต้องการ สำหรับ บรรจุลงในหน่วยความจำของ

ระบบสมองกลฝังตัวให้ดำเนินงานบนลินุกซ์ต่อไป หลังจากได้โปรแกรมของลินุกซ์ แล้วผู้พัฒนาจะต้องสร้างระบบเพิ่มข้อมูลฐาน(Root Filesystem) ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 2.3.5 เพื่อเป็นที่เก็บระบบเพิ่มข้อมูลที่จำเป็นในการดำเนินการบนลินุกซ์ ท้ายที่สุดผู้พัฒนาจะต้องพัฒนาโปรแกรมประยุกต์สำหรับปฏิบัติงานประยุกต์ที่ผู้พัฒนาต้องการและบรรจุโปรแกรมนั้นไว้ในระบบ และเขียนบทคำสั่งเพื่อให้ระบบปฏิบัติการดำเนินการคำสั่งเหล่านั้นต่อไป



รูปที่ 2-3 ผังงานขั้นตอนการพัฒนาสมองกลฝังตัวที่ใช้ระบบปฏิบัติการลินุกซ์

การบรรจุโปรแกรมของลินุกซ์ลงในหน่วยความจำของระบบสมองกลฝังตัวทำได้โดยการใช้โปรแกรมปลูกเครื่องดังที่จะกล่าวต่อไปในหัวข้อที่ 2.3.3

2.3.3. กระบวนการปลูกเครื่องของลินุกซ์ (Linux Booting Process)

เมื่อจ่ายกำลังงานไฟฟ้าให้กับหน่วยประมวลผล หน่วยประมวลผลจะเริ่มต้นดำเนินงานจากโปรแกรมแรกที่บรรจุอยู่ โปรแกรมดังกล่าวอาจเป็นโปรแกรมสำหรับการสั่งให้ไฟกระพริบ หรือ รับค่าจากอุปกรณ์ภายนอก แต่สำหรับระบบสมองกลฝังตัวที่ติดตั้งระบบปฏิบัติการ โปรแกรมแรกที่หน่วยประมวลผลเริ่มต้นดำเนินงานโดยส่วนใหญ่แล้วจะทำหน้าที่ปลูกเครื่อง (Booting) ด้วยการเตรียมอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบสมองกลฝังตัวเพื่อให้พร้อมที่จะดำเนินงานระบบปฏิบัติการต่อไป โปรแกรมที่ทำหน้าที่ปลูกเครื่องเรียกว่า โปรแกรมปลูกเครื่อง (Bootloader)

โปรแกรมปลูกเครื่องจะเริ่มต้นดำเนินงานเมื่อหน่วยประมวลผลเริ่มทำงาน โปรแกรมนี้จะทำหน้าที่เปิดอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบเช่น ช่องทางอนุกรม หน้าจอ ปุ่มกด เป็นต้น หลังจากเปิดอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมนี้จะบรรจุระบบปฏิบัติการส่วนหนึ่งลงในหน่วยความจำและส่งหน้าที่ต่อให้ระบบปฏิบัติการดำเนินงานต่อไป

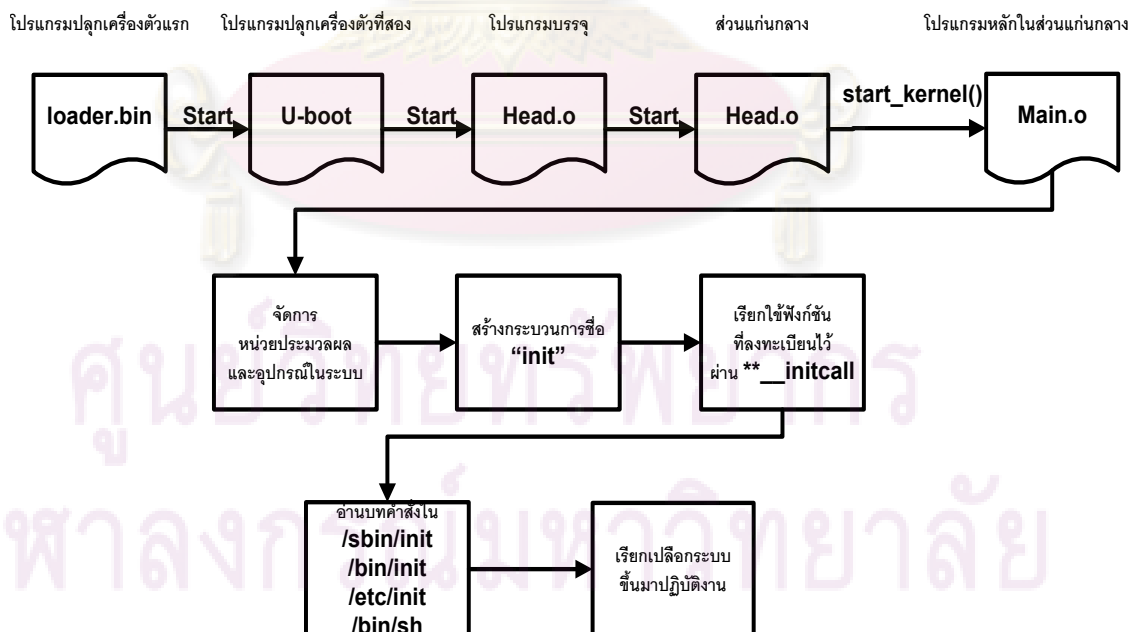
การปลูกเครื่องในระบบสมองกลฝังตัวบางชนิดอาจต้องใช้โปรแกรมปลูกเครื่อง 2 ตัวโดยทั่วไปโปรแกรมปลูกเครื่องตัวแรกจะทำหน้าที่เปิดอุปกรณ์ที่จำเป็นในระบบ และส่งหน้าที่ต่อให้โปรแกรมปลูกเครื่องตัวที่สอง โปรแกรมปลูกเครื่องตัวที่สองจะบรรจุระบบปฏิบัติการส่วนหนึ่งลงในหน่วยความจำและส่งหน้าที่ต่อให้ระบบปฏิบัติการดำเนินงานต่อไป ตัวอย่างของระบบสมองกลฝังตัวที่ใช้โปรแกรมปลูกเครื่อง 2 ตัวในการดำเนินงานระบบปฏิบัติการคือ ระบบสมองกลฝังตัวที่ใช้หน่วยประมวลผลสถาปัตยกรรม ARM รุ่น AT91SAM9260 ระบบนี้จะใช้โปรแกรมปลูกเครื่องตัวแรกเพื่อทำหน้าที่บรรจุโปรแกรมปลูกเครื่องตัวที่สอง และใช้โปรแกรมปลูกเครื่องตัวที่สองในการเปิดอุปกรณ์ที่จำเป็น และบรรจุระบบปฏิบัติการเพื่อดำเนินงานต่อไป

โปรแกรมปลูกเครื่องที่นิยมใช้ในระบบสมองกลฝังตัวที่ใช้ลินุกซ์ ได้แก่ U-boot และ Red-Boot โปรแกรมปลูกเครื่องทั้งสองตัวนี้สามารถใช้สำหรับปลูกเครื่องได้หลายสถาปัตยกรรม เช่น ARM PowerPC MIPS Blackfin เป็นต้น และยังรองรับการปลูกเครื่องในชุดวงจรพัฒนา (Development kit) หลายชุดอีกด้วย

เมื่อโปรแกรมปลูกเครื่องส่งหน้าที่ต่อให้กับระบบปฏิบัติการดำเนินงาน ระบบปฏิบัติการจะเริ่มดำเนินงานโดยเริ่มต้นส่วนแก่นกลาง รายละเอียดของการดำเนินงานของระบบปฏิบัติการในส่วนแก่นกลางจะกล่าวถึงต่อไปในหัวข้อที่ 2.3.4

2.3.4. การเริ่มต้นของส่วนแก่นกลางในระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux Kernel Initialization)

หลังจากที่โปรแกรมปลุกเครื่องส่งหน้าที่ต่อไปให้ลินุกซ์ดำเนินงานต่อ โปรแกรมบรรจ (Bootstrap loader) ในลินุกซ์จะคลายข้อมูลโปรแกรมในส่วนแก่นกลางออกและเริ่มดำเนินงานคำสั่งในส่วนหัวที่ชื่อ head.o โปรแกรมนี้จะทำหน้าที่ตรวจสอบหน่วยประมวลผล สร้างตารางหน้า (page table) เปิดหน่วยจัดการหน่วยความจำ (Memory Management Unit) และตรวจสอบความผิดพลาดต่างๆ หลังจากทำหน้าที่เหล่านี้เสร็จแล้ว โปรแกรมจะส่งหน้าที่ต่อไปยังคำสั่ง start_kernel() ซึ่งอยู่ในโปรแกรม main.o เพื่อให้ทำงานต่อ คำสั่ง start_kernel() จะจัดเตรียมหน่วยประมวลผลโดยเรียกใช้คำสั่ง setup_arch() และจัดเตรียมทรัพยากรอื่นๆ ของระบบสมองกลฝังตัวโดยเรียกคำสั่งหลายคำสั่ง หลังจากนั้นจะสร้างกระบวนการของส่วนแก่นกลาง (Kernel Process) ตัวแรกที่ชื่อ init ขึ้น กระบวนการ init จะเรียกคำสั่งที่ถูกลงทะเบียนไว้ในแก่นกลางผ่านทางแอมเคอร์ `**_initcall` เมื่อกระบวนการ init เรียกคำสั่งที่ถูกลงทะเบียนไว้ครบทั้งหมดแล้ว มันจะเรียกบทคำสั่ง (script) ขึ้นมาดำเนินงานต่อ โดยบทคำสั่งที่เรียกมานั้นจะถูกจัดเก็บอยู่ที่ `“sbin/init”, “etc/init”, “bin/init”` หรือ `“bin/sh”` หากไม่มีบทคำสั่งจัดเก็บอยู่ที่บริเวณดังกล่าว ระบบปฏิบัติการจะฟ้องความล้มเหลวโดยเรียกใช้คำสั่ง `panic()` ถ้ามีบทคำสั่งเก็บอยู่ในบริเวณดังกล่าวระบบปฏิบัติการจะเรียกใช้คำสั่งนั้นเพื่อทำงานต่อไป โดยปกติบทคำสั่งเหล่านั้น จะทำหน้าที่จัดการกับอุปกรณ์ในระบบ เมื่อจัดการเสร็จ แล้วจะส่งหน้าที่ต่อไปให้แก่เปลือกระบบ(shell) ซึ่งจะทำหน้าที่รอรับคำสั่งจากผู้ใช้ต่อไป การเริ่มต้นของส่วนแก่นกลางจะแสดงไว้ดังรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-4 ฝั่งงานการเริ่มต้นของส่วนแก่นกลางโดยสังเขป

2.3.5. ระบบแฟ้มข้อมูลฐาน (Root File system)

ในลินุกซ์ระบบแฟ้มข้อมูลฐาน คือ ระบบแฟ้มข้อมูลที่จัดอยู่ใน ลำดับชั้นแรกสุดของระบบแฟ้มข้อมูลในระบบปฏิบัติการ ระบบแฟ้มข้อมูลฐานนี้ถูกตั้งชื่อว่า “/” ระบบแฟ้มข้อมูลอื่นในลินุกซ์จะถูกบรรจุอยู่ภายใต้ระบบแฟ้มข้อมูลฐานในลำดับชั้นต้นไม้อันจะเห็นได้ว่าระบบแฟ้มข้อมูลฐานของลินุกซ์ จะบรรจุระบบแฟ้มข้อมูลอื่นในรูปแบบของสารบบ (Directory) โดยรายละเอียดของแต่ละสารบบแสดงไว้ในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 รายละเอียดโครงสร้างระบบแฟ้มข้อมูลฐานอย่างง่ายของระบบปฏิบัติการลินุกซ์

สารบบ	เนื้อหา
/bin	โปรแกรมอรรถประโยชน์ที่สามารถเรียกใช้โดยผู้ใช้
/dev	แฟ้มข้อมูลเสมือนของอุปกรณ์
/etc	ค่ากำหนด และบทคำสั่งต่างๆ ในระบบ
/lib	คลังโปรแกรม ตัวอย่างเช่น คลังโปรแกรมภาษาซี
/sbin	โปรแกรมอรรถประโยชน์ที่เรียกใช้ได้ด้วยผู้ใช้พิเศษ
/usr	แฟ้มข้อมูลโปรแกรมประยุกต์
/var	แฟ้มข้อมูลชั่วคราวของค่ากำหนดในระบบ
/tmp	แฟ้มข้อมูลชั่วคราวทั่วไป

ในสารบบ bin จะเก็บชุดคำสั่งอรรถประโยชน์ (utility) ที่ชื่อ busybox ไว้ โปรแกรมอรรถประโยชน์นี้มีชุดคำสั่งพื้นฐานให้เรียกใช้จัดการกับระบบปฏิบัติการ ตารางที่ 2-2 จะแสดงรายละเอียดของชุดคำสั่งอรรถประโยชน์ busybox ไว้โดยสังเขป

ตารางที่ 2-2 รายละเอียดของชุดคำสั่งอรรถประโยชน์ busybox

คำสั่ง	หน้าที่การทำงาน
busybox	แสดงคำสั่งทั้งหมดที่รองรับใน busybox
chmod chown chroot	เปลี่ยนแปลงสิทธิของผู้ใช้ในระบบแฟ้มข้อมูล
dmesg	เรียกดูแฟ้มข้อมูลค่ากำหนดของระบบ
ifconfig	เรียกดูค่ากำหนดของเครือข่าย

mkdir rmdir	สร้าง และลบสารบบ
Ls	คำสั่งเรียกดูเพิ่มข้อมูลที่บรรจุอยู่ในสารบบ
Vi	เรียกใช้โปรแกรมแก้ไขข้อมูล
insmod rmod	บรรจุ และลบโปรแกรมขับอุปกรณ์
Kill	ส่งสัญญาณไปยังกระบวนการที่ต้องการ
uuencode uudecode	เข้ารหัสข้อมูลฐานสอง เป็นข้อมูลรหัสแอสกี (ASCII)

สารบบ dev จะเก็บระบบเพิ่มข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์เชื่อมต่อ ในที่นี้ console คืออุปกรณ์เชื่อมต่อกับจอเฝ้าคุม ซึ่งมีหน้าที่แสดงผลการทำงานต่าง ๆ ในระบบให้กับผู้ใช้ผ่านทางหน้าจอ

สารบบ etc จะประกอบด้วยสารบบย่อยชื่อ init.d ซึ่งเป็นสารบบที่เก็บบทคำสั่งที่ใช้ในการเริ่มต้นระบบหลังจากที่กระบวนการ init เริ่มทำงานดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.3.4 ในสารบบ lib จะเก็บคลังโปรแกรมที่จำเป็นต่าง ๆ ในที่นี้คลังโปรแกรม ld-2.3.2.so เป็นคลังโปรแกรมที่ใช้สำหรับบรรจุโปรแกรมลงในระบบปฏิบัติการเพื่อดำเนินการต่อไป โดย libc.2.3.2.so เป็นคลังโปรแกรมที่ใช้ในคำสั่งพื้นฐานในลินุกซ์

โปรแกรมที่นิยมใช้ช่วยในการสร้างระบบเพิ่มข้อมูลฐาน คือ buildroot โปรแกรมดังกล่าวรองรับการปรับแต่งคลังโปรแกรม สารบบ และชุดคำสั่งอรรถประโยชน์ ทำให้สะดวกต่อการพัฒนา นอกจากนี้ buildroot ยังรองรับการปรับแต่งโปรแกรมอรรถประโยชน์ busybox ซึ่งเป็นที่นิยมในการพัฒนาระบบสมองกลฝังตัวเนื่องจากมีคำสั่งพื้นฐานดังที่แสดงไว้แล้วในตารางที่ 2-2 นอกจากนี้โปรแกรมสร้างระบบเพิ่มข้อมูลฐาน buildroot แล้ว scratchbox ก็เป็นโปรแกรมช่วยสร้างระบบเพิ่มข้อมูลฐานอีกโปรแกรมหนึ่งที่นิยมใช้ในสถาปัตยกรรม ARM

2.4. การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนระบบปฏิบัติการลินุกซ์

ลินุกซ์สามารถรองรับการทำงานแบบหลายกระบวนการได้ดังที่กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 2.2.2 และยังมีมองอุปกรณ์และโครงสร้างข้อมูลต่าง ๆ ในระบบเป็นเพิ่มข้อมูลเสมือน ดังที่กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 2.2.1 เพิ่มข้อมูลเสมือนดังกล่าวถูกบรรจุอยู่ในระบบเพิ่มข้อมูลฐาน โดยระบบเพิ่มข้อมูลฐานจะจัดการกับเพิ่มข้อมูลเสมือนในรูปแบบของสารบบ ดังนั้นผู้พัฒนาโปรแกรมประยุกต์จำเป็นที่จะต้องมีความรู้ความเข้าใจในโครงสร้างดังกล่าว ตลอดจน

สามารถใช้ส่วนโปรแกรมเชื่อมประสาน(API) และคลังโปรแกรมมาตรฐาน (Standard Library) เพื่อพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ ซึ่งสาระสำคัญพื้นฐานที่จำเป็นในการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บน ลินุกซ์ ได้แก่ การโปรแกรมหลายกระบวนการ (Multiprocess Programming) การปฏิบัติการกับแฟ้มข้อมูล (File Operation) และการจัดการกับสารบบ (Directory Management) ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไปในหัวข้อที่ 2.4.1, 2.4.5 และ 2.4.6 ตามลำดับ

2.4.1. การโปรแกรมหลายกระบวนการ

โปรแกรมประยุกต์ในลินุกซ์ส่วนใหญ่ในปัจจุบันเป็นโปรแกรมแบบหลายกระบวนการ ซึ่งมีข้อดีคือ ผู้พัฒนาสามารถแบ่งโปรแกรมออกเป็นกระบวนการย่อย ๆ ทำให้พัฒนาโปรแกรมที่ซับซ้อนได้ง่ายขึ้น ตัวอย่างเช่น การพัฒนาโปรแกรมประมวลผลคำ (word processor) ซึ่งทำหน้าที่รับข้อมูลจากแผงแป้นอักขระ (keyboard) มาแสดงบนจอภาพ และทำหน้าที่ขีดเส้นใต้คำผิดที่ผู้ใช้ป้อนเข้ามา โปรแกรมนี้ หากพัฒนาเป็นโปรแกรมแบบกระบวนการเดียว (Single Process) ผู้พัฒนาจะต้องกำหนดลำดับขั้นตอนในการรับข้อมูล แสดงผล และ ขีดเส้นใต้คำผิดเอง ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ยุ่งยาก หากผู้พัฒนาโปรแกรมดังกล่าวโดยใช้หลายกระบวนการ ผู้พัฒนาอาจแบ่งงานออกเป็นการรับข้อมูล การแสดงผล การค้นหาและขีดเส้นใต้คำผิด 3 งาน และกำหนดงานทั้งสามงานให้แก่กระบวนการ 3 กระบวนการ และปล่อยให้เป็นที่ของระบบปฏิบัติการในการจัดการกับแต่ละกระบวนการ วิธีการนี้สะดวกต่อการพัฒนาโปรแกรมเป็นอย่างมาก เพราะผู้ใช้ไม่ต้องลำดับขั้นในการทำงานของงานในแต่ละกระบวนการเอง

ในการพัฒนาโปรแกรมแบบหลายกระบวนการนั้น ผู้พัฒนาจะต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการสร้างกระบวนการ(Process Creation) การติดต่อสื่อสารระหว่างกระบวนการ (Interprocess Communication) และการจัดการทำสัญญาณ (Signal Handling) ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

2.4.2. การสร้างกระบวนการ (Process Creation)

ดังที่กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 2.2.2 ว่าการสร้างกระบวนการสามารถกระทำได้โดยเรียกใช้คำสั่ง fork() คำสั่งนี้จะคืนค่าระบุกระบวนการ(pid)หากคำสั่งปฏิบัติการสำเร็จ และคืนค่าติดลบหากปฏิบัติการไม่สำเร็จ เมื่อเรียกใช้คำสั่งนี้ได้สำเร็จ ระบบจะมีกระบวนการเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งกระบวนการที่มีลักษณะเหมือนกับกระบวนการพ่อแม่ที่สร้างมันขึ้นมาทุกประการ และจะสืบทอดตัวบอกแฟ้มข้อมูลทุกตัวของกระบวนการพ่อแม่ รวมถึงคำสั่งในส่วนโปรแกรมของพ่อแม่

หลังจากคำสั่ง `fork()` ทั้งหมด ข้อแตกต่างคือหลังจากเสร็จสิ้นคำสั่ง `fork()` กระบวนการพ่อแม่จะได้ค่าระบุกระบวนการของกระบวนการลูกคืนมา ส่วนกระบวนการลูกจะได้ค่านี้เป็นศูนย์ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการแยกกระบวนการพ่อแม่กับลูกออกจากกันในส่วนของโปรแกรม หลังจากสร้างกระบวนการใหม่ขึ้นมาแล้วกระบวนการลูกอาจใช้คำสั่งในกลุ่ม `exec**()` เพื่อเปลี่ยนแปลงโปรแกรมของตัวเองให้แตกต่างจากพ่อแม่ต่อไป

ในการจัดการกับกระบวนการ กระบวนการพ่อแม่จะต้องรอให้กระบวนการลูกทั้งหมดสิ้นสุดการทำงานก่อนโดยเรียกใช้คำสั่ง `wait()` หากกระบวนการใดสิ้นสุดโดยกระบวนการพ่อแม่ไม่ได้เรียกใช้คำสั่ง `wait()` กระบวนการนั้นก็จะใช้ทรัพยากรในระบบต่อไปจนกว่ากระบวนการแรกสุด `init` จะมารับเลี้ยงและคืนค่าหน่วยความจำให้แก่ระบบ ผู้พัฒนาควรที่จะเรียกคำสั่ง `wait()` ทุกครั้ง หรือใช้คำสั่ง `system()` ซึ่งจะจัดการสร้างกระบวนการใหม่และปฏิบัติการคำสั่งนั้นในเปลือกระบบและเรียกใช้คำสั่ง `wait()` ให้ในขั้นตอนเดียว

ตัวอย่างการใช้กลุ่มคำสั่ง `fork()` และ `exec**()` เพื่อสร้างกระบวนการลูกแสดงดังรูปที่ 2-5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```

int system_example (const char *cmd)
{
    int status;
    pid_t pid;
    pid = fork ( );
    if (pid == -1)
        return -1;
    else if (pid == 0) {
        const char *argv[4];
        argv[0] = "sh";
        argv[1] = "-c";
        argv[2] = cmd;
        argv[3] = NULL;
        execv ("/bin/sh", argv);
        exit (-1);
    }
    if (waitpid (pid, &status, 0) == -1)
        return -1;
    else if (WIFEXITED (status))
        return WEXITSTATUS (status);
    return -1;
}

```

รูปที่ 2-5 ตัวอย่างการใช้โปรแกรม fork() และ execv() ในการโปรแกรมหลายกระบวนการ

2.4.3. การติดต่อสื่อสารระหว่างกระบวนการ (Interprocess Communication)

ในโปรแกรมประยุกต์ที่มีหลายกระบวนการ แต่ละกระบวนการต้องสามารถประสานงานกันได้อย่างเป็นระบบ แต่ละกระบวนการจึงต้องสื่อสารกัน กลไกที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างกระบวนการ เรียกว่า การติดต่อสื่อสารระหว่างกระบวนการ ซึ่งสามารถทำได้ 3 วิธีได้แก่ 1. การสื่อสารโดยการส่งสัญญาณ (Signal) 2. การสื่อสารผ่านท่อ (Pipe) 3. การแบ่งปันหน่วยความจำ (Shared Memory) ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการสื่อสารโดยการส่งสัญญาณ ส่วน

การสื่อสารผ่านทางท่อ (pipe) และ การแบ่งปันหน่วยความจำ (shared memory) จะไม่ขอกล่าวถึงใน ณ ที่นี้ผู้ที่สนใจรายละเอียดสามารถค้นคว้าเพิ่มเติมได้จาก [6]

การสื่อสารโดยการส่งสัญญาณทำได้โดยการเรียกใช้คำสั่ง kill() คำสั่งนี้จะส่งสัญญาณที่มีชนิดตามที่กำหนดไว้ในอาร์กิวเมนต์ และส่งไปยังกระบวนการที่มีค่าระบุกระบวนการตามที่กำหนดไว้ในอาร์กิวเมนต์ เมื่อกระบวนการได้รับสัญญาณจากอีกกระบวนการหนึ่ง กระบวนการนั้นจะตอบสนองต่อสัญญาณที่ได้รับแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับข้อกำหนดตัวจัดการกระทำสัญญาณ (Signal Handler) โดยกระบวนการอาจจะละเลยสัญญาณที่รับเข้ามา สิ้นสุดการทำงานของมัน หรือทำหน้าที่อื่นๆ ตามที่กำหนดไว้ในตัวจัดการกระทำสัญญาณ ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

2.4.4. การจัดการกระทำสัญญาณ (Signal Handling)

การจัดการกระทำสัญญาณจะเกิดขึ้นเมื่อกระบวนการหนึ่งได้รับสัญญาณจากอีกกระบวนการหนึ่ง การจัดการกระทำสัญญาณทำได้โดยกำหนดพฤติกรรมของตัวจัดการกระทำสัญญาณ (Signal Handler) ด้วยการสร้างฟังก์ชัน handler และลงทะเบียนตัวจัดการกระทำสัญญาณนั้นโดยใช้คำสั่ง signal () โดย signum คือตัวเลขระบุชนิดของสัญญาณที่ตัวจัดการกระทำสัญญาณจะจัดการต้นแบบของฟังก์ชันทั้งสองแสดงไว้ดังบรรทัดด้านล่าง

- void handler (int signum) {...}
- sighandler_t signal (int signum,sighandler_t action)

2.4.5. การปฏิบัติการกับแฟ้มข้อมูล(File Operation)

เนื่องจากลักษณะของอุปกรณ์ต่างๆ และโครงสร้างข้อมูล เป็นเสมือนแฟ้มข้อมูล การจัดการกับอุปกรณ์ และโครงสร้างข้อมูลเหล่านี้จึงทำได้โดยใช้ชุดคำสั่งเดียวกัน ชุดคำสั่งสำหรับการปฏิบัติการต่อแฟ้มข้อมูลในลักษณะถูกเรียบเรียงและอธิบายไว้ในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 คำสั่งที่ใช้ปฏิบัติการกับแฟ้มข้อมูลเสมือน

ชื่อคำสั่ง	หน้าที่การทำงาน
Sysfs()	เรียกดูข้อมูลเกี่ยวกับแฟ้มข้อมูล
Statfs() Fstatfs() ustat()	เรียกดูสถิติการใช้งานแฟ้มข้อมูล
Chdir() fchdir() getcwd()	จัดการสารบบปัจจุบัน
Mkdir() rmdir()	สร้าง และ ลบสารบบ

Open() close() create()	เปิด ปิด และสร้างแฟ้มข้อมูล
Dup() dup2() fcntl() fcntl64()	จัดการตัวบอกแฟ้มข้อมูล
Read() write() readv() writev() sendfile()	เขียน อ่าน แฟ้มข้อมูล

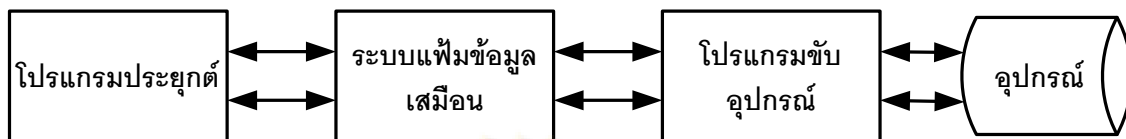
2.4.6. การจัดการกับสารบบ (Directory Management)

ชุดคำสั่งสำหรับจัดการกับสารบบในลินุกซ์ถูกเรียบเรียงและอธิบายไว้แล้วในตารางที่ 2-3

นอกจากนี้ในลินุกซ์ตั้งแต่รุ่น 2.6.14 ขึ้นไปจะมีโปรแกรมสำหรับตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงในสารบบ และแจ้งเตือนหากมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น โปรแกรมในส่วนนี้เรียกว่า โปรแกรม inotify ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากในการพัฒนาโปรแกรมที่ต้องตรวจสอบสารบบอยู่ตลอดเวลา เช่น โปรแกรมแสดงสารบบ เนื่องจากเมื่อผู้ใช้เปลี่ยนแปลงสารบบ เช่นผู้ใช้เพิ่ม หรือลบ แฟ้มข้อมูลจากสารบบ โปรแกรมแสดงสารบบควรจะปรับแฟ้มข้อมูลที่แสดงอยู่ให้ตรงกับแฟ้มข้อมูลที่มีอยู่จริง ขณะนั้น ซึ่งโปรแกรมหากล่าวจะสามารถพัฒนาได้ง่ายหากใช้โปรแกรม inotify ช่วยในการเขียนโปรแกรม

2.5. พื้นฐานของโปรแกรมขับอุปกรณ์ (Device Driver)

โปรแกรมขับอุปกรณ์มีหน้าที่ติดต่อกับอุปกรณ์ในระบบ [6] ตัวอย่างเช่น งานบันทึกแบบแข็งช่องทาง USB ช่องทางอนุกรม เป็นต้น โปรแกรมประยุกต์ในระดับผู้ใช้สามารถติดต่อกับอุปกรณ์ผ่านทางระบบแฟ้มข้อมูลเสมือน (Virtual File system) โดยเรียกใช้คำสั่งที่ใช้ปฏิบัติการกับแฟ้มข้อมูลเสมือนดังกล่าวไว้แล้ว โดยปกติระบบแฟ้มข้อมูลเสมือนที่ทำหน้าที่เป็นส่วนเชื่อมประสานกับโปรแกรมขับอุปกรณ์จะอยู่ในสารบบ /dev เมื่อโปรแกรมติดต่อกับอุปกรณ์ โดยเรียกใช้คำสั่งผ่านทางระบบแฟ้มข้อมูลเสมือน มันจะเลือกโปรแกรมขับอุปกรณ์ที่ตรงกับอุปกรณ์ที่โปรแกรมประยุกต์ต้องการจะติดต่อ และเรียกใช้คำสั่งในโปรแกรมขับอุปกรณ์เพื่อติดต่อกับอุปกรณ์นั้น ๆ ต่อไป การติดต่อระหว่างโปรแกรมในระดับผู้ใช้กับอุปกรณ์แสดงไว้ดัง รูปที่ 2-6



รูปที่ 2-6 การติดต่อระหว่างโปรแกรมประยุกต์กับอุปกรณ์เชื่อมต่อในระบบ

เนื่องจากในระบบสมองกลฝังตัวที่แตกต่างกันจะมีอุปกรณ์เชื่อมต่อในระบบที่แตกต่างกัน อีกทั้งอุปกรณ์บางชนิด เช่น ช่องทาง USB หรือ SD/MMC Card เป็นอุปกรณ์ที่ผู้ใช้จะถอดหรือเสียบเข้าเป็นประจำ การบรรจุโปรแกรมขับอุปกรณ์ของอุปกรณ์เหล่านี้ไว้ในระบบทั้งหมดจะทำให้สิ้นเปลืองหน่วยความจำ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวลินุกซ์จึงมองโปรแกรมขับอุปกรณ์เป็นชั้น เรียกว่า โมดูล ตัวอย่างเช่น โมดูลช่องทาง USB โมดูล SD/MMC Card และ โมดูลระบบเพิ่มข้อมูล เป็นต้น และรองรับการบรรจุโมดูล ในขณะที่ลินุกซ์ดำเนินการอยู่ วิธีการนี้ทำให้ระบบไม่ต้องบรรจุทุกโมดูลของอุปกรณ์ไว้ในหน่วยความจำหลักของระบบ ทำให้ไม่สิ้นเปลืองหน่วยความจำ นอกจากนี้ยัง ช่วยให้ผู้พัฒนาสามารถพัฒนาโปรแกรมขับอุปกรณ์ได้ง่ายขึ้น เนื่องจากหลักจากที่ผู้พัฒนาเขียนโปรแกรมเสร็จผู้พัฒนาสามารถบรรจุโมดูลเหล่านี้เพื่อทดสอบทันที โดยไม่ต้องเปิดเครื่องใหม่ หรือเขียนบทคำสั่ง (Script) ที่ยุ่งยากเพื่อบรรจุโปรแกรมขับอุปกรณ์

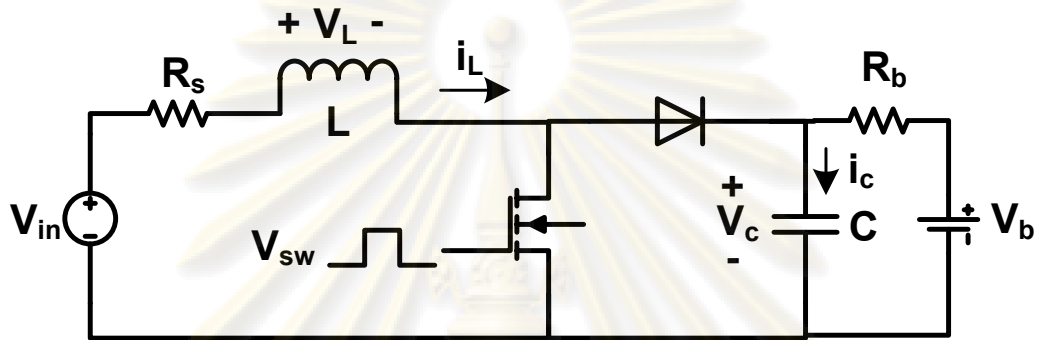
2.6. วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC-DC Converter)

วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง คือ วงจรที่ทำหน้าที่แปลงผันกำลังงานไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านเข้าของวงจรในระดับหนึ่งไปเป็นกำลังไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านออกของวงจรในอีกระดับหนึ่ง วงจรแปลงผัน ที่ใช้บ่อยๆ ได้แก่ วงจรทอนระดับ (Buck Converter) วงจรทบระดับ (Boost Converter) และวงจรทอนทบระดับ (Buck-Boost Converter) เป็นต้น

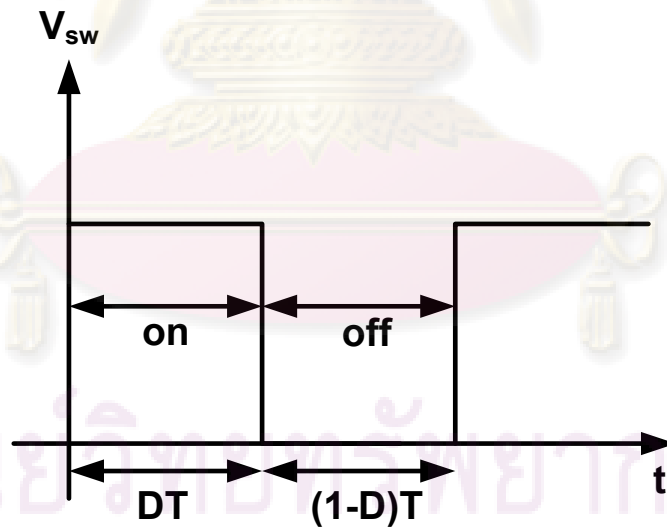
การวิเคราะห์วงจรเหล่านี้ในสถานะอยู่ตัว (Steady state) สามารถกระทำได้โดยใช้หลักความสมดุลของผลคูณแรงดันกับวินาทีในตัวเหนี่ยวนำ (Inductor volt-second balance) และหลักความสมดุลของประจุในตัวเก็บประจุ (Capacitor charge balance) และใช้การประมาณการกระแสเพื่อเข้ามาช่วย วิธีการเหล่านี้เป็นวิธีการพื้นฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์วงจรแปลงผันไฟฟ้าในสถานะอยู่ตัว [4],[5]

2.6.1. วงจรทบทระดับ

วงจรทบทระดับดังแสดงในรูปที่ 2-7 เป็นวงจรไฟฟ้าที่ทำหน้าที่แปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงค่าสูงขึ้น รูปคลื่นวัฏจักรงานของวงจรทบทระดับแสดงไว้ดังรูปที่ 2-8



รูปที่ 2-7 วงจรทบทระดับ



รูปที่ 2-8 รูปคลื่นแรงดันควบคุมสวิตช์

การวิเคราะห์วงจรเริ่มจากพิจารณาแรงดันในตัวเหนี่ยวนำ v_L และกระแสในตัวเก็บประจุ i_c ซึ่งมีค่าดังสมการที่ (2-1) และ (2-2) ตามลำดับ

$$v_L(t) = \begin{cases} v_{in} - i_L(R_s + R_{ds(on)}) & ; 0 < t < DT \\ v_{in} - i_L R_i - v_c & ; DT < t < (1-D)T \end{cases} \quad (2-1)$$

$$i_c(t) = \begin{cases} -\frac{v_c - V_b}{R_b} & ; 0 < t < DT \\ i_L - \frac{v_c - V_b}{R_b} & ; DT < t < (1-D)T \end{cases} \quad (2-2)$$

เมื่อใช้หลักความสมดุลของผลคูณแรงดันกับวินาทีตามสมการที่ (2-3) กับตัวเหนี่ยวนำจะได้สมการที่ (2-4)

$$\int_0^T v_L(t) dt = 0 \quad (2-3)$$

$$[v_{in} - i_L(R_s + R_{ds(on)})]DT + [v_{in} - i_L R_i - v_c](1-D)T = 0 \quad (2-4)$$

เมื่อใช้หลักความสมดุลของประจุในตัวเก็บประจุตามสมการที่ (2-5) กับตัวเก็บประจุได้ดังสมการที่ (2-6)

$$\int_0^T i_c(t) dt = 0 \quad (2-5)$$

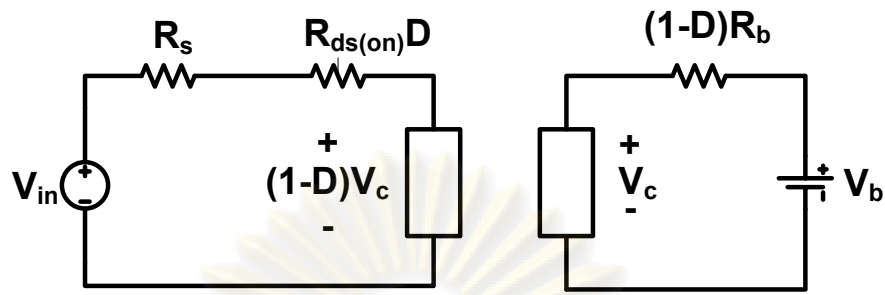
$$-\left[\frac{v_c - V_b}{R_b}\right]DT + \left[i_L - \frac{v_c - V_b}{R_b}\right](1-D)T = 0 \quad (2-6)$$

เมื่อใช้การประมาณการกระเพื่อม จัดรูปสมการที่ (2-4) และ (2-6) ได้สมการที่ (2-7) และสมการที่ (2-8) ตามลำดับ

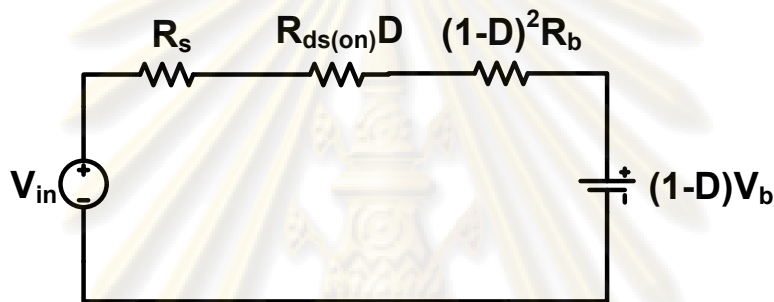
$$v_{in} - i_L R_s - i_L R_{ds(on)}D + (1-D)v_c = 0 \quad (2-7)$$

$$i_L = \left[\frac{v_c - V_b}{(1-D)R_b}\right] \quad (2-8)$$

จากสมการที่ (2-6) และ (2-7) สามารถเขียนวงจรสมมูลของวงจรทบระดับที่ต่อกับแบตเตอรี่ได้ดังรูปที่ 2-9



(ก)

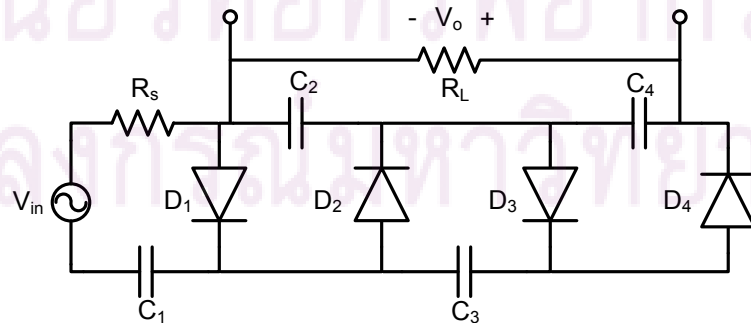


(ข)

รูปที่ 2-9 วงจรสมมูลของวงจรทระดับที่ต่อกับแบตเตอรี่ (ก) วงจรสมมูลในรูปของหม้อแปลงอุดมคติ (ข) วงจรที่ยุบรวมหม้อแปลงแล้ว

2.7. วงจรทวีแรงดัน (Voltage Multiplier)

วงจรทวีแรงดัน คือ วงจรไฟฟ้าที่ทำหน้าที่แปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแส ลับให้ เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าแรงดันสูงขึ้น วงจรทวีแรงดันจะประกอบด้วยอุปกรณ์หลักได้แก่ ไดโอด และ ตัวเก็บประจุ รูปที่ 2-10 แสดงวงจรทวีแรงดัน 4 ชั้น



รูปที่ 2-10 วงจรทวีแรงดัน 4 ชั้น

การทำงานของวงจรทวิแรงดัน 4 ชั้นเริ่มต้นจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ V_{in} เพิ่มขึ้นมากกว่าแรงดันไปหน้าของไดโอด D_1 ทำให้ไดโอด D_1 นำกระแส และมี กระแสไหลเข้าตัวเก็บประจุ C_1 แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_1 จึงสูงขึ้น และจะมีค่าเท่ากับ $V_{in}-V_F$ ในสภาวะอยู่ตัว ต่อมาเมื่อแรงดัน $V_{in} + V_{C1}$ มีค่ามากกว่าแรงดันไปหน้าของไดโอด D_2 ไดโอด D_2 จะนำกระแสทำให้มีกระแสไหลเข้าตัวเก็บประจุ C_2 แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_2 จึงสูงขึ้น และจะมีค่าเป็น $2V_{in} - 2V_F$ ที่สภาวะอยู่ตัว โดยอาศัยเหตุผลข้างต้น แรงดันตกคร่อม ตัวเก็บประจุ C_1 รวมกับแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_3 จะมีค่าเป็น $3V_{in}-3V_F$ จึงสามารถเขียนแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_2 และ C_4 ได้เป็น $V_{in}\sin(\omega t) + (3V_{in} - 4V_F)$ หากละเลยผลของแรงดันไปหน้าของไดโอดจะเขียนแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุเมื่อไดโอดนำกระแสได้เป็น $V_{in}\sin(\omega t) + 3V_{in}$

หากพิจารณารูปคลื่นแรงดันขาออกในสภาวะอยู่ตัวดังแสดงในรูปที่ 2-11 จะพบว่าในช่วงเวลาตั้งแต่ u ถึง $\pi/2$ ค่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_2 กับ C_4 (V_o) มีค่าน้อยกว่าแรงดัน V_c ซึ่งเป็นผลรวมของแรงดันจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับรวมกับแรงดันในตัวเก็บประจุ C_1 และ C_3 และมีค่าเท่ากับ $(V_{in}\sin(\omega t) + 3V_{in})$ ส่งผลให้ไดโอด D_4 นำกระแส ในช่วงเวลานี้จึงมีกระแสไหลเข้าไปเติมประจุในตัวเก็บประจุ C_2 และ C_4 ส่งผลให้ค่าแรงดันในตัวเก็บประจุทั้งสองมีค่าเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้าม ในช่วงเวลาตั้งแต่ u ถึง $2\pi+u$ แรงดัน V_c น้อยกว่าแรงดันในตัวเก็บประจุทั้งสองเป็นผลให้ไดโอด D_4 หยุดนำกระแส กระแสจึงไหลออกจากตัวเก็บประจุทั้งสองไปยังโหลด(R_L)

กำหนดให้ C_1 C_2 C_3 และ C_4 มีค่ามาก ทำให้การกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้าขาออกมีค่าน้อย และละเลยค่าแรงดันไปหน้า (V_F) ของไดโอดทุกตัว กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุจะเป็นไปตามสมการที่ (2-9)

$$i_c = \begin{cases} \left(\frac{R_L}{R_s + R_L} \right) [V_{in} \sin(\omega t) + 3V_{in}] - V_o & ; u < \omega t < \frac{\pi}{2} \\ -\frac{V_o}{R_L} & ; \frac{\pi}{2} < \omega t < 2\pi + u \end{cases} \quad (2-9)$$

โดยการใช้หลักความสมดุลของประจุในตัวเก็บประจุดังสมการที่ (2-10)

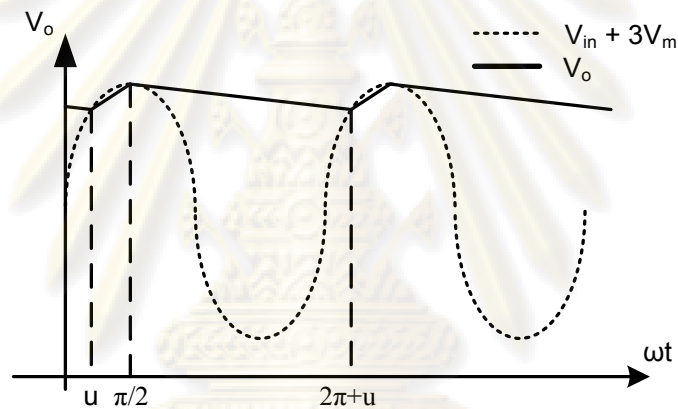
$$\int_u^{2\pi+u} i_c d(\omega t) = 0 \quad (2-10)$$

และแทนค่ากระแส i_c จากสมการที่ (2-9) หาปริพันธ์ และจัดรูปสมการจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันด้านเข้ากับแรงดันด้านออกดังสมการที่ (2-13)

$$\int_u^{\pi/2} \frac{V_{in} \sin(\omega t) + 3V_{in}}{R_s} + \int_u^{\pi/2} \frac{V_o}{R_s // R_L} - \int_{\pi/2}^{2\pi+u} \frac{V_o}{R_L} d(\omega t) = 0 \quad (2-11)$$

$$\frac{V_{in} \cos(u) + 3V_{in}(\frac{\pi}{2} - u)}{R_s} = \frac{V_o}{R_s // R_L} (\frac{\pi}{2} - u) + \frac{V_o}{R_L} (3\frac{\pi}{2} - u) \quad (2-12)$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{\cos(u) + 3(\frac{\pi}{2} - u)}{[(\frac{\pi}{2} - u) + \frac{R_s}{R_L} \cdot 2\pi]} \quad (2-13)$$



รูปที่ 2-11 รูปคลื่นแรงดันด้านออก(V_o) ตามเวลา

ค่าเวลา u ณ จุดเปลี่ยนทิศทางกระแส ของตัวเก็บประจุ C_2 และ C_4 เป็นค่าที่ขึ้นกับค่าตัวเก็บประจุและโหลด

ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การออกแบบวงจรเก็บกำลังไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ

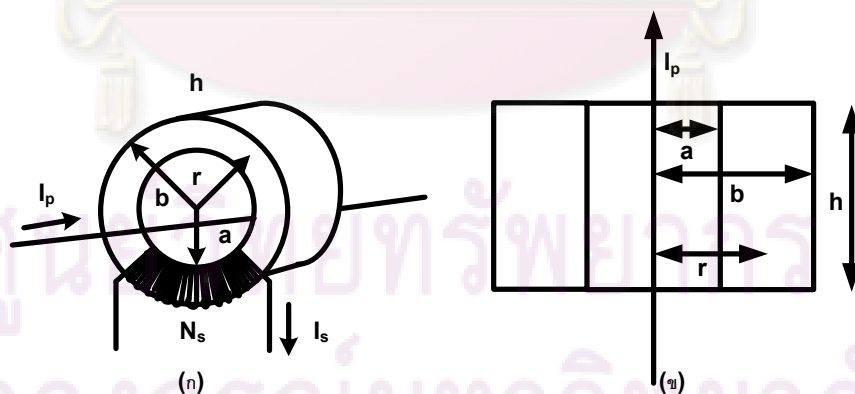
3.1. เครื่องเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ

เครื่องเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับจะสร้างแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ โดยอาศัยกฎการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าของฟาราเดย์ดังสมการที่ (3-1) [1] และกฎกระแสของแอมแปร์ดังสมการที่ (3-2) [1]

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu I \quad (3-1)$$

$$V_{in} = \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{\partial}{\partial t} \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \quad (3-2)$$

เครื่องเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้างแสดงในรูปที่ 3-1 สร้างขึ้นโดยใช้แกนเฟอร์ไรท์ (Ferrite Core) รูปทรงทอรอยด์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (a) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (b) ความสูง (h) พันด้วยลวดทองแดงเบอร์ AWG22 จำนวน (N) รอบ แขนวงลัดรอบสายส่งไฟฟ้าที่มีกระแสไหลผ่านสายเป็นกระแสสลับรูปคลื่นไซน์ขนาดแอมพลิจูด (I_p) ความถี่ (f) จากกฎกระแสของแอมแปร์สนามแม่เหล็ก (B) ที่เกิดขึ้นรอบสายส่งไฟฟ้าเขียนได้ดังสมการที่ (3-3)



รูปที่ 3-1 เครื่องเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้า (ก) ภาพ 3 มิติ (ข) ภาพตัดขวาง

$$B = \frac{\mu I_p \sin(\omega t)}{2\pi r} \quad (3-3)$$

แทนค่า B ลงในสมการที่ (3-2) จะได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นดังสมการที่ (3-6)

$$V_{in} = \oint E \cdot dl = -\frac{\partial}{\partial t} B \cdot dS \quad (3-4)$$

$$= -\frac{d}{dt} \int_a^b \frac{\mu I_p \sin(\omega t)}{2\pi r} dS$$

$$= -\frac{d}{dt} \left[\frac{\mu I_p \sin(\omega t)}{2\pi} \int_a^b \frac{h}{r} dr \right] \quad (3-5)$$

$$= -\frac{d}{dt} \frac{\mu h I_p \sin(\omega t) \ln\left(\frac{b}{a}\right)}{2\pi}$$

$$V_{in} = -\frac{\mu \omega h N_s \ln\left(\frac{a}{b}\right)}{2\pi} I_p \cos(\omega t) \quad (3-6)$$

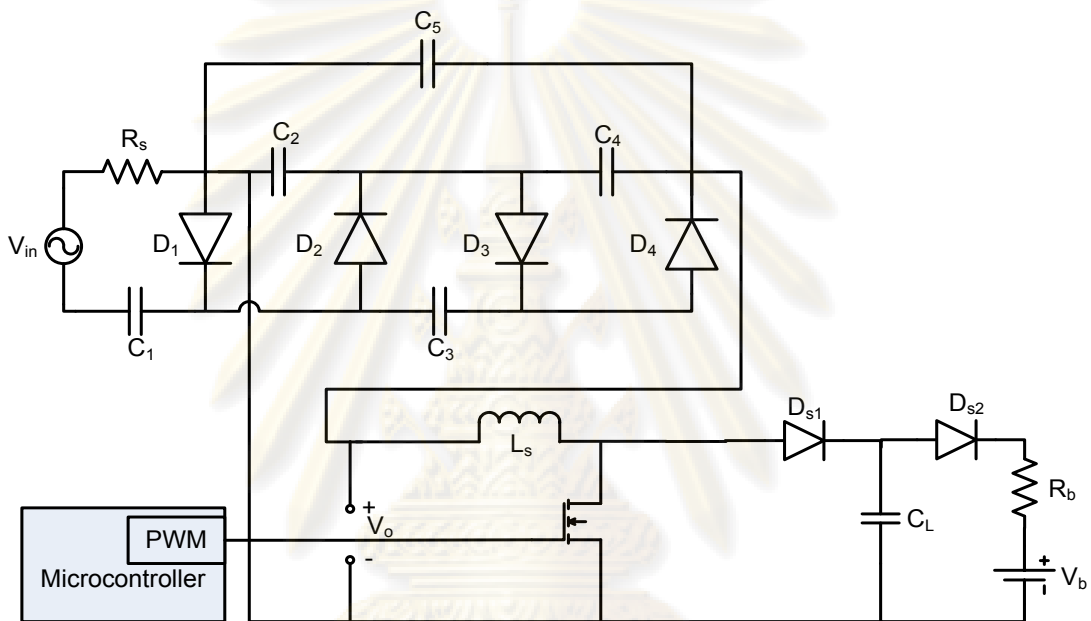
เมื่อต่อโหลดกับเครื่องเหนี่ยวนำจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้ากระแสสลับไหลในทิศทางต้านสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเป็นผลให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าลดลง กำหนดให้ (I_s) เป็นขนาดของกระแสออกจากเครื่องเหนี่ยวนำ จะต้องเพิ่มผลของกระแสในเครื่องเหนี่ยวนำ จะทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำกับลดลงดังสมการที่ (3-7)

$$V_{in} = -\frac{\mu \omega h N_s \ln\left(\frac{b}{a}\right)}{2\pi} (I_p - N_s I_s) \cos(\omega t) \quad (3-7)$$

3.2. วงจรเก็บกำลังไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ

วงจรเก็บกำลังไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ เครื่องสร้างแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารอบสายส่งไฟฟ้าแรงสูง และวงจรเก็บกำลังไฟฟ้าจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำกระแสสลับ ที่ แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับจากเครื่องเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้าจากให้เป็นกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าแรงดันสูงขึ้น และจ่ายกระแสที่ได้ให้แก่แบตเตอรี่เก็บกำลังไฟฟ้าไว้จ่ายให้กับระบบต่อไป

วงจรเก็บกำลังไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 3-2 ประกอบด้วย วงจรทวิแรงดัน วงจรทบระดับ และไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์มีหน้าที่ควบคุมค่าวัฏจักรงานของสวิตช์ในวงจรทบระดับ เพื่อให้วงจรแปลงผันไฟฟ้าสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าจากเครื่องเหนี่ยวนำไปยังแบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัฏจักรงาน กับกำลังไฟฟ้าที่ถูกถ่ายโอนไปยังแบตเตอรี่ สามารถทำได้โดย เริ่มจากสร้างวงจรสมมูลของเครื่องเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้า วงจรทบระดับ และแบตเตอรี่



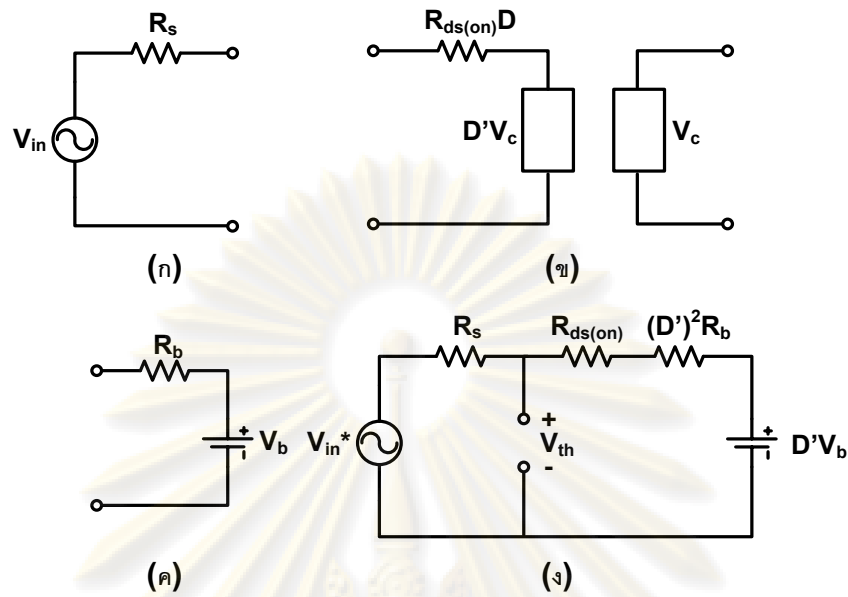
รูปที่ 3-2 วงจรเก็บกำลังไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ

จากสมการที่ (3-5) วงจรสมมูลเทวินินของเครื่องเหนี่ยวนำไฟฟ้าสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3-3 (ก)

โดย V_{in} มีค่าเท่ากับ $\frac{\mu\omega h N_s \ln\left(\frac{b}{a}\right) I_p}{2\pi}$ และ R_s มีค่าเท่ากับ $\frac{\mu\omega h \ln\left(\frac{b}{a}\right) N_s^2}{2\pi}$ ตามลำดับ

จากสมการที่ (2-7) และสมการที่ (2-8) วงจรสมมูลของวงจรทบระดับสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3-3 (ข) โดยนิยาม (1-D) เป็น D' เพื่อความสะดวกในการเขียนสมการ

วงจรสมมูลของแบตเตอรี่แสดงได้ดังรูปที่ 3-3 (ค)



รูปที่ 3-3 วงจรสมมูลของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในวงจรเก็บกำลังไฟฟ้า (ก) เครื่องเหนี่ยวนำ (ข) วงจรทบระดับ (ค) แบตเตอรี่ (ง) วงจรเก็บกำลังไฟฟ้ารวม

เมื่อรวมทั้ง 3 วงจรเข้าด้วยกันจะได้วงจรสมมูลรวมแสดงได้ดังรูปที่ 3-3 (ง) ซึ่งสามารถหา V_{th} และ R_{th} เป็นดังสมการที่ (3-8)

$$V_{th} = \left[\frac{R_{ds(on)}D + (D')^2R_b}{R_s + R_{ds(on)}D + (D')^2R_b} \right] (V_{in} \sin(\omega t) + 3V_{in}) - (D')V_b \left[\frac{R_s}{R_s + R_{ds(on)}D + (D')^2R_b} \right] \quad (3-8)$$

$$R_{th} = R_s // [R_{ds(on)}D + (D')^2R_b] \quad (3-9)$$

จากสมการที่ (3-8) และ (3-9) จะเขียนสมการกระแสไหลในตัวเก็บประจุ i_c ได้ดังสมการที่ (3-10)

$$i_c = \frac{V_{th} - V_o}{R_{th}} ; u < \omega t < \frac{\pi}{2} \quad (3-10)$$

$$i_c = \frac{V_o - D'V_b}{[R_{ds(on)}D + (D')^2R_b]} ; \frac{\pi}{2} < \omega t < 2\pi + u$$

จากนั้นให้หลักความสมดุลของประจุในตัวเก็บประจุที่ตัวเก็บประจุ C_2 C_4 ตามสมการที่ (2-10)

หาปริพันธ์ และจัดรูปจะได้ว่า

$$V_{th} = \frac{X}{Y} \quad (3-11)$$

โดย
$$X = \frac{\alpha V_{in}}{R_T} [\cos u + 3p] + \frac{D' V_b \beta - 4\alpha V_{th}}{R_T} \cdot p + \frac{V_b}{D' R_{db}} \cdot q \quad (3-12)$$

$$Y = \frac{p}{R_T} + \frac{q}{R_{ds(on)}D + (D')^2 R_{db}} \quad (3-13)$$

$$\alpha = \frac{R_{ds(on)}D + (D')^2 R_b}{(R_s + R_{ds(on)}D + (D')^2 R_{db})} \quad (3-14)$$

$$\beta = \frac{R_s}{(R_s + R_{ds(on)}D + (D')^2 R_{db})} \quad (3-15)$$

$$R_T = R_s // (R_{ds(on)}D + (D')^2 R_{db}) \quad (3-16)$$

และ
$$p = \frac{\pi}{2} - u, q = \frac{3\pi}{2} + u \quad (3-17)$$

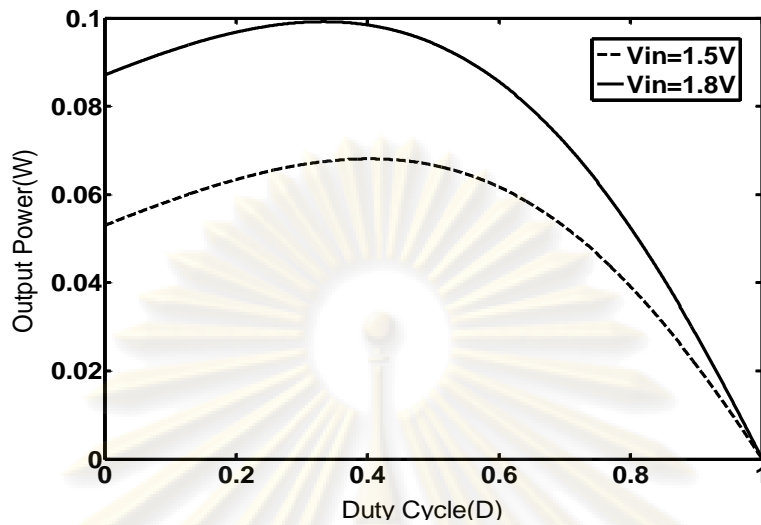
นอกจากนี้ยังได้ว่า

$$I_b = \frac{V_{th} - D'V_b}{R_{ds(on)}D + (D')^2 R_{db}} \quad (3-18)$$

$$P_b = D'V_b \frac{V_{th} - D'V_b}{R_{ds(on)}D + (D')^2 R_{db}} \quad (3-19)$$

เมื่อ I_b คือกระแสไหลเข้าแบตเตอรี่ และ P_b คือกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าแบตเตอรี่ตามลำดับ

กราฟความสัมพันธ์ในสมการที่ (3-19) แสดงได้ดังรูปที่ 3-4 จะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัฏจักรงานของสวิตช์กับกำลังงานไฟฟ้าที่ถูกถ่ายโอนไปยังแบตเตอรี่เป็นรูปคล้ายพาราโบลาคว่ำ หากวงจรควบคุมสามารถควบคุมค่าวัฏจักรงานให้กำลังงานไฟฟ้าถ่ายโอนสูงสุด จะทำให้ กำลังไฟฟ้าสูงสุดถูกถ่ายโอนจากเครื่องเหนี่ยวนำไปยังแบตเตอรี่ อย่างไรก็ตาม เมื่อกระแสในสายส่งไฟฟ้ามีค่าเปลี่ยนแปลงไป ค่าวัฏจักรงานที่ให้กำลังงานไฟฟ้า ถ่ายโอนสูงสุดก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ทำให้การควบคุมต้องอาศัยขั้นตอนวิธีที่สามารถหาค่าวัฏจักรงานที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ แม้ว่ากระแสในสายส่งจะเปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 3-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัฏจักรงานกับกำลังไฟฟ้าด้านออกของวงจรเก็บกำลังไฟฟ้า

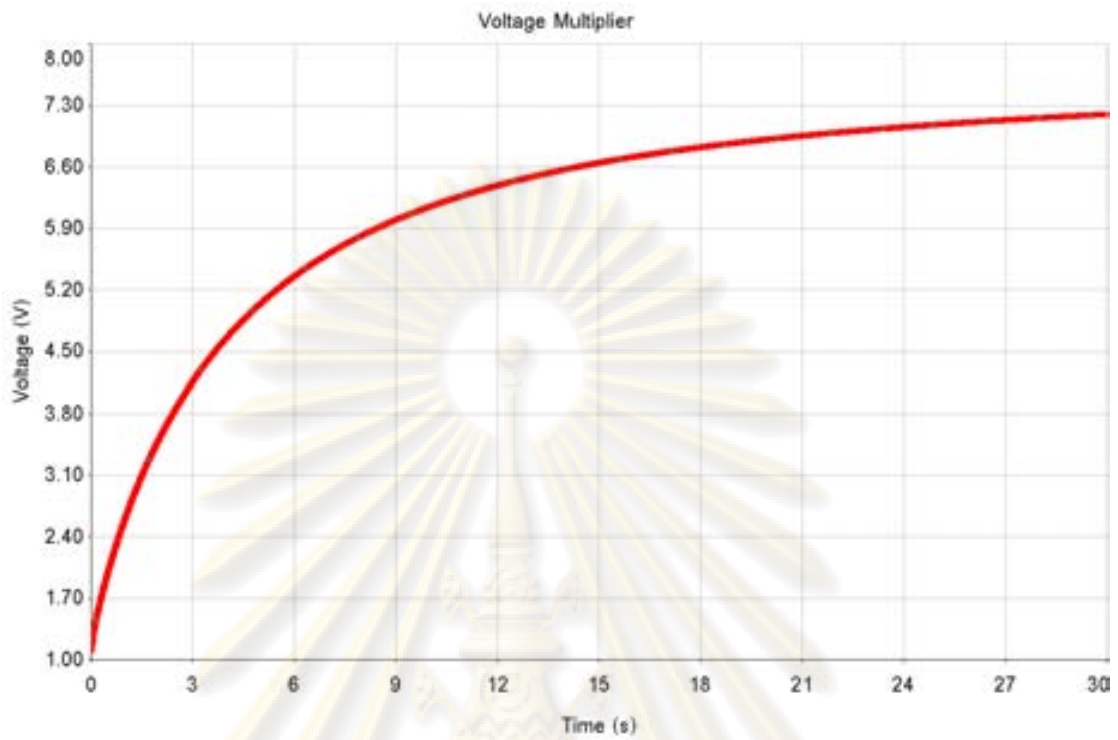
3.2.1. วงจรทวีแรงดัน และผลการจำลองการทำงาน

ในการออกแบบวงจรทวีแรงดัน หากคำนึงถึงผลจากความไม่เป็นอุดมคติ เนื่องจากค่าแรงดันไปหน้าของไดโอด และค่าความต้านทานสมมูลของไดโอดในย่านนำกระแส และละเลยค่ากระแสรั่วไหลของไดโอด ซึ่งปกติ มีค่าน้อยมากแล้ว จะสามารถเขียนสมการแสดง อัตราขยายของวงจรทวีแรงดัน 4 ชั้นใหม่ได้ดังสมการที่ (3-20) เมื่อ $m = V_F/V_{in}$

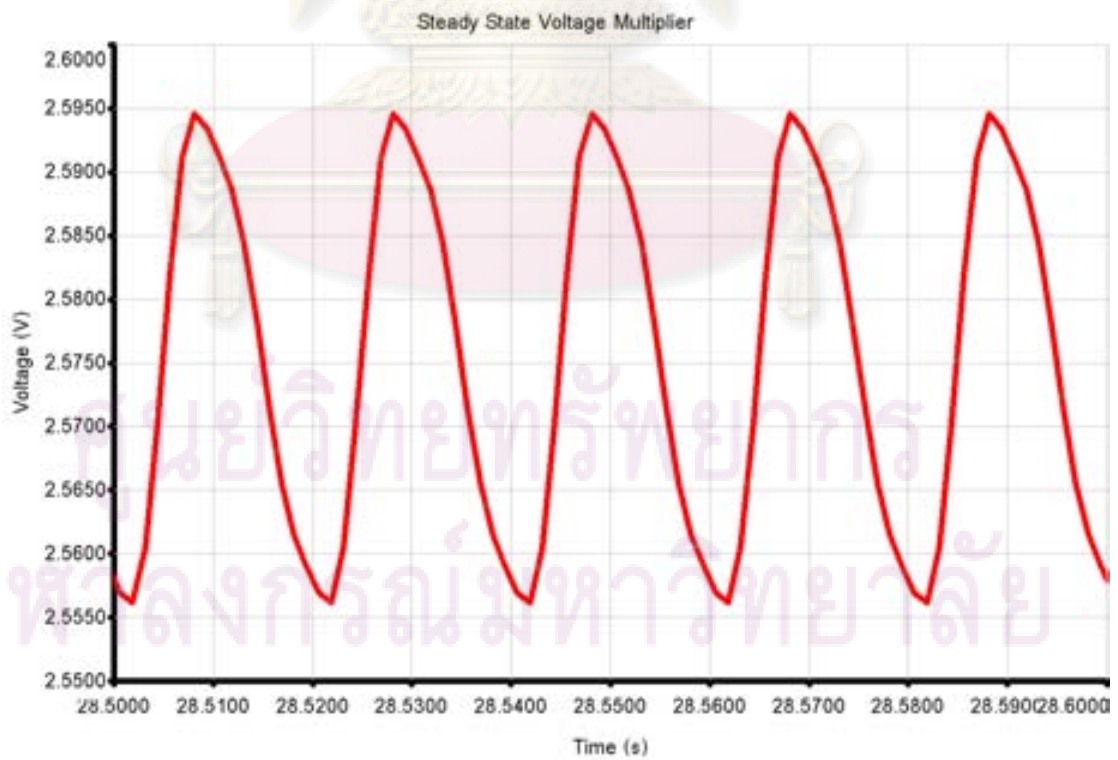
$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{\cos(u) + (3 - 4m)\left(\frac{\pi}{2} - u\right)}{\left[\left(\frac{\pi}{2} - u\right) + \frac{R_s}{R_L} \cdot 2\pi\right]} \quad (3-20)$$

จากสมการที่ (3-20) จะเห็นได้ว่าค่าผลของความไม่เป็นอุดมคติของไดโอดใน วงจรทวีแรงดัน ทำให้ค่าอัตราขยายของวงจรลดลง

วงจรทวีแรงดันที่ออกแบบขึ้น ประกอบด้วย ไดโอดเบอร์ 1N5819 จำนวน 4 ตัว และตัวเก็บประจุขนาด 10 mF 4 ตัว จำลองผลการทำงานโดยใช้โปรแกรมมัลติซิมรุ่น 9 ได้ผลการ จำลองการทำงานในสถานะชั่วคราวดังรูปที่ 3-5 และได้ผลการจำลองการทำงานในสถานะอยู่ตัวเมื่อ มีโหลดความต้านทานขนาด 300 ohm ดังรูปที่ 3-6



รูปที่ 3-5 ผลการจำลองวงจรทวีแรงดันในสภาวะชั่วคราว

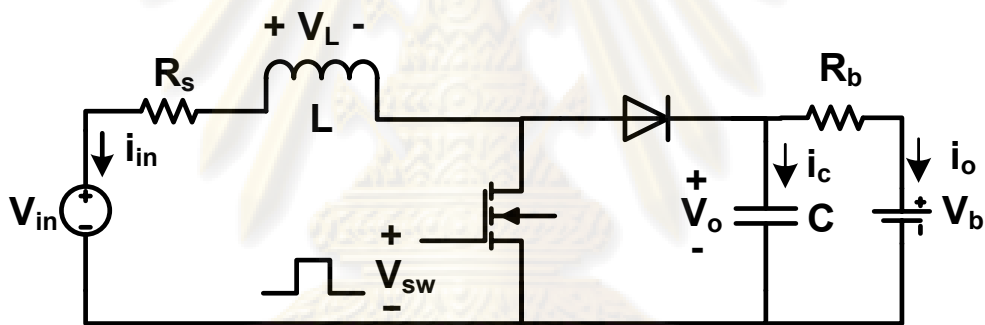


รูปที่ 3-6 ผลการจำลองวงจรทวีแรงดันในสภาวะอยู่ตัว

3.2.2. วงจรทบทระดับ และผลการจำลองการทำงาน

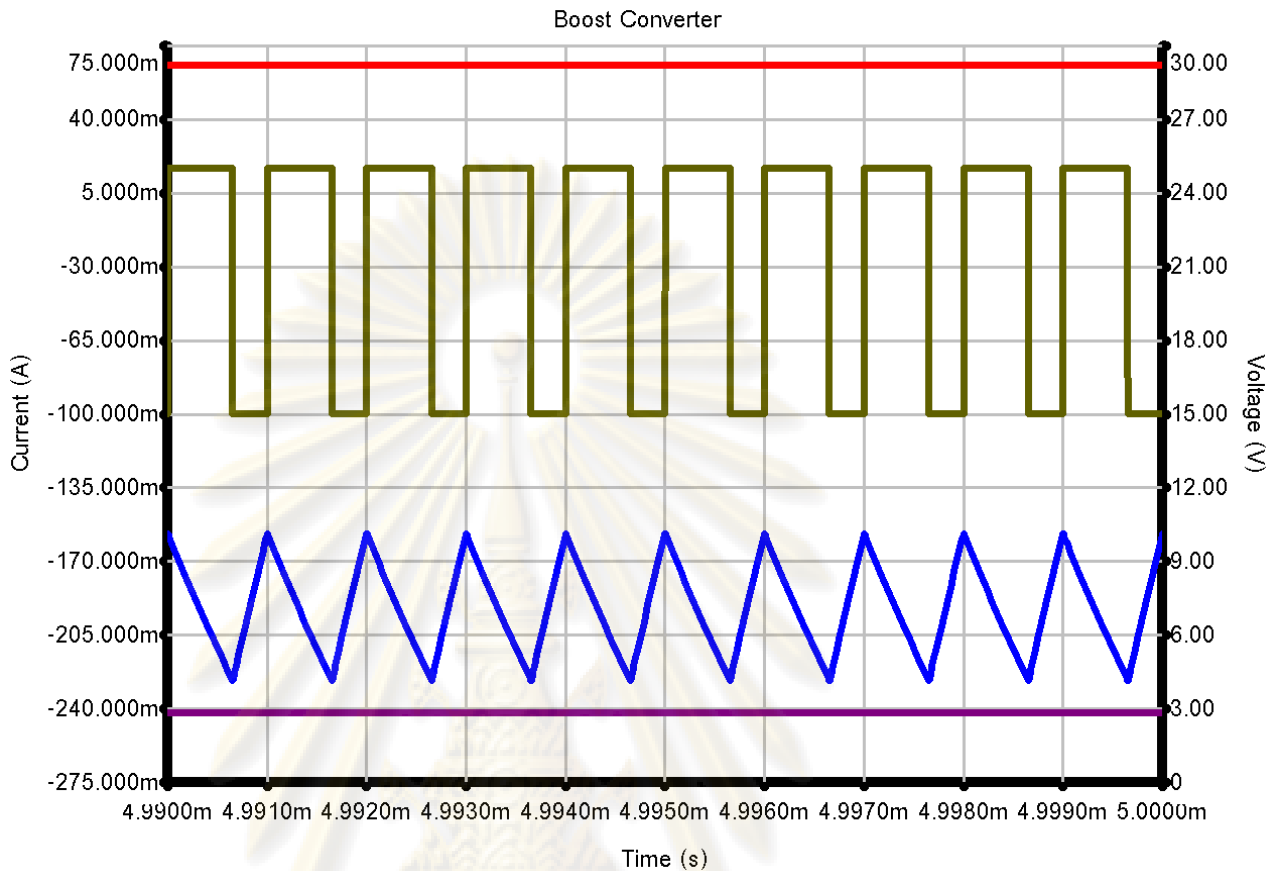
สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงในการออกแบบวงจรทบทระดับ คือ ค่าความเหนี่ยวนำ ค่าความจุของตัวเก็บประจุ ค่าความถี่การสวิตช์ของทรานซิสเตอร์ และค่าความต้านทานสมมูลในย่านอิมิตัวของทรานซิสเตอร์ซิมอส ค่าต่างๆ เหล่านี้จะมีผลต่อย่านการทำงานของวงจรทบทระดับ และค่าแรงดันกระแสที่พอมด้านออกของวงจรทบทระดับ

วงจรทบทระดับที่ออกแบบขึ้นในรูปที่ 3-7 ประกอบด้วยไดโอดเบอร์ 1N5819 ตัวเก็บประจุขนาด 68 μF ตัวเหนี่ยวนำขนาด 20 μH และทรานซิสเตอร์ซิมอสแบบเอ็นทีมีค่าความต้านทานในย่านอิมิตัว 50 $\text{m}\Omega$ ทำงานที่ความถี่การสวิตช์ 1 MHz ต่อโหลดเป็นแบตเตอรี่ขนาด 2.4 V จำลองผลการทำงานโดยใช้โปรแกรมจำลองมัลติซิมรุ่น 9 ได้ผลการจำลองการทำงานในสภาวะอยู่ตัวดังรูปที่ 3-8



รูปที่ 3-7 วงจรทบทระดับที่ออกแบบ และจำลองผลการทำงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3-8 ผลการจำลองการทำงานของวงจรระดับในสภาวะอยู่ตัว

เส้นบนสุดคือ กระแสด้านออกของวงจรระดับ (I_o) เส้นที่สอง คือแรงดันควบคุมสวิตช์ (V_{sw}) เส้นที่สามคือ กระแสด้านเข้าของวงจรระดับ (I_{in}) เส้นสุดท้ายคือแรงดันด้านออกของวงจรระดับ (V_o)

3.2.3. วงจรควบคุมเชิงเลข

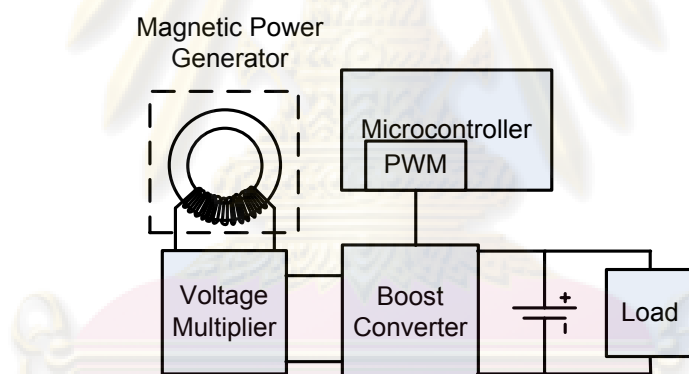
วงจรควบคุมเชิงเลข ทำหน้าที่ควบคุมค่าวัฏจักรงานของวงจรระดับเพื่อให้กำลังไฟฟ้าถ่ายโอนจากเครื่องเหนี่ยวนำไปยังแบตเตอรี่เกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ฝั่งการทำงานของวงจรควบคุมเชิงเลขสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3-10 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ วงจรควบคุมเริ่มการทำงานโดยตั้งค่าวัฏจักรงานของสวิตช์ในวงจรระดับไว้ที่ค่าเริ่มต้น (D) จากนั้นวงจรจะวัดแรงดันด้านออกของวงจรระดับและเก็บค่านั้นไว้เป็นค่าแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) หลังจากนั้นวงจรจะเปลี่ยนค่าวัฏจักรงานโดยอาจเพิ่มค่าวัฏจักรงานขึ้น หรือลดค่าวัฏจักรงานลงทิศทางใดทิศทางหนึ่ง หลังจากเปลี่ยนค่าวัฏจักรงานแล้ว วงจรควบคุมจะวัดแรงดันอีกครั้ง และเก็บไว้ในตัว

แปร (V) จากนั้นจะนำค่าที่ได้มาลบกัน หากผลลัพธ์ที่ได้มีค่ามากกว่าศูนย์วงจรจะเปลี่ยนค่าวัฏจักรงานในทิศทางเดิม หากผลลัพธ์ที่ได้มีค่าน้อยกว่าศูนย์วงจรจะเปลี่ยนค่าวัฏจักรงานในอีกทิศทางหนึ่ง จากนั้นวงจรจะปรับค่าอ้างอิงใหม่เป็น $V_{ref} = V$ และวนรอบวัดแรงดันด้านออกอีกครั้ง และวนรอบเช่นนี้เรื่อยไป

วงจรควบคุมเชิงเลขที่สร้างขึ้นใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สถาปัตยกรรม PIC16 เบอร์ PIC16F690 ทำงานที่ความถี่สัญญาณนาฬิกาภายใน 8 MHz ใช้ชุดกล้ำสัญญาณความกว้างพัลส์ (PWM) ขนาด 8 บิตภายในไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสร้างสัญญาณควบคุมสวิตช์ และใช้ตัวแปลงสัญญาณเชิงอนุมาณเป็นสัญญาณเชิงเลขขนาด 10 บิต (10 bit Analog to Digital Converter) ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์วัดค่าแรงดันด้านออก ของวงจรเก็บพลังงาน

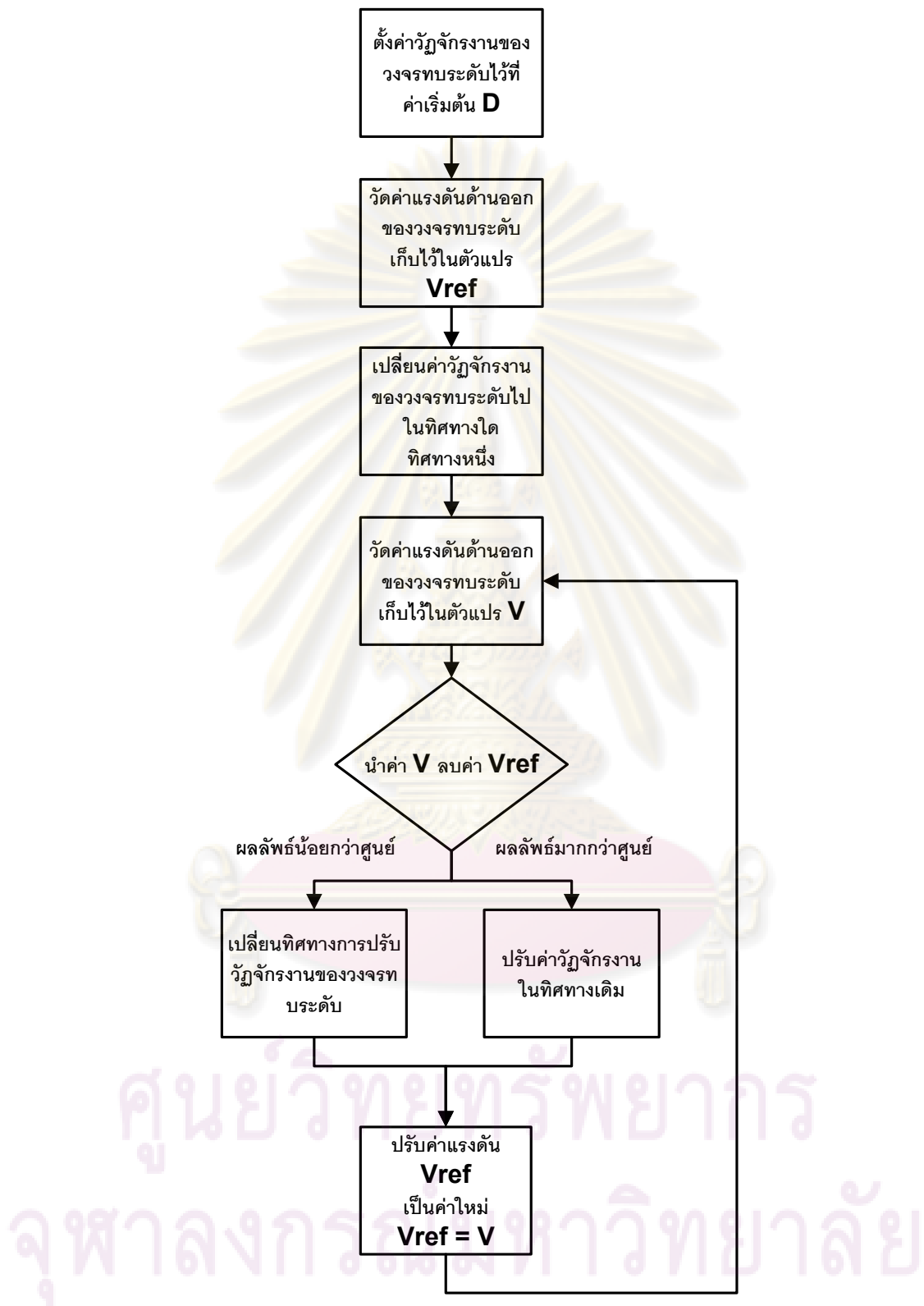
แผนภาพบล็อกของวงจรเก็บพลังงานจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่สร้างขึ้นแสดงไว้

ดังรูปที่ 3-9



รูปที่ 3-9 แผนภาพบล็อกวงจรเก็บพลังงานจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



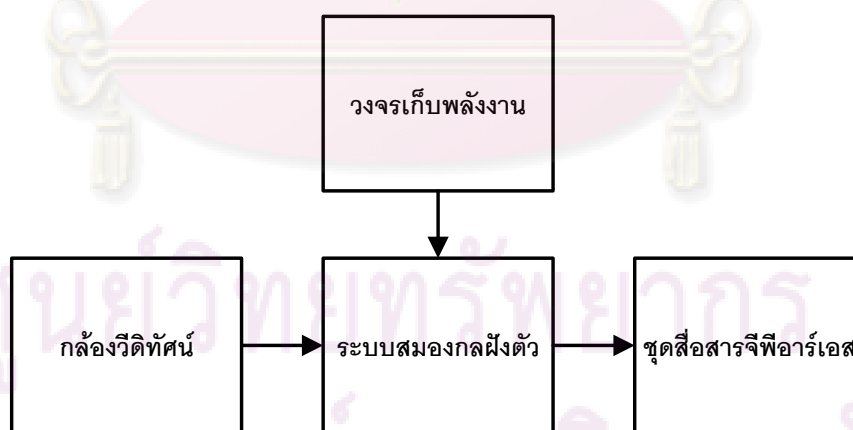
รูปที่ 3-10 ผังงานวงจรควบคุมเชิงเลข

บทที่ 4

การออกแบบระบบวิดิทัศน์ใฝ่ระวางไร้สายที่ใช้การสื่อสารทางจีพีอาร์เอส

4.1. ระบบวิดิทัศน์ใฝ่ระวางไร้สายที่ใช้การสื่อสารทางจีพีอาร์เอส

ระบบวิดิทัศน์ใฝ่ระวางที่ใช้การสื่อสารทางจีพีอาร์เอสแสดงไว้ดังรูปที่ 4-1 ประกอบด้วย กล้อง วิดิทัศน์ ระบบสมองกลฝังตัว ชูดติดต่อสื่อสารจีพีอาร์เอส และวงจรเก็บกำลังไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ การทำงานของระบบเริ่มต้นจาก กล้องวิดิทัศน์ถ่ายภาพบริเวณที่ต้องการใฝ่ระวาง จากนั้นจึงส่งสัญญาณภาพที่ได้ไปยังระบบสมองกลฝังตัวเพื่อประมวลผลสัญญาณภาพที่ได้ว่า มีวัตถุเคลื่อนไหว ในบริเวณนั้นหรือไม่ ถ้ามีการเคลื่อนไหวเกิดขึ้น ระบบสมองกลฝังตัวจะส่งชูดติดต่อสื่อสารให้ส่งข้อความไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่(SMS) ส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์(E-mail) แจ้งเตือนผู้ที่เกี่ยวข้อง และส่งภาพที่ได้ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย เพื่อให้ผู้ที่เกี่ยวข้องตรวจสอบและดำเนินการต่อไป หากไม่มีการเคลื่อนไหวระบบจะคอยรับภาพจากกล้องวิดิทัศน์เพื่อตรวจจับการเคลื่อนไหวของวัตถุต่อไปเรื่อย ๆ ระบบทั้งหมดจะใช้กำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ซึ่งเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากวงจรเก็บพลังงานไฟฟ้า รายละเอียดเกี่ยวกับกล้องวิดิทัศน์ ระบบสมองกลฝังตัว และชูดติดต่อสื่อสารทางจีพีอาร์เอส จะอธิบายไว้ในหัวข้อ ต่อไป ส่วนรายละเอียดเกี่ยวกับวงจรเก็บกำลังไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับได้อธิบายไว้แล้วในบทที่ 3



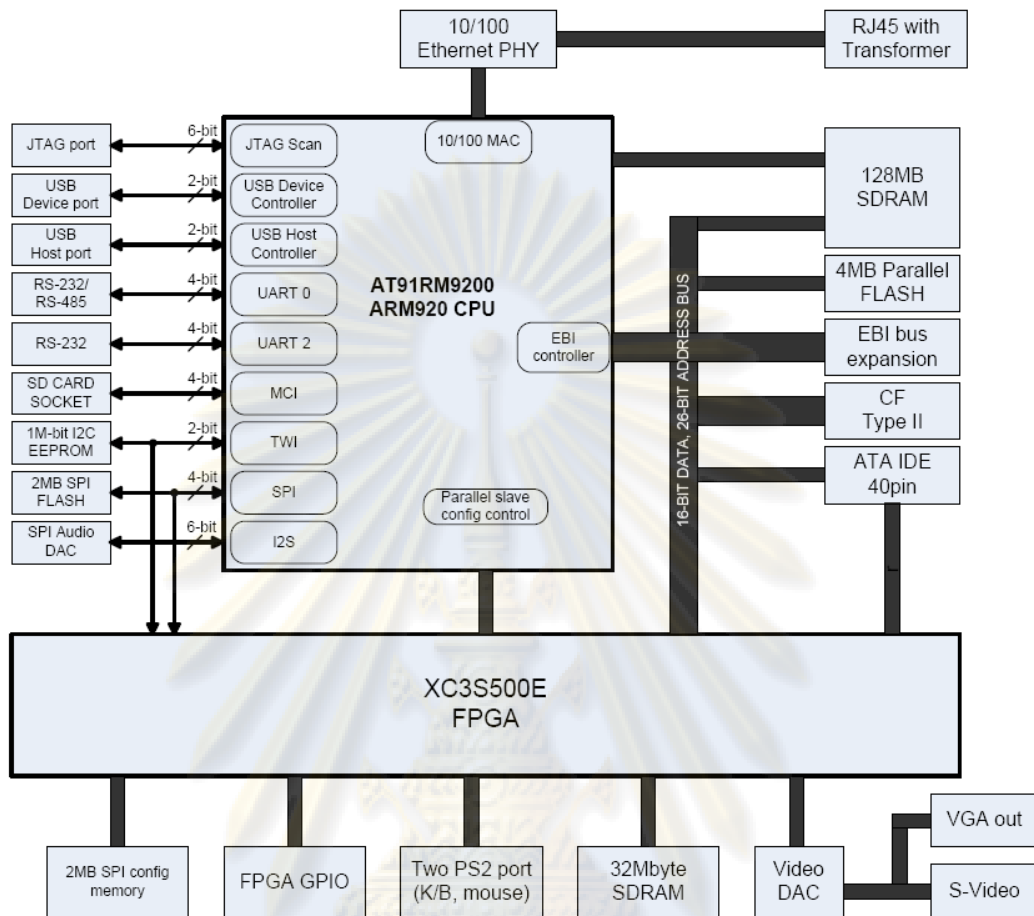
รูปที่ 4-1 ระบบวิดิทัศน์ใฝ่ระวางไร้สายที่ใช้การสื่อสารทาง GPRS

4.2. ระบบสมองกลฝังตัว

ระบบสมองกลฝังตัวที่ใช้พัฒนาระบบวีดิทัศน์เฝ้าระวังที่ใช้การสื่อสารทางจีพีอาร์เอส แสดงดังรูปที่ 4-2 ประกอบด้วย

- หน่วยประมวลผลสถาปัตยกรรม ARM รุ่น AT91SAM9260 ทำงานที่ความเร็ว 200 MIPS
- FPGA ของบริษัท Xilinx รุ่น Spartan3 เบอร์ XC3S500E ความจุ 500,000 เกต
- หน่วยความจำขนาด 64 MB ต่ออยู่กับหน่วยประมวลผล ARM
- หน่วยความจำขนาด 32 MB ต่ออยู่กับFPGA
- หน่วยความจำแบบแฟลชชนิดขนานขนาด 4 MB
- หน่วยความจำแบบแฟลชชนิด SPI ขนาด 4 Mbit
- หน่วยความจำ EEPROM ขนาด 1 Mbit
- วงจรรวมแปลงสัญญาณ Ethernet 10/100 Mbit
- ช่องทางอนุกรม 2 ช่อง ช่องทาง USB 2 ช่อง
- ช่องทางเข้าออกอนุกรม 5 ช่อง
- ช่องทางสำหรับติดต่อกับเมาส์ และแผงแป้นอักขระ
- ช่องสำหรับต่อกับ CF Card และ MMC/SD Card

ระบบสมองกลฝังตัวนี้จะบรรจุลินุกซ์ และซอฟต์แวร์ประยุกต์สำหรับควบคุมระบบสมองกลฝังตัวลงไป ซึ่ง รายละเอียดเกี่ยวกับลินุกซ์ และซอฟต์แวร์ประยุกต์ที่ถูกบรรจุอยู่ในระบบสมองกลฝังตัวจะอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 4.3 และหัวข้อที่ 4.4 ตามลำดับ



รูปที่ 4-2 ระบบสมองกลฝังตัวที่ใช้พัฒนาระบบวิดิทัศน์เฝ้าระวังที่ใช้การสื่อสารทางจีพีอาร์เอส

4.2.1. กล้องวิดิทัศน์

กล้องวิดิทัศน์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นกล้องวิดิทัศน์เชิงเลขของบริษัท Logitech ความละเอียดภาพ 640*480 อัตราการช้กตัวอย่างภาพสูงสุด 30 ภาพต่อวินาที ใช้แรงดันไฟฟ้าจากช่องทาง USB กล้องวิดิทัศน์นี้มีหน้าที่ถ่ายภาพในบริเวณที่ต้องการเฝ้าระวังและส่งภาพที่ได้ไปยังระบบสมองกลฝังตัวผ่านช่องทาง USB เพื่อให้ระบบสมองกลฝังตัวประมวลผลภาพที่ได้ต่อไป

4.2.2. ชุดสื่อสารจีพีอาร์เอส

ชุดสื่อสารจีพีอาร์เอสที่ใช้ในระบบวิดิทัศน์เฝ้าระวังไร้สายที่ใช้การสื่อสารทางจีพีอาร์เอส เป็นชุดสื่อสารของบริษัท Wavecom รุ่น Fargo Maestro 100 รองรับการสื่อสารทั้งแบบ GSM และ GPRS ในช่วงความถี่ 900 และ 1800 MHz การส่งงานชุดสื่อสารนี้ทำได้โดยส่งคำสั่งใน

กลุ่มคำสั่งเอที (AT Command) ไปยังชุดสื่อสารผ่านช่องทางอนุกรม ชุดสื่อสาร นี้รองรับการติดต่อสื่อสารโดยสังเขปดังนี้

- ส่งข้อความไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ (SMS)
- ส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ไปยังปลายทาง (E-mail)
- ส่งแฟ้มข้อมูลผ่านเกณฑ์วิธีถ่ายโอนแฟ้มข้อมูล (FTP)

กลุ่มคำสั่งเอทีพื้นฐานถูกเรียบเรียงไว้ในตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 กลุ่มคำสั่งเอทีพื้นฐานที่ใช้ควบคุมการทำงานชุดติดต่อสื่อสารจีพีอาร์เอส

คำสั่ง	คำอธิบาย
AT	ส่งคำสั่งนี้เพื่อตรวจสอบการทำงานของชุดสื่อสารจีพีอาร์เอส
AT#VALL	เรียกดูค่ากำหนดในชุดสื่อสารจีพีอาร์เอส
AT#VFTP	เรียกดูค่ากำหนดการถ่ายโอนข้อมูลในชุดสื่อสารจีพีอาร์เอส
AT#FTPPUT	ร้องขอการส่งข้อมูลผ่านการถ่ายโอนข้อมูลในชุดสื่อสารจีพีอาร์เอส
AT#PUTMAIL	ร้องขอการส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ในชุดสื่อสารจีพีอาร์เอส
AT#CONNECTIONSTART	ร้องขอการเชื่อมต่อแบบจีพีอาร์เอส
AT#CONNECTIONSTOP	หยุดการเชื่อมต่อแบบจีพีอาร์เอส

4.3. โครงสร้างระบบปฏิบัติการลินุกซ์บนระบบสมองกลฝังตัว

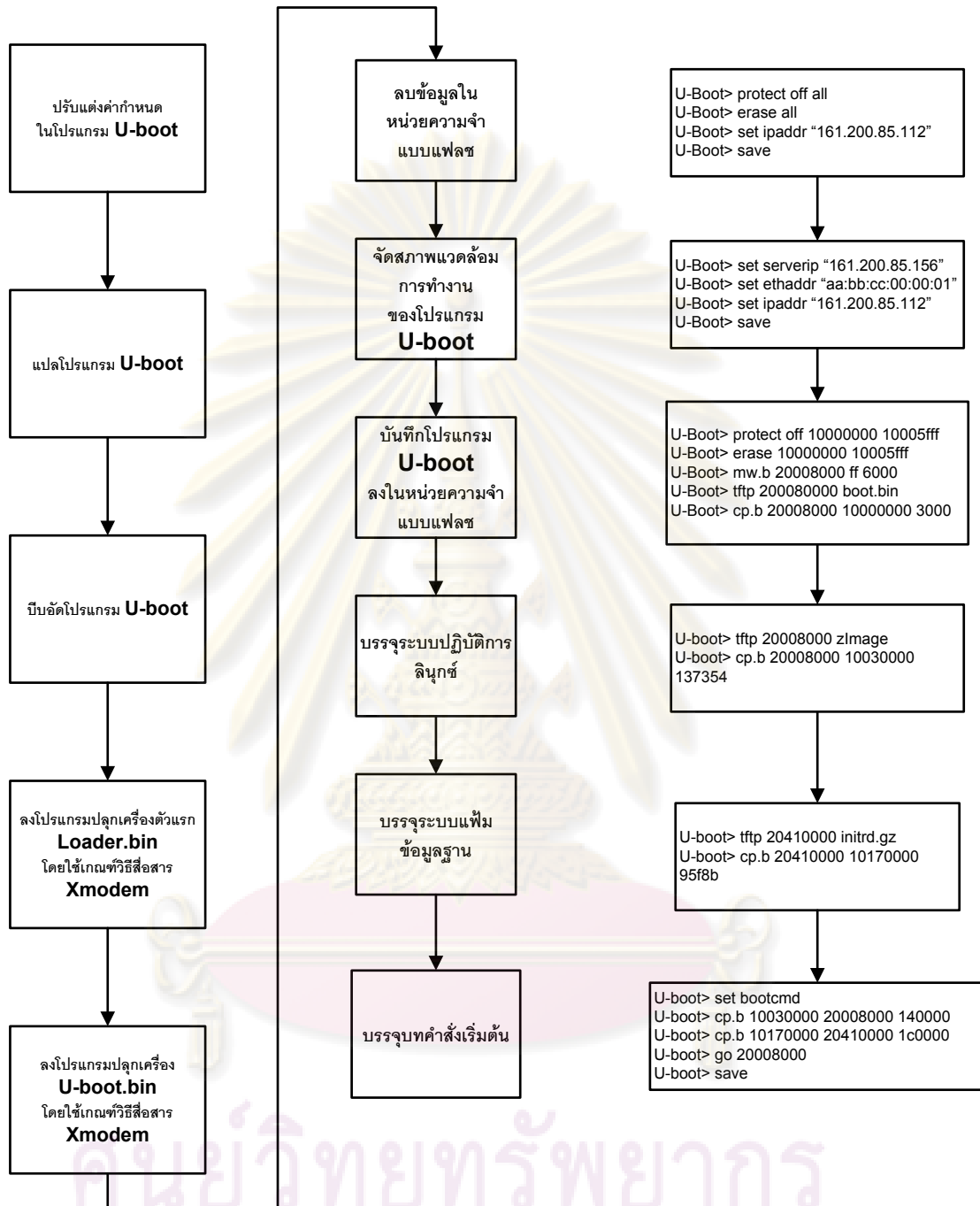
โครงสร้างลินุกซ์บนระบบสมองกลฝังตัวประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก ได้แก่ 1. โปรแกรมปลุกเครื่อง 2. ส่วนแกนกลาง 3. โปรแกรมขับอุปกรณ์ 4. ระบบแฟ้มข้อมูลฐาน

4.3.1. โปรแกรมปลุกเครื่อง

โปรแกรมปลูกเครื่องที่ใช้พัฒนาระบบสมองกลฝังตัวมี 2 โปรแกรม ได้แก่ โปรแกรม Bootloader ของบริษัท Atmel โปรแกรมนี้ทำหน้าที่ปลูกเครื่องเพื่อบรรจุ โปรแกรมปลูกเครื่องตัวที่สองที่ชื่อ U-Boot โปรแกรม U-boot นี้จะทำหน้าที่รับคำสั่งผ่านทางอนุกรมเพื่อทำหน้าที่บรรจุลินุกซ์ต่อไป ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม U-boot เพื่อบรรจุลินุกซ์ถูกแสดงไว้ดังรูปที่ 4-3

การบรรจุลินุกซ์ลงบนสมองกลฝังตัวเริ่มต้นจากการปรับแต่งค่ากำหนดในโปรแกรม U-boot และใช้สายโซ่เครื่องมือที่ติดตั้งไว้แปลโปรแกรม จากนั้นใช้โปรแกรม tar บีบอัดโปรแกรมที่ได้ จะได้โปรแกรมปลูกเครื่องที่พร้อมบรรจุลงบน สมองกลฝังตัว การลงโปรแกรมปลูกเครื่องนั้น เริ่มแรกจะต้องลงโปรแกรมปลูกเครื่องตัวแรกที่มีชื่อ loader.bin ผ่านทางช่องทางอนุกรม โดยใช้เกณฑ์วิธี xmodem ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐาน โดยสามารถใช้โปรแกรม hyperterminal หรือ minicom เพื่อลงโปรแกรมปลูกเครื่องตัวนี้ได้ หลังจากนั้นก็ลง U-boot ด้วยวิธีเดียวกัน จากนั้นบรรจุโปรแกรม U-boot ลงหน่วยความจำแบบแฟลช และสั่งให้ U-boot บรรจุลินุกซ์ ระบบเพิ่มข้อมูลฐาน และคำสั่งเริ่มต้นต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-3 การลงโปรแกรมบรรจุ U-boot และตัวอย่างการใช้โปรแกรม U-boot เพื่อบรรจุระบบปฏิบัติการลินุกซ์, ระบบแฟ้มข้อมูลฐาน และบทคำสั่งเริ่มต้นลงบนสมองกลฝังตัว

คำสั่งที่โปรแกรม U-Boot รองรับถูกเรียบเรียงและอธิบายไว้โดยสังเขปดังแสดงในตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 คำสั่งที่ใช้ในโปรแกรม U-Boot

คำสั่งที่ใช้ในโปรแกรม U-boot	คำอธิบาย
Protect , erase	คำสั่งป้องกัน และลบข้อมูลในหน่วยความจำแบบแฟลช
Load.l load.w load.b	เก็บข้อมูลลงหน่วยความจำ
Set [args]	กำหนดค่าต่าง ๆ ให้กับ Uboot และ kernel
Tftp	ถ่ายโอนแฟ้มข้อมูลผ่านทาง FTP
Cp.l cp.w cp.b	ทำสำเนาข้อมูลลงหน่วยความจำ
Save	บันทึกค่ากำหนดลงหน่วยความจำ
Bootm bootp	คำสั่งปลุกเครื่อง

4.3.2. ส่วนแก่นกลาง

ส่วนแก่นกลางที่ถูกบรรจุในระบบสมองกลฝังตัวนี้ถูกปรับแต่งให้รองรับบริการต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการพัฒนาระบบวิดิทัศน์ใฝ่ระวางที่ใช้การสื่อสารทาง GPRS

ส่วนแก่นกลางที่ปรับแต่งรองรับการทำงานต่างๆ ที่สำคัญดังนี้

- การติดต่อสื่อสารระหว่างกระบวนการ Interprocess Communication แบบ System V
- การบรรจุโมดูลแบบอัตโนมัติ
- การทำงานบนสถาปัตยกรรม ARM รุ่น AT91

- การติดต่อสื่อสารผ่านเครือข่ายชนิด TCP/IP
- ระบบเพิ่มข้อมูลชนิด Ext2, Ext3 /proc NFS และชุดโปรแกรม inotify

รายละเอียดของการปรับแต่งส่วนแก่นกลางโดยละเอียดถูกเรียบเรียงไว้ในภาคผนวก ค

4.3.3. โปรแกรมขับอุปกรณ์

โปรแกรมขับอุปกรณ์ที่ใช้กับระบบสมองกลฝังตัวที่สำคัญได้แก่ โปรแกรมขับอุปกรณ์ช่องทางอนุกรม และ โปรแกรมขับอุปกรณ์กล้องวีดิทัศน์ (gspca.ko) โดยโปรแกรมขับอุปกรณ์ช่องทางอนุกรมถูกบรรจุไว้ในส่วนแก่นกลางแบบถาวร แต่โปรแกรมขับอุปกรณ์กล้องวีดิทัศน์ถูกสร้างเป็นแบบโมดูลซึ่งเป็นหน้าที่ของผู้ใช้ที่จะต้องบรรจุโปรแกรมลงไปยังอาจทำได้โดยใช้คำสั่ง `insmod()` การสร้างเพิ่มข้อมูลหลังจากบรรจุโปรแกรมขับอุปกรณ์แล้ว ผู้ใช้จะต้องสร้างเพิ่มข้อมูลอุปกรณ์ซึ่งทำได้โดยใช้คำสั่ง `mknod()` ตัวอย่างการบรรจุโปรแกรมขับอุปกรณ์กล้องวีดิทัศน์และสร้างเพิ่มข้อมูลเพื่อใช้งานอุปกรณ์แสดงไว้ดังรูปที่ 4-4



รูปที่ 4-4 การบรรจุโปรแกรมขับอุปกรณ์กล้องวีดิทัศน์

4.3.1. ระบบเพิ่มข้อมูลฐาน

ระบบเพิ่มข้อมูลฐาน ส่วนประกอบสำคัญดังนี้

- Busybox ซึ่งเป็นโปรแกรมอรรถประโยชน์สำหรับการปรับค่าในลินุกซ์
- คลังโปรแกรม uClibc ซึ่งอยู่ภายใต้สารบบ `/usr/lib` ทำหน้าที่เก็บคลังโปรแกรมที่จำเป็นในสำหรับ busybox และการพัฒนาภาษาเขียนระบบสมองกลฝังตัว
- `/etc/init.d/` ทำหน้าที่เก็บบทคำสั่งต่าง ๆ สำหรับการเริ่มต้นระบบเช่น การเริ่มต้นติดต่อสื่อสารทางเครือข่ายผ่าน LAN จะถูกเก็บไว้ที่

/etc/init.d/S40network การเริ่มต้นการถ่ายโอนแฟ้มข้อมูล (FTP) ถูกเก็บไว้ที่
etc/init.d/S50vsftpd

- ค่ากำหนดต่าง ๆ ของระบบจะถูกเก็บไว้ในสารบบ /etc/ เช่น ค่ากำหนดของการเชื่อมต่อกับเครือข่ายถูกเก็บไว้ที่ /etc/network/ เป็นต้น ส่วนประกอบดังกล่าวเรียบเรียงและอธิบายไว้ในตารางที่

4.4. ซอฟต์แวร์ประยุกต์

ซอฟต์แวร์ประยุกต์ที่พัฒนาขึ้นสำหรับระบบวิดิทัศน์ใฝ่ระวางไร้สายที่ใช้การสื่อสารทางจีพีอาร์เอส ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 4 ส่วนได้แก่

1. โปรแกรมตรวจจับการเคลื่อนไหวของวัตถุ
2. โปรแกรมติดต่อสื่อสารกับชุดสื่อสารจีพีอาร์เอส
3. โปรแกรมส่งสัญญาณภาพไปสู่เครื่องแม่ข่าย
4. โปรแกรมหลัก

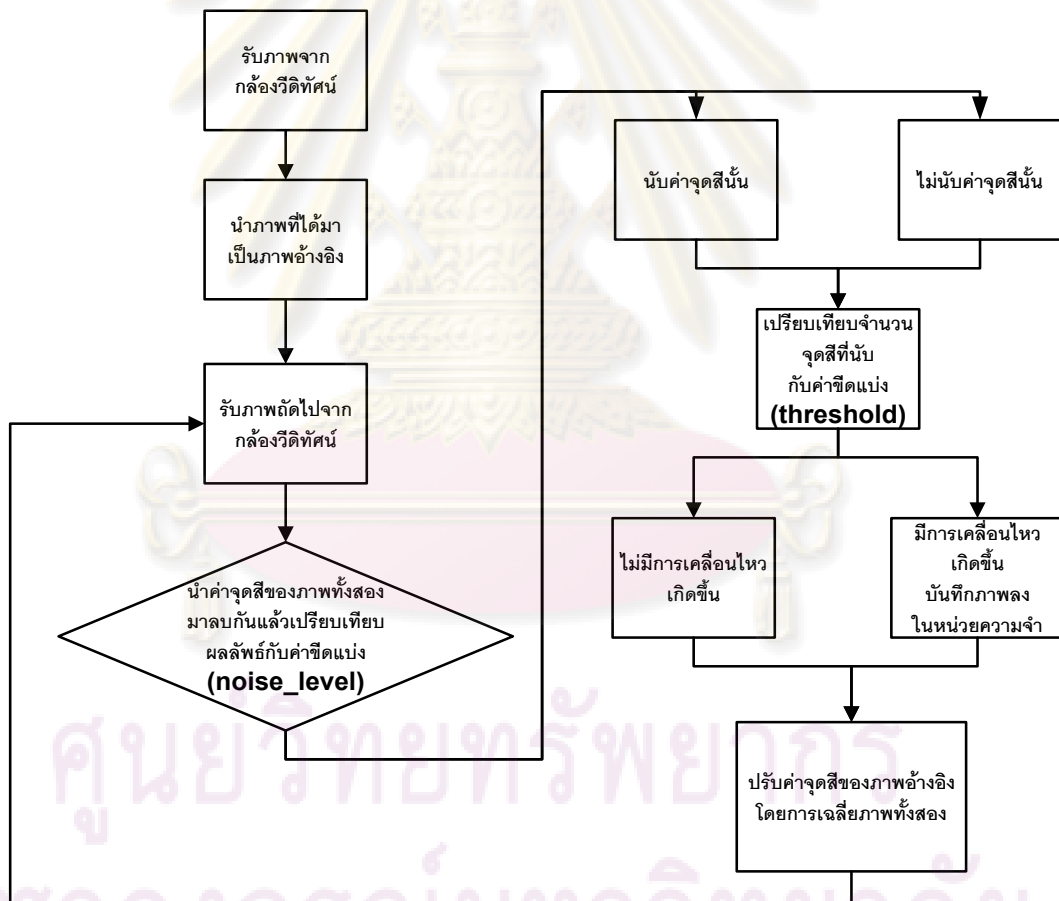
ซึ่งอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 4.4.1, 4.4.2, 4.4.3 และ 4.4.4ตามลำดับ

4.4.1. โปรแกรมตรวจจับการเคลื่อนไหวของวัตถุ

โปรแกรมตรวจจับการเคลื่อนไหว ทำหน้าที่ประมวลสัญญาณภาพจากกล้องวิดิทัศน์ ว่ามีการเคลื่อนไหวเกิดขึ้นหรือไม่ หากมีการเคลื่อนไหวเกิดขึ้นโปรแกรมจะเก็บภาพไว้ โปรแกรมตรวจจับการเคลื่อนไหวที่ใช้ชื่อว่า motion ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์เสรีในระบบปฏิบัติการลินุกซ์ ขั้นตอนวิธีของโปรแกรมตรวจจับการเคลื่อนไหวนั้นสามารถอธิบายได้โดยพิจารณาผังงานตรวจจับการเคลื่อนไหวของวัตถุที่แสดงไว้ดังรูปที่ 4-5 จากรูปโปรแกรมจะรับภาพเข้ามาและใช้ตัวกรองชนิดเกาส์เซียนเพื่อทำหน้าที่ขจัดสัญญาณรบกวน (Noise) ที่อยู่ในสัญญาณภาพ จากนั้นจะนำภาพนั้นมาเก็บไว้เป็นภาพอ้างอิง ต่อจากนั้นโปรแกรมจะรับภาพถัดไป และนำภาพนั้นมาเก็บไว้เป็นภาพอ้างอิง ต่อจากนั้นโปรแกรมจะรับภาพถัดไป และนำภาพที่ได้มาลบกับภาพอ้างอิง การลบกันระหว่างภาพทั้งสอง ทำได้โดยลบค่าจุดสีความสว่าง (chrominance) ของแต่ละจุดสีในภาพทั้งสอง หลังจากลบแต่ละจุดสีแล้วจะนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าขีดแบ่ง (Noise_level) ที่ตั้ง

ไว้ หากผลลัพธ์ที่ได้มีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่งที่ตั้งไว้ โปรแกรมจะนับจุดสีนั้น ถ้าผลลัพธ์ที่ได้มีค่าน้อยกว่าค่าขีดแบ่ง โปรแกรมจะละเลยจุดสีนั้น หลังจากนั้นโปรแกรมจะเปรียบเทียบจำนวนจุดสีที่นับไว้กับค่าขีดแบ่งอีกค่า (threshold) ที่ตั้งไว้ หากจำนวนจุดสีที่นับไว้มีค่ามากกว่าขีดแบ่งนี้ โปรแกรมจะบันทึกภาพนั้นลงในหน่วยความจำ ในตำแหน่งที่ถูกกำหนดไว้ที่ตำแหน่งและแจ้งว่ามีอาการเคลื่อนไหวเกิดขึ้น ท้ายที่สุดโปรแกรมจะปรับค่าจุดสีในภาพอ้างอิงด้วยการเฉลี่ยภาพอ้างอิงเดิมกับภาพใหม่ซึ่งเขียนได้ดังสมการที่ (4-1) จากนั้นโปรแกรมจะรับภาพถัดไปเข้ามาทำเช่นนี้วนรอบไปเรื่อย ๆ

$$R_{Fn} = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{2^{n-i}} R_{Fi} \tag{4-1}$$



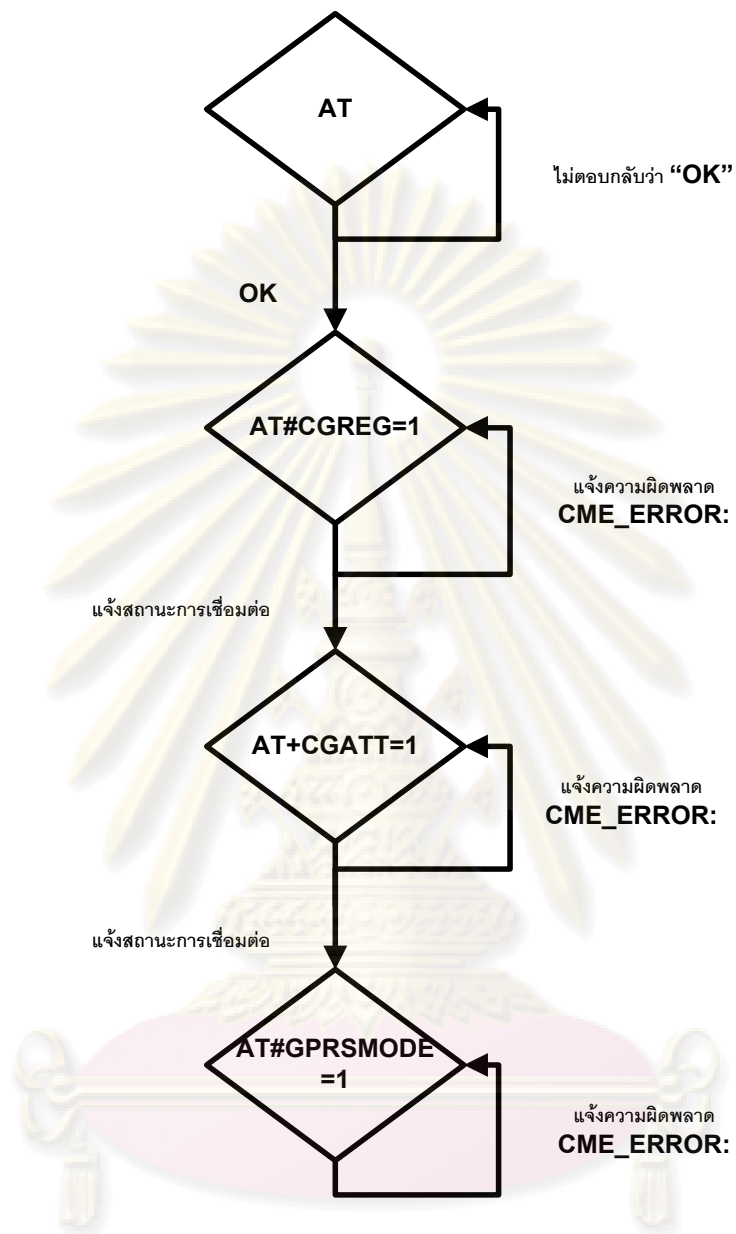
รูปที่ 4-5 ผังงานโปรแกรมตรวจจับการเคลื่อนไหวของวัตถุ

4.4.2. โปรแกรมติดต่อสื่อสารกับชุดสื่อสารจีพีอาร์เอส

ผังงานของโปรแกรมติดต่อสื่อสารกับชุดสื่อสารจีพีอาร์เอสแสดงไว้ดังรูปที่ 4-6 โปรแกรมนี้เริ่มต้นทำงานด้วยการเปิดช่องทางอนุกรมที่ต่ออยู่กับชุดสื่อสารจีพีอาร์เอส โดยกำหนดค่าลักษณะต่างๆ ของช่องทางอนุกรมผ่านทางโครงสร้างข้อมูลของช่องอนุกรม ค่าที่กำหนดนั้นแสดงไว้ในตารางที่ 4-3 หลังจากกำหนดค่าต่างๆ เรียบร้อยแล้ว โปรแกรม จะส่งคำสั่ง AT ไปยังชุดสื่อสารเพื่อตรวจสอบว่าชุดสื่อสารจีพีอาร์เอส พร้อมที่จะปฏิบัติงานหรือไม่ โดยจะวนรอบตรวจสอบไปจำนวน N ครั้งหากชุดสื่อสารพร้อม ชุดสื่อสารจะคืนค่า OK กลับมา เมื่อได้รับค่า OK โปรแกรมจะตั้งค่าต่างๆ ในชุดสื่อสารจีพีอาร์เอส ได้แก่ ค่าการส่งข้อความไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ ตั้งค่าการส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์, ค่าการส่งแฟ้มข้อมูลผ่านการถ่ายโอนแฟ้มข้อมูล (FTP) เพื่อให้พร้อมชุดสื่อสารพร้อมปฏิบัติงาน หลังจากตั้งค่าต่างๆ เรียบร้อยแล้วโปรแกรมจะรอคำสั่งให้จากโปรแกรมหลักต่อไป



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-6 ผังงานการสร้างช่องสัญญาณจีพีอาร์เอส

ค่ากำหนดการถ่ายโอนแฟ้มข้อมูล FTP ถูกแสดงไว้ใน

ตารางที่ 4-3

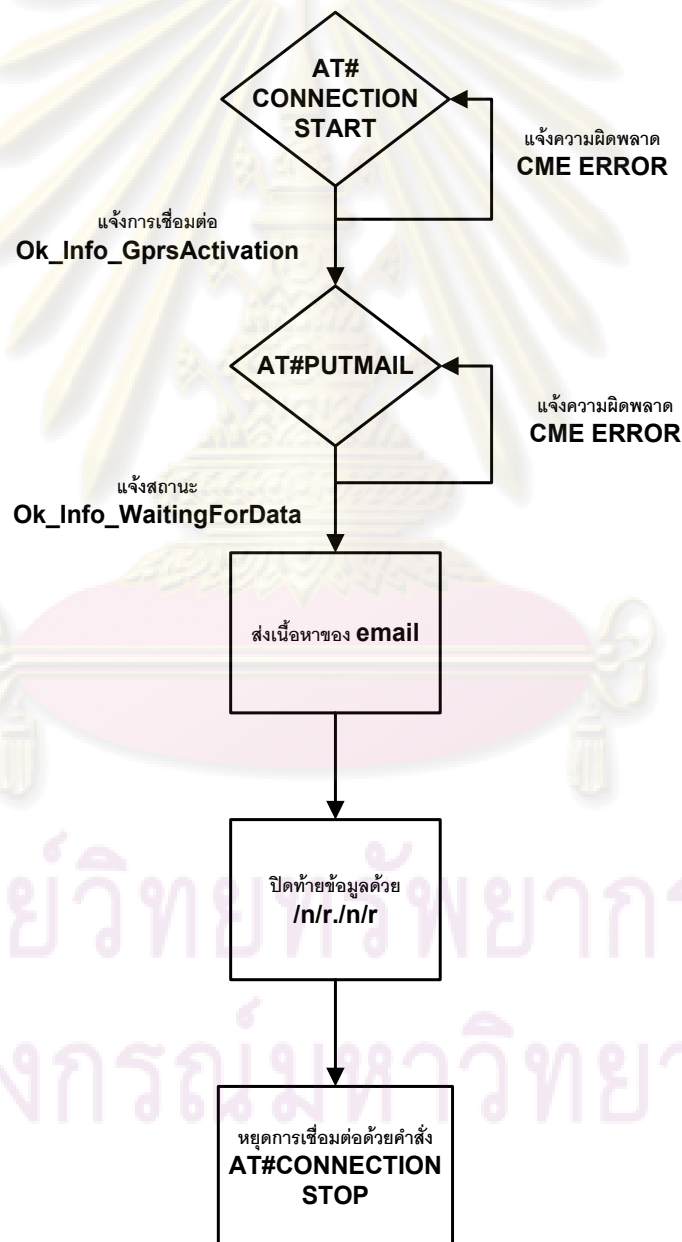
ตารางที่ 4-3 ค่ากำหนดของการถ่ายโอนแฟ้มข้อมูลที่กำหนดไว้ในชุดสื่อสารจีพีอาร์เอส

ค่ากำหนดต่างๆ ของการถ่าย	คำอธิบายค่ากำหนด
โอนแฟ้มข้อมูล (FTP)	

#FTPGETFILENAME: "getfile.txt"	ชื่อแฟ้มข้อมูลที่ได้รับผ่านการถ่ายโอนแฟ้มข้อมูล กำหนดเป็น "getfile.txt"
#FTPGETPATH: "/tmp/"	ชื่อตำแหน่งที่เก็บแฟ้มข้อมูลที่ได้รับผ่านการถ่ายโอนแฟ้มข้อมูล กำหนดเป็น /tmp/
#FTPPORT: 21	หมายเลขช่องทางการสื่อสารการถ่ายโอนข้อมูล กำหนดเป็น หมายเลข 21
#FTPPUTFILENAME: "putfile.txt"	ชื่อแฟ้มข้อมูลที่ส่งผ่านการถ่ายโอนแฟ้มข้อมูล กำหนดเป็น "putfile.txt"
#FTPPUTPATH: "/tmp/"	ชื่อตำแหน่งที่เก็บแฟ้มข้อมูลที่ส่งผ่านการถ่ายโอนแฟ้มข้อมูล กำหนดเป็น /tmp/
#FTPSERV: "161.200.85.47"	หมายเลขไอพีของเครื่องแม่ข่ายที่จะรับส่งข้อมูลผ่านการถ่ายโอนแฟ้มข้อมูล กำหนดเป็น "161.200.85.47"
#FTPPW: "*****"	รหัสผ่านการเชื่อมต่อเข้าสู่เครื่องแม่ข่าย
#FTPTYPE: "A"	ชนิดของแฟ้มข้อมูลที่ส่ง ในที่นี้ "A" หมายถึง แฟ้มข้อมูลมีข้อมูลเป็นรหัสแอสกี
#FTPUN: "acanazar"	ชื่อผู้ใช้ที่เชื่อมต่อเข้าสู่เครื่องแม่ข่าย กำหนดเป็น "acanazar"

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผังงานขั้นตอนการส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ถูกแสดงไว้ดังรูปที่ 4-7 ซึ่งอธิบายได้ดังนี้ เริ่มต้นโปรแกรมจะส่งคำสั่ง AT#CONNECTIONSTART ไปยังชุดสื่อสารจีพีอาร์เอสเพื่อเชื่อมต่อจีพีอาร์เอสนั้นโปรแกรมจะส่งคำสั่ง AT#PUTMAIL เพื่อร้องขอการส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ หากชุดสื่อสารพร้อม ชุดสื่อสารจะตอบกลับว่า "Ok_Info_WaitingForData" เมื่อโปรแกรมได้รับคำตอบกลับดังกล่าวโปรแกรมจะส่งเนื้อหาของจดหมายอิเล็กทรอนิกส์กลับไป เมื่อสิ้นสุดข้อความสุดท้ายในจดหมายโปรแกรมจะปิดท้ายข้อมูลด้วย <CR><LF>.<CR><LF> และหยุดการเชื่อมต่อจีพีอาร์เอสด้วยคำสั่ง AT#CONNECTIONSTOP ต่อไป



รูปที่ 4-7 ผังงานการส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ด้วยชุดสื่อสารจีพีอาร์เอส

ค่ากำหนดของการส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ที่กำหนดไว้ในชุดสื่อสารจีพีอาร์เอสถูกเรียงเรียงไว้ดังแสดงในตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ค่ากำหนดของการส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ที่กำหนดไว้ในชุดสื่อสารจีพีอาร์เอส

ค่ากำหนดของการส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ (E-mail)	คำอธิบายค่ากำหนด
#DOMAIN: "acanazar@gmail.com"	โดเมน กำหนดเป็น "acanazar@gmail.com"
#SENDERADDR: "acanazar@gmail.com"	โดเมนของผู้ส่ง กำหนดเป็น "acanazar@gmail.com"
#SENDERNAME: "ART"	ชื่อผู้ส่ง กำหนดเป็น "ART"
#SMTPPORT: 25	หมายเลขช่องทางการสื่อสาร SMTP กำหนดเป็น หมายเลข 25
#SMTPSERV: "relay.ksc.net.th"	โดเมนของเครื่องแม่ข่ายที่ให้บริการ SMTP กำหนดเป็น relay.ksc.net.th
#BODY1: "This is for GPRS testing"	เนื้อหาของจดหมายอิเล็กทรอนิกส์
#CCREC1: "acanazar@gmail.com"	โดเมนของผู้รับสำเนาข้อมูลคาร์บอน กำหนดเป็น "acanazar@gmail.com"
#REC1: "arthur_xg_196@hotmail.com"	โดเมนของผู้รับ กำหนดเป็น "arthur_xg_196@hotmail.com"
#SUBJ1: "TEST GPRS COMMUNICATION"	หัวข้อจดหมายอิเล็กทรอนิกส์
#SMTPPW: ""	รหัสผ่านการเข้าสู่เครื่องแม่ข่ายที่ให้บริการ SMTP
#SMTPUN: ""	ชื่อผู้ใช้ที่เชื่อมต่อเข้าสู่เครื่องแม่ข่ายที่ให้บริการ SMTP

4.4.3. โปรแกรมส่งสัญญาณภาพไปสู่เครื่องแม่ข่าย

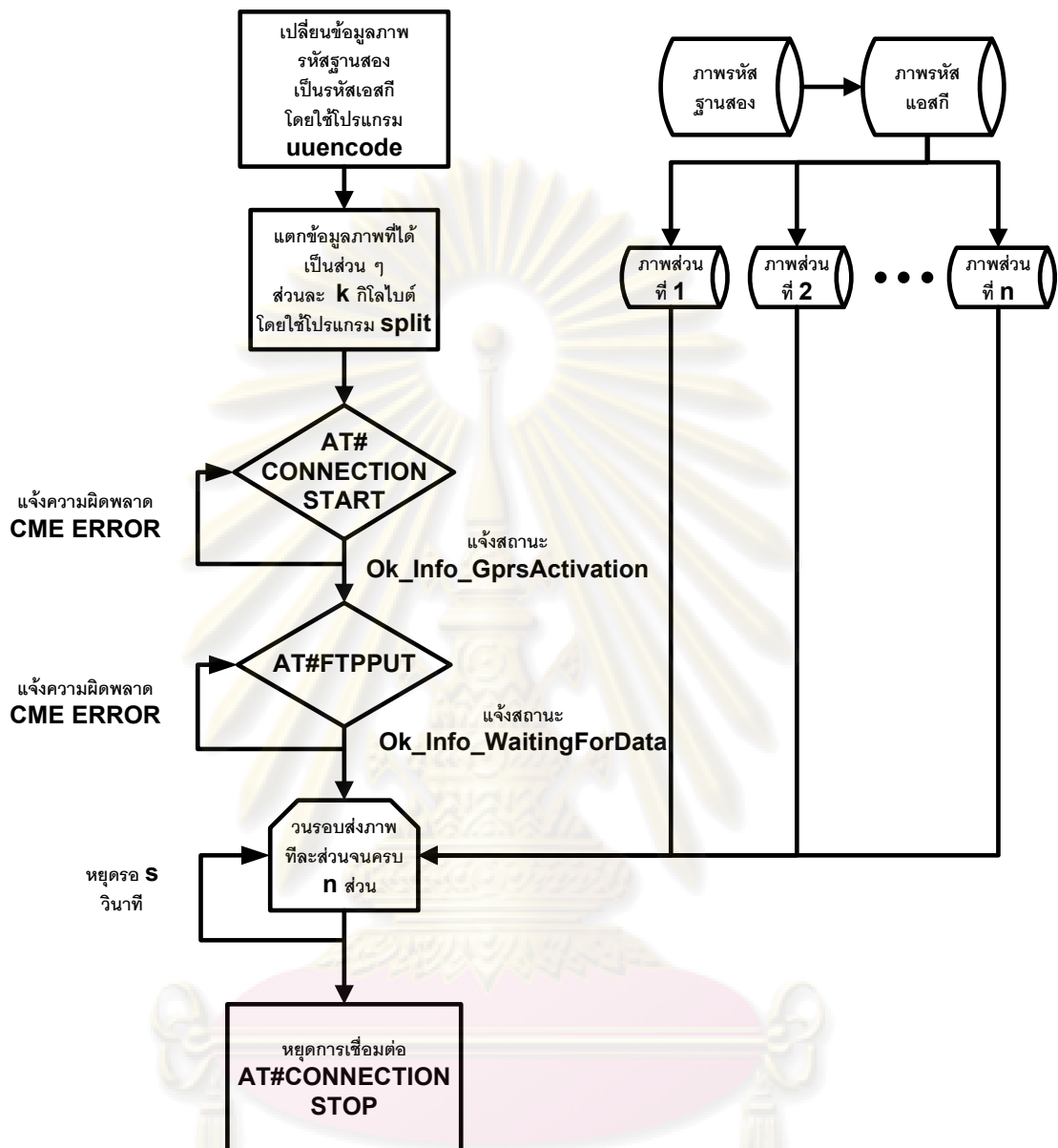
ในการภาพจากระบบสมองกลฝังตัวผ่านช่องสัญญาณจีพีอาร์เอสไปสู่เครื่องแม่ข่ายโดยใช้บริการถ่ายโอนแฟ้มข้อมูล (FTP) ของชุดสื่อสารจีพีอาร์เอสนั้นไม่สามารถกระทำได้โดยตรง เนื่องจากในข้อมูลภาพอาจมีสัญลักษณ์บางตัวที่ชุดสื่อสารจีพีอาร์เอสจะเข้าใจว่าเป็นคำสั่งหยุดการเชื่อมต่อ เช่นสัญลักษณ์ "Ctrl-C" ซึ่งมีรหัสเลขฐานสิบหก เป็น 0x03 ดังนั้นการส่ง

ข้อมูลภาพที่มีสัญลักษณ์ดังกล่าวจะทำให้ชุดสื่อสารหยุดการเชื่อมต่อ เป็นผลให้การส่งภาพล้มเหลว การแก้ไขปัญหาดังกล่าวทำได้โดยเข้ารหัสสัญญาณภาพใหม่ โดยเปลี่ยนสัญลักษณ์ Ctrl-C Ctrl-A <CR> <LF> ฯลฯ ให้เป็นรหัสตัวอักษร ในรหัสแอสกีตัวอื่น จากนั้นค่อยส่งข้อมูลภาพที่เข้ารหัสแล้วไปยังเครื่องแม่ข่าย ดังนั้นเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายจะต้องมีโปรแกรมที่ทำหน้าที่ถอดรหัสข้อมูลให้กลับมาเป็นข้อมูลภาพดั้งเดิม โปรแกรมที่ใช้ในการเข้ารหัส และถอดรหัส ถูกพัฒนาขึ้นในลินุกซ์แล้ว ซึ่งเรียกว่า uuencode และ uudecode ตามลำดับ

นอกจากปัญหาดังกล่าว การส่งข้อมูลภาพซึ่งมีขนาดใหญ่ผ่านทางช่องทางอนุกรมอาจเกิดปัญหาได้เนื่องจากข้อมูลที่ถูกส่งไปแล้วอาจไม่ถูกรับโดยชุดสื่อสารจีพีอาร์เอสเนื่องจากหน่วยความจำในชุดสื่อสารดังกล่าวเต็ม วิธีการแก้ปัญหานี้ทำได้โดยแบ่งข้อมูลภาพที่เข้ารหัสแล้วเป็นชิ้นย่อยๆ จากนั้น ค่อยๆ ส่งทีละชิ้น โดยแต่ละชิ้นห่างกันเป็นเวลา t ms (กำหนดไว้เป็น 1000 ms) ซึ่งจะทำให้การส่งข้อมูลเกิดความผิดพลาดน้อยลง การแบ่งข้อมูลเป็นชิ้นย่อยๆ สามารถทำได้โดยใช้โปรแกรม split ซึ่งถูกพัฒนาไว้ในระบบปฏิบัติการลินุกซ์เช่นเดียวกัน

นอกจากนี้การใช้บริการจีพีอาร์เอสจะต้องเสียค่าใช้จ่ายตามเวลาที่ใช้เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายระบบจะไม่เชื่อมต่อจีพีอาร์เอสจนกว่าจะต้องส่งข้อมูลเท่านั้น

ฝั่งงานของส่งสัญญาณภาพไปสู่เครื่องแม่ข่ายแสดงไว้ดังรูปที่ 4-8 จากรูปโปรแกรมจะเริ่มต้นด้วยการใช้โปรแกรม uuencode เพื่อเปลี่ยนภาพที่อยู่ในรหัสฐานสองให้เป็นภาพรหัสแอสกี จากนั้นโปรแกรมจะใช้โปรแกรม split เพื่อแตกภาพรหัสแอสกีที่ได้เป็นหลาย ๆ ภาพจำนวน n ส่วน โดยแต่ละส่วนมีขนาด k กิโลไบต์หลังจากนั้นจะเชื่อมต่อจีพีอาร์เอสโดยใช้คำสั่ง AT#CONNECTIONSTART หากเชื่อมต่อได้สำเร็จ โปรแกรมจะใช้คำสั่ง AT#FTPPUT เพื่อส่งภาพแต่ละส่วนไปจนครบทุกส่วน ระหว่างการส่งภาพแต่ละส่วน โปรแกรมจะหยุดรอเป็นเวลา s วินาทีเพื่อให้แน่ใจว่าข้อมูลที่ส่งไปยังชุดสื่อสารจีพีอาร์เอสถูกส่งไปยังเครื่องแม่ข่ายเรียบร้อยแล้ว เมื่อส่งภาพทุกส่วนเรียบร้อยแล้วโปรแกรมจะส่งคำสั่ง AT#CONNECTIONSTOP เพื่อหยุดการเชื่อมต่อจีพีอาร์เอส ในการส่งคำสั่งไปยังชุดสื่อสารจีพีอาร์เอสแต่ละครั้งนั้น โปรแกรมจะตรวจสอบค่าที่ชุดสื่อสารคืนมาทุกครั้งว่ามีความผิดพลาดเกิดขึ้นหรือไม่หากมีความผิดพลาดเกิดขึ้นโปรแกรมจะเริ่มต้นส่งคำสั่งนั้นๆ ใหม่จนกว่าจะทำงานได้สำเร็จ



รูปที่ 4-8 ผังงานโปรแกรมส่งสัญญาณภาพไปสู่เครื่องแม่ข่าย

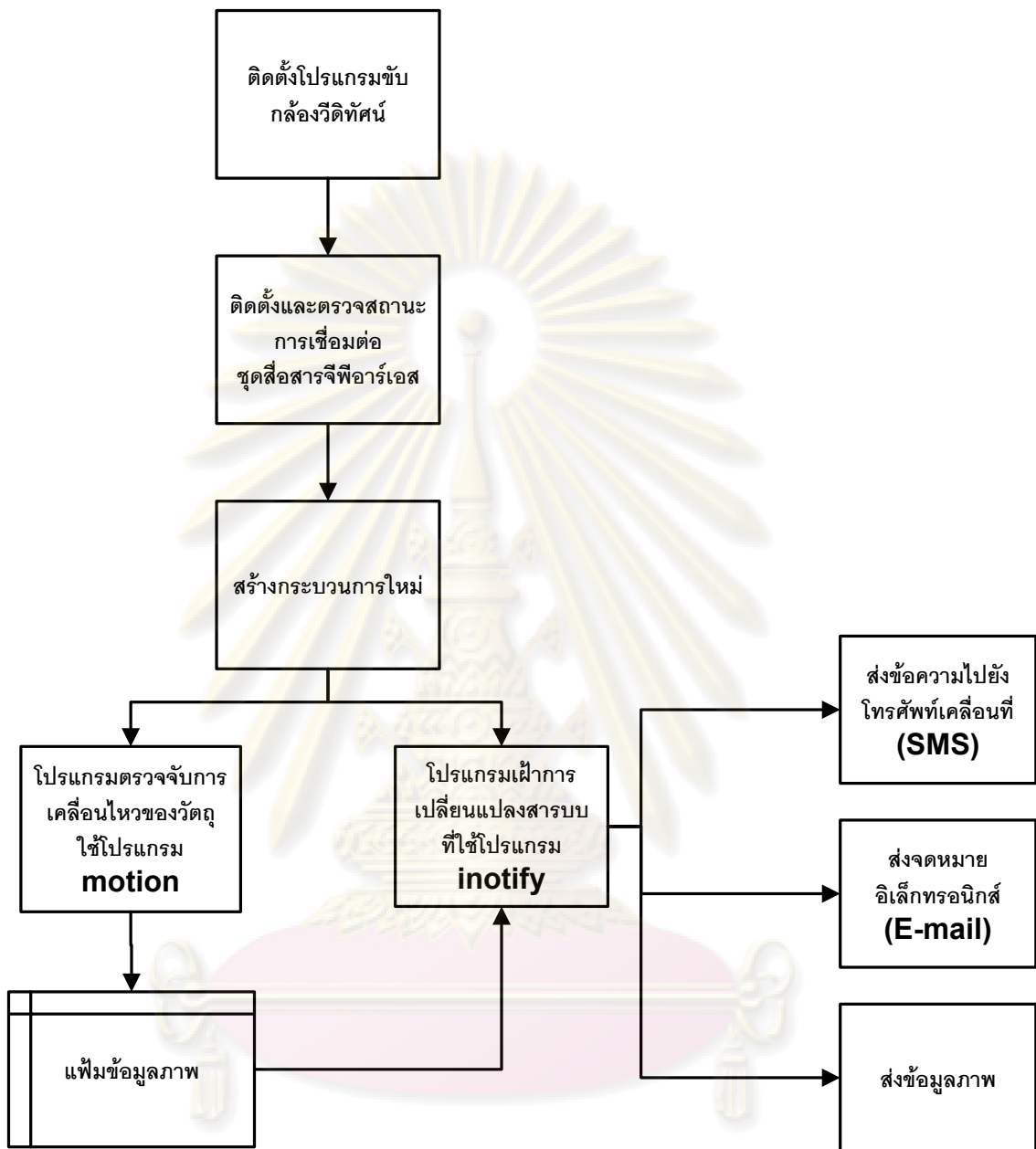
4.4.4. โปรแกรมหลัก (Main Program)

ผังงานของโปรแกรมหลักแสดงไว้ดังรูปที่ 4-9 ซึ่งอธิบายได้ดังนี้ เริ่มต้นโปรแกรมหลักจะเรียกใช้คำสั่ง `insmod()` เพื่อติดตั้งโปรแกรมขับอุปกรณ์กล้องชื่อ `gspca.ko` จากนั้นจะสร้างโหนดสำหรับกล้องวีดิทัศน์โดยใช้คำสั่ง `mknod()` หลังจากติดตั้งอุปกรณ์กล้องเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมหลักจะสร้างกระบวนการใหม่ โดยกระบวนการใหม่นี้บรรจุโปรแกรม

ตรวจจับการเคลื่อนไหวที่ชื่อ motion ลงไป จากนั้นโปรแกรมหลักจะติดตั้งโปรแกรมติดต่อสื่อสารกับชุดสื่อสารจีพีอาร์เอส และ โปรแกรม inotify เมื่อติดตั้งโปรแกรมทั้งสองเสร็จแล้ว โปรแกรมหลักจะสร้างกระบวนการ alarm เพื่อทำหน้าที่แจ้งเตือนหากเวลาครบ m นาที ในช่วงเวลานี้หากมีการเคลื่อนไหวเกิดขึ้นโปรแกรม motion จะเก็บภาพลงในสารบบซึ่งทำให้โปรแกรม inotify ส่งสัญญาณแจ้งต่อโปรแกรมหลักว่ามีภาพใหม่ถูกบันทึกลงในสารบบ เมื่อโปรแกรมหลักรับทราบว่า มีภาพใหม่ถูกบันทึกลงในสารบบ โปรแกรมหลัก จะเรียกใช้โปรแกรมติดต่อสื่อสารกับชุดสื่อสารจีพีอาร์เอส เพื่อส่ง SMS และ E mail โดยจะบันทึกจำนวน SMS และ E mail ที่ส่งไปใน m นาทีโดยในงานวิจัยนี้ตั้งไว้เป็น 60 นาที และเมื่อกระบวนการ alarm แจ้งเตือนเวลาครบ m นาทีแล้ว โปรแกรมหลักจะเรียกเรียกใช้โปรแกรมส่งสัญญาณภาพไปสู่เครื่องแม่ข่าย เพื่อบีบอัดภาพและส่งภาพไปสู่เครื่องแม่ข่าย จากนั้นโปรแกรมหลักจะตั้งค่าจำนวน SMS Email และเวลาแจ้งเตือน m ใหม่ เมื่อตั้งค่าเสร็จแล้วโปรแกรมหลักจะวนรอบเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร

รูปที่ 4-9 ผังงานโปรแกรมหลัก

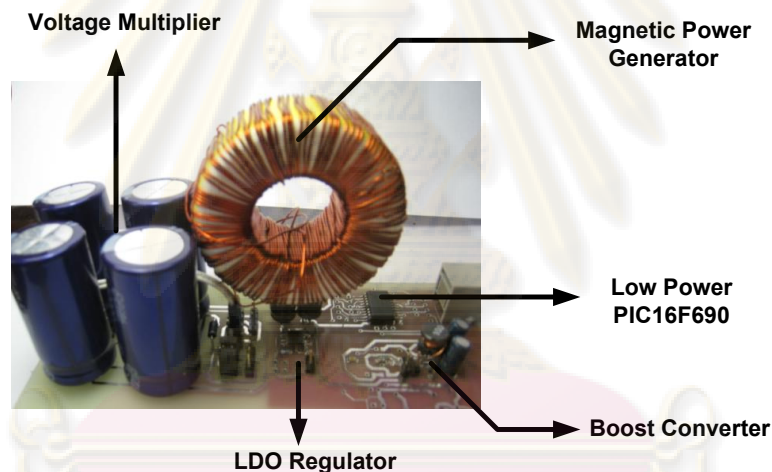
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลการทดสอบ

5.1. การทดสอบเครื่องเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ

เครื่องเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับแสดงดังรูปที่สร้างขึ้นโดยใช้แกนเฟอร์ไรท์ (Ferrite Core) รูปทรงทอรอยด์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน $a = 2.5$ cm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก $b = 4.5$ cm ความสูง $h = 2$ cm พันด้วยลวดทองแดงเบอร์ AWG22 จำนวน $N = 100$ รอบ แขนงค้ำรอบสายส่งไฟฟ้าที่มีกระแสไหลผ่านสายเป็นกระแสสลับรูปคลื่นไซน์ขนาดแอมพลิจูด I_p ในช่วง 65-130 A ความถี่ $f = 50$ Hz และได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ กับกระแสในสายส่งไฟฟ้างดแสดงในตารางที่ 5-1



รูปที่ 5-1 เครื่องเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ

ตารางที่ 5-1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเครื่องเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ

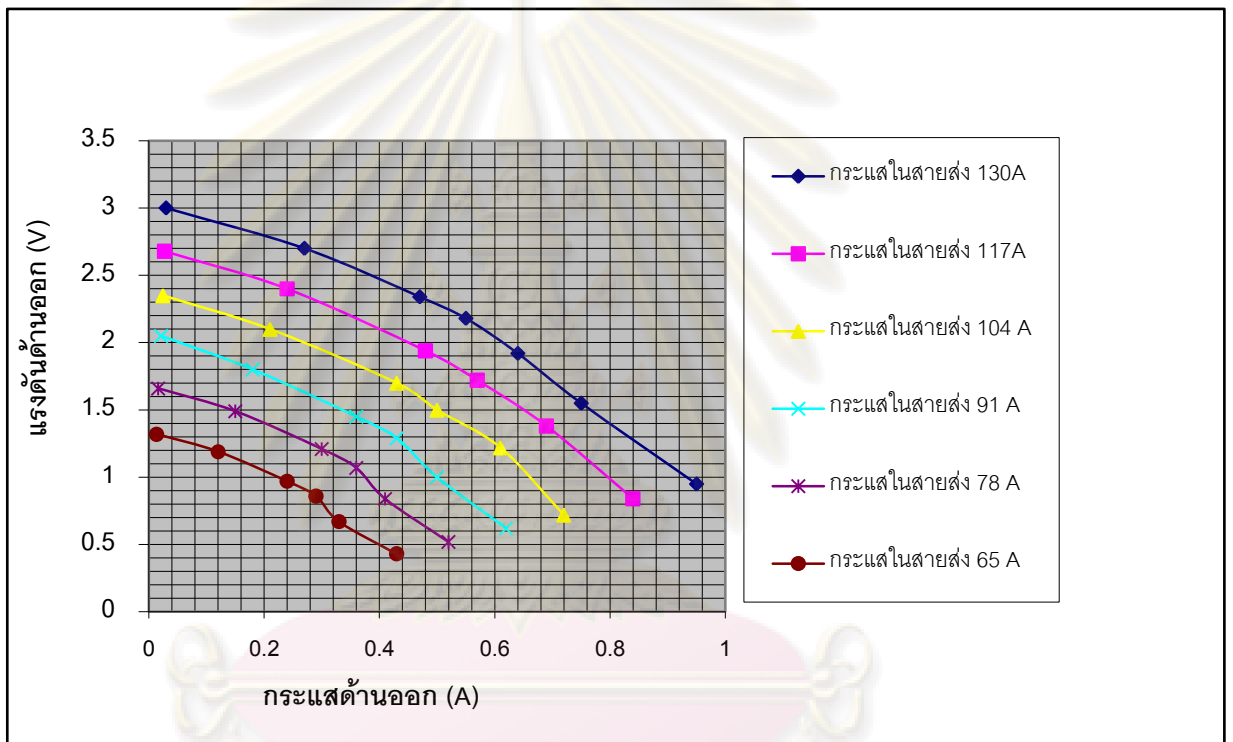
กระแสในสายส่ง(A)	โวลต์(ohm)	แรงดันด้านออก (V)	กระแสด้านออก (A)	กำลังด้านออก (W)
130	1	0.95	0.95	0.9025
130	2	1.55	0.75	1.1625
130	3	1.92	0.64	1.2288
130	4	2.18	0.55	1.199

130	5	2.34	0.47	1.0998
130	10	2.7	0.27	0.729
130	100	3	0.03	0.09
117	1	0.84	0.84	0.7056
117	2	1.38	0.69	0.9522
117	3	1.72	0.57	0.9804
117	4	1.94	0.48	0.9312
117	10	2.4	0.24	0.576
117	100	2.68	0.027	0.07236
104	1	0.72	0.72	0.5184
104	2	1.22	0.61	0.7442
104	3	1.5	0.5	0.75
104	4	1.7	0.43	0.731
104	10	2.1	0.21	0.441
104	100	2.35	0.024	0.0564
91	1	0.62	0.62	0.3844
91	2	1	0.5	0.5
91	3	1.29	0.43	0.5547
91	4	1.45	0.36	0.522
91	10	1.8	0.18	0.324
91	100	2.05	0.021	0.04305
78	1	0.52	0.52	0.2704
78	2	0.84	0.41	0.3444
78	3	1.07	0.36	0.3852
78	4	1.21	0.3	0.363
78	10	1.49	0.15	0.2235
78	100	1.66	0.016	0.02656
65	1	0.43	0.43	0.1849
65	2	0.67	0.33	0.2211
65	3	0.86	0.29	0.2494

65	4	0.97	0.24	0.2328
65	10	1.19	0.12	0.1428
65	100	1.32	0.013	0.01716

จากตารางที่ 5-1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ กับกระแสในสายส่งไฟฟ้าสามารถแสดงได้ดังแสดงในรูปที่ 5-2

ค่าอิมพีแดนซ์ด้านออกของเครื่องเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้านี้คำนวณได้เป็น 2.75 โอห์ม



รูปที่ 5-2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันด้านออกกับกระแสด้านออกของเครื่องเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันด้านออกกับกำลังไฟฟ้าด้านออกที่กระแสในสายส่ง

ค่าต่างๆ ถูกแสดงไว้ดัง รูปที่ 5-2 โดยแรงดันด้านออกในสภาวะไร้อโหลดจะมีค่าสูงสุดที่

$\frac{\mu\omega h N_s \ln\left(\frac{b}{a}\right) I_p}{2\pi}$ และลดลงเมื่อจ่ายกระแสออก ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ (5-1)

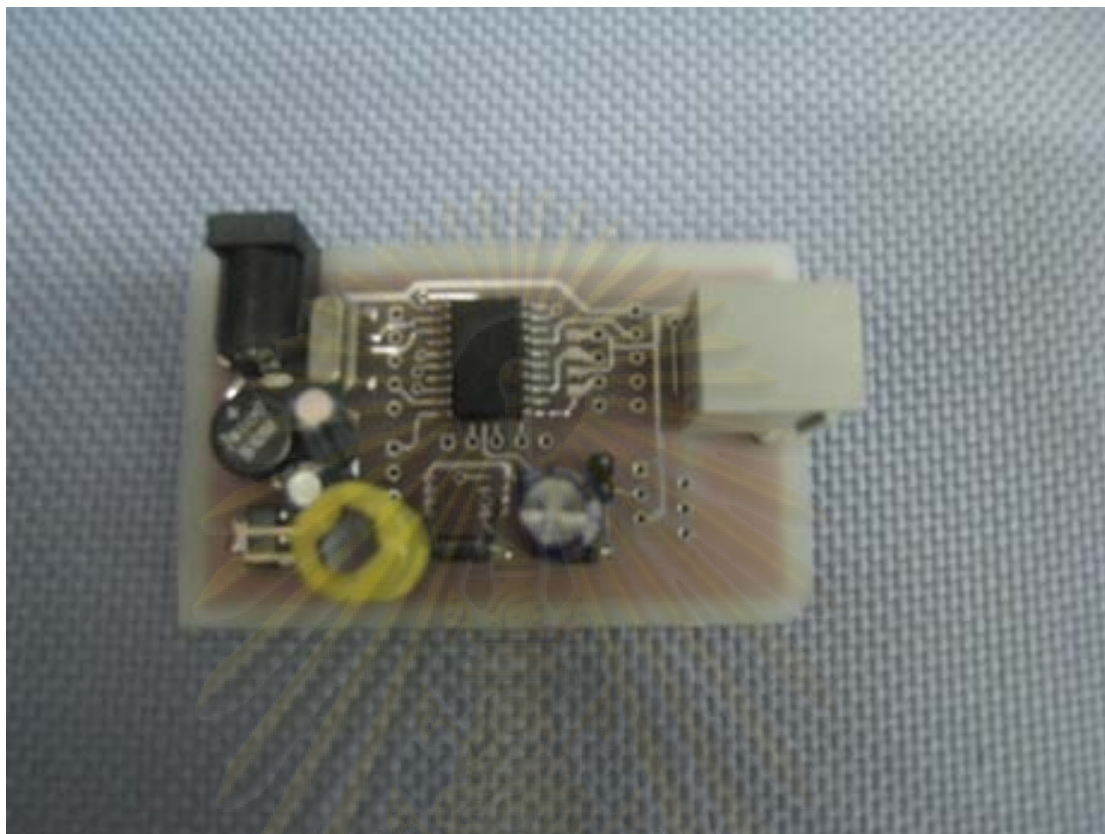
$$V_{in} = -\frac{\mu\omega N_s h \ln\left(\frac{b}{a}\right)}{2\pi} (I_p - N_s I_s) \cos(\omega t) \quad (5-1)$$

5.2. การทดสอบวงจรเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ

วงจรเหนี่ยวนำพลังงานจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับที่สร้างขึ้นแสดงดังรูปที่ 5-3 ทดสอบการทำงานโดยต่อวงจรกับเครื่องเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้าที่สร้างขึ้น เริ่มต้นทดสอบโดยเปลี่ยนค่าตัวจุกจกรงาน 5 ค่า ต่อค่ากระแสในสายส่ง 1 ค่า และเปลี่ยนค่ากระแสในสายส่ง 6 ค่า ในช่วงตั้งแต่ 50 – 100 A และวัดกำลังไฟฟ้าด้านออกโดยใช้มัลติมิเตอร์วัดกระแสด้านออก แล้วคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ถ่ายโอนไปยังแบตเตอรี่ ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 5-2



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5-3 วงจรเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ

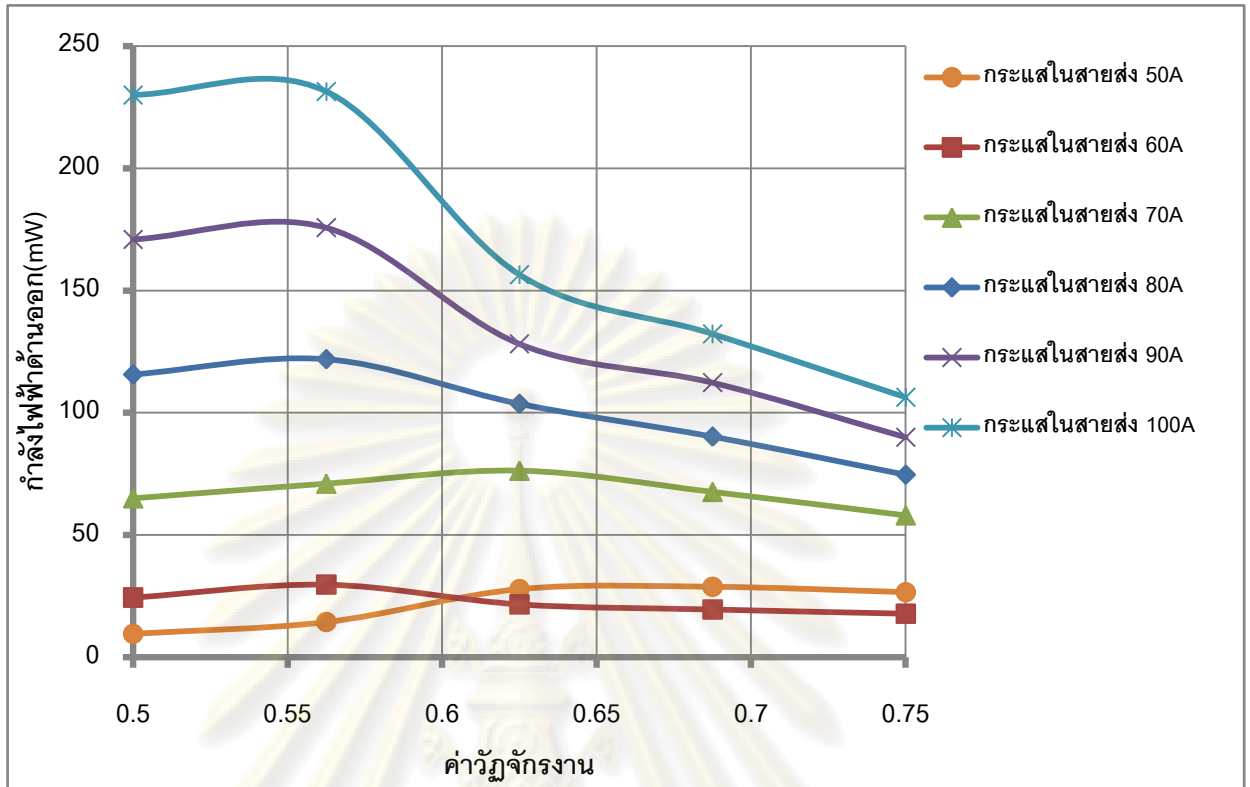
ตารางที่ 5-2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของวงจรเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ

กระแสในสายส่ง(A)	ค่าวัฏจักรงาน	กระแสด้านออก(mA)	กำลังไฟฟ้า(mW)
50	0.5	11.6	27.84
60	0.5	21.7	52.08
70	0.5	31.8	76.32
80	0.5	43.2	103.68
90	0.5	53.4	128.16
100	0.5	65.2	156.48
50	0.5625	6	14.4
60	0.5625	12.4	29.76
70	0.5625	29.6	71.04
80	0.5625	50.8	121.92
90	0.5625	73.2	175.68

100	0.5625	96.4	231.36
50	0.625	11.6	27.84
60	0.625	21.7	52.08
70	0.625	31.8	76.32
80	0.625	43.2	103.68
90	0.625	53.4	128.16
100	0.625	65.2	156.48
50	0.6875	12	28.8
60	0.6875	19.6	47.04
70	0.6875	28.2	67.68
80	0.6875	37.6	90.24
90	0.6875	46.8	112.32
100	0.6875	55.1	132.24
50	0.75	11.1	26.64
60	0.75	17.9	42.96
70	0.75	24.2	58.08
80	0.75	31.1	74.64
90	0.75	37.5	90
100	0.75	44.3	106.32

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัฏจักรงานกับกำลังไฟฟ้าด้านออกสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5-4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



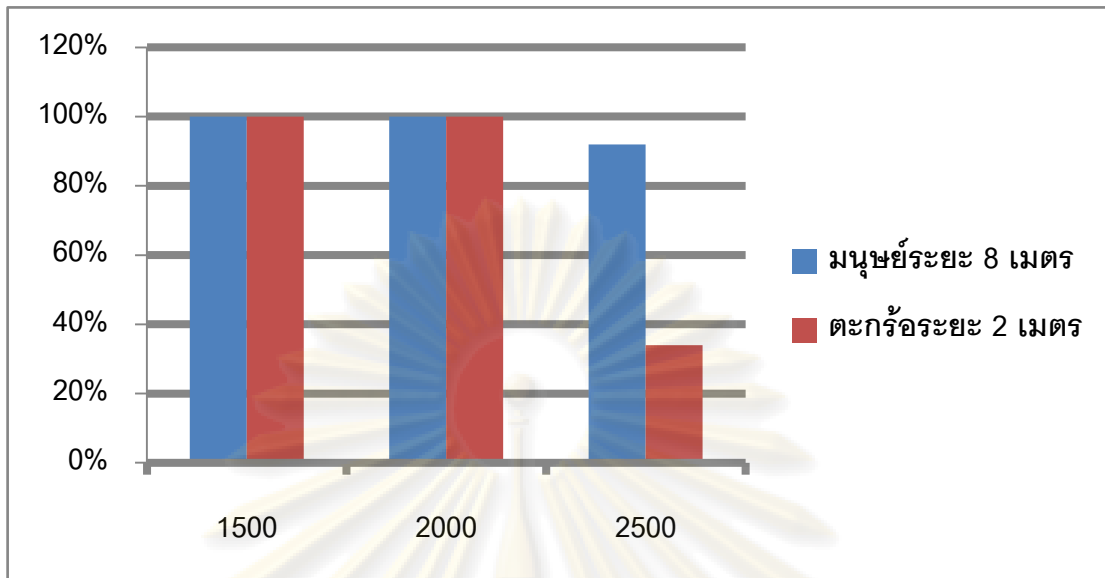
รูปที่ 5-4 ความสัมพันธ์ระหว่างวัฏจักรงานกับกำลังไฟฟ้าด้านออกที่กระแสในสายส่งช่วง 50 – 100 A

จากผลการทดลองจะเห็นว่าแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าด้านออกกับค่าวัฏจักรงานมีค่าใกล้เคียงกับค่าในทางทฤษฎี

5.3. การทดสอบการตรวจจับการเคลื่อนไหวของวัตถุ

ทดสอบโปรแกรมตรวจจับการเคลื่อนไหวของวัตถุด้วยการใช้วัตถุ 3 ประเภท ได้แก่ มนุษย์ที่เคลื่อนไหว ความสูง 175 เซนติเมตร ลูกบอลที่เคลื่อนไหวขนาด 15 เซนติเมตร และ ลูกปิงปองเคลื่อนไหวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.25 เซนติเมตร โดยจัดให้วัตถุแต่ละประเภท เคลื่อนไหวที่ระยะต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ 1 – 8 เมตร หลังจากนั้นเปลี่ยนค่าขีดแบ่ง threshold ต่าง ๆ กัน อย่างละ 4 ค่า

เนื่องจากที่ระยะทาง 8 เมตรการตรวจจับมนุษย์เมื่อปรับค่าขีดแบ่ง threshold เป็น 2500 จะเกิดความผิดพลาดในการตรวจจับการเคลื่อนไหวขึ้น จึง ออกแบบการทดลองเพื่อ ทดสอบผลของค่าขีดแบ่ง threshold ในการตรวจจับมนุษย์ที่ระยะ 8 เมตรโดยทำการทดลองซ้ำ 50 ครั้งต่อค่าขีดแบ่ง threshold 3 ค่า ได้แก่ 1500 2000 และ 2500 ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่



รูปที่ 5-5 แผนภูมิการตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ที่ระยะ 8 เมตร และลูกตะแกรงที่ระยะ 2 เมตร ที่ค่าขีดแบ่ง threshold เป็น 1500, 2000 และ 2500 ตามลำดับ

จากรูปจะเห็นว่าหากปรับการค่าขีดแบ่ง threshold สูงกว่า 2500 ขึ้นไปจะทำให้ความผิดพลาดในการตรวจจับมนุษย์ที่ระยะ 8 เมตรเพิ่มขึ้นมากกว่า 8% และการปรับค่าขีดแบ่ง threshold ที่ต่ำกว่า 2000 จะทำให้ความผิดพลาดในการแยกแยะมนุษย์ที่มีขนาดใหญ่กับลูกตะแกรงที่ระยะ 2 เมตรเพิ่มขึ้นจาก 34% เป็น 100 %

เพื่อศึกษาผลของค่าขีดแบ่ง noise level จึงทดลองปรับค่าขีดแบ่ง noise level เป็น 64 ซึ่งให้ผลเช่นเดิม จึงสรุปได้ว่าการเปลี่ยนค่าขีดแบ่ง noise level ในช่วง 32 – 64 ไม่ทำให้การแยกแยะการเคลื่อนไหวเปลี่ยนแปลง ดังนั้นการใช้กล้องวิดีโอทัศนความละเอียด 640 x 480 ร่วมกับขั้นตอนวิธีตรวจจับการเคลื่อนไหวมีความสามารถในการตรวจจับการเคลื่อนไหวได้จริง แต่ไม่สามารถตรวจจับมนุษย์ที่ระยะมากกว่า 8 เมตรได้อย่างแม่นยำ และไม่สามารถแยกแยะวัตถุที่อยู่ในระยะใกล้ได้ ดังนั้นผู้ใช้ควรปรับค่าขีดแบ่ง threshold ในช่วง 2000-2500 เพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างถูกต้อง

เพื่อศึกษาการใช้งานในกรณีที่ไม่มีแสงสว่าง จึงทดลองใช้กล้องวิดีโอทัศนปกติในสถานที่ที่ไม่มีแสงสว่างอยู่เลย ได้ผลว่าระบบไม่สามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวได้ หากใช้กล้องวิดีโอที่ปรับแต่งร่วมกับอินฟราเรดจะสามารถตรวจจับวัตถุได้ในระยะ 1 เมตร แต่ไม่สามารถตรวจจับวัตถุที่ระยะไกลกว่า 1 เมตรได้ซึ่งเป็นผลมาจากความสว่างของหลอดอินฟราเรด อย่างไรก็ตาม

ตามการเพิ่มความสว่างของหลอดอินฟราเรดจะทำให้กำลังไฟฟ้าที่ใช้กับระบบจะเพิ่มสูงขึ้นทำให้ระบบเปิดตัวเองได้น้อยลง

ถึงแม้ว่าการใช้งานระบบวีดิทัศน์ใฝาระวังไร้สายที่ระยะไกลกว่า 8 เมตรนั้นจะมีความผิดพลาด ระบบวีดิทัศน์นี้สามารถที่จะทำงานในระยะต่ำกว่า 8 เมตรได้เป็นอย่างดีและเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในการใฝาระวังภายในอาคารได้

5.4. การใช้พลังงานของระบบวีดิทัศน์ใฝาระวังไร้สายที่ใช้การสื่อสารทางจีพีอาร์เอส

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้งานระบบวีดิทัศน์ใฝาระวังไร้สายที่ใช้การสื่อสารทางจีพีอาร์เอส จึงคำนวณหาค่าพลังงานที่ใช้ของระบบวีดิทัศน์ใฝาระวังไร้สาย โดยใช้ข้อมูลจากเอกสารการใช้งานของอุปกรณ์แต่ละตัว ในสภาวะการทำงานต่างๆ กัน ได้ผลการคำนวณดังตารางที่

ตารางที่ 5-3 การใช้พลังงานของระบบวีดิทัศน์ใฝาระวังไร้สายที่ใช้การสื่อสารทางจีพีอาร์เอสเมื่ออุปกรณ์ทุกตัวทำงาน

อุปกรณ์	พลังงานที่ใช้(mW)
ไมโครคอนโทรเลอร์ PIC16F690[7]	20
ไมโครคอนโทรเลอร์ AT91RM9200[8]	45
หน่วยความจำ SDRAM[9]	600
หน่วยความจำแบบแฟลช Flash	50
ชุดติดต่อสื่อสารจีพีอาร์เอส[10]	1500
กล่องวีดิทัศน์เชิงเลข(USB)	300
รวม	2415

ตารางที่ 5-4 การใช้พลังงานของระบบวีดิทัศน์ใฝาระวังไร้สายที่ใช้การสื่อสารทางจีพีอาร์เอสเมื่ออุปกรณ์ในส่วนระบบใฝาระวังหลัก

อุปกรณ์	พลังงานที่ใช้(mW)
ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F690	20
ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT91RM9200	45
หน่วยความจำ SDRAM (หลัก)	130
หน่วยความจำแบบแฟลช Flash	50
ชุดติดต่อสื่อสารจีพีอาร์เอส(หลัก)	165
กล่องวีดิทัศน์เชิงเลข	300
รวม	700

ตารางที่ 5-5 การใช้พลังงานของระบบวีดิทัศน์เฝ้าระวังไร้สายที่ใช้การสื่อสารทางจีพีอาร์เอสเมื่อปิดการใช้งานชุดสื่อสารจีพีอาร์เอสและกล่องวีดิทัศน์เชิงเลข

อุปกรณ์	พลังงานที่ใช้(mW)
ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F690	20
ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT91RM9200	45
หน่วยความจำ SDRAM (หลัก)	130
หน่วยความจำแบบแฟลช Flash (หลัก)	10
ชุดติดต่อสื่อสารจีพีอาร์เอส (ปิด)	0
กล่องวีดิทัศน์เชิงเลข (ปิด)	0
รวม	205

จากตารางที่ 5-3 จะเห็นได้ว่าระบบไม่สามารถทำงานด้วยพลังงานจากการเหนี่ยวนำอย่างเดียวได้ เมื่ออุปกรณ์ทุกตัวทำงาน เพราะพลังงานที่เหนี่ยวนำได้สูงสุดเป็น 231.36 mW ที่กระแสในสายส่ง 100 A ซึ่งน้อยกว่า 2415 mW ระบบจะทำงานได้โดยการปิดระบบ และเปิดระบบในสัดส่วน 11:1 ซึ่งทำให้การทำงานไม่มีประสิทธิภาพ

จากตารางที่ 5-4 จะเห็นว่าแม้ว่าจะให้อุปกรณ์ทุกตัวยกเว้นอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับวงจรเก็บพลังงานจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับหลักพลังงานที่ใช้ยังอยู่ที่ 700 mW ซึ่งมากกว่า 231.36 ระบบจึงไม่สามารถทำงานได้โดยใช้พลังงานจากการเหนี่ยวนำอย่างเดียว

จากตารางที่ 5-5 ระบบจะทำงานได้ตลอดโดยการปิดกล่องวีดิทัศน์ และชุดสื่อสารจีพีอาร์เอส เท่านั้นเพราะใช้พลังงานอยู่ที่ 205 mW ซึ่งน้อยกว่า 231.36 mW แต่ต้องใช้ระบบอินฟราเรดเพิ่มเติมเพื่อตรวจจับการเคลื่อนไหวแทนกล่องวีดิทัศน์ และเปิดกล่องเพื่อจับภาพเมื่อตรวจพบการเคลื่อนไหว

5.5. การทดสอบต้นแบบระบบวีดิทัศน์เฝ้าระวังไร้สายที่ใช้การสื่อสารทางจีพีอาร์เอส

ระบบวีดิทัศน์เฝ้าระวังที่ใช้การสื่อสารทางจีพีอาร์เอสที่สร้างขึ้นแสดงดังรูปที่ 5-6 ทดสอบการทำงานของระบบโดยตั้งให้ส่งสัญญาณภาพมายังเครื่องแม่ข่าย ได้ผลการส่งสัญญาณดังรูปที่ 5-7 ความเร็วในการส่งสัญญาณภาพอยู่ที่อัตรา 10 ภาพต่ออนาที



รูปที่ 5-6 ระบบวีดิทัศน์เฝ้าระวังไร้สายที่ใช้การสื่อสารทางจีพีอาร์เอส



รูปที่ 5-7 ตัวอย่างภาพที่รับมาจากระบบวิดีโอที่ส่งผ่านใยแก้วนำแสง



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1. ข้อสรุป

ระบบวีดิทัศน์ใฝ่ระวางไร้สายที่ใช้การสื่อสารทางจีพีอาร์เอสสามารถส่งสัญญาณภาพเมื่อมีการเคลื่อนไหวเกิดขึ้นในบริเวณที่ใฝ่ระวางได้อย่างถูกต้องในอัตราความผิดพลาด 5.26 % โดยค่าความผิดพลาดจะเพิ่มขึ้นเมื่อวัตถุเข้าใกล้กับกล้องวีดิทัศน์ และส่งสัญญาณภาพที่อัตรา 10 ภาพต่อวินาที

ใช้วงจรตรวจจับการเคลื่อนไหวแบบอินฟราเรดซึ่งใช้พลังงานต่ำ เพื่อตรวจจับการเคลื่อนไหวแทนกล้องวีดิทัศน์เมื่อเกิดการเคลื่อนไหวขึ้นจึงเปิดกล้องวีดิทัศน์เพื่อจับภาพ จะทำให้ระบบทั้งหมดทำงานได้ด้วยพลังงานจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับอย่างเดียว

วงจรเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับสามารถเก็บกำลังไฟฟ้าสูงสุด 28.8 mW ที่กระแสในสายส่งไฟฟ้า 50 A และ 231.36 mW ที่กระแสในสายส่งไฟฟ้า 100 A

ระบบวีดิทัศน์ใฝ่ระวางไร้สายที่ใช้การสื่อสารทางจีพีอาร์เอสไม่สามารถทำงานแบบเวลาจริง (Real-time) เนื่องจากข้อจำกัดจากกำลังไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำได้จากวงจรเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ

กำลังไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำจากเครื่องเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้ามีค่ามากกว่ากำลังไฟฟ้าในกรณีไหลลดความต้านทานมีค่ามากกว่ากำลังที่ถ่ายโอนไปยังแบตเตอรี่ผ่านวงจรเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้า ซึ่งเกิดจากกำลังไฟฟ้าถูกถ่ายโอนไปเฉพาะเวลาที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากเครื่องเหนี่ยวนำสูงกว่าแรงดันในตัวเก็บประจุ

6.2. ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาาระบบวีดิทัศน์ใฝ่ระวางควรมีขนาดเล็กและมีการใช้กำลังไฟฟ้าต่ำ เพื่อให้การทำงานของระบบเป็นแบบเวลาจริง (Real-time)

การพัฒนาวงจรเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้าอาจใช้วงจรทระดับอย่างเดียวที่มีการควบคุมซับซ้อนขึ้น เพื่อลดความสูญเสีย

เครื่องเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้าที่สร้างควรจะใช้วัสดุที่มีค่าสภาพการยอมทางแม่เหล็กสูง เพื่อให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำได้มีค่าสูงขึ้น และเพื่อลดความซับซ้อนของวงจรเหนี่ยวนำกำลังไฟฟ้า

โปรแกรมตรวจจับการเคลื่อนไหวของวัตถุที่ใช้ควรจะสามารถในการปรับแต่งค่าต่าง ๆ ไปตามสภาพการใช้งานอย่างเหมาะสม โดยการเรียนรู้ด้วยตัวเอง (Machine Learning)



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1] Cheng, David K. *Field and Wave Electromagnetics*. Singapore: Addison Wesley, 1989.
- [2] Hallinan, Christopher. *Embedded Linux Primer: A Practical Real-World Approach*: Prentice Hall PTR, 2006.
- [3] Jones, M. Tim. *Anatomy of the Linux file system*. [Online] Available from: <http://www.ibm.com/developerworks/linux/library/l-linux-filesystem/> [2008,Oct,30].
- [4] Maksimovic, Robert W. Erickson and Dragan. *Fundamentals of Power Electronics*: Springer, 2001.
- [5] Ned Mohan, Tore M. Undeland, and William P. Robbins. *Power Electronics: Converters, Applications, and Design*: Wiley, 2002.
- [6] Stones, Neil Matthew and Richard. *Beginning Linux Programming*: Wrox, 2007.
- [7] Microchip Technology Inc. PIC16F631/677/685/687/689/690 Datasheet. [Online] 2006. Available from: <http://www.microchip.com>, [2009,Mar,30]
- [8] ATMEL. ARM920T-based Microcontroller AT91RM9200. [Online] 2006, Available from: <http://www.atmel.com>, [2009,Mar,30]
- [9] Micron. Synchronous DRAM MT48LC16M4A2 - 4Meg x 4 x 4 banks [Online] 2008. Available from: <http://www.micron.com>, [2009,Mar,30]
- [10] Fargo Telecom. Fargo Maestro100 GSM GPRS Modem 900/1800 User Manual [Online] 2003, Available from: <http://www.rfsolutions.co.uk>, [2009,Mar,30]

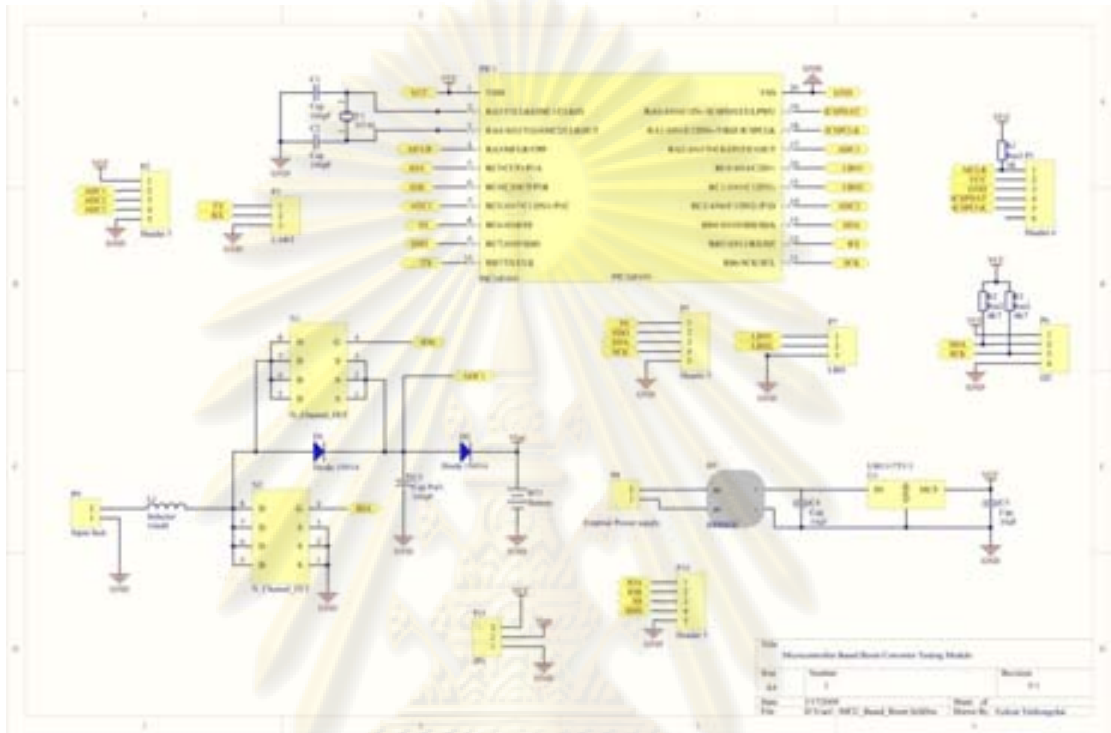
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



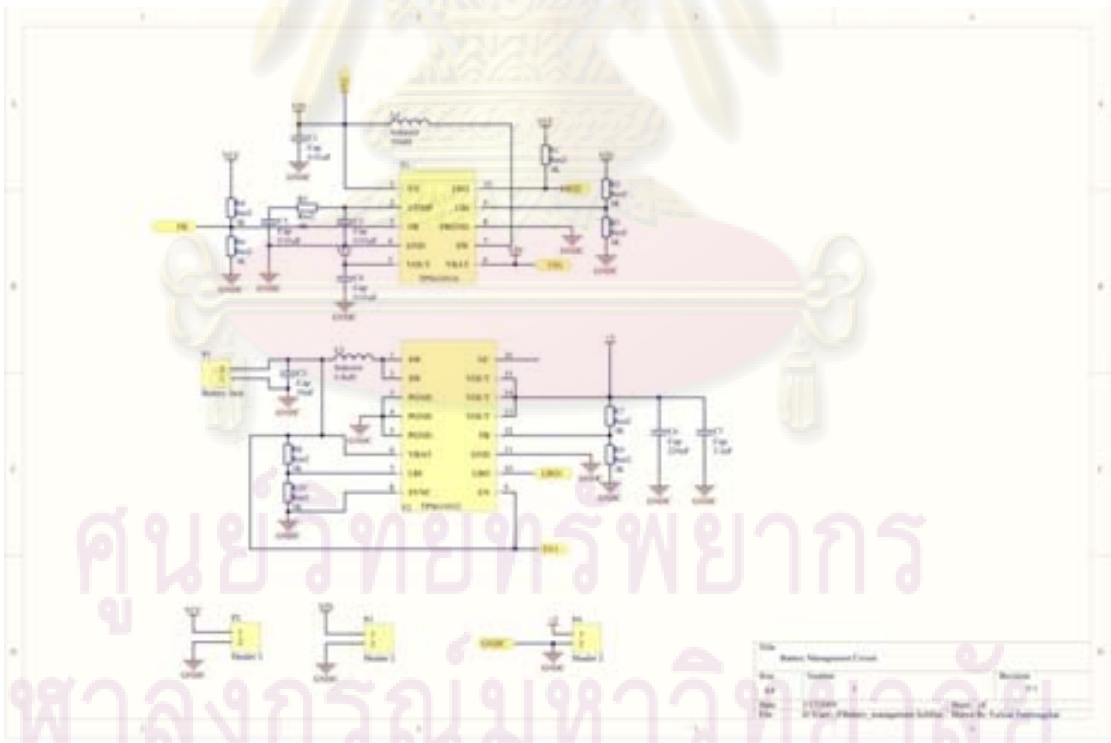
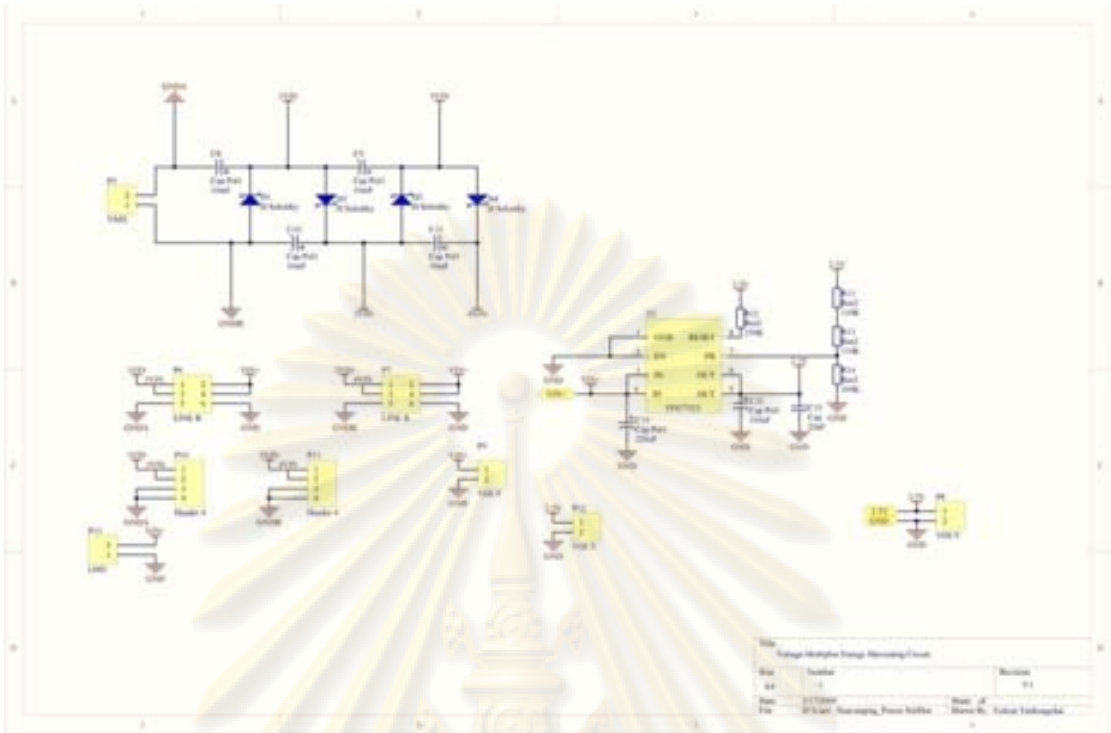
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วงจรที่ออกแบบในวิทยานิพนธ์



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการ ICESIT2009

A Wireless Video Surveillance using GPRS and powered by harvested electromagnetic field

Torkiat Taithongchai¹ and Ekachai Leelarasmee²
 Electrical Engineering Department, Chulalongkorn University
 459 Phaya-thai Road Patumwan, Bangkok 10330 Thailand
 Email: ¹arthur_xg_196@hotmail.com, ²ekachai.l@chula.ac.th

Abstract- A Linux-embedded video surveillance system using electromagnetic harvested energy and GPRS communication is described. The system consists mainly of an energy harvesting circuit, a battery management module, a USB digital camera and a Linux-embedded ARM9-based central processing unit (CPU) and a GPRS module. The energy harvesting circuit and battery management module harvest the power from the electromagnetic field to energize ARM9 CPU, GPRS module and digital camera. The ARM9 CPU use Linux operating system and an open-source motion detecting software which applies image abstraction technique for motion detection. The GPRS module is used to transmit images to the destined server and send alarming SMS to mobile phones. The implemented system is able to operate with stored electromagnetic harvested energy, transmit only motion events to the server via ftp and send both email and alarming SMS to mobile phone by using GPRS services.

Index Terms – Energy harvesting circuit, GPRS application, Video surveillance, Motion detection algorithm, Linux embedded system, Video processing unit.

I. INTRODUCTION

Recently, there was a news about electricity post plundering and the bomb attack at south province area of Thailand. These problems posed several challenge to Thai's government and the utility provider EGAT, which lost millions baht to repair and maintain the power system. Therefore, EGAT initiated the development of a video surveillance system to solve these problems. The system must be attached to the HV transmission line to make it unreachable to saboteur, and it must operate without maintenance for several years. As a result, we design a wireless video surveillance using GPRS and powered by harvested electromagnetic field generated by current in the HV transmission line. This harvested energy is used for energizing the GPRS video surveillance system and detecting a motion around electricity post for monitoring crime activities.

This paper described the development of Linux-embedded video surveillance system using electromagnetic harvested energy and GPRS communication as shown in Fig.1. The system consists of two main parts which are microcontroller based adaptive energy harvesting (MBAEH) and Linux embedded GPRS video surveillance system (LGVSS). MBAEH is designed to harvest energy from electromagnetic field from HV transmission line and charge it to a battery to be used in LGVSS which will alert suspicious activities around HV tower when it detects motion in the area by sending alarming SMS, warning e-mail and suspicious motion image to the destination server by using GPRS services

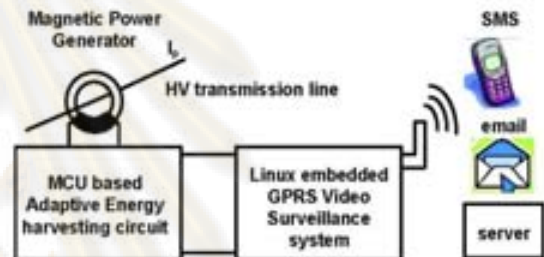


Fig.1 Linux-embedded video surveillance system using microcontroller based electromagnetic harvested energy and GPRS communication

Fig.2 An adaptive electromagnetic energy harvesting circuit

II. MICROCONTROLLER BASED ADAPTIVE ENERGY HARVESTING CIRCUIT

The microcontroller-based energy harvesting circuit designed to maximize power to charge a 2.4V 2 cell NiMH battery is shown in Fig.2 it comprises of a electromagnetic power generator for generating voltage from HV transmission line, a 4 stage voltage multiplier for converting low voltage AC output from the electromagnetic power generator, to higher DC voltage level, a microcontroller based boost converter for adjusting voltage to optimally charge a battery a LDO regulator to supply a regulated 2.5V to a PIC16F690 microcontroller which generates a pulse width modulation(PWM) to control the duty cycle of the boost converter to maximize output energy charging a battery. A detailed explanation of each component will be described in the following section.

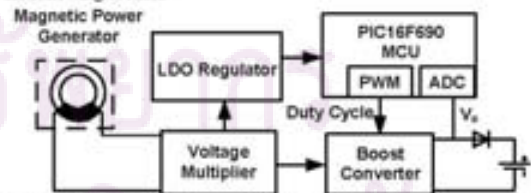


Fig.2 a block diagram of microcontroller based adaptive energy harvesting circuit.

A simplified schematic of magnetic power generator is shown in Fig.3. It consists of a circular iron core wound by 100 turn coil with outer radius of 5 cm, inner radius of 3cm and thickness of 5 cm and adaptive energy harvesting circuit. Although an analysis of the circuit can be made, we prefer to show the simulation result for two different I_p as shown in Fig.4.

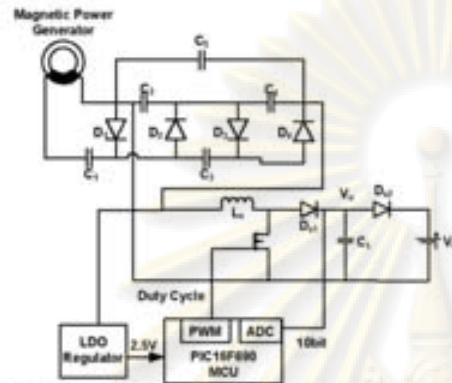


Fig.3. a simplified schematic of full energy harvesting circuit

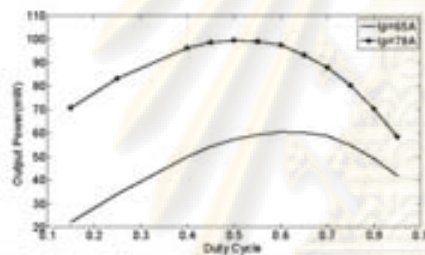


Fig.4 Relationship between battery output and switching duty cycle

Fig.4 shows that there are many optimal duty cycles which maximize output energy to charge a battery, depends on the current I_p in the transmission line, so we use a microcontroller to achieve maximum power transfer by adjusting boost converter duty cycle.

III. MICROCONTROLLER CONTROLLED ENERGY HARVESTING ALGORITHM

To adjust the duty cycle and achieve maximum power transfer to a battery, we use a low power 8-bit PIC16F690 microcontroller powered by LDO 2.5 V regulators which consume very small power. We use 10 bit PWM module in the MCU to adjust duty cycle using adaptive algorithm shown in Fig.5, which can be explained as follows. First of all, the MCU

assign the initial duty cycle of the boost converter to be 0.5 and measure output voltage (V_b) by using 10-bit ADC inside the controller. Then MCU increases the duty cycle of the converter and measures V_b again. It then compares the new data with the previous one. If the voltage is higher it will increase the duty cycle further. Otherwise it will decrease the duty cycle. This process continues until the setting threshold of 0.1 V is reached. With this algorithm, we are able to charge a maximum power of 58 mW to 4 cell 2.4V NiMH battery at 65A in the transmission line for energizing Linux embedded GPRS video surveillance system.

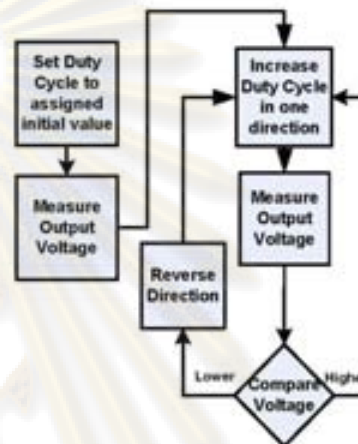


Fig.5. Simplified flow chart of adaptive duty cycle adjustment algorithm

IV. LINUX EMBEDDED GPRS VIDEO SURVEILLANCE SYSTEM

Linux Embedded GPRS video surveillance system(LGVSS) is shown in Fig.6 It consists of GPRS module, ARM9 Linux embedded system, USB digital camera and Battery management unit, 1GB compact flash card (CF), 64MB SDRAM, 8MB Flash memory and RS-232 Port. The system is designed to use power from the battery to supply to all units in the system. The operation of the system can be described as follows. Firstly, ARM9 Linux embedded system wakes up and initializes GPRS module and USB digital camera. After all components are ready, it will start motion detecting software. If the motion occur it will invoke GPRS service to send SMS, e-mail and images to cell phones or a server. When battery is low ARM9 will go to its standby routine to save its power, and wake up again when enough power is available.

ศูนย์วิทยุโทรพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

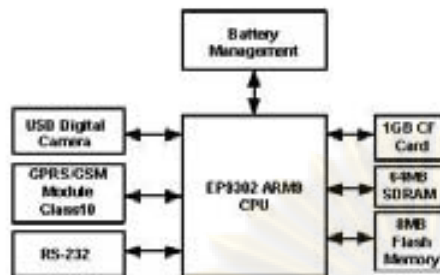


Fig 6. Linux embedded GPRS video surveillance system (LOVSS) hardware architecture

We manage Linux operating system and its software package as follows. Firstly we store boot-loader inside 2 MB flash memory and create 128 MB Linux swap space and 296 MB Ext2 file system inside CF card, then we cross compile the kernel version 2.6.9.a12 to support our peripheral device and add `gpio_ko` which is a USB digital camera driver to support our USB digital camera kernel driver module and other software such as Motion[2], `lib_World`, GPRS API to use for GPRS communication and motion detection. Finally we copy all of these into the CF and run the system on ARM9. After successfully boot the system. System administrators and developers are able to configure the system by accessing it through Ethernet LAN port to modify specific configuration file such as GPRS communication and motion detection and read data such as phonebook from SIM card and images from the CF. Finally, an Amadillo9 board system architecture is shown Fig 7.

A. Motion detection algorithm

To detect motion in suspicious area, we used Logitech quickcam which has 640*480 pixels resolution and maximum frame rate of 30 fps to be an image sensor and Motion detection software process sequence. When the sensor sends image via USB channel to our ARM9 CPU, motion software will receive and process the image sequence and determine whether the motion actually takes place. If this is the case, Motion detection software will call GPRS API to send the image and alerting message and e-mail to assigned destination.

To detect motion, we apply reference frame subtraction technique using Motion[2] which can be described in Fig 3 as follows. Firstly, Motion detection software detects the movement in the frame by subtracting chrominance of each pixel in current frame with the reference frame which is updated by the following equation.

$$R_{P_n} = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{n} R_{P_i} \quad (1)$$

Where R_{P_i} is reference frame i and R_{P_n} is current frame reference.

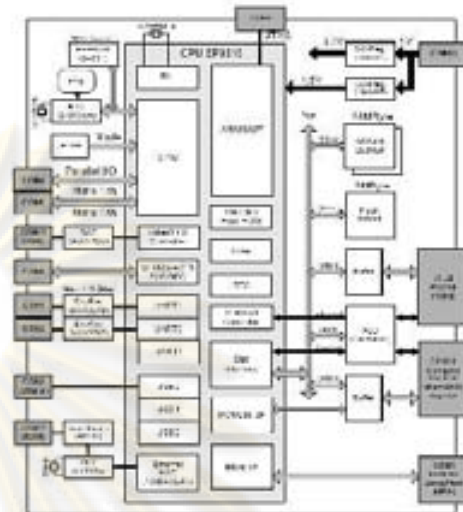


Fig 7. Amadillo9 board system architecture

Then, Motion detection software will compute difference of the two frames pixel by pixel. Then it counts the numbers of pixels whose difference is higher than a setting threshold. If the counted value is higher than setting number (1500 pixel) in our case, it will indicate detection and store the suspicious image into the memory in CF. After storing the image, it will call GPRS API to send alerting SMS and e-mail or invoking FTP to send the image to the designated server. Otherwise it will continue capturing image to detect a new motion.

To eliminate noise and false positive detection, the setting threshold can be adjusted to cancel events that can interfere the system such as wind and light. In addition the software can be adjusted to consider only the area by filtering out the area that we do not interest in. This can reduce computational complexity, save CPU time and power.

Finally, conventional ring buffer[3] is implemented to manage the image inside the CF card to avoid data conflict between GPRS API and motion detecting software.

B. GPRS services

In our design, we use GPRS/GSM class 10 Fargo/Mestro 100 module which used serial AT command for servicing GPRS communication. To allow motion and user software to interact with GPRS easily, we develop GPRS API which provides interface for software to use GPRS services such as initializing GPRS module, checking module status, managing SIM card memory sending SMS, E-mail, connecting to the internet and transferring image via file transfer protocol(FTP).

ศูนย์วิทยุโทรพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

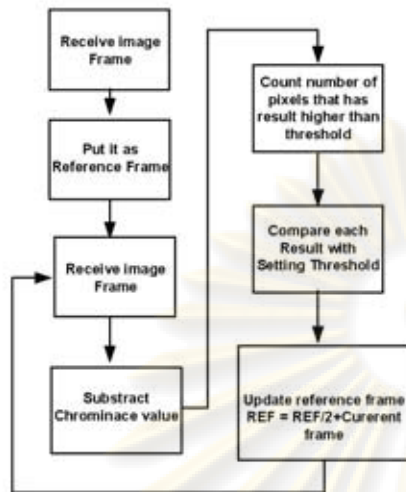


Fig.8.A simplified motion algorithm flow chart

For GPRS module initialization, GPRS API first check USB to Serial status. If it is not present it will attach the kernel driver module and set the communication speed to 115.2kbps, When it succeed, GPRS API will send specific AT command via USB to Serial to GPRS module to check the status of the module such as SIM card availability and module status. Then it reads SIM card data such as phone book, Memory slot, etc. After initializing module and collecting data, GPRS module and SIM card are ready for communication

For transmitting SMS, GPRS API retrieves phone book information from the SIM card and acquires SMS message from CF card. Then it send specific AT command to send this message to all destination that is stored inside the phone book of the SIM card

For sending email, GPRS API acquires both message and destination inside CF card and submit specific AT command to send message to all designated destinations

For sending image stored by Motion detection software the GPRS API first invoke software called Wvdial to send AT command to connect to the internet. After it receives IP address, it will get the image from the CF memory, invoke ftp[] and send jpeg image to the destination server. At server side, administrators are able to view the images by clicking on the image files or view them via web browser.

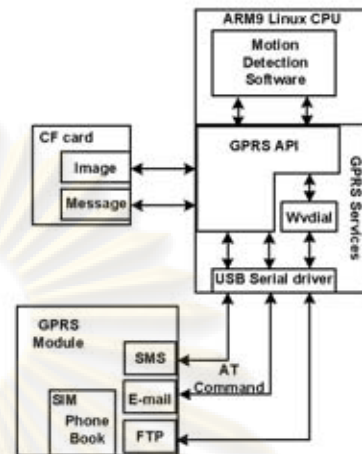


Fig.9. GPRS API Architecture

C. Power Consumption of the system

Power consumption of the system can be approximated by using the information from the device datasheet and can be summarized for only few main components as shown in Table.1

Table.1. Power consumption of main components in the full system

Device	Sleep mode	Active mode mW
PIC16F690(MCU)[4]	below 1 mW	20 mW
EP9312(ARM9)[5]	15 mW	500 mW
Fargo(GPRS)[6]	60 mW	1.5 mW
Camera(Logitech)[7]	-	500 mW

From Table.1, In active mode, the system consume approximately 2 W power obtained from a battery; However, since the energy harvesting circuit in section II can generate only 58mW at 65A the system need to save power by shutting down or putting some components in sleep mode. From Table.1, it is clearly that when we put EP9312 ARM9 processor in sleep mode, and shutting down Maestro 100 GPRS module and Logitech USB digital camera, the system will consume only 35 mW which is lower than the power generated by the adaptive energy harvesting module, therefore, the system can wait for battery to be charged and wake up the modules to operate again, when the battery is fully charged.

When battery is fully charged, it can operate for 10 hours; and is able to send around 30 suspicious images to server. On the contrary, when the system runs out of power from battery, it has to wait around 100 hours in standby mode to fully charge the battery again. However, in actual situation, only one suspicious image is transmitted. Therefore, the battery's charging time will be much shorter

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

D. Battery management Unit

To allow system to wake up and sleep effectively, we need to know about the battery status, hence we use TPS61032 Boost converter shown in Fig.10 to serve two main function. First it is used to convert 2.4V 2300mAh 4-cell NiMH battery to supply 5V 1A for energizing MCU, GPRS module and digital camera and it is also used for low battery detection. If a battery voltage drop below 2.2V, resistor divider R_1 , R_2 will cause LBI to drop below 0.5V. Therefore the comparator will turn LBO to low and interrupt ARM9 so that it will put their peripheral such as GPRS module, digital camera and itself into sleep mode. When in sleep mode, ARM9 will wait for LBO to turn high and wake up itself from sleep mode. After waking-up, ARM9 will wake the camera from its standby and begin capturing image and detecting motion again if motion occurs it will send image, SMS and e-mail by waking up GPRS module by using GPRS API.

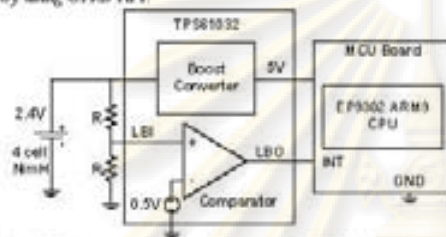


Fig.10 Battery management Unit using TPS61032 boost converter

V. INTEGRATED SYSTEM IMPLEMENTATION AND EXPERIMENTAL RESULT

A full integrated system include adaptive energy harvesting circuit and Linux-embedded GPRS video surveillance system is shown in Fig.11 the system is powered by the adaptive energy harvesting circuit at 58 mW when $I_p = 65A$ as shown in Fig.12. The bandwidth of GPRS communication is based on area that the system is attached. In our case we can connect at approximately 40kbp and the images capture by the system are shown in Fig.13.

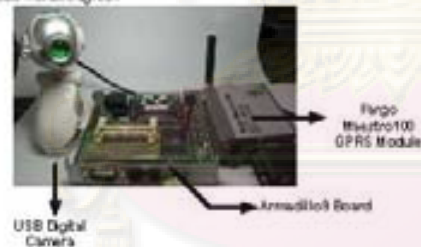


Fig.11 Implemented prototype Linux-embedded GPRS video surveillance system.

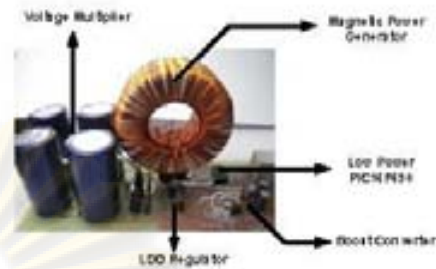


Fig.12 A developed adaptive Energy Harvesting module.



Fig.13. A sample image sent by the Linux-embedded GPRS video surveillance system via FTP using GPRS Communication

CONCLUSION

The Linux-embedded video surveillance system using electromagnetic harvested energy and GPRS communication is described and implemented in this paper, the adaptive energy harvesting circuit has been analyzed, implemented and tested. The circuit was able to transfer power of 58mW at 65A to the battery to provide to the circuit. The designed Linux-embedded video surveillance is able to capture the motion occur in our laboratory, and then send SMS, email and the suspicious image to the certain cell phone and server. The bandwidth of the internet connection of the system using our GPRS module is 40kbp in our implementation, which allows small image of 40KB to send to server in approximately 8 seconds. Although for the real system, the system has to be in sleep mode most of the time because power at 58mW at 65A is not able to sustain the system for real-time operation, which requires approximately 800mW with GPRS module in standby mode. However, The power that the system can harvested can be apply to another wireless application such as busbar current monitoring or temperature measurement which required much lower power effectively.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REFERENCES

- [1] Atmel® hardware manual v1.02, Atmel-Techno Inc February, 2005.
- [2] Motion Guide Basic Features. Available: www.larsen.dk/bw1/bin/view/Motion/Welcome
- [3] Operating System Concepts, Avi Siberschatz, Peter Barr Galvin and Greg Gagne, John Wiley & Sons, Inc.
- [4] PIC16F85-8K7-689-090 Data Sheet, Microchip Technology Inc 2005.
- [5] EP9312 Data Sheet, Cirrus logic 2005.
- [6] Fargo Maestro 100 GSM/GPRS modem 900/1800 user manual rev.00 Fargo telecom.
- [7] Logitech quickcam specification. Available: <http://www.logitech.com>



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการ ECTI2009

Adaptive Electromagnetic Energy Harvesting Circuit for Wireless Sensor Application

Torkiat Taithongchai¹ and Ekachai Leelarasamee²
 Electrical Engineering Department, Chulalongkorn University
 459 Phaya-thai Road/Patumwan, Bangkok 10330 Thailand
 Email: ¹torkiat_xg_196@hotmail.com, ²ekachai.l@chula.ac.th

Abstract-This paper presents a microcontroller controlled electromagnetic energy harvesting system suitable for harvesting energy from a single HV transmission line with current between 65A and 138A. The system comprises of magnetic power generator, standard voltage multiplier circuit, DC-DC boost converter and microcontroller. An adaptive algorithm has been applied to the microcontroller to adjust the duty cycle of the converter to achieve maximum output power. This enables the harvesting system to convert and store low voltage sinusoidal power induce from magnetic power generator into the battery for energizing various low power applications. The implemented system is able to operate with minimum sinusoidal induced voltage as low as 1V and can generate 58mW at 65 mA line current. Furthermore, simulation and experimental result as well as mathematical analysis are also included in this paper.

Index Terms – DC-DC converter circuit, energy harvesting circuit, electromagnetic power generator, wireless sensors, adaptive circuit, low power circuit design.

I. INTRODUCTION

Energy harvesting electronic devices have been utilized in several applications, such as environmental monitoring [1], smart sport shoes[2] and passive RFID[3]. Benefits for using energy harvesting circuit are that they extend a battery life so these devices can operate longer or even forever. There are many researches on energy harvesting circuit. These includes the renewable energy source such as solar cell [4], piezoelectric [5] and electromagnetic [7] as well as electronics circuit to manipulate these energy to store inside a storage elements effectively [6] [7].

Several researches were constructed to maximize power from renewable energy source. An Adaptive piezoelectric harvesting circuit was performed in [6]. This work showed that a piezoelectric system can be optimized using adaptive buck converters to maximize output power, and maximum power of 30.66 mW can be generated. Furthermore, vibration-power energy harvesting circuit were designed and implemented in [7]. The result indicated that the DC-DC converter circuit can be applied to improve power transfer from power generator to load, and the circuit can generate 35 mW power.

This paper reports analysis, design and implementation of an electromagnetic adaptive energy harvesting circuit shown in Fig.1. The circuit consists of a voltage multiplier, a DC-DC boost converter, a low power microcontroller to maximize energy from magnetic power generator and a 2.4 V battery for energy storing.

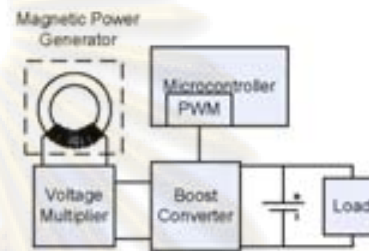


Fig.1 designed adaptive electromagnetic energy harvesting circuits

A goal of this circuit is to maximize energy to a load that cannot receive power directly from the line such as those in the HV substation and tower. A typical example is to monitor line current [8] or temperature at various bus bars for line fault or critical load monitoring. In this paper, each sub-circuit will be first analyzed by conventional circuit analysis using small ripple approximation in steady state and then simulated using Multisim9 as a circuit simulator. Finally, the circuit was implemented on printed circuit board (PCB) and achieved maximum power level of 58 mW when placed near the 65 A transmission line.

II. MAGNETIC POWER GENERATOR

A magnetic power generator is an iron core wound up with copper wire as shown in Fig.2. When current of a power transmission line passes through it, magnetic fields are generated. As these fields flow through the coil, a sinusoidal electromotive force is induced and thus electromagnetic power is converted into electrical power. To compute the actual power induced by the generator we first apply Ampere's law

$$\oint B \cdot dl = \mu I \quad (1)$$

Where B is magnetic flux density and μ is a permeability of medium. Apply this to our magnetic power generator of Fig. 2, we get

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

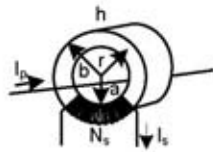


Fig.2. A Magnetic Power Generator using toroidal core

$$B = \frac{\mu(I_p - N_s I_s) \sin(\omega t)}{2\pi r} \quad (2)$$

Where I_p is amplitude of primary current in the transmission line, N_s is number of turn of copper coil, I_s is amplitude of sinusoidal current induced in the copper coil, and r is a distance from the center of the core to the copper wire. From the magnetic flux density, the induced electromotive force in the magnetic power generator is given by Faraday's law of induction to be

$$V_{in} = \oint E \cdot dl = -\frac{\partial}{\partial t} B \cdot dS \quad (3)$$

Where S is area covered by copper wire Substitute Eq (2) into Eq.(3) and integrate we get

$$V_{in} = \frac{\mu h \omega N_s \ln\left(\frac{b}{a}\right)}{2\pi} (I_p - N_s I_s) \cos(\omega t) \quad (4)$$

Where h is thickness of the core, a is inner diameter of toroidal core and b is outer diameter of toroidal core. If we rearrange Eq.(4) we get

$$V_{in} = K_p I_p - Z_s I_s \quad (5)$$

Where $K_p = \mu h \omega N_s \ln\left(\frac{b}{a}\right) / 2\pi$ and $Z_s = K_p N_s$ if we consider $K_p I_p$ as voltage source, then Z_s behaves like its output impedance. An actual 100-turns iron-core magnetic power generator was built. According to Eq(5). The magnetic power generator can induce no-load AC voltage of 1.5 V at 65 A with $R_s = 2.3 \Omega$ and 3V at 130 A with $Z_s = 2.3 \Omega$. This prevents the generator to charge a 2.4 V battery directly. Therefore, a specialized energy harvesting circuit is needed to elevate these induced voltages.

III. VOLTAGE MULTIPLIER CIRCUIT

A 4 stage voltage multiplier circuit shown in Fig. 3 is used to convert low AC voltage from magnetic generator to higher DC voltage level. To provide detailed analysis, we assume that diodes are ideal and its load(R_L) is a pure resistance. Furthermore, the input V_{in} must have an output resistance R_s as derived in Equation(5). Using small ripple approximation to assume that during charging interval of positive or negative half period of sinusoidal input voltage, the capacitor C_1 is charged during interval u to $\pi/2$ and then discharged by a resistor R_L during interval $\pi/2$ to $2\pi+u$ as shown in Fig.4, where u is small time interval. Hence, the current flow into this capacitor is given by

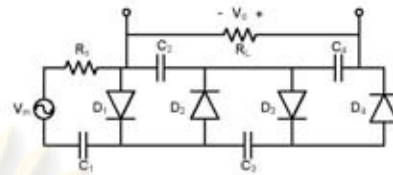


Fig.3 A 4 stage voltage multiplier circuit with resistive load(R_L) to step up the output of an AC generator

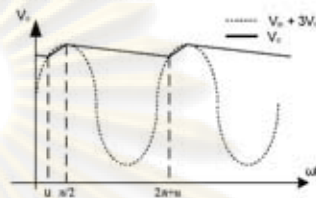


Fig.4. output voltage (V_s)

$$i_c = \frac{\left(\frac{R_L}{R_s + R_L}\right) [V_m \sin(\omega t) + 3V_m] - V_0}{R_s // R_L}; u < \omega t < \frac{\pi}{2} \quad (6)$$

$$= -\frac{V_0}{R_L}; \frac{\pi}{2} < \omega t < 2\pi + u \quad (7)$$

Using capacitor charge balance we must have

$$\int_u^{2\pi+u} i_c d(\omega t) \quad (8)$$

Assuming that in steady state V_{c1}, V_{c2} and V_{c3}, V_{c4} is approximately constant $V_{c1} = V_{c2} + V_{c3}$, and $V_{c1} + V_{c3} = 3V_m$. Substitute Eq(6) and Eq(7) into Eq(8) and integrate we get

$$\frac{V_0}{V_m} = \frac{\cos(u) + 3\left(\frac{\pi}{2} - u\right)}{\left[\left(\frac{\pi}{2} - u\right) + \frac{R_s}{R_L} \cdot 2\pi\right]} \quad (9)$$

From Equation (9), we can show that $V_0 = 4 V_{in(peak)}$ at $R_L = \infty$. However, when charging the battery, loading effect and voltage drop (V_{th}) of non-ideal diodes cause dramatic voltage drop below $4 V_{in(peak)}$, thus the 4-stage voltage multiplier is not sufficient for charging a 2.4 V battery effectively. Hence, a DC-DC boost converter is needed

IV. DC-DC BOOST CONVERTER

A DC-DC boost converter is needed to step up the output of voltage multiplier to charge a battery. The voltage gain of the converter is given by [9] to be

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{D'R_L}{D \cdot R_{id} + (D')^2 (R_d + R_L)} \quad (10)$$

Where V_o is the output voltage, V_i is the input voltage, D is duty cycle of a MOSFET, $D' = 1-D$, R_d and R_{id} are parasitic

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

voltage measurement and previous one is lower than setting threshold voltage of 50 mV

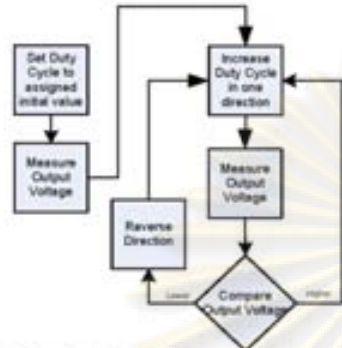


Fig 8 Flow chart of Duty-Cycle Adjustment Algorithm

VII. SIMULATION AND EXPERIMENTAL RESULTS

Simulation result of the energy harvesting circuit has been conducted using Multisim9 as a circuit simulator. The output power vs. duty cycle is shown in Fig.9.

To evaluate the performance of the harvesting circuit, A voltage current characteristic of magnetic power generator has been measured and shown in Fig.10. In addition, output power of the generators to the resistive load has been measured and shown in Fig.11. Furthermore, the circuit can harvest 58 mW power when placed near 65 A transmission line.

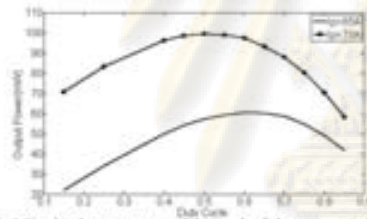


Fig 9 Simulated output power and duty cycle of electromagnetic harvesting system

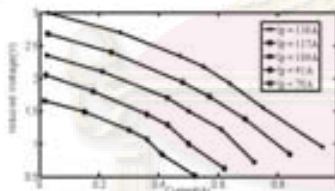


Fig 10 Induced voltage and current characteristics of electromagnetic power generator

CONCLUSION

A magnetic power generator and energy harvesting circuit has been analyzed designed and implemented. The theoretical model in the analysis is able to predict the operation of the circuits, and agrees with the simulation and experimental result. Finally, By using voltage multiplier and DC-DC boost converter the energy harvesting circuits is able to converts low AC voltage source as low as 1V and can store the power at maximum of 58 mW at 65 A to the 2-cell 2.4 V NiMH battery, which is enough for driving low power microcontroller and wireless application.

REFERENCES

- [1] Alan Mainwaring, Joseph Polastre, Robert Szewczyk, and David Culler, "Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring" June, 2002
- [2] N. Shenck and J. A. Paradiso, "Energy scavenging with shoe-mounted piezoelectrics," *IEEE Micro*, vol. 21, pp. 30-42, May-June 2001.
- [3] Bing Jiang, Joshua R. Smith, Mathai Philipose, Sumit Roy, Kishore Sundara-Rajan, and Alexander V. Mamishev, "Energy Scavenging for Inductively Coupled Passive RFID Systems" *IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT*, VOL. 56, NO. 1, FEBRUARY 2007
- [4] Cesare Alippi, and Cristian Galperti, "An Adaptive System for Optimal Solar Energy Harvesting in Wireless Sensor Network Nodes" *IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS-I: REGULAR PAPERS*, VOL. 55, NO. 4, JULY 2008
- [5] Michael D. Seeman, Seth R. Sanders, Jan M. Rabaey "An Ultra-Low-Power Power Management IC for Energy-Scavenged Wireless Sensor Nodes"
- [6] Jeffrey K Ottman, Heath F. Hofmann, Arthun C. Bhatt, and George A. Lesnau, "Adaptive Piezoelectric Energy Harvesting Circuit for Wireless Remote Power Supply" *IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS*, VOL. 18, NO. 2, MARCH 2003
- [7] Xiping Cao, Wen-Jen Chung, Yi-Chin King and Yi-Kuen Lee, "Electromagnetic Energy Harvesting Circuit with Feedforward and Feedback DC-DC PWM Boost Converter for Vibrational Power Generator System" *IEEE Transaction on power electronics* vol.22, no.2, March 2007.
- [8] Line Tracker Intelligent grid monitoring : Available www.gridmsc.net
- [9] N. Mohan, T. Undeland, and W. Robbins, *Power Electronics: Converters, Applications and Design*, New York: Wiley, 1995.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายต่อเกียรติ ใต้ธงชัย เกิดเมื่อวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2529 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2549 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2550



ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย